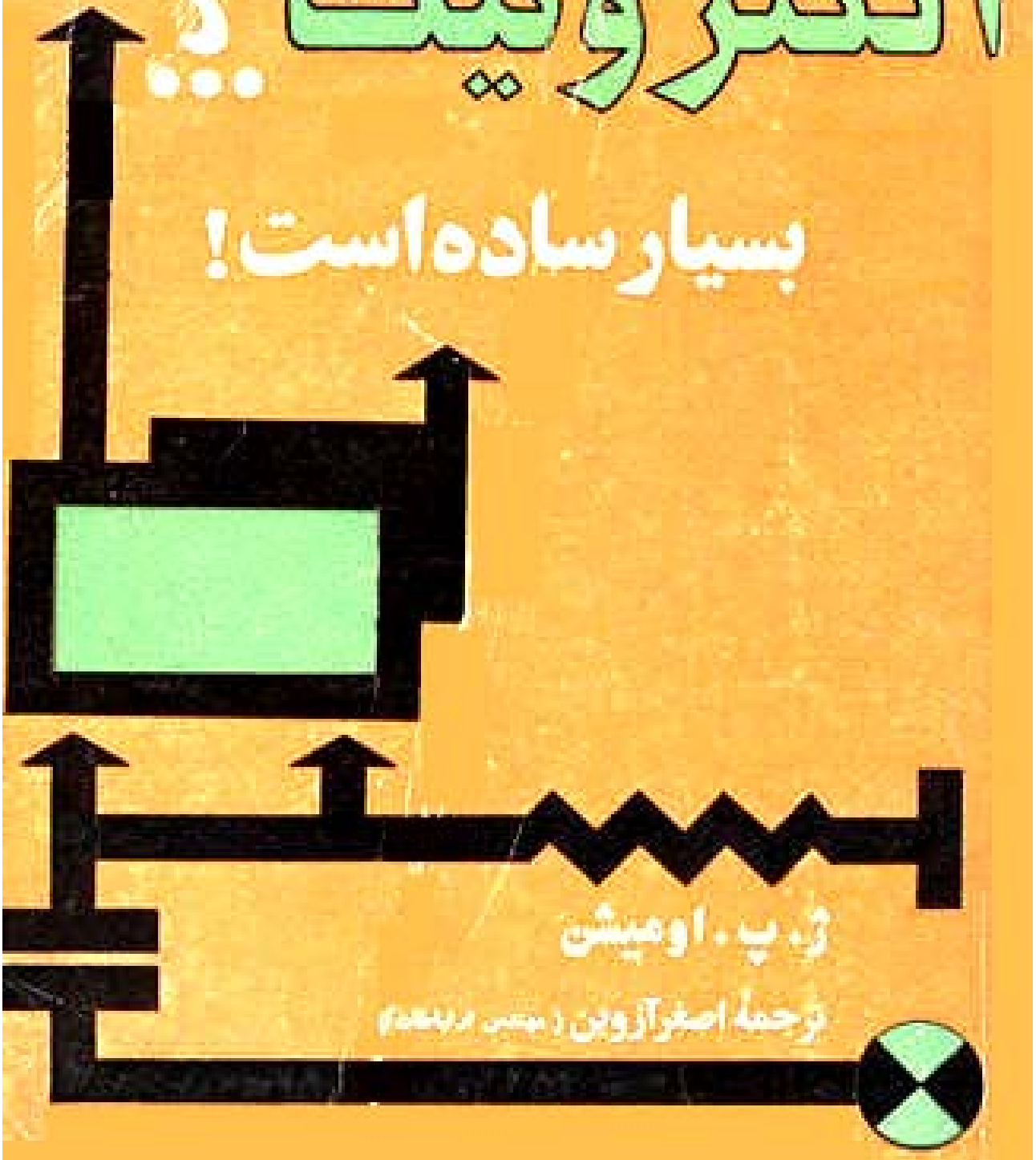
الکترونیک ؟!

بسیار ساده است!



ژ. پ. اومیشن

ترجمهٔ اصغر آزوین (مهندس برق)

الکترونیک؟... بسیار ساده است!

تندیس

۱۳۴۰ - خیابان انقلاب - مقابل دانشگاه - تهران
تلفن ۶۶۶۶۸۷ - ۶۶۱۸۴۰

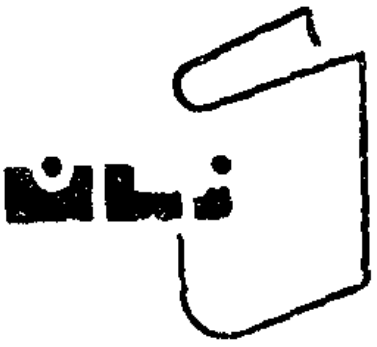
مجموعهٔ فنی زمان ۴

ژ. پ. اومیشن

الکترونیک؟...
بسیار ساده است!

هفده مبحث سرگرم‌کننده که به‌طرزی ساده اصول الکترونیک و کاربردهای آن‌را در صنعت بیان می‌کند.

ترجمهٔ اصغر آزوین
(مهندس ارتباطات)



الکترونیک؟... بسیارساده است!
ژ . پ . ادمیشن
ترجمهٔ اصغر آزوین
چاپ اول
اسفندماه ۱۳۶۱
۵۰۰۰ نسخه
چاپ رشدیه
حق چاپ محفوظ ومخصوص کتاب زمان است.

فهرست

مقدمهٔ ا. اسبرگ	**پنج**
یادآوری نویسنده	**هشت**
مقدمهٔ مترجم	**ده**
معانی لغات	۱۱

مبحث اول

تماس برقرارمی‌شود	**۱۹**
محافظت نادرست	۱۹
از رادیو به طرف الکترونیك	۲۰
فراگیری اصولی	۲۲
دشواری یك تعریف	۲۳

مبحث دوم

جذب‌کننده‌های برقی، مغناطیسی و جذب‌کننده‌های نیرو	**۲۵**
از الکتریسیته به الکتریسیته	۲۵
فشارهای بسیارقوی	۲۸
جذب‌کنندهٔ میدان الکتریکی	۳۰
ژیمناستیك خسته‌کننده	۳۲
جذب‌کننده‌های نیرو	۳۳
مسئلهٔ قابلیت ارتجاع...	۳۵
اندازه‌گیری تغییرات کم‌مقاومت	۳۵
تأثیر درجهٔ گرما	۳۷
تارهای مرتعش	۳۸
بازهم نیروها را اندازه بگیریم	۳۹

مبحث سوم

جذب‌کننده‌های شتاب و سلول‌های فتوالکتریك ۴۰
اندازه‌گیری سرعت ۴۰
شتاب ۴۱
شتاب‌سنج با صرفه ۴۳
حالا گوش کنیم ۴۴
برای جایگزینی گرماسنج‌ها ۴۵
تشعشع ۴۶
سلول‌های فتوالکتریك ۴۷
عنصرهای حساس نوری ۴۹
دیودهای نوری ۵۰
چندبرابرکنندهٔ نور ۵۲

مبحث چهارم

اندازه‌گیری‌های هسته‌ای و شیمیائی ۵۵
ساختمان اتم‌ها ۵۵
مخلوط ایزوتوپ‌ها ۵۶
قلمروی پارتیکول‌ها ۵۷
اندازه‌گیری تشعشع‌ها ۵۸
شمارگرگایگر ۵۹
اشعهٔ کیهانی ۶۱
برق‌زن ۶۲
کاربرد ایزوتوپ‌ها ۶۳
شیمی الکتریکی ایون‌ها ۶۴
pH ۶۵
اندازه‌گیری pH ۶۶
اختلاف سطح اکسیدی ـ احیائی ۶۸
روش قدیمی اندازه‌گیری pH ۷۰

مبحث پنجم

تقویت‌کننده‌های با تزویج مستقیم ۷۲
در جهت فرکانس‌های بالا ۷۲
تصحیح اساسی نیست ۷۴

دامنه فاز نیست ۷۵
دسی بل‌ها ۷۶
نقطهٔ ۳dB ۷۷
وقتی اثرخازن مهمترمی‌شود ۷۸
مقاومت کم‌بار ۷۹
باند گذرا یا ضریب بهره ۷۹
فرکانس‌های پائین ۸۰
پلاریزاسیون‌ها را تغییربدهیم ۸۱
ارتباط مستقیم ۸۲
جائی که به وسیلهٔ یك‌قوه (باطری) تزویج می‌شود ۸۳
تزویج به وسیلهٔ تقسیم‌کنندهٔفشار ۸۵
جبران تقسیم‌کنندهٔفشار ۸۶
جبران به وسیلهٔ نقطهٔ اتصال روی مقاومت آند ۸۶

مبحث ششم

سنجش الکتریکی

کاهش مقاومت ظاهری خروجی ۸۹
مقاومت ظاهری ورودی ۸۹
جریان‌های‌شبکه ۹۰
لامپ سنجش‌الکتریکی ۹۱
ضریب بهره در فشار و در توان ۹۲
انحراف ۹۳
دشواری‌های عایقی ۹۴
مقاومت ظاهری خروجی راکم‌کنیم ۹۵
وضع کار طبقهٔکاتدین ۹۶
سود مقاومت خروجی کم ۹۹
تشبیه حیوانی ۱۰۰
گسترش به ترانزیستور ۱۰۱
مثال برای طبقه با ارسال‌کنندهٔ رام ۱۰۲
مافوق جمع‌کنندهٔ مشترك ۱۰۲
اگر بخواهند پلاریزاسیون خروجی را معکوس‌کنند ۱۰۵
ترانزیستور = پنتود (بدون ارتباط شبکه پرده) ۱۰۵
مقاومت ظاهری خروجی و مناسب‌ترین‌بار ۱۰۶

مبحث هفتم

علامت‌های مستطیلی
برش‌سر، مشتق، انتگرال ۱۰۸
تغییرشکل‌های مطلوب ۱۰۸
یك تغییرشکل پایدار ۱۱۰
ساختن علائم مستطیلی ۱۱۲
کاربردپایهٔ دوم ۱۱۴
آستانهٔ دوم ۱۱۶
منحنی‌های بسته ۱۱۶
کاربرد قپان اشمیت ۱۱۷
پنتود در برابر ترانزیستور؟ ۱۱۸
کاربردکناره‌های تند ۱۱۹
ثابت زمانی ۱۲۱
مدار انتگرال‌گیرنده ۱۲۳
دندانهٔ ارهٔ چوب‌بری ۱۲۴
تعریف ریاضی ۱۲۵
مشتق به وسیلهٔ یك‌مدار ۱۲۶
انتگرال ۱۲۶
انتگرال‌گرفتن به وسیلهٔ مدار ۱۲۷
فقط نیستی‌کامل است ۱۲۸

مبحث هشتم

ضرب و تقسیم فرکانس‌ها ۱۳۰
چندبرابرکردن فرکانس ۱۳۰
راهنمائی به وسیلهٔ مدار ۱۳۲
ضرب غیردوره‌ای ۱۳۳
ضرب آبشاری ۱۳۴
تقسیم فرکانس ۱۳۵
ویبراتور چندجانبه ۱۳۵
شرایط اشباع ۱۳۷
همزمانی ۱۳۸
ثبات تقسیم ۱۴۰
تقسیم به عدد زوج ۱۴۱

بخش بر ۲ ۱۴۳
وضعیت کار یك اکلس ـ جردان ۱۴۴
آغاز بکار اکلس ـ جردان ۱۴۵
دیودهائی که سوزن‌بان نیستند ۱۴۶
توازن اکلس ـ جردان ۱۴۸
قپان یك‌ثابتی ۱۴۹
علائم قپان‌یك‌ثابتی ۱۵۱
کاربرد یك‌ثابتی‌ها ۱۵۳
کاربرد تأخیراندازها ۱۵۴

مبحث نهم

تمیزدادن علائم ۱۵۵
تمیزدهنده ۱۵۵
جداسازی بوسیلهٔ دامنه ۱۵۷
جداکنندهٔ چندکانالی ۱۵۸
جداسازی برحسب مدت علامت ۱۶۰
تمیزدهندهٔ شکل موج ۱۶۱
ثابت زمانی ۱۶۲

مبحث دهم

رله‌ها و موتورها ۱۶۴
مقاومت یك‌قرقره رله ۱۶۴
فرمان یك رله به وسیلهٔ ترانزیستور ۱۶۶
احتیاط‌هائی که برای کارانداختن رله‌ها به وسیلهٔ ترانزیستور
باید مراعات کرد ۱۶۷
محافظت به وسیلهٔ دیود ۱۶۹
انتخاب ترانزیستور ۱۷۰
موتور جریان مستقیم ۱۷۱
کلکتور و جارو ۱۷۳
دینامو (نیروزای جریان مستقیم) ۱۷۴
نیروی ضدمحرکه ۱۷۵
زوج ۱۷۵
طرزکار در جریان متناوب ۱۷۶

موتور دو فاز ۱۷۸
میدان دوار ۱۸۰
القاء شده باحلقه‌های اتصال کوتاه ۱۸۱
تغذیهٔ موتورها ۱۸۲
تغذیهٔ موتور جریان مستقیم ۱۸۳
دینامتری تقویت کننده ۱۸۴
فرمان به وسیلهٔ تیراترون ۱۸۵
تغذیه با جریان متناوب ۱۸۶
تیراترون‌های نیمه‌هادی (تریستورها) ۱۸۸
بکار افتادن تیراترون ۱۸۹
همزمانی به وسیلهٔ برق شهر ۱۹۰

مبحث یازدهم

مولد مافون صوت
مدولاتور نور و لیزر ۱۹۳
تحریک کننده‌های ارتعاش ۱۹۳
مافوق صوت‌ها ۱۹۴
مولد مافوق صوت پیزو الکتریك ۱۹۵
پرتوافکن‌های مافوق صوت با توان کم ۱۹۶
پرتوافکن‌های با توان زیاد ۱۹۸
عکس نگار خط به خط (پلینوگراف) ۱۹۹
لیزر ۲۰۰
کاربرد لیزر ۲۰۲
لامپ اشعهٔ کاتودی ۲۰۳
لامپ با حساسیت زیاد ۲۰۴
اسیلوسکوپ با نمونه ۲۰۵

مبحث دوازدهم

شمارش الکترونی ۲۰۹
شمارش مکانیکی ۲۰۹
شمارش دوتادوتا ۲۱۰
شمارش ۳تا ۴تا ۲۱۰
شمارش با توان ۲ ۲۱۱
قپان محافظ ۲۱۳
شمارش ده‌تائی ۲۱۴

نمایش رقم‌ها ۲۱۷
دکاترون ۲۲۰
محدودیت دکاترون ۲۲۲
شمارش ـ شمارش معکوس ۲۲۳
لامپ با اشعهٔ صفحه‌ای ۲۲۳
حلقهٔ رجنر ۲۲۵
شمارگر پیش مشخص شده ۲۲۸

مبحث سیزدهم

مدارهای منطقی و حساب‌های الکترونی ۲۲۹
تبدیل و حساب دوعلامتی ۲۳۰
مدارهای منطقی ۲۳۲
مدار منطقی بدون رله ۲۳۳
بهم‌پیوستن مدارهای منطقی ۲۳۴
نمایش الکتریکی اعداد ۲۳۶
نمایش‌دهنده ـ جابجا کننده ۲۳۷
جابجائی ۲۳۸
تبدیل موازی ـ پیاپی ۲۳۹
تبدیل پیاپی ـ موازی ۲۴۰
جمع موازی ۲۴۰

مبحث چهاردهم

ضرب‌کننده‌های حسابی و حافظه‌ها ۲۴۳
تفریق ۲۴۵
ضرب ۲۴۶
ضرب کنندهٔ دوعلامتی ۲۴۷
قلمروی کاربرد ماشین حساب‌ها ۲۵۰
حافظه‌ها ۲۵۲
حافظه با خطوط وستون‌ها ۲۵۳
حافظه با دیود تونلی ۲۵۵
حافظه برای عددهای پیاپی ۲۵۷

مبحث پانزدهم

ماشین‌های فرمان‌دهنده ۲۵۹
ارسال دوبارهٔ وضعیت ۲۵۹
ثبات ۲۶۱
ثبات به وسیلهٔ دیناموی سرعتی ۲۶۲
تصحیح به وسیلهٔ مشتق ۲۶۴
سیستم‌های دوسربسته ۲۶۴
مثال برای سیستم تابع:
تقویت‌کنندهٔ ضدواکنشی ۲۶۵
یک‌نوع سیستم تابع:
تقویت‌کنندهٔ ضدواکنشی ۲۶۶
فایدهٔ ضدواکنش ۲۶۷
ضریب بهره برابرعکس تضعیف است ۲۶۹
مسئلهٔ ثبات ۲۷۰
مونتاژهای پائین آورندهٔ مقاومت ظاهری ۲۷۲
مهار سرعت ۲۷۳

مبحث شانزدهم

حساب‌کننده‌های قیاسی
تقویت‌کننده‌های عملی ۲۷۵
خطی بودن یک‌پتانسیومتر ۲۷۵
پتانسیومتر دوم ۲۷۶
مسئلهٔ دقت ۲۷۷
مبدل تونن ۲۷۷
اغتشاش آبشاری ۲۷۹
تقویت‌کننده‌های عملی ۲۸۰
جمع ۲۸۱
انتگرال گیرنده ۲۸۳
ضرب کنندهٔ قیاسی ۲۸۴
قلمروی محاسبهٔ قیاسی ۲۸۵
ساختن تقویت‌کننده‌های عملی ۲۸۵
کاربرد ماشین حساب‌های قیاسی ۲۸۶
محاسبه در «زمان ساختگی» ۲۸۷

مبحث هفدهم

مسافرت در اطراف یك‌رادار	**۲۸۹**
مانیترون دوآندی	۲۸۹
مانیترون چندآندی	۲۹۱
کابل هم‌مرکز «عایق شده» به وسیلهٔ مس	۲۹۲
کلیسترون با چندین حفره	۲۹۳
کلیسترون «انعکاس»	۲۹۵
جداسازی فرستنده ـ گیرنده	۲۹۶
ثبات فشار به‌وسیلهٔ دیودزنر	۲۹۶
تغذیهٔ ثابت	۲۹۷
سلسین‌ها	۲۹۹
کدگذار شماره‌ای	۳۰۲
طرح‌های بسیار بزرگ	۳۰۳
یك‌نامه از مهندس به مبتدی	**۳۰۴**
یك‌نامه از مبتدی به مهندس	۳۰۶
پاسخ مهندس به مبتدی	۳۰۷

مقدمه

اگر ریاضیات را بدرستی، **ملکهٔ علوم** دانسته‌اند، بسیار بجاست که الکترونیك را **ملکهٔ فنون و صنایع** بنامیم.

درواقع اگردر گذشته، **عصرمکانیك** وبعد **عصرالکتریسیته** راشناخته‌ایم، عصرما با جهش شگفت‌آور **الکترونیك** کاملا مشخص شده است. الکترونیك درهمه‌جا حاضراست، در تمام فعالیت‌های انسانی وارد شده است، انجام کوشش‌های گوناگون را ساده می‌کند واین‌کاررا از بازکردن خودکاردرها تا حل کردن پیچیده‌ترین مسئله‌های حساب عملی انجام می‌دهد...

این گسترش سریع یك‌تکنیك را، که درسال ۱۹۰۶ میلادی، بااختراع لی دو فورست *Lee de Forest* از اولین لامپ الکترونی یعنی تریودآغاز شد و او نامش را «اودیون *audion*» گذاشت، چگونه باید تشریح کـرد؟ عالمگیرشدن کاربردهای تکنیك به‌این جوانی را چگونه باید بیان کرد؟

این خواص ذاتی الکترون است که سرنوشت خارق‌العاده این تکنیك جوان‌را تعیین کرده است. الکترون که جرم بسیار ناچیزی دارد($g^{۲۷-}۱۰$)، دارای بارالکتریکی صرفنظرنکردنی(کولمب$^{۱۹-}۱۰\times۱/۶$)است.الکترون تقریباً آناً به‌تمام خواست‌های میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی پاسخ می‌دهد. نداشتن‌مانند«اینرسی»،و«روح حساس» الکترون به‌آن امکان‌می‌دهندکارهائی‌را انجام‌دهدکه‌همچون‌فکر کردن‌نیاز به‌سرعت عمل دارند.و درنتیجه الکترونیك، قبل‌از هرچیز، فنی‌است که هوش‌را بکارمی گیرد. درحالی که مکانیك، باجانشینی

عضله‌های انسان، اورا از کارهای بدنی که به‌عهده داشت بی‌نیاز کرد، الکترونیك ما را از کارهای بزرگی که نیاز به‌هوشیاری دارند، معاف می‌سازد، بی‌آنکه غیراز هوشی که بشر دارد، چیزچندان زیادتری داشته باشد.

الکترونیك، درحالیکه با توان بسیار کم کار می‌کند، امکان فرمان کارهای بسیار بزرگ را بوجود می‌آورد؛ الکترونیك میکرو وات را درخدمت ژیگا-وات و تتراوات قرار می‌دهد. به‌این‌طریق، سیرموشکها در فضا فرمان داده می‌شود. همانطورکه ممکن است مجموعهٔ عملیات یك کارخانه زیر نظم درآید، بهمانگونه که کارهای گوناگون یك موجود زنده اندازه گیری می‌شوند، همچنانکه ایون های ایجاد شده به‌وسیله بمباران تشعشع‌های مختلف در یك دستگاه، حساب می‌شوند... تمام این کارها درنتیجهٔ بکار گرفتن دستگاههائی است که همیشه ازعنصرهائی مثل لامپ‌های الکترونی، نیمه هادیها، مقاومت‌ها، خازن‌ها و سیم‌پیچی‌ها تشکیل شده‌اند.

از این پس چگونه می‌توان، درنیمهٔ دوم قرن بیستم، از اصول اساسی این فن شگفت‌آور باکاربردهائی که روز به‌روز گسترده‌ترمی‌شود، بی‌خبر بود؟ برای راه‌یافتن به‌شناسائی الکترونیك، برای بررسی امپراطوری جادوئی آن، یك راهنمای آگاه ومطمئن لازم است. اثرحاضر از همین گونه است.

هیچکس بیشترازدوست من ژ.ب. اومیشن برای نوشتن این کتاب صلاحیت نداشت. او که مهندس یکی از مؤسسات پایه‌ای الکترونیك است، تجربه‌های صنعتی استوازی دارد. درحالی که درانستیتوی عالی الکترونیك شمال «در فرانسه» تدریس می‌کند، شگفتن هنرآموزش راکه از پدر به‌ارث برده، به-چشم دیده است، پدر او نیز استادکالج فرانسه ومخترع نامی هلیکوپتراست.

ژ.پ. اومیشن که چیزهائی برای گفتن دارد و می‌داند چگونه آنها را به‌روشنی بیان کند، نویسندهٔ بررسی‌ها واثرهای بیشماری است که بطوربسیار مؤثربرای تربیت نسل کنونی تکنیسین‌ها بکار رفته‌اند.

اشاره به‌این مطلب برای آنست که روشن شود با چه‌آسانی، ومی‌توان تأییدکردکه به‌عنوان سرگرمی، اثرحاضررا نوشته است و درآن باوام گرفتن «که دراین‌باره اورا تمام وکمال تقدیس می‌کنم» دوشخصیتی که سالها پیش به‌وجود آورده بودم، «مهندس» و «مبتدی» را طوری به‌گفتگو کشانده‌که با خوشوقتی اطلاعات اساسی الکترونیك را نشان می‌دهند.

با این کار، او بهیچوجه به‌عبور سطحی از فن جدید اکتفا نمی‌کند بلکه برعکس، درحالی که با جرأت دشوارترین مسائل را پیش می‌کشد، خواننده را وارد ژرف‌ترین وپیچیده‌ترین پیچ‌وخم‌های الکترونیك می‌کند.

این اثرازاین نظربیشتروبهتراز یك کتاب آموزنده، سود بزرگی برای الکترو-نیسین‌ها خواهد داشت که آنها هم برای بهترمنظم کردن شناسائی‌های دقیقی که درجریان دگرگونی بزرگ این فن بدست آورده‌اند، نگرانند.

طرز بیان مطالب، یك خط منطقی را تعقیب می کند که فهمیدن‌وجذب آن‌را بسیارآسان مـی کند. کتاب بـا «جذب کننده‌ها»، همان دستگاههائی کـه کمیت‌های با طبیعت گوناگون‌را به‌علائم الکتریکی«برگردان» می کنند، آغاز می‌شود. سپس روش‌های گـوناگون تغییر شکل مشخصات علائم یعنی دامنه، شکل وفرکانس آنها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. درآخر، که جالب‌ترین بخش گفتگوی دوستان جوان ما هم هست، نویسنده هزارویك روش برای کاربرد علائم تغییرشکل یافته نشان می‌دهد.

گفتگوها که بانکته‌های‌شوخی درآمیخته‌اند (این شوخی‌هادرخواننده تمددی ایجاد می کند که فراگرفتن را برایش آسان می‌سازد، همانگونه که قطره‌های روغن حرکت چرخ‌ها را دریك دستگاه مکانیکی آسانترمی کند) با تصویرهای شاد حاشیه که دست‌آوردهنرخانم ژ.پ. اومیشن است زینت‌یافته‌اند و این خود نمونهٔ کاملی از همکاری یك زوج است.

اکنون که این اثرعالی به‌وجودآمده است، بانقل عین‌ضرب‌المثل‌قدیمی «هیچکس مجاز به‌ندانستن قانون نیست»، با استدلال می‌توان تأییدکردکه هیچکس مجاز به‌ندانستن **الکترونیك** نیست.

ا. اسبرگ

یادآوری نویسنده

اصل این کتاب بطورساده همـان چیزی است که دانشجویان «ساده‌ـ نویسی» می گویند.

با فراگرفتن مطالب پایه‌ای فن رادیوالکتریسیته درکتاب «رادیو؟... بسیار ساده است!»، کتابی که نویسندهٔ کتاب حاضر همیشه بزرگترین‌ستایش‌و احترام را نسبت به‌آن داشته است، یك‌روز این فکربه‌خاطـرمان رسید کـه برای یکنفراز دوستان طرزکار یك دستگاه فـرمان دهنده را بـا همین‌روش توضیح بدهیم. ازآنجا برای سرگرمی خودمان تقلیدکـوچکی ازآن بعمل آوردیم، فقط یك‌گام بود... که به‌چابکی برداشتیم. چقدر سرگرم‌کننده بود که «مبتدی» و«مهندس» را بطور قاچاق ومخفیانه از پدر روحانی‌آنهادوباره زنده‌کرده بودیم.

این سرگرمی بسیار ساده‌ترشده بود چون منظور ما تقلید از یك‌روش اصیل‌وبسیارجالب بود. نویسندگان بی‌شماری‌از ویکتورهوگویاآناتول‌فرانس تقلیدکرده‌اند، درحالی‌که تقلیدازیك روش بی‌رونق که دراصل ارزش‌ادبـی ندارد، غیرممکن است.

وقتی متن‌کتاب نوشته شد وبه‌وسیله نقاشی‌های حاشیه‌که به‌دست‌همسر نویسنده‌کشیده شده بود و تا حدودی با روش مرحوم‌گیلاك مطابقت داشت کاملترگردید، تمام آن برای آقای اسبرگ فرستاده شد ونویسنده با نـوعی پریشانی منتظرواکنش او شد. حدس می‌زنیدکه این واکنش باورنکردنی‌بود،

زیرا نتیجهٔ آن کتاب حاضر است. آقای اسبرگ نویسنده را به‌خاطر استفاده‌از شخصیت‌های کتابش «همانطور که خود او می‌خواست» ستایش کرد.

نویسنده هنگام نوشتن فصل‌های گوناگون، با استفاده از راهنمائی همیشگی و توصیه‌های پدر واقعی مبتدی ومهندس، مشاهده کرد که کاملا نمی‌تواند «همانطور که خود او می‌خواست» رفتار دو همکار ما را تغییردهد. مبتدی و مهندس گذشته‌ای دراز دارند «اگرچه همیشه جوان مانده‌اند» و درسال‌هائی که بیش از دونسل رادیو الکتریسین و بعد الکترونیسین را بطور درخشان پرورش داده‌اند، شخصیت آنها آشکارا ثابت شده است.

بنابراین نویسنده‌دروضع کارگردانی قرار گرفت که‌می‌تواند به‌هنرپیشگان بزرگ فیلم یا تآتر خود نکاتی راگوشزدکند، اما نمی‌تواند طرز فکرخودرا کاملا به‌آنها تحمیل کند. وانگهی چنین پدیده‌ای تازگی ندارد زیرا بسیاری از نویسندگان داستان، چندین‌بار احساس کرده‌اند که زیرتأثیر شخصیت‌های داستان خود قرار گرفته و دنباله‌روی آنها شده‌اند درحالی که گمان می کردند برآنها تسلط مطلق دارند.

دراین شرایط، تنها راه‌حل، برای نویسنده، این بود که دوهمکارخود راتاحد امکان آزاد بگذارد و ازآن ببعد، نوشتن فصل‌های گوناگون بی نهایت آسانتر شد. نویسنده احساس کرد بیش از بیست سال جوان شده است و به‌دوره‌ای رسیده است که مبتدی ومهندس رادیو را به‌اویاد می‌دادند. به‌همین دلیل‌است که نقاشی‌های حاشیه باشکل دوهمکاری کشیده‌شد که درست همسال همکاران کتاب «رادیو؟... بسیارساده است!» هستند زیرا چنین شخصیت‌هائی تا ابد جوان می‌مانند.

چیزی که نویسنده قبل ازهرچیز آرزومند است، اینست که درجریان کار خودبه‌اشاره‌هاوتوضیح‌های مبتدی و مهندس‌خوب گوش کرده باشد. اگراین کار راکرده‌باشد، این‌دوچهره بزرگ‌راکه‌برای تمام‌الکترونیسین‌ها اینقدرآشناست، تغییرنداده‌است‌و دراین‌حال‌کار خود را رضایت‌بخش خواهدیافت، زیرا، یك باردیگر، این دوشخصیت برای هزاران نفرجوان «در هرسنی که باشند!» دسترسی به‌جهان زیبا وتازه‌ای راکه **الکترونیك** است، آسان خواهندساخت.

ژ . پ . اومیشن

@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال

مقدمهٔ مترجم

«الکترونیک؟... بسیارساده‌است!» کتابی است که به‌شیوهٔ سه کتاب دیگر، رادیو، تلویزیون و ترانزیستور که درهمین مجموعه منتشرشده‌اند نگاشته شده است و تمام مطالب لازم برای دست یابی به آگاهی‌های پایه‌ای دانش الکترونیک را داراست. اگر چه نگارندهٔ کتاب با نویسندهٔ سه کتاب دیگر فرق دارد با اینحال تاآنجا که توانسته است از روش وی پیروی کرده است.

بطور کلی خواننده با مطالعهٔ این کتاب درخواهد یافت که فهمیدن مطالب آن نیاز به‌دقت بیشتر و دوباره‌خوانی‌های زیادتر دارد چرا که هم‌مطالب از گوناگونی ویژه‌ای برخوردارند وهم پدیده‌ها را با دید ژرفتری بررسی کرده‌اند واگردرنظر بگیریم که بسیاری از این پدیده‌ها، ویا دست کم کاربرد الکترونیک دراندازه‌گیری ویا نموداری آنها، کاملا تازگی دارد، انگیزهٔ نیاز به‌دقت بیشتردرمطالعهٔ کتاب روشن می‌شود.

کتابی که اکنون در دست دارید برگردانی است از چاپ دوم کتاب از زبان فرانسوی «زبان اصلی نویسنده» وبه‌روال سه کتاب دیگر کوشش شده است کلمه‌های معادلی که تا حد امکان رسا باشند بجای کلمه‌های فرانسوی (یا انگلیسی) بکار گرفته شوند که برای آگاهی بیشترخوانندگان درآغاز کتاب این کلمه‌ها و معادل آنها آورده شده‌اند.

امید است که این کتاب مورد توجه واستفادهٔ علاقمندان قرار گیرد.

مهندس اصغر آزوین

کلمات مبحث اول

Capteur	جذب‌کننده	منظور دستگاهی است که پدیده‌ای (اعم از مکانیکی، الکتریکی، گرمائی وغیره) راکه باید بعداً بکار برود، آشکار بشود ویا اندازه‌گیری بشود، می‌گیرد.
Restit uteur	پس‌دهنده	منظور بخشی از دستگاه است که از علائم الکتریکی داده شده به دستگاه، عملی راکه انتظار می‌رود بدست بدهد.
Debit	بده	منظور مقداری از یك پدیده یا عنصر است که در یك ثانیه می‌گذرد.
Système bouclé	دستگاه دوسر بسته	منظور دستگاهی است که خروجی آنرا به ورودی- اش وصل کرده باشند.

کلمات مبحث دوم

Vibrateur	ویبراتور (مرتعش‌شونده)	دستگاهی است که در نتیجهٔ ارتعاش، مداری را قطع و وصل می‌کند ودر نتیجه، جریان مستقیم را با قطع و وصل‌های مناسب به جریان متناوب تبدیل می‌کند. در اینجا منظور دستگاهی است که از نظر الکتریکی ارتعاش یا نوسان‌های گوناگونی می‌گیرد و یا پس می‌دهد.

منظور دستگاهی است که از یک رشته سیم بسیار نازک بشکل زیگزاگ (۸و۷) تشکیل شده است که وقتی به آن فشاری وارد شود (چه در جهت کشش سیم باشد و یا در جهت فشردن آن) مقاومتش تغییر می‌کند. اندازه‌گیر فشاری Jauge de Contrainte

کلمات مبحث سوم

منظور مداری است که روی اختلاف یا کاهش دو مقدار (مثلا فشار یا جریان) کار می‌کند. دیفرانسیلی ـ اختلافی یا کاهشی Différenciateur

میکروفنی است که برای شنیدن صدا در زیر آب بکار میرود. میکروفن آبی ـ هیدروفن Hydrophone

میکروفنی است که برای شنیدن صداهائی که در خاک انتشار می‌یابند، بکار می‌رود. میکروفن خاکی ـ ژئوفن Géophone

منظور نیروی برقی است که دو فلز (یا نیمه‌هادی) متفاوت و متصل بهم که در نقطه اتصال گرم شوند بوجود می‌آورند. زوج گرمائی ـ الکتریکی Couple thermo - électrique

منظور مقاومتی است که وقتی زیر تابش نور قرار می‌گیرد از مقدار آن کاسته می‌شود و هرچه شدت تابش نور زیادتر باشد، کاهش مقاومت بیشتر است. مقاومت نوری Photo - reststance

در اینجا تجزیه گاز به یون زیر تأثیر جریان (یا برخورد) الکترون‌هاست. ایونیزاسیون Ionisation

کلمات مبحث چهارم

منظور تقویت کننده‌ایست که با یک دستگاه اندازه‌گیر وصل بوده و با هم، برای اندازه‌گیری مقادیر ضعیف (جریان و فشار) بکار می‌روند. تقویت کننده سنجشی Amplificateur électromètre

شمارگر Compteur

منظور دستگاهی است که یک بلور یا پلاستیک مخصوص در آن بکار برده شده که بمحض برخورد برق‌زن Scintillateur

پارتیکول هسته‌ای برق‌کوچکی ازآن می‌جهد.

Inattaquable — حمله نکردنی — «اینجا منظور الکترودی است‌که در محلولی قرارگرفته ونمی‌تواند باآن ایون مبادله کند (فقط الکترون با آن مبادله می‌کند).

کلمات مبحث پنجم

Correction — تصحیح — «اینجا منظور موتاژی است‌که برای جبران تضعیف ایجاد شده به وسیلهٔ عنصرهای یك مدار بکار می‌رود.

Tension de Souffle — فشاردمش — فشار متناوب وغیرمنظمی‌که در«دوسرلامپ نئون علاوه برفشارمستقیم وجود دارد.

کلمات مبحث ششم

Electrometrie — سنجش الکتریکی — «اینجا منظور استفاده از دستگاههای‌سنجشی است‌که همزمان با اندازه‌گیری تقویت را هم انجام می‌دهند.

Dérive — انحراف — منظور تغییرشکل ایجاد شده در«جریان خروجی لامپ اول تقویت‌کننده در«موقعی است‌که هیچ فشاری به ورودی‌گذاشته نشده است.

Asservi — رام

Générateur — نیروزا(مولد)

کلمات مبحث هفتم

Ecrêtage — برش‌سر — منظور بریدن سرعلائم الکتریکی ازحد بالائی آنست که دامنهٔ آنرا به مقدار معینی محدود می‌کند.

Front — جبهه — منظورکناره‌های صعودی و نزولی‌منحنی‌های نمایش تغییرات علائم است.

Basculement	توازن	منظور وضع زیاد و کم‌شدن دو مقدار است که زیاد شدن یکی همراه با کم‌شدن دیگری و بالعکس است. مثل حالت توازنی که در قپان ایجاد می‌شود.
Bistable	دوثابتی	منظور مداری است که در دو حالت ثابت است.
Flanc	کناره	منظور کناره‌های صعودی و نزولی منحنی تغییرات جریان یا فشار است.
Crête	قله ــ رأس	منظور نقطه‌ایست که در آن حداکثر جریان یا فشار وجود دارد.
Top	جهش	منظور جهش ناگهانی یک علامت (جریان یا فشار علامت) است.
Palier	سیر (گردش)	در اینجا منظور بخش‌های غیرعمودی در منحنی تغییرات (فشار یا جریان) است.

کلمات مبحث هشتم

Pilotage	راهنمائی	منظور کار فرکانسی است که به یک مدار نوسانی داده می‌شود تا آنرا برای ساختن فرکانسی چند برابر راهنمائی کند.
Multivibrateur	ویبراتور چندجانبه	
Bistable	دوثابتی	منظور مونتاژی است که می‌تواند در دو وضعیت ثابت باقی بماند به‌این‌ترتیب که وقتی در یکی از این دو وضعیت است تا موقعی که عاملی موجب تغییر وضع آن نشود بهمانحال باقی خواهد ماند.

کلمات مبحث نهم

Discriminateur	تمیزدهنده	منظور دستگاهی است که باکار روی یکی از مشخصه‌های علائم امکان جداکردن یا تمیزدادن دو علامت مختلف از هم را بوجود می‌آورد.

Univibrateur ویبراتور یك جانبه

کلمات مبحث دهم

Polarisé جهت‌دار «اینجا منظور له‌هائی هستند که جهت عبور جریان «قرقرهٔ» آنها تأثیردارد و موجب می‌شود که تیغه به‌یك‌طرف و یا وقتی جریان برعکس شد به‌طرف مقابل جذب شود.

کلمات مبحث یازدهم

Servomecanisme ماشین فرمان دهنده منظور ماشینی است که برای فرمان‌دادن به‌سیستم دیگری بکار می‌رود.

Belinographe عکس نگار خط به‌خط منظور دستگاهی است که ارسال عکس یك‌سند را به‌فاصلهٔ دور به‌روش خط‌به‌خط امکان‌پذیر می‌کند.

کلمات مبحث پانزدهم

Stabilisation ثبات «اینجا منظور ثبات دستگاه فرمان داده شده هنگام نزدیك‌شدن به‌وضعیت مطلوب است.

Dynamo tachymétrique دینامووی‌سرعتی دینامووئی است که فشار الکتریکی ایجاد شده به‌وسیلهٔ آن متناسب باسرعت آنست.

Bouclé دوسر بسته منظور دستگاهی است که خروجی آن به‌ورودیش متصل می‌شود و به‌این ترتیب دست‌کم بخشی از فشار خروجی به‌ورودی برمی‌گردد.

Tension d'erreur فشار اشتباهی منظور اختلاف فشار بین دوپتانسیومتر و یا اختلاف بین فشار مقایسه شده و فشار مرجع است.

Asservi تابع منظور سیستمی است که زیرفرمان یك ماشین‌فرمان‌دهنده قرار گرفته است.

Atténuation تضعیف

Asservissement مهار منظور «اختیار گرفتن یك پدیده است.

کلمات مبحث شانزدهم

Analogique	قیاسی	
Calculateur	ماشین‌حساب	
Operationnel	عملی (عمل‌کننده)	در اینجا منظور تقویت‌کننده‌های باتزویج‌مداوم است که ضریب بهره ومقاومت ورودی آنها بسیار بزرگ ومقاومت خروجیشان کم است.
En cascade	آبشاری	در اینجا منظور قرارگرفتن چند عنصر (مثلا پتانسیومتر) بدنبال هم است که وقتی اشتباه محاسبه در یکی پیش میآید بدنبال هم اضافه می‌شود.
Fictif	ساختگی (تصوری)	در اینجا منظور بوجودآوردن زمانی است که بعداً خواهدآمد (بطور ساختگی) که مثلا برای محاسبهٔ فرسودگی یك دستگاه می‌توان با در دست کردن نمونه ریاضی آن این زمان را پیشاپیش تعیین کرد.

کلمات مبحث هفدهم و نامه‌ها

Cable Coaxial	کابل هم‌مرکز	منظور کابلی است که دو سیم دارد سیم بیرونی بصورت ورقه‌ای استوانه شکل است وسیم درونی در مرکز قاعدهٔ این استوانه قرار دارد.
Aiguillage	جداسازی	در اینجا منظور جداکردن مسیر فرکانس گیرنده (گرفته شده بوسیلهٔ آنتن) از مسیر فرکانس فرستنده (فرستاده شده بوسیلهٔ همان آنتن) است.
Encodeur	کدگذار	
Digital	شماره‌ای (رقمی)	
Duplexeur	دوجهت‌کننده	منظور دستگاهی است که فرکانس‌های فرستنده و گیرنده را به دوجهت وابسته راهنمائی می‌کند.

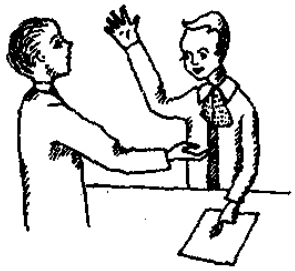
الکترونیک؟... بسیار ساده است!

مبحث اول

کوشش مبتدی برای ساختن یك‌دستگاه دزدگیرالکترونی تاحدودی با شکست روبرو شده‌است. مهندس نقص‌های دستگاه را به‌اونشان می‌دهد وراه حل بهتررا برایش مشخص می‌کند. امـا مبتدی، برای کاربردآن، باید دانش الکترونیك خود راکاملترسازد، مهندس، پس از تعریف‌کـردن الکترونیك، به‌او توصیه می‌کندآنچه راکه تابحال درمورد رادیو می‌داند، دوباره ازنظربگذراند تا برای گفتگوهائی که ازاین پس می‌آیند، آمادگی داشته باشد.

تماس برقرار می‌شود

محافظت نادرست

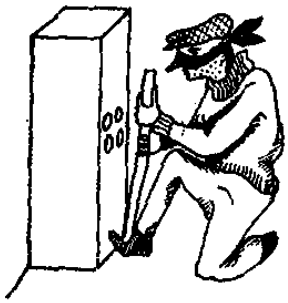


مبتدیـ آه! سلام‌آقای مهندس، بالاخره‌آمدید!

مهندسـ سلام آقای مبتدی.چراگفتید بالاخره؟ بااینحال دیرهم نیامده‌ام.

مبتدیـ نه، امـا می‌دانید برای دیـدار شما خیلی بی‌تاب بودم. فقط شما هستیدکـه می‌توانید توصیه سودمندی بەمن بکنید... درعین‌حال هم خوشحالم و هم بسیار ناراحت، زیرا دستگاه من‌کار نمی‌کند، اما دستگاه جالب و...

مهندسـ نمی‌توانیـدکمی روشن‌تر صحبت کنید؟ ازحرفهائی‌که می‌زنیـد مطلقاً چیزی نمی‌فهمم.



مبتدیـ بسیار خوب، تعریف می‌کنم. یکی از دوستانم که جـواهرفروشی دارد، چندروز است ازمن خواسته دستگاهی برایش درست‌کنم‌که دربرابـردزدها او را محافظت‌کند. بله، دستگاه بزرگ وحساسی نمی‌خواست. ازصحبت‌هائی‌که می‌کرد دستگاه ساده‌ای می‌خواست‌که خطر دزدی را برای مغازه اوکمترکند. چیزکمی که درگاوصندوقش نگه می‌دارد، ایجاب نمی‌کندکه یك دستگاه پیچیده وگرانبها نصب کند و ازمن پرسیدکه می‌توانم اینکار را برایش بکنم یا نه.

مهندسـ کار جالبی است. امیدوارم پذیرفته باشید؟

مبتدیـ البته. اما لازم بود راهی پیداکنم‌که وجود دزد احتمالی‌را آشکار کند. بنابراین فکرکردم ازیك میکروفن استفاده‌کنم...

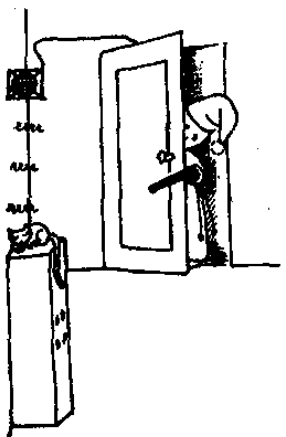
مهندسـ اوه...!

مبتدیـ مثل اینکه چندان موافق نیستید. در واقع می‌بایست قبل ازآغاز به‌کار با شما مشورت می‌کردم. نزدیك صنـدوق یك میکروفن نصب‌کردم‌کـه به یك تقویت‌کننده وصل است و درخروجی تقویت‌کننده بجای بلندگو یك رله‌گذاشتم‌که به‌وسیلهٔ یك یکسوساز بکار می‌افتد (شکل۱) ویك زنگ را درخانهٔ دوستم کـه سه طبقه بالای مغازه قرار دارد به‌کار می‌اندازد.

مهندسـ این فکر بخودی خود احمقانه نیست. اما اصلا باورنمی‌کنم‌کـه دستگاه شما مؤثرباشد. آیا آزمایشش کردید؟

مبتدیـ البته. کار را با وانمودکردن اینکه می‌خواهم به‌صنـدوق دستبرد بزنم‌آغازکردم، رله بکار افتاد. خیلی خشنود بودم، همه چیزکامل به‌نظـرمی‌رسید.

@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال



شب تمام دستگاه را بکار انداختم و... دوستم تمام شب را نخوابید.

مهندسـ آه! از همینجا متوجه مطلب شدم. دوستتان در تمام شب چندین بار بی‌صدا و سرتاپا غرق اسلحه از خانه‌اش پائین آمده و به‌مغازه رفته... چون یك اتومبیل مقابل ساختمان او به‌سختی ترمز کرده و یا گربه‌ای درجواهرفروشی گذاشته و در را بسته بودند.

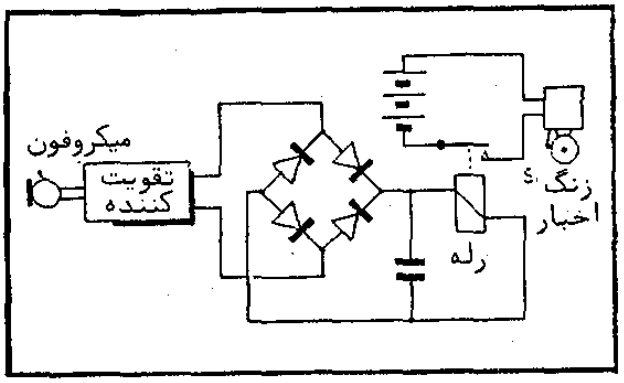
مبتدیـ اگر جنبه شوخی آن‌را کنار بگذاریم، تقریباً همینطور است؛ بخصوص وقتی‌که یادم می‌آید فردای آن‌شب دوست من درباره گنجایش من، نبوغ من دراختراع، آینده‌ام درراديو... چه حرفها زد.

مهندسـ مبتدی بیچاره‌ام، این موضوع را بخوبی میتوانم تصور کنم. از این گذشته، خوب توجه داشته باشیدکه دستگاه شما، که بخصوص بی‌موقع بکار می‌افتد، ممکن است در دزدی‌های‌شبیه بهمین حالت‌ها واکنشی ازخود نشان ندهد.

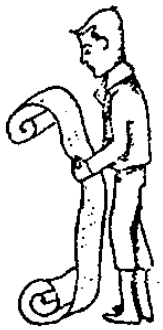
مبتدیـ آه، نه! غیرممکن است چون خودم آن‌را بررسی کردم.

مهندسـ آقای مبتدی شماکه دزد نیستید. بنابراین دربارهٔ کاری که یك دزدهنگام ورودشبانه به‌یك محل انجام می‌دهدکمی فکرکنید چون اوکوشش می‌کند تا حد امکان‌کمترین سروصدا را ایجاد کند. وقتی جلوی صندوق رسید، بدنبال دستگاه محافظ می‌گردد وچون ممکن نیست میکروفن شما را نبیند، باشتاب آن را درپوششی می‌پیچد تا صدا به‌آن نرسد. ممکن است دراین‌کار موفق بشود.

نه، حرفم را باورکنید، جذب‌کنندهٔ خودتان را بدانتخاب کرده‌اید.



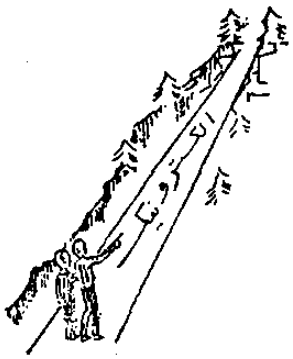
شکل۱ـ صدائی‌که دربرابر میکروفن ایجاد شود، پس از تقویت به‌وسیلهٔ تقویت‌کننده وآشکارسازی، مدار رله را می‌بندد و به‌این ترتیب (اساساً) جواهرفروش را باخبرمی‌کند که یك نابکارمشغول‌دستبردزدن به‌گاوصندوق اوست (یا متأسفانه! صدای مزاحم دیگری موجب اینکار شده‌است)



از رادیو به‌طرف الکترونیك

مبتدیـ منظورتان از «جذب‌کننده» چیست؟

مهندسـ ببینید آقای مبتدی، درتمام دستگاه‌های الکترونی، یك‌بخش وجود داردکه «جذب‌کننده» نامیده می‌شود (شکل ۲) که پدیده‌ای راکه بایدمورد استفاده، آشکار شدن یا اندازه‌گیری قرارگیرد... جذب می‌کند. بخش دیگری‌علائم الکتریکی تهیه شده به‌وسیلهٔ جذب‌کننده را می‌گیرد وآنهارا به‌علامت‌های دیگری که مشخصات موردنظرراداشته باشند تبدیل‌می‌کند: این‌بخش را «مبدل» می‌نامند. اما دراینجا این‌نام معنی‌کلی‌تری ازآنچه برای شماآشناست دارد. دریایان بخش



آخر، «پس دهنده» است که از علائم الکتریکی تبدیل شده، عملی را که از مجموع دستگاه انتظار می‌رود، انجام می‌دهد.

مبتدی- تمام مطالب بینهایت پیچیده است. ترجیح می‌دهم یك مثال خوب و واضح بزنید.

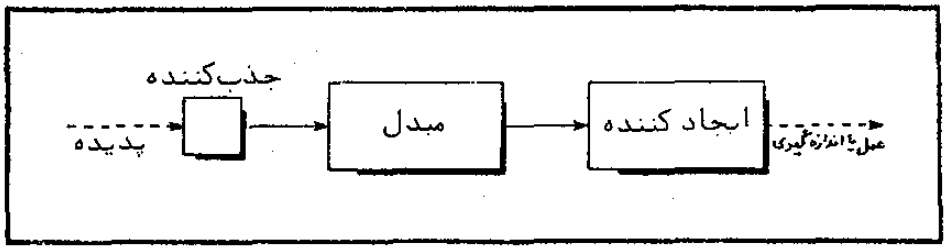
مهندس- بسیار خوب. در دستگاه شما، جذب کننده میکروفن بود که پدیده‌ای را که باید آشکار ساخت (صدا) به علائم الکتریکی «تعبیر یا برگردان» می‌کند. مبدل شما تقویت کننده‌ای بود که توان علائمی را که به‌وسیلهٔ میکروفن جذب کننده شما تهیه شده، بالا می‌برد. پس دهنده رله و دستگاه خبردهنده بود.

مبتدی- اما چگونه می‌توانستم صدا را به‌غیر از میکروفن با چیز دیگری جذب (طبق اصطلاح شما) کنم؟

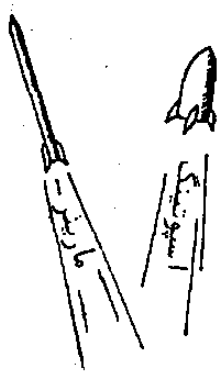
مهندس- آقای مبتدی نباید صدا را بکار می‌بردید بلکه چیز دیگری مثلا قطع کردن یك رشته اشعه نورانی به‌وسیلهٔ دزد را بکار می‌گرفتید. ترجیح دارد که از اشعه ماوراء قرمز استفاده کنید تا او چیزی نبیند و احساس نکند که متوجه ورود او شده‌اند و به‌کمك یك سلول فتوالکتریك...

مبتدی- آقای مهندس رحم کنید! من با هیچکدام از این‌ها آشنائی ندارم. اشعه ماوراء قرمز، سلول فتوالکتریك، این وسائل وحشتناک‌اند! باید دست‌کم دورهٔ فیزیك عمومی را تمام کرده باشم تا بتوانم چیزی از آنها بفهمم... و باور کنید که این کار یك شب نیست!

مهندس- آقای مبتدی اشتباه نکنید. می‌توانید الکترونیك را کاملا بفهمید بی‌آنکه تحصیلات مشکل و مفصل دانشگاهی داشته باشید. آگاهی‌هائی که از رادیو دارید، می‌توانند کمك بسیار زیادی به‌شما بکنند. از اینهم قدم فراتر



شکل ۲- تمام دستگاههای الکترونی یك جذب‌کننده دارند که پدیدهٔ مورد بررسی را به‌علائم الکتریکی برگردان می‌کند که قابل کاربرد در بخش «مبدل» باشد. این مبدل علائم خروجی را به‌«پس‌دهنده» می‌دهد که باید کار مورد نظر را انجام دهد و یا اندازه‌گیری را ممکن سازد.



می‌گذارم و می‌گویم نه‌تنها می‌توانید الکترونیك را بفهمید. بلکه باید آنرا بفهمید. شما جوانید، پس بازمان خودتان زندگی کنید. در عصر ماهواره‌ها، انعکاسهای رادار روی کره‌زهره، ماشین حسابهای برنامه‌ای، پژوهشهای هسته‌ای و الکترونیك صنعتی، دیگر نمی‌توانید به‌فن رادیو اکتفا کنید. باید افق خودتان را وسیع‌تر کنید...

مبتدی- چه‌سخنان زیبائی! احساس می‌کنم که در کاخ شاهان زندگی می‌کنم. اما از یك نظر حق باشماست و به‌همین جهت کاملا آماده‌ام مطابق گفتهٔ بسیار بجای شما «افق خودم را وسیع‌تر کنم». از کجا باید آغاز کرد؟ امیدوارم دربارهٔ ریاضیات بامن صحبت نکنید...

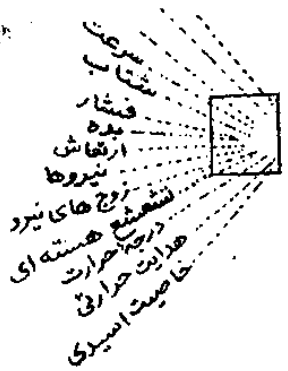
مهندسـ نه، مطمئن باشید. اگر آگاهی شما در ریاضیات کمی بیشتر شود (که بازهم چندان زیاد نخواهد شد) امکان می‌دهد که پدیده‌ها را بهتر بشناسید؛ اما به‌عقیدهٔ من، یك فرمول یا یك برابری (معادله) هرگز بیان‌کنندهٔ طرز کار یك دستگاه نبوده‌اند، پیش از آنکه جبر در کار دخالت داده شود، باید از نظر فیزیکی فهمید که طرز کار چگونه است.

اما برای اینکه به پرسش شما پاسخ داده باشم، به‌شما توصیه می‌کنم که از آغاز... شروع کنید، یعنی از جذب‌کننده‌های مختلف.

مبتدیـ بفرمائید! بمن بگوئید یك سلول فتوالکتریك چگونه کار می‌کند در نتیجه جذب‌کننده‌ها را کاملا فرا می‌گیرم.

مهندسـ شما چنان متواضعید که تواضع گل بنفشه در برابر تان هیچ است... وقتی دانستید سلول فتوالکتریك چگونه کار می‌کند (که تازه تنها وسیلهٔ حساس در برابر نور نیست که الکترونیسین‌ها آنرا بکار می‌برند). نمی‌توانید ادعا کنید که در بارهٔ جذب‌کننده‌ها «همه‌چیز» را می‌دانید. انواع آنها آنقدر زیاد است...

مبتدیـ اما غیر از نور وصدا چه چیز را می‌شود جذب کرد؟



مهندسـ در واقع تعداد کمی چیزهای دیگر هم هست مانند سرعت، شتاب، فشار، دبی debit (بده)، ارتعاش‌ها. نیروها، زوج‌های نیرو، تشعشع‌های هسته‌ای، درجه گرما، هدایت گرمائی، خاصیت اسیدی، رطوبت،...

مبتدیـ رحم کنید آقای مهندس! دیگر نگوئید! وحشتناك است؛ هیچوقت موفق به‌فهمیدن کار جذب‌کننده‌های وابسته به‌آنها نمی‌شوم. بهتر است فوراً از اینکار دست بکشم.

فراگیری اصولی

مهندسـ کاملا اشتباه می‌کنید. شش ماه پیش وقتی فرا گرفتن زبان انگلیسی را آغاز کردید، از اینکه ممکن است چهار هزار کلمه یاد بگیرید ولی نتوانید گفته‌های شکسپیر را بفهمید، از اول ناراحت شدید؛ قطعاً وقتی کسی به‌سن شما باشد، می‌خواهد تمام مطلب‌های وابسته به‌یك موضوع را بداند. اما اگر بتوانید تعدادی از این جذب‌کننده‌ها وروش کاربرد آنها را بدانید، بازخیلی خوبست.

مبتدیـ حالا درست شد، برای من از الکترونیکی صحبت می‌کنید که برای مردم عادی خوبست...

مهندسـ آقای مبتدی بالاخره چه‌وقت «عقده ریاضیات» شما از بین می‌رود؟ به‌نظر شما رادیوئی که برایتان گفتم به‌درد مردم عادی می‌خورد؛ راستی اینطور فکر می‌کنید؛ باور کنید که می‌توانم چیزهای جالب وزیادی در الکترونیك بشما بیاموزم. که از آن پس با خواندن مجله‌ها، کتاب‌ها وبخصوص باکارهای عملی می‌توانید دانش خودتان را کامل کنید. ابتدا برای فهمیدن حرفهای من. چندان دچار زحمت نمی‌شوید وپس ازچند گفتگو بین خودمان. از فهمیدن بسیاری از نوشته‌ها که اکنون برایتان کسل‌کننده است شگفت‌زده خواهید شد.

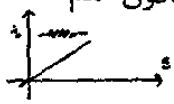
مبتدیـ در واقع حق باشماست. دربارهٔ این جذب‌کننده‌ها آگاهی‌هائی بمن بدهید وآنوقت من الکترونیك را می‌دانم، چون درواقع الکترونیك همان رادیو است.

دشواری یك تعریف

مهندس- بهیچوجه موافق نیستم! اگرمیل دارید می‌توانید بگوئید رادیو جزئی از الکترونیك است. الکترونیك ازآن آغاز شده است،کسانی رامی‌شناسم که دررشتهٔ الکترونیك کارمی‌کنند ودر مدت ده‌سال نه به‌آنتن دست زده‌اند ونه به بلندگو ویا میکروفن.

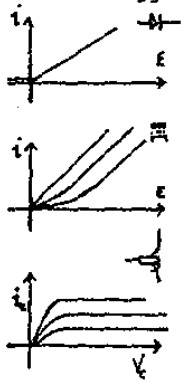
مبتدی- پس‌قبل‌ازاینکه ازمطلب دورشویم،الکترونیك را چگونه تعریف می‌کنید؟

قانون اهم



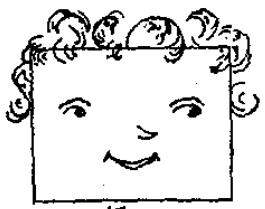
مهندس- این حرفتان درست! باید بگویم‌که منهم دنبال همین‌کار بودم... ببینید آقای مبتدی، سئوال ناراحت‌کننده‌ای کردید. کوشش می‌کنم به شما پاسخ بدهم ومی‌گویم‌که الکترونیك فنی‌است‌که حرکت بارهای الکتریکی را درملاءهای دیگری غیر ازفلزات (مثلا خلاء، گازهای با ایونیزاسیون و نیمه هادی‌ها) مورد کاربرد قرارمی‌دهد وباآنکه روی الکتریسیته تقریباً «به حالت خاص» کارمی‌کند، مانند (اینرسی) راندیده می‌گیرد. برقراری یاقطع یك مدادبرقی با وسایل‌معمولی، مستلزم جابجائی دو رسانای جرم‌دار برای وصل‌کردن بهم یا جداکردن ازهم‌است. اینکار مدتی وقت می‌گیرد. اگر نیروی بارهای الکتریکی عمل شود.که عملا بدون جرم هستند. این‌کاررا خیلی تندترمی‌توان انجام داد.

الکترونیک



زمان‌درالکترونیك‌مفهوم‌کاملاخاصی‌داردیعنی‌آنرابه‌صورت‌میکروثانیه(Ms) درنظرمی‌گیرندکه‌یك ملیونیم ثانیه است. حتی نانوثانیه (Ns) راکه یك‌میلیاردیم ثانیه است بکار می‌برند. بالاخره گمان می‌کنم می‌شودگفت‌که الکترونیك از جائی آغازمی‌شودکه قانون اهم تمام می‌شود.

مبتدی- ولی اینکار امکان‌ندارد! دریك تقویت‌کننده (که بهرحال‌الکترونی است) مقاومت‌های زیادی وجود دارندکه ازقانون اهم پیروی می‌کنند!



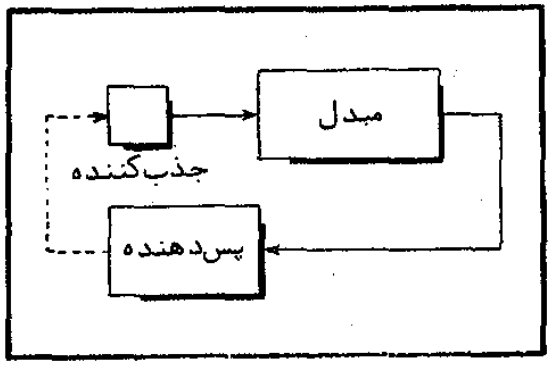
دستگاه

مهندس- چیزی را کـه من نگفته‌ام بمن نسبت ندهید! الکترونیك از عنصرهای غیراهمی‌استفاده می‌کند. اماازعنصرهای متداول الکترونیك‌هم‌استفاده می‌کند وبهمین‌جهت است‌که آشنائی باالکتریسیته عمومی تا این‌حد درالکترونیك اساسی است وحتی بیشترازآنچه‌که درزمینهٔ محدود رادیو موردنیازاست.

مبتدی- خوب قبول می‌کنم. امـا برای اینکه قلمـروی گستردهٔ دانش الکترونیك را با هم بپیمائیم چه بایدکرد؟ (می‌بینید که ظرافت شما در سخنرانی واگیر دارد)

مهندس- گمان می‌کنم اساس این‌کاررا برایتان مشخص‌کرده باشم. ما از جذب‌کننده‌ها. ازبخشی ازالکترونیك که علامت خارج شده ازجذب‌کننده را تبدیل می‌کند وسپس ازپس‌دهنده‌که عمل موردنظررابدست می‌دهد. گفتگوخواهیم‌کرد. برای اینکه دانش شما در بارهٔ بعضی از مونتاژهای الکترونی‌که بعداً برای ما سودمند خواهند بود.کامل شود. به‌بررسی شمارش الکترونی وکاربردهای آن درماشین‌حسابها می‌پردازیم. بالاخره با استفاده از اثرپس‌دهنده روی جذب‌کننده (شکل ۳) یعنی «یك دستگاه دوسربسته»دستگاههای فرمان‌دهنده ومحاسبه به وسیلهٔ قیاس‌الکتریکی را می‌سازیم. اگرباز هم سرحال بودید از اندازه‌گیری زمان که‌کاربردهای زیادی

دارد، صحبت می‌کنیم و بعد خواهیم‌دید که الکترونیك چه‌کارهائی برای زیست‌شناسی می‌تواند انجام دهد ودر نجوم، در...



شکل۳ـ در یك دستگاه دوسر بسته، پس‌دهنده روی جذب کننده اثر می‌گذارد.

مبتدیــ رحم‌کنید! زیر اینهمه بارخفه خواهم شد!

مهندســ نه، بهیچوجه! میل دارید فردا کارمان را آغازکنیم؟

مبتدیــ بهتراست پس فردا باشد. با خواندن دوبارهٔ مطالبی که در بارهٔ رادیو برایم گفتید کار را آغازخواهم‌کرد.

مهندســ فکر بسیار خوبی است. اینکار خیلی سودمند است. بخصوص مطلب‌هائی را که با الکتریسیتهٔ عمومی، لامپهای الکترونی و مبدل‌ها وابستگی دارند، بخوانید. اما خودتان را با خواندن جزئیاتی‌که فقط به رادیووابسته است خسته نکنید.

مبحث دوم

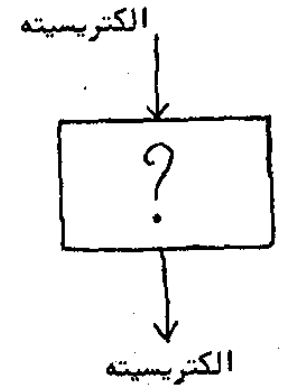
دوستان ما از «جذب کننده‌ها» صحبت می‌کنند یعنی دربارهٔ همان وسایلی که پدیدهٔ مورد بررسی را به علائم الکتریکی قابل کاربرد تبدیل می‌کنند. حتی اگر این پدیده از نوع الکتریکی باشد، گاهی لازم است یک جذب کننده وجود داشته باشد (مثلا برای فشارهای مستقیم یا فشارهای بسیار زیاد الکتریکی). برای میدان‌های مغناطیسی هم جذب کننده‌های ساده‌ای وجود دارند. اگر جذب نیرو مورد نظر باشد، می‌توان مقاومت‌های مخصوصی بکار برد، که با افزایش درازای آنها زیر اثر نیرو، تغییر می‌کنند و مقدار آنرا به وسیله پل ویتستون اندازه می‌گیرند. در آخر، تارهای مرتعش و پدیدهٔ پیزو الکتریک هم امکان اندازه‌گیری نیروها را بوجود می‌آورند.

جذب کننده‌های برقی، مغناطیسی و جذب کننده‌های نیرو

مهندس ـ خوب آقای مبتدی سرحال هستید؟

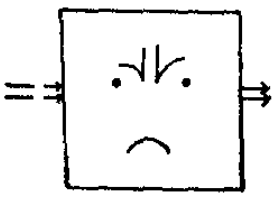
مبتدی ـ بله، بد نیستم. چند فرمول هست که بخوبی آنها را نفهمیده‌ام. اما رویهمرفته، تمام یادداشت‌هائی را که درجریان گفتگوی اول خودمان برداشته بودم، تقریباً به آسانی مرور کردم. خوب، امروز که از جذب کننده‌ها صحبت می‌کنیم، به من بگوئید که این سلول‌های فتوالکتریک چگونه کار می‌کنند؟

مهندس ـ آقای مبتدی حالا نه. گفتگو را با جذب کننده‌هائی آغاز می‌کنیم که دربرابر عملیات الکتریکی حساس هستند.



از الکتریسیته به الکتریسیته

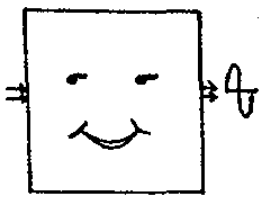
مبتدی ـ آقای مهندس مسخره‌ام کرده‌اید! برایم شرح دادید که یک جذب کننده پدیدهٔ مورد بررسی را به علامت‌های الکتریکی تبدیل می‌کند. اگر خود پدیده الکتریکی باشد، چیزی برای «جذب» وجود ندارد. کار انجام شده است!



مهندس ـ تصدیق می‌کنم که در بعضی موارد حق با شماست. اما همیشه اینطور نیست. ممکن است که «پدیدهٔ الکتریکی» بطور مستقیم قابل کاربرد نباشد. در اینصورت برای اینکه قابل کاربرد شود، باید آنرا به وسیلهٔ «مبدل» تغییر داد. دستگاهی که باید این تغییر را ایجاد کند یک «جذب کنندهٔ» واقعی است. حالا نخستین مثال را برایتان می‌آورم. فرض کنید که این پدیده یک فشار بسیار ضعیف مستقیم باشد، با آن چه می‌کنید؟

مبتدی ـ کار را با گذاشتن آن به یک تقویت کننده آغاز می‌کنم...

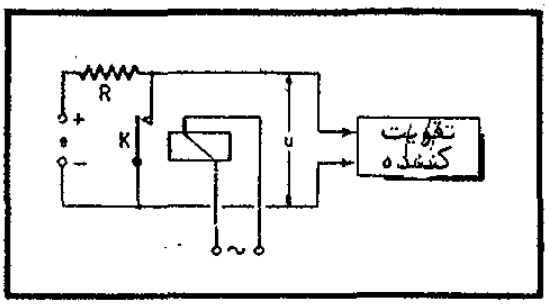
مهندس ـ منتظر همین حرف بودم! آقای مبتدی تقویت کننده‌هائی که شما می‌شناسید غیر از فشارهای متناوب چیزی را تقویت نمی‌کنند. قبول دارم که بزودی دربارهٔ تقویت کننده‌هائی که فشارهای مستقیم را تقویت می‌کنند، صحبت خواهیم کرد،



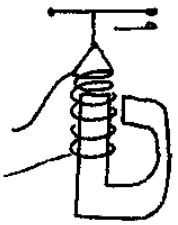
اما خواهید دید که این دستگاه‌ها هم ترجیح می‌دهند که فشار ورودی به آنها تا حد کافی قوی باشد، وگرنه باید ضریب بهرهٔ آنها را خیلی زیاد کرد و انشعاب آنها ممکن است باعث زحمت ماشود. بجاست که به پیشرفت‌های بدست آمده در تقویت کننده‌های دیفرانسیل که به روش مدار مجتمع ساخته‌اند توجه کنید، مثلا مدار مشهور μA۷۰۹ (یا ۷۰۹B۴ یا SFC ۲۷۰۹) یك تقویت کنندهٔ کامل است، که از ورودی تا خروجی آن تزویج کاملا مستقیم دارند، وضریب بهرهٔ فشار آن دست کم ۳۰۰۰۰ است (به تقویت کننده‌های عملی صفحهٔ ۲۷۱ نگاه کنید). نه، بهتر است فشار مستقیم مورد نظر را به یك فشار متناوب تبدیل کنیم...

مبتدیـ از هم اکنون می‌توانم بگویم که در اینجا از مبدل استفاده نخواهید کرد، زیرا مبدل فقط برای فشارهای متناوب قابل کاربرد است.

مهندسـ کاملا حق دارید. یکی از همین ویبراتورها را بکار می‌برم که بطور مخصوصی ساخته شده‌اند و آنرا «قطع کننده» می‌گویند. این دستگاههای لهای بسیار دقیقی هستند (و متأسفانه بسیار گران) که آنها را بسیار سریع به ارتعاش درمی‌آورند اگر به شکل خلاصه شده آن در زیر نگاه کنید (شکل ۴) می‌بینید که فشار u در ورودی تقویت کننده وقتی اتصالی K مرتعش شونده باز است، برابر e می‌باشد (فرض می‌کنیم که مقاومت ورودی تقویت کننده نسبت به مقاومت R بزرگ است). اما وقتی K بسته است، u تقریباً صفر است، البته با فرض اینکه مقاومت اتصالی K نسبت به R خیلی کوچك باشد. بنابراین فشار u متناوب است، یا بهتر بگوئیم، دارای یك مؤلفه متناوب است که تقویت کننده آنرا بطور صحیح تقویت می‌کند و پس از آن آشکار خواهیم ساخت.

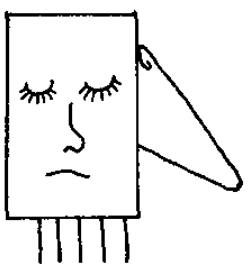


شکل ۴ـ اتصالی K که بطور دوره‌ای بسته و بازاست، فشار مستقیم e را به فشار متناوب u که تقویت آن ساده‌تر است، تبدیل می‌کند (مستطیل کوچك در شکل نشانهٔ اختصاری سیم‌پیچی قرقره با هستهٔ مغناطیسی است)



مبتدیـ این دستگاه بسیار زیرکانه است. اما اتصالی K را چطور به ارتعاش درمی‌آورید؟

مهندسـ طرز کار آنرا روی شکل خلاصه‌ای که کشیده‌ام می‌بینید به این ترتیب که جریان متناوب مثلا ۵۰ هرتز برق شهر را به قرقره می‌دهم. در این قرقره آهن‌ربائی هست که باعث می‌شود قطع و وصل کننده، مدار را فقط ۵۰ بار در ثانیه قطع کند نه صد بار...



مبتدیـ این حقه را بلدم، بهمان ترتیب است که در گوشی‌های تلفن و یا بلندگوهای مغناطیسی قدیمی عمل می‌کردند. اما بگوئید ببینم نمی‌توانیم در اینجا

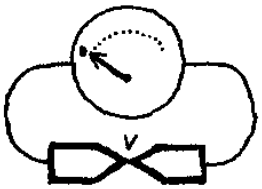
همان روشی راکه در بلندگوهای دینامیك متداول است، بکاربریم و اتصالی را بوسیلهٔ یك قرقرهٔ متحرك بکار بیندازیم؟

مهندس- نه‌تنها اینکار انجام شدنی است بلکه شروع به‌ساختن آنهم کرده‌اند وگمان می‌کنم آینده مال آن باشد.

مبتدی- خوب، اینکار را بیشتر دوست دارم. اما چرا می‌گوئید این رله‌ها اینقدر گران هستند. در واقع غیر از رله‌های نسبتاً سریع چیز دیگری که نیستند؟

مهندس- برای شروع بکار به‌تعداد دفعاتی‌که اتصالی باید کار کند، فکر کنید. پنجاه بار درهرثانیه بسته و بازشدن، ۱۸۰۰۰۰ بار در هرساعت‌که هرروز ۴/۳۰۰/۰۰۰ بار می‌شود...

مبتدی- رحم‌کنید و دیگر نگوئید درهرماه چقدر می‌شود، چون تاهمینجا هم احساس خستگی می‌کنم!



مهندس- رله قبل ازشما خسته خواهد شد ولی انواع خوب آن حداکثر صدساعت کاررا تأمین می‌کنند. همچنین قرقره نباید درحلقه‌ای‌که بوسیلهٔ اتصالی تشکیل می‌شود، هیچگونه فشاری القاءکند، البته بدون درنظرگرفتن پس‌مانده‌های احتمالی فشارهاکه پس‌از بسته شدن اتصالی ممکن است وجود داشته باشند.

مبتدی- بااین موضوع دیگر موافق نیستم! وقتی دوفلز باهم تماس پیدا کنند، یك اتصال‌کوتاه بوجود می‌آید، اینطور نیست؟

مهندس- دو فلز کاملا شبیه بهم بله (که درآنهم حرف است). اما وقتی اندازه‌گیری فشارها را برحسب یك هزارم ولت (میلی ولت) آغاز می‌کنیم، مطلب به‌این سادگی‌هم نیست. بالاخره درنظر داشته باشیدکه ساختن این مرتعش شونده‌ها مشکل است... و برای خرید آنها باید پول حسابی داد.

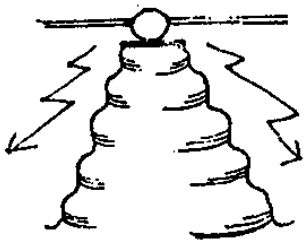
بجای مرتعش شونده‌ها می‌توان بطورمؤثر یك دستگاه مدولاتور تمام یا هیچ‌که بانیمه‌هادی‌ها کار می‌کند گذاشت‌که عموماً آنرا «قطع‌کننده» (Chopper) می‌گویند، بهترین راه حل بکار بسردن یك ترانزیستور با اثر میدان[1] است که وقتی شبکه پلاریزاسیونی ندارد، کانال یا راه سیلیسیوم بین الکترود منبع و الکترود مجرای آن‌کمترین مقاومت را دارد (غالباً بین ۶۰ تا ۳۰۰ اهم) در حالی‌که بمحض منفی شدن بارشبکه مقاومت بین منبع ومجرا عملا بینهایت‌است. باگذاشتن یك فشار مدولاسیون به‌این شبکه می‌توان همان نقش (یا تقریباً همان نقش) اتصالی یك مرتعش شونده را از فضای بین منبع ومجرا خواست بااین‌فرق که فشار اتصالی و البته خستگی را کاملا حذف می‌کنیم زیرا واضح است‌که در ترانزیستور بااثر میدان ازنظر مکانیکی چیزی جابجا نمی‌شود. تنها فرقی‌که با مدولاتور مکانیکی دارد اینست‌که در حالت «بسته» مقاومت منبع ـ مجرا در مدار باقی‌می‌ماندکه ممکن است تاصد اهم برسد، درحالی‌که وقتی اتصالی رله بسته‌است. مقاومتی تقریباً برابر صفر دارد.

مبتدی- از طرز بیان شما... می‌فهمم‌که فصل جذب کننده‌های الکتریکی پایان یافته است.

---

۱. نگاه‌کنید به‌کتاب «ترانزیستور؟... بسیار ساده است!»

فشارهای بسیار قوی

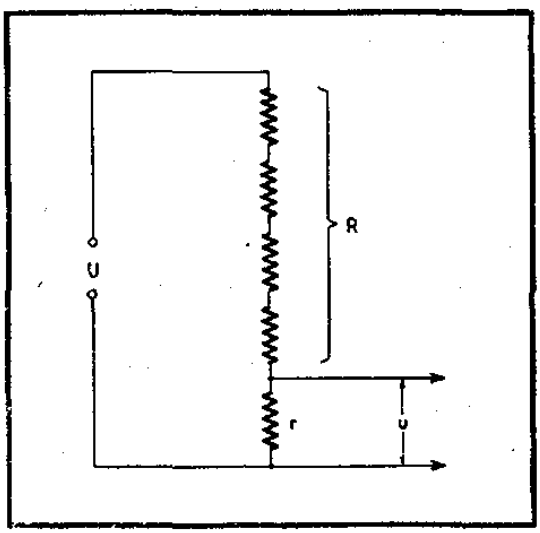


مهندسـ هنوزخیلی مانده‌است. مسلماً نمی‌توانیم همه‌را از نظربگذرانیم، امااز‌شما می‌پرسم‌که یك‌فشارمتناوب قوی، مثلافشاری‌که مقدار مؤثر آن۳۰۰۰۰ ولت باشد، چگونه بکار می‌برید؟

مبتدیـ ابتدا خیلی دقت می‌کنم.

مهندسـ کاملا حق دارید. اما این کار کافی نیست، بلکه باید این فشار را بکاربرد. تصور می‌کنم‌آنرا مستقیماً به‌شبکهٔ یك تقویت‌کننده نمی‌گذارید؟

مبتدیـ این دیگر دور از انصاف است، درست است‌که من حرفهای پرت ویلا زده‌ام اما تااین حد نبوده است نه. کار را باگذاشتن این فشار به‌یك پتانسیومتر شروع می‌کنیم...

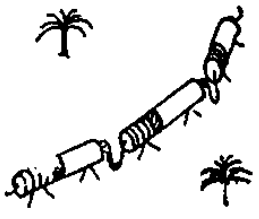


شکل۵ـ تقسیم‌کنندهٔ‌فشاربرای فشار زیاد U. مقاومت R از چندین‌مقاومت‌تشکیل‌شده است برای‌اینکه‌هرکدام‌دردوسرشان فشار زیادی تحمل نکنند.

مهندسـ عجب! عجب! اگر پتانسیومتر رااز نوع متداول بگیرید، فقط منفجرخواهد شد. نباید فراموش‌کنیدکه یك فشار۳۰۰۰۰ ولت می‌تواند درهوا، درفاصله‌ای بیشتر از ۴۰ میلیمتر جرقه ایجادکند. اگر ناچار باشید، می‌توانید یك تقسیم‌کننده فشارمخصوص مانند شکل ۵ بسازید. فشار خروجی به‌نسبت

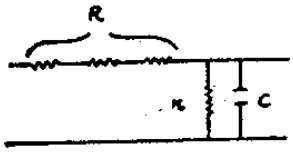
$$\frac{u}{U}=\frac{r}{R+r}$$

کاهش یافته است.



مبتدیـ خوب، این مطلب به‌نظر من درست است. اما چرا مقاومت R از چندین مقاومت پیاپی تشکیل شده است؟

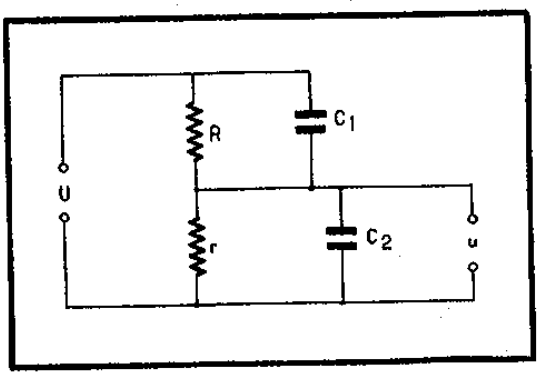
مهندسـ من‌فقط چهارتای‌آنها راکشیده‌ام. در واقع، بیشتر‌ازصدمقاومت می‌گذارم تا در دوسرهریك از آنها حداکثر۳۰۰ ولت فشار وجود داشته باشد. غیراز مواردی‌که نوع کاملا ویژه‌ای ساخته شده باشد، یك مقاومت معمولی به‌سبب آنکه عایق بودنش باید حفظ شود، نمی‌تواند بیش از این فشاری تحمل‌کند. فقط



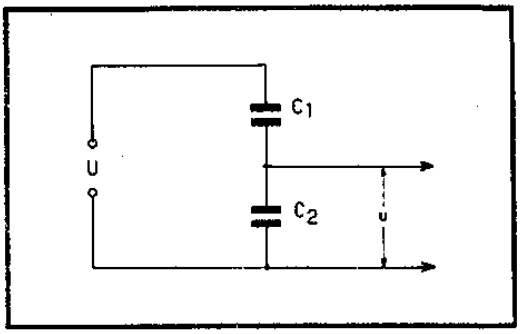
توجه‌کنید که مقاومت r، برعکس آنکه به‌حرف کوچك نمایش داده شده، مقدار نسبتاً زیادی دارد. فراموش نکنیدکه فشار شما متناوب است وناچار یك ظرفیت مزاحم C موازی با r وجود داردکه همان ظرفیت مزاحم بین رشته‌های وصل‌کننده رسرهای ورودی دستگاه الکترونی است‌که فشار گرفته شده از دو سر r را به آن می‌گذارید.

مبتدیـ منظورچیست؟ به‌نظرمن چندان اهمیتی ندارد.

مهندسـ اشتباه می‌کنید دوست من! خازن C می‌تواند درفرکانس مورد نظر، دارای یك مقاومت ظاهری باشدکه مقدار آن نسبت به‌مقاومت r بی‌نهایت نباشد؛ دراین‌حال نسبت‌کاهش در تقسیم‌کننده فشار شما پائین می‌آید.



شکل۶ـ برای اینکه تقسیم‌کننده $R-r$ وابسته به‌پریود نباشد (برای اینکه $\frac{U}{u}$ مستقل از فرکانس باشد) باید رابطهٔ $RC_1 = rC_2$ بین‌آنهابرقرارباشد.



شکل۷ـ اگرفقط فشار متناوب موردنظر باشد، می‌توان با دو خازن یك تقسیم کنندهٔ فشار ساخت.

مبتدیـ لعنت برشیطان! فکرش را نکرده بودم! پس‌کاری نمی‌شود کرد؟ آه چرا فهمیدم باید مقدار R و r راکم‌کرد.

مهندسـ آرامتر، با این‌کارجریان زیادی از منبع U می‌گیرید. ممکن است نتواند این جریان‌را برایتان تهیه‌کند و ازاین‌گذشته این‌کار باعث‌می‌شودکه توان زیادی روی مقاومت R از بین برود.

مبتدیـ فکری‌بخاطرم رسید! حالاکه ناراحتی ما از وجود ظرفیت مزاحم در دو سر r است. باید با جای دادن یك خازن در دوسر R بتوان آنرا برطرف کرد.

مهندسـ بسیار خوب آقای مبتدی، فکرتان بسیار عالی است. اینکار عملا انجام می‌شود و اگرداشته باشیم $RC_1 = rC_2$ جبران آن‌کامل است (شکل ۶).

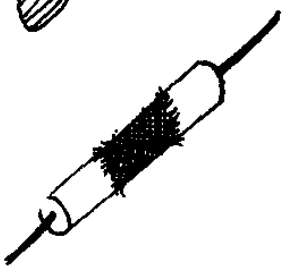
دراین رابطه C_2 ظرفیت مزاحم‌است. اگرمدار محدود به‌فرکانسهائی باشدکه‌خیلی کم نیستند می‌توان مونتاژ را ساده‌ترکرد و دراین‌صورت تقسیم‌کنندهٔ ظرفیتی‌فشار بدست می‌آیدکه آنرا برایتان می‌کشم (شکل۷). فرض می‌کنم‌که مقاومت ورودی R دستگاهی‌که فشارکم شده u را به‌آن می‌گذاریم نسبت به‌مقاومت ظاهری خازن C_2 تقریباً بینهایت باشد. دراینصورت می‌توانم بگویم‌که بار الکتریکی‌که در هر نیم‌پریود از C_1 و C_2 می‌گذرد یکسان است. ازآن می‌توان نتیجه‌گرفت‌که

$$uC_2=(U-u)C_1$$

و از آنجا بدست می‌آید...

مبتدیـ خواهش می‌کنم نتیجهٔ آخر را بگوئید، من بشما اعتماد دارم.

مهندسـ یك سطرمحاسبه‌کافی است تا رابطهٔ زیربدست‌آید



$$\frac{u}{U}=\frac{C_1}{C_1+C_2}$$

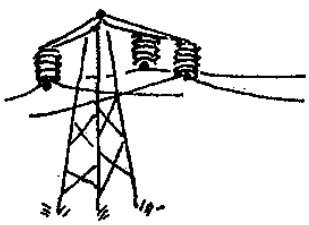
مبتدیـ کمی شبیه به‌فرمولی است که برای تقسیم کنندهٔ فشار مقاومتی بدست‌آوردیم. از هم‌اکنون حدس‌می‌زنم‌که بمن خواهیدگفت ظرفیت مزاحم اهمیتی ندارد وکافی است C_2 راکسرکنیم و...

مهندسـ کاملا درست است. آقای مبتدی تعارفات مرا بپذیرید.

مبتدیـ خواهش می‌کنم، من همیشه اینطورم. اما درمورد خازن C_1 هم حتماً همان‌ناراحتی‌که قبلا درباره مقاومت R گفتید وجود دارد. بدون شك صدهٔ خازن C را بطور پیاپی با هم می‌گذارید؟

مهندسـ نه، بهیچوجه و برتری این نوع تقسیم‌کنندهٔ فشار درهمینجاست برای اینکه خازن C_1 را که ظرفیت بسیار کمی دارد، می‌توان طوری پیش‌بینی کردکه‌تمام‌فشار U را تحمل کند. مثلا می‌توان یك تکه ازکابل رادیولوژی راکه روکش خارجی‌آن مس است و در وسط عایق پلی‌تن **Polythène** با یك سیم مرکزی دارد و مثل‌کابل هم‌مرکز است، بکار برد. بین سیم درونی وپوشش فلزی خازنی تشکیل می‌شودکه درحدود ده پیکوفاراد ظرفیت دارد.

جذب‌کنندهٔ میدان الکتریکی



مبتدیـ فکری هم به‌خاطرمن رسیده است.

مهندسـ معمولا فکرتان خطرناك است، با اینحال بگوئید.

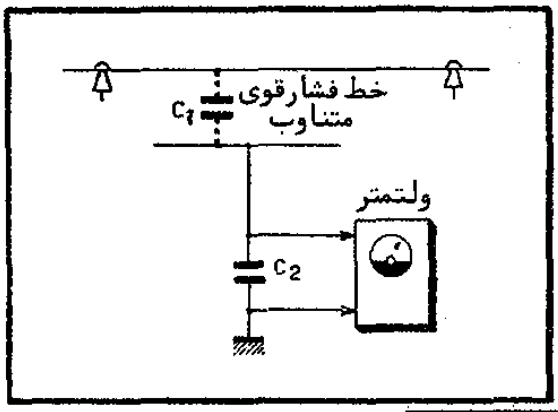
مبتدیـ کاملا اشتباه می‌کنید، زیرا فکرمن درست برای دوری از خطر است. موضوع اندازه‌گیری فشاری است‌که روی‌کابل هوائی فشار قوی ۶۰۰۰۰یا ۲۲۰۰۰۰ ولت وجود دارد. می‌توان زیرسیم‌ها، درفاصلهٔ ده‌متری یك سیم موازی گذاشت‌که جوشن دوم C_1 را تشکیل می‌دهد (شکل ۸) و دیگرکارتمام است!

مهندسـ آقای مبتدی مجدداً تعارفات مرا بپذیرید. فکرشماکاربرد هم پیدا کرده است. با وجود این چند دشواری وجود دارد(که نگهداشتن‌جوشن دوم C_1 دریك‌وضع ثابت نسبت به‌کابل فشارقوی وبه‌حساب‌آوردن‌کابل‌های‌فشارقوی‌دیگر

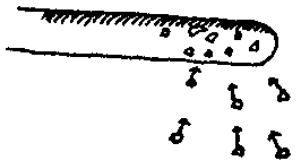
که نزدیک کابل موردنظرشما هستند، درشمار آنهاست). همانطورکه خود شما هم‌فکر کرده‌اید، موقعیتی راکه‌آرزو داشتم، پیش‌آوردید تا برایتان از جذب کننده‌های میدان الکتریکی صحبت‌کنم. دستگاهی‌که برایم شرح دادید یکی ازآنهاست، اما فقط برای میدان‌های متناوب کاربرد دارد.

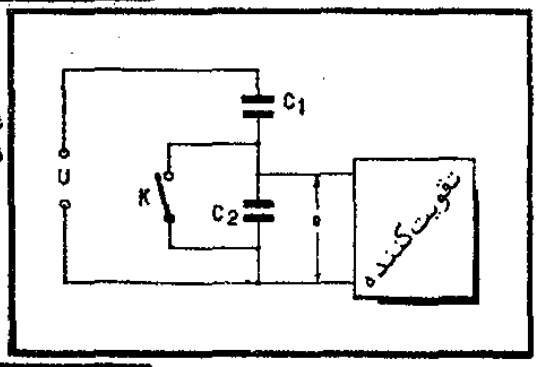
مبتدی‌ـ آه... بله... اما پیش ازآنکه این مطلب را دنبال‌کنیم یادآوری کنیدکه منظورتان از «میدان الکتریکی» چیست؟

مهندس‌ـ منظورم فقط‌وضع‌یك منطقه‌از فضادرهمسایگی بارهای‌الکتریکی است‌که باعث می‌شود یك نیرو روی تمام بارهای الکتریکی واقع در این منطقه تأثیرکند. وقتی یك میلهٔ پلاستیکی را به‌پارچه‌ای بمالید، میدان الکتریکی‌آنرا

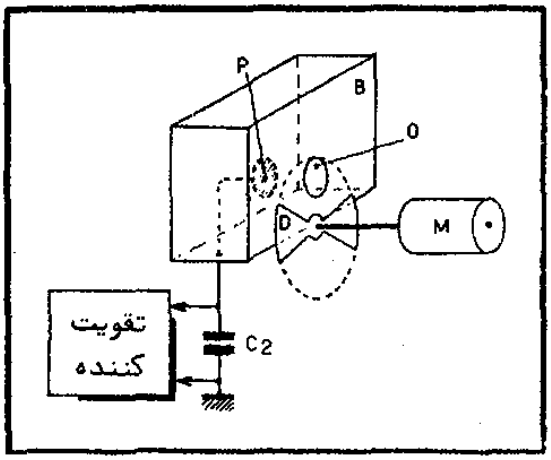


شکل۸ـ درحالتی‌که فشارازراه‌یك‌خازن بدست‌آمده باشد،نمی‌توان‌روش قطع‌کردن (شکل ۴) را بکاربرد.





شکل۹ـ تقسیم‌کنندهٔ فشار خازنی برای فشارهای بسیارزیادمتناوب. خازن C_1 به وسیلهٔ خط فشار قوی و یك‌سیم‌که در همسایگی‌آنست، تشکیل شده است.

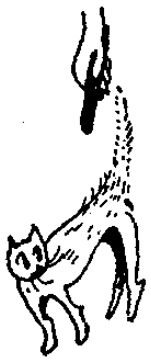


شکل۱۰ـ صفحه‌گرد P، که‌درجعبهٔ‌سربستهٔ B قراردارد، دربرابریك‌سوراخ O قرار گرفته است‌که صفحهٔ گردان D آنرا سد و باز می‌کند و به‌این‌ترتیب اثر میدان الکتریکی P به‌همان آهنگ مدولاسیون پیدا می‌کند.

احاطه می‌کند و باعث می‌شود که میله اجسام سبک را به‌خود جذب کند. بین کاتد و آند یك لامپ، میدان الکتریکی وجود دارد و الکترون‌ها را به‌طرف آند می‌کشد.

مبتدیـ متوجه شدم. اما دستگاه من برای همه میدانهای الکتریکی خوب است. اگر جریان مستقیم باشد، می‌توان یکی از همان مرتعش شونده‌هائی را که برایم گفتید بکار برد...

مهندسـ وحشتناك است! فرض کنید چیزی را که شما می‌گوئید بسازیم (شکل ۹). بجای میدان الکتریکی یك باطری با فشار زیاد U را بطور پیاپی با خازن C_1 قرار می‌دهیم. ویبراتور K را چندین بار قطع و وصل کنید به این ترتیب خازن C_2 را کاملا خالی می‌کنید که دیگر پر نمی‌شود و فشار e برای همیشه صفر خواهد ماند. نه ویبراتور فایده‌ای ندارد، اما برای تبدیل یك عامل مستقیم به عامل متناوب حق دارید چون کار بردآن آسانتر است؛ فقط نباید این کار را با فشار الکتریکی انجام دهید، بلکه با خود میدان این کار را بکنید.



ژیمناستیك خسته‌کننده

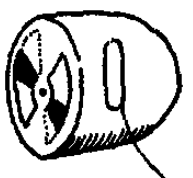
مبتدیـ این کار را با نزدیك و دور کردن بسیار تند قطعه فلزی متصل به خازن C_2 پرشده که میدان الکتریکی را ایجاد می‌کند انجام می‌دهیم؟

مهندسـ فکر خوبی است. اما گمان نمی‌کنم بتوانید به این قطعهٔ فلزی حرکت رفت و آمدی بادامنه قوی و ۵۰ پریود در ثانیه بدهید و اگر بتوانید نمایش خوبی برای سیرك است! بهتر است قطعه فلزی P متصل به خازن C_2 را در یك جعبه فلزی B (شکل ۱۰) قرار دهید که صفحه گردان و دریچه‌دار D که به‌وسیله موتور M به‌حرکت درمی‌آید، آنرا به‌طور متناوب بازکند و یا ببندد. وقتی دریچه باز است، بخشی از قطعه P زیر اثر میدان قرار می‌گیرد و وقتی دریچه مسدود است، از تأثیر میدان خارج می‌گردد. روی C_2 یك فشار متناوب ظاهر می‌شود و دیگر کاری نداریم جز اینکه به‌کمك یك تقویت کننده که «الکترومتر» نامیده می‌شود و بعدها دربارهٔ آن صحبت می‌کنیم، تقویت شود.

مبتدیـ درواقع کمی شبیه به‌روشی است که یکی ازدوستانم که با سیکلوترون Cyclotron کار می‌کند، بکار می‌برد...

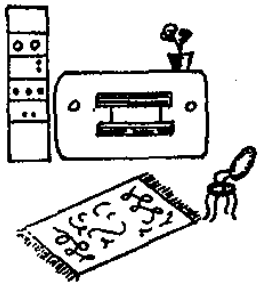
مهندسـ درمنزلش؟؟؟

مبتدیـ نه درمرکز اورسی (Orsay). او برای اندازه‌گیری میدان یك مغناطیس، قرقرهٔ کوچکی ازسیم دارد که در انتهای یك چوب عصا قرار گرفته و یك موتور آنرا می‌گرداند و فشاری را که درقرقره القاء می‌شود اندازه می‌گیرد.



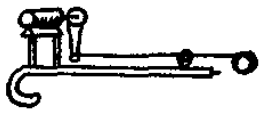
مهندسـ درحقیقت این روش در اندازه‌گیری میدانهای مغناطیسی دائمی متداول است. البته می‌شود طور دیگری هم عمل کرد. می‌دانید که آهن و فریت‌ها (Ferrites) (اکسید آهن مغناطیسی که طرز ساختمان آن شبیه به‌سرامیك‌هاست) خاصیتی دارند که در یك میدان مغناطیسی اشباع می‌شوند که این خاصیت معمولا مطلوب هم نیست. بنابراین کافی است یك میلهٔ آهنی یا فریتی را در یك میدان مغناطیسی قرار دهید و در این حال، اشباع ضریب قابلیت نفوذ آنرا تغییر می‌دهد (عاملی که باعث تمرکز خطوط نیرو می‌شود و اثرش زیادتر کردن ضریب خودالقائی

سیم‌پیچی است که آهن یا فریت در وسط آن قرار گرفته است) دراین صورت کاری غیراز اندازه‌گیری این ضریب قابلیت نفوذ باقی نمی‌ماندکه بطور ساده با مشخص کردن ضریب خودالقائی سیم‌پیچی‌که دورمیله قرارگرفته است، میدان مغناطیسی‌را تعیین می‌کنند. یك جذب‌کنندهٔ میدان مغناطیسی هم هست‌که بسیار جالب است و آن مقاومت مغناطیسی است. این جذب‌کننده یك نیمه هادی است‌که تقریباً مانند یك مقاومت خطی عمل می‌کندکه مقدار مقاومتش زیرتأثیر یك میدان مغناطیسی تغییرمی‌کند. به‌این‌ترتیب می‌توان اندازه‌گیری میدان‌مغناطیسی را به‌اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی تبدیل‌کرد و مثلا به‌وسیلهٔ یك پل‌ویتستون انجام داد.



مبتدیـ اگر میدان مغناطیسی شما متناوب باشد، این موضوع با گردش قرقرهٔ سیم‌پیچی و یا جریان متناوبی‌که بی‌شك برای اندازه‌گیری خودالقائی بکار می‌برید، اغتشاشی ایجاد نمی‌کند؟

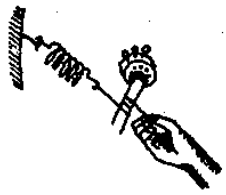
مهندسـ آقای مبتدی شما دنبال‌اشکال می‌گردید. اگرمیدان متناوب‌باشد، قرقره را بی‌حرکت نگاه میدارند و فشار القاء شده راآزمایش می‌کنند.



مبتدیـ در واقع اینکارآسانتراست. به این‌ترتیب دربارهٔ جذب‌کننده‌های فشارهای مستقیم (مرتعش شونده‌ها یا ویبراتورها) جذب‌کننده‌های فشارهای‌بسیار قوی (تقسیم‌کننده‌های فشار مقاومتی وخازنی) وجذب‌کننده‌های میدان الکتریکی ومغناطیسی (قرقره سیم‌پیچی‌گردان یا اشباع فریت) برایم صحبت‌کردید. حالا درچه موردی می‌خواهید صحبت‌کنید؟

جذب‌کننده‌های نیرو

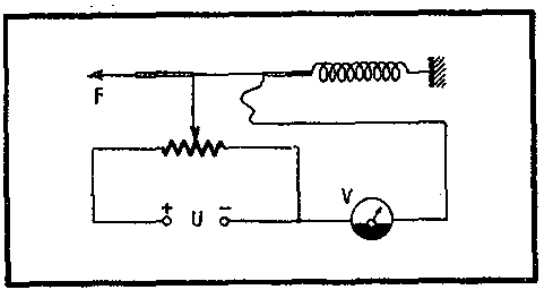
مهندسـ فکرمی‌کنم گفتگو دربارهٔ جذب‌کننده‌های حساس دربرابر نیرو، جالب باشد.



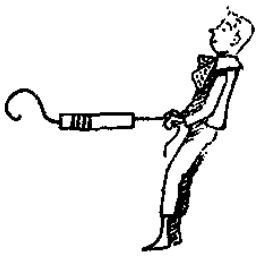
مبتدیـ شایدراهی برای اندازه‌گیری نیرو بطورالکتریکی وجود داشته باشد. اگرنیروی مورد بررسی‌را به‌سیمی واردکنیدکه درانتهایش‌فنری قرار دارد، هر چه نیرو بزرگتر باشد، این سیم درازتر می‌شود. بنابراین اگرسیم را به دور محور یك پتانسیومتر بپیچیم، با اندازه‌گیری‌های الکتریکی می‌توان مشخص کرد که پتانسیومترچه مقدار چرخیده است.

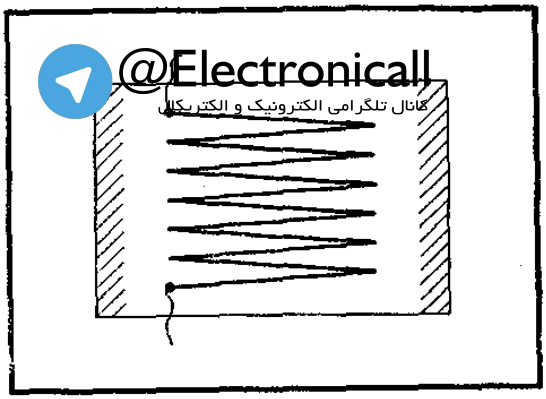
مهندسـ آقای مبتدی امروزکاملا سرحال هستید! همین دستگاه شما را با کمی تغییرغالباً بکارمی‌برند به‌این‌ترتیب‌که پتانسیومترازیك سرمتحرك تشکیل‌شده است‌که‌روی یك مقاومت می‌لغزد. این مقاومت روی یك بدنهٔ استوانه شکل پیچیده شده است‌وبنابراین نیازی نیست‌که سیم رادوریك محور بپیچند بلکه آنرامستقیماً به‌سرمتحرك وصل می‌کنند. یك فشار مستقیم (شکل ۱۱) به‌مقاومت‌گذاشته شده‌است ویك ولتمتر V که بین یك سرمقاومت وسرمتحرك قرارگرفته است، امکان‌خواندن وضعیت سرمتحرك یعنی نیرورا به‌صورت فشار الکتریکی بوجود می‌آورد. امانوع دیگری وجود داردکه بسیار متداول است‌وآن‌اندازه‌گیرفشاری با رشتهٔ مقاوم است.

مبتدیـ اسمش ناراحتم می‌کند، باید دستگاه بسیار پیچیده‌ای باشد!

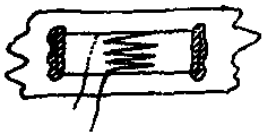


شکل۱۱ــ برحسب مقادیر گوناگون نیروی F، سرمتحرک پتانسیومتردرسمت راست یا چپ قرارخواهدگرفت. به‌این ترتیب مقدار نیرو را روی ولتمترمی‌خوانند.





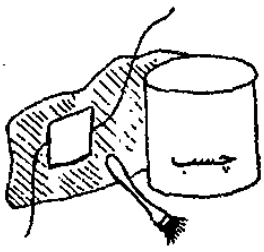
شکل۱۲ــ اندازه‌گیری فشاری ازیک‌سیم به‌شکل زیگزاگ (۷و۸) که روی یک کاغذ ثابت شده، تشکیل گردیده‌است.



مهندســ فقط اسمش پیچیده است. (تازه نام انگلیسی آنرا که به‌شکل کاملا فرانسوی Strain Gauge زیاد بکار رفته است به‌شما نگفته‌ام). آقای مبتدی، می‌بینید که مقدار یک مقاومت که از یک سیم نازک تشکیل شده باشد، وقتی کشیده شود تغییر می‌کند...

مبتدیــ آه! حالا می‌فهمم چرا! می‌گویند نباید سیم رابط مقاومت‌ها را درسیمکشی دستگاه‌ها کشید چون ممکن است مقدار آنها را تغییردهد و...

مهندســ اوه! اصلا علتش این نیست. بدواً بدانید که تغییراتی که برایتان گفتم فقط به‌چند هزارم (حداکثر ۰/۵ درصد) مقدار اصلی می‌رسد و بعد وقتی این پدیده طبق یک قانون شناخته شده بوجود می‌آید که فقط سیم یا رشتهٔ نازک فلزی باشد. توصیه‌ای که بشما کرده‌اند، و بنظرمن بسیار درست است، هدفش اینست که از خراب کردن مکانیکی مقاومت‌های بکار رفته در سیمکشی دوری شود. پس ببینید مقاومت‌های اندازه‌گیری، از یک رشتهٔ بسیار نازک درست شده‌اند که بطور ۷و۸ روی یک برگ کاغذ قرار دارند (شکل۱۲). این کاغذ را روی یک قطعه (که معمولا فلزی است) می‌چسبانند و فرض می‌کنند که این قطعه زیر اثر نیروهائی قرار گرفته است که آنها را «فشاری» (فشارهای درونی) می‌نامند که موجب تغییر شکل قطعه می‌شود. اگر کششی در کار باشد، بخشی از قطعه فلزی که مقاومت روی آن چسبانده شده، درازتر می‌شود، همینطور سیم مقاومت هم درازتر می‌گردد و مقدار مقاومت تغییر می‌کند.



مسئلهٔ قابلیت ارتجاع...

مبتدیـ ولی آقای مهندس این کار اصلا جور درنمی‌آید! شما می‌گوئید که قطعه فلزی است...

مهندسـ اینکار الزامی نیست، فقط بیشتروقتها اینطور است.

مبتدیـ بله، اگرگفته بودید لاستیکی است، قبول می‌کردم که زیر اثر یك نیرو تغییرشکل می‌دهد، ولی برای فلز قبول ندارم.

مهندسـ خبر تازه‌ایست! این میلهٔ نازك آهنی‌را نگاه کنید، اگر آنرا عمودی بگیرم کاملا راست است. آنرا بطور افقی می‌گذارم و یك انتهای آنرا درگیره‌ای قرار می‌دهم، می‌بینید که خم می‌شود. مجبورید بپذیرید که رشته‌های فلزی که در بالای میله هستند درازتر و رشته‌های فلزی زیر کوتاهتر شده‌اند.

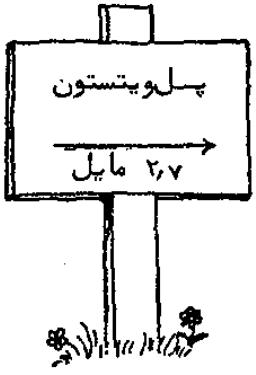
مبتدیـ نباید این مطلب را بمن می‌گفتید! وقتی از روی پل فلزی رد می‌شوم به‌این فکر می‌افتم که قطعه‌های آهنی کف پل دارند زیرپای من درازتر می‌شوند.

مهندسـ تا موقعی که آنها را از حد قابلیت ارتجاع نگذرانید، درازتر شدن آنها کاملا متناسب با نیروئی است که آنرا ایجاد می‌کند و جای ترس باقی نمی‌گذارد. پل «برای همین بررسی شده» است. از طرف دیگر درازترشدن بسیار کم است و برای مقاومت، جای خوشوقتی باقی است چون سیم آن نمی‌تواند بیشتر ازکسری از چنددرصد درازترشود و نشکند.

مبتدیـ قبول می‌کنم. اما یك مطلب ناراحتم می‌کند و آن اینست که بمن گفتید مقاومت به مقدار ۰/۵ درصد تغییر می‌کند و به‌این ترتیب مسلماً نمی‌توان تغییرات به‌این کمی را روی عقربهٔ اهم‌متر تشخیص داد.

اندازه‌گیری تغییرات کم مقاومت

مهندسـ البته. بهمین جهت برای این کار اهم‌متر بکار نمی‌برند. اندازه‌گیری را با مونتاژی انجام‌می‌دهند که دانش‌آموزان زرنگ‌را هم به‌وحشت می‌اندازد چون متوجه ساده‌بودنش نمی‌شوند. این مونتاژ پل ویتستون Wheatstone است.



مبتدیـ وحشتناك است! هیچوقت ازاین دستگاه موحش چیزی نفهمیدم چون داستان ترس‌آور چهار معادلهٔ چهار مجهولی است...

مهندسـ ما به‌طریقهٔ دیگری عمل می‌کنیم. شکل ۱۳ را می‌بینید. این شکل چیست؟

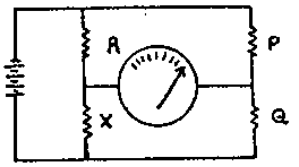
مبتدیـ چیزمشکلی ندارد چون یك قوه با دو تقسیم‌کنندهٔ فشار است.

مهندسـ خوب، آیا می‌توانید مقدار فشارهای u و v را بمن بگوئید؟

مبتدیـ اوه... بگذارید ببینم. گمان می‌کنم اگر به‌شکل ۵ مراجعه کنم بتوانم مقدار آنها را بدست بیاورم. به‌این‌ترتیب داریم:

$$v=\frac{Q}{Q+P}.E \quad و \quad u=\frac{X}{R+X}.E$$

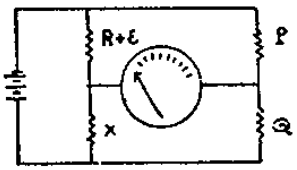
مهندسـ آقای مبتدی صددرصد درست است!... حالا بمن بگوئیدچه‌وقت u با v برابر می‌شود؟



مبتدیـ واضح است وقتی که $\frac{X}{R+X}.E=\frac{Q}{Q+P}.E$ باشد.

مهندسـ خوب حالا متوجه‌کاری‌که می‌کنم باشید:
دوطرف برابری را به E پخش می‌کنم و بدست می‌آید:

$$\frac{X}{R+X}=\frac{Q}{Q+P}$$



دراین نسبت حاصلضرب طرفین با وسطین مساوی است

$$X(P+Q)=Q(R+X)$$

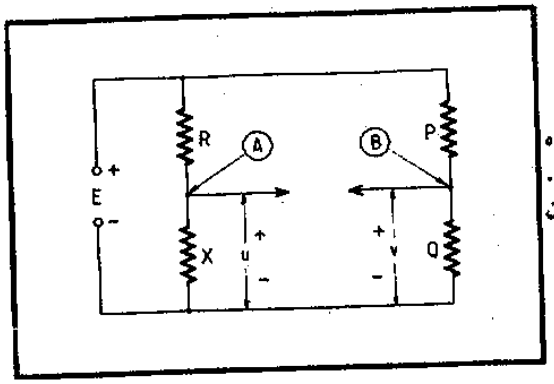
در نتیجه:

$$XP+XQ=QR+XQ$$

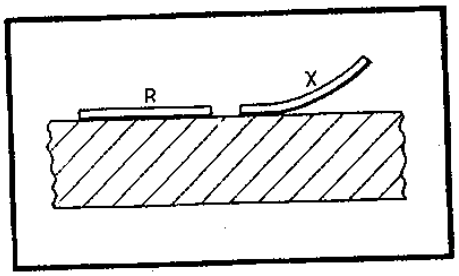
از دوطرف XQ راکسرمی‌کنیم می‌شود

$$XP=QR$$

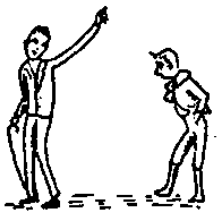
مبتدیـ تا اینجا فهمیدم...



شکل۱۳ـ یك‌پل‌ویتستون بطوربسیارساده از دوتقسیم‌کنندهٔ فشارتشکیل شده‌است. وقتی پل‌درحال تعادل باشد u=v وبین A وB دیگرفشاری وجود ندارد.



شکل۱۴ـ اندازه‌گیرفشاری R روی‌قطعه‌ای که باید بررسی شود چسبانده شده است ودرتغییرشکل‌آن‌که زیراثرنیروهای‌درونی است، شرکت دارد. اندازه‌گیر X فقطاز یك انتها چسبیده است وزیراثرنیروها قرارنمی‌گیرد، اما درهمان درجه‌گرمای مقاومت R قرار دارد و امکان آنـرا بوجود می‌آوردکه اثرنامطلوب‌گرما روی R جبران شود.

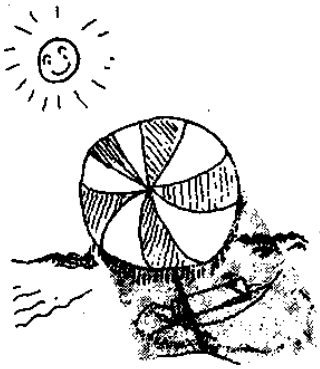


مهندسـ بسیارخوب، همینجا بایستید که‌کار تمام است. فرمولی‌که الان خواندید، فرمول تعادل پل ویتستون است، معنای این فرمول اینست‌که درمونتاژما (که یك پل‌ویتستون‌است) فشارهای u و v برابرند و این موضوع را به‌این‌ترتیب می‌توان مشاهده‌کردکه اگرولتمترحساسی بین نقطه‌های A و B گذاشته شود، عقربه روی صفرقرار خواهدگرفت.

مبتدیـ موافقم، پل ویتستون بسیار ساده است. اما این موضوع چه‌سودی برای اندازه‌گیرفشاری ما دارد؟

مهندسـ در نظربگیریدکه P ، Q و X مقاومت‌های ثابت باشند و R مقاومتی باشدکه در برابر درازترشدن حساس است. با تغییر مقاومت‌های P و Q پل را به‌حال تعادل در می‌آوریم. دراینحال عقربهٔ ولتمتری‌که بین A و B گذاشته شود، روی صفرمی‌ایستد. اگرمقدار R تغییرکند، هرچند این تغییربسیارکم باشد، u و v دیگربرابر نیستند و عقربهٔ ولتمترمنحرف می‌شود و اگرخیلی حساس باشد تا آخرزینه‌بندی می‌رسد.

مبتدیـ این روش بسیار جالب است! و این مقاومت R که فقط دربرابر کشش مکانیکی سیمی‌که آنرا تشکیل می‌دهد حساس‌است، چقدر درعمل سودمنداست!



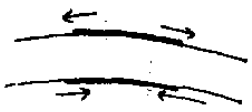
@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال

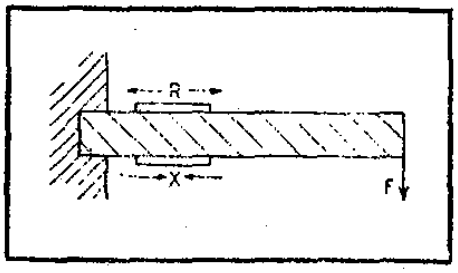
تأثیردرجهٔ گرما

مهندسـ حتی بسیار عالی است، چون مقاومت دست‌کم بهمان اندازه‌که دربرابر نیروها حساس است در برابرگرما هم هست. اما دراینجاست‌که‌پل‌ویتستون برتری بیشتری از خود نشان می‌دهد. در این حالت بجای X مقاومتی شبیه R قرار می‌دهیم‌که زیراثرفشارهای مکانیکی قرار ندارد. آنرا درکنار R جای‌می‌دهیم (شکل ۱۴) تا درهمان درجه‌گرمائی باشدکه مقاومت R قرار دارد، اما فقط یك‌سر آنرا می‌چسبانیم (تا از اینکه زیراثرنیروهای مکانیکی قرار بگیرد دوری‌کرده باشیم). تغییر درجهٔ‌گرما R و X را به‌یك نسبت زیرتأثیرمی‌گیرد، بنابراین‌گرما روی تعادل پل تأثیری ندارد مگرآنکه درازترشدن سیم مقاومت R تعادل پل را برهم بزند.

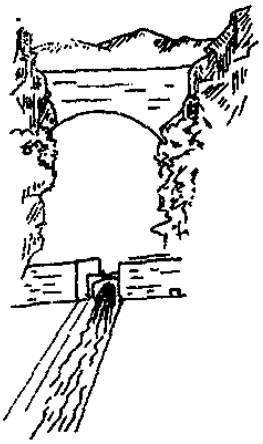
مبتدیـ این روش بسیار زیرکانه است! افسوس‌که مقاومت X فقط برای جبران واردکار می‌شود.

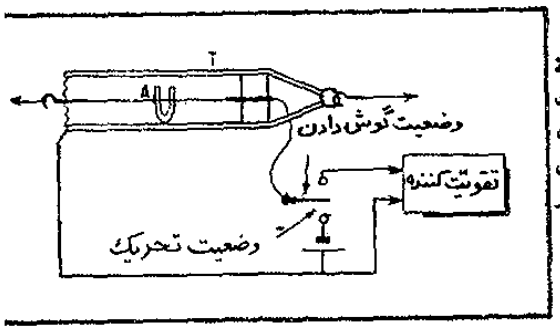
مهندسـ بهتراز این‌هم می‌شود عمل‌کرد. در مثالی‌که برای میلهٔ آهنی و خم شدن آن‌آوردم، بالای میله‌کشیده می‌شود وزیرآن فشرده می‌گردد. اگر اندازه‌گیرهای فشاری R و X را (شکل ۱۵) یکی را در بالا و دیگری را در زیر آن ثابت‌کنیم، اثرگرما بازهم جبران می‌شود (مگرآنکه بالای میله‌گرمترازپائین‌آن باشد) ولی زیاد شدن مقدار R (که درازترشده) با کم شدن مقاومت X (که بهم فشرده شده) ترکیب می‌شود تا حساسیت را بهترکند. حتی می‌توان بازهم حساسیت را بالا برد به‌این طریق‌که‌کشش و فشار را روی مقاومت‌های P و Q مؤثر ساخت





شکل۱۵ـ درحالت یك‌میلهٔ‌نازك‌که خم می‌شود، می‌توان‌طوری‌عمل‌کرد که‌اندازه‌گیر جبران‌کننده X بطورجدی‌تری دراندازه گیری دخالت‌کند به‌این‌ترتیب که‌وقتی آنرا درطرف دیگر میله بگذاریم هروقت R کشیده می‌شود، X فشرده می‌گردد.





شکل۱۶ــ یك رشتهٔ مرتعش که در شیشهٔ نگهدارنده‌ای کشیده شده و در دهانه یك مغناطیس قراردارد وزیرا ثریك نیروست، امکان اندازه‌گیری نیرورا به‌وسیلهٔ تغییری که درفرکانس نوسان مکانیکی اش پدیدار می‌شود، به‌وجود می‌آورد.

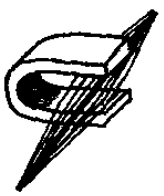
درحالی که این دو مقاومت هم اندازه‌گیرهای فشاری هستند و درنقطه‌های انتخاب‌شده ثابت گردیده‌اند.

تارهای مرتعش

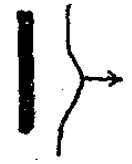
مبتدی‌ــ ولی آقای مهندس بگوئید ببینم آیا بعضی وقت‌ها بکار بردن اندازه‌گیرفشاری شما دشوار است؟ شنیده‌ام اندازه‌گیری‌های مقاومت مصالح رادر سدهای بزرگ درمحلی انجام می‌دهندکه از پلی‌که می‌خواهند مقاومت مصالحش‌را اندازه بگیرند نسبتاً دوراست. سیم‌های بسیار درازی وجود داردکه باید تغییرات درجهٔ‌گرما وتلف‌ها راکه همه‌چیز را مغشوش می‌کنند، واردکارکنند.

مهندس‌ــ خوب استدلال‌کردید. وقتی زیاد ناراحت بشوند، در اینصورت خاصیت دیگری ازسیم‌کشیده شده را بکارمی‌برندکه با نیروی‌کشش‌آن تغییرمی‌کند وآن فرکانس هم‌آهنگی سیم است.

مبتدی‌ــ چطور؟ با سیم و یك خازن مدار نوسانی درست می‌کنند؟

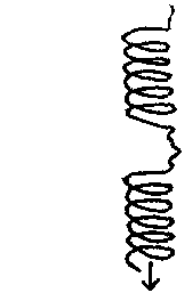


مهندس‌ــ کاملا ازمرحله پرت‌هستید. منظورم فرکانس هم‌آهنگی‌مکانیکی آنست. تاکنون یك نوازندهٔ ویلن را هنگام‌کوك‌کردن سازش دیده و صدای آنرا شنیده‌اید در این وضع برحسب‌کشش سیم، نت تغییرمی‌کند. در روش صوتی‌اندازه‌گیری‌تغییرات طولی (روش فنی‌اندازه‌گیری فشارها وتغییرطولی‌بدست‌آمده‌درنتیجه آنرا اینطور می‌نامند) سیم یا تارکه به‌وسیلهٔ یك لولهٔ فلزی T نگهداری شده در دهانهٔ یك مغناطیس A قرارگرفته است (شکل ۱۶). وقتی یك جریان متناوب از آن عبور دهند، تار می‌تواند بطور عمودی برمیدان‌مغناطیسی به‌ارتعاش در آید و اندازه‌گیری فرکانس هم‌آهنگی‌آن حتی از دورهم‌آسان است. مثلا می‌توان‌یك جریان را در زمان بسیارکوتاه از تارگذراند و این‌کار همان اثررا داردکه یك چکش روی تاریك پیانو نواخته شود. در این حال تار به ارتعاش در می‌آید و نوسانهای‌آن میراست. حرکت آن در دهانهٔ‌آهن‌ربا باعث می‌شود که در دوانتهای تار فشاری القاء شودکه فرکانس آنرا اندازه می‌گیرند. حتی در فاصله دور هم اندازه‌گیری این فرکانس ساده است. به‌این‌ترتیب اگرمثلا بین دوانتهای یك‌میله تاری بکشیم، به‌آسانی می‌توانیم تمام تغییراتی راکه ازنظرفاصله بین این دونقطه بوجود می‌آید اندازه بگیریم.

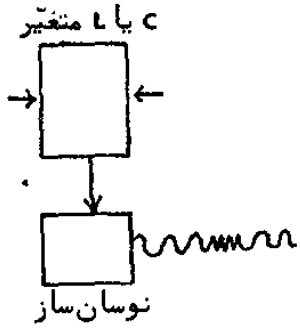


مبتدی‌ــ پس حالا جذب کنندهٔ نیروی جدیدی بدست آورده‌ایم! تصور

می‌کنم که این دسته هم تمام شده باشند؟



بازهم نیروها را اندازه بگیریم



مهندسـ هنوز خیلی باقی مانده است. بطورمثال خازنی را برایتان نام می‌برم که یکی از جوشن‌های آن می‌تواند تغییرشکل بدهد و یا باداشتن حالت ارتجاعی ثابت شده باشد و به‌این‌ترتیب برحسب نیروئی که به‌آن گذاشته می‌شود، کم و بیش از جوشن دیگر فاصله می‌گیرد و درنتیجه مقدار ظرفیت آن تغییرمی‌کند. بهمین‌ترتیب می‌توان فاصلهٔ بین دوسیم‌پیچی را که بطورپیاپی قرارگرفته‌اند تغییرداد ودر نتیجه تغییرضریب تزویج آن دو، ضریب خودالقائی تغییرمی‌کند. برای این دو می‌توان نوسان سازی ساخت که عنصرمتغیردرآن مدولاسیون فرکانس ایجادکند. همینطوراز بلورهای «پیزوـ الکتریك» نام می‌برم که وقتی آنها را زیر تأثیر نیرو قراردهیم، میدان‌های الکتریکی درآنها گسترش می‌یابند. از مادهٔ متبلورکه ممکن است سرامیك، کوارتز یا نمك مخصوصی باشد، درجهت مناسب تیغه‌ای درست می‌کنند، دو رویهٔ آنرا فلز قرار می‌دهند و وقتی روی‌آن نیروهای مکانیکی واردمی‌کنند، در دوسراین خازن یك فشار الکتریکی ظاهرمی‌شود.

مبتدیـ گمان می‌کنم با سادیسم مخصوصی که دارید بمن خواهیدگفت تمام آنچه راکه نام برده‌اید ودارد مغزم راآشکارا متورم می‌کند، غیراز یك جزءکوچك از فهرست کامل جذب‌کننده‌های حساس در برابرعمل مکانیکی چیزدیگری نیست.

مهندسـ آقای مبتدی، شما باید یك روز دکانی بنام «پیشگوی بسیار روشن‌بین» بازکنید. دربارهٔ موضوع جذب‌کننده‌های مکانیکی بایدکتاب‌ها نوشت، اما به‌نظرم با پریشانی ساعتتان را نگاه می‌کنید. ممکن است باکسی وعدهٔ دیدار داشته باشید و برای من شگفت‌آور نیست.

مبتدیـ فکرمی‌کنم‌کار شما هم درخواندن افکار دیگران بسیارعالی‌است، تا فردا خدا نگهدار.

مبحث سوم

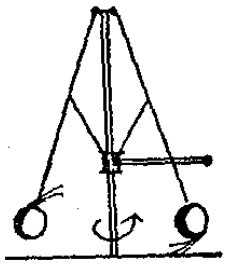
مهندس می‌خواهد رازهای پنهان زیرنام متداول «شتاب» را برای دوستش آشکار کند وچگونگی اندازه‌گیری آن‌را بگوید. جذب‌کننده‌های دیگری نام برده می‌شوند که در برابر صوت، گرما و درآخر دربرابر نور(سلول‌های‌مشهور فتوالکتریك‌که مبتدی خیلی میل داردآنها را بشناسد) حساس هستند.

جذب‌کننده‌های شتاب وسلول‌های فتوالکتریك

مبتدیـ آقای مهندس‌امیدوارم‌که تمام این جلسه را دربارهٔ جذب‌کننده‌های مکانیکی صحبت نکنید. صمیمانه بگویم‌که‌گفتگو دربارهٔ‌آنهاکمی برایم خسته‌کننده است.

مهندسـ نه، مطمئن باشید. فقط درنظردارم قبل‌ازآنکه به‌گروه‌های دیگر بپردازم، دربارهٔ جذب‌کننده‌های وضعیت، یعنی جذب‌کننده‌هائی‌که امکان برگردان وضعیت یك قسمت متحرك را به‌شکل الکتریکی ایجاد می‌کنند، صحبت‌کنم.

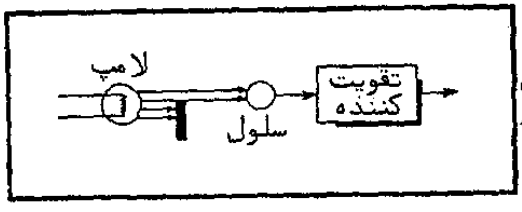
مبتدیـ به‌نظرمن بسیاری از دستگاههائی‌که دیروز برایم شرح دادید می‌توانند دراین مورد بکار بروند. مثلا همان‌پتانسیومتربا سیم‌پیچی‌خطی یا خازنی که یك صفحهٔ‌آن تغییرشکل می‌دهد.



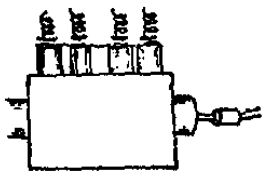
مهندسـ کاملا درست است. همینطور می‌توان (شکل ۱۷) یك قطعه را مورد استفاده قرار دادکه‌کم‌وبیش جلوی عبور اشعهٔ نورانی را می‌گیرد ویك‌سلول فتوالکتریك (که بزودی در باره‌اش صحبت می‌کنیم) مقدار باقیمانده را اندازه می‌گیرد، بکار برد. حالا به‌جذب کننده‌های سرعت بپردازیم و اینکار را از جذب‌کننده‌های سرعت زاویه‌ای (یا سرعت دورانی) آغازکنیم.

اندازه‌گیری سرعت

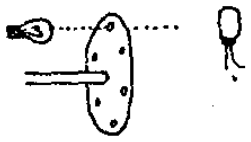
مبتدیـ می‌توانیم یك نوع تنظیم‌کنندهٔ‌گلوله‌ای را، مانندآنچه‌که روی ماشینهای‌بخار وجوددارد، بکار ببریم، بخوبی می‌دانیدکه منظورم‌همان محورگردان و دوگلوله ومیله‌ایست که به‌قسمت متحرك ماشین وصل است و به این‌ترتیب وقتی محور تند می‌گردد، نیروی‌گریز از مرکز گلوله‌ها را از هم دور می‌کند.



شکل۱۷ـ برحسب وضعیت مانع متحرك، اشعهٔ‌نورانی‌لامپ کم وبیش به‌سلول‌می‌رسد.



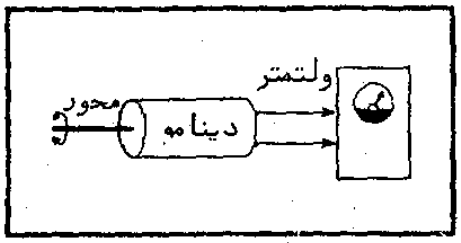
مهندسـ کاملا امکان دارد. اما وصل‌کردن محور به‌یك دینامو(نیروزای



جریان‌مستقیم)ساده‌تراست به‌این ترتیب فشار الکتریکی‌تولید شده به‌وسیلهٔ نیروزای جریان مستقیم متناسب با سرعت خواهد بود (شکل ۱۸) (سازنده‌ها آنرا برحسب ولت به‌دور در ثانیه تعیین می‌کنند). همچنین می‌توان آنرا به‌محور یك نیروزای کوچك جریان متناوب وصل‌کرد که فرکانس آن اندازه‌گیری می‌شود.

مبتدی‌ـ همه اینها بسیار قشنگ است، اما به‌وسیلهٔ نیروزای جریان‌مستقیم یا متناوب حتماً نیروی ترمزکننده‌ای به‌محور اعمال می‌شود؟

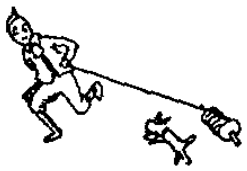
مهندس‌ـ کاملا درست است. توجه داشته باشیدکه اگر محور به‌وسیلهٔ یك موتوردیزل به‌قدرت هزاراسب. به‌گردش درآید، ترمز چندان شدید نخواهد بود. با اینحال در راه‌حل با نیروزای جریان متناوب، می‌توان هیچگونه عمل ترمزی بوجودنیاورد، به‌این‌ترتیب‌که محورگردان بطور ساده‌آهن‌ربائی کوچك داردکه در مجاورت یك سیم‌پیچی می‌گردد و درآن فشاری القاء می‌کند. اگر بخواهید که هیچگونه ترمزی وارد کار نشود، می‌توانید روی محور صفحه‌ای نصب کنید که سوراخهائی دارد و به‌نوبت جلوی عبوراشعهٔ نورانی را n بار سد می‌کند تا به‌یك...



شکل۱۸ـ یك‌نیروزای جریان مستقیم‌که به‌وسیلهٔ حرکت دورانی به‌گردش‌درمی‌آید فشارالکتریکی متناسب با سرعت‌گردش به‌وجود می‌آورد، اندازه‌گیری این فشار مقدار سرعت را بدست می‌دهد.

مبتدی‌ـ ...سلول فتوالکتریك نرسد. گمان می‌کنم تا وقتی این‌سلول‌ها را نشناسم از الکترونیك چیزی نمی‌دانم!

مهندس‌ـ بله، ازآن خیلی استفاده می‌کنند. اما اجازه بدهید ابتدادربارهٔ جذب کننده‌های سرعت که برای حرکت‌های خطی قابل استفاده هستند، برایتان صحبت‌کنم.



مبتدی‌ـ آه! دراین‌حالت نخی را به‌قطعه‌ای‌که حرکت می‌کند می‌بندیم و آنرا روی یك استوانه می‌پیچیم. در اینجا هم مثل ریاضیات «به حالت اول برمی‌گردد».

مهندس‌ـ این دستگاه چیزهائی دارد. همینطور می‌توان به‌قطعهٔ متحرك‌یك آهن‌ربامتصل کردکه‌دریك‌سیم‌پیچی‌جابجا می‌شود. به‌این‌ترتیب فشاری‌که درسیم‌پیچی القاء می‌گردد، تابعی از سرعت جابجائی است.

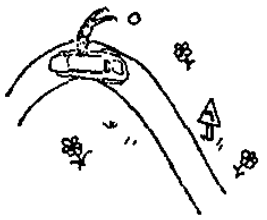
قبل از اینکه این قلمرو را ترك‌کنیم، می‌خواستم چندکلمه هم در بارهٔ جذب‌کننده‌های شتاب یا اندازه‌گیرهای شتاب با شما صحبت‌کنم.

شتاب

مبتدی‌ـ اما شتاب‌که تغییرسرعت است. می‌شود به‌یك‌جذب‌کنندهٔ سرعت اکتفاکرد و از مقدارهائی‌که به‌وسیلهٔ آن بدست می‌آید، شتاب را بیرون آورد.

مهندس‌ـ تا حدودی حق با شماست. اما فقط تا حدودی، چون بدواً همان

فکرمتداول‌را داریدکه طبق‌آن شتاب‌غیراز تغییر مقدار عددی سرعت چیز دیگری نیست،که این مطلب فقط برای جابجائی خطی واقعیت دارد. دراین‌حالت‌مخصوص در واقع می‌توان به‌یك جذب‌کنندهٔ سرعت اکتفاکرد که مقادیر آن از یك مدار دیفرانسیل (اختلافی یاکاهشی) بدست خواهدآمد...

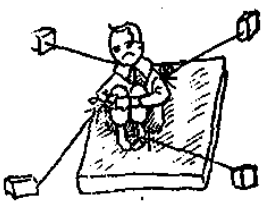


مبتدیـ همه درست، اما این یکی نه...!

مهندسـ خیلی ساده‌تر ازآنست‌که فکرمی‌کنید. اما درحقیقت شتاب‌معنی دیگری داردکه باآنچه تصورمی‌کنیدکمی تفاوت دارد به‌این‌ترتیب‌که تمام‌تغییرات یك سرعت از نظراندازه و مقدار و **یا جهت** را شتاب می‌نامند. به این‌ترتیب است که درپیچ‌های جاده، به‌اتومبیلی که با سرعت ثابت درحرکت است، شتابی داده می‌شود به‌این‌ترتیب‌که این شتاب را حس می‌کنید زیرا یك‌نیرو (که آنرا نیروی گریز از مرکز می‌نامند) شما را به‌یك‌طرف اتومبیل می‌برد، درست مثل نیروئی که وقتی مقدار عددی سرعت اتومبیل در یك جادهٔ راست تغییرمی‌کند، روی شما اثرمی‌گذارد.

مبتدیـ این نیروهارا خوب می‌شناسم. دوستی دارم‌که یك اتومبیل‌کورسی دارد. وقتی حرکت می‌کند،کم مانده است‌که روی صندلی عقب بیفتم و وقتی‌ترمز می‌کند احتمال داردکه از شیشهٔ جلوی اتومبیل بیرون بروم.

مهندسـ دوستتان را بعداً بمن معرفی‌کنید تا اگر یك روز بمن پیشنهاد کرد با اتومبیلش مسافرت کنم، بلیط ترن بگیرم... آقای مبتدی، حالا تا وقت اینکاربرسد، فرض‌کنیدکه دراتومبیل دوستتان روی یك صندلی‌کاملا لغزنده‌نشسته باشید و با وجود این به‌وسیلهٔ چهاررشته‌که شما را به‌چهار جذب‌کنندهٔ نیرو ارتباط می‌دهد(که‌برای شما بسیارخوبست) روی‌آن ثابت قرارگرفته باشید...



مبتدیـ من در وضع خوبی نخواهم بودکه...

مهندسـ این در درجهٔ دوم اهمیت است. مطلب اساسی اینست‌که چون‌شما دارای جرم هستید، بدن شما میل دارد بی‌حرکت بماند...

مبتدیـ آقای مهندس با اینحال من طبعاً اینقدر وارفته نیستم!

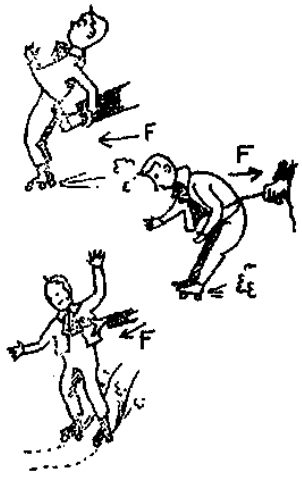
مهندسـ در اینجا مسئلهٔ خصوصیات شخصی درمیان نیست، بلکه قانون فیزیکی است. هرجسمی‌که دارای جرم باشد، میل دارد بی‌حرکت بماند ویا سرعت ثابتی از نظرمقدار وجهت داشته باشد. (به‌عبارت دیگرحرکت خطی یك‌نواخت داشته باشد). برای تغییردادن سرعت شما باید نیروئی درجهت حرکت (برای‌زیاد کردن مقدار سرعت) ویا درجهت‌مخالف حرکت (برای کم‌کردن سرعت) ویاعمود برجهت سرعت (برای تغییرجهت سرعت) به‌شما وارد شود. بنابراین وقتی نیروئی به‌شماوارد می‌شود، دربرابر آن‌واکنشی به‌صورت یك نیروی برابرودرجهت‌مخالف آن از خود نشان می‌دهید (دراینجا هم خصوصیات شخصی درمیان نیست بلکه یك قانون فیزیکی است‌که «کنش و واکنش» نام دارد).این‌نیرو را روی چهاررشته‌ای که‌شما را نگهداشته‌اند. اعمال می‌کنید و نشان‌دهندهٔ نیرو یا نیروهائی هستندکه‌در هر لحظه زیرتأثیرآنها قرار دارید...

مبتدیـ کاملا برخلاف میل خودم...

مهندسـ با اینحال زیرتأثیرآنها هستید. مجموع اتومبیل، شما وجذب‌

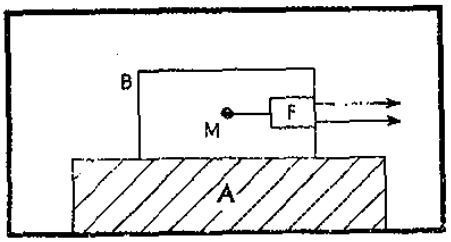
کننده‌های نیرو، یک‌شتاب‌سنج تشکیل می‌دهندکه درهر لحظه شتاب اتومبیل را نشان می‌دهد.

شتاب سنج باصرفه



مبتدیـ پس برای ساختن یک شتاب سنج باید یک اتومبیل و یک نفر و یک...

مهندسـ آقای مبتدی جدی باشید. خوب می‌دانیدکه‌کافی است یک‌جعبهٔ B داشته باشیم (شکل ۱۹)که به‌قسمت متحرک A وصل است و درآن یک جسم M که دارای جرم است به‌جذب‌کننده‌های نیروی F (پیزوالکتریک، پتانسیومتری یا

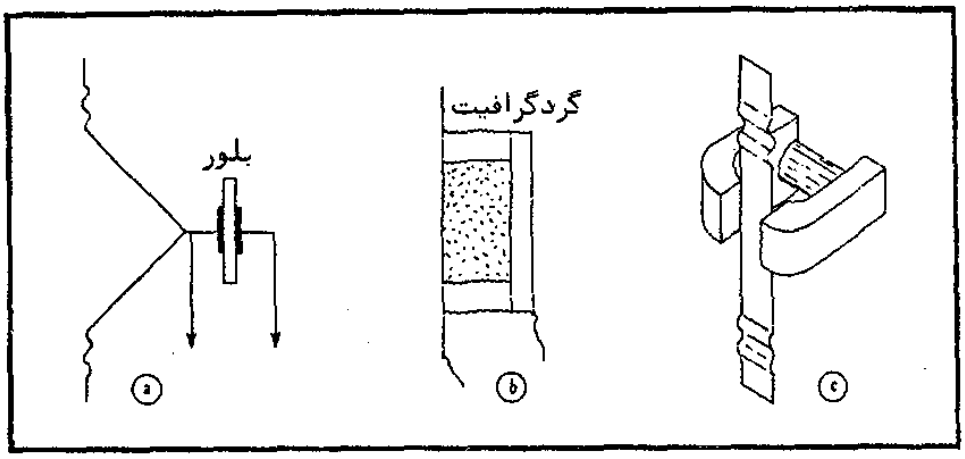


شکل۱۹ـ یک‌شتاب‌سنج جعبه‌ایست‌مثل B که وابسته به‌جسم متحرک A است.دراین جعبه، یک‌جرم M به‌وسیلهٔ انرژی‌جنبشی خود وقتی A زیر اثر شتاب قرارگرفته است،روی‌جذب‌کننده‌های نیرواثرمی‌کند.

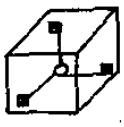
انواع دیگر) متصل است. اگرشتاب سنج چند جانبه نداشته باشیم، معمولا باید سه شتاب سنج داشت، تا شتاب‌ها را درسه جهت‌آشکار سازندکه دوتای‌آن افقی و یکی عمودی است (که شتاب‌سنج عمودی‌درمثال اتومبیل سودی نداشت). برای اتومبیل شتاب عمودی جزموقع عبور از گرده ماهی‌ها وجود ندارد...

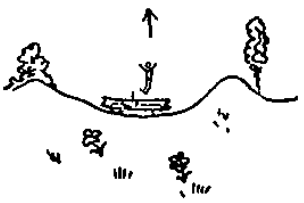
مبتدیـ من همیشه از خوردن‌گوشت‌گردهٔ ماهی لذت می‌برم!

مهندسـ آقای‌مبتدی بجای اینکه‌شوخی‌هائی بکنیدکه معلوم نیست بامزه



شکل۲۰ـ میکروفن‌ها می‌توانند به‌وسیلهٔ صفحهٔ لرزان (مرتعش) بلور پیزو-الکتریک‌فشردگی هوا را بکاربگیرند (a) یا ازگردگرافیت استفاده‌کنند(b). میکروفن‌ها از فشار القاء شده در یک‌سیم‌پیچی یا فشار القاء شده دریک‌نوار (c)که در دهانهٔ یک‌آهن‌ربا جابجا می‌شود نیز استفاده می‌کنند.





باشد، بیشتر دربارهٔ کاربرد جذب‌کننده‌های شتاب فکر کنید. تعداد زیادی از این جذب‌کننده‌ها را در بخش‌های گوناگون موشک‌ها، که ماهواره‌ها را به آسمان می‌برند، قرار می‌دهند. هواپیماها هم کاملا مجهز به آنها هستند به‌این‌ترتیب که حتی از این جذب‌کننده‌های شتاب روی قسمت‌هائی می‌گذارند که احتمال لرزش آنها وجود دارد، تا به‌این‌ترتیب شتاب لرزش را اندازه بگیرند، البته به‌شرط آنکه این لرزش برای آن قسمت خطرناک باشد.

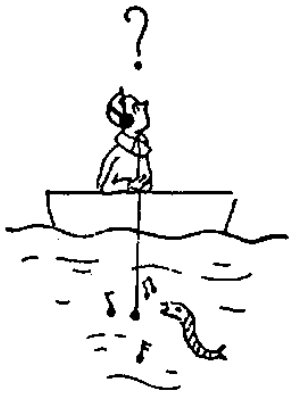
مبتدی‌ـ در واقع بسیار سودمند است.

حالا گوش کنیم...

مهندس‌ـ مکانیک را کنار بگذاریم. حالا یک گشت سریع در قلمروی جذب‌کننده‌های صوتی می‌زنیم. مدتهاست که آنها را می‌شناسید...

مبتدی‌ـ آه! منظورتان میکروفن‌هاست! آخرین کاربردی که از آنها داشتم موفقیت‌آمیز نبود.

مهندس‌ـ بله، میکروفن‌هائی مانند آنچه می‌شناسید وجود دارند. بعضی از آنها (شکل ۲۰) یک صفحهٔ لرزان دارد که به‌صورت یک جذب‌کنندهٔ نیرو کار می‌کند. (نوع بلور پیزوالکتریک، نوع گرافیتی و نوع خازنی) ویا جذب‌کنندهٔ سرعت است (نوع با قرقره سیم متحرک و نوع با نوار متحرک) که تمام اینها جذب‌کننده‌های صوتی هستند. اما انواع دیگری هم وجود دارند مثلا هیدروفن‌ها یا میکروفن‌های آبی که برای گوش کردن صدای منتشرشده درزیر آب است (معمولا پیزوالکتریک هستند) و ژئوفن‌ها یا میکروفن‌های خاکی که برای شنیدن صداهای منتشرشده درخاک بکار می‌روند.



مبتدی‌ـ دو نوع اخیر برای سرخپوستان بسیار سودمند است!

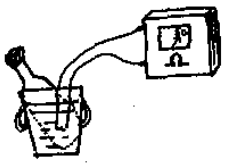
مهندس‌ـ برشیطان لعنت! من که رابطه‌ای بین آنها نمی‌بینم!

مبتدی‌ـ آقای مهندس بمن نگوئید که کتابهای نوشته شده دربارهٔ سرخپوستان را نخوانده‌اید! همه می‌دانند که رئیس سرخپوستان برای اینکه صدای پای دشمنانش را بشنود ویا از حرکت کالسکه‌ای که می‌خواهد به‌او حمله کند با خبر شود گوشش را به‌خاک می‌چسباند.

مهندس‌ـ درست است، پوزش می‌خواهم، گاهی ممکن است انسان این کتاب‌ها را فراموش کند... خوب برای اینکه به‌مطلب خودمان برگردیم می‌گویم که میکروفن‌های خاکی (ژئوفن‌ها) بیشتر برای شنیدن صدای انفجارها بکار می‌روند تا به‌وسیلهٔ آنها بفهمند که پوشش‌های زیرزمینی منعکس‌کنندهٔ صدای انفجار (مربوط به‌مادهٔ منفجرشونده) درکجا قرار دارند. این دستگاهها ازطرف کاوشگران نفت هم خیلی بکار برده شده است.

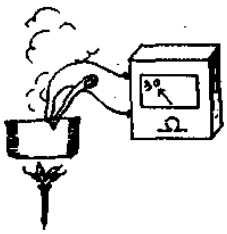
اما چون این داستان سرخپوستان دیگ تصور مرا هم به جوش آورده، بنظرم می‌رسد که اگر به‌جذب‌کننده‌های گرما بپردازیم، منطقی باشد.

برای جایگزینی گرماسنج‌ها



مبتدیـ پیدا کرد۱۴ دفعهٔ گذشته به‌من گفتید که‌مقاومت‌های اندازه‌گیر فشاری در برابر درجهٔ گرما حساس هستند. کافی است یکی ازآنها را بکار ببریم بطوری‌که زیر اثر درجهٔ گرما باشد نه‌زیر اثر عمل مکانیکی، و به‌این ترتیب کار تمام است!

مهندسـ خوب استدلال کردید. اینکار متداول است. با وجود این ازیك اندازه‌گیر فشاری به‌عنوان یك عنصر حساس در برابر گرما استفاده نمی‌کنند چون این عنصر را طوری ساخته‌اند که تا حد امکان حساسیت کمی در برابر درجهٔ گرما داشته باشد، بلکه مقاومت متداول‌تری بکار می‌برند. می‌توان گفت که در درجه گرماهای معمولی، مقاومت یك رشته فلزی درهرسه درجه گرما بطور متوسط یك‌ـ درصد زیاد می‌شود.

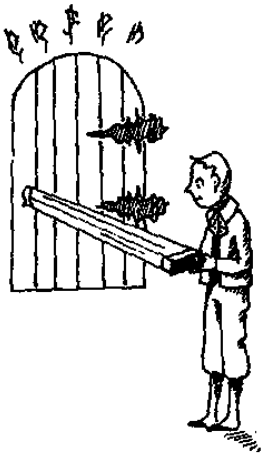


مبتدیـ بنابراین فکرمی‌کنم بکاربردن مقاومت‌های دیگری که در برابر گرما حساس هستند، و زیر نام «ترمیستانس Thermistance» شناخته شده‌اند، به‌مقاومت‌های معمولی ترجیح دارد؛

مهندسـ آه، نه‌همیشه! ترمیستانس‌ها (که می‌خواستم درباره‌آنها با شما صحبت کنم) از نیمه‌هادی‌ها هستند که با اینحال برای توان‌های کم الکتریکی از قانون اهم پیروی می‌کنند (که این توان‌ها بطور محسوس آنها را گرم نمی‌کنند) اما وقتی درجهٔ گرما بالا می‌رود مقاومت آنها کاهش می‌یابد. بنابراین تغییر آنها خیلی تندتر از تغییرات مقاومت‌های معمولی است بطوری‌که دراین ترمیستانس‌ها تغییر مقاومت برای یك درجه سانتیگراد به ۴ درصد می‌رسد که ۱۲ برابر تغییر مقاومت درفلزهاست. این عنصرها را «ترمیستور Thermistor» و یا بطور کوتاه C.T.N. هم می‌گویند (که ازکلمه‌های فرانسوی آن به‌معنی ضریب درجهٔ گرمای منفی گرفته شده است).

مبتدیـ پس اگراین مقاومت‌های C.T.N. در برابر گرما ۱۲ برابر حساس‌تراز مقاومت‌های فلزی باشند، تصور می‌کنم هیچوقت مقاومت‌های فلزی را بکار نمی‌برند.

مهندسـ آنها را هم زیاد بکار می‌برند، چون این مقاومت‌ها می‌توانند درجه‌گرمائی را تحمل کنند که CTN را خراب می‌کند. علاوه براین قانون آنها که‌تغییر مقاومت در نتیجهٔ تغییر درجهٔ گرماست. ساده و تقریباً خطی است درحالی که‌قانون تغییر CTN نسبتاً پیچیده است. یك مقاومت از طلای سفید را می‌توان در درجه گرماهائی بکار برد که از چند درجهٔ گرمای مطلق (۲۶۰ـدرجه سانتیگراد) آغاز و تا ۱۵۰۰ درجهٔ سانتیگراد می‌رسد. همچنین به‌وجود مقاومتی که CTP گفته می‌شود (ضریب گرمای مثبت) باید توجه داشت. مقاومت اهمی CTP تا اندازه‌ای مثل مقاومت یك‌رشتهٔ فلزی است. وقتی درجهٔ گرما بالا می‌رود، مقدارش زیادمی‌شود. اما این تفاوت را با آنها دارد که تغییرات مقاومت CTP دراطراف یك مقدار بحرانی بسیار تند است و برحسب نوع CTP تفاوت دارد و به‌این ترتیب امکان می‌دهد که یك درجه‌گرمای معین را با دقت بسیار زیاد بشناسیم (و درصورت لزوم این درجه گرما ثابت نگهداشته شود). به‌همین ترتیب زوج گرمائی‌ـالکتریکی وجوددارد. بطوری

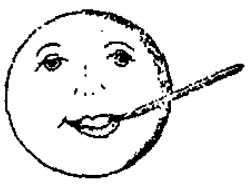


که دوفلز (یا نیمه هادی) که بهم وصل شوند و نقطهٔ اتصال آنها زیر اثر گرما قرار گیرد تبدیل به‌یك پیل یا قوهٔ واقعی می‌شوند (شکل ۲۱)

مبتدیـ بسیار عالی است! به‌این‌ترتیب کافی است از این زوج‌ها داشته باشیم و آنها را گرم کنیم تا برق بدست بیاوریم. این پدیده آیندهٔ درخشانی دارد!

مهندسـ بطور مسلم. بخصوص در کشور شوروی که این موضوع بسیار مورد بررسی قرار گرفته است (چون با در نظر گرفتن وسعت آن هنوز خیلی از شهرها بدون برق هستند)، می‌توان یك رادیوی ترانزیستوری را با یك قوهٔ زوج گرمائی که در اطراف شیشهٔ چراغ نفتی که برای روشنائی بکار می‌رود گذاشته شده تغذیه کرد.

تشعشع

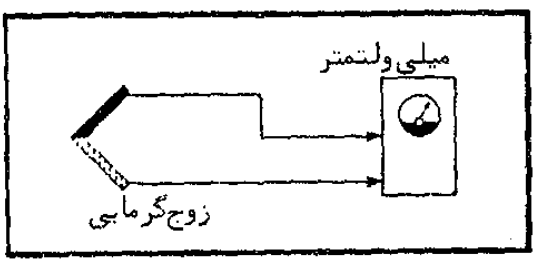


مبتدیـ برای درجه گرماهای زیاد، مثلا بالاتر از ۲۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد چه می‌کنند؟

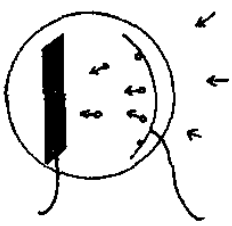
مهندسـ می‌دانید جسمی که زیاد گرم باشد، از خود نور می‌فرستد و به‌همین شکل است که انرژی از خود تشعشع می‌کند. ثابت شده برای درجه گرماهائی که بسیار زیاد نباشند توان تشعشع یافته به‌وسیلهٔ یك سانتیمترمربع جسم گرم (که درجه گرمای آن t درجهٔ سانتیگراد است) تقریباً متناسب با توان چهارم درجه گرمای مطلق T جسم است (T درجه گرمائی است که جسم گرم نسبت به‌صفر مطلق که ۲۷۳ — درجهٔ سانتیگراد است، دارد) با اندازه‌گیری این توان تشعشع یافته، درجهٔ گرما بدست می‌آید. حتی این روش را برای اندازه‌گیری درجه گرمای زیاد هم بکار می‌برند. اما در این موقع به‌این روش عمل می‌کنند که از روی قوانین تشعشع بطور کمی جسورانه تا بعد از حدود معین محاسبه را ادامه می‌دهند و مقادیر را بدست می‌آورند، این قوانین همانهائی هستند که انفجارهای گرمائی ـ هسته‌ای عدم دقت آنها را در درجه گرمای زیاد آشکار کرده‌اند؛ طبق این قوانین، یك بمب هیدروژنی نمی‌تواند منفجر شود...

مبتدیـ به‌سهم خودم ترجیح می‌دهم که حق با قوانین باشد!!!

مهندسـ منهم همینطور. اما آزمون نشان داده است که بمب منفجر می‌شود. پس این محاسبات که بیش از حد مقادیر داده شده دنبال می‌شوند، کمی تفننی است. بهمین ترتیب وقتی به‌من می‌گویند درجه گرمای فلان ستاره ۶ میلون درجه است، برای من همان اثر را دارد که گفته باشند: «درجه گرمای آن ۳ تن، یا ده دقیقه است...»



شکل ۲۱ـ یك زوج گرمائی تشکیل شده است از دو فلز مختلف که بهم جوش شده‌اند. برحسب درجه گرمای لازم برای جوشکاری، فشار الکتریکی که در دو سر آن پدیدار می‌شود، تغییر می‌کند.



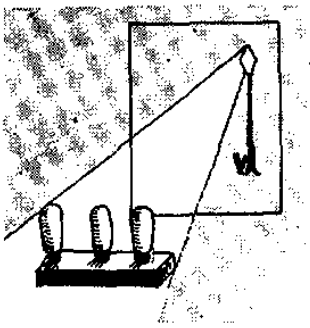
مبتدیـ بنابراین اندازه‌گیری‌های به‌وسیلهٔ تشعشع هیچ ارزشی ندارند؟

مهندسـ چرا، خیلی هم با ارزشند. مثلا بکار بردن زوج‌های گرمائی امکان اندازه‌گیری درجه‌گرمای نقاط مختلف کرهٔ ماه و چند کرهٔ آسمانی دیگر را با منعکس‌کردن تصویر یا قسمتی از تصویر کرهٔ آسمانی زیر بررسی بوجود آورده‌اند. انعکاس تصویر به‌وسیلهٔ یك آئینهٔ تلسکوپی روی زوج گرمائی بعمل می‌آید و گرم شدن زوج گرمائی که برحسب درجه گرمای نقطهٔ هدف‌گیری شده روی کره آسمانی است، اندازه‌گیری را انجام می‌دهد. و با این همه نتیجهٔ بدست‌آمده خوب است!

مبتدیـ باکمال میل قبول می‌کنم. اما دلم می‌خواست که از سلول‌های فتوالکتریك برایم صحبت کنید.

مهندسـ داشتم بهمین مطلب می‌رسیدم. روش بکاررفته در لامپ‌های الکترونی برای خارج کردن الکترون از ماده یادتان هست؟

مبتدیـ البته. درجه‌گرمای یك جسم را زیاد می‌کنند و این کار سرگردانی الکترونها را افزایش می‌دهد. الکترون‌ها به‌حدی تکان داده می‌شوند که در آخر از ماده خارج می‌شوند.

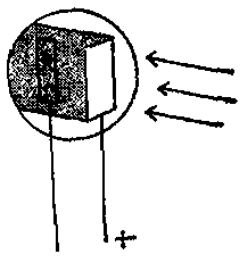


مهندسـ تا همینقدر کافی است. برای اینکه دقیق‌تر باشد، می‌گوییم که افزایش انرژی الکترون‌ها که در اثر درجه‌گرما به‌وجود آمده است به‌آنها امکان می‌دهد که از رویه عبور کنند. بله آقای مبتدی، می‌توان انرژی الکترون‌ها را با رساندن یك تشعشع نوری به‌ماده‌ای که الکترون‌ها در آنست نیز افزایش داد...

مبتدیـ بسیار عالی است! پس می‌شود در لامپ‌های الکترونی بجای کاتدهای گرم، کاتدهای روشن شده (زیر نور) گذاشت؟

سلول‌های فتوالکتریك

مهندسـ در واقع این کار عملی است اما زیاد جالب نیست چون جریانی که به‌این ترتیب بدست می‌آید نسبتاً ضعیف است. اگر بخواهیم یك سلول فتوالکتریك درست کنیم (شکل ۲۲) صفحه‌ای می‌گذاریم که پوشیده از مادهٔ مناسبی باشد که وقتی زیر تابش نور قرار می‌گیرد. بخصوص قادر به‌ارسال الکترون در یك حباب که داخل آن خلاء است، باشد. الکترود دیگری درهمین حباب وجود دارد که به اختلاف سطحی که نسبت به‌این صفحهٔ اندود شده (که کاتد نامیده می‌شود) مثبت است، وصل می‌گردد. الکترون‌های فرستاده شده در اثر تابش نوری که روی کاتد می‌تابد، به‌طرف الکترود دیگر آند، خواهند رفت که باعث برقراری جریان I_0 می‌شود که تابع روشنائی کاتد است.



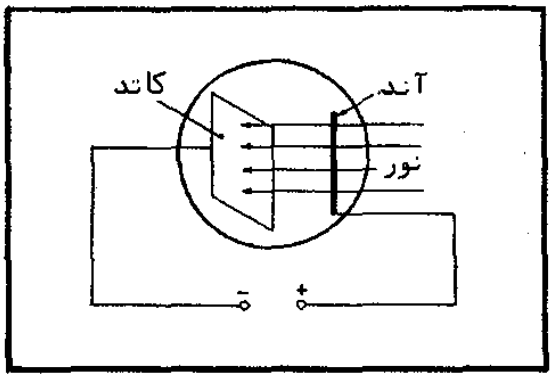
مبتدیـ درواقع، یك سلول فتوالکتریك پیچیده بنظر نمی‌آید. اما بگوئید ببینم چرا یك آند به‌این کوچکی کشیده‌اید که یك رشته بیشتر نیست؟ باید آند خیلی بزرگتری می‌کشیدید.

مهندسـ این مطلب لازم نیست و بخصوص نباید فراموش کرد که آند نباید سایه‌ای روی کاتد بیندازد و باید راه را برای عبور نور باز بگذارد. از این گذشته با مقدار ضعیف I_0 (که به‌زحمت به‌ده‌ها میکروآمپر می‌رسد و غالباً کمتر از یك میکرو

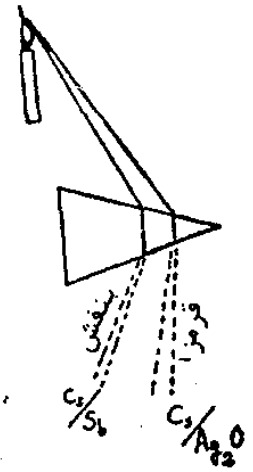
آمپر است) نیازی به‌آند بسیار بزرگ نیست.

مبتدیـ جریان‌های سلول‌های شما بی‌اندازه کوچکند. و ازاین گذشته قرار دادن آند درمسیر اشعهٔ نورانی ناراحت‌کننده است.

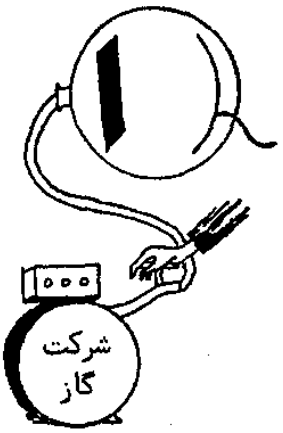
مهندسـ خواهید دید که با همین جریان‌های کوچک خیلی خوب کار می‌کنیم. از یک‌طرف می‌شود یک کاتد نیمه شفاف بکار برد که روی جدار حباب قرار دارد و



شکل۲۲ـ سلول فتو-الکتریک: کاتد زیر اثر نور الکترون می‌فرستد و آند این الکترون‌ها را جذب می‌کند.



به این‌ترتیب اشعهٔ نورانی از یک‌طرف به آن برمی‌خورند و باعث می‌شوند که الکترون‌ها ازطرف دیگر به‌بیرون فرستاده شوند. پس نیازی نیست که آند در جهت منبع نورانی باشد. حالا که برایتان ازکاتد صحبت می‌کنم، بگذارید این را هم خاطرنشان کنم که گونه‌های زیادی کاتد وجود دارند. بعضی ازکاتدها تشکیل‌شده‌اند از **سزیومی** که روی **انتیموان** قرارداده‌اند و در برابر نور آبی و بنفش حساسند. کاتدهائی از **سزیوم** درست می‌کنند که روی اکسید نقره قرار دارند و بخصوص در برابر نور قرمز و زیرقرمز حساس هستند. درآخر به یاد داشته باشید که جریان I_a تقریباً بستگی به‌فشار آند ندارد و این جریان فقط به‌روشنائی یا نور تابیده به‌کاتد وابسته است (به‌شکل کاملا متناسب بطوری که این موضوع امکان می‌دهد حساسیت سلول‌را برحسب میکروآمپر به **لومن**[1] تعریف کنند). در واقع سلول خلاء تقریباً روشی مانندیک دیود اشباع شده دارد که جریان اشباع آن، به‌جز درجه‌گرمای رشته، وابسته به چیز دیگری نیست.



مبتدیـ گفتید سلول‌های خلاء. بنابراین سلول‌های دیگری هم وجوددارند؟

مهندسـ افسوس، بله. سلول‌های گاز دار. عملاشبیه به‌سلول‌های قبلی هستند. اما درآنها مقدارکمی گاز وارد می‌کنند که در اثر الکترون‌های خارج شده ازکاتد، ایونیزاسیون پیدا می‌کنند. ایونیزاسیون گاز جریان فتوالکتریک را درعاملی ضرب می‌کند که ممکن است تا چهار برسد و...

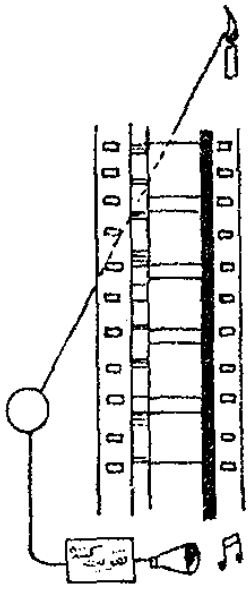
مبتدیـ وقتی جریان اصلی تا این‌حد کوچک است. این موضوع بسیارعالی است. چرا گفتید افسوس؟

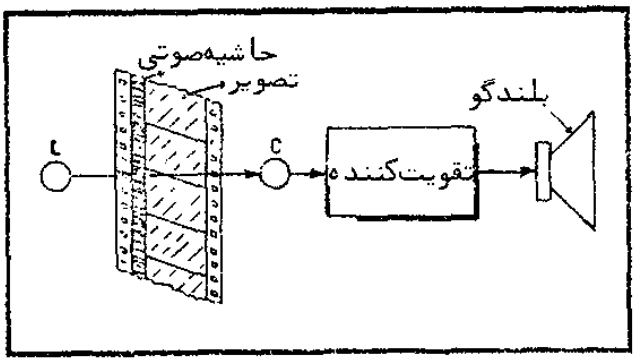
مهندسـ چون بزرگترین کاری که از این سلول‌ها برمی‌آید اینست که

---

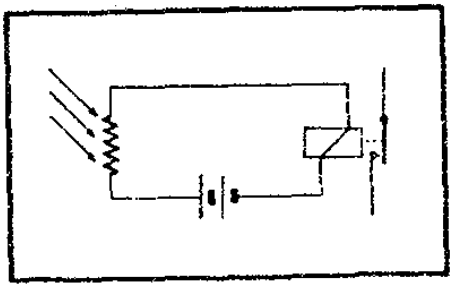
۱. لومن Lumen واحد سیلان نوری است.

به‌عنوان «خواننده» (ایجادکنندهٔ صدا) در سینمای ناطق بکار بروند. می‌دانید که صدای سینمای ناطق به‌صورت «حاشیهٔ صوتی» ضبط می‌شودکه نواری است باشفافی متغیرو درکنار فیلم قرار دارد. این‌حاشیه از میان یك لامپ L (شکل ۲۳) ویك سلول C می‌گذرد. تغییرات نوری‌که به‌سلول C می‌رسند به‌وسیلهٔ آن به‌علامت‌های

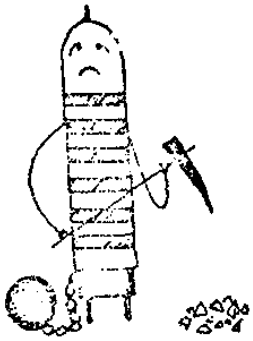




شکل۲۲ــ روی‌کنارهٔ فیلم، یك حاشیهٔ صوتی‌که شفافی‌آن ازیك نقطه‌به‌نقطه دیگرتغییرمی‌کند، کم وبیش جلوی نور خارج شده از لامپ را می‌گیرد و به‌این‌ترتیب با رسیدن به سلول فتوالکتریك C، جریان B.F صدارا دوباره به‌وجود می‌آورد.



شکل ۲۴ــ یك «مقاومت نوری» وقتی زیرتابش نور قرارگرفت، مقاومتش‌کاهش می‌یابد وجریانی که از آن می‌گذرد می‌تواند یك رله را مستقیماً بکاربیندازد.



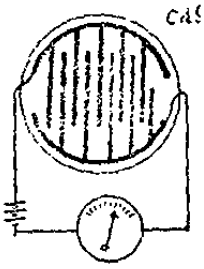
الکتریکی برگردان می‌شوندکه ورودی یك تقویت‌کننده را زیر تأثیر می‌گیرند. این سلول‌ها مدت چندین سال جای سلول‌های دیگررا گرفته بودند. درحالی‌که‌این سلول‌هاشکننده هستند، جریان‌آندآنها بستگی زیادی به‌فشارآندشان دارد، حساسیت آنها باگذشت‌زمان تغییرمی‌کند، تأخیردر ایونیزاسیون و برگشتن‌گاز به‌حالت‌اول موجب می‌شودکه این سلول‌ها نتوانند از تغییرات بسیار تند نورپیروی‌کنند (در ده‌هزارکیلوهرتز، 3dB افت دارند)...

مبتدی‌ــ دیگرنگوئید. از نظرمن سلول‌های‌گازی محکومان فراموش شده هستند. فقط متأسفم‌که غیراز سلول‌های خلاء، عنصرهای دیگری وجود ندارند که در برابرنور حساس باشند.

@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال

عنصرهای حساس نوری

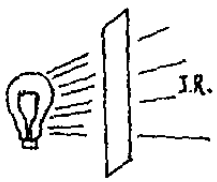
مهندس‌ــ هیچ افسوس نخورید. دستگاههای حساس نوری زیادی وجود دارند. ابتدا مقاومت‌های نوری هستند به این‌ترتیب که بعضی از اجسام بخصوص سولفور سرب. سولفور کادمیوم و همینطور سلنیور (ترکیبات سلنیوم) و انیموانور (ترکیبات انتیموان)که بطورمناسبی عمل‌آورده شده باشند، یك مقاومت‌الکتریکی از خود نشان می‌دهندکه برحسب تابش نور برروی آنها بطورقابل توجهی تغییر



می‌کند. جریان‌هائی‌که می‌توان ازآنها بدست‌آورد خیلی بیشتروغالباً چندین ده میلی‌آمپراست.اما این اجسام همیشه‌مقاومت واقعی نیستند. بعضی ازآنها نیمه‌هادی هستند یعنی جریانی‌که از آنها می‌گذرد، متناسب با فشاری‌که به‌آنها می‌گذارند، نیست. علاوه‌براین ممکن است مانند بزرگی داشته باشند وفقط در برابر تغییرات آهستهٔ نور(که چندین دهم ثانیه طول بکشد) حساس‌باشند. اما مقاومت‌های نوری، که‌برای اندازه‌گیری‌های‌نورچندان درخشان‌نیستند، برای بکارانداختن رله بسیار خوبند (شکل ۲۴).

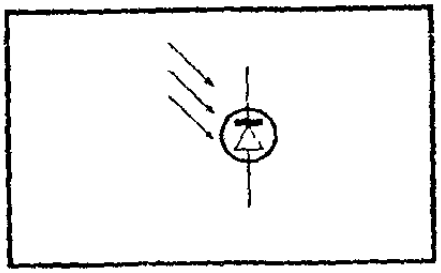
مبتدیـ گمان می‌کنم این همان چیزی است‌که برای دستگاه ضد دزد من که‌آنروز گفتم،مناسب است.

مهندسـ در واقع همینطور است، بخصوص اگر توجه‌کنیدکه این مقاومت های نوری به‌حدکفایت دربرابر نورزیرقرمز حساسند.

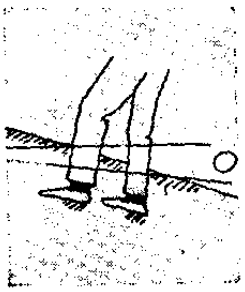


مبتدیـ بازهم این نور زیرقرمز!این نورچیست‌وچگونه‌آنرا ایجادمی‌کنند؟

مهندسـ چیز پوشیده‌ای ندارد. زیرقرمز نوری است که در طیف نورها کمی دورتر ازقرمزقرار دارد. چشمهای مانمی‌توانندآنرا مشاهده‌کنند، اما بعضی از سلول‌های فتوالکتریك، مانند نور دیدنی در برابرآن حساسیت دارند. برای



شکل۲۵ـ یك دیودنوری درنقشه‌ها بطورخلاصه‌اینطورنشان‌داده‌می‌شود.



ایجاد نور زیرقرمز فقط یك لامپ با رشتهٔ مشتعل (لامپ معمولی) را بکارمی‌برید و در برابر آن یك صافی نوری می‌گذارید که تمام تشعشع‌های دیدنی را متوقف می‌کند و درهمین‌حال به‌نور زیر قرمز اجازهٔ عبور می‌دهد. به‌این‌ترتیب یك دسته اشعه دارید‌که ممکن است با یك سلول‌خلاء‌که‌کاتدش دربرابر نور زیرقرمزحساس است، آشکار شود. این‌کاتد از یك بوشش سزیوم‌که روی یك صفحهٔ نقره‌ای اکسید شده قرار دارد تشکیل شده است. این کاتدها معمولا به‌وسیلهٔ سازندگان «کاتد S_1» نامگذاری می‌شود. بهمین‌ترتیب می‌توانید از یك مقاومت نوری‌که در برابر نور زیرقرمز حساس است استفاده‌کنید چون این مقاومت‌کم وزیاد شدن اشعه راآشکار می‌کند بی‌آنکه‌کسی بتواندآشعه رابیند.

مبتدیـ این واقعا بسیار عملی است. پس جذب کننده‌های نوری دیگر را هم برایم بگوئید. حدس می‌زنم عدهٔ زیادی جذب‌کنندهٔ دیگروجود دارند!

دیودهای نوری

مهندسـ بله، بله. حتی تعدادشان بسیار زیاد است. من غیرازدیودنوری

چیزدیگری را برایتان نمی‌گویم (شکل ۲۵) دراینجا یك دیود یا اتصالی[1] ژرمانیومی یا سیلیسیومی داریم که یك منطقهٔ N ویك منطقهٔ P دارد. اگرمنطقهٔ P را نسبت به منطقه N مثبت کنیم، جریان بدون دشواری می‌گذرد. برعکس اگر بار الکتریکی دیود را درجهت معکوس بگذاریم، جریان نمی‌گذرد...

مبتدیـ مثل تمام دیودهای خانوادهٔ نجیب دیود!

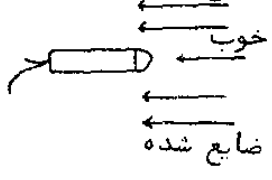
مهندسـ بله، اما این دیود «خانوادهٔ نجیب» وقتی نور در محل اتصالی آن بتابد افکار بدی به‌سرش می‌زند چون ضربه‌هائی که در اثر برخورد فوتون‌ها (یا دانه‌های نوری) به‌آن ایجادمی‌شوند باعث می‌گردندکه درمحل اتصال‌مجموعه‌ای از الکترون‌ها وحفره‌ها بوجود بیاید و دراین موقع دیود به‌یك نوع «جریان‌تلف» اجازهٔ عبور می‌دهد، که با اینحال به‌فشار وابستگی ندارد.

مبتدیـ لعنت بردیود! اکنون پدیده‌ای را برایم شرح دادیدکه مدتهامرا درفکروخیال فرو برده بود به‌این‌ترتیب‌که یك‌کنترل‌کنندهٔ همگانی ساخته بودم‌که با یك‌گالوانمتر وچهار دیود با اتصالی ژرمانیومی‌کار می‌کرد و مشاهده‌کرده بودم که دستگاه من، روی فشارهای متناوب، قبل ازظهرخیلی بد و بعدازظهر بهترکار می‌کند. درحالی‌که پنجرهٔ آزمایشگاه من به‌طرف شرق است و صبح دیودها به‌شدت زیرتابش نورقرار داشتند.

مهندسـ این مطلب می‌تواند توضیحی دربارهٔ علت‌آن باشد. ممکن‌است گرم شدن احتمالی دیودها هم باعث‌آن شده باشند. معمولا دیودها پوششی ازرنگ سیاه دارندکه‌آنها را در برابرنور حفظ می‌کند.

مبتدیـ در ابتدا این رنگ سیاه را داشتند اما من‌آنها را تراشیدم تا ببینم درون‌آنها چیست.

مهندسـ این داستان بسیار اخلاقی است ونتیجهٔ‌آن اینست‌که کنجکاوی همیشه تنبیهی بدنبال‌دارد. جالب بودن دیود نوری از این جهت است که حساسیت آن غالبا ۳۰۰ برابربزرگتراز حساسیت بهترین سلول‌های خلاء است. علاوه‌براین ماند بسیارکمی دارد و به‌آسانی از تغییرات نوری‌که‌آهنگی برابرصد هزار پرید درثانیه داشته باشد، پیروی می‌کند. عیب‌اصلی‌آن همان‌عیب اصلی تمام نیمه هادیها یعنی حساسیت دربرابر گرماست.



مبتدیـ سیصد برابرحساس‌تراز بهترین سلول‌های خلاء، چه بهرهٔ خوبی! باید این دیودها را فقط با روشنی شفق بکاربرد!

مهندسـ این مطلب را باور نکنید. سطح حساس دیودهای نوری بسیار کوچك است و باید روشنائی خوبی داشت تابتوان تعدادکم لومن لازم برای‌ایجاد جریان قابل توجه را به این سطح بسیار کوچك رساند. با اینحال این دیودها عنصرهای بسیار سودمندی هستندکه‌قطعا برای ایجاد صدا درسینمای‌ناطق‌جایگزین سلول‌های گازی خواهند شد...

مبتدیـ کارخوبی است!

مهندسـ منهم عزا نمی‌گیرم. با وجود این، وسیلهٔ دیگری برای رساندن

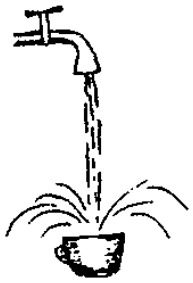
---

۱. نگاه‌کنید به‌کتاب «ترانزیستور!... بسیار ساده است!» ازهمین‌مجموعه.

حساسیت سلول‌ها به‌مقدار بسیار زیاد وجود دارد.

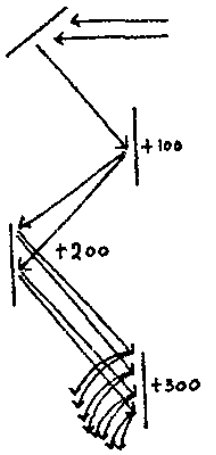
مبتدیـ تقویت؟

مهندسـ درست است. اما دراین لحظه به‌روش تقویتی فکرمی‌کنم که‌کاملا باآنچه شما می‌دانید متفاوت است، چون ارسال ثانوی را بکار می‌برد.



چند برابرکنندهٔ نور

مبتدیـ این جانور دیگرچیست؟ آه، بله، یادم‌آمد، همان پدیده‌ایست که درلامپ‌های چهارالکترودی (ترود) باعث ناراحتی شده بود چون الکترون‌ها که درنتیجهٔ شبکه پرده‌شتابشان زیاد شده بودوقتی به‌آند برخوردمی‌کردند می‌توانستند بیشتر از آنچه الکترون به آند می‌رسد ازآن الکترون بیرون آورند. دربعضی حالت‌ها، اگرشبکه پرده اختلاف سطح بیشتری از آند داشته باشدآنها را جذب می‌کند ویك نوع جریان وجود داردکه ازآند به‌طرف شبکه پرده می‌رود وآندنقش یك‌کاتد دوم را بازی می‌کند.



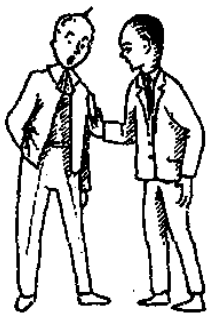
مهندسـ آقای مبتدی نمرهٔ شما بیست است! برای اینکه ازاین پدیده دریك سلول فتوـالکتریك استفاده‌کنند، ترتیبی می‌دهندکه الکترون‌هائی‌که ازکاتد روشن شده به‌وسیلهٔ نور خارج می‌شوند (پتانسیل کاتد صفراست) به‌الکترود نخست برسند که اختلاف سطح ۱۰۰+ ولت دارد. این الکترود از ماده‌ای پوشیده‌شده است‌که توان بزرگی برای ارسال ثانوی الکترون دارد و درهمسایگی الکترودی قرارگرفته است‌که به‌اختلاف سطح ۲۰۰+ ولت وصل است. یك الکترون که از کاتد نوری خارج شده باشد و به‌الکترود با اختلاف سطح ۱۰۰+ ولت برسد، ۲ یا ۳ الکترون ازآن خارج می‌کند تا به‌الکترودی‌که اختلاف سطح ۲۰۰+ ولت دارد برسند. درهمسایگی‌این الکترود. الکترود دیگری‌که اختلاف سطح ۳۰۰+ ولت دارد، ۴ یا ۹ الکترون دریافت می‌کند (شکل ۲۶)

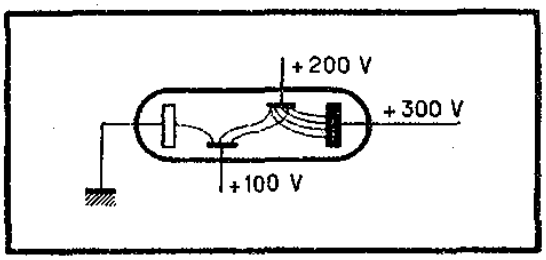
مبتدیـ آقای مهندس این موضوع بسیار خوبست. اما بگوئید ببینم چه چیز مانع می‌شودکه الکترون‌ها ازآنچه شما کاتد نوری می‌نامید مستقیماً به‌طرف الکترود ۲۰۰+ ولتی ویا بهتر ازآن به‌الکترودی‌که اختلاف سطح ۳۰۰+ولت دارند بروند؟

مهندسـ طرز قرارگرفتن الکترودها طوری است که شکل میدان‌هـای الکتریکی با این‌کار مخالفت می‌کند. اما این را بدانیدکه همیشه چند الکترون «بی‌کله» وجود دارندکه جائی می‌روندکه نباید بروند. اصل دراینست که‌اگربطور آماری بگوئیم، تعداد آنها نباید زیاد باشد. به‌وسیلهٔ دهطبقه چند برابـرکننده می‌توان جریان فتوـالکتریك را درضریبی ضرب‌کرد که به‌چندین ملیون می‌رسد. حساسیت این چند برابرکننده‌های نوری به‌مقدار باورنکردنی می‌رسد. منظورمن لامپ‌هائی است‌که درصنعت بسیار متداول هستند و دراندازه‌گیری‌های ستاره‌شناسی بکار می‌روند... یکی ازآنها راآورده‌ام تا به‌شما نشان دهم.

مبتدیـ آه! انتظار داشتم یك دستگاه بزرگ‌تر را ببینم، بخصوص‌که بمن گفته بودید ۱۱ طبقهٔ چند برابرکننده دارد. راستی این الکترودها راکه درعین‌حال‌آند (برای بخشی‌که قبل ازآنها قرارگرفته) وهم‌کاتد (برای بخشی‌که پس از

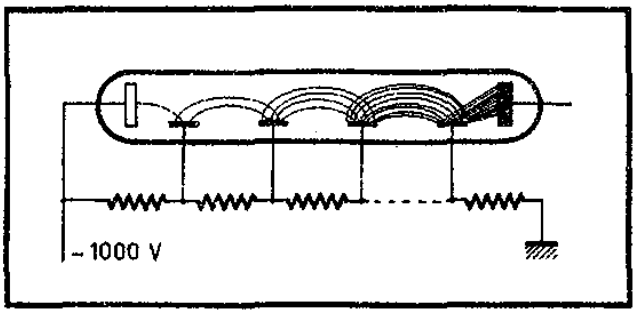
آنها واقع شده) هستند چه می‌نامند؟



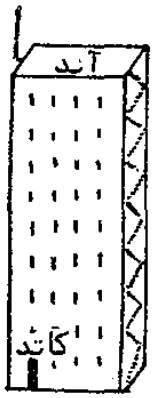


شکل۲۶ــ در یك چندبرابرکنندهٔ نوری، الکترون‌های فرستاده شده به‌وسیلهٔ کاتد یك ارسال ثانوی روی نخستین «دینود» ایجاد می‌کنند. دومین «دینود» باز هم تعداد الکترون‌ها را چند برابرمی‌کند که ازآن بیرون می‌آیند تا به‌آند بروند.

مهندس‌ــ به آنها دینود می‌گویند. به‌وسیلهٔ یك رشته مقاومت و یا لامپ نئون، که برتری آن نسبت به‌مقاومت ثابت نگهداشتن فشاراست، اختلاف سطح‌های مناسب را به‌الکترودها می‌گذارند. با اینحال من رشته مقاومت‌ها را ترجیح‌می‌دهم (شکل ۲۷) چون امکان می‌دهدکه تغییرات پیوسته‌ای از فشار در هر دینود داشته باشیم. درواقع حساسیت مجموع آنها (یا بهتربگویم توانائی‌چند برابرکنندهٔطبقه‌ها)



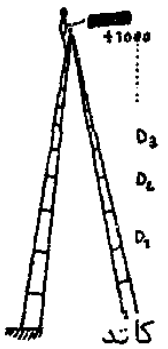
شکل۲۷ــ برای تغذیهٔ یك‌چند برابرکنندهٔ نوری چند طبقه‌ای، بهتراست‌که دینودها را به وسیلهٔیك‌رشته‌مقاومت که بین کاتد (با اختلاف‌سطح بسیار منفی) و بدنه قرارگرفته است، تغذیه‌کنیم.



بطور زیادی به‌پیروی از فشار هردینود تغییرمی‌کند.

مبتدی‌ــ متوجه شدم. اما چرا درنقشهٔ خودتان یك فشار منفی برای کاتد بکار برده‌اید؟

مهندس‌ــ ترجیح می‌دهم کاتد را به‌اختلاف سطح ۱۰۰۰ــ ولت نسبت به بدنه وصل‌کنم و الکترودآخری (آند) را به‌اختلاف سطحی درحدود صفرمتصل‌کنم، چون روی همین الکترود است که جریان فتوالکتریك تقویت شده را دریافت می‌کنم.



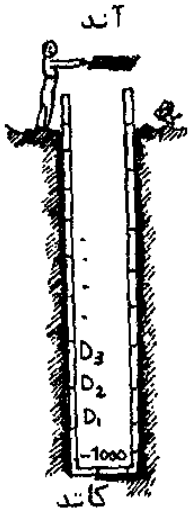
مبتدی‌ــ در واقع سود داشتن یك سلول فتوالکتریك با این حساسیت بسیار بزرگ چیست؟

مهندس‌ــ بسیار اتفاق می‌افتدکه اشعهٔ نوری در اختیار دارید که سیلان آن بسیار ضعیف است. حالت مشخص‌تر از همه، کاربرد در «برق زن‌ها» است که برای آشکارکردن تشعشع‌های هسته‌ای بکار می‌روند.

مبتدی‌ــ منظورتان اشعه اتمی است؟

مهندس‌ــ دریك معنی بله، اما این‌طرز بیان راکه کمی شبیه به «علوم تصوری پیش‌پا افتاده برای روزنامه‌های بزرگ است» بهیچوجه دوست ندارم. تمام

پدیده‌هائی‌که بطور نادرست اتمی نامیده شده‌اند، در واقع همانهائی هستندکه در آنها یك تغییرشکل هسته دخالت می‌کند.



مبتدیـ می‌دانم‌چه نتیجه‌ای می‌خواهید بگیرید. بیرون‌کشیدن الکترون‌ها از یك‌کاتد لامپ الکترونی یا دریك‌گاز باایونیزاسیون، اتم‌هارا زیراثرمی‌گیرد و می‌تواند شایستهٔ عنوان «پدیدهٔ اتمی» باشد.

مهندسـ کاملا درست است. و تازه شما واکنش‌های شیمیائی را فراموش کرده‌اید که درآنها اتم‌های گوناگون بین خودشان الکترون مبادله می‌کنند. مثلا در شکستن اتم رادیوم، هسته‌های اتم هستندکه شکسته شده‌اند، همانطورکه فلز در بمب‌های اتمی شکسته می‌شود (که باید آنها را «بمب هسته‌ای» بنامند) و یا در باطریهائی‌که به‌وسیله پلوتونیوم تهیه می‌شوند.

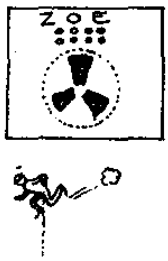
مبتدیـ مطالب مربوط به‌رادیو آکتیویته برای من تقریباً مبهم هستند. اما حالاکه صحبت دربارهٔ این مطالب راآغازکرده‌اید می‌توانم نتیجه بگیرم که نوع جذب‌کننده‌هارا تغییرداده‌ایم وچون بنظرمی‌رسدکه‌ساعتها دیروقت را نشان‌می‌دهند. گمان می‌کنم‌که امروز نمی‌توانم چیزی جذب‌کنم. اگرمیل داشته باشید فردادنبالهٔ گفتگو را می‌گیریم.

مهندسـ موافقم و به‌این‌ترتیب می‌توانیم به‌مسئلهٔ جذب‌کننده‌هاکه بدون شك‌کمی خسته‌کننده ولی در الکترونیك بسیار مهمند پایان بدهیم.

مبحث چهارم

مهندس با فرورفتن درقلب ماده، دوست خود را ازرازهای پارتیکول‌ها، پروتون‌ها، نوترون‌ها وچیزهای‌دیگر وهمچنین‌ازتشعشع‌های‌هسته‌ای آگاه‌خواهد ساخت. بنابراین فوراً به‌جذب‌کننده‌های‌حساس در برابراین تشعشع‌ها می‌رسد (شمارگرگایگر Geiger، اطاق ایونیزاسیون، برق‌زن‌ها) وچون دوستان ما از پارتیکول‌ها صحبت‌می‌کنند، به‌وقایعی می‌رسندکه در ایون‌هادرقلب محلول‌ها می‌گذرند. مبتدی‌خواهد دیدکه P^H (که درجهٔ اسیدی بودن یك محلول را اندازه می‌گیرد) و توانائی اکسیدکنندگی‌آن چیست وجذب‌کننده‌هائی‌که امکان اندازه‌گیری این اعداد را بوجود می‌آورندکدامند.

اندازه‌گیری‌های هسته‌ای و شیمیائی



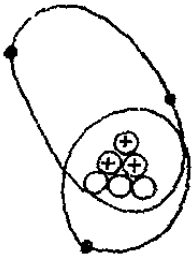
مبتدی‌ـ آقای مهندس من‌کاملا سرخورده و ناراحت هستم. کوشش‌کردم‌اثری را بخوانم‌که دربارهٔ «پدیده‌های هسته‌ای» (همانطورکه شما نام بردید) نوشته شده بود و مورد حملهٔ سیلابی ازکلمه‌های ناشناس قرارگرفتم مثل اشعهٔ بتا، نوترون‌ها، ایزوتوپ‌ها، الکترون ولت، براترون (Bératron)...

مهندس‌ـ معنی همهٔ آنها را الان برایتان نخواهم‌گفت، اما خواهید دیدتا آن حد هم‌که فکرمی‌کنید وحشت‌آور نیستند. ابتدا از شما می‌خواهم‌که بمن‌بگوئید هستهٔ اتم‌ها چگونه درست شده‌اند؟

ساختمان اتم‌ها

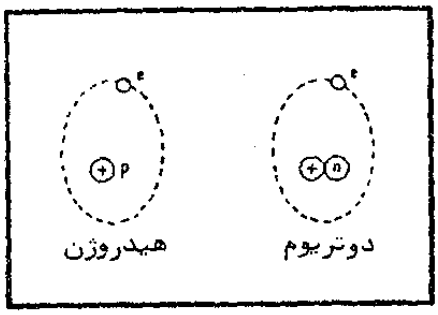
مبتدی‌ـ هسته‌هاگلوله‌های بسیارکوچکی هستندکه بار مثبت دارندوتقریباً تمام جرم اتم درآنهاست.

مهندس‌ـ دراین‌گفته‌حقیقت وجود دارد اما دربارهٔ هسته‌ها مطالب‌بیشتری فهمیده شده است. این هسته‌ها ازدونوع پارتیکول (ذرات بسیار ریز) درست‌شده‌اند که یکی از این دو نوع، پروتون‌ها Proton، دانه‌های ریزبا بار مثبت هستند و دیگری نوترون‌ها Neutron، دانه‌های ریز با همان جرم اما بدون بارند. بار الکتریکی یك پروتون برابر بار یك الکترون است اما با علامت مخالف. مسلماً در یك اتم‌که خنثی است به‌همان اندازه پروتون درهسته وجود دارد که الکترون درحال‌گردش به‌دورآن موجود است. تعداد پروتون‌ها «عدد اتمی» یا «ظرفیت‌اتمی» نامیده می‌شود. مثلا هستهٔ هیدروژن ساده فقط یك پروتون دارد که دراطراف آن الکترون اتم‌گردش می‌کند. پس ظرفیت اتمی هیدروژن ۱ است. اما نوع‌دیگری هیدروژن هم هست‌که هیدروژن سنگین (یا دوتریوم deutérium) است و به‌مقدار بسیارکم به‌صورت مخلوط با هیدروژن ساده (کمتر از $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ هیدروژن سنگین برای $\frac{۹۹۹}{۱۰۰۰}$ هیدروژن ساده) درگاز هیدروژن معمولی وجود دارد. این هیدروژن



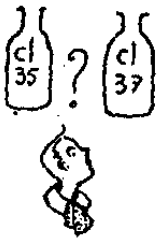
سنگین، درهستهٔ خودش، یك پروتون و یك نوترون دارد. (شکل ۲۸). هر اتم آن، مثل هیدروژن ساده، فقط یك الکترون دارد. دوتریوم وزن مخصوصی بیشتر از هیدروژن ساده دارد اما خواص شیمیائی آن تقریباً مشابه است. دوتریوم را درجدول دوره‌ای عنصرها، که جدول «مندلیف» (Mendeleeff) نامیده شده است، در همان خانهٔ هیدروژن جای می‌دهند و بهمین دلیل است که دوتریوم و هیدروژن سبك را «ایزوتوپ» (Isotope) می‌نامند که از دو کلمهٔ یونانی «ایزوس ISOS» به‌معنی «هم» و «توپوس Topos» به‌معنی «خانه و جا» گرفته شده است.

به این ترتیب اتم‌هائی وجود دارند که با داشتن یك تعداد پروتون، ظرفیت اتمی یکسانی دارند، اما می‌توانند به‌دوشکل وجود داشته باشند. اختلاف اینها به‌وسیلهٔ تعداد نوترون‌ها که با پروتون‌ها درهسته بطور ثابت قرار گرفته‌اند، تعیین می‌شود.



شکل ۲۸ــ هیدروژن ساده، درهستهٔ خود، غیر از یك پروتون چیزی ندارد. ایزوتوپ (همخانه) سنگین آن «دوتریوم» اضافه برآن یك نوترون درهسته دارد. برای هردونوع هیدروژن فقط یك پروتون دراطراف هسته وجود دارد.

مثلادر کلر که ظرفیت اتمی آن ۱۷ است (۱۷ پروتون در هسته و ۱۷ الکترون اطراف آن دارد)، دو دسته اتم وجوددارند یکی آنهائی که در هسته اضافه بر ۱۷ پروتون، ۱۸ نوترون هم دارند (جمع ذرات ریز موجود درهسته ۳۵ است) و دیگری اتم‌هائی که ۱۷ پروتون و ۲۰ نوترون در هسته دارند (جمع تعداد ذرات ریز هسته ۳۷ است). این دو نوع کلر، که از نظر شیمیائی کاملا شبیه بهم هستند، دوایزوتوپ را تشکیل می‌دهند.



مخلوط ایزوتوپ‌ها

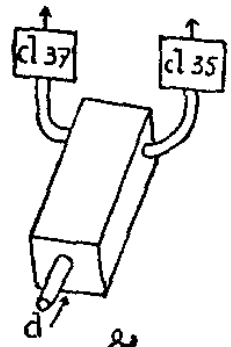
مبتدی‌ــ گازی که به‌نام کلر نامیده می‌شود، از اتم‌های ۱۸ نوترونی تشکیل شده یا ۲۰ نوترونی؟

مهندس‌ــ ازهردونوع دارد، تقریباً $\frac{۳}{۴}$ آن کلر ۱۸ نوترونی است و $\frac{۱}{۴}$ کلر ۲۰ نوترونی.

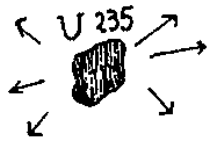
مبتدی‌ــ حتماً برحسب آنکه مبدأ کلر چه باشد نسبت آنها تغییر می‌کند؟

مهندس‌ــ نه، وهمین موضوع عجیب‌ترین پدیده‌ایست که تاکنون شناخته‌شده است چون نسبت این دونوع کلر کاملا یکسان است خواه کلر را از نمك دریای هند بدست آورده باشند ویا از کلرورپتاسیم موجود در الزاس Alsace تهیه کرده باشند.

مبتدی‌ــ و جداکردن این دو ایزوتوپ از هم غیرممکن است؟



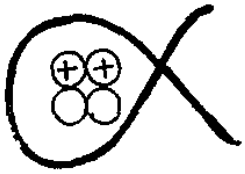
مهندسـ نه، می‌شود این‌کار را کرد، اما بی‌نهایت مشکل است. این کار بخش بزرگی ازکارکارخانه‌های هسته‌ای‌کنونی را تشکیل می‌دهد به‌این‌معنی‌که‌جدا کردن ایزوتوپ‌های ۲۳۵ (۹۲ پروتون و ۱۴۳ نوترون) و ۲۳۸ (۹۲ پروتون و ۱۴۶ نوترون) اورانیوم طبیعی بخش بزرگی ازکارآنهاست. در واقع،ایزوتوپ ۲۳۵ اورانیوم تنها ایزوتوپ رادیوآکتیو اورانیوم است، یعنی هسته‌های اتم‌های آن خودبخود منفجرمی‌شوند. ازاین اورانیوم فقط به‌مقدار ۰/۷ درصد دراورانیوم طبیعی‌وجود دارد. آقای مبتدی در واقع بیشترجسم‌هائی‌که به‌آنها «ساده»می‌گویند، مخلوطی از ایزوتوپ‌ها هستند. اما جدا کردن این ایزوتوپ‌ها از هم به‌اندازه‌ای مشکل است‌که مدتها یعنی تا آغاز قرن بیستم‌آنها را به‌صورت مخلوط نمی‌دیدند. توجه داشته باشیدکه این ایزوتوپ‌ها از نظرخواص شیمیائی کاملا شبیه بهم هستند وآنوقت متوجه می‌شویدکه چراکشف‌آنها اخیراً آغاز شده است.



قلمروی پارتیکول‌ها (ذرات بسیار ریز)

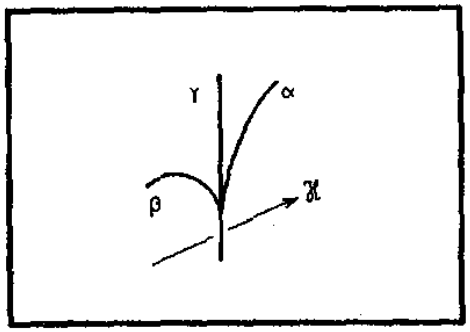
مبتدیـ حالا بخوبی می‌فهمم که ایزوتوپ‌ها چگونه‌اند. اما خیلی دلم می‌خواست بدانم‌که پارتیکول بتا (β) و سایرپارتیکول‌ها چگونه هستند...

مهندسـ الان می‌خواستم در بارهٔ آنها صحبت‌کنم. اجسامی که به‌آنها «رادیوآکتیو» گفته می‌شود، نوعی عدم ثبات دارندکه باعث می‌شودهستهٔ آنها خودبخود منفجر گردد. در این‌حالت تکه‌های‌کوچك هسته به‌وجود می‌آیند که درتمام جهت‌ها حرکت می‌کنند، این تکه‌ها ممکن است نوترون باشند (تشعشع نوترونی) وگاهی هم ممکن است الکترون باشند (که دراین‌حالت می‌گویند اشعهٔ بتا β). همینطور ممکن است وضعی پیش بیایدکه‌دیده شود از هسته‌گروه‌های چهار پارتیکولی‌بیرون می‌آیندکه دونوترون و دوپروتون هستند. این‌گروه‌ها را پارتیکول‌های آلفا (α) یا «هلیون» (که هستهٔ هلیوم است) می‌نامند و تشعشع تشکیل شده به‌وسیلهٔ این پارتیکول‌ها، «تشعشع α» نام دارد.



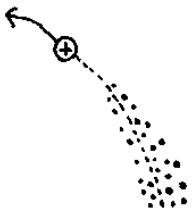
همچنین تشعشعی‌هست‌که همراه‌باپدیده‌های هسته‌ایست وآن تشعشع γ (گاما) است‌که شبیه به‌نور (یا بهتربگوئیم شبیه اشعهٔ X) میباشد وحالت موجی بیشتری از خود نشان می‌دهد.

مبتدیـ این تشعشع با دیگران کاملا متفاوت است چون بجای اینکه از پارتیکول‌ها تشکیل شده باشد، یك نوع نوراست.



شکل۲۹ـ یك‌میدان‌مغناطیسی اشعه γ را منحرف نمی‌کند؛ این میدان اشعه α را کم واشعه β را (درجهت مخالف) زیادمنحرف می‌کند.

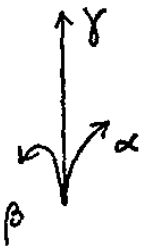
مهندس- اوها می‌دانید، بین تشعشع پارتیکول‌ها و تشعشع از نوع نور اختلاف چندانی نیست. اختلاف‌ها بیشتر در توانائی نفوذ تشعشع‌هاست.



تشعشع α راه درازی طی نمی‌کند و فقط در هوا چند میلیمتر پیش می‌رود. اشعهٔ β می‌تواند دورتر برود و ممکن است از صفحه‌های آلومینیومی با مقداری کلفتی و حتی فولاد نازك عبور کند (هرچه وزن مخصوص ماده کمتر باشد تشعشع هسته‌ای آسانتر از آن می‌گذرد). اشعه γ بسیار نافذ است. این سه نوع تشعشع، این خاصیت را دارند که ایونیزاسیون به‌وجود می‌آورند به‌این معنی که می‌توانند در گازهائی که عبور می‌کنند آنها را به‌بخش‌هائی تقسیم کنند که از نظر الکتریکی خنثی نباشند (ایون‌ها) و به‌این ترتیب گاز را به‌صورت رسانای الکتریسیته درآورند. همینطور، این تشعشع‌ها می‌توانند، وقتی بخار آب تا درجه گرمای پائین‌تری که معمولا (با توجه به تراکم بخار آب) باید اشباع بشود، سرد شده باشد، در آن ایجاد اشباع کنند. بخار در این حالت ناپایدار بالای اشباع می‌تواند یك لحظه باقی بماند...

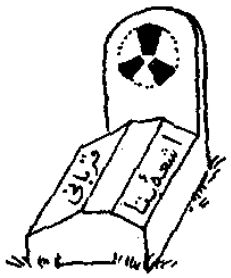
مبتدی- مثل آبی که توانسته باشند آنرا چند درجه پائین‌تر از صفر درجه بیاورند بی‌آنکه یخ بزند.

مهندس- مقایسه بسیار عالی است. اگر از چنین بخاری اشعهٔ هسته‌ای (α، β یا γ) عبور کند، بخار آب می‌تواند ناگهان متراکم بشود و مسیر عبور اشعه با پیدا شدن قطره‌های آب در آن، رسم می‌شود.



مبتدی- آیا از اختلاف توانائی نفوذ آنها می‌شود اشعهٔ α، β و یا γ را از هم مشخص کرد؟

مهندس- اینهم یك راه آنست. ترجیح داده می‌شود که اشعه را از یك میدان مغناطیسی بگذرانند. در این صورت اشعه α (که پارتیکول‌های مثبت و بسیار سنگین هستند) در یك جهت به‌مقدار کم منحرف می‌شوند، اشعه β (که پارتیکول‌های منفی بسیار سبکند) در جهت مخالف خیلی منحرف می‌شوند. اشعه γ منحرف نمی‌شوند (شکل ۲۹). نوترون‌ها هم منحرف نمی‌شوند، اما جهش نوترون‌ها خاصیت ایونیزاسیون ندارد، بخار آب را متراکم نمی‌کند، نوترون‌ها را به‌وسیلهٔ روشهای غیر مستقیم مشخص می‌کنند.



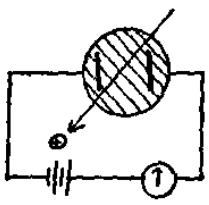
مبتدی- بدون شك این اشعه‌مثل اشعه X می‌توانند از بدن انسان بگذرند؟

مهندس- بله، بجز اشعه α. اینها هم مثل اشعه X، اگر زیاد بکار برده شوند، برای انسان و موجودات زنده زیان بخش هستند، بهمین جهت آشکارساختن آنها بسیار مهم است.

اندازه‌گیری تشعشع‌ها

مبتدی- تصور می‌کنم که تراکم بخار آب را در «تأخیر تراکم» بکار خواهید برد؟

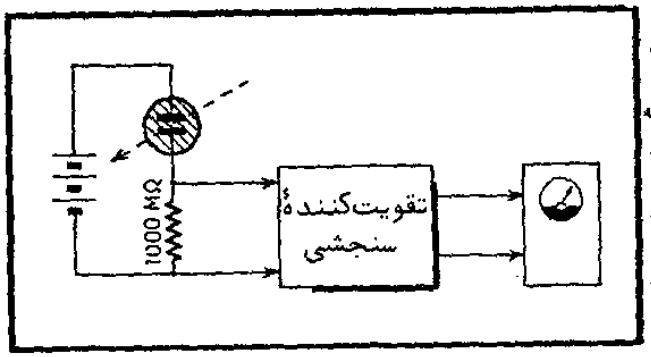
مهندس- آنرا «بخار بالای اشباع» می‌نامند. می‌توانستیم از این پدیده استفاده کنیم، و به‌همین ترتیب تا سی سال پیش رادیو آکتیویته را بررسی می‌کردند. محفظه‌ای که محتوی بخار آب است «اطاق ویلسون» می‌نامند. ما بیشتر خاصیت این تشعشع‌ها را از نظر رسانا کردن گازها بکار خواهیم گرفت. گازی را وارد یك محفظه



می‌کنیم (که «اطاق ایونیزاسیون» می‌نامند) که در آن دو الکترود قرار دارد و بین این دو الکترود یك فشار الکتریکی گذاشته شده است. جریانی را که از اطاق ایونیزاسیون می‌گذرد، اندازه می‌گیریم؛ این جریان متناسب با تشعشع، حجم اطاق (با فرض اینکه تمام این حجم زیر اثر تشعشع قرار گرفته باشد) و فشار گاز است.

مبتدیـ این جریان را با یك آمپرمتر اندازه می‌گیرند؟

مهندسـ البته که نه! حتی حساس‌ترین میکروآمپرمترها چیزی نشان نمی‌دهد مگر اینکه اطاق ایونیزاسیون بسیار بزرگ و زیر اثر تشعشع زیاد قرار



شکل ۳۰ـ پارتیکول‌های هسته‌ای که از گاز اطاق ایونیزاسیون می‌گذرند این گاز را به دو ایون تجزیه می‌کنند و به این ترتیب جریان بسیار ضعیفی در این اطاق به وجود می‌آورند؛ افت فشار ایجاد شده به وسیلهٔ این جریان را در یك مقاومت بسیار زیاد اندازه می‌گیرند.

گرفته باشد. درواقع، عموماً جریانی وجود دارد که در حدود میلیونیم میکروآمپر یا کمتر از آنست. این جریان را از مقاومت‌های خیلی زیاد (چندین هزار یا میلیون مگاهم) می‌گذرانند (شکل ۳۰) و اختلاف سطح دو سر این مقاومت‌ها را به کمك یك «تقویت‌کنندهٔ سنجشی» اندازه می‌گیرند که اکنون به آن اشاره کردم و بعد درباره آن گفتگو خواهیم کرد.

مبتدیـ پس به این ترتیب دوش اندازه‌گیری شما به وسیلهٔ اطاق ایونیزاسیون، بهیچوجه حساس نیست؟

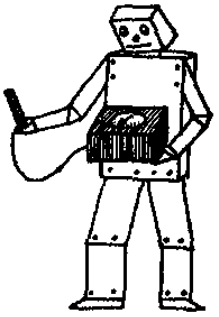
مهندسـ حساسیت آن کم است، اما از نظر اینکه می‌تواند تشعشع‌های بسیار قوی را اندازه بگیرد، بسیار سودمند است. این تشعشع‌ها ممکن است در شمار تشعشع‌هائی باشند که انسان می‌تواند دهها ساعت زیر اثر آنها باشد بدون اینکه خطر جدی برایش داشته باشد و یا تشعشع‌هائی باشند که در یك دقیقه اورا می‌کشند.

مبتدیـ برای تشعشع‌های نوع اخیر، ترجیح می‌دهم اطاق ایونیزاسیون چندین متر دورتر از من باشد!

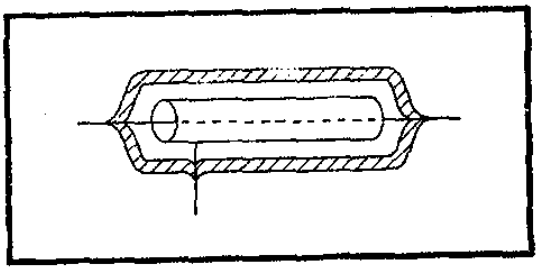
شمارگر «گایگر Geiger»

مهندسـ از اینهم بهتر عمل می‌کنند به این ترتیب که دستگاههای بافرمان از دور را برای اندازه‌گیری می‌فرستند. برای تشعشع‌های ضعیف‌تر، خاصیت‌های ایونیزاسیون را به روشی دیگر در شمارگر «گایگر ـ مولر» (Geiger–Muller) بکار می‌گیرند.

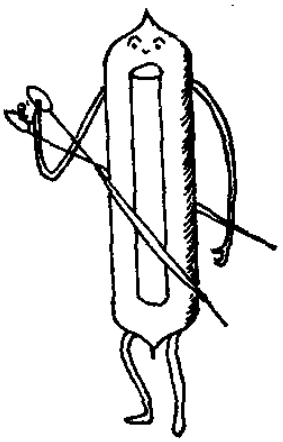
مبتدیـ این دستگاه چیست؟



مهندسـ دستگاه بسیارساده‌ایست. محفظه‌ای داردکه‌محتوی گاز با فشارکم است. یك استوانه‌در آن می‌گذارندکه به‌دور یك سیم‌عایق‌قرارگرفته‌است(شکل۳۱). اگر بین سیم و استوانه اختلاف سطحی قرار بدهیم چیزی داریم...



شکل۳۱ـ دریك شمارگرگایگر-مولر، یك استوانه‌که درمرکزش سیمی‌کشیده شده، در حبابی‌گذاشته شده‌که محتوی گاز با فشارکم است و در این گاز، ایونیـــزاسیون ایجـــاد شده به‌وسیلهٔ هرپارتیکول درتمام حباب‌گسترش‌پیدا می‌کند.



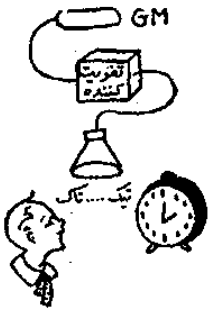
مبتدیـ ... شبیه به‌اطاق ایونیزاسیون.

مهندسـ آه، به‌آن خیلی شباهت دارد و ممکن بود مثل آن بکار برود. اما اختلاف سطح بکاربرده شده نسبتاً زیاد است ونزدیك به‌اختلاف سطحی است‌که برای ایجاد ایونیزاسیون درگاز محفظه لازم است. اگـــریك پارتیکول هسته‌ای از گاز بگذرد، می‌تواند ایونیزاسیون ایجادکند.

مبتدیـ درست مثل اطاق ایونیزاسیون است.

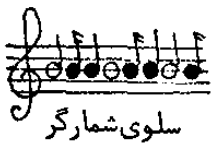
مهندسـ به‌دو دلیل نه. اول اینکه اختلاف سطح بین‌دو الکترودبه‌اندازهٔ کافی زیاد است‌بطوری‌که زیراثر ایونیزاسیون محلی ایجاد شده به‌وسیلهٔ‌پارتیکول، تمام‌گاز محفظه به‌دوایون تجزیه می‌شود، و به‌این ترتیب جریان زیادی به‌وجـــود می‌آورد. دوم اینکه ما درپی اندازه‌گیری این جریان نیستیم. فقط کاوش می‌کنیم که این پدیده چندبار دریك ثانیه ایجاد می‌شود.

مبتدیـ پس تعداد ضربه‌ها راکه ممکن است زیاد باشد، شمارش‌می‌کنند. اما بمن‌گفتیدکه ایونیزاسیون زیر اثرفشار بین استوانه وسیم برقرار می‌شود، پس چگونه خاموش خواهد شد؟

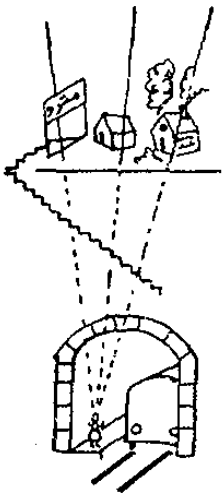


مهندسـ نکتهٔ خوبی را یادآوری‌کردید، درواقع اگرهیچ‌کارخاصی‌انجام نشود، خاموش نخواهد شد. برای متوقف‌کردن (یا خاموش‌کردن‌آن) می‌توان یك مونتاژ الکترونی بکاربردکه «خاموش‌کن» نامداردکه پس ازیك‌ضربه‌ایونیزاسیون، فشار در دوسرلامپ را خیلی پائین می‌آورد وبه‌این‌ترتیب ایونیزاسیون را از بین می‌برد. بهترین راه‌حل اینست‌که درگاز لامپ مقدارکمی از بخار یك الکل‌سنگین ویا بروم (brome) قرار دهیم. به‌این‌ترتیب مولکول‌های‌آنها، به‌سبب‌ماندی کـــه دارند، وقتی در شمارگریکبار ایونیزاسیون بوجودآمد.آنرا از بین می‌برند.اینها شمارگرهای «با قطع خودکار» هستند. ببینید یکی ازآنها راآورده‌ام،آنرا به‌برق وصل می‌کنم و ورودی این تقویت‌کننده را به‌دوسرمقاومتی‌کـــه جریان سیم از آن می‌گذرد، متصل‌می‌کنم. بلندگوهائی‌که درخروجی تقویت‌کننده قراردارند به‌ما امکان می‌دهندکه صدای‌ضربه‌ها را بشنویم. یك تکه پشبلند Pechblende کهسنگ‌معدن

رادیوم و اورانیوم است به‌آن نزدیك می‌کنم؛ صدای ضربه‌هائی را که بسا تعداد زیادتر «تق تق» می‌کنند، می‌شنوید.

مبتدی‌ـ بله. امـا عـجیب است. این‌کار صـدای مشخصی، یعنی فرکانس موسیقی ایجاد نمی‌کند. بدون شك برای اینست‌که دراینجا ضربه وجوددارد نه‌تغییر سینوسی شکل.

سلوی‌شمارگر

مهندس‌ـ بهیچوجه تغییرسینوسی نیست‌آقـای مبتدی. تجـزیهٔ اتمها فقط برحسب قوانین اتفاقی است. امکان داردکه دریك ثانیه فقط یك‌بار باشد و درثانیه بعد ده‌بار بوجود بیاید. نظم وترتیبی‌که درپشت هم‌آمدن این ضربه‌ها هست بیشتر از نظم وترتیب ریزش قطره‌های باران برروی بام نیست. درعوض می‌توانید یك آهنگ متوسط را با تعداد ضربه در دقیقه تعیین کنید (به‌شرط‌آنکه در یك دقیقه تعدادش زیاد باشدکه بتوان قانون عددهای بزرگ را برای آنها بکاربرد).



مبتدی‌ـ حالا تکـه سنگ معدن اورانیوم خودتان را از اینجا دور کنید. عجب. مثل اینکه فرآورده رادیوآکتیوی در اینجا پنهان است چون ضربه‌ها ادامه دارند. البته بایدگفت‌که تعدادشان خیلی‌کم شده است.

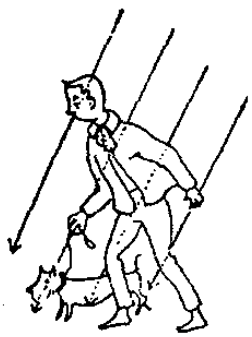
@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال

اشعهٔ‌کیهانی

مهندس‌ـ آقای مبتدی چیزی‌که حالا می‌شنوید، اثـر اشعهٔ‌کیهانی است. این اشعهٔ اسرارآمیزدراثرپارتیکول‌هائی‌که از ستارگان می‌آیند درجو بالابوجود می‌آیند و این پارتیکول‌ها مثل باران ضعیف بطورهمیشگی‌روی‌سرمان میریزند. آنهاشبیه به‌اشعه γ هستندامـا نفوذشان بیشتراست چون چندین‌متر بتون‌هم‌نمی‌تواند ده‌درصد از آنها را متوقف‌کند. این اشعه برای اندازه‌گیری بسیار آزار دهنـده هستند، چون نمی‌شود ازبندآنها رست. و ناچاریم اندازه‌گیری را با درنظرگرفتن آنها انجام دهیم. همانطورکه ناچار باشیم اندازه‌گیری نوررا انجام دهیم بی‌آنکه بتوانیم درتاریکی‌کامل قرار بگیریم.

مبتدی‌ـ اوه، نباید این را بمن می‌گفتید. این اشعه‌که بدون وقفه از بدن من می‌گذرند. ناراحتم می‌کند.

مهندس‌ـ آقای مبتدی، مطمئن باشید. شما هم زیـراثراین اشعه قـرار دارید همانطورکه تمام افراد بشرقرارگرفته‌اند وحال ما هم بدترنشده است.



مبتدی‌ـ خوب، منهم همین را می‌خواهم. اماآقای مهندس بگوئید ببینم، به‌وسیلهٔ شمارگرشما، چه تشعشع‌هائی را می‌توان آشکارکرد؟

مهندس‌ـ تمام تشعشع‌هائی را اندازه می‌گیردکه با داشتن خاصیت‌ایجاد یونیزاسیون، می‌توانند وارد استوانه شمارگرشوند یعنی اشعه γ را همیشه،اشعه β را درصورتی‌که به‌اندازهٔ‌کافی نفوذکننده باشند (بخصوص اگر پوستهٔ شمارگر نازك باشد) وحتی بعضی‌از اشعه α را اندازه می‌گیرد به‌شرطی‌که درته شمارگردریچه‌ای از میکای نازك‌گذاشته باشند تاآنها را از خود بگذراند. بهرحال شمارگر«گایگر» دستگاهی است با حساسیت بسیار زیاد. این دستگاه بـرای تشعشع بسیار ضعیفی که برای انسان هیچگونه خطری نـدارد و مثلا به‌وسیله مقدارکمی سنگ معدن رادیوآکتیو ایجاد شده است، ضربه‌هائی ایجاد می‌کندکه آنکارا بیشتر از ضربه‌های

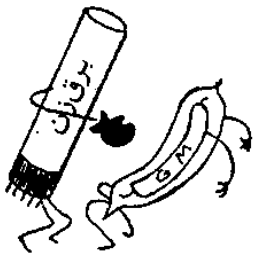
ایجاد شده به‌وسیلهٔ اشعهٔ کیهانی است. بهمین‌جهت است که آنرا برای بررسی‌های زمین و معادن، تشخیص هدر رفتن احتمالی تشعشع‌ها و بالاخره پژوهش‌های علمی بکار می‌برند.

برق زن

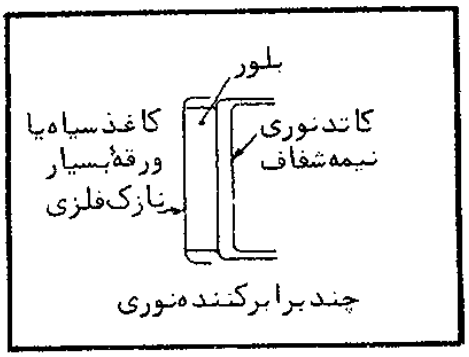
مبتدیـ بنابراین حساس‌ترین دستگاهها برای آشکارسازی تشعشع‌های هسته‌ای همین است؟

مهندسـ نه، دربرابر «شمارگر برق‌زن» شکست خورده است.

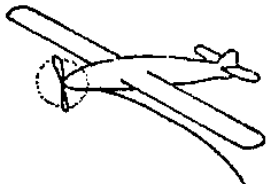
مبتدیـ این دستگاه چیست؟ گمان می‌کنم وقتی دربارهٔ سلول‌های چندبرابر کنندهٔ الکترون صحبت می‌کردید، اشاره‌ای به آن کردید؟



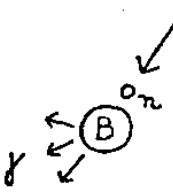
مهندسـ درست است. دراین دستگاه یك بلور یا یك پلاستیك مخصوص بکارمی‌برند که دارای این خاصیت است که وقتی یك پارتیکول هسته‌ای به آن برخورد کرد، برق کوچکی از آن بیرون می‌آید. این بلور روی کاتد نوری یك سلول فتوـ الکتریك با چند برابر کننده قرار داده شده است (شکل ۳۲). درحالی که این



شکل ۳۲ـ پارتیکول‌های هسته‌ای از کاغذ سیاه یا صفحهٔ فلزی (که برای جلوگیری از عبور نور است) می‌گذرند و در بلور نفوذ می‌کنند. این بلور برای هر پارتیکول برقی می‌فرستد که به‌وسیلهٔ چند برابر کنندهٔ نوری که بلور روی آن چسبیده است، آشکار می‌شود.

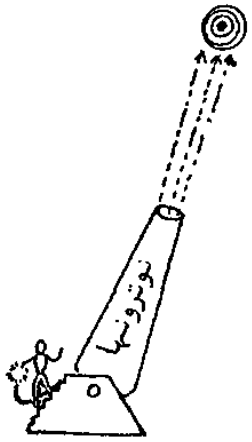


کاتد به‌وسیلهٔ کاغذ سیاه و یا یك پوشش تیره، از اثر نور محفوظ نگهداشته شده است و پارتیکول‌ها باید از آن بگذرند تا به بلور برسند. این جریان چند برابر کننده شامل تعدادی ضربه است که آهنگ متوسط آنرا اندازه می‌گیرند. این روش به اندازه‌ای حساس است که بررسی را در اتومبیل یا هواپیما هم امکان‌پذیر می‌کند بطوری که می‌توان با هواپیما از روی کشوری که فکر می‌کنند در آن سنگ معدن رادیو آکتیو وجود دارد پرواز کرد و آن را تعیین کرد. اضافه براین برق زن برای هر پارتیکول هسته‌ای ضربه‌ای به‌ما می‌دهد که متناسب با انرژی همین پارتیکول است. برعکس شمارگر «گایگر» که همه ضربه‌ها را برابر بدست می‌دهد. این خاصیت امکان می‌دهد که پخش انرژی پارتیکول‌های مختلف را اندازه بگیریم.



مسلماً دربارهٔ اندازه‌گیری هسته‌ای چند جلد کتاب می‌توان نوشت. اما گمان می‌کنم این موضوع را به‌پایان رسانده باشم.

مبتدیـ عقیدهٔ من این نیست. وخودم هم احساس نمی‌کنم که خسته شده و راضی به‌پایان دادن کار باشم... در بارهٔ آشکار سازی نوترون‌ها، چیزی برایم نگفته‌اید، دربارهٔ کاربرد ایزوتوپ‌ها وهمینطور کاربرد اندازه‌گیرهای مقدار رادیوـ



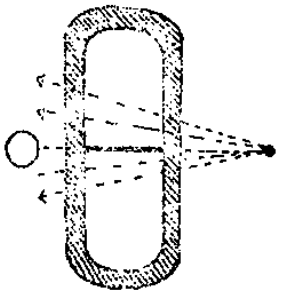
آکتیوها خارج از قلمروی تأمین سلامتی و بررسی وپژوهش‌های علمی هم صحبتی نکرده‌اید.

مهندس- پاسخ شما را به‌ترتیب می‌دهم. کشف کرده‌اند که اگر نوترون‌ها به یك اتم «بور Bore» برخورد کنند، یك سلسله واکنش‌های هسته‌ای به‌وجود می‌آورند که همراه با فرستان اشعه γ است. بنابراین کافی است صفحه‌ای را از اسید بوریك بپوشانیم و آنرا نزدیك یك شمارگر یا برق زن قرار دهیم و نوترون‌ها را آشکار سازیم.

مبتدی- در واقع بنظر خیلی ساده می‌آید.

کاربرد ایزوتوپ‌ها

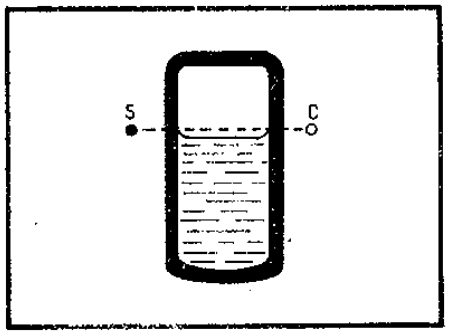
مهندس- ایزوتوپ‌های رادیوآکتیو اجسامی هستند که بطور مصنوعی با بمباران اتم‌های معمولی به‌وسیلهٔ سیلان بسیار زیاد نوترون‌ها، مثل آنچه در پیل هسته‌ای بوجود می‌آید، تهیه شده‌اند. این نوترون‌ها می‌توانند در یك اتم نفوذ کنند و درهسته داخل شوند. ایزوتوپ تازه‌ای که به‌این‌ترتیب بدست می‌آید، غالباً ناپایدار و به‌شدت رادیوآکتیو است. ایزوتوپ درهمه‌جا با فرآوردهٔ معمولی همراه است، اما اشعه هسته‌ای از خود می‌فرستد که امکان می‌دهد به‌وجودش پی‌ببرند. بطور مثال، اگر یك تکه فولاد یعنی قطعه‌ای از یك پیستون را زیر اشعهٔ نوترونی یك پیل قرار دهیم، اتم‌های ایزوتوپ رادیوآکتیو آهن تشکیل می‌شوند. با اندازه‌گیری مقدار رادیواکتیو بودن روغن‌هائی که در روغنکاری موتوری بکار می‌روند که این پیستون در آن کار می‌کند، مقدار درصد سایش را می‌توان اندازه گرفت. به‌این‌ترتیب به‌نوعی روی اتم‌ها نشانه‌گذارده‌ایم که دیگر گمنام نیستند. و این نشانه امکان می‌دهد که به‌وسیلهٔ اندازه‌گیری‌های فیزیکی آنها را دنبال کنیم همانطور که وقتی حلقه‌ای را به‌پای کبوتری می‌بندیم می‌توانیم در پروازهای بعدی محل آن را تعیین کنیم. بهمین‌ترتیب می‌شود جمع شدن ید Iode را (که بخشی از آن با ایزوتوپ ید مخلوط شده است) که به‌وسیلهٔ سرطان تیروئید بوجود می‌آید تشخیص داد چون اگر یك شمارگره «گایگر» را روی بیمار حرکت دهیم، محل‌هائی را که ید رادیوآکتیو و در نتیجه ید معمولی در آنها جمع شده است، نشان خواهد داد. گمان می‌کنم به‌این‌ترتیب به‌پرسش سوم شما پاسخ داده باشم. خاطرنشان می‌کنم که همینطور از رادیوآکتیو بودن اجسام به‌عنوان نور با خاصیت مخصوص که از اجسام تیره برای نورمعمولی، عبور می‌کند، استفاده می‌کنند.



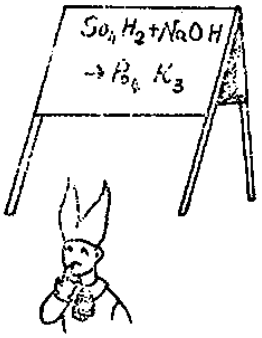
مثلا شما می‌توانید برای تعیین حد یك مایع در یك ظرف فولادی سربسته و تیره، یك منبع رادیوآکتیو S را در یك طرف و شمارگر «گایگر» C را در طرف دیگر بگذارید (شکل ۳۳). در این‌صورت برحسب اینکه حد مایع بالا یا پائین باشد، تشعشع کم‌وبیش جذب می‌شود. همینطور می‌توان کلفتی یك ورقهٔ فلزی را با تعیین مقدار باقیماندهٔ تشعشع پس از عبور از ورقه تعیین کرد.

مبتدی- بنظر می‌رسد که آیندهٔ درخشانی دارد.

مهندس- تازه وقت کافی ندارم تا برای شما دربارهٔ تعیین عیوب داخلی یك فلز، درمان‌های پزشکی، بررسی‌های تصفیه وخلوص... وخیلی چیزهای دیگر صحبت



شکل۳۳ــ می‌توان حد یك مایع را حتی دریك محفظهٔ تیره (غیرشفاف) تعیین کرد، چون این مایع برحسب پائین یا بالا بودن سطحش در محفظه کم و بیش تشعشع هسته‌ای منبع S را جذب می‌کند؛ تشعشع باقیمانده به‌وسیلهٔ شمارگر C اندازه‌گیری می‌شود.



کنم. ترجیح می‌دهم که مسئلهٔ جذب‌کننده‌ها را تمام کنم و دربارهٔ دستگاههائی صحبت کنم که دربرابر کنش‌های شیمیائی حساس هستند.

شیمی الکتریکی ایون‌ها

مبتدیــ می‌دانید که من درشیمی زیاد قوی نیستم.

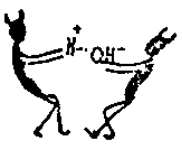
مهندســ این موضوع تأثیری ندارد. کافی است بدانید کــه واکنش‌هــای شیمیائی چیزی جز کنش‌های الکتریکی بین ایونهای مختلف نیستند (فقط ازشیمی محلول‌ها صحبت می‌کنم). اسید به‌ماده‌ای می‌گویند که درمحلول، ایون‌های هیدروژن H^+ یا اتم‌های هیدروژنی را که الکترون خود را از دست داده‌اند، آزاد کند.

مبتدیــ پس اینها پروتون هستند.

مهندســ در واقع همینطور است. این پــروتون‌ها میل آشکاری بــرای بدست‌آوردن الکترون ازدست رفته خوددارند وغالباً این کار را با گرفتن الکترون‌های زیادی ایون‌های منفی انجام می‌دهند. مثلا درمحلول‌ها به‌ایون‌هائی برخوردمی‌کنیم که «اکسیدریل Oxhydrile» نام دارند یعنی OH^- کــه گــروهی از یك اتم اکسیژن، یك اتم هیدروژن‌ویك الکترون اضافی است. این‌ایون OH^- میل بسیار شدیدی برای ترکیب با ایون H^+ دارد.

مبتدیــ این ترکیب چه می‌دهد؟

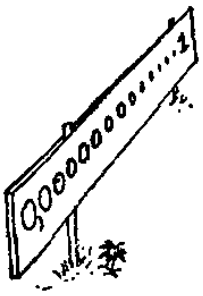
مهندســ فقط آب H_2O بدست می‌آید که ترکیبی خنثی است. برعکس آب تمایل بسیارکمی برای تجزیه شدن به‌ایون‌های H^+ و OH^-دارد، اما این تمایل بی‌نهایت‌کم است چون آب خالص به‌سختی رسانــای الکتریسیته است. این واکنش را اینطور می‌نویسند: $H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$

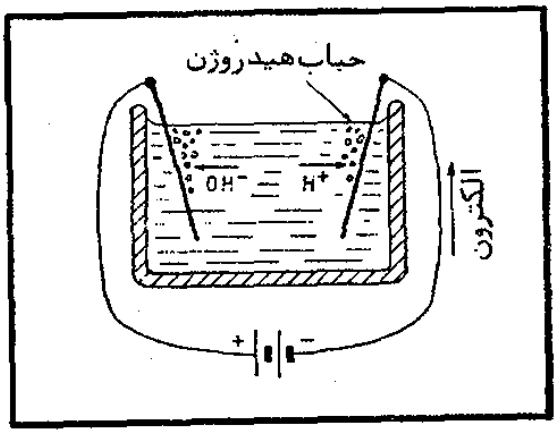


دو علامت سهم نشان دهنــدهٔ آنست که عمل ممکن است در دوجهت انجــام شود، امــا بخصوص در جهت راست به‌چپ بیشتر انجام می‌گردد، می‌تــوان به‌وسیلهٔ یك قانون شیمیائی نشان داد که حاصلضرب عامل‌های دارای ایون H^+ (غلط‌که به‌صورت H^+ نوشته شده) و عامل‌های دارای ایون OH^-(نوشته شده OH^-) مقدار ثابتی است که برابر است با:

$$H^+ \times OH^- = 10^{-14}$$

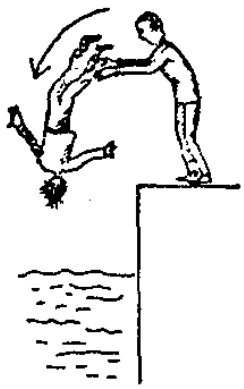
مبتدیـ این مقدار واقعاً زیاد نیست! چون برابر یک صد هزارم یک میلیاردیم است! رقم این غلظت را چگونه تعیین می‌کنید؟





شکل ۳۴ـ اگر بین دو الکترودی که در آب گذاشته شده است، اختلاف سطحی بگذاریم، ایون‌های H^+ به طرف کاتد می‌روند و در آنجا الکترونی که کسر دارند بدست می‌آورند و تبدیل به هیدروژن می‌شوند؛ این پدیده الکترولیز نام دارد (ایون‌های OH^- هم بهمان ترتیب در آند بار خود را از دست می‌دهند و اکسیژن آزاد می‌کنند).

مهندسـ آنها را برحسب «ایون گرم در لیتر» تعیین می‌کنند که برابر تعدادی است که ۱ گرم H^+ یا ۱۷ گرم OH^- در یک لیتر وجود دارند (که مربوط به ۶×۱۰^{۲۳} ایون حقیقی است). مسلماً نمی‌شود ایون‌ها را وزن کرد، چون داشتن آنها در حالت آزاد غیرممکن است. اما می‌توان مقدار آنها را با روش غیر مستقیم تعیین کرد. مثلاً می‌توان به ایون‌های H^+ الکترون‌هائی را که ندارند رساند و نتیجهٔ آن بدست آمدن گاز هیدروژن است (شکل ۳۴) که می‌شود حجم آنرا اندازه گرفت که از روی آن وزن بدست می‌آید (که تقریباً ۱ گرم برای ۱۱ لیتر است).



pH

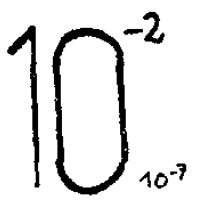
مبتدیـ از روی برابری شما در تجزیه، تعداد ایون‌های H^+ برابر با تعداد ایون‌های OH^- است؟

مهندسـ بله، به‌شرطی که به آب جسم دیگری اضافه نکرده باشیم. حالا که شما به این خوبی مطلب را فهمیده‌اید بمن بگوئید تمرکز ایون‌های H^+ در آب چقدر است؟

مبتدیـ می‌توان آنرا پیدا کرد. چون $OH^- = H^+$ و حاصلضرب آنها هم $۱۰^{-۱۴}$ است. مقدار هر کدام $۱۰^{-۷}$ می‌شود.

مهندسـ کاملا درست است. اگر در آب اسیدی اضافه کنم که ایون‌های H^+ را به مقدار زیاد آزاد کند، غلظت ایون‌های OH^- باز هم پائین می‌آید تا حاصلضرب $|H^+ \times OH^-|$ برابر با $۱۰^{-۱۴}$ باقی بماند. هرچه ایون‌های H^+ بیشتر باشند، محلول خاصیت اسیدی بیشتری دارد. عادت شده است که مقدار ایون‌های H^+ را در یک محلول با بدست دادن لگاریتم $|H^+|$ با علامت مخالف اندازه بگیرند

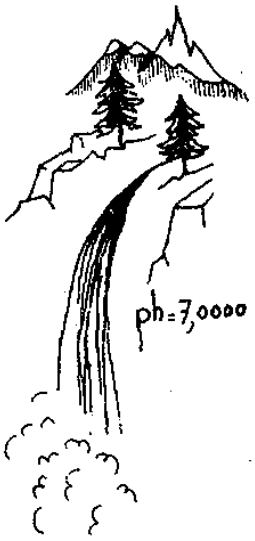
و آنرا pH محلول می‌نامند.



مبتدیـ آه! لگاریتم، من از آن وحشت دارم!

مهندسـ فقط این‌را بخاطر داشته باشید که اعدادی که در زیر نوشته شده لگاریتمی دارند که در کنار آنهاست:

۰ ..... ۱
۱ـ ..... ۰/۱ یا 10^{-1}
۲ـ ..... ۰/۰۱ یا 10^{-2}
۳ـ ..... ۰/۰۰۱ یا 10^{-3}
۴ـ ..... ۰/۰۰۰۱ یا 10^{-4} وغیره



مبتدیـ به‌این‌ترتیب لگاریتم بطور ساده برابر توان ۱۰ است؟

مهندسـ خودتان متوجه شدید. بنابراین وقتی مشخص می‌کنند که pH یك محلول مثلا ۶ است، معنی آن اینست که غلظت ایون‌های H^+ در این محلول 10^{-6} است. ببینید آبی که کاملا خالص باشد pH آن ۷ است. برای محلول‌های اسیدی pH کوچکتر از ۷ است...

مبتدیـ آه نه‌دیگر! درمحلول‌های اسیدی، غلظت ایون‌های H^+ بیشتر است.

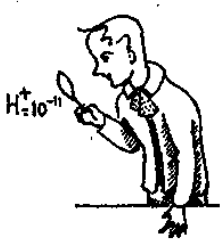
مهندسـ آقای مبتدی با اینحال قبول دارید که 10^{-2} (یا ۰/۰۱) بزرگتر از 10^{-7} (یا ۰/۰۰۰۰۰۰۱) است؟

مبتدیـ درست است، حق دارید. پس درمحلول‌هائی که خیلی اسیدی باشند این pH را تا چه مقدار می‌توان پائین آورد؟

مهندسـ اگرمقدار pH برابرصفر باشد، در هر لیتر یك ایون‌گرم H^+ خواهیم داشت. چون می‌توانیم کمی بیشتر از آن داشته باشیم، pH می‌تواند کمی پائین‌تر از صفر، تقریباً ۱ـ باشد.

برعکس در محلول‌های بازی (یا قلیائی) که در آنها ایون OH^- اضافه شده است، غلظت ایون‌های H^+ به کمتر از مقدار 10^{-7} کاهش می‌یابد و می‌تواند تا مقدار 10^{-14} کم شود (وقتی که یك ایون‌گرم OH^- در یك لیتر وجود دارد) و pH به ۱۴ می‌رسد. حتی می‌توان کمی جلوتر رفت و تقریباً به ۱۵ رسید، اما این کاملا استثنائی است.

اندازه‌گیری pH



مبتدیـ بنابراین اندازه‌گیری pH آنها باید مطلقاً انجام نشدنی باشد؟

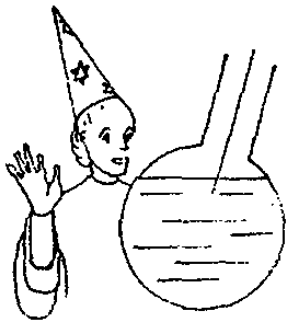
مهندسـ چرا می‌خواهید برای pH زیاد یا به‌عبارت دیگرمحلول‌های بازی این اندازه‌گیری دشوارتر باشد؟

مبتدیـ زیرا مقدار ایون‌های H^+ برابر 10^{-12} یا کمتر از آن در لیتراست، و باید مطلقاً حتی با دستگاههای دقیق غیرقابل اندازه‌گیری باشد.

مهندسـ اگراندازه‌گیری شیمیائی انجام می‌شد، این مطلب کاملا درست

بود (حتی اگر مقدار pH از ۳ به‌بعد بود). در واقع این کار به‌اندازه‌گیری‌های الکتریکی محدود شده است. مشاهده شده است که وقتی یك جدار نازك شیشه‌ای دومحلول را از هم جداکندکه pH آنها به‌ترتیب pH_1 و pH_2 باشد (شکل ۳۵) پیلی به‌دست می‌آیدکه نیروی محرکهٔ آن بطورمحسوس برابراست با:

$$E=E_0+0/06(pH_1-pH_2)$$

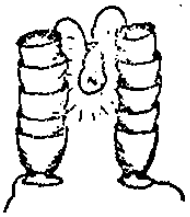


مقدار ثابت E_0 بستگی به‌چند عامل‌دارد.درواقع درمحلولی که می‌خواهند pH آنرا اندازه بگیرند یك‌گوی شیشه‌ای مخصوص شناور می‌کنند که محتوی محلول اسیدی با pH شناخته شده است و یك سیم طلای سفید در آن قرار دارد. به‌تمام این دستگاه «الکترود شیشه‌ای» می‌گویند.

مبتدیـ خوب آقای مهندس! مرا مسخره می‌کنید! شیشه یك عایق کامل است (که برای لامپ‌های الکترونی جای خوشوقتی است). چطور می‌خواهید با شیشه‌که عایق است یك الکترود درست‌کنید؟

مهندسـ این شیشه آنطور نیست. به‌شما گفتم‌که یك شیشهٔ مخصوص است. بله، با شما موافقم‌که این شیشه برای‌کانال‌سازی سیم‌کشی برق درخانهٔ شما مناسب نیست؛ حتی مقاومت الکترود شیشه‌ای‌که درجاهای دیگرخوبست، بزرگترین نقص این دستگاه است. این مقاومت از ۵۰ مگاهم تا چندین هزارمگاهم است.

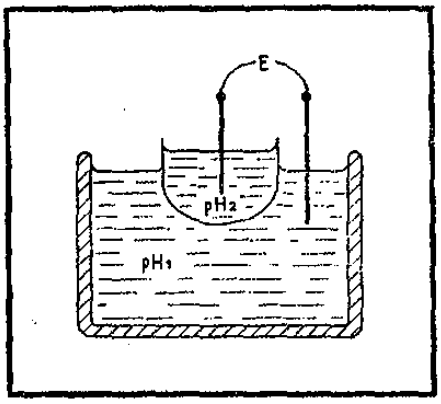
مبتدیـ به‌عبارت دیگردراینجا رسانائی درکار نیست بلکه یك عایق غیرکامل است. اختلاف سطح محلول را چگونه اندازه می‌گیرند؟



مهندسـ درآن الکترود دیگری غوطه‌ور می‌کنندکه الکترود «مراجعه» نامیده می‌شود ومعمولا ازیك‌گروه تشکیل شده است‌که شامل کلرورپتاسیم، کلرور جیوه (کالومل Calomel)، جیوه وطلای سفید است. این الکترود «کالوملی» با رشته طلای سفید الکترود شیشه‌ای تشکیل یك‌پیل می‌دهدکه نیروی محرکهٔ آنرا اندازه‌می‌گیرند. این نیروی محرکه با pH محلولی که باید بررسی شود به‌وسیلهٔ یك‌رابطهٔ خطی‌وابسته است.

$$e=A+0/06pH$$

که برای هرواحد pH تغییر برابر $60\ mV$ است. عدد ثابت A بستگی به‌الکترود کالومل و غلظت محلول مشخص در حباب شیشه‌ای دارد. و سازندگان الکترودها



شکل ۳۵ـ درحالی‌که دو محلول با pH مختلف‌را به‌وسیلهٔ یك جدارظریف‌شیشه‌ای (که زیاد عایق نیست) ازهم‌جدامی‌کنند، اختلاف‌سطحی بوجودمی‌آورندکه متناسب با اختلاف pH این دومحلول است.

آنرا برای شما مشخص می‌کنند.

مبتدیـ پس به‌این‌ترتیب‌کاری نداریم جز اینکه نیروی محرکهٔ این پیل را اندازه بگیریم، وکار تمام است!

مهندسـ جملهٔ «کاری نداریم جـز اینکه...» را خیلی دوست دارم. کمی تصورش‌را بکنیدکه اندازه‌گیری فشار ایجاد شده به‌وسیلهٔ یك پیل‌که مقاومت‌داخلی آن از ۱۰۰۰ مگاهم تجاوز می‌کند با دقت یك میلی‌ولت چه دشواری‌هائی‌بوجود می‌آورد این‌کار را جز باکاربرد یك تقویت‌کنندهٔ مخصوص‌کـه به‌آن «تقویت‌کنندهٔ سنجشی» گفته می‌شود، نمی‌توان انجام داد.

مبتدیـ بازهم...! دارم باور می‌کنم‌که سلول فتوالکتریك و تقویت‌کنندهٔ سنجشی، همانطورکه گفته شده است، دو منبع تغذیهٔ الکترونیك هستند.

اختلاف سطح اکسیدی ـ احیائی

مهندسـ درگفتگوی‌آیندهٔ خودمان طرز ساختمان این تقویت‌کننـده‌های سنجشی راکه در واقع نقش مهمی درالکترونیك بازی می‌کنند، خواهیم دیـد. اما قبل از رسیدن به‌آن، از واحد دیگری‌که درشیمی محلول‌ها مهم‌است صحبت می‌کنیم که اختلاف سطح اکسیدی‌ـاحیائی (یا اختلاف سطح ردوکس Redox) نام دارد. می‌دانید اکسیدکننده چیست؟

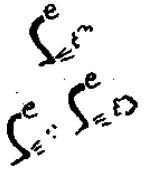
مبتدیـ بله، آنـرا برایم شرح داده‌اند به این‌ترتیب که جسمی است‌کـه می‌تواند اکسیژن آزادکند یا هیدروژن‌آب را جذب‌کندکه اکسیژن‌آزاد شود.

مهندسـ تعریفی‌که‌کردید تا پنجاه سال پیش کاملا با ارزش بود. افسوس که هنوز هم دربسیاری ازکتابها همین تعریف وجود دارد! در واقع تعریف‌عمومی و کاملاروشن‌تر از اینقرار است: یك‌اکسیدکننده، درمحلول‌ها، ایونی است‌که‌می‌تواند بارهای مثبت را به ایون‌ها یا اتم‌های دیگر بدهد (یا بطور درست‌تر الکترون‌هارا جذب‌کند). مثلا اتم‌های فریك (آهن سه‌ظرفیتی) که وابسته به‌اتم‌های آهن هستند، سه الکترون از دست داده‌اند و درنتیجه حامل سه‌بار مثبت هستند، میل دارندیك الکترون جذب‌کنندتا به‌ایون فرو (آهن دوظرفیتی) تبدیل شوندکه بیشتر ازدو بار مثبت ندارد:

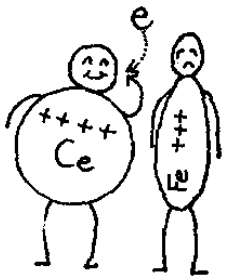
$$Fe^{+++} + e \rightleftarrows Fe^{++}$$

مبتدیـ که اینطور! چرا نباید سه الکترون جذب‌کنندکـه به‌آهن فلزی معمولی تبدیل شوند؟

مهندسـ می‌شود این‌کار را هم‌کرد. اما ایون‌های فریك خیلی میل‌دارند نخستین الکترون را جـذب کنند ومیل‌آنها برای جذب الکترون بعد خیلی‌کمتر است. به‌عبارت دیگر ایون‌های فرو، از یك نوع ثبات برخوردارند که ایـون‌های فریك‌آنرا ندارند. یا اگرترجیح می‌دهید، ایون‌های فریك‌گرسنه هستند اما وقتی نخستین الکترون را بلعیدند، احساس می‌کنندکه به‌حد سیری رسیده‌اند.



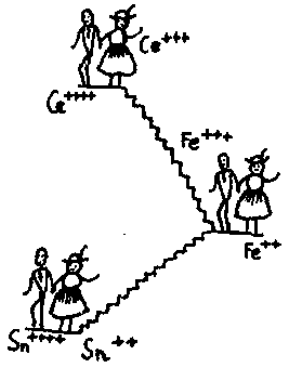
مبتدیـ درست، ولی چیزدیگری درفرمول شماست‌که شگفت‌زده‌ام می‌کند. چرا واکنش قابل برگشت است؟



مهندسـ فقط برای اینکه اگر ایون‌های فرو با یك «خورندهٔ الکترون» (اکسیدکننده) که گرسنه‌تراز آهن فریك است دریك‌جا قرارگیرند، واکنش راست به‌چپ است که بوجود می‌آید.

مبتدیـ ازاین اصطلاح «ایون‌های گرسنه» خوشم می‌آید. اما با تمام‌اینها یك صفت درونی است. ابتدا چطور می‌فهمند که یك ایون گرسنه‌تراز ایون دیگر است؟

مهندسـ آقای مبتدی باورنکردنی است! این‌شما ئیدکه از من‌می‌خواهید به‌تشریح کوانتائی بپردازم!بایدانتظارهمه‌چیـزرا داشت... با اینحال اطمینان داشته باشیدکه بسیار ساده است. اگرایون‌های‌آهن سه‌ظرفیتی و ایون‌های قلع دوظرفیتی (قلعی که دوبار مثبت دارد) را درکنار هم قرار دهید، تا وقتی ایون‌های قلع دو ـ ظرفیتی وجود دارندکه تبدیل به‌چهار ظرفیتی شوند، (با چهاربارمثبت)،ایون‌های آهن سه ظرفیتی به‌وضعیت آهن دوظرفیتی احیا می‌شوند:



$$۲Fe^{+++}+Sn^{++}\rightarrow ۲Fe^{++}+Sn^{++++}$$

این بار واکنش غیرقابل برگشت است و تا هنگامی ادامه می‌یابد کـه یکی از مواد تشکیل دهندهٔ سمت‌چپ تمام شود.

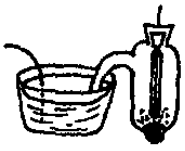
در عوض اگرایون‌های دو ظرفیتی و سه‌ظرفیتی‌آهن را مجاوربا ایون‌های چهار ظرفیتی سریوم (Ce^{++++} ایون‌با چهارظرفیت‌مثبت) قراردهند،ایون‌سریوم به‌ایون‌سه‌ظرفیتی‌احیا می‌شوددرحالی که‌ایون‌های‌آهن‌دوظرفیتی راکاملا اکسید می‌کند:

$$Ce^{++++}+Fe^{++}\rightarrow Ce^{+++}+Fe^{+++}$$

بنابراین‌مخلوط ایون‌های دوظرفیتی وسه ظرفیتی آهن می‌تواند:ایون‌های قلع دوظرفیتی را اکسید و ایون‌های سریوم چهار ظرفیتی را احیاکند.

این مطلب نشان می‌دهد که مخلوط Fe^{+++}/Fe^{++} بیشتـر از مخلوط Ce^{+++}/Ce^{++++} آزمندالکترون‌است درحالی‌که ازمخلوط Sn^{++++}/Sn^{++} کمترآز دارد.

هریك از این مخلوط‌ها را با اختلاف سطحی مشخص می‌کنندکه اختلاف سطح‌اکسیدی‌ـاحیائی گفته می‌شود.که بطورساده اختلاف سطحی است‌که یك‌الکترود حمله نکردنی داخل یك محلول نسبت به‌خود این محلول پیدا می‌کند.



مبتدیـ چرا حمله نکردنی؟

مهندسـ چون فقط می‌تواند بامحلول، الکترون مبادله‌کند نه‌ایون. برای اینکار معمولا طلای سفید را انتخاب می‌کنند واختلاف سطح بین رشتهٔ طلای سفیدو محلول را به‌وسیلهٔ یك الکترود مراجعه کـه معمولا کالومل است اندازه می‌گیرند (شکل ۳۶). اختلاف سطح ممکن است از ۱ ـ ولت (احیاکنندهٔ قوی) تا ۲+ ولت (اکسیدکنندهٔ بسیار قوی) برسد.

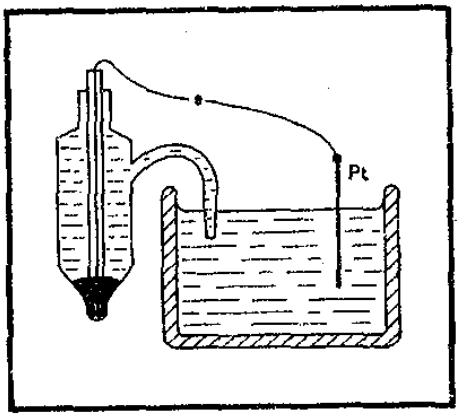
مبتدیـ طبیعتاً برای اندازه‌گیری یك تقویت‌کنندهٔ سنجشی لازم دارید؟

مهندسـ این‌بارنه. مقاومت داخلی الکترودکالومل ضعیف است. مقاومت داخلی محلول هم همینطور و می‌توان به‌یك اندازه‌گیرخوب اکتفاکرد. اما چیزی که‌کار بیشتررا انجام می‌دهدکارکم را هم می‌تواندبکند، ومعمولا تقویت‌کنندهٔ سنجشی

را بکار می‌برند که در اندازه‌گیری pH هم بکار می‌رود.

مبتدیـ فکری بخاطرم رسید که باید احمقانه باشد، ولی خواستم درباره‌اش با شما صحبت کنم. در حقیقت این یونهای H^+، به‌عبارت دیگر پروتون‌ها، میل دارند الکترون جذب کنند تا دوباره مثل هیدروژن‌های خوب خانواده باشند. آیا نمی‌شود آنها را تا حدودی مثل اکسیدکننده‌ها دانست؟

مهندسـ اینها اکسیدکننده هستند. واکنش یك فلز در برابر اثر یك اسید، به‌عبارت دیگر در برابر H^+، اکسید شدن فلز است. امکان دارد نظریه‌های اکسیدکنندگی و اسیدی بودن بهم ارتباط داده شوند، امـا اینکار ما را از مطلب دور



شکل۳۶ـ برای اندازه‌گیری اختلاف سطح اکسیدی ـ احیائی یك محلول، در این محلول یك الکترود طلای سفید حمله نکردنی و یك «الکترود مراجعه» وارد می‌کنند.

خواهد کرد. آیا متوجه شده‌اید که آگاهی‌های «ماقبل تاریخ» شما دربارهٔ اکسید شدن تا چه‌حد گسترش یافته‌اند؟

روش قدیمی اندازه‌گیری pH

مبتدیـ بله، بسیارزیاد. اما گمان می‌کنم که عمر آگاهی از وجود pH چند سال بیشتر نیست چون قبل از در اختیار داشتن منبع‌های الکترونی که به‌تنهائی امکان بکاربردن یك «الکترود شیشه‌ای» را فراهم کرده است، اندازه‌گیری غیرممکن بوده است.

مهندسـ با وجود این موفق به‌اینکار می‌شدند. ابتدا فرآورده‌هائی را بکار بردند که دونوع رنگ برایشان ممکن بود به‌این معنی که برحسب pH ترکیب و رنگ آنها تغییرمی‌کرد، مثل هلیانتین (Héliantine) که درملاء با pH کمتر از ۳، رنگـ قرمز داشت و در ملاء با pH بالاتر از ۵، رنگـ زرد داشت. همچنین الکترودی بکار می‌بردند که «هیدروژنی» نام داشت و از یك سیم طلای سفید تشکیل شده بود که پوششی از طلای سفید سائیده و گـرد سیاه طلای سفید داشت و از روی آن هیدروژن گازی را می‌گذراندند. این الکترود مقاومت داخلی کمی دارد. اما کاربرد آن کمترعملی است و دربرابر خیلی از پدیده‌های منشوش‌کننده که الکترود شیشه‌ای را زیرتأثیر نمی‌گیرند، حساس است.

همچنین کاغذهائی وجود دارند که از مادهٔ رنگی شونده پوشیده شده‌اند ودر مجاورت یك قطره محلول، رنگی بخودمی‌گیرند که برای ردیف pH که از ۱ تا ۱۰ می‌رسد از رنگ قرمز تا بنفش بخود می‌رسد. اما به‌این‌ترتیب شما به‌یك واحد دقت محدود می‌شوید، در حالی‌که روش الکتریکی درصورتیکه خوب‌انجام شود، pH را با $\frac{۱}{۱۰۰}$ تقریب بشما می‌دهد.

مبتدی- آیا دانستن pH تا یکصدم تقریب اهمیت دارد؟

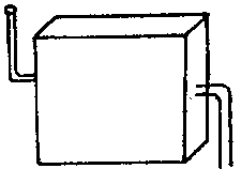
مهندس- بسیارمهم است. مثلا pH خون‌کاملا ثابت است ویك تغییر بسیار ضعیف نشانهٔ بیماری‌های شدید است.

مبتدی- افسوس‌که یك اندازه‌گیر pH برای مراقبت از سلامتی خودم ندارم!...

مبحث پنجم

دوستان ماکه توشهٔ خوبی از جذب‌کننده‌های گوناگون دارند، بررسی خواهند کرد که علامت‌های تهیه شده به‌وسیلهٔ این جذب‌کننده‌ها چگونه بکارمی‌روند. دراین موقع بهتر کردن و تکامل تقویت‌کننده‌هائی که‌مبتدی می‌شناسد، سودمند خواهد بود، بخصوص گسترش باندگذرا درجهت فرکانس‌های بالا وهمینطور از طرف فرکانس‌های بسیار پائین (یاصفر). در پایان گفتگو مهندس بـرای دوستش «رازی» را آشکار می کندکه صدها هزار تکنیسین آنرا فراگرفته‌اند... و بدون شك فراموش‌کرده‌اند، چون هیچوقت دیده نمی‌شودکه آنرا بکار ببرند.

تقویت‌کننده‌های با تزویج مستقیم



مبدل

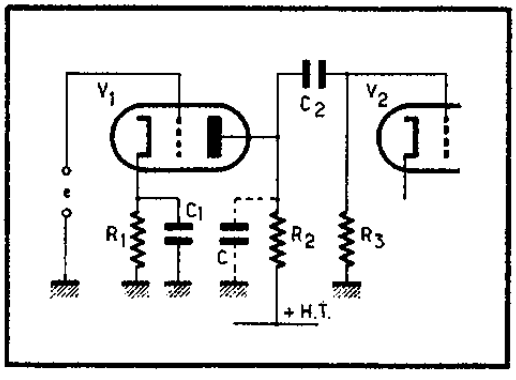
مبتدیـ خوب آقای مهندس، امیدوارم ایـن‌بار دربارهٔ جذب کننده‌هـا برایم صحبت نکنید چون واقعاً برایم هضم نشدنی است.

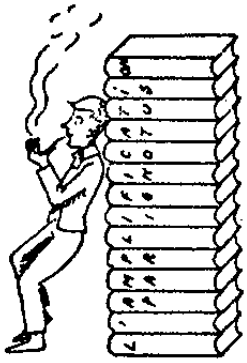
مهندسـ آقای‌مبتدی ناراحت نباشید،امروز به بخش «مبدل‌ها» به عبارت دیگر، دگرگونی علامت‌های ایجاد شده‌به‌وسیلهٔ جذب‌کننده‌ها می‌رویم. از مبدل‌هائی آغاز می کنیم‌که فقط روی دامنهٔ علامت‌های الکتریکی عمل‌می‌کنند، به عبارت‌دیگر از تقویت شروع می کنیم.

مبتدیـ این‌کار سریع انجام خـواهد شد. غیر ازتقویت‌کنندهٔ‌سنجشی، تمام مطالب را دربارهٔ تقویت می‌دانم.

درجهت فرکانس‌های بالا

مهندسـ خجالتی بودن‌کارهمیشگی شماست. می‌دانیدکه‌تقویت‌کنندهٔ‌فرکانس





شکل۳۷ـ دراین طبقهٔ تقویت‌کننده، درفرکانس‌های پائین به‌سبب بالارفتن مقاومت‌ظاهری خازن C_1 وبخصوص خازن C_2،ضریب بهره‌کم خواهد شد.

پائین راکه محدود به فرکانس ۳۰ هرتز تا ۱۵ کیلو هرتز باشد در رادیو چگونه می‌سازند. اگرمسئلهٔ تقویت علامت‌هائی‌غیرازعلامت‌های‌ایجادکنندهٔ صوت‌درکارباشد، قلمروی فرکانس‌ها ممکن است تا خیلی دورتر گسترش یابد، خواه درجهت‌فرکانس‌های پائین باشد یا در جهت فرکانس‌های بالا. اگر از شما بخواهم‌که برای‌گسترش حد بالائی فرکانس یك تقویت‌کننده به اندازهٔ پاندگذرای تقویت‌کنندهٔ مقاومتی‌چه می‌کنید، بدون شك به زحمت می‌افتید.

مبتدی‌ـ بگذاریدکمی فکرکنم. حدس‌می‌زنم می‌خواهید از تقویت‌کننده‌ای صحبت‌کنیدکه شکل خلاصهٔ آنرا کشیده‌ام (شکل ۳۷)

مهندس‌ـ بله،کاملا برایم مناسب است، آنرا شرح بدهید.

مبتدی‌ـ ضریب بهره در فرکانس بالا محدود است چون ظرفیت مزاحم C که بطور موازی با مقاومت R_2 قرارگرفته، مقدار ضریب بهره راکم می‌کند.

مهندس‌ـ درست است. چاره چیست؟

مبتدی‌ـ ابتداکوشش می‌کنم مقدار ظرفیت مزاحم را با انتخاب لامپ‌های مناسب وکم‌کردن سیمکشی‌ها، پائین بیاورم[1]

---

۱. اگر یك تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری موردنظر باشد، مطلبی‌که گفته‌می‌شود تا حدودی ارزش خود را حفظ می‌کند چون در حالتی‌که مقاومت‌های بارجمع‌کننده بزرگند و ظرفیت‌های مزاحم مقدار قابل‌توجهی دارند، حد منحنی جواب برحسب فرکانس‌کاملا وابسته به‌کاهش مقاومت ظاهری بارجمع‌کننده در فرکانس‌های بالا است. این مطلب به طورکاملا اختصاصی برای ترانزیستورهای با اثر میدان درست است،که در آنها همان استدلال لامپ‌های الکترونی دنبال می‌شود.

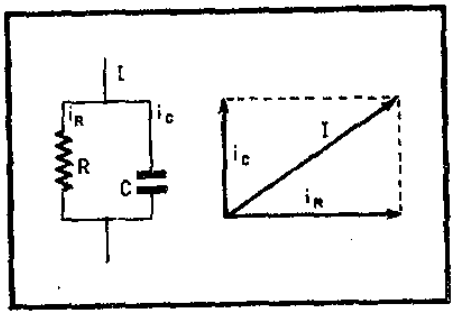
بهرحال برای تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری، چون مقاومت‌های بارجمع‌کننده معمولا مقدار نسبتاً کمی دارند، محدودشدن‌فرکانس‌که وابسته به‌کاهش مقاومت ظاهری بار در فرکانس‌های بالاست، غالباً بستگی به یك مقدار فرکانس دارد به همان ترتیب‌که حدود خاص ترانزیستور قبلا درآن دخالت داشت.مثلااگرمقاومت بارجمع‌کننده یك ترانزیستور ۱۵۰ اهم و مقدار ظرفیت مزاحم ۱۱ پیکو فاراد باشد، فرکانس قطع وابسته به‌عنصرها، در حدود $100\ MHz$ است به این ترتیب یك ترانزیستور از نوع معمولی،بخصوص اگر در تقویت جریان‌کارکند، درفرکانسی که خیلی پائین‌تر از ۱۰۰ مگاهرتز است.کاهش در ضریب بهره ایجاد می‌کند.

در واقع برای رعایت‌حد خاص فرکانس‌که وابسته به ترانزیستورمیباشد، بهتر است بدانیم مقاومت ظاهری داخلی منبعی‌که آنرا تغذیه می‌کند چقدراست اگر این مقاومت ظاهری نسبت به مقاومت ورودی ترانزیستور ضعیف باشد، ترانزیستور در تقویت فشارکار می‌کند. در این حالت لزومی نداردکه بین‌مونتاژ با ارسال‌کنندهٔ مشترك ☆ و مونتاژ با پایهٔ مشترك یکی را ترجیح بدهیم چون هر دوفرکانس قطعی دارندکه نسبتاً بالاست ونزدیك به فرکانس F_t ترانزیستوراست.

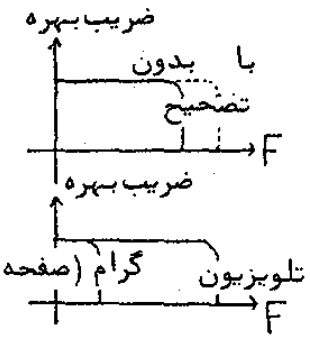
←

☆. نگاه‌کنید به‌کتاب«ترانزیستور؟... بسیار ساده است!» از همین‌مجموعه.

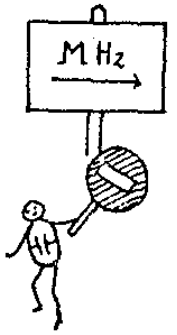
مهندسـ در واقع حق با شماست. با وجود این، کار شما از این راه خیلی محدود است. شاید بتوانید مقدار این ظرفیت مزاحم را به نصف برسانید و به این ترتیب باند گذرا را دوبرابر کنید، اما چگونه بیشتر از این پیش می‌روید؟



شکل ۳۸ـ درحالی که فشار گذاشته شده به R و C یکسان است، جریان i_C که از خازن می‌گذرد، نسبت به i_R (جریانی که از مقاومت می‌گذرد) ۹۰ درجه پیش‌افتادگی دارد. جریان I حاصل جمع ـ برداری این دوجریان است.

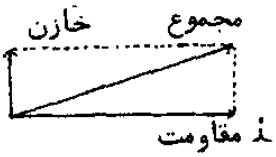


مبتدیـ آه! بیادم آمد: می‌شود از تصحیح استفاده کرد چون تصحیح کاهش مقاومت ظاهری R_2 موازی با C را جبران می‌کند.



تصحیح اساسی نیست

مهندسـ نمی‌توانم آشکارا بشما بگویم که نادرست است. اما تصحیح غیر از یک کار تصنعی که اجازه می‌دهد باند کمی پهن‌تر بشود، چیزی نیست. شما هم همان اشتباه ۹۹ درصد از تکنیسین‌ها را می‌کنید. ببینید من در تلویزیون تقویت کننده‌ای دارم که فرکانس‌ها را از ۱۰ هرتز تا ۱۰ مگاهرتز به‌درستی تقویت می‌کند؛ قطعاً، تصحیح‌هائی هم دارد اما اگر همهٔ آنها را هم حذف کنم، تقویت کنندهٔ من باز هم فرکانس 5^{MHz} را بخوبی می‌گذراند و این کاری است که مسلماً تقویت کنندهٔ گرامافون من نمی‌تواند انجام دهد چون در 300^{MHz}، ۹۰ درصد از ضریب بهرهٔ خود را از دست می‌دهد. بنابراین چیزی وجود دارد که در این دو تقویت کننده اساساً با هم تفاوت دارد. آنرا خودتان پیدا خواهید کرد. چرا ظرفیت مزاحم شما



→

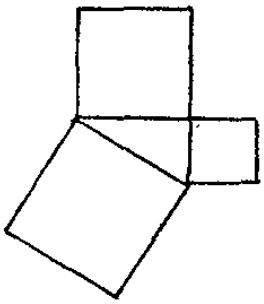
درعوض اگر به ورودی ترانزیستور منبعی متصل شده باشد که مقاومت ظاهری داخلی آن نسبت به مقاومت ظاهری ورودی خاص ترانزیستور خیلی زیاد باشد، ترانزیستور در تقویت جریان کار می‌کند. در این حالت، لزومی ندارد که بین مونتاژ باارسال کنندهٔ مشترک و مونتاژ باجمع کنندهٔ مشترک، تفاوتی بگذاریم. در هردوحالت فرکانس قطع نسبتاً ضعیف و برابر است با خارج قسمت F_t ترانزیستور به ضریب بهره استاتیک در جریان مستقیم.

(مثلا برای یک ترانزیستور سیلیکونی که فرکانس F_t آن برابر 160^{MHz} است و ضریب بهره‌اش در جریان مستقیم ۴۰ میباشد، فرکانس قطع در ۳dB (سه‌دسی‌بل) در حالت تقویت جریان برابر است با $160 \div 40 = 4^{MHz}$)

برای یک ترانزیستور با اثر میدان، استدلال درست بهمان ترتیبی است که برای لامپهای الکترونی خلاء انجام شده است.

را ناراحت می‌کند؟

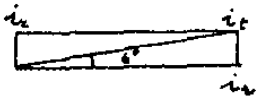
مبتدیـ بشماکه گفتم. این ظرفیت با R_2 بطورموازی قرار می‌گیرد و در فرکانس‌های بالا مقدار آنرا کم می‌کند.



مهندسـ دلم می‌خواهد دقیقتر صحبت کنید. فرض کنیدکه مقدار C برابر ۱۶ پیکو فاراد باشد، چون به این ترتیب مقاومت ظاهری آن ساده‌تر است،مقدار آن در $10\ KHz$ برابر $1\ M\Omega$ و در $100\ KHz$ برابر $100\ K\Omega$ و در $1\ MHz$ برابر $10\ K\Omega$ است و در $10\ MHz$ مقدارش $1\ K\Omega$ است. فرض کنیدکه مقاومت R_2 شما $100\ K\Omega$ باشد. در چه فرکانسی C برای شما ناراحتی ایجاد می‌کند؟

مبتدیـ باید مقاومت ظاهری R_2 موازی با خازن C را حساب کرد. با اینحال می‌توانم بشما بگویم‌که در $10\ MHz$ دخالت Cکه مقاومت ظاهریش $1\ K\Omega$ است، نسبت به مقاومت مجموع‌که درحدود $100\ K\Omega$ است، بـه انـدازهٔ کافی ضعیف خواهد بود.

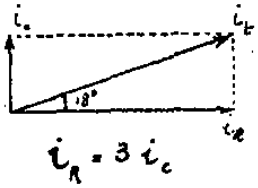
مهندسـ حتی می‌توانم بگویم‌که دخالت آن (با تقریب ۰/۵ درصد)روی مقاومت ظاهری صفر است. ببینیدآقای مبتدی، جریانی‌که از C می‌گذرد نسبت به جریانی‌که از R_2 می‌گذرد ۹۰ درجه پیش‌افتادگی دارد. من ایـن جریـان‌ها را (شکل ۳۸) با توجه به دامنه و فاز آنها با سهم (بـرای اینکه نگویم بـردار) نمایش می‌دهم. برای اینکه جریان مجموع را بـدست بیاوریم مستطیلی می‌سازیم‌که دو جریان دوپهلوی مجاور آنرا تشکیل می‌دهند. قطر مستطیل سهمی راکه‌وابسته به جریان مجموع است بما می‌دهد، بنابراین برای مقادیر جریان که وابسته به $10\ KHz$ هستند، بالاترین مقدار جریان I_c در خازن ده‌بار کوچکتر ازجریان I_R است‌که از مقاومت می‌گذرد. قطر مستطیل از نظر طول به اندازه‌ای نزدیک به‌پهلوی بزرگتر است‌که می‌توان آنرا با این پهلو یکسان گرفت. اگر دربارهٔ قضیهٔ فیثاغورث چیزی شنیده باشید...



مبتدیـ چیزهائی شنیده‌ام و درست نفهمیده‌ام.

مهندسـ این قضیه می‌گویدکه برای بدست آوردن قطر یك مستطیل(یا وتر مثلث قائم‌الزاویه‌که نصف مستطیل است) باید ریشهٔ دوم مجموع مربع‌دوپهلو را بدست آورد. دراینجا یك پهلو ۱۰ و دیگری ۱ است مجموع مربع‌ها می‌شود. ۱۰۱ و ریشه دوم آن ۱۰/۰۵ است.

مبتدیـ خیلی عجیب است. وجود خازن مزاحم C در $10\ KHz$ واقعاًروی تقویت‌کننده هیچ تأثیری ندارد.

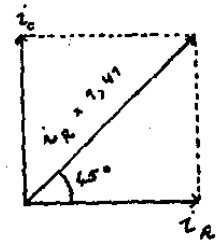


دامنه فاز نیست

مهندسـ روی ضریب بهرهٔ آن تأثیری‌ندارد، اما روی اختلاف فازمنتقل شده به وسیلهٔ تقویت‌کننده تأثیر دارد. ببینید جریـان مجموع (قطر) بـا فشار e

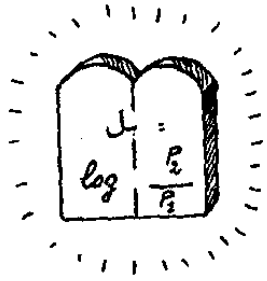
@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال

گذاشته شده به شبکه هم‌فاز است، در حالی‌که فشار خروجی S مسلماً با جریانی که در Rs (پهلوی بزرگ) می‌گذرد هم‌فاز است. می‌بینید که الان بین آن‌دو اختلاف فازی وجود دارد که نمی‌توان ندیده گرفت (در اینجا تقریباً ۶ درجه است). می‌بینید که حتی وقتی مقاومت ظاهری C فقط ۳ برابر مقاومت R_2 است (یعنی در ۳۳ کیلوهرتز) شکل تشکیل شده از دو سهم بازهم مستطیلی است که به حد کفایت کشیده است، در حالی‌که قطر آن بیشتر از ۵ درصد بزرگتر از پهلوی بزرگ مستطیل نیست. به عبارت دیگر جریان در مقاومت هنوز هم ۹۵ درصد جریان مجموع را تشکیل می‌دهد (فقط از نظر دامنه) و ضریب بهره باز هم ۹۵ درصد ضریب بهره در فرکانس پائین است. اما اختلاف فاز خیلی مهم است (بیشتر از ۱۸ درجه)



مبتدیـ اگر همینطور ادامه بدهید در آخر به آنجا می‌رسید که بگوئید تأثیر C روی ضریب بهره هیچوقت احساس نمی‌شود.

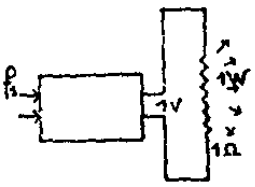
مهندسـ نه، به آنجا نمی‌رسد. وقتی مقاومت ظاهری C به مقدار R_2 می‌رسد که در ۱۰۰ کیلوهرتز است، مستطیلی که درباره‌اش با شما صحبت می‌کردم



به مربع تبدیل می‌شود. پهلوی آن فقط ۰/۷ ($\frac{1}{\sqrt{2}}$) برابر قطر آنست؛ ضریب بهره فقط ۰/۷ برابر ضریب بهره در فرکانس پائین‌تر است؛ اختلاف فاز ۴۵ درجه است و به فرکانسی رسیده‌ایم که «ربع دایره‌ای» گفته می‌شود و در آن ضریب بهره مقداری دارد که پائین‌تر از ۳۰ درصد بالاترین مقدار آنست. می‌گوئید کاهش ضریب بهره به مقدار 3^{dB} (سه‌دسی‌بل) رسیده است...

مبتدیـ میانهٔ من با دسی‌بل‌ها کمی بهم خورده است.

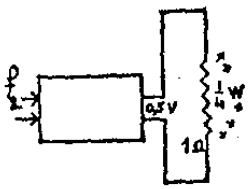
دسی‌بل‌ها



مهندسـ با وجود این بسیار ساده است. بل (که معمولا یکدهم آنرا می‌گیرند) بیان‌کنندهٔ لگاریتم نسبت توان است.

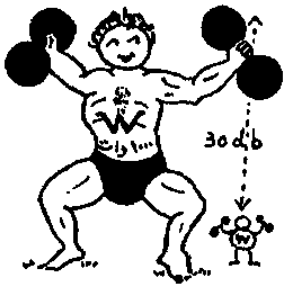
مبتدیـ حالا که بهتر شد. ابتدا لگاریتم است که علاقهٔ من نسبت به آن بسیار کم است، بعد از آن داستان نسبت توان‌ها در میان است در حالی‌که ضریب بهره در فشار موردنظر باشد و...

مهندسـ آقای مبتدی درست است که در اینجا مشکلی وجود دارد. اما آنرا هموار خواهیم کرد. از تعریف شروع می‌کنم. وقتی دو توان P_1 و P_2 نابرابرند می‌گویند P_2 از P_1 به مقدار n دسی‌بل زیادتر است اگر:



$$\log\frac{P_2}{P_1}=n$$

باشد. به عبارت دیگر وقتی یک‌توان ده‌برابر بیشتر از توان دیگر باشد می‌گویند که ۱ بل بیشتر است (که‌ده دسی‌بل می‌شود) و اگر P_2 هزار برابر P_1 باشد. می‌گویند که P_2 به مقدار سه‌بل بیشتر از P است (لگاریتم ۱۰۰۰ برابر ۳ است) و یا



اینکه ۳۰ دسی‌بل زیادتر است.

مبتدی‌ـ فکر عجیبی است، ترجیح می‌دهم که بگویم هزار برابر قـویتر است، بهرحال باشد... اما چطور این رابطه را برای تقویت‌کننده‌ای که کارش تهیهٔ قدرت نیست بکار می‌برند؟

مهندس‌ـ فرض کنید که به یك تقویت‌کنندهٔ فشاری با دامنهٔ ثابت و فرکانس متغیر گذاشته شده است. تقویت‌کننده در فرکانس f_1 در خـروجی فشاری ایجاد می‌کند که ۱ ولت است و آنرا روی مقاومت ثابت یك اهم می‌گذاریم. موافق هستید که بگوییم توان خروجی ۱ وات است؟

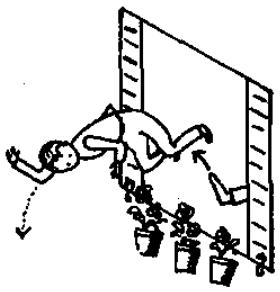
مبتدی‌ـ بله، برای اینکه جریان برای ۱ ولت یك آمپر است.

مهندس‌ـ خوب. فرض کنید که در فرکانس f_2 فشار خروجی به $\frac{1}{2}$ ولـت کاهش می‌یابد. توان چقدر است؟

@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال

مبتدی‌ـ توان $\frac{1}{2}$ وات است...

مهندس‌ـ آقای مبتدی!!! اگر یك حرف احمقانهٔ دیگر نظیر این بزنید شما را از پنجره بیرون می‌اندازم!

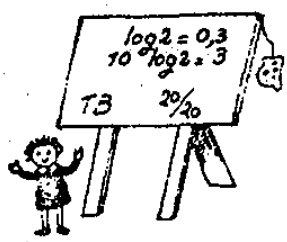


مبتدی‌ـ آه!... فهمیـدم. فشار $\frac{1}{2}$ ولت است. پس جریان $\frac{1}{2}$ آمپر است. در واقع توان $\frac{1}{4}$ وات است، باید یادم می‌آمد که توان تغییراتی مانند توان دوم فشار دارد...

مهندس‌ـ بله! بنابراین توان به نسبت ۴ برابر کمتر از توان قبلی است (که لگاریتم آن ۰/۶ است). می‌گوئیم که این توان ۰/۶ بل (۶ دسی‌بل) کمتر از توان قبلی است و برای آسانتر شدن می‌گوئیم که ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده ۶dB پائین آمده است.

مبتدی‌ـ دارم می‌فهمم. وقتی می‌گویند «ضریب بهرهٔ فشار یك تقویت‌کننده به مقدار P دسی‌بل پائین آمده‌است» از آن اینطور فهمیده می‌شود که قبل‌ازمقدار P باید جمله «به‌طوری‌که توان خـروجی تقویت‌کننده که روی مقاومت ثابت بسته شده باشد به مقدار...» گذاشته شده باشد. کمی شبیه به رانندهٔ اتوبوسی که می‌گفت: «مجسمه سوار شوند» و منظورش این بود که قبل از کلمه مجسمه جملهٔ «مسافـران برای رفتن به میدان...» اضافه شود.

نقطه ۳dB (سه دسی‌بل)



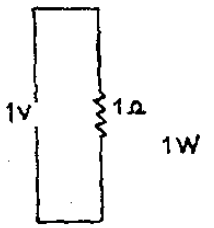
مهندس‌ـ حالا شما را به جهت دیگری می‌برم، اما به شما تبریك می‌گویم که مطلب را به این خوبی فهمیدید. پس وقتی ضریب بهرهٔ یك تقویت‌کننده به مقدار ۰/۷ کاهش می‌یابد، تغییر آن برحسب dB چقدر است؟

مبتدی‌ـ اجازه بدهید. فشار خروجی به مقدار ۰/۷ کاهش یافته است. پس جریان خروجی (روی مقاومت خروجی ثابت) به همان نسبت کاهش یافته‌است پس

توان خروجی به نسبت

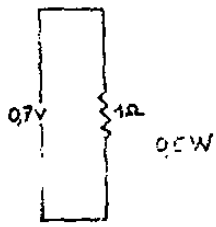
(که می‌گوئیم ۰/۵) ۰/۴۹ = ۰/۷ × ۰/۷

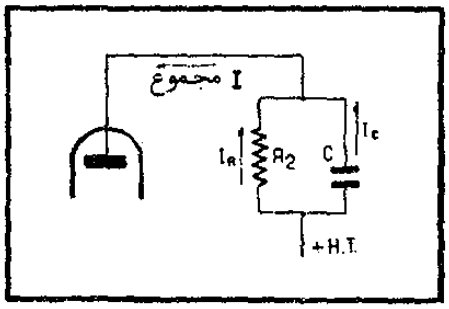
کاهش یافته است. توان به نصف کاهش می‌یابد و دوبار کمتر از توان قبل است. با مراجعه به جدول لگاریتم کوچکی که بمن داده‌اید، می‌بینم که لگاریتم ۲ تقریباً ۰/۳ است. قدرت به مقدار ۰/۳ بل کاهش یافته یعنی ۳dB کمتر شده است. عجیب، درست همان مقداری است که چند لحظه قبل بمن گفتید!



وقتی اثر خازن مهمتر می‌شود

مهندسـ جای خوشوقتی است! خوب، تصور کنید در بار آندلامپ‌ما (شکل ۳۹) برای فرکانس‌های بالاتر از فرکانسی که وابسته به این تلف ضریب بهره ۳dB است، چه می‌گذرد. جریانی که از خازن C (یعنی خازن مزاحمی که موازی با R_2 است) می‌گذرد، بزرگتر از جریانی است که از مقاومت R_2 می‌گذرد. برای مجموع این دو جریان، بیشتر جریان Ic است که به حساب می‌آید. نسبت





شکل۳۹ـ مجموع جریانی که از R و C می‌گذرد، جریانی است که به‌لامپ می‌رسد (در اینجا جهت قراردادی است).

مجموع Ir/I و همینطور ضریب بهره به سرعت کاهش می‌یابد. می‌توان گفت که مثلا در فرکانس $1\,MHz$ که در آن مقاومت ظاهری C ده‌بار کوچکتر از مقاومت R_2 است، بار آندلامپ فقط خازن C است؛ بنابراین ضریب بهره می‌تواند ده‌بار کمتر شود (درواقع کاهش ضریب بهره کمتر از این مقدار است چون نسبت ۱۰ فقط برای لامپ پنتود می‌تواند واقعیت پیدا کند که ممکن است مقاومت داخلی آنرا نسبت به R_2 بی‌نهایت دانست).

مبتدیـ پس خازن C وقتی مقاومت ظاهری به مقداری کمتر از مقدار R_2 می‌رسد واقعاً شروع به مزاحمت می‌کند؟

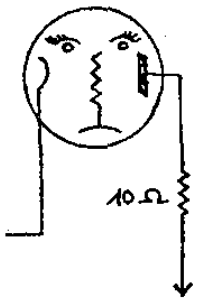
مهندسـ این درست همان چیزی است که یك ربع ساعت است کوشش می‌کنم تا از زبان شما بشنوم. خوب، چه کنیم که این مزاحمت در فرکانسی آغاز شود که تا حد امکان بزرگ است؟

مبتدیـ مقدار C را کم می‌کنیم.

مهندسـ درست است، اما قبلا هم این را گفته بودید. غیر از این چه می‌شود کرد؟

مبتدیـ امامن‌دیگر چیزی بنظرم نمی‌رسد.شایدکم‌کردن مقدار R_2باشد؟

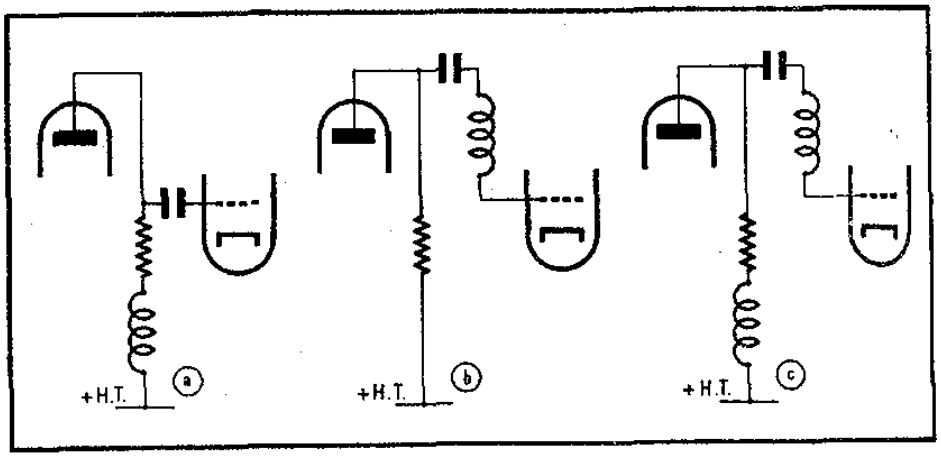
مقاومت‌کم‌بار



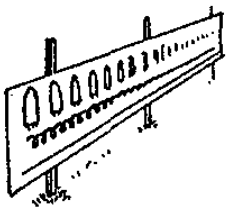
مهندسـ بالاخره‌گفتید!... درست است‌آقای مبتدی، باید مقاومت R_2را کم‌کرد تا فرکانس به حد امکان بزرگ باشد و در این فرکانس مقاومت‌ظاهری‌C (که بطور منظم برحسب فرکانس‌کم می‌شود)کمتر از مقدار R_2 می‌شود. تقویت‌ـ کننده‌های با باندگسترده ازنوعی هستندکه بار مدارآندآنها ضعیف‌است. درتقویت‌ـ کننده‌ای که شما برایم‌کشیدید، ضریب بهره در $100\ KHz$ به مقدار $3\ dB$کم‌می‌شود. اگر مقاومت‌بار R_2 بجای $100\ K\Omega$ فقط $1\ K\Omega$ بود، این‌کاهش $3\ dB$ در فرکانس $10\ MHz$ بوجود می‌آمد.

مبتدیـ و اگر آنرا تا $10\ \Omega$کم‌کنیم به فرکانس $1000\ MHz$میرسیم!

مهندسـ از نظر اصولی حق باشماست. اما با یك مقاومت ۱۰ اهمی در مدار آند، سرهرچه بخواهید شرط می‌بندم‌که ضریب بهره در فشار برای لامپ‌شما خیلی‌کمتر از یك خواهد بود.



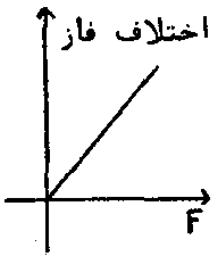
شکل۴۰ـ تصحیح H.F. تقویت‌کننده‌ها ممکن است به‌وسیلهٔ یك قرقره که با مقاومت مدار آند بطورپیاپی قرارگرفته است(تصحیح موازی در a) یا با قرقره‌ای که‌بطورپیاپی‌درارتباط بین دوطبقه قرارگرفته (تصحیح پیاپی در b) ویا بکاربردن دوقرقره (تصحیح مختلط رسم شده‌در C) انجام شود.



مبتدیـ چقدر وحشتناك! فکرش را نکرده بودم. اما ببینم با مقاومت $1\ K\Omega$ بار مدار آند هم نباید ضریب بهره خیلی زیاد باشد؟

باندگذرا یا ضریب بهره

مهندسـ افسوس! هر سکه‌ای پشت و رو دارد. با بکار بردن لامپ‌های



پنتود با شیب زیاد که امکان می‌دهند با وجود مقدار کم مقاومت‌های بار مدار آند ضریب بهره خیلی اسفناك نباشد، کارها را بهتر می‌کنند. اضافه بـر آن، از همان تصحیح‌های مشهوری که درباره‌اش برای من صحبت کردید استفاده می‌کنند. می‌توان یك قرقره کوچك را بطور پیاپی با بار آند قرارداد (شکل a ۴۰) (تصحیح موازی) همینطور می‌توان یکی از این قرقره‌ها را پیاپی با خازن ارتباطی قرارداد (شکل b ۴۰) (تصحیح پیاپی) یا هردو را باهم ترکیب کرد (شکل c ۴۰) (تصحیح مختلط). به وسیلهٔ همین تصحیح‌ها اگر خوب تنظیم شده باشند، موفق می‌شوند باندگذرا را تقریباً دوبرابر کنند.

مبتدیـ و به این ترتیب تاکجا می‌شود رفت؟

مهندسـ بدون دشواری زیاد می‌توان تقویت‌کننده‌هائی ساخت که تا ۳۰ یا ۵۰ مگاهرتز را تقویت کنند. حتی می‌توان از اینهم دورتر رفت اما با روش فنی خاصی که آنرا «تقویت‌کنندهٔ تقسیم شده» می‌گویند که یك نوع خط تأخیری است که در آن لامپ‌ها را واردکرده‌اند و روی آن تکیه نمی‌کنم.

مبتدیـ آیا دربانندی به این گستردگی می‌توانند اختلاف فاز را به صفر برسانند؟

مهندسـ نمی‌توانند این کار را بکنند، ازاین گذشته این کار بی‌فایده است. فقط کافی است اختلاف فاز متناسب با فرکانس باشد که انجام این کار همیشه آسان نیست.

فرکانس‌های پائین

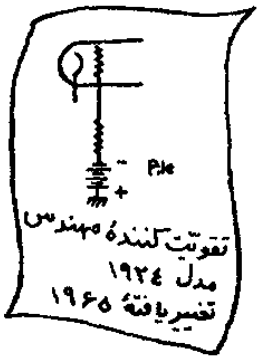
مبتدیـ حدس می‌زنم که حالا چه پیش می‌آید، چون پس از اینکه بمن نشان دادید باندگذرای یك تقویت‌کننده را در جهت فرکانسهای بالاچگونه گسترش می‌دهند، منطقی است که به گسترش آن درجهت فرکانس‌های پائین بپردازید.

مهندسـ کاملا درست است. پس بگوئید ببینم در جهت فرکانس‌های پائین ضریب بهرهٔ تقویت‌کنندهٔ شما را چه چیزی محدود می‌کند.

مبتدیـ بسیار ساده است! مقاومت‌هـای ظاهری خازن‌های شکل ۳۷ که بطور خلاصه کشیده‌اید با زیاد شدن فرکانس زیادمی‌شوند، بخصوص مقاومت ظاهری C_1 و C_2. خازن اول از این ببعد یك ضد واکنش وارد مدارمی‌کند. دومی ارتباط بین طبقه‌ها را بد تأمین می‌کند. اگر بخواهم با این اثرهای نامطلوب مبارزه کنم، می‌توانم ظرفیت دوخازن را زیادکنم.

مهندسـ منهم با اینکار موافقم، اما در این راه به سرعت محدودمی‌شوید. برای C_1 که هم اکنون چند میکروفاراداست، نمی‌توانیدخیلی جلوتر بروید چون اگر مقدار آنرا به صد و بخصوص ۱۰۰۰ میکروفاراد برسانید، جریان تلف، که در چنین خازن‌هائی دوری ناپذیرند، پلاریزاسیون این طبقه را به شدت بهم‌خواهد زد. C_2 را از میکروفاراد بیشتر نکنید وگرنه خازن بسیار بزرگی خواهیدداشت و در نتیجه ظرفیت‌های مزاحم به‌وجود می‌آیند، بی‌آنکه تلف دوری ناپذیری را که ممکن است شبکهٔ لامپ بعد را به‌یك اختلاف سطح مثبت وصل کند در نظر بگیریم. نه، درمورد خازن C_1 می‌بینید که برای اینکه ناراحتتان نکند، بهتراست حذف شود.

پلاریزاسیون‌ها را تغییر بدهیم



مبتدیـ که اینطور! اما اختلاف سطح کاتد شما دیگر ثابت نخواهد بود و لامپ دیگر تقویت نمی‌کند.

مهندسـ اجازه بدهید آنرا اصلاح کنم و بگویم که لامپ تقویت کمتری می‌کند، اما به تقویت‌کردن ادامه می‌دهد. به این ترتیب فشاری (فشار بین کاتد و بدنه یا بطوردرست‌تر مؤلفهٔ متناوب آن) را وارد کارکرده‌ایم که از فشارورودی کسر خواهد شد. همانطورکه می‌دانید این کار ضد واکنش است که اثرش پائین آوردن‌ضریب بهره است، اما درعین‌حال اعوجاج و خرخرکردن راکمتر می‌کند و برتری‌های دیگری هم دارد

مبتدیـ آن‌برتری‌هارا ندیده نمی‌گیرم، باوجود این جای تأسف است که به این‌ترتیب بخشی از ضریب بهره را از دست می‌دهیم، بخصوص اگر این ضریب بهره به سبب انتخاب بار ضعیف مدار آند بمنظورگذراندن فرکانس‌های‌بالاکاهش یافته باشد.

مهندسـ می‌توانیم‌چیزی ازدست ندهیم. ابتدا امکان داردکاتد را به‌بدنه وصل‌کنیم و پلاریزاسیون لامپ را به وسیلهٔ شبکه با یك فشارمنفی تأمین کنیم...

مبتدیـ خوب، با اینکه الکترونیك در اوج پیشرفت است، مرا بهمراه خودتان به ابتدای دانش رادیو می‌برید.

مهندسـ آقای مبتدی، پیشرفت یك فن ما راگاهی به بازگشت‌های‌عجیب به عقب رهبری می‌کند. اما برای اینکه‌این احساس را در شما کاهش بدهم، با یك قطعهٔ جدید آشنایتان می‌کنم‌که اسمش دیود زنر است.

مبتدیـ جدید، پس یك نیمه هادی است.

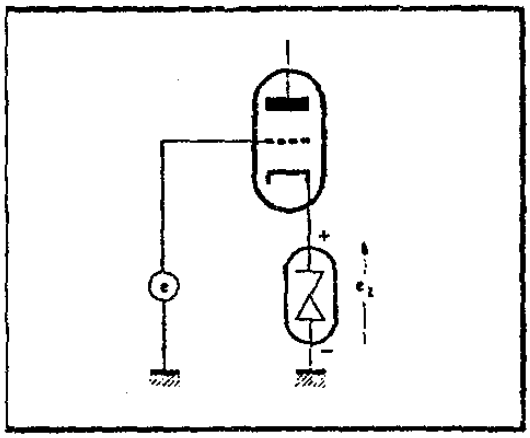
مهندسـ نتیجه‌گیری شمادرست است، اگرچه با استدلال‌کاملا غیرمنطقی بدست آمده است. دیودزنر یك دیود با اتصالی از جنس سیلیسیوم است، که‌درجهت گذرانندهٔ جریان مثل تمام دیودهای خوب عمل می‌کند و جریان را می‌گذراند، و غیر از یك افت فشار بسیارکم در حدود ۰/۷ ولت‌که تقریباً مستقل از جریان است، چیزی وارد مدار نمی‌کند. در عوض اگر پلاریزاسیون آنرا بطور معکوس قراردهیم دیودکار خود را مثل تمام دیودها با مسدود بودن آغاز می‌کند تا وقتی که فشار معکوس به مقداری برسدکه آنرا «فشار زنر» می‌نامندکه از این فشار ببعد. جریان معکوس بسیار تند شروع به‌زیاد شدن‌می‌کند بی‌آنکه فشاردوسردیود بطور محسوس تغییر کند.

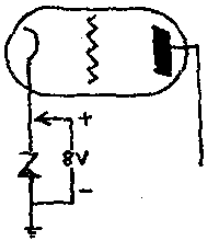
مبتدیـ این نوعی سوختن دیود است؟

مهندسـ آه نه‌اکاملا با آن فرق دارد چون اگر از یك جریان‌حداکثر که نسبتاً مهم است تجاوز نکنیم، بهیچوجه صدمه‌ای به دیود نمی‌رسد. فشارهای‌زنر بین ۳ و ۲۰۰ ولت قرار دارند و بهترین دیودها آنهائی هستندکه فشار زنر آنها ۸ ولت است.

مبتدیـ این دستگاه کوچك‌بسیار جالب است، اماچه ربطی به‌تقویت‌کننده‌ها دارد؟

مهندسـ آقای مبتدی، شما قوهٔ تصور ندارید. پس این‌دیود را بین‌کاتد





شکل ۴۱- دیود زنر بین کاتد وبدنهٔ خود فشار e_z راحفظ می‌کند که مستقل از جریان کاتدی است؛ این یك روش برای تأمین پلاریزاسیون کاتد است که برای فرکانس‌های پائین، تاکمترین مقدار، قابل کاربرد است.

و بدنهٔ تقویت‌کنندهٔ خودتان قرار بدهید (شکل ۴۱). کاتد به اختلاف سطح مثبت که بطور محسوس ثابت است وصل می‌شود، برای اینکه فشار در دوسر دیود زنر عملا مستقل ازجریانی است که از این دیود می‌گذرد یعنی وابسته به جریان کاتدی نیست. دیگر نیازی به خازن نخواهید داشت، بنابراین در فرکانس‌های پائین ناراحتی ندارید.

مبتدی- این دیگر مجذوب کننده است. مثال شگفت‌آوری ازهمکاری نیمه‌هادیها و لامپهاست که بطورکلی دشمن جانی یکدیگرند.

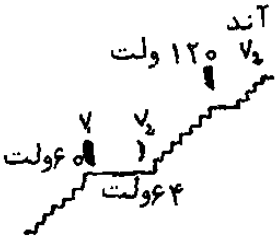
مهندس- نه آقای مبتدی، نیمه‌هادیها دشمن لامپ‌ها نیستند و بخوبی می‌شود آنها را با هم بکارگرفت. اما حالاکه ناراحتی‌های ایجاد شده به وسیلهٔ خازن C_1 راکاملا از بین برده‌ایم، به حساب C_2 می‌رسیم.

ارتباط مستقیم

مبتدی- حدس می‌زنم که آنرا هم حذف خواهیدکرد.

مهندس- اشتباه نمی‌کنید. اما باید دقت‌کرد. اگر آند لامپ اول را به شبکهٔ لامپ دوم وصل می‌کردم چه پیش می‌آمد؟

مبتدی- ولی آقای مهندس، قبلا این پیشنهاد را به شماکردم و شما باآن مخالفت‌کردید و دلیلتان این بودکه شبکهٔ لامپ بعد، زیاد مثبت می‌شود و تمام الکترون‌ها را جذب خواهدکرد.



مهندس- اگرکاتد لامپ بعد را به اختلاف سطحی وصل‌کنم که نسبت به شبکهٔ آن مثبت‌تر باشد، دیگر این وضع پیش نمی‌آید. فرض‌کنیدکه لامپ اول با فشار زیاد ۱۰۰ ولت تغذیه شده باشدوفشار آند لامپ ۶۰ ولت باشد. اگربخواهم پلاریزاسیون کاتد لامپ بعد مثلا ۴- ولت باشد، آنرا به ۶۴ ولت وصل می‌کنم.

مبتدی- آه، این روش زیرکانه است! در اینصورت حد پائینی فرکانسی که تقویت آن امکان داردچه مقدار است، چون نمی‌دانم چه‌چیز آنرامحدودمی‌کند؟

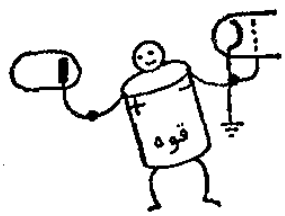
مهندس- حق دارید که آنراندانید چون‌چیز محدودکننده‌ای وجودنداردا

بطور خیلی ساده فرکانس حدپائینی صفر است. این تقویت‌کننده برای فشارمستقیم است زیرا اگر به‌ورودی آن فشارمستقیمی بگذارید، فشارخروجی بطورنامعین حفظ خواهد شد.

مبتدیـ بسیار جالب است، اما در مونتاژ شما یك نقص بنظرم می‌رسد. کاند دوم به ۶۴+ ولت وصل است، پس باید آند آن‌آشکارا فشار زیادتری‌داشته باشد. اگر این آند به شبکهٔ لامپ سوم وصل شود، موقعیت وخیم‌تر خواهد شد...

جائی‌که به وسیلهٔ یك‌قوه (باطری) تزویج می‌شود

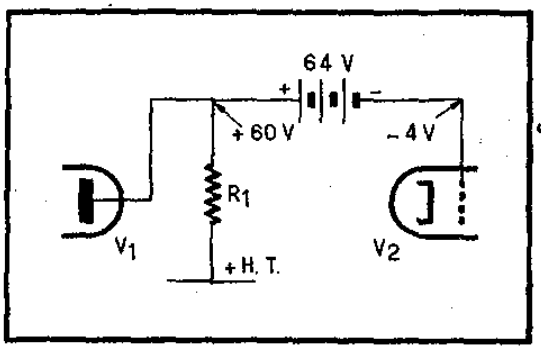
مهندسـ در واقع اساسی‌ترین نقص این سیستم همین است‌که فقط برای دوطبقه و حداکثر سه‌طبقه بکار برده می‌شود. موقعیت برای ترانزیستورها تغییرمی‌کند زیرا در حقیقت جمع‌کنندهٔ آنها اختلاف سطحی داردکه با اختلاف سطح پایهٔ آنها تفاوت‌کمی دارد، بنابراین می‌توان چندین ترانزیستور را بدنبال هم قرار داد ودرعین‌حال جمع‌کنندهٔ یکی را بطورساده با ارتباط مستقیم به‌پایهٔ دیگری‌متصل کرد بی‌آنکه این‌کارها به‌افزایش بیش‌از اندازهٔ‌فشار تغذیه برساند. حتی می‌توان کاربهتری‌کرد چون بیشتر ترانزیستورها با فشار جمع‌کننده و پایهٔ مساوی خیلی خوب‌کارمی‌کنند (دراینحال این ترانزیستورها درحدکاراشباع هستند، اما این‌حد کاملا قابل قبول است به‌شرط‌آنکه دامنهٔ علائمی‌که باید تقویت شوند، درطبقهٔ‌آخر از چند میلی ولت تجاوزنکند) درچنین وضع‌کاری فشارجمع‌کننده نسبت به‌ارسال کننده تقریباً ۰/۶ ولت است و پایه، هم همینطور است (منظور ترانزیستور سیلیسیومی n_p_n است) دراینحال اگر بخواهیم درطبقه‌های بعد عدم تنظیم‌های بزرگ پیش نیاید، باید پلاریزاسیون پایهٔ طبقهٔ اول را به‌دقت ثابت نگهداشت.



درآخرمی‌توان سیستم تزویج مستقیمی راکه برای‌گذاشتن ترانزیستورهای n_p_n و p_n_p بطوریك‌درمیان‌وجوددارد، نام‌برد. ارسال‌کنندهٔ‌ترانزیستورهای p_n_p به‌قطب مثبت تغذیه وصل می‌شود درحالی‌که ارسال‌کنندهٔ ترانزیستورهای n_p_n به‌بدنه یعنی قطب منفی تغذیه وصل است. جمع‌کنندهٔ یك ترانزیستور را مستقیماً به پایهٔ ترانزیستور بعد وصل می‌کنند. جهت جریان‌ها درست است چون جریان پایهٔ یك ترانزیستور p_n_p (بطور مثال) به‌وسیلهٔ پایه «خارج» می‌شود (درصورتیکه جهت قراردادی جریان‌که مخالف جهت حرکت الکترون‌هاست درنظر گرفته شود)درحالی‌که جریان‌جمع‌کنندهٔ‌یك ترانزیستورn_p_n به‌وسیلهٔ جمع‌کننده «وارد» می‌شود.

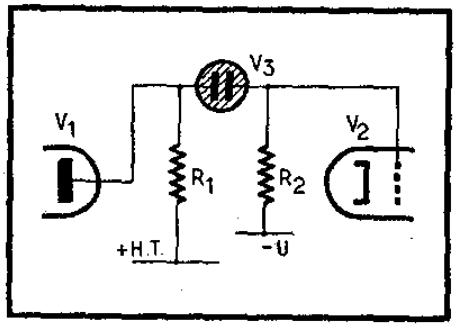
سیستم انتخاب شده هر چه باشد (ترانزیستور با فشار تغذیهٔ پله‌پله، ترانزیستور در حد اشباع، بطور یك‌درمیان n_p_n و p_n_p) تزویج مستقیم بین چند طبقه بطور پشت سرهم باید به‌تعداد طبقه‌های نسبتاًکم محدود شود. اگر هرطبقه از نوع متقادن ومطابق با شکل خلاصه‌ای‌که «L.T.P» گفته می‌شود و در شکل ۵۸ نشان داده شده، ساخته شود، می‌توان تعداد طبقه‌ها را کمی زیادترکرد. اما دربارهٔ شکل ۴۲ چه می‌گوئید؟

مبتدیـ عجیب است! نسبتاً مطابق با مدارهای معمولی است، اما چیزی



شکل۴۲ــ قوهٔ ۶۴ ولتی امکان می‌دهدکه شبکهٔ لامپ V_2 و آند لامپ V_1 بهم‌متصل شوند درحالی‌که مؤلفهٔ مستقیم را منتقل می‌کنند.

قوه کراکرا وقتی‌ازآن استفاده نمیکنند می‌خوابد



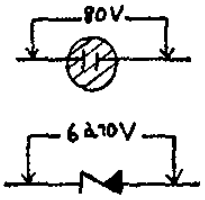
شکل۴۳ــ لامپ گازی V_3 در نتیجهٔ جریانی که‌از R_2 در جهت قطب منفی منبع U— می‌گذرد، دچار ایونیزاسیون‌می‌شود ونقش قوهٔ شکل۴۲ رابازی می‌کنند.

که مرا متعجب می‌کند قوه‌ایست‌که در راه ارتباطی بین‌آند لامپ V_1 و شبکهٔ‌لامپ V_2 قرارگرفته است.

مهندســ خوب فکرکنید، این قوه اختلاف سطح ثابت بین آند لامپ V_1 وشبکهٔ‌لامپ V_2 را حفظ می‌کند بطوری‌که شبکهٔ لامپ V_2 همیشه ۶۴ ولت پائین‌تر‌ازآند لامپ V_1 است وبه‌این‌ترتیب وقتی آند V_1 به ۶۰+ ولت وصل باشد، اختلاف سطح شبکه نسبت به بدنه ۴— ولت است. پس می‌توان کاتد V_2 را به‌بدنه وصل‌کرد.

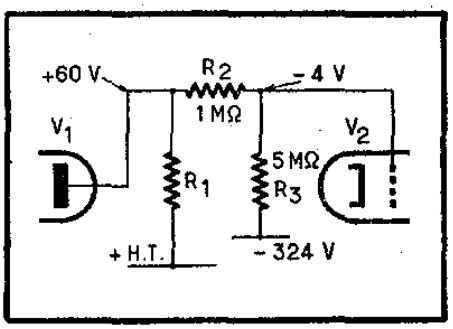
مبتدیــ بسیار هوشیارانه است. این‌راه حل واقعی برای تقویت‌کننده‌های فشار مستقیم با چندین طبقه است.

مهندســ این روش باکمال مطلوب خیلی فاصله دارد. ابتدا اینکه قوه‌ها بسیار جای‌گیرند. سنگین هستند، با بدنه ظرفیت مزاحم زیادی تشکیل می‌دهندو درآخر فرسوده هم می‌شوند.

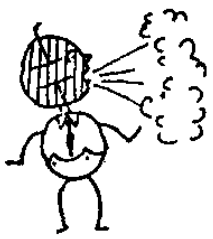


مبتدیــ با اینحال از آنها هیچ جریانی‌گرفته نمی‌شود.

مهندســ آه، می‌دانید که‌گاهی بین‌گفتارهای تبلیغاتی و حقیقت فاصلهٔ زیادی هست. برای هرطبقه یك قوه لازم است. ترجیح می‌دهند که بجای‌آنها از لامپ‌های‌کوچك نئون استفاده‌کنند. شکل خلاصهٔ ۴۳ را نگاه‌کنید. لامپ V_3یك لامپ‌کوچك نئون است‌که وقتی‌جریانی‌که خیلی زیاد نباشد ازآن بگذرد، در دوسر آن فشار ثابت نگهداشته می‌شود. شبکهٔ لامپ V_2 را به وسیلهٔ یك مقاومت R_2 به یك فشارمنفی نسبتاً زیاد وصل می‌کنند، R_2 هم مقدارزیادی دارد. بنابراین‌اجباراً جریانی‌ازلامپ V_2 می‌گذردوگاز دردون‌آنرا به‌ایون‌ها تجزیه‌می‌کند (ایونیزاسیون



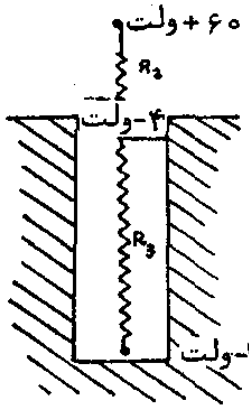
شکل۴۴ــ جریانی که از R_2 می‌گذرد و از راه R_3 به‌طرف ۳۲۴ــ ولت می‌رود، درمقاومت R_2 یك فشار ۶۴ ولت ایجاد می‌کند که جانشین قوهٔ شکل ۴۲ می‌شود.



ایجاد می‌شود). این جریان نسبت به‌جریان آندی لامپ V_1 بسیار کوچك است، و لامپ نئون که درگازش ایونیزاسیون ایجاد شده، نقش قوهٔ P در شکل ۴۲ را بازی می‌کند. این سیستم‌را مخصوصاً در طبقه‌های آخر تقویت‌کننده‌های با ارتباط مستقیم بکار می‌برند.

مبتدی‌ــ در واقع لامپ نئون شما مثل یك دیود زنر کار می‌کند؛ می‌شود بجای آن یك دیود زنر گذاشت؟

مهندس‌ــ شاید به سختی بشود اینکار راکرد، اما برای فشارهای زیاد و شدت جریان‌های کم، لامپ‌های کوچك نئون به‌دیودهای زنر ترجیح دارند. با اینحال یك نقص هم دارند چون فشار بدست آمده دردوسر V_2 کاملا مستقیم نیست، بلکه یك مؤلفهٔ متناوب کاملا غیرمنظم دارد (به‌آن «فشار دمش» می‌گویند) که باعث می‌شود این روش برای طبقه‌های اول که درآنها فشارهای سودمند ضعیف هستند، بکار برده نشود.



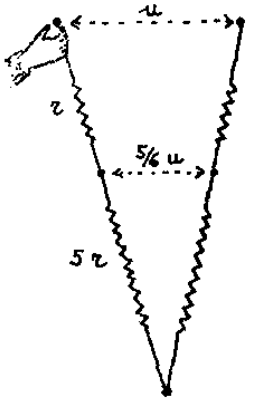
تزویج به‌وسیلهٔ تقسیم‌کنندهٔ فشار

مبتدی‌ــ پس برای طبقه‌های اول چه می‌کنید؟

مهندس‌ــ روشی که الان برای شما خواهم‌گفت برای همهٔ طبقه‌ها خوبست. فوراً آنرا با یك مثال عددی دراختیارتان می‌گذارم. فرض‌کنیم (شکل ۴۴) که آند لامپ V_1 شما به ۶۰+ ولت وصل باشد، آنرا به‌وسیلهٔ یك مقاومت R_2 که یك مگاهم است به‌شبکهٔ لامپ V_2 وصل می‌کنم، در حالی که این شبکه به وسیلهٔ یك مقاومت R_3 که ۵ مگاهم است به‌فشار ۳۲۴ــ ولت وصل شده است. چون هیچ جریان شبکه‌ای در لامپ V_2 وجود ندارد، از مقاومت‌های R_2 و R_3 یك جریان می‌گذرد (جریانی که البته نسبت به‌جریان آندی لامپ V_1 بسیار ضعیف است) بنابراین افت فشار درمقاومت R_3 پنج برابر بزرگتر از افت فشار در دو سر R_2 است. توجه داشته باشید که فشارکلی روی مجموع مقاومت‌های R_2 و R_3 برابر است با:

$$۶۰+۳۲۴=۳۸۴^{V}$$

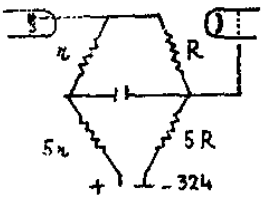
بنابراین افت فشار در R_2 برابر۶۴ ولت و در R_3 برابر ۳۲۰ ولت است و شبکهٔ لامپ V_2 به اختلاف سطح ۴ــ ولت وصل خواهد شد. می‌بینید که مقاومت R_2 تا حدودی نقش لامپ نئون V_2 (شکل ۴۳) و یا قوهٔ P (شکل۴۲) را بازی می‌کند.



مبتدیـ آقای مهندس دراینجا با شما هم‌عقیده نیستم چون فشار در دوسر این مقاومت ثابت نیست زیرا اگراختلاف سطح آند V_1 زیاد شود، این افت فشار هم زیاد خواهد شد.

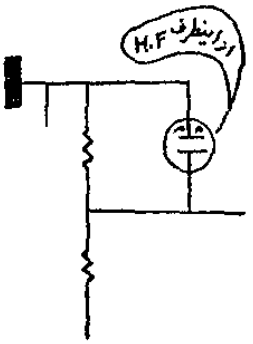
مهندسـ کاملادرست است، اما این افزایش شش برابر کمتراست. به‌عبارت دیگر R_2 و R_3 یك تقسیم‌کنندهٔ فشار تشکیل می‌دهند که نسبت آن $\frac{5}{6}$ است.

مسلماً ما دیگرروی شبکهٔ لامپ V_2 بیشتراز $\frac{5}{6}$ مؤلفهٔ متناوبی را که روی آنـد لامپ V_1 وجود دارد، نخواهیم داشت، اما دست‌کم ۶۴ ولت مستقیم را هم دارید. حتماً درعمل بدنبال یك فشار منفی ۳۲۴— ولت نخواهند رفت بلکه مقداری را انتخاب می‌کنندکه متداولتر باشد ودرنتیجه مقاومت‌های R_2 و R_3 را تغییرمی‌دهند.



مبتدیـ این سیستم بدنیست. برای ارتباط مستقیم از قوه به‌لامپ نئون و سپس به‌مقاومت رسیدیم یعنی بطرف ساده‌کردن رفتیم. اما چیزی هست‌که ناراحتم می‌کندوآن اینست‌که وجود R_2، که مقدارش یك مگاهم است، بطور پیاپی باشبکهٔ لامپ V_2 نمی‌گذاردکه وضع برای فرکانس‌های بالا روبراه باشد؛

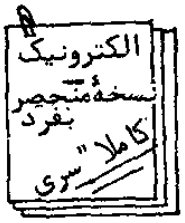
جبران تقسیم‌کنندهٔ فشار



مهندسـ در واقع اگرمونتاژ شکل ۴۴ بهمان ترتیب ساخته شود برای فرکانسهای بالا شوم است. معمولا با اضافه‌کردن یك خازن‌کوچك‌که بطور موازی‌با R_2 قرار می‌گیردکارها را روبراه می‌کنند. اگر این خازن طوری باشد کـه وقتی ظرفیت آنرا در R_2 ضرب می‌کنیم مقدارش برابر حاصلضرب γ ظرفیت مزاحـم ورودی لامپ V_2 در R_3 باشد، اثر R_2 روی فرکانس‌های بالا حذف شده است. اگر $C.R_2=\gamma.R_3$ باشد (که‌دراینجا $C=5\gamma$ می‌شود) تقسیم‌کنندهٔ‌فشار $R_2-C/R_3-\gamma$، «غیردوره‌ای» است(تمام فرکانس‌هارا بطور برابرعبور می‌دهد و وابسته‌به‌فرکانس نیست). راه‌حلی‌که برای شما تشریح‌کردم متداول ومعمولی است. بنظرمن راه‌حل دیگری‌که بسیار زیرکانه است ترجیح دارد و کسانی که با الکترونیك سروکار دارند اصراردارندآنرا ندیده بگیرند. آنرا دریك مجلهٔ بزرگ خارجی پیداکردم که فکرنمی‌کردم خیلی خواننده دارد (اما من تنهاکسی بودم‌که به‌آن توجه‌کردم).

مبتدیـ فوراً آنرا برایم بگوئید. شریك شدن با شما دریك مونتاژسری برایم شورانگیزاست.

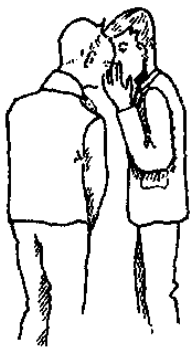
جبران به‌وسیلهٔ نقطهٔ اتصال روی مقاومت‌آند

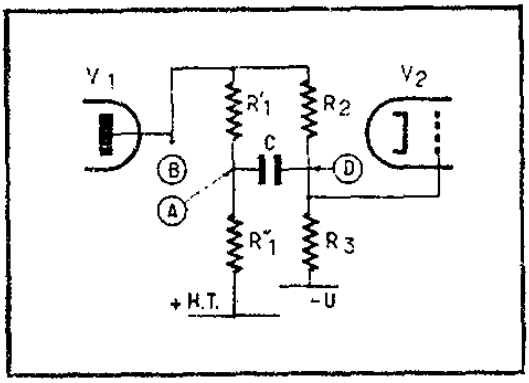


مهندسـ «سر» مورد بحث، بدون شك در ۵۰۰۰۰ نسخه چاپ شده‌است. آن سر اینست:

درتقویت‌کنندهٔ شکل ۴۴، می‌خواهند روی شبکهٔ لامپ V_2 مؤلفهٔ متناوبی ظاهرشودکه مقدارش $\frac{5}{6}$ مؤلفهٔ موجود روی‌آندلامپ V_1 باشد. فرض‌کنیدکـه بار

آند لامپ V_1 را به‌وسیلهٔ یك مقاومت تنهای R_1 دست نکرده باشم بلکه به‌وسیلهٔ دومقاومت R'_1 و R''_1 آنرا تشکیل‌داده باشم (شکل۴۵) می‌توانم این‌دو مقاومت





شکل۴۵ــ برای اینکه تزویج شکل۴۴ وابسته به‌فرکانس نباشد، نقطه‌های A و D را به‌وسیلهٔ خازن C بهم‌ارتباط می‌دهندو به‌این‌ترتیب قطریك‌پل‌متعادل را اتصال‌کوتاه می‌کنند چون

$$\frac{R'_1}{R''_1}=\frac{R_2}{R_3}$$

راطوری انتخاب‌کنم‌که مجموع آن‌ها برابرمقدار R_1 باشد ونسبت‌آنها برابرنسبت R_2 و R_3 باشد:

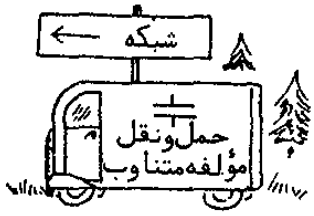
$$\frac{R'_1}{R''_1}=\frac{R_2}{R_3}$$

به‌عبارت دیگردرحالت خاص ما، خواهیم داشت:

$$R''_1=5R'_1$$

بنابراین اختلاف سطح نقطهٔ مشترك A در دومقاومت مؤلفهٔ متناوبی‌دارد که $\frac{5}{6}$ مؤلفهٔ متناوبی است‌که درنقطهٔ B بدست می‌آید (به‌سبب وجود تقسیم‌کننده فشار $R''_1-R'_1$). این مؤلفهٔ متناوب رابه‌وسیلهٔ خازن C با ظرفیت‌کافی‌به‌شبکهٔ لامپ V_2 (نقطه D) منتقل خواهیم کرد. به این ترتیب اختلاف سطح نقطهٔ D را وادار می‌کنیم مؤلفهٔ متناوبی داشته باشد کـه مقدارش $\frac{5}{6}$ مـؤلفهٔ متناوب نقطهٔ B است، واین همان چیزی است‌که می‌خواستیم.

مبتدی‌ــ در واقع چهار مقاومت شما، دو تقسیم‌کنندهٔ فشار تشکیل می‌دهند که یك نسبت دارند، وبطور ساده یك پل ویتستون تشکیل می‌دهند؟



مهندس‌ــ کاملا درست است. حالا برای شما برتری این سیستم راخواهم گفت. ابتدا مشاهده خواهیدکردکه نیازی نیست خازن C مقدار مشخصی داشته‌باشد، کافی است نسبت به‌مقاومت مزاحم ورودی لامپ V_2 مقدارش زیاد باشد. درشکل خلاصهٔ ۴۴، لازم بود خازن C را برحسب ظرفیت مزاحم γ تنظیم کنیم؛ بنابراین خازن C باید خازن متغیری باشد. درحالی‌که γ ممکن است برای هرلامپ‌مقدار معینی داشته باشد وحتی در یك لامپ معین برحسب اینکه پلاریزاسیون آن کم یا زیاد باشد، γ تغییرمی‌کند. با مونتاژ شکل ۴۵ چنین چیزی پیش نمی‌آید. نیازی ندارید‌که روی شبکه یك خازن متغیروصل‌کنید (که همیشه نـاراحت کننده است زیرا یك‌خازن متغیرهمیشه جای‌گیراست و احتمال ایجاد نوسان خودبخود[1] دارد).

۱ــ نگاه‌کنید به‌کتاب «رادیو؟... بسیارساده است!» ازهمین مجموعه.

فقط یکبار باید مقاومت‌ها تنظیم‌شوند و دیگر کار تمام است. چون، پلاریزاسیون لامپ V_2 هرچه باشد، تنظیم شما بجای خود باقی خواهد ماند، حتی اگر لامپ V_2 را عوض کنید. معمولا خازن C را از جنس سرامیك به‌ظرفیت ۲۲۰ تا ۴۷۰ پیکو-فاراد می‌گیرم که بسیار کوچك وقابل جای دادن درجعبه‌های کوچك دستگاه است.

مبتدی ـ آقای مهندس مرا قانع کردید، به‌عنوان عضو افتخاری در «جمعیت گسترش مونتاژ تزویج مستقیم به‌وسیلهٔ نقطهٔ اتصال روی مقاومت بارآنده» (ج.گ.م.ت.م.ب.ن.ر.م.ا) نام نویسی می‌کنم.

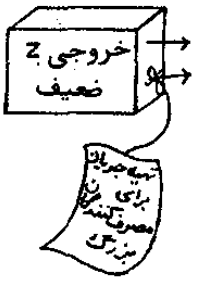
مهندس ـ فعلا به‌نام‌نویسی درجمعیت «کسانی‌که بدون بیدارکردن پدرو مادرشان بخانه می‌روند» اکتفاکنید چون ساعت یك بعد از نیمه شب است و دلم نمی‌خواهدکه از طرف مادرتان برای دیررفتن شما به‌خانه مورد بازخواست واقع شوم.

مبحث ششم

مبتدی که همیشه توقع بیشتری دارد، می‌خواهد بازهم تقویت کننده‌ها را بهتر کند. او خواهد دانست که چگونه مقاومت ظاهری ورودی را زیاد می‌کنند (که تقریباً در مونتاژهائی که «تقویت کنندهٔ سنجشی» نام دارند تا بی‌نهایت می‌رود) وچگونه مقاومت‌ظاهری خروجی را می‌توان کاهش داد. دراین مورد کشف خواهد کرد که مناسب‌ترین مقاومت ظاهری بار یك تقویت کننده ممکن‌است مقدار کاملا متفاوتی با مقاومت داخلی خروجی همین تقویت‌کننده داشته باشد.

سنجش الکتریکی

کاهش مقاومت ظاهری خروجی



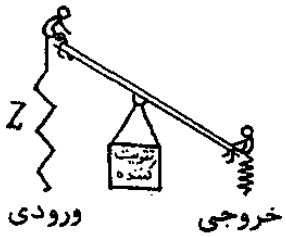
مبتدیـ بمن یاد دادید که چگونه باندگذرای یك تقویت‌کننده را درجهت فرکانس‌های بالا وهمچنین فرکانسهای پائین گسترش می‌دهند اما متوجه شدم که دربارهٔ تقویت کننده‌های سنجشی صحبتی نکرده‌اید. واین بسیار بد است!

مقاومت ظاهری ورودی

مهندسـ همهٔ مطلب‌هاراکه نمی‌توانم یکجا بگویم. امروز به‌آن می‌رسیم. می‌دانید، درالکترونیك غالباً نیاز به‌گسترش باندگذرای تقویت‌کننده‌ها هست،اما بهمین‌ترتیب زیادکردن مقاومت ظاهری ورودی وکاهش مقاومت ظاهری خروجی سودمند است.

مبتدیـ دلم می‌خواهد دربارهٔ علت این موضوع‌کمی برایم صحبت کنید و روشهای تغییر این مقاومت‌های ظاهری را بگوئید.

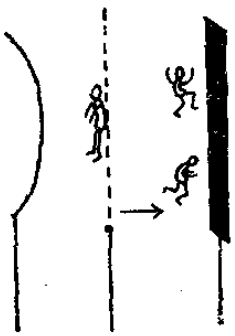
مهندسـ اگرتقویت‌کننده‌ای ساخته باشید می‌دانیدکه به‌ورودی‌آن‌فشارهائی می‌گذارید و درخروجی فشاری بدست می‌آورید. مسلماً بسیار علاقمندید که مصرف جریان از منبعی که باید تقویت شود در ورودی بسیارکم باشد و بنابراین باید مقاومت ظاهری ورودی خیلی زیاد باشد. درعوض خروجی تقویت کنندهٔ شما وظیفهٔ منبع را به‌عهده خواهدگرفت، درحالی‌که علائم را با فشاری قویتر از آنچه به‌ورودی‌آن‌گذاشته‌اید، دوباره ایجاد می‌کند. برای اینکه منبع جالب باشد باید بتواند بی‌آنکه فشارش پائین بیاید، جریان قابل توجهی بدست بدهد و بنابراین باید مقاومت داخلی ضعیفی داشته باشد.



مبتدیـ خوب، فهمیدم. پس درجهت ورودی. این مقاومت ظاهری‌به‌وسیلهٔ ظرفیت ورودی وفرکانس مشخص شده است.

مهندسـ برای فرکانسهای بالا، بله. اما در فرکانس‌های پائین، ظرفیت ورودی نقشی بازی نمی‌کند، این ظرفیت وابسته به‌مقاومت ظاهری‌هائی در حدود چندین میلیون مگاهم‌است‌که شما به‌آن نمی‌رسید.

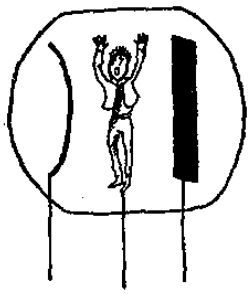
مبتدیـ می‌دانم چه نتیجه‌ای می‌خواهید بگیرید. مقاومت تلفی وجود



داردکه بایدآنرا بین شبکه و بدنه جای داد تا الکترون‌های احمقی‌که با نادانی روی شبکه توقف‌کرده‌اند، بتوانند جریان پیداکنند. می‌دانم‌که این مقاومت بطور موازی روی ورودی طبقه قرارگرفته است. کافی نیست‌کـه این مقاومت را زیـاد بگیریم تا مقاومت ظاهری ورودی زیادی داشته باشیم؟

جریان‌های شبکه

مهندس- اینکار بدون نقص نخواهد بود. در واقع غیر از الکترون‌هـای «احمق» چیزدیگری نیست‌که از راه مقاومت تلف خالی شود بنابراین الکترون‌هائی را هم‌که‌از شبکه خارج می‌شوند و باید جای‌آنهاراپرکردباید به‌حساب‌آورد.



مبتدی- چطور می‌خواهیدکه الکترون‌ها از شبکه خارج شوند، شبکه کـه گرم نیست.

مهندس- آه، شما اینطور فکرمی‌کنید. خوب، خودتان را بجای شبکـه بگذارید...

مبتدی- رحم‌کنید، آنجا هوا نیست....

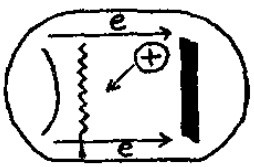
مهندس- بسیار خوب، اماکمی تصورش را بکنیدکه‌شبکه درفاصلهٔ چنددهم یاچندصدم‌میلیمتری یك‌کاتد بسیارگرم قراردارد‌که گرما می‌تواند روی‌آن تشعشع کند وجلوگیری ازگرم شدن شبکه دشوار است. ازاین‌گذشته نباید ارسال‌احتمالی الکترون از شبکه درنتیجهٔ پدیدهٔ فتوالکتریك را فراموش‌کرد. البته می‌توان با سیاه‌کردن رنگ شیشهٔ لامپ‌آنرا کاهش داد (اگـر چه نور خارج شده از کاتد، که خوشبختانه ضعیف است، همیشه وجود دارد)

مبتدی- این پدیده‌ها شگفت‌آورند، اما رویهمرفته، بیشتر سودمندند،چون آنها الکترون‌ها را از شبکه خارج می‌کنند درحالی‌که الکترون‌های دیگـر میل دارند درآن باقی بمانند.

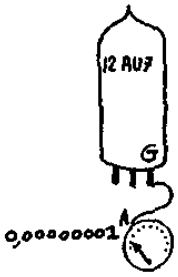
مهندس- اما آقای مبتدی، الکترون‌ها روی شبکه متوقف نمی‌شوند مگر وقتیکه‌شبکهٔ پلاریزاسیون بسیارکمی‌داشته باشد. درکارعادی‌خارج شدن الکترون‌ها از شبکه خیلی فراوان‌تراست واین اثر با رسیدن بارهای مثبتی‌که به‌وسیلهٔ‌ایون‌ها به‌شبکه‌آورده می‌شود، باز هم شدیدتر می‌گردد.

مبتدی- این ایون‌ها ازکجا بیرون می‌آیند؟ دریك لامپ الکترونی خلاء حکمفرماست.

مهندس- دراین دنیای پست، هیچ‌چیـز کامل نیست، خلاء هم مثل سایـر چیزهاست. مولکول‌های بسیار زیادگاز دریك لامپ وجود دارند، حتی اگر خوب از هوا خالی شده باشد. این مولکول‌ها زیراثرمیدان الکتریکی بین‌آند وکاتدو بخصوص درنتیجهٔ برخورد الکترون‌ها، به‌ایون تجزیه می‌شوند. درنتیجه ایون‌هـای مثبتی‌به‌وجود می‌آیندکه باشتاب به‌شبکه‌می‌روندو به‌این‌ترتیب اثرخوددرا به‌اثرارسال الکترون شبکه می‌افزایند. باوجود این باید خاطرنشان‌کنم‌که جریان بوجودآمده درنتیجهٔ ایون‌ها خیلی بیشتراز جریانی است‌که ازخروج الکترون‌ها بدست‌می‌آید.



مبتدی- خوب، برای جریان شبکهٔ علت‌هائی وجـود دارنـد! شگفت‌آور اینست‌که این اثر تاکنون، موجب ناراحتی من نشده است.



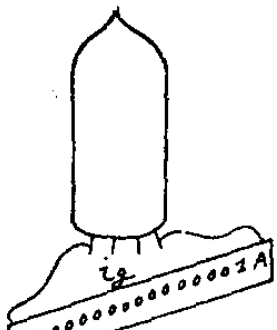
مهندسـ پیش خودتان تصور نکنید که این جریان شبکهٔ اتصالی آنرا ذوب خواهد کرد! در یک لامپ معمولی (یک لامپ 12AUV را با جریان آند 4mA در نظر می‌گیریم)، این جریان تقریباً $\frac{1}{100}$ میکروآمپر یا کمتر از آنست. در یک مقاومت تلف $1M\Omega$ (معمولاً باید کمتر از این بگذارید)، این جریان فقط $0/01^{V}$ فشار ایجاد می‌کند و نمی‌توانید آنرا مورد توجه قرار دهید. اما اگر مقاومت تلف ۱۰۰ یا ۱۰۰۰ مگاهم بود، این جریان شبکه فاجعه‌ای بوجود می‌آورد.

مبتدیـ پس چه باید کرد؟

لامپ سنجش الکتریکی

مهندسـ ابتدا می‌توانیم لامپ‌های کاملا اختصاصی بکار ببریم که به‌ویژه خوب ازهوا خالی شده‌اند و بکاربردن آنها، فقط با چند ولت فشار آند امکان‌پذیر است که ایونیزاسیون کاهش می‌یابد. غالباً برای ساختن این لامپ‌ها، تترود را بکار می‌برند، اما برعکس آنچه معمول است، دورترین شبکه نسبت به کاتد، کار شبکهٔ فرمان را انجام می‌دهد. شبکهٔ اول ایون‌ها را دفع می‌کند چون آنرا به‌اختلاف‌سطحی وصل می‌کنند که کمی مثبت است.

از این گذشته وقتی گفتم «کاتد»، باید می‌گفتم «رشته»، چون این لامپ‌ها معمولا با گرمایش مستقیم هستند و به‌این ترتیب از گرم شدن زیاد شبکه جلوگیری می‌کنند. «لامپ‌های سنجشی» را با این روش می‌سازند که منظور لامپ‌هائی هستند که فشار الکتریکی را اندازه می‌گیرند بی‌آنکه چیزی مصرف کنند.



مبتدیـ پس لامپ‌های مشهور سنجشی که امکان می‌دهند مقاومت‌های تلف با مقدار زیاد بکار برده شوند، اینها هستند. درجهٔ تکامل آنها تا چه حد است؟

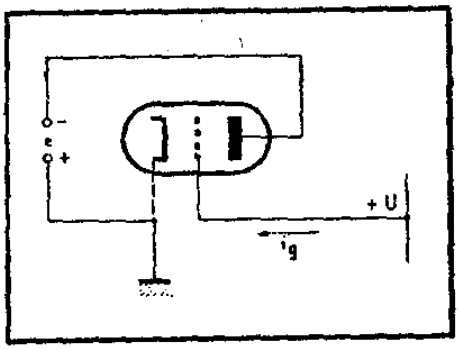
مهندسـ در بعضی از انواع آنها به‌جریان شبکه‌ای رسیده‌اند که کمتر از 10^{-15} آمپر است که یک میلیاردیم میکروآمپر می‌شود. اما باید به‌شما گوشزد کنم که با لامپ‌های معمولی هم می‌توان نتیجه‌های نسبتاً قابل ملاحظه بدست آورد به‌این ترتیب که برای کاهش درجه گرمای شبکه، لامپ‌ها را کمتر از حد معمول گرم می‌کنند و با جریان ضعیف آندی مورد استفاده قرار می‌دهند. با این روش به‌سادگی به‌جریانی می‌رسند که کمتر از 10^{-11} آمپر است. بالاخره روش بسیار شگفت‌آوری برای بدست آوردن مقاومت ورودی بسیار زیاد وجود دارد که تریود معکوس است.

مبتدیـ پایه‌های لامپ را رو به‌بالا می‌گذارید؟

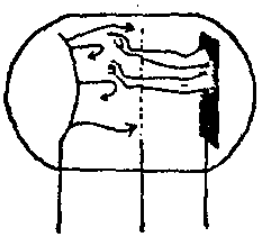
مهندسـ نه، آنرا همانطور که شکل ۴۶ نشان می‌دهد سوار می‌کنم. بله، متوجه وحشت زدگی شما شدم چون فشار فرمان بطور منفی به‌آند گذاشته شده‌است، و جریان شبکه، جریان خروجی است، زیرا شبکه به‌اختلاف سطح U+ وصل شده است. هرچه آند منفی‌تر باشد، با پس‌زدن الکترونها به‌طرف کاتد، از رسیدن آنها به‌شبکهٔ مثبت بیشتر جلوگیری می‌کند. شبکه که مثبت است، از رسیدن ایون‌ها به‌آند جلوگیری می‌کند. درحالی که شبکه به‌سبب سرد بودن، الکترون نمی‌فرستد. به‌این ترتیب به‌یک شبه‌تریود می‌رسند که مقاومت ورودی آن بسیار زیاد است.

مبتدیـ این شبه مشخصات شباهتی هم با مشخصات یک تریود معمولی

دارند؟



شکل۴۶ــ تریود معکوس: آند که منفی است الکترونها را دفع می‌کند و به‌این‌ترتیب جریان شبکه را کاهش می‌دهد. این یك مونتاژ سنجش‌ـ الکتریکی است. جریان مصرف شده از منبع e ناچیز است.



مهندس ــ چقدر هم از آن دوراست ! مشخصات آن شبیه به مشخصات یك تریود سنجش‌الکتریکی است، به‌عبارت دیگر:

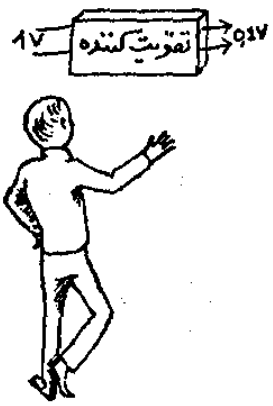
ــ شیب بسیار ضعیف (بطور متوسط $0/1 mA/V$)
ــ مقاومت داخلی ضعیف (مثلا ۲ کیلو اهم)
ــ ضریب تقویت‌کوچك (۰/۲)

ضریب بهره درفشار و درتوان

مبتدیــ دیگرچیزی نمی‌فهمم! می‌گوئیدکه مقاومت داخلی آن ضعیف است درحالی‌که ما به‌مقاومت داخلی زیاد نیاز داریم. بعد از ضریب تقویت‌کوچکتر از واحد صحبت می‌کنید. میل دارید با این لامپ چه بکنم!

مهندســ ابتـدا به‌پرسش اول شما پاسخ می‌دهم. نباید مقاومت ورودی (نسبت فشار ورودی به‌جریان ورودی) را با مقاومت داخلی (نسبت تغییرات فشار خروجی به‌تغییرات جریان خروجی) را با هم اشتباه‌کرد. درشبه تریودی‌که سوار کردیم، تغییرات ۱ ولت فشار شبکه (خروجی) با ایجادتغییردرجریان شبکه(جریان خروجی) به‌مقدار ۰/۵ میلی‌آمپرمی‌شود، که نشان دهندهٔمقاومت داخلی $2 K\Omega$ است نباید این جریان را با جریان ورودی اشتباه‌کرد.

اما دربارهٔ ضریب تقویت باید به‌شما بگویم کـه وقتی با این نوع لامپ، یك طبقهٔ ورودی می‌سازید ، فشاری از آن خارج خواهد شد که از فشار ورودی آن آشکارا ضعیفتـر است . اما چیزی کـه مهـم است اینست کـه به ورودی فشار $1 V$ می‌گذارید وفقط 10^{-15} آمپر درآن ایجاد می‌کنیدکه توان‌آن 10^{-15} وات است. شاید فشارخروجی ۰/۱ ولت باشد امامی‌تواند مثلا جریان ۰/۱ میلی‌آمپر ایجادکندکه توان آن 10^{-5} وات است. بنابراین توان ایجاد شده در خـروجی 10^{10} برابر بزرگتراز توان ایجاد شده در ورودی است. با اینحال تقویت ۰/۱ برابرشما درفشار وابسته به‌ضریب بهره ده‌میلیارد درتوان است، برایتان‌کافی هست؟

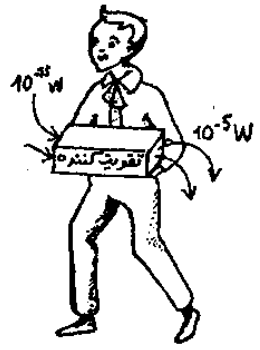


مبتدیــ حتی می‌توانم بشما بگویم‌که توان خروجی $100 dB$ بالاترازتوان ورودی است.

مهندســ اوه!... اتفاقاً درست است!

مبتدیــ خواهش می‌کنم، من همیشه اینطورم!

انحراف



مهندس- یك لحظه صبر کنید تا از شگفت‌زدگی بیرون بیایم. خوب، بهترشدم! در دنبالهٔ این مطلب به‌شما می‌گویم‌که لامپ‌های سنجش‌الکتریکی‌بدنبال خود معمولا تقویت‌کنندهٔ با تزویج مستقیمی دارند واساسی‌ترین دشواری‌کاربردآنها انحراف است. اگر هیچ فشاری به‌ورودی نگذارید ممکن است درنتیجهٔ تغییر گرمایش لامپ، تغییرفشار تغذیه ویا حتی درنتیجهٔ فرسودگی لامپ جریان آندی لامپ اول‌کمی تغییرشکل پیدا کند. گرمای محیط هم ممکن است مؤثرباشد. به‌این‌ترتیب می‌بینیم‌که فشارخروجی به‌آرامی تغییر می‌کند، فشاری‌که وقتی به‌ورودی گذاشته می‌شود بتواند در نبودن تمام علت‌های انحراف همان تغییرات فشار را در خروجی ایجادکند «انحراف برده شده به‌ورودی» نامیده می‌شود.

مبتدی- این انحراف ناراحت‌کننده است؟

مهندس- بله، بله! به‌ویژه وقتی‌که به‌ورودی فشاری داده شودکه‌بخواهند با تقریب یك میلی‌ولت یا دقیقترازآن (حالت اندازه‌گیری pH) مقدارش‌رابدست بیاورند. با بکاربردن تقویت‌کننده‌های متقارن با انحراف مبارزه می‌کنند.

مبتدی- از نوع پوش-پول (Push-Pull)؟

مهندس- آنهم خوبست. به‌این‌ترتیب موفق می‌شوند انحراف ایجاد شده از تغییرات فشار تغذیه یاگرمایش را بخوبی جبران‌کنند، چون این تغییرات هر دولامپ یك طبقه را بطوریکنواخت زیر اثرقرار می‌دهند و از اختلاف جریان آندی این لامپ‌ها استفاده می‌کنند. برای اینکه‌کار بهتری شده باشد می‌گویم مونتاژهای زیادی وجود دارندکه ضمن خواندن کتاب‌ها و مجله‌های علمی به‌آن برمی‌خورید. بخوبی می‌توان تقویت‌کننده‌ای ساخت (که ورودیش روی سنجش الکتریکی باشد یا نباشد)که انحراف برده شده به‌ورودی‌آن، پس ازیك‌ربع ساعت که ازکار افتادنش بگذرد تا کار دستگاه ثبات لازم را پیداکند، از ۰/۱ ولت در ۲۴ساعت‌کمترباشد. ممکن‌است تقریباً درتمام‌این نوع دستگاههای سنجش‌الکتریکی بجای لامپ‌های سنجشی‌ترانزیستور ویژه‌ای با اثرمیدان با شبکهٔ جدا شده قرار دهندکه آنرا «M.O.S» یا «M.O.S.T.» (ترانزیستور نیمه‌هادی اکسید فلزی Metal Oxyde Semiconductor Transistor.) می‌نامند. منظوریك‌صفحه سیلیسیومی هست‌که درآن جریان درسطح بین‌یك‌منبع‌و یك‌مجراوقتی می‌گذردکه‌یك راه (یا در)برای حامل‌های بارایجاد شده باشد[1]. راه‌حلی‌که بیشترازهمه‌برای‌ایجاد این‌راه بکاررفته است برمبنای‌گذاشتن یك میدان‌الکتریکی بین‌این‌راه‌ویك‌الکترود فلزی(«شبکه»)قرار داردکه این شبکه به‌وسیلهٔ پوششی ازسیلیس‌از راه‌جداشده‌است. اگردرنبودن‌این میدان، جریان بتواند بین منبع ومجرابرقرار شود، M.O.S. را «سرشار» می‌گویند (وضعی‌که بیشتروجود دارد) همینطور می‌توان این‌راه عبور را درابتدا به‌وسیلهٔ تزریق رویه‌ای سیلیسیومی‌بوجود آورد. دراینحال درنبودن میدان عبور جریان بین منبع ومجرا وجود دارد. وجود میدان می‌تواند عبور جریان را برای‌پلاریزاسیون معینی از شبکه ـ منبع آسانترسازدویابرای پلاریزاسیون مخالف

1. نگاه‌کنید به‌کتاب «ترانزیستور؟.. بسیارساده است!» ازهمین مجموعه.. ..

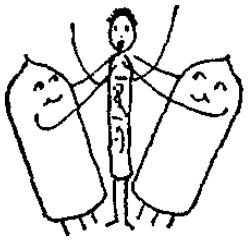
آن، عبور جریان را دشوار ویا کاملا متوقف کند. دراینحـال یك .M.O.S مختلط داریم که آنرا «سرشار ـ بی‌میل» می‌گویند.

درهـرحال برای .M.O.S می‌توان یك دسته منحنی مشخصه تعیین کرد که شباهت بسیار به‌منحنی‌های مشخصهٔ لامپ الکترونی دارد. .M.O.S شیبی دارد که با شیب یك لامپ معمولی یا یك ترانزیستور با اثرمیدان با شبکهٔ غیرعایق کاملا قابل مقایسه است (غالباً با تقریب 5mA/V یا بیشتر، به‌آن می‌رسند)، بنابراین خیلی بالاتر از یك لامپ سنجش‌الکتریکی است. مقاومت داخلی آنهم زیاد است.

چون شبکه به‌وسیلهٔ پوشش سیلیسی بسیار خالص عایق شده است، مقاومت داخلی .M.O.S قابل توجه است وغالبا به 10^{15} اهم می‌رسد به‌این ترتیب که در حقیقت مقدار آنرا خوبی عایق بودن «سیم عبوری» وصل‌کنندهٔ الکترود شبکه به اتصالی خارجی‌روی جعبه محدود می‌کند.

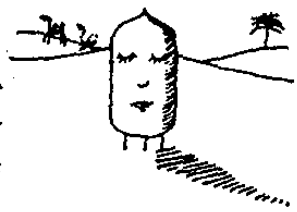
با اینحال بهتر است خاطرنشان کنم که این .M.O.S بی‌نهایت‌شکننده است چون اگر فشار ۶۰ تا ۱۰۰ ولت روی شبکهٔ آن گذاشته شود، سوراخ‌خراب‌کننده‌ای درپوشش سیلیسی که بسیار نازك است بوجود می‌آورد. نظر به‌اینکه اتصالی شبکه نسبت به‌سایر الکترودها و جعبه، فقط چند پیکوفاراد (غالباً ۴ پیکوفاراد و حتی کمتر) ظرفیت دارد، بنابراین کافی است بارالکترواستاتیك بسیار کوچکی وجود داشته‌باشد تا روی شبکه این فشار مخرب بدست بیاید. به‌این ترتیب نزدیك کردن یك جعبهٔ پلاستیکی به‌شبکه، که همیشه در اثـرمالش کم وبیش دارای الکتریسیته است، وسیلهٔ مطمئنی برای از بین بردن .M.O.S است.

برای نگهداری شبکه دربرابراین فشارها، کوشش کرده‌اند ازدستگاهی مانند دیود زنر که داخل جعبه .M.O.S گذاشته می‌شود، استفاده کنند. دراینکار بخوبـی موفقیت پیدا می‌کنند اما دراینحال مقدار عایق ورودی فقط ۱۰۹ اهم است (کـه چندان بد نیست). اگرواقعاً بخواهند با .M.O.S دستگاه سنجش‌الکتریکی بسازند، باید نوع محافظت نشدهٔ آنرا بکار ببرند، اما این‌کاربرد باید همراه بااحتیاط‌های جنون‌آمیز باشد. بهترین راه حل اینست که .M.O.S را تا لحظهٔ آغاز آزمایش به‌وسیلهٔ یك اتصال کوتاه بین شبکه ومنبع آن حفظ کنند، اتصال کوتاه وقتی حذف می‌شود کـه بخواهند اندازه‌گیری را انجام دهند وبتوانند تأییدکنند که هیچگونه اثرالکترو-استاتیك خطرمخربی برای .M.O.S بوجود نمی‌آورد.

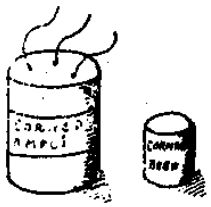


مبتدی ـ در واقـع این تقویت‌کننده‌های سنجشی نامدار، چندان پیچیـده نیستند. چون یك لامپ مخصوص (یا لامپ معمولی که بطور ویژه‌ای سوار شده‌است) یا یك .M.O.S درورودی آنها می‌گذاریم... وکار تمام است.

دشواری‌های عایقی



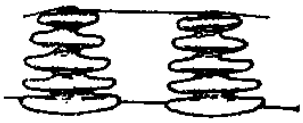
مهندس ـ درست است، پیچیدگی آن زیاد نیست. اما چنین مـونتاژهائی در موقع ساخت نیاز به‌مراقبت‌های زیادی دارند. وقتی می‌خواهید زیرفشار یك ولت، جریان‌های تلف از 10^{-15} آمپر تجاوز نکند، نشان دهندهٔ اینست که مقاومت‌عایقی باید 10^{15} اهم باشد ومیل دارم بشما بگویم که کارآسانی نیست. دراینجا مسئلهٔ بکار-بردن باکلیت Bakélite، مقوا، چوب یا مواد متداول دیگرمانند آنها دربین نیست.



باید کوارتز، شیشهٔ کاملا خشك، پلکسیگلاس Plexiglas و بعضی از انواع پلاستیك (پلی‌اتیلن و تفلون Téflon) بکار ببرید. بویژه باید دربرابر رطوبت بشدت دفاع کرد. غالباً تمام بخش سنجش الکتریکی را دریك جعبهٔ بسته قرار می‌دهند که دارای مادهٔ جذب کنندهٔ آب است و سرهای دستگاه بوسیلهٔ اتصالی‌های لحیم شده در شیشه بیرون می‌آیند. یادآوری می‌کنم که کابل هم مرکز با عایق پلی‌تن (Polythène) اگر بدون عیب باشد، از نظر عایقی برای دستگاه سنجش الکتریکی کافی است، تمام انواع دیگر سیم ارتباطی را باید کنار گذاشت مگر آنکه از سیم‌های لخت روی پایه‌های عایق با درجهٔ عایقی خوب استفاده شود.

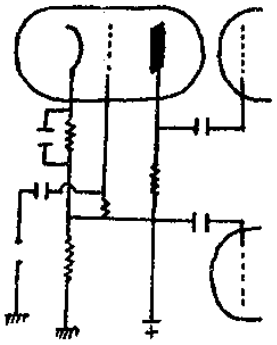
حالا خودتان را برای یك شیرجهٔ عالی آماده کنید چون از چند میلیارد مگاهم (ورودی) به‌چند اهم (خروجی) سقوط می‌کنیم.

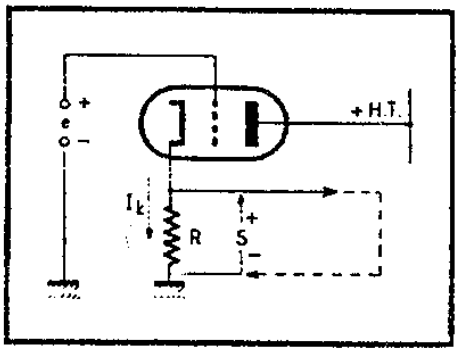
مقاومت ظاهری خروجی را کم کنیم



مبتدیـ این «بازی مرگ» است یا اینکه من چیزی از آن سردر نمی‌آورم. چگونه می‌خواهید مقاومت خروجی را کم کنید و به‌چند اهم برسانید؟

مهندسـ مواردی هست که این کار امکان دارد، اما معمولا تقویت کننده‌ها باید باندگذرائی داشته باشند که کاربرد مدل را ممنوع می‌کند، بخصوص اگر تقویت‌کننده با تزویج مستقیم باشد. بزودی خواهیم دید که چگونه کاربرد ضدواکنش امکان می‌دهد از مقاومت داخلی خروجی یك تقویت‌کننده بمقدار بسیار زیاد کاسته



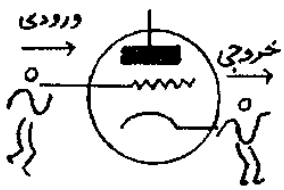


شکل ۴۷ـ طبقه با خروجی کاتدی: بین شبکه و کاتد لامپ، اختلاف بین فشار ورودی e و فشار خروجی S ، گذاشته می‌شود.

شود؛ فعلا بحث را به‌یکی از کاربردهای آن محدود می‌کنیم که آنهم طبقه با خروجی کاتدی یا کاتدین است که متجددها کلمات انگلیسی آن «Cathode follower» را که به‌معنای کاتد تعقیب کننده است بکار می‌برند.

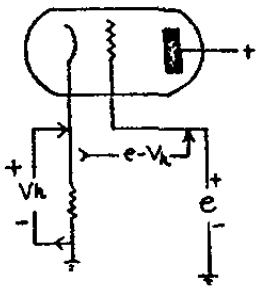
مبتدیـ آه، من این مونتاژ را خیلی خوب می‌شناسم چون یك سیستم ایجادکنندهٔ اختلاف فاز برای تحریك پوش‌ـپول است. واقعاً نمی‌دانم چه...

مهندسـ آقای مبتدی آرامتر. کاربرد ویژه‌ای برای مونتاژ کاتدین وجود دارد که همان ایجادکنندهٔ اختلاف فاز است که شما می‌شناسید. مونتاژ خلاصه‌ای که در شکل ۴۷ برایتان کشیده‌ام، با آن خیلی فرق دارد. می‌بینید که آند لامپ مستقیماً به H.T.+ وصل است؛ بین کاتد و بدنه مقاومتی وجود دارد (درد سر این مقاومت است که فشار خروجی را برداشت می‌کنم) فشار ورودی بین بدنه و شبکه گذاشته شده است درحالی که شبکه را نسبت به‌بدنه مثبت می‌کند و...



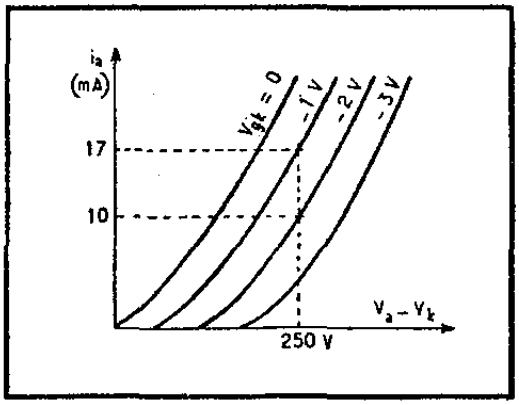
مبتدیـ چه وحشتناک! یك شبکهٔ مثبت!

مهندسـ ناراحت نباشید، شبکه نسبت به‌بدنه‌کاملا مثبت است، اما کاتد از آن‌مثبت‌تر است که‌در نتیجهٔ افت‌فشاردرمقاومت R در اثرعبورجریان آندی(وکاتدی) لامپ از آن بوجودآمده است. پس شبکه که نسبت به‌بدنه مثبت است نسبت به‌کاتد منفی خواهد بود «همانطورکه درتمام موارد خوب اینطور است» (مطابق با بیان یکنفرکه می‌شناسمش).

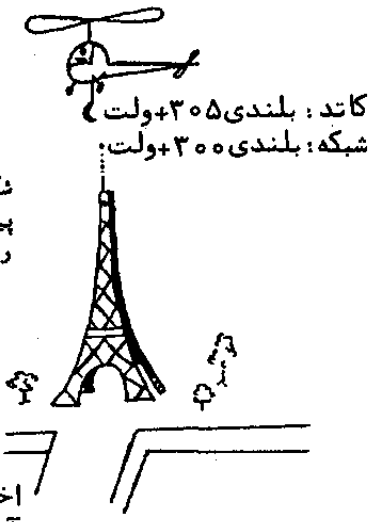


مبتدیـ آه، نفس راحتی کشیدم. اما بگوئید ببینم‌آیا کاتد نسبت به‌شبکه خیلی مثبت است؟

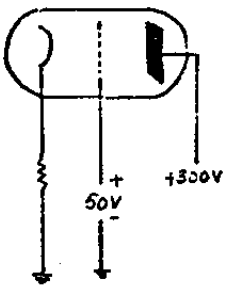
مهندسـ نه، فقط‌کمی مثبت‌تراست وگرنه پلاریزاسیون لامپ زیاد خواهد شد و از مقاومت R جریان‌کافی نخواهدگذشت که‌کاتد را به‌اختلاف سطح S که از e بیشتر است، برساند.



شکل۴۸ـ این‌دسته ازمنحنی‌ها امکان پیداکردن نقطهٔ کارطبقه با بار کاتدی رابوجود می‌آورند.



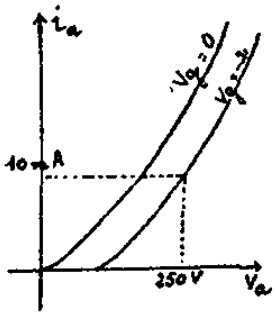
مبتدیـ اما درطرزبیان شما چیزی هست‌که مرا به‌هیجان می‌آورد. اگر اختلاف سطح‌کاتد خیلی زیاد شود، پلاریزاسیون لامپ بسیار قوی است، جریان آندی‌کاهش می‌یابد،که باعث می‌شود اختلاف سطح‌کاتد هم‌کم شود. برعکس اگر این اختلاف سطح پائین بیاید ومثلاکمتراز e شود، پلاریزاسیون لامپ‌کم می‌شود (حتی به‌صفرمی‌رسد) وجریان لامپ زیاد می‌شود ودرعین‌حال اختلاف سطح‌کاتد را زیاد می‌کند. مثل اینکه نوسان ایجاد می‌شود، نه؟



وضع کارطبقهٔ کاتدین

مهندسـ بهیچوجه. کار هترودین را بخاطر بیاورید: نوسان برای این بوجود می‌آیدکه مدار روی خودش درجهتی واکنش داردکه هراغتشاشی می‌خواهد خودش را شدیدترکند (مثلا زیاد شدن جریان آندی شبکه را مثبت می‌کند). در اینجا برعکس است. نوسانی بوجود نمی‌آید زیراما واکنش مثبت نداریم، بلکه واکنش منفی است (یا ضد واکنش است)[1] اماگفتهٔ شما به‌من نشان می‌دهدکه خیلی آسان بهرهٔ مونتاژ را خواهید فهمید. برای اینکه دراستدلال‌بشماکمك‌کنم یك‌مثال

۱. نگاه‌کنید به‌کتاب «رادیو؟... بسیار ساده است!» از همین مجموعه.



عـددی انتخاب می‌کنم: لامپ از نوع ۱۲AT۷ است (شیب ۷mA/V) ، H.T. برابر ۳۰۰ ولت است؛ $e=۵۰^{V}$ و $R=۵^{K\Omega}$

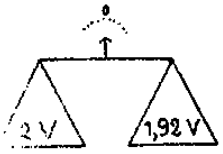
چون S نزدیك بـه ۵۰ ولت است، جریانی‌که از R می‌گذرد در حـدود ۱۰^{mA} است و فشارآندـکاتد لامپ درحدود ۲۵۰ولت است، ازروی دسته‌منحنی‌های مشخصهٔ لامپ (شکل ۴۸) بمن بگوئید اگر بخواهیم لامپ با فشار ۲۵۰ولت روی‌آند تقریباً جریان ۱۰^{mA} را بگذراند، پلاریزاسیون آن‌چقدراست؟

مبتدی‌ـ صبرکنید... پیداکردم: درست ۲ ولت است.

مهندس‌ـ پس فشار S ما خواهدبود $۵۲^{V}=۲+۵۰$ و...

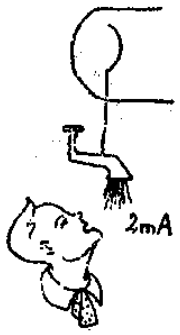
مبتدی‌ـ اما آقای مهندس این درست نیست چون اگرکاتد به۵۲ولت‌وصل باشد، معنی آن اینست‌که ابتدا فشارآندـکاتدلامپ ۲۵۰ ولت نیست بلکه ۲۴۸ ولت است وعلاوهٔ براین جریان‌کـاتدی ۱۰^{mA} نیست، بلکه $۱۰/۴^{mA}=۵۲\div۵$ است!

مهندس‌ـ آقای مبتدی اگر خیلی سخت‌بگیرید حق با شماست. بـا این مقادیر اضافی می‌توانید دوباره بـه شبکهٔ منحنی‌هـا نگاه‌کنید و بـه‌بینید فشار پلاریزاسیونی‌که به جریان آندی نزدیك به $۱۰/۴^{mA}$ امکان عبور می‌دهددرحالی که فشار آندـکاتد ۲۴۸ ولت باشد چیست؛ اما مقداری‌بدست‌خواهید آوردکه به اندازه‌ای به ۲ ولت نزدیك است که دقت دوبارهٔ شما را موجه جلوه نمی‌دهد. اگر بخواهم مقدار درست را بدست بیاورم، در حقیقت‌بجای ۲ ولت، پلاریزاسیون۱/۹۲ ولت را بدست خواهم آورد. گمان نمی‌کنم برای مقداری‌کمتر از یکدهم ولت‌بامن بحث وگفتگوکنید؟



مبتدی ـ اصلا. خوب با این فشار ۵۱/۹۲ ولت (برای خوشامـد شما بگوئیم ۵۲ ولت) خروجی چه خواهیدکرد؟

مهندس ـ درست متوجه حرفهای من باشید. فرض‌کنیدکه‌ازاین منبع‌فشار ۵۲ ولتی، بخواهیم یك جریان ۲^{mA} برای مصرف بگیریم، چه پیش خواهدآمد؟



مبتدی ـ تصور می‌کنم‌که فشار خروجی S پائین خواهد آمد، مثل تمام فشارهای منبعی‌که از آنها جریان مصرفی را می‌گیریم.

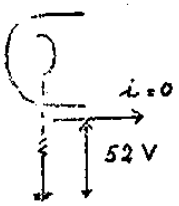
مهندس ـ کاملا درست است. حالا چیزی‌که برای من جالب است اینست که‌این فشار تا چه انـدازه پـائین می‌آید . افت فشار را بـا u نمایش می‌دهم (به عبارت‌دیگرمقدار S، که وقتی جریان مصرفی وجود نداشت، ۵۲ ولت بـود، موقعی‌که ۲^{mA} جریان مصرفی مطابق مدار نقطه چین در شکل ۴۷ وجود داشته باشد مقدارش به S—u می‌رسد). این ۲^{mA} ازکجا می‌آید؟

مبتدی‌ـ البته از لامپ.

مهندس‌ـ بله، قسمت بزرگی از آن از لامپ می‌آید. چون اختلاف سطح کاتد به اندازه u پائین آمده‌است، پلاریزاسیون هم به همان مقدارکاهش‌یافته‌است. یادآوری‌می‌کنم‌که شیب لامپ $۷^{mA/V}$ است. پس افزایش جریان آندی لامپ خواهد بود:

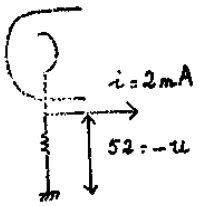
(S شیب لامپ و برابر $۷^{mA/V}$ است) $S\times u$

اما این تنها منبعی نیست که جریان را در مدار نقطه‌چین تأمین می‌کند. در واقع اگرچه جریان آندی لامپ افزایش یافته، اما جریـان در R کاهش پیدا کرده است، زیرا S کم شده است. این جریان دیگر برابر $\frac{۵۲}{R}$ نیست بلکه $\frac{۵۲-u}{R}$ است؛ به عبارت دیگر جریانی که از R می‌گذرد به اندازه $\frac{u}{R}$ کم شده است و ایـن شدت جریان درجریان $i=۲^{mA}$ هم که در طبقه مصرف می‌شود وجوددارد. پس ما داریم:



$$i=S.u+\frac{u}{R}$$

به این ترتیب:



$$۲=۷u+\frac{u}{۵}=۷/۲u \quad \text{یا} \quad ۰/۰۰۲=۰/۰۰۷u+\frac{u}{۵۰۰۰}$$

از آنجا

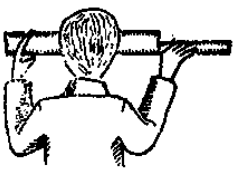
$$u=\frac{۲}{۷/۲}=۰/۲۸^{V}$$

مبتدی- خوب، مقدار زیادی نیست.

مهندس- همینطور است که گفتید، و بهرهٔ مونتاژ در همین است چـون می‌تواند در خروجی جریانی ایجادکند بی‌آنکه فشار آن بطور محسوس پائین بیاید. به عبارت دیگر مقاومت داخلی خروجی آن ضعیف است.

مبتدی- مقدار این مقاومت چه مقدار خواهد بود؟

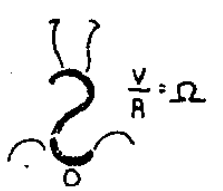
مهندس- حساب کردنش بسیار آسان است. اگر جریان مصرفی شما از یك منبع i و مقاومت داخلی آن r باشد، کاهش فشار در دو سر آن خـواهد بود $u=r.i$، بنابراین $r=\frac{u}{i}$ که در اینجا برابر است با $\frac{۰/۲۸}{۰/۰۰۲}=۱۴۰^{\Omega}$ در حالت عمومی از فرمول $i=S.u+\frac{u}{R}$ محاسبه کنید که اگر دو طرف را بر u تقسیم کنیم خواهد شد:



$$\frac{i}{u}=S+\frac{۱}{R}$$

می‌دانیم که $\frac{i}{u}=\frac{۱}{r}$ و طرف دوم را می‌توان اینطور نوشت:

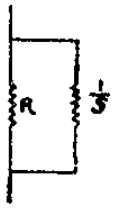
$$\frac{۱}{\frac{۱}{S}+\frac{۱}{R}}$$



بنابراین $\frac{۱}{r}=\frac{۱}{\frac{۱}{S}+\frac{۱}{R}}$

پس می‌بینید که مقاومت داخلی خروجی طبقه‌کاتدین معادل R و $\frac{1}{S}$ بطـور موازی است.

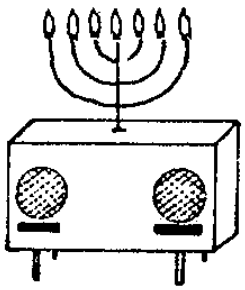
مبتدیـ عجیب است که به $\frac{1}{S}$ به‌چشم مقاومت نگاه کنیم!



مهندسـ نه‌چنـــدان. چون S شیب است، پس برحسب آمپر به‌ولت بیـــان می‌شود (یا بهتر بگوئیم به‌میلی آمپر به‌ولت). بنابراین معکوس آن $\frac{1}{S}$ بـرحسب ولت به‌آمپر بیان‌خواهدشدو با تقسیم‌ولت به‌آمپر چه‌چیز بدست‌خواهد آمد؟ بسیارساده‌است‌چون اهم بدست می‌آید. مثلا درحالتی که‌کمی قبل گفتم، مقدار S برابـر ۷ mA/V بود پس مقـدار $\frac{1}{S}$ برابر $\frac{1}{۰/۰۰۷} = ۱۴۳\Omega$ است. ملاحظه می‌کنید که مقدارمقاومت R که ۵ کیلو اهم است درحالت موازی با مقاومت ۱۴۳ اهمی خیلی زیـاد نیست چون مقدارش ۳۵ برابر آنست.

آقای‌مبتدی می‌بینید که مونتاژ با خروجی‌کاتدی ما مقاومت‌داخلی خروجی ۱۴۰ اهمی دارد درحالی‌که یك طبقه معمولی مثلا بـا $۲۰K\Omega$ بـار مدار آنـدی، مقاومت داخلی خروجی‌اش ۵ تا ۱۰ کیلو اهم است زیرا مقاومت داخلی لامپ را هم باید بحساب‌آورد که وقتی مقاومت خروجی را مشخص می‌کنند این مقاومت را هم‌موازی بامقاومت بارآندی درنظرمی‌گیرند.

سود مقاومت خروجی‌کم



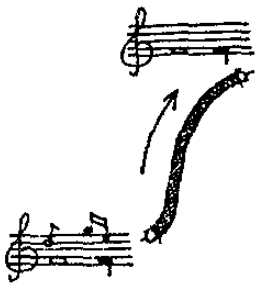
مبتدیـ خوب، استدلال شما را فهمیدم. اما می‌خواهم پرسشی از شما بکنم که بی‌شك بنظرشما احمقانه می‌آید: با کاهش مقاومت خروجی طبقه خـودتان چه چیزی بدست آورده‌اید؟

مهندسـ پرسش شما اصلا احمقانه نیست و من دوباره آنرا برای شمـا دقیقترمی‌گویم. آقای مبتدی بمن بگوئید به‌چه‌منظور از یك تقویت‌کننده‌می‌خواهید که یك فشار خروجی بشما بدهد؟

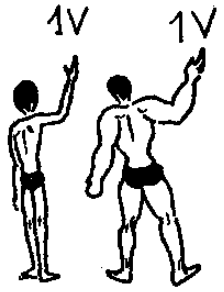
مبتدیـ البته... برای بکاربردن آن!

مهندسـ کاملا درست است. بنابراین «بکاربردن» یـك فشار، به‌این معنی است‌که ازآن جریان بگیریم. اگرمنبعی‌که این فشار را بـرای شما تهیه می‌کند (خروجی تقویت کنندهٔ شما) مقاومت داخلی ضعیفی داشته باشد، می‌توانید جـریان قابل توجهی ازآن بگیرید بی‌آنکه فشار پائین بیاید.

این فشارخروجی.که به وسیله منبعی با مقاومت داخلـی ضعیف تهیه شده است، دربرابراغتشاش‌هائی‌که ممکن‌است‌درنتیجه تغییرجریان درمدار متصل به‌منبع ویا درنتیجهٔ تأثیرعوامل خارجی بوجودآمده باشند، حساسیت کمی دارد. مثلا در دستگاه تقویت‌کننده با وفاداری زیادی (Hi-Fi) که دارم، هفت طبقه با خروجی کاتدی هست. از میان‌آنها یکی هست‌که دست در خروجی‌گیرنده بـا مدولاسیون فرکانس قراردارد؛ فشار B.F. آن(که به‌زحمت به‌یك ولت می‌رسد) به‌وسیلهٔ منبعی

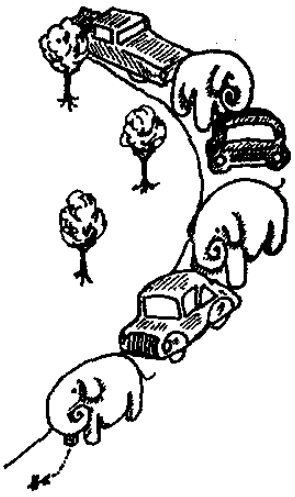


تهیه شده‌که مقاومت داخلی آن فقط ۱۴۰ اهم است(نه $10^{K\Omega}$ کـه اگراین طبقه نبود مقاومت همین مقداربود)، بنابراین، برای من این‌امکان هست‌که علائم .B.F خودم را روی سیم‌های با طول زیاد بگذارم (برای اینکه‌آنرا به‌کلیدی کـه روی صندلی خودم هست ببرم و برگردانم) بی‌آنکه ترسی داشته باشم‌که ازکنار مبدل‌های تغذیه خواهدگذشت چون هیچ خرخر ۵۰ هرتزی به‌وسیله سیمی‌که علائم.B.F درآن جابجا می‌شود جذب نخواهد شد. مثلا اگـرمی‌خواستم این علائم را به‌وسیلهٔ سیم زره‌دار به‌فاصله صدمتری ببرم، به‌علت وجود زره، ظرفیتی نزدیك به۱۰۰۰۰ پیکوفاراد داشت. بنابراین برای بالاترین فرکانس‌هائی‌که باید منتقل شوند(برای اینکه دست بالا را بگیریم بگوئیم 20^{KHz})، خازن ۱۰۰۰۰ پیکوفارادی‌تقریباً ۸۰۰ اهم مقاومت دارد. برای یك علامت کـه به‌وسیلهٔ منبعی با مقاومت داخلـی $10^{K\Omega}$ تهیه شده است، این ۸۰۰ اهم تقریباً مانند یك اتصال کوتاه است، و من هیچیك ازفرکانس‌های بالا را نخواهم داشت وموسیقی‌که می‌شنوم تغییرشکل یافته‌و خفه است. برای طبقهٔ من‌که خروجی کاتدی دارد ومقاومت داخلـی‌آن ۱۴۰ اهم است، این ۸۰۰ اهم به‌حساب نمی‌آید چون یك اختلاف فازکوچك ایجاد می‌کند و تضعیف قابل سنجش بوجود نمی‌آورد.



مبتدیـ بله ولی... این طبقه با ارتباط‌کاتدی شماکه تقویت فشار راانجام نمی‌دهد؟

مهندسـ حق باشماست چون طبقه با ارتباط‌کاتـدی هیچ بهره‌ای در فشار برای من نداشته است. (این ضریب بهره حتی‌کمی از واحدکمتراست)، امابرای من «همتای» فشارورودی را بوجود می‌آوردکه این فشارممکن بود به‌وسیله‌مولدی با مقاومت داخلی بسیار زیاد تهیه شده باشد که درآن‌صورت نمی‌تـواند جریـان زیادی برای مصرف بدهد؛ این طبقه درخـروجی‌آنـرا به‌صورت «عضلانی» دوباره ایجادمی‌کندکه‌برابریا تقریباً برابرفشار ورودی است ولی می‌تواند جریان‌مصرف را دراختیار بگذارد بی‌آنکه زیراثرآن قرار بگیرد. فشار خروجی به صورت.... غیرقابل اغتشاش به‌معنای‌کامل‌کلمه درآمده است.

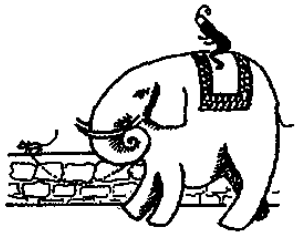


تشبیه حیوانی

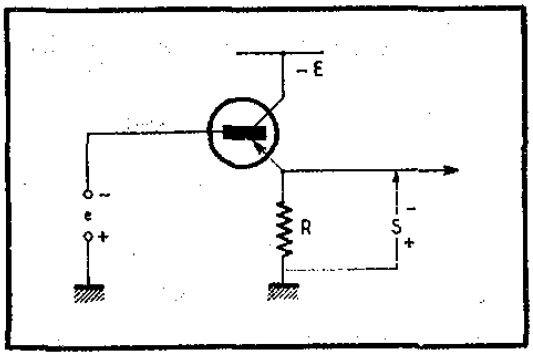
مبتدیـ درست مثل موشی است‌که دهانهٔ‌یك‌فیل را گرفته‌ومی‌کشد!

مهندسـ بله، در واقع این‌کار خیلی متداول است! ساعتی پیش سه‌تـای آنها را درخیابان دیدم!

مبتدیـ اشتباه می‌کنیدکه مرا مسخره می‌کنید. آقای مهندس بگذاریـد حرفم راتمام‌کنم. منظورم یکی از برنامه‌های سیرك است‌که دیده‌ام. موش روی‌لبهٔ دایرهٔ سیرك می‌دوید و درعین حال افساری راکه ازنخ نازکی به‌گردن فیل افتاده بود باخود می‌کشید. فیل وضع نخ را ثابت نگه می‌داشت، وقتی نخ‌آویزان‌می‌شد، آهسته‌ترمی‌رفت و وقتی‌کشیده می‌شد. تندترمی‌رفت. فیل تندتراز موش نمی‌رفت، اماحتی برای‌متوقف‌کردن موش، مانعی هم‌به‌حساب نمی‌آمد. ومردم ازخنده‌روده‌بر شده بودند چون احساس می‌کردندکه موش دارد فیل را می‌کشد.

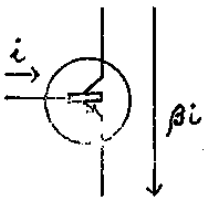


مهندس- کمی شك دارم که این داستان را به‌سبب نیازی که بود ساخته باشید... بهرحال این داستان می‌رساند که طبقه با خروجی کاتدی را به‌لطف «فیل تعقیب کننده» فهمیده‌اید.



شکل ۴۹ــ طبقه با خروجی ارسال کننده (ارسال کننده تعقیب کننده یا جمع کننده مشترك) معادل ترانزیستوری مونتاژ با خروجی کاتدی.

گسترش به ترانزیستور

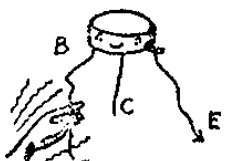


مبتدی- بهرحال این مونتاژی است که با لامپ می‌شود ساخت چون ترانزیستورها کاتد ندارند.

مهندس- نه، اما ارسال کننده‌ای دارند که جای آنرا می‌گیرد، و بیشتر وقت‌ها مونتاژ با جمع کنندهٔ مشترك آنها را درست می‌کنند (شکل ۴۹) که آنرا «ارسال کنندهٔ رام» هم می‌گویند. شکل خلاصهٔ آنرا با یك ترانزیستور p-n-p برای شما کشیده‌ام؛ برای یك ترانزیستور n-p-n باید فشارها را معکوس کرد و چیزی بدست می‌آوریم که باز هم بیشتر به لامپ‌ها شباهت دارد.

مبتدی- پس مونتاژی است که از نظر تکامل به‌دقت شبیه مونتاژ شکل ۴۷ است؟

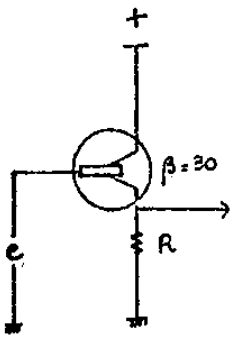
مهندس- نه، فقط ظاهراً شبیه بهم هستند. در مونتاژ شکل ۴۷ معمولا ترتیب کار را طوری می‌دهند که شبکه نسبت به کاتد منفی باشد. بنابراین هیچ جریان شبکه‌ای وجود ندارد و مقاومت داخلی احتمالی منبعی که فشار e ورودی را تولید می‌کند به‌حساب نمی‌آید.



در یك ترانزیستور، جریان پایه‌ای وجود دارد که β برابر کوچکتر از جریان جمع کننده است (با دقت کاملا کافی بگوئیم که همینطور β برابر کوچکتر از جریان ارسال کننده هم هست، چون جریان ارسال کننده خیلی نزدیك به‌جریان جمع کننده است). اگر جریان ارسال کنندهٔ ترانزیستور را تغییر دهم، واضح است که جریان پایه را به‌مقدار β برابر کمتر تغییر می‌دهم. اگر منبعی که e را برای من تهیه می‌کند، یك مقاومت داخلی داشته باشد، این جریان پایه که از آن خواسته می‌شود، می‌تواند e را تغییر بدهد. بنابراین تکامل مونتاژ با ارسال کنندهٔ رام، از نظر مقاومت داخلی خروجی، بستگی به‌مقاومت‌های منبعی دارد که به‌ورودی آن گذاشته شده است.

می‌توان گفت که مقاومت خروجی مونتاژ شکل ۴۹ برابر معکوس شیب

ترانزیستور است (که این‌شیب خارج قسمت ضریب بهرهٔ آن درجریان β به‌مقاومت ورودی آن درحالت ارسال‌کننده مشترك است) که خارج قسمت مقاومت داخلی موتوری که e را ایجاد می‌کند به β، به‌آن اضافه شود.

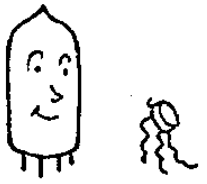


مبتدیـ آه، عجب! چقدر پیچیده است!

مثال برای طبقه با ارسال‌کنندهٔ رام

مهندسـ اینطور نیست، حالا می‌بینید، بخصوص با مثال عددی‌که می‌زنم. فرض‌کنیدکه مقاومت ورودی ترانزیستور در مونتاژ ارسال‌کنندهٔ مشترك $1\,k\Omega$ و ضریب بهرهٔ آن در جریان β برابر ۶۰ باشد. بنابراین شیب آن $\frac{60}{1000}$ است که $60\,mA/V$ می‌شود اگر فشار e که به ورودی آن‌گذاشته می‌شود به وسیله منبعی با مقاومت داخلی ضعیف تهیه شده باشد، چنانچه جریان پایه تغییرکند، تغییری‌در فشار e بوجود نمی‌آید. مقاومت داخلی خروجی مونتاژ، مثل همانکه برای لامپ محاسبه‌کردیم، عبارتست از معکوس شیب‌که ۱۶/۷ اهم می‌شود (مقاومت R راکه باید بطور موازی با مقاومت ۱۶/۷ اهم منظورکرد به حساب نمی‌آورم) اما اگر منبعی‌که فشار e را ایجاد می‌کند مقاومت داخلی $2\,k\Omega$ داشته باشد، هرمیلی‌آمپری که روی ارسال‌کننده مصرف شود، وابسته به $\frac{1}{60}$ میلی‌آمپر مصرف شده روی پایه است،که e را به مقدار

$$2000\times\frac{1}{60000}=\frac{1}{30}\,V$$



پائین می‌آورد.

این‌کاهش روی خروجی منعکس می‌شود (ضریب‌بهره در فشار تقریباً برابر واحد است) و در نتیجه مقاومت داخلی خروجی افزایش می‌یابدکه مقدار آن $\frac{\frac{1}{30}}{0/001}=33\Omega$ است ($\frac{1}{30}$ ولت‌کاهش فشار برای هر میلی آمپر مصرف شده)

بنابراین مقاومت خروجی خواهد بود: $16/7+33=50\,\Omega$

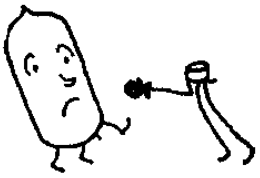
مبتدیـ بنابراین مونتاژبا ارسال‌کنندهٔ رام فشار ورودی را مستقل از فشارخروجی نمی‌کند!

مهندسـ اینکار راکمترازطبقه باکاتد رام‌می‌کند، با اینحال بطور مؤثر انجام می‌دهد.

مبتدیـ دراینجا پائین‌تربودن ترانزیستور نسبت به‌لامپ‌کاملا دیده‌می‌شود.

«مافوق جمع‌کنندهٔ مشترك»

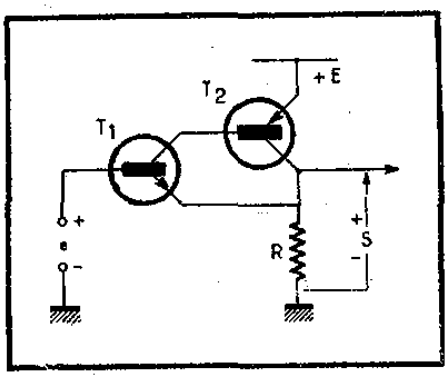
مهندسـ آقای مبتدی!!! اگردیگرازاین حرفها بزنید، ابتدا از پنجره



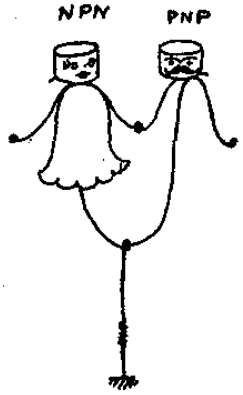
به‌بیرون پرتابتان می‌کنم و بعد مونتاژ «مافوق ارسال‌کنندهٔ رام» ترانزیستوری را که هیچ معادلی در لامپ‌ها ندارد، بشما نشان نخواهم داد.

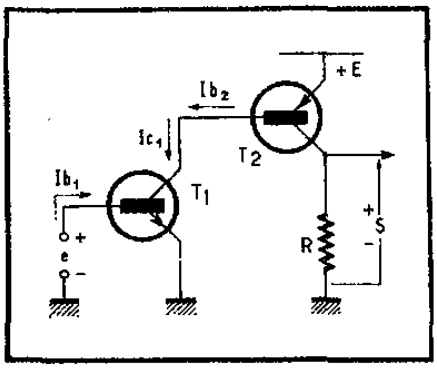
مبتدی‌ـ چطور درست شده است؟

مهندس‌ـ درشکل ۵۰ بطور خلاصه‌آنرا برایتان‌کشیده‌ام و درشکل ۵۱، شکل یك تقویت‌کننده بـا دوطبقه راکشیده‌ام که بررسی‌آن به‌شما کمك می‌کند تا مونتاژشکل ۵۰را بفهمید. می‌بینید که‌درمونتاژشکل ۵۱، جریان پایه T_1(ترانزیستور



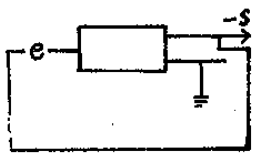
شکل ۵۰ـ شمای دوطبقه‌ای یك‌کاهش‌ـ دهندهٔ‌مقاومت ظاهری که‌بادوترانزیستور مکمل هم درست شده است.





شکل۵۱ـ تقویت‌کننده دو طبقه‌ای با ضریب بهره زیادکه تکمیل آن بـا ضد واکنش مجموع (مجموع فشار خروجی که ازورودی‌کسر می‌شود) مونتاژ شکل ۵۰ را بدست می‌دهد.

(n–p–n) به‌وسیله فشارe ایجاد شده ومقدار آنib_1 است. جریان جمع کنندهT_1 در جهت مشخص شده‌به وسیله سهم‌برقرار می‌شود (البته این جهت قراردادی‌است)، بنابراین می‌تواند مستقیماً ازپایه T_2 بیاید (ترانزیستور P–n–P). جریان‌جمع‌ـ کننده ic_2 است‌که از مقاومت R عبور می‌کند و در آن فشار خروجی S رابوجود می‌آورد.



مبتدی‌ـ اقرار می‌کنم‌که سادگی مونتاژ مجذوبم‌کرده است چون فقط یك مقاومت وجود دارد (وتازه برای دوترانزیستور!)

مهندس‌ـ مونتاژ شکل ۵۱ ضریب بهرهٔ بسیار بـزرگی درفشار دارد. به آسانی می‌توان نشان دادکه این ضریب بهره برابر است با:

$$S_1 \times \beta_2 \times R$$

که در آن S_1 شیب T_1 و β_2 ضریب بهره ترانزیستور T_2 در جریان است.
مثلا اگر $S_1=12^{mA/V}$ و $\beta_2=50$ و $R=500^{\Omega}$ باشد، ضریب بهرهٔ فشاری که بدست می‌آوریم ۳۰۰ است.

می‌توان نشان داد که این مونتاژ ضریب بهره‌ای در فشار دارد که نزدیک به حاصلضرب مؤلفهٔ مستقیم فشار خروجی S_1 در ۳۵ است، در حالی که این مؤلفه برحسب ولت‌تعیین شده باشد. به‌این ترتیب اگر فشار خروجی شامل مؤلفه مستقیمی در حدود ۹ ولت باشد، ضریب بهره نزدیک به ۳۱۵ است. پس می‌بینید که بسود ماست که مؤلفه مستقیم فشار در S افزایش یابد تا ضریب بهره زیاد شود. حتی می‌توان با مقدار ضعیفتر S با اضافه کردن یك جریان ثابت (یا تقریباً ثابت) به جریان پایه T_2 و ارسال مجموع آنها به جمع‌کننده T_1 موفق به اینکار شد. برای رسیدن به این نتیجه کافی است دو دیودسیلیسیومی نامشخص را درجهت عبور جریان بین قطب‌مثبت E+ و ارسال‌کننده T_1 قرار دهیم (که افت فشاری تقریباً ثابت به‌مقدار ۱/۴ ولت بین E+ و این ارسال کننده بوجود می‌آورد) و علاوه بر آن یك مقاومت ۲۰ تا ۵۰ اهمی بین E+ و پایه T_2 (که به‌جمع‌کننده T_1 وصل است) بگذاریم. دراینصورت مقاومت یك جریان تقریباً ثابت i_0 را وارد مدار می‌کند که به جریان i_{b2} افزوده می‌شود و به این‌ترتیب جریان جمع‌کننده I_{c1} دیگر برابر I_{b2} نیست بلکه برابر $I_{b2}+i_0$ میباشد.

اگر از فشار ورودی e مجموع فشار خروجی S را کم کنیم تا بین ارسال کننده و پایه T_1 فقط فشار $e=e-S$ گذاشته شود، تقویت‌کننده‌ای بدست می‌آوریم که درجه ضد واکنش آن (دوباره به آن خواهیم پرداخت) برابر ۳۰۰ است و مطابق شکل ۱۶ سوار شده است.

مقاومت ورودی آن نزدیك به مگاهم است (که در قلمروی نیمه هادی‌های معمولی بسیار زیاد است)؛ مقاومت خروجی آن کمتر از ۱/۵ اهم است و ضریب بهره آن در فشار به ۰/۹۹۷ می‌رسد (در بهترین طبقه‌های باکاتدرام به سختی به ۰/۹۵ می‌رسید).

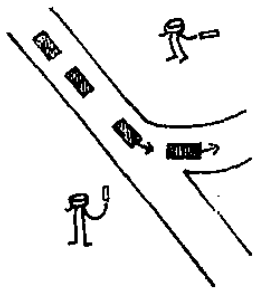
مبتدیـ در واقع برای من بسیار مجذوب‌کننده است، اگر چه این داستان ضد واکنش برایم چندان روشن نیست. چرا از مدتها قبل معادل لامپی آنرا نساخته‌اند؟

مهندس ـ آقای مبتدی، برای من یك لامپ p–n–p پیدا کنید تا این مونتاژ را برایتان سوار کنم اما می‌ترسم مدتها بگردید و پیدا نکنید. فقط ترانزیستورها هستند که دو نوع پلاریزاسیون دارند. حقیقت را بخواهید می‌توان با لامپ‌ها یك مونتاژ پیچیده ساخت که روی همین اصل استوار است که آنهم نتیجه‌های جالبی بدست می‌دهد.

مبتدیـ پس مونتاژ شکل ۵۰ شما «فوق ارسال‌کننده رام» نامیده می‌شود؟

مهندسـ راستش را بخواهید این نام را خودم به آن داده‌ام. وانگهی این مونتاژ کمتر شناخته شده است و وقتی می‌خواهم آنرا مشخص کنم به آن نام گویاتر «قوی‌کنندهٔ عضلانی» را می‌دهم. اگر بجای ترانزیستور n–p–n، T_1،

ترانزیستور با اثر میدان و راه N را قرار دهند، مقاومت ورودی تقریباً به بینهایت می‌رسد و مونتاژ بهتر می‌شود. ضریب بهره بی‌نهایت نزدیک به‌واحد باقی می‌ماند، اما جریان مصرف شده در ورودی آنقدر ضعیف است که تقریباً در تمام حالت‌ها، می‌توان آن را صفر فرض کرد.

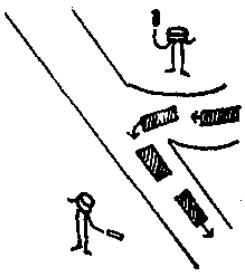


اگر بجای T_1، یك M.O.S. از نوع مختلط (سرشار - بی‌میل) بگذاریم در اینصورت به یك «مافوق‌قوی‌کننده عضلانی» می‌رسیم که همه صفت‌های یك‌سنجش الکتریکی را دارد. یك «مافوق قوی‌کننده عضلانی»... از آن خوشتان می‌آید؟

اگر بخواهند پلاریزاسیون خروجی را معکوس کنند

مبتدی‌ـ در واقع بسیار چشمگیر است. اما این «قوی کننده‌های عضلانی» گوناگون به نظر من یك نقص مشترك دارند و آن اینست که فشار خروجی آنها برقرار نمی‌شود مگر در یك جهت؛ مثلا نمی‌شود آنرا مثبت یا منفی کرد، همانطور که جهت جریان را که می‌تواند این‌فشار را ایجادکند، نمی‌شود عوض کرد(نمی‌توان جهت جریان را در یك لامپ یا یك ترانزیستور معکوس کرد).

مهندس‌ـ آقای مبتدی‌کاملا درست است. باید گفت که در حالت‌های بسیار زیادی، فشاری که همیشه در یك جهت برقرار می‌شود، کفایت می‌کند. اگر بهتر از این بخواهید، می‌توان سیستم «پوش ـ پول پیاپی» را بکار برد. تمام جزئیات این سیستم را برایتان نخواهم‌گفت اما اصول آن به این ترتیب است:

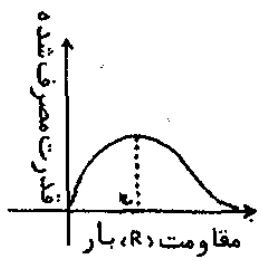


دو ترانزیستور را بطور پیاپی سوار می‌کنند (شکل ۵۲)، T_1 به وسیلهٔ فشار E— که نسبت به بدنه منفی است روی جمع کننده‌اش تغذیه می‌شود و T_2 به وسیله فشار E+ که نسبت به بدنه مثبت است روی ارسال‌کننده‌اش تغذیه می‌گردد.

یك ایجادکنندهٔ «اختلاف فاز» مناسب، جریان‌های خاصی به پایه‌های دو ترانزیستور می‌دهد بطوری‌که مثلا مجموع‌جریان‌های جمع‌کننده‌های ترانزیستورها ثابت باقی بماند. اختلاف این دو جریان یعنی $i_2 - i_1$ است‌که از ارتباط خروجی می‌گذرد و دستگاه تغذیه شده به وسیلهٔ فشار خروجی S را طی می‌کند. پس این اختلاف می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

مبتدی‌ـ این روش بسیار زیرکانه است. با لامپ نمی‌شود اینکار را کرد؟

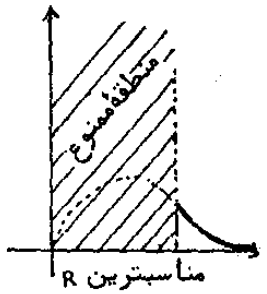
ترانزیستور = پنتود (بدون ارتباط شبکه پرده)



مهندس‌ـ چرا، اما نه چندان آسان. برای اینکه بتوان لامپ‌ها را با بازده خوب بکار برد، توصیه شده است که از لامپ‌های پنتود استفاده شود؛ و تغذیهٔ شبکه‌پرده دشواری‌هائی به‌وجود می‌آورد. علاوه‌براین، با ترانزیستور به‌مقاومت‌های ظاهری خروجی بسیار کمتری می‌رسیم به این ترتیب که اگر بخواهیم می‌توانیم جریان چندین آمپری با فشارهای‌کم داشته باشیم. من این مونتاژ را برای فرمان گردش یك موتورکوچك در دو جهت، که درکشتی نمونه‌کوچکی با فرمان از راه دور نصب شده بود، بکاربرده‌ام. همینطورآنرا برای دستگاههای صوتی با وفاداری زیاد (Hi—Fi) بکار برده‌ام و به این ترتیب توان خواسته شده را بطور مستقیم

دربلندگوی ۱۵ اهمی خودم بدون مبدل بدست‌آورده‌ام. اگر بدانید وقتی می‌توانم از دستگاههائی که می‌سازم، این مبدل‌ها را حذف کنم چقدر خشنود می‌شوم، چون این پاره‌آهن‌ها خیلی گرانند، وزنشان زیاد است و جایگیری اسفناکی دارند، تازه درباره اعوجاج و اختلاف فازی‌که وارد علائم می‌کنند صحبت نمی‌کنم.

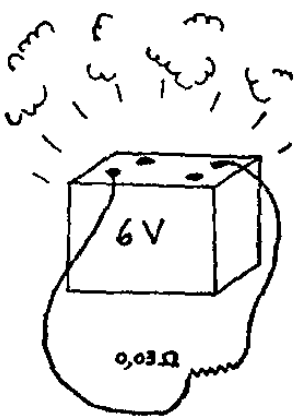
مقاومت ظاهری خروجی و مناسب‌ترین بار



مبتدیـ حالا که به پایان نام بردن از سیستم‌های پائین آورنده مقاومت خروجی رسیده‌ایم، می‌خواستم پرسشی از شما بکنم. وقتی مقاومت خروجی یك‌طبقه را کاهش دادیم و مثلا به یك اهم رساندیم، باید بار آنرا یك اهم کرد، یعنی قدرت آنرا روی باری مصرف کردکه مقاومتش یك اهم است. انجام این‌کار یعنی ساختن بارهائی به‌این‌کمی حتماً دشوار است، نه؟

مهندسـ آقای مبتدی مرا خوشحال می‌کنید. الان باعبارت بسیار روشن تصور نادرستی راکه بسیاری از تکنیسین‌ها دارند، شرح دادید.

گفته شما از اینجاست که اگر یك نیروزا دارای مقاومت داخلی r باشد، وقتی می‌شود حداکثر توان را از آن گرفت که بار خارجی آن هم برابر مقاومت داخلی‌اش باشد. اما بسیار اتفاق می‌افتد کـه نمی‌توان بـار نیروزا را برابر r گرفت چون نیروزا آنرا تحمل نمی‌کند. مثلا قوه‌ای‌که نیروی محرکه آن ۴^{V} و مقاومت داخلی آن ۱۰^{Ω} است، بیشترین توان خارجی را وقتی بدست می‌دهد که بار آن را لامپی انتخاب‌کنیم‌که مقاومتش درحالت‌گرم ۱۰^{Ω} باشد. فشار دوسر آن به نصف‌کاهش می‌یابد و به ۲^{V} می‌رسد و جریان مصرفی $۰/۲^{A}$ خواهـد بـود و توان مصرف شده در لامپ $۰/۴^{W}$ است. برای لامپ دیگری‌که مقاومتش‌کمتر یا بیشتر از ۱۰^{Ω} باشد، توان خارجی مصرف شده قوه‌کمتر از $۰/۴^{W}$ است.

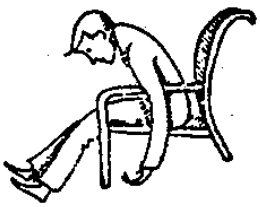


اما این کار را با قوهٔ دیگری آغاز کنید که نیروی محرکه‌اش ۶ولت و مقاومت داخلی آن ۰/۰۳ اهم است (که معمولا همین مقدار است) نباید بارآنرا مقاومت۰/۰۳ اهمی بگیرید چون دراینحال‌باید جریان ۱۰۰^{A} ایجاد کند (فشار در دوسر آن ۳ ولت خواهد بود) و قوه این را تحمل نخواهدکرد.

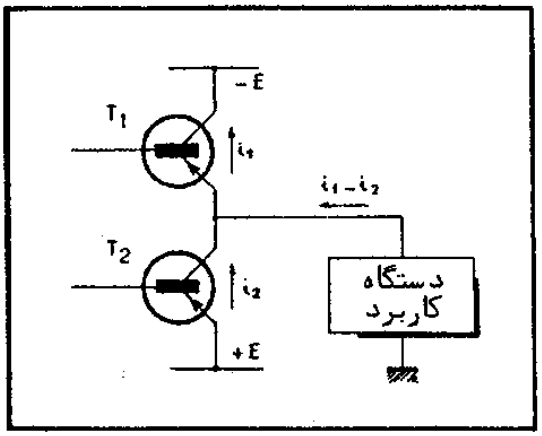
حالا بار آنرا مثلا ۱^{Ω} میگیریدکه ازآن جریانی گرفته می‌شودکه ۶^{A} است و شدت جریانی است‌که برای آن بسیار عادی است.

مبتدیـ به عبارت دیگر در این حالت، مناسب‌ترین مقاومت بـار برابر با مقاومت داخلی نیست چون این مقاومت به وسیلهٔ فشار قوه و بالاترین جریانی که می‌تواند بدهد مشخص می‌شود.

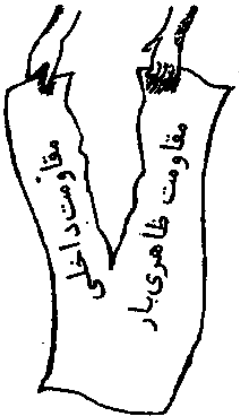
مهندسـ کاملا درست است. حالاکه فهمیده‌اید، خاطرنشان می‌کنم‌که مثلا وقتی یك تقویت‌کننده‌که یك طبقه‌کاهندهٔ مقاومت خروجی دارد، مقاومت داخلی‌اش ۱^{Ω} (یاکمتر) باشد، معنی‌اش اینست‌که برای هر آمپرکه درخروجی‌مصرف می‌شود، فشار خروجی به اندازهٔ یك ولت (یا کمتر) کاهش پیدا می‌کند. امـا ممکن است



طوری ساخته شده باشدکه بتواند توان خود را روی مقاومت بزرگتری بدهد. مثلا اگر فشار خروجی آن ۱۵ ولت باشد و نتواند بیشتر از ۲A بدهد، چنانچه بخواهند بالاترین توان را از آن بگیرند، باید مقاومت را طوری انتخاب کنند که بتواند ۲ آمپر را با فشار ۱۵ ولت مصرف کند، یعنی ۷/۵ اهم باشد.



شکل ۵۲ــ پوش-پول پیاپی: دراینجا از مقاومت بار اختلاف جریان بین‌دو ترانزیستور عبور می‌کند.



بمحض آنکه ضد واکنش وارد کار می‌شود (بخصوص طبقه‌های باکاتدرام یا ارسال‌کنندهٔ رام) باید دو چیزراکاملا از هم‌جداکرد،

ــ مقاومت داخلی خروجی، که خارج قسمت تغییر جریان مصرفی در خروجی و تغییر فشاری است‌که در نتیجهٔ این مصرف بوجود می‌آید.

ــ مناسب‌ترین مقاومت بار، که معمولا خیلی بزرگتر از قبلی است و خارج‌قسمت فشارخروجی و بالاترین مقدار جریانی‌است‌که می‌تواند درخروجی بدهد.

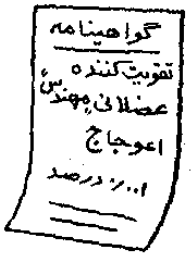
مبتدی‌ــ فهمیدم، اما باید بگویم‌که‌ازچند دقیقه پیش مقاومت داخلی شخص من آشکارا رو به افزایش است و گمان می‌کنم باید دفعهٔ دیگر دنباله گفتگو را بگیریم.

مبحث هفتم

اکنون مبتـدی پریشان است چون اوکـه به فن .B.F عادت دارد و درآن لازم است شکل علامت‌ها حفظ شود، ازتغییرشکل‌های مشخصی‌که مهندس به‌این علامت‌ها می‌دهد، دارد دیوانه می‌شود. درواقع او با آموختن اینکه چگونه سرقسمت بالائی یك علامت را می‌برند کار را آغـاز می‌کند و سپس می‌بیندکه چگونه تغییرات آهستهٔ فشار را به دگرگونی ناگهانی تبدیل می‌کنند (قپـان اشمیت Schmitt) وبعدازآن آگاهی‌هائی درباره مدارهای مشتق وانتگرال بدست می‌آورد. کارشومی است چون با وجود وحشت وی از ریاضیات که ضرب‌المثل است، خـواهی نخواهی باید یك تعریف (ساده شده!) ازمشتق‌ها وانتگرال‌ها را ببلعد... اما می‌فهمد که این مطلب‌ها ساده‌تر ازآنندکه معمولافکرش را می‌کنند.

علامت‌های مستطیلی

برش سر، مشتق، انتگرال



مبتدی ـ به‌بینیدآقای مهندس، پرسشی هست‌که دفعه قبل یادم‌رفت ازشما بپرسم: وفاداری تقویت‌کننده‌های عضلانی گوناگونی که‌برایم‌شرح دادیدچقدراست؟

مهندسـ درهرحال برای دستگاه‌های ازنوع‌کاتد رام یا ارسال‌کنندهٔرام عالی است وبخصوص برای «تقویت‌کننده عضلانی» با دوترانزیستورمکمل بسیار عالی است چون مونتاژی است که درجهٔ ضد واکنش آن بالاست. البته از این وفاداری وقتی می‌توانید استفاده کنیدکه مونتاژرا باگرفتن جریان یافشار زیاد درخروجی دچار اضافه‌بار نکنید.

اما بیادداشته باشیدکه در الکترونیك، بسیاری ازحالت‌ها وجوددارندکه درآنها خطی بودن (یا درجه‌های‌کم اعوجاج) تنها وضع مطلوبی نیست که ازیك تقویت‌کننده انتظاردارند. حتی‌گاهی اوقات برعکس‌آن مورد نیازاست.

تغییرشکل‌های مطلوب

مبتدی ـ که اینطور! پس همینطوری علائم را بطور اتفاقی تغییر شکل می‌دهند؟

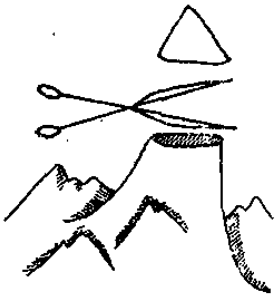
مهندسـ آنرا تغییرشکل می‌دهند، اما نه‌اتفاقی.

مبتدیـ خوب‌چگونه می‌خواهید علامت‌های تغییرشکل یافته‌صدای‌درستی ایجادکنند؟

مهندس ـ یکبار برای همیشه فکرصدا، موسیقی و چیزهای دیگررا از مغزتان بیرون کنید پخش صوت یکی از موارد کاربرد الکترونیك است، اما بهیچوجه تمام الکترونیك را تشکیل نمی‌دهد، همانطورکه رادیاتور برقی تمام دانش الکتریسیته نیست. فشاری‌که ازتقویت‌کنندهٔ شما خارج می‌شود، می‌تواند وارد چیز دیگری غیراز بلندگو شود. مثلا اگربخواهید باآن یك دله را بکار بیندازید چرا می‌خواهیدکه سینوسی‌شکل باشد؟

مبتدیـ قبول‌کردم. چه‌نوع تغییرشکلی به‌علائم می‌دهید؟

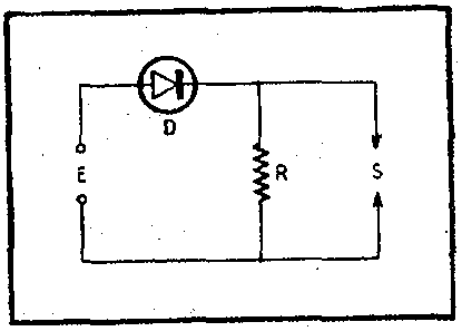
مهندسـ با برش‌سر که‌روش عملی برای یکسان‌کردن علائم بادامنه‌های



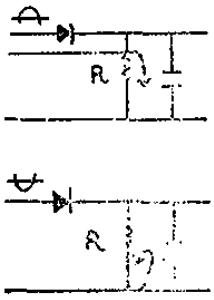
مختلف است کار را آغاز می‌کنیم ؛ یك راه‌حل خوب، بکار بردن دیودساده است چون همانطورکه می‌دانید ، مونتاژشکل ۵۳ غیرازبخش مثبت علائم ورودی E چیزی‌را به‌خروجی (درنقطه S) نخواهد فرستاد.

مبتدی‌ـ فهمیدنش آسان است. اما مقاومت R به‌چه درد می‌خورد؟

مهندس‌ـ نقش‌آن قطعی نیست. فرض‌کنیدکه در S «چیزی» را وصل‌کنند

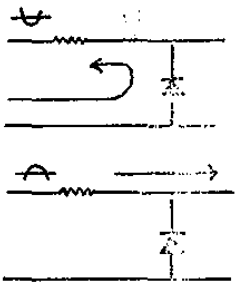


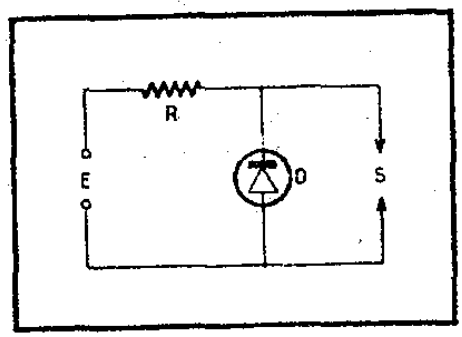
شکل ۵۳ـ دستگاه برش‌سر: فقط‌بخش مثبت فشار E در S راه پیدامی‌کند.



که فشار S را مورد استفاده قراردهد و دارای مقاومت زیادی در جریان مستقیم باشد و ظرفیت‌آن قابل چشم‌پوشی نباشد. وقتی E زیاد می‌شود، فشار S می‌تواند ازآن پیروی‌کند، ظرفیت مزاحم ازراه D پرمی‌شود، اما وقتی E به‌سرعت‌پائین می‌آید (حتی اگرمثبت‌هم باشد) دیگرازآن پیروی نمی‌کند چون ظرفیت مزاحم خالی می‌شود. با قراردادن R بطورموازی باآن. این ناراحتی راحذف می‌کنم.

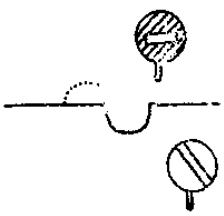
مبتدی‌ـ پس برای اینکه ظرفیت‌های مزاحم بخوبی خالی شوند، به سود شماست‌که این مقاومت راکم بگیرید؟





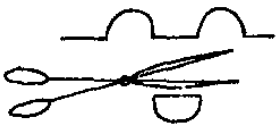
شکل ۵۴ـ دستگاه برش‌سر با دیودی که موازی نصب‌شده وبخش منفی‌فشار ورودی را اتصال‌کوتاه می‌کند.

مهندس‌ـازیك‌نظر بله. امانباید فراموش‌کردکه فشارورودی E، درمدت نیم‌پریودهای مثبت، بایدبتواند جریان‌را از Rکه‌موازی با خروجی S قرارگرفته است، بگذراند. بنابراین نباید مصرف جریان بـه‌وسیله R، منبع E را زیـاد منقوش کند.



مبتدی‌ـ و اگرشما دیود D را برمی‌گرداندید چه پیش می‌آمد؟

مهندس‌ـ بخش‌های مثبت علائم دچار بـرش‌سر می‌شدند وفقط بخش‌های منفی علائم ورودی E را به S منتقل می‌کردم. حالا مونتاژدیگری برای برش‌سر



به شما نشان می‌دهم که پائین‌تر ازمونتاژ قبلی است، اما گاهی ناچار از بکاربردن آن هستیم و آن مونتاژ شکل۵۴است. به‌آسانی خواهید فهمید که چگونه‌کارمی‌کند درمدت نیم پریودهای مثبت‌فشار E، دیود مسدود است و فشار E به S راه پیدا می‌کند (از راه مقاومت R) برعکس درمدت نیم پریودهای منفی،دیود ازوضع مسدود بودن خارج می‌شود و نقش یك اتصال‌کوتاه را بازی می‌کند و در نتیجه در S فشاری وجود ندارد. در واقع R و D نقش یك تقسیم‌کنندهٔ فشار رابازی می‌کنندکه یکی از عنصرهای‌آن (D) می‌تواند مقاومت صفر یا بی‌نهایت داشته باشد.

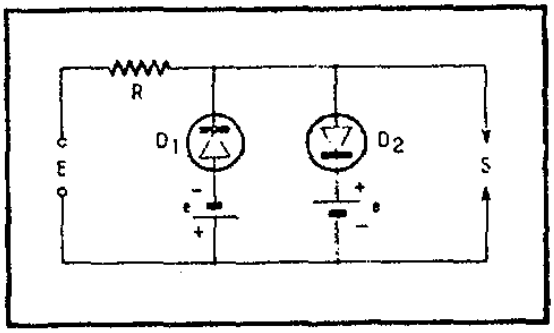
مبتدی- این استدلال برای مونتاژ قبلی هم درست است. به‌غیر از عوض شدن جای دیود ومقاومت هردوهمانند هستند و نمی‌دانم چرا مونتاژ دوم بنظرشما پائین‌تراز مونتاژ اول است.

مهندس- الان خواهید دید. در مونتاژ شکل ۵۳، درمدت نیم پریودهای مثبت E (این نیم پریودها مورد توجه من هستند چون نیم پریودهای منفی را قطع‌کرده‌ام)، منبع از راه دیود D که مقاومت ضعیفی از خود نشان می‌دهد، مستقیماً روی‌خروجی S وصل است. برعکس در مونتاژ شکل ۵۴، درمدت نیم پریودهای مثبت E، مقاومت R بین E و S وجود دارد. درست مثل اینست‌که مقاومت داخلی منبع E افزایش یافته است، و قبلا برایتان گفته‌ام که افزایش مقاومت داخلی یك منبع‌که ایجادکنندهٔ تغییرات احتمالی در علائم‌است، تا چه اندازه زیانبخش است.

یك تغییرشکل پایدار

مبتدی- دراینجا بازمتوجه‌صحبت‌شما نمی‌شوم!شما که باقطع‌کردن نیم‌پریودهای منفی علائم، آنرا بطور وحشتناکی تغییرشکل داده‌اید، چطور از یك تغییرشکل دیگر اینطور می‌ترسید؟

مهندس- اگر به عقیدهٔ شما آنرا بطور «وحشتناك» تغییر داده‌ام، برای اینست‌که همان را می‌خواستم، مثلا میل داشتم نیم‌پریودهای منفی حذف شوند. اما اجباری ندارم‌که نیم‌پریودهای مثبت راهم تغییرشکل بدهم چون ممکن است



شکل ۵۵- برش سر بادوحد؛ فشار خروجی‌برابرفشارورودی است به‌شرطی که فشار ورودی بین e+وe- قرار گرفته باشد.

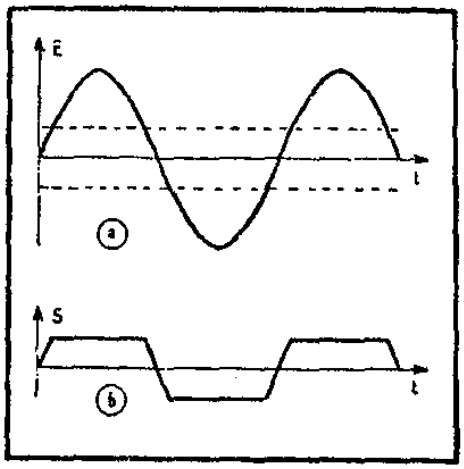
دارای قله‌های مثبتی باشندکه اصولا به‌گذراندن آنها علاقه دارم. بهمین جهت است‌که ازبودن مقاومت R بطورپیاپی درشکل ۵۴ تأسف می‌خورم. نمی‌توانم

را زیادکنم زیرا باید مقدار R نسبت به مقاومت دینامیک دیود ، وقتیکه هادی است زیاد باشدتـا نیم پریودهای منفی را بخوبی قطع کند.

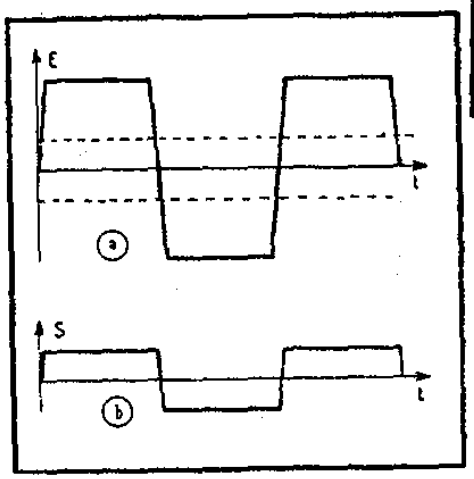
مبتدیـ این وضع چندان به درد نمی‌خورد، چون دیودی کـه هادی باشد مثل اتصال کوتاه است.

مهندسـ اگر اینطور بود خوب بودا دیود هرچند هم‌که خـوب باشد، بزحمت می‌توانید در یك دیود کریستالی مقاومت دینامیک کمتر از ۵۰ یا ۱۰۰ اهم بدست بیاورید؛ برای یك دیود خلاء پیدا کردن مقاومت کمتر از ۳۰۰ اهم بسیارکمیاب است. اگر این مونتاژ را بشما نشان دادم برای آن بودکه به‌ماامکان می‌دهد برش سررا بطور دوتائی اجرا کنیم. شکل ۵۵ را نگاه کنید. می‌بینیدکه فشارE، چنانچه بیشتر از e— وکمتر از e+ بـاشد به S راه پیدا مـی‌کند. فشارهای e که پلاریزاسیون دیودها را تأمین‌می‌کنند، مثلا به وسیلهٔ دوقوه کوچك تهیه شده‌اند. اگر فشار ورودی E بیشتر از e+ بشود، دیود D_2 هادی می‌شود و S برابر با e+ باقی می‌ماند. اگرE کمتر از e— شود، D_1 هادی می‌شود، و S برابر e— باقی می‌ماند.

مبتدیـ اگر در اینحال در مونتاژ شما در E، فشار سینوسی شکل وارد کنم، از مونتاژ چیز شگفت‌آوری همانند آنکه شکل ۵۶b نشان می‌دهد خارج می‌شود؟

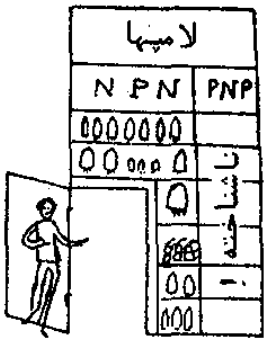


شکل۵۶ـ با واردکردن یك فشار سینوسی‌شکل در ورودی E شکل۵۵، در خروجی یك‌سینوسی شکل با سرهای بریده بدست می‌آید.



شکل ۵۷ـ سینوسی شکل سربریده شکل ۵۶b، پس از تقویت و برش دوبـاره‌سر، یـك نوع موج بدست مـی‌دهدکه بیشترنـزدیك بـه علائم مستطیل شکل است (جبههٔ تندتری دارد)

ساختن علائم مستطیلی



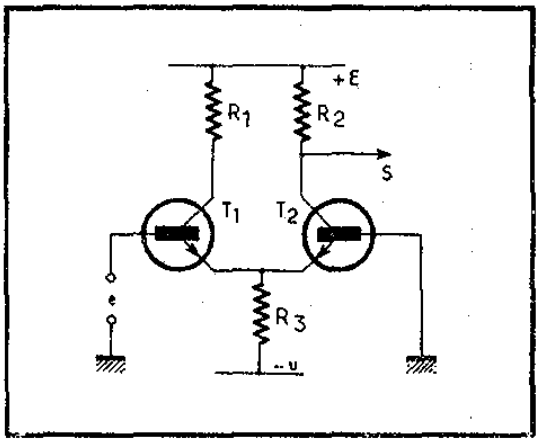
مهندس- درست همینطوراست. وآنگهی علائم خروجی‌را بسیارخوب‌رسم کرده‌اید چون جبهه‌های آن‌کاملا عمودی نیستند (مگر آنکه‌دامنهٔ E نسبت به‌e خیلی زیاد باشد) همچنین اگر بخواهند به این علائم شکل مستطیلی آشکارتری بدهند همانطورکه درشکل ۵۷b نشان داده شده، غالباً لازم است‌که آنها را تقویت‌کرده و دوباره سرآنها را برید.

مبتدی- فکر نبوغ‌آمیزی به مغزم رسید! اگر نیاز به برش سر و تقویت علائم داشته باشیم، نمی‌شود هردو را یکباره انجام داد؟ یادم می‌آیدکه وقتی فشار ورودی یك تقویت‌کننده خیلی قوی بود، تقویت کننده میل داشت سرآن را ببرد.

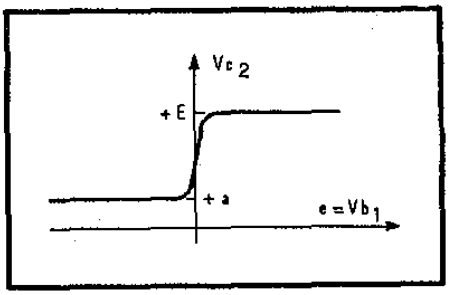
مهندس- کاملا درست است، غالباً برای برش سرعلائم بهمین نحو عمل می‌کنند، یك نوع تقویت‌کنندهٔ بسیارخوب برای این برش سرهمانست‌که شکل آنرا برایتان می‌کشم (شکل ۵۸)

مبتدی- چرا ترانزیستورهای n—p—n گذاشتید؟

مهندس- برای اینکه استدلال کردن برای فشارهای مثبت آسان‌تراست وانگهی این شکل بدون تغییر برای لامپها بکار می‌رود (غیر از تغییرمقدار مقاومت‌ها). بالاخره برای اینکه ۸۰ درصد ترانزیستورهای سیلیسیومی، که بیش از پیش گسترش پیدا می‌کنند، ازنوع n—p—n هستند.حالاخوب به‌استدلال توجه‌کنید. اگر e آشکارا مثبت شود، T_1 هادی می‌شود، اختلاف سطح ارسال کننده‌هازیاد می‌گردد و T_2 مسدود می‌شود. اگر e منفی شود، T_2 هادی می‌شود اختلاف سطح ارسال‌کننده‌ها نزدیك به صفر باقی می‌ماند و T_1 مسدود می‌شود. مقاومت مشترك R_3 ارسال‌کننده‌ها را به یك اختلاف سطح منفی وصل کرده‌ایم برای اینکه حتی وقتی اختلاف سطح ارسال‌کننده‌ها نزدیك به‌اختلاف سطح‌بدنه است، یك جریان مشخص در R_3 بوجود آید. در شکل ۵۹ منحنی اختلاف‌سطح جمع‌کننده T_2 را برحسب اختلاف سطح پایه T_1 کشیده‌ام.



شکل۵۸- مونتاژبرای برش‌سرکه تقویت‌کننده دوترانزیستوری را که بوسیلهٔ ارسال کننده تزویج شده‌اند، بکارمی‌برد. اگرe مثبت باشد، T_1 مسدود می‌شود، اگر e منفی باشد، T_2 مسدودخواهد ماند.



شکل ۵۹ ــ منحنی نمایش اختلاف سطح جمع‌کننده T_2 برحسب e در شکل ۵۸ ، مؤثـر بودن برش‌سر را نشان می‌دهد.

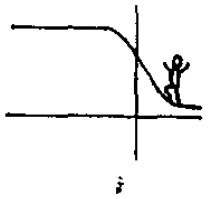
مبتدی‌ــ بله، فهمیدم: اگر e مثبت باشد، T_1 مسدود است و جمع‌کنندهٔ آن به E+ متصل است. اما وقتی e منفی است و یا به‌عبارت دیگر T_1 مسدود است چگونه باید مقدار a+ اختلاف سطح آنرا بدست‌آورد؟

مهندس‌ــ این ابتدائی است، واتسون عزیز... آه... مبتدی عزیزا چون T_2 جریان می‌دهد، می‌شود اختـلاف سطـح پایه و ارسال‌کنندهٔ آنرا باهم یکسان گرفت ، بنابراین درنظرمی‌گیریم که اختلاف سطح ارسال کننده T_2 صفر است (اختلاف سطح بدنه) پس جریان در مقاومت R_3 خواهد بود $\frac{u}{R_3}$ و بنابراین جمع کننده‌هم همین جـریان را دارد (دریك ترانزیستورکـه بطور عادی‌کـار می‌کند باید جـریان جمع کننده و ارسال‌کننده را همیشه برابرگرفت) پس افت فشار در R_2 خواهد بود:

$$R_2 = \frac{u}{R_3}$$

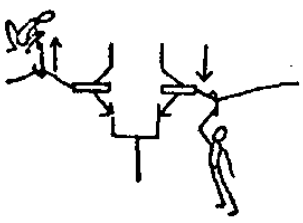
واختلاف سطح جمع‌کننده T_2 برابر است با :

$$a = E - \frac{R_2}{R_3} u$$



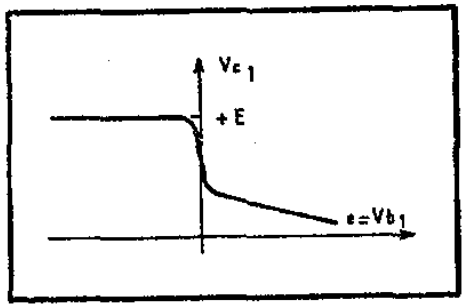
مبتدی‌ــ مقاومت R_1 به‌چه درد می‌خورد؟

مهندس‌ــ R_1 برای اینست‌که مونتاژرا بیشترقرینه‌کند، معمولاآنرابرابر R_2 می‌گیرند. همینطورمی‌توانستیم فشارجمع‌کننده T_1 را به‌عنوان فشارخروجی بکاربریم ، اماکارچنـدان درخشانی نیست زیرا دوبخش منحنی نمایش اختلاف سطح جمـع‌کننده T_1 برحسب اختـلاف سطح پایه T_1 (شکل ۶۰) افقی نیستند. درواقع وقتی e مثبت است، جریان ترانزیستور T_1 با e تغییرمی‌کند.

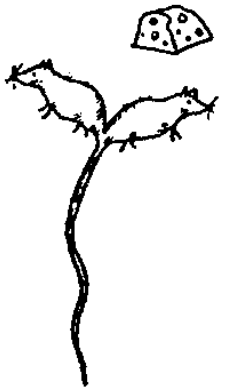


می‌بینیدکه دراین مونتاژ وقتی e منفی و درهمان‌حال T_1 مسدود باشد، e بهیچوجه روی مونتاژاثری نـدارد، همینطـورروی T_1 و T_2 هم بی‌اثر است. وقتی e مثبت است مقدار e روی T_1 اثر می‌کند اما روی T_2 اثری ندارد زیرا T_2 مسدوداست.

مبتدی‌ــ درباطن این مونتاژچندان قرینه‌هم نیست؛ ازاین‌گذشته بنظرمن یك عیب‌هم دارد چون عبورفشارخروجی از a+ به E+ سریع است اما نه‌زیاد بخصوص اگرفشار ورودی یك مقـدار منطقی داشته باشد (که با بودن این فشار روی پایهٔ ترانزیستورباید بااحتیاط همراه باشد). خوب، نام مونتاژشما چیست؟



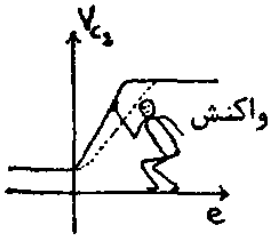
شکل ۵۹ــ اگر فشار جمع‌کنندهٔ T_1 را به‌عنوان فشار خروجی بکاربریم، برش‌سرکمترخوبست، چون این ترانزیستور برای e مثبت، مسدود نیست.



مهندســ نام عجیبی‌داردکه .L.T.P است وخلاصه شدهٔ کلمه‌های انگلیسی آن به‌معنای «زوج دم دراز» است وبدون شك اشاره به‌زوج ترانزیستوری است که دم‌دراز دارند (مقاومت بزرگ R_3). اما درمورد ایرادی‌که به‌سرعت عبور از a+ به E+ گرفتید؛ حق باشماست چون این موضوع‌گاهی باعث زحمت می‌شود وبزودی می‌بینیم‌که چطورمی‌شودکارها را روبراه‌کرد.

کاربرد پایهٔ دوم

مبتدیــ درمونتاژشما چیزی هست‌که ناراحتم می‌کند وآن اینست‌که‌پایهٔ ترانزیستور T_2، احمقانه به‌بدنه وصل مانده است، درحالی‌که اگراین پایه‌می‌دید که اختلاف سطحش درجهت معکوس اختلاف سطح ارسال کننده‌ها تغییرمی‌کند، خیلی هوشیارانه‌تر عمل می‌کرد.



مهندســ این‌گفتهٔ‌شما رهبریم می‌کندکه الان توضیحاتی را دراختیارتان بگذارم‌که فکرمی‌کردم بعداً بشما بدهم. دراین مونتاژ دقیقاً الکترودی وجود داردکه اختلاف سطحش درجهت عکس اختلاف سطح ارسال‌کننده‌ها تغییرمی‌کند؛ به‌شکل ۶۰ نگاه‌کنید.

مبتدیــ خدای دیود! فکرش را نکرده بودم. خوب، پس درست شدچون کافی است جمع‌کننده T_1 را به‌پایه T_2 وصل‌کنیم واینکار انجام‌می‌شود!

مهندســ آرامتر! فکر شما خوبست، اما نمی‌توانید اینکار را مستقیماً انجام دهید چون اختلاف سطح جمع‌کننده T_1 نسبت به‌ارسال‌کننده‌ها باید مثبت باقی بماند ونسبت به‌پایه‌ها هم بایدکمی مثبت‌تر ازآن باشد. اما می‌توانید اینکار را به‌ترتیبی‌که برای تزویج مستقیم انجام شده است، بکنیدکه‌کمی قبل‌درباره‌اش صحبت کردیم یعنی به وسیله یك تقسیم‌کننده فشارکه به یك فشار منفی هم وصل می‌شود و به این ترتیب به مونتاژ شکل ۶۱ می‌رسید؛ وقتی مونتاژ شکل۵۸ با عبورجریان در دو ترانزیستورکار می‌کند، یعنی با e که خیلی نزدیك به‌صفراست کارمی‌کند، کارآن مثل‌تقویت‌کننده است. با افزایش تزویج جمع‌کننده T_1 به‌پایهٔ

T_2 به وسیله R_5—R_4 ، واکنش مثبتی به آن گذارده‌ایم . اگر این واکنش محدود باشد، نتیجه‌اش بالا رفتن ضریب بهره است و به‌این‌ترتیب بخش صعودی در منحنی‌شکل ۵۹ به خط عمود نزدیکتر می‌شود. اگر این واکنش مثبت خیلی زیاد شود...

مبتدیـ می‌دانم چون مونتاژشروع به‌نوسان می‌کند.

مهندسـ در حالتی‌که آشکارساز واکنشی داشته باشیم، بله. اما در اینجا نه مدار نوسانی داریم ونه‌تزویج متناوب به‌وسیلهٔ خازن. نوسان بوجود نمی‌آید بلکه توازن ایجادمی‌شود.مونتاژ نمی‌تواند دروضعی‌باقی بماندکه‌هردوترانزیستور جریان بدهند زیرا یکی ازآنها باید دروضعیت مسدود باقی بماند.

مبتدیـ کدامیك از دوترانزیستورقربانی می‌شود؟

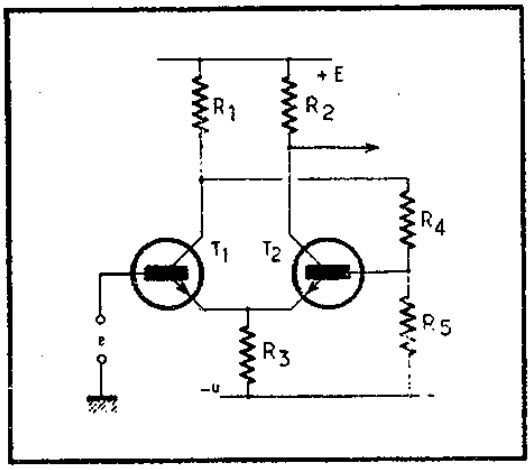
مهندسـ این موضوع بستگی به مقدار e دارد. ابتدا فرض کنیم که e منفی باشد. البته T_1 مسدود است و T_2 نیست. e را زیاد کنیم؛ برای مقدار e مساوی با A ، T_1 از مسدود بودن خارج می‌شود و T_2 مسدود می‌گردد.چیزی که این بار بسیار جالب است اینست که مسدود شدن T_2 بسیار سریع است و بهیچوجه زیراثرسرعتی‌که e از مقدار A (آنرا آستانه می‌گویند) گذشته است، نیست.

آستانهٔبالارفتن

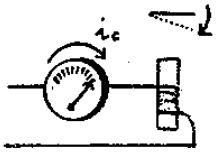
آستانهٔپائین‌آمدن

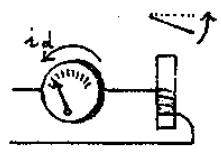
مبتدیـ عالی است؛ دراینحال می‌توانم e را در روزیك ولت زیادکنم و در اینصورت وقتی e ازمقدار A گذشت، یك توازن ناگهانی خواهیم داشت؟

مهندسـ بله، بله، ازاین‌گذشته دراینجا چیزی شبیه به یك رله خواهید داشت به‌این‌ترتیب‌که دررله جریان رادرسیم‌پیچی آهسته زیادکنید، وقتی‌جریان



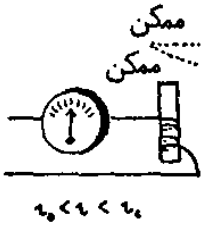
شکل۶۱ـ باتزویج جمع‌کننده T_1 باپایهٔ T_2 به‌وسیلهٔتقسیم کننده فشار R_5—R_4 (در مونتاژ شکل ۵۸) قپان‌اشمیت بدست می‌آید.





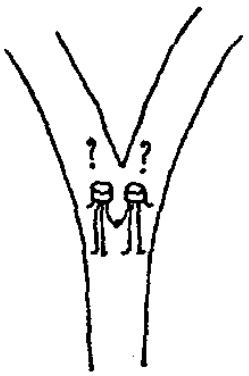
دسیم‌پیچی به‌مقدار موردنظررسید، رله ناگهان جذب می‌کند. درآنجا هم‌واکنش مثبت وجود دارد چون بمحض آنکه رله شروع به حرکت‌کند، فاصله بین آهن (که مغناطیس می‌شود) وتیغهٔ آهنی کاهش پیدا می‌کند و این‌کارباعث قویتر شدن جذب مغناطیسی می‌شود.

مبتدیـ و اگر دوباره مقدار e را بهمان آهستگی‌کم کنم وقتی از A می‌گذرد بازهم مونتاژ ناگهان به‌حال توازن درمی‌آید؟



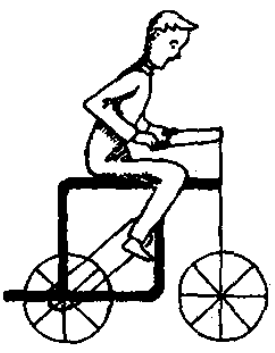
آستانهٔ دوم

مهندس- مونتاژ به‌شدت به توازن درمی‌آید، با وجود این درمقدار A نخواهد بود بلکه برای مقدار ضعیفتر B است. در واقع، ضمن نخستین توازن، اختلاف سطح جمع‌کننده T_1 زیاد بود، پس اختلاف سطح پایه T_2 هم (نسبتاً) همینطور بود وبنابراین اختلاف سطح ارسال‌کننده‌ها هم زیاد بود. پس لازم بود e خیلی زیاد شود تا بتواند T_1 را از مسدود بودن خارج کند. بر عکس ضمن توازن دوم، که وابسته به کاهش اختلاف سطح پایه T_1 است ، ترانزیستور T_1 جریان خواهد داد. اختلاف سطح جمع‌کننده آن پائین است، اختلاف سطح پایه T_2 هم همینطور واختلاف سطح ارسال‌کننده‌ها هم پائین است. دراین شرایط T_1 با مقدار کمتر eکه B است دوباره مسدود می‌شود. این درست همانند رله است چون وقتی رله جذب‌کرد، می‌توانید دوباره جریان را درسیم‌پیچی کم‌کنیدبطوری که خیلی‌کمتر ازمقداری باشدکه جذب‌کردن رله را بوجود آورده است. جریان قطعی وجود داردکه خیلی‌کمتر ازجریان جذب است.



مبتدی- اما درمونتاژ عجیب شما، اگر e بدسلیقه باشد وبخواهد بین A و B باقی بماند چه پیش خواهد آمد؟

مهندس- مونتاژعجیب من «قپان اشمیت» (Schmitt) نام دارد. واگر e را بین A و B نگه دارید، نمی‌توانم بشما بگویم‌که قپان درچه وضعی خواهد بود. می‌شود هم T_1 را درحالت مسدود داشت واین درصورتی است‌که eضمن‌زیاد شدن به‌مقدارهائی رسیده باشدکه‌کمتر ازB هستند وهمT_1 ازمسدود بودن‌خارج شود واین درصورتی است‌که e ضمن زیاد شدن به مقدارهائی رسیده باشدکه از A بیشتر هستند واین درست همانند رله است چون اگرجریان درسیم‌پیچی بین جریان‌جذب I_c وجریان قطع I_d قرارداشته باشد، نمی‌توانم بشما بگویم‌که رله‌در حال جذب است یا نه. وانگهی اگرقطع شده باشد شما فقط بایدکمی روی تیغهٔ آن فشار بیاوریدآنوقت رله جذب می‌کند ودرحال جذب باقی می‌ماند. تیغه را عقب بکشید رله قطع می‌کند وبحال قطع باقی می‌ماند.



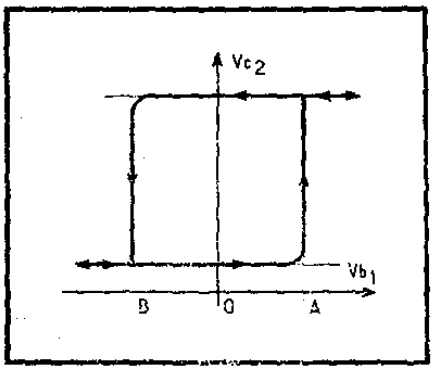
مبتدی- دراینحالت مونتاژ شما نمی‌داند چه می‌خواهد...

مهندس- چرا خوب هم‌می‌داند چون نمی‌خواهد درحال وسط قرارگیرد. برای مونتاژ دوحالت ثابت امکان دارد، وآنگهی بهمین جهت است‌که آنرا «دو ثابتی» می‌نامند.

مبتدی- پس بایدکشیدن منحنی شکل ۵۹ غیرممکن باشد.

منحنی‌های بسته

مهندس- نه، فقط‌کمی پیچیده است. آنرا در شکل ۶۲ برایتان‌کشیده‌ام. دیگر منحنی عادی دربین نیست بلکه یك «منحنی بسته» است. اگر e کمتر از B باشد، دشواری وجود ندارد چون فشار خروجی برابر a است. e را زیاد کنیم (علامت سهم‌ها را دنبال‌کنید)؛ ضمن عبور ازمقدارA، مونتاژ به‌توازن در



شکل ۶۲ــ منحنی نمایش فشار جمع‌کننده T_2 قپان اشمیت برحسب e نشان دهنـده وجـود پدیده‌ای شبیه به‌هیسترزیس است؛ دیگرمنحنی دربین نیست بلکه‌یك« منحنی بسته» است.

می‌آید وفشارخروجی جهش پیدا می‌کند وبه مقدار E+ می‌رسد. (و در اینجا بخش صعودی‌کاملا عمودی است). اگر e بازهم زیادترشود، دشواری وجود ندارد، فشار خروجی همان E+ باقی می‌ماند. e را کم‌کنیم؛ وقتی به مقدار A می‌رسد چیزی پیش نمی‌آید، به پائین‌آوردن e ادامه خواهیم داد (باز هم علامت سهم‌ها را دنبال‌کنید). وقتی e به‌مقدار B می‌رسد، مونتاژ دوباره به‌توازن درمی‌آید.

مبتدی‌ــ منحنی شما چیزی را بیادم می‌آورد... بله همانست. این‌منحنی شبیه به دوره هیسترزیس فریت‌هاست‌که آنرا برای حافظه درماشین‌حساب‌ها بکار می‌برند.

!!!

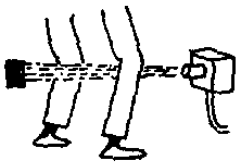
مهندس‌ــ عجب، عجب، عجب!!!

مبتدی‌ــ ازتعجب غش نکنید. بی‌پرده بگویم‌که کوشش‌کردم در این باره کتاب ساده شده‌ای بخوانم وفقط تصورمبهمی ازآن دارم.

مهندس‌ــ حالم‌کمی بهترشد. بعداً این مطلب را بـرایتان شرح می‌دهم، اما‌گفته شما به‌اندازه‌ای درست بود که نفسم قطع شد.

مبتدی‌ــ حالا دلم می‌خواهد قبل ازآنکه ازموضوع دور شویم، برایم شرح بدهید که قپان اشمیت شما به چه درد می‌خورد و در چـه موقعیتی از آن استفاده می‌کنند.

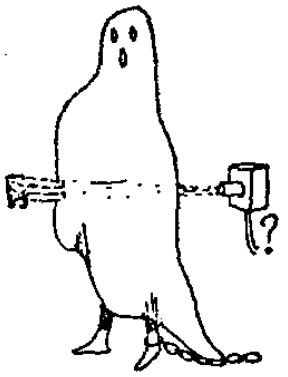
کاربرد قپان اشمیت



مهندس‌ــ الان نمونه‌ای از آنرا برایتان مـی‌گویـم. مسلماً تـابحال در نمایشگاهها دستگاهی با سلول فتوالکتریك دیده‌اید که تعداد بازدیدکنندگان را می‌شمارد؟

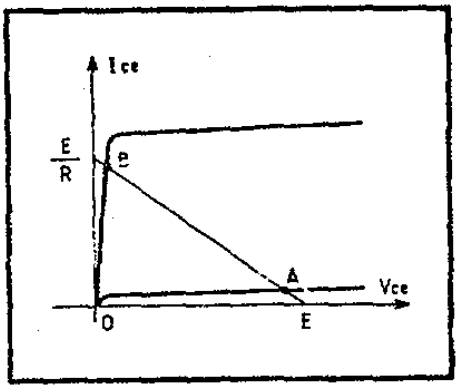
مبتدی‌ــ بله، نورافکنی هست‌که اشعهٔ نورانـی را روی یك جعبهٔ کوچك می‌اندازدکه باید درآن سلول جای‌داشته باشد. وقتی یك بازدیدکننده واردمی‌شود، اشعه قطع می‌گردد.

مهندس‌ــ همینطور است. درچنین دستگاهی، وقتی هیچکس عبورنمی‌کند، نوری‌که سلول دریافت می‌کند مشخص نیست چون شدت روشنائی لامپ ممکن‌است



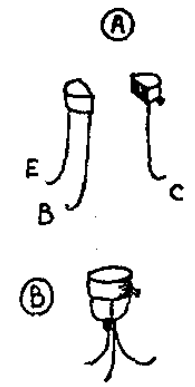
تغییر کند (اندکی براثر گذشت زمان، و بسیارزیاد برحسب فشار شبکهٔ برق)، وقتی اشعه به‌وسیلهٔ یك بازدیدکننده سد شده است، نور باقیمانده‌ای هم‌که سلول دریافت می‌کند معلوم نیست (همیشه کمی نور در محوطه هست کـه از کنار وارد سلول می‌شود)...

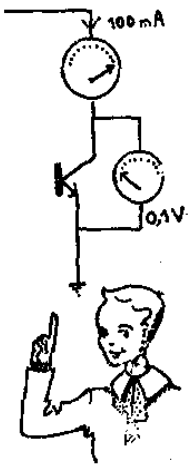
مبتدیـ بخصوص اگر بازدیدکننده کمی شفاف باشد!



شکل ۶۳ـ به‌یك ترانزیستور که ازراه‌مقاومت R به‌وسیله فشار E تغذیه شده باشد، «دروضع اشباع» می‌گویند به شرطی‌که جریان پایهٔ کافی به‌آن بدهند (نقطهB). می‌توان آنراهم مسدود ویا تقریباً مسدودکرد (نقطه A)

مهندسـ دستگاه برای‌شمارش نیمه‌اشباح‌ساخته‌نشده است. بهرحال‌می‌بینید که‌علائم سلول بدمشخص‌شده‌اند. پس‌کاملا به‌سود ماست‌که درخروجی آنرا به‌یك‌قپان اشمیت بدهیم. به‌این‌ترتیب یك علامت خروجی دراختیارما قرارخواهدگـرفت‌که «همه یا هیچ» و کاملا معین است. علاوه بـراین، علامت‌کناره‌های عمودی خـواهد داشت واین چیزی است‌که اگر بخواهیم، همانطورکه ساعتی قبل بشما نشان دادم، ازآن ضربه‌هائی بسازیم، بسیار سودمند است. اگرفقط می‌خواستیم سرآنرا ببریم، می‌توانستیم به L. T. P. شکل ۵۸ اکتفا کنیم و یـا اینکه با یك تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری که تحریك آن بسیار زیـاد است بسازیم. همانطورکه در شکل ۶۳ می‌بینید، خط راست باردرنقطهٔ A به‌منحنی مشخصه وابسته به $I_{be}=0$ بـرخورد می‌کند وبا منحنی وابسته به $I_{be}=100\mu A$ (بطورمثال) درنقطه B برخورددارد. درA ترانزیستور تقریباً مسدود است (با جریان تلف برابر) ودرB وضعیتی دارد که آنرا «اشباع» می‌نامند. ترانزیستور می‌تواند جریان جمع‌کنندهٔ زیادی رازیر اختلاف سطح جمع‌کننده ـ ارسال‌کننده ۰/۱ ولت و حتی‌کمتر از خود بگذراند. اگرترتیب کاررا طوری بدهیم‌که آخرین ترانزیستور تقویت‌کننده به‌وسیله جریان پایه‌ای‌که به صفر مـی‌رسد (وحتی احتمالا درجهت عکس هم می‌رود) وخیلـی از $100\mu A$ (صد میکروآمپر) بیشتراست، تحریك شود، فشارخروجی کاملاسربریده خواهد بود وفشاربین یك قله تا قلهٔ دیگرآن عملا برابرفشارe تغذیهٔ طبقه آخر خواهد بود.



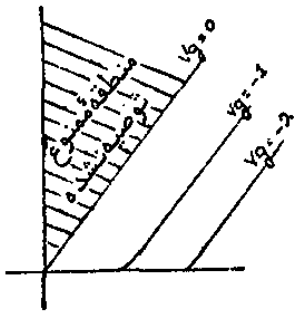


مبتدیـ این دیگربسیارعالی است، منظورم‌گذراندن جریان زیاد با فشار ۰/۱ ولت است! اصلا نمی‌توان اینکاررا با لامپ‌ها کرد!

پنتود در برابر ترانزیستور؟

مهندسـ با یك لامپ پنتود می‌توانید نزدیك به این مونتاژرا بسازید و

به‌این‌ترتیب لامپ جریان زیادی را ازخود می‌گذراند حتی اگراختلاف سطح آند پائین بیاید وخیلی هم‌کمتر ازاختلاف سطح شبکه پرده شود. این اختلاف سطح‌به ۰/۱ ولت نخواهد رسید اما نباید فراموش‌کردکه همه چیزنسبی است وپنتود زیر فشار الکتریکی زیادتری‌کارمی‌کند.اگربا ۳۰۰ ولت تغذیه، بتوانید فشارآندی را تا ۵ ولت برسانید، بهمان نسبت فشار ۰/۱ ولت بـرای ترانزیستور با تغذیهٔ ۶ ولت پائین آمده است. البته با لامپ‌های تریود چنین برش سری نمی‌توان انجام داد.



مبتدیـ با وجود این روی دسته منحنی‌های تریودهـا، منحنی مشخصه‌ای وجود داردکه برای اختلاف سطح صفرکشیده شده است‌که وابسته به‌حداکثر ممکن جریان‌آندی است. مسلماً این منحنی فشارآندی بشما نمی‌دهدکه صفر بـاشد، اما برش سروجود خواهد داشت.

مهندسـ نه‌آقای مبتدی. جریانی که وابسته به پلاریزاسیون صفر است، بهیچوجه حداکثرنیست. می‌توان‌شبکه را مثبت‌کرد وجریان بازهم افزایش‌می‌یابد. البته اینکارچندان توصیه نشده است، اما اینکاررا می‌کنند (بخصوص درتقویت‌پوش پول‌کلاس AB۲). بعضی‌ها در بارهٔ برش سرفشارشبکه صحبت‌کرده‌اندکه در نتیجهٔ دخالت جریان شبکه بدست می‌آیدکه همین جریان ازمثبت شدن شبکه جلوگیری می‌کند به‌شرط آنکه درشبکه مقاومتی بطورپیاپی‌گذاشته شود، مثل‌مونتاژبرش سر شکل ۵۴که درآن دیود را گردانده باشند. اما این راه خوب نیست.

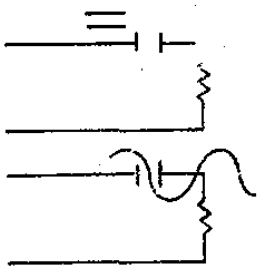
البته، تمام این مونتاژهای برش سر،کناره‌های کاملا عمودی راکه با یك قهان اشمیت بدست می‌آورید، بشما نخواهند داد.

کاربرد کناره‌های تند

مبتدیـ چرا اینقدر به‌کناره‌های تند اهمیت می‌دهید. آیا از نظر زیبائی است؟

مهندسـ بهیچوجه. اگربخواهیم بـا تغییر شکل دوبساده علائم مستطیل شکل‌خودمان که‌این باربه‌وسیلهٔ‌دیفرانسیل‌است، ضربه‌هائی تهیه‌کنیم، داشتن کناره‌های تند ضروری است.

مبتدیـ اوه عجب!اینکار با «دیفرانسیل» انجام می‌شود ودارد حواس مرا پرت می‌کند.



مهندسـ چیزمهمی نیست. با صافی شکل ۶۴ آشنا هستید؟

مبتدیـ نه،... آه، بله! همانست‌که بین‌آند یك لامپ وشبکـهٔ لامپ بعد قرار می‌دهند تا جلوی عبور مؤلفهٔ مستقیم را بگیرد و مؤلفهٔ متناوب را از خود بگذراند.

مهندسـ درست است. اگر فشار متغیری شبیه آنچه در شکل ۶۵ نشان داده شده، که‌مدت زیادی ثابت (وصفر) است، سپس ناگهان به‌مقدار A می‌رسد وتا بینهایت درآن می‌ماند، به‌این صافی بگذارم چه پیش می‌آید؟

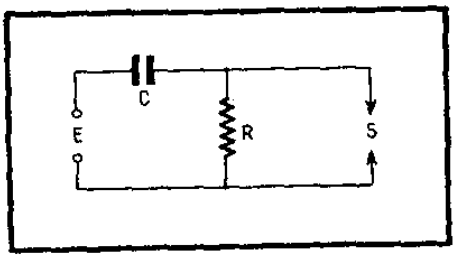
مبتدیـ بسیار پیچیده است. فقط مـی‌توانم بشما بگویم کـه تا قبل از

لحظه‌ای که E تغییر کند، S باید صفر باشد، زیرا E ثابت است. اما بعد از آن، آنوقت...

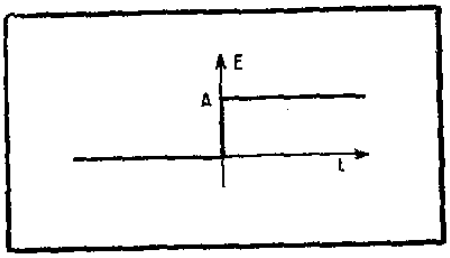
ساعت	S
10 h 59	0,00
11 00	0,00
11 01	~~0,00~~ نه!
11 02	~~0,00~~ نه!
	0,00

مهندسـ می‌توانید چیز دیگری را بمن بگوئید وآن اینست‌که S مدت زیادی پس از دگرگونی E چه خواهد شد (لحظه‌ای که E ناگهان تغییر کرده است).

مبتدیـ اگرمدت زیادی صبرکنیم، فشار خروجی باید صفرشود زیرافشار ورودی دوباره ثابت شده است. اما پس ازآن... S همیشه صفر است!!!



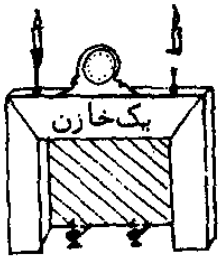
شکل۶۴ـ این‌صافی بالاگذر«مدارمشتق گیرنده» نام دارد، این صافی کناره‌های عمودی فشارE را بطورکامل‌منتقل می‌کند اما سیرهای این فشار راتغییر می‌دهد.



شکل۶۵ـ تغییرات ناگهانی فشار گذاشته شده به‌مدار شکل ۶۴

مهندسـ آرامترا تا موقع دگرگونی، S صفر باقی می‌ماند، مدت زیادی پس ازدگرگونی، دوباره صفر می‌شود؛ اما در لحظهٔ دگرگونی کاملا فرق می‌کند. فرض می‌کنیم‌که دگرگونی دریك زمان صفرانجام می‌شود. یك خازن درمدت زمان صفرچقدرمی‌تواند پرشود؟

مبتدیـ صبرکنید، یك خازن برای پرشدن باید مقداری الکتریسیته بگیرد، اگرآنرا درزمان صفر دریافت‌کند، نشان‌دهنده جریان بی‌نهایت است. پس دراینصورت اصلا نمی‌تواند پرشود؟



مهندسـ بگوئید «بهیچوجه نمی‌تواند پرشود» آنوقت حقیقت راگفته‌اید. آقای مبتدی هیچوقت اینرا فراموش نکنیدکه: «فشار دوسرِیك خازن درزمان‌صفر نمی‌تواند ازیك مقدارمعین تغییرکند»

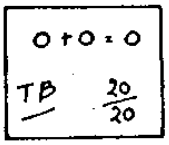
مبتدیـ خوب اصل شما را قاب می‌کنم ودراطاقم می‌زنم. اما این‌موضوع چه ربطی به‌مسئلهٔ شما دارد؟

مهندسـ این موضوع حل آنرا بطورساده دراختیارتان می‌گذارد. خازن C، قبل ازدگرگونی، با چه فشاری پرشده بود؟

مبتدیـ آه... بله... صفر، چون E صفربود و S هم همینطور.

مهندسـ کاملا درست است. درست قبل ازدگرگونی خازن با فشارصفر پر

شده بود. درست پس ازدگرگونی با چه فشاری پرشده بود؟

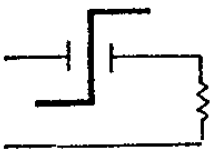


مبتدیـ شما آنقدر روی «درست قبل» و «درست بعد» اصرار کردیدکه فکرمی‌کنم باید درنظرگرفت‌که بین این دو، زمانی برابر صفرگذشته است. اگر من اصل مشهور شما را بکار ببرم، از آن نتیجه می‌گیریم‌که خازن با همان مقداریعنی صفرپرشده است.

مهندسـ درست است، صد درصد درست است. درحالی‌که بلافاصله پس از دگرگونی، جوشن چپ خازن C اختلاف‌سطحش به‌مقدار A رسیده است. بنابراین، ازاین لحظه ببعد جوشن راست چه اختلاف سطحی پیداکرده است؟

مبتدیـ قطعاً به مقدار Aرسیده است زیرا C همانطورخالی مانده‌است. اما دراینصورت... جریانی وجود داردکه از R خواهدگذشت واین غیرممکن است چون یك خازن نمی‌تواند جریان را ازخود بگذراند!

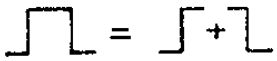
مهندسـ دوربرندارید. بله، درست بعد ازدگرگونی، جریانی درR وجود خواهد داشت. ومقدارآن درابتدا خواهد بود $\frac{A}{R}$. اما خازن‌کاملا حق داردجریانی ازخود بگذراند به‌شرط‌آنکه جریان‌آنرا پرکند؛ این درست همان چیزی است‌که انجام می‌شود چون جریان در R خازن C راپرخواهدکرد، وبتدریج‌که Cپرشود، شدت جریان‌کاهش خواهد یافت.



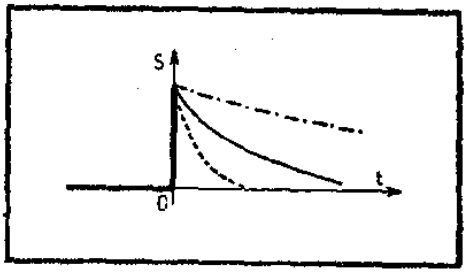
مبتدیـ و البته اگر خیلی صبرکنیم C با فشار A پرخواهد شد برای اینکه، مدت زیادی بعد، دیگر جریانی در R وجود نخواهد داشت، چون فشار S صفرشده است.

ثابت زمانی

مهندسـ اوه، آقای مبتدی‌امروزخیلی خوب پیش می‌روید! پس‌می‌فهمید که فشارخروجی S به‌همان‌ترتیبی است‌که درشکل۶۶ بشمانشان خواهم داد.چیزی که سرعت نزول دوباره را مشخص می‌کند، حاصلضرب RC است‌که آنرا «ثابت زمانی» می‌نامند وآنرا برحسب ثانیه‌بیان می‌کنند (C برحسب فاراد وR برحسب اهم). درواقع هرچه C بزرگترباشد،پرشدن خازن آهسته‌تر است وهرچهRبزرگتر باشد بازهم پرشدن آهسته‌تر است. به‌آسانی می‌شود نشان دادکه پس از یك زمان برابربا ثابت زمانی RC، فشارخروجی تقریباً به ۳۷ درصد A کاهش یافته است. پس اززمانی‌که دوبرابرثابت زمانی است، درS بیشتر از ۱۳/۵ درصد A وجود ندارد؛ وپس‌از مدت زمانی‌که سه برابرRC است، می‌توان‌گفت‌که‌کارتمام است،چون فقط ۵ درصد ازA باقی مانده است. اگر RCکوچك باشد، فشار خروجی به‌همان ترتیب‌که شکل ۶۶ با منحنی نقطه‌چین نشان می‌دهد، تغییرمی‌کند؛ اگربزرك‌باشد منحنی خط نقطه‌نشان‌دهنده آنست. با RC بسیارکوچك، فشارخروجی به‌شکل یك «جهش» نمایان می‌شود (شکل ۶۷).

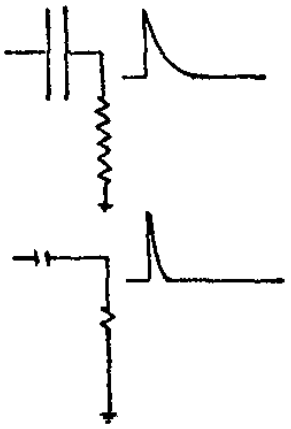


مبتدیـ خوب، فهمیدم. اما ببینم، فشاری‌که درخروجی یك قپان اشمیت ویا مونتازبرش سربدست می‌آورید منظره‌ای شبیه به‌شکل ۶۵ ندارد؛ این منحنی بطورمتناوب جبهه‌های صعودی ونزولی دارد. اگرآنرا به مدارشکل ۶۴ بگذاریم



شکل ۶۶ــ منظرهٔ فشار خروجی یك‌مدارمشتق گیرنده‌که به‌ورودی آن فشاربا تغییرناگهانی شکل ۶۵گذاشته شده باشد: وقتی RC کوچك است منحنی نقطه‌چین، خط‌پربرای‌RC متوسط وخط نقطه برای RC بزرگ.

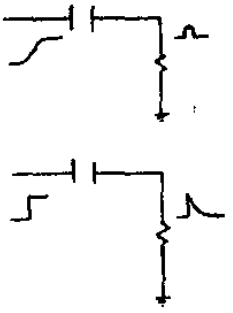
شکل ۶۷ــ علامت «جهش» که درنتیجهٔ‌گذاشتن یك‌فشاربا تغییرناگهانی به‌مدارمشتق‌گیرنده‌ای که RC آن کوچك است، بدست‌آمده است.



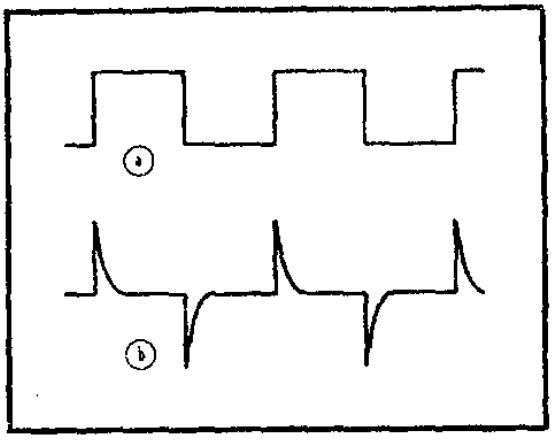
چه بدست خواهد آمد؟

مهندســ یك جبههٔ نزولی درجهت تغییرخودش تقریباً همان جبههٔ‌صعودی است بنابراین درخروجی تغییرهای ناگهانی منفی بما خواهد داد (شکل ۶۸b).

مبتدیــ درواقع بسیارساده است. حالا می‌فهمم‌که چرا آنقدر به جبهه‌های عمودی اهمیت می‌دادید چون درمدت دگرگونی آهسته، خازنC وقت پرشدن‌خواهد داشت، ودیگر تغییرات فشار خروجی را منتقل نمی‌کند. اوه! با اینحال می‌توان نتیجه خوبی‌هم بدست‌آورد چون‌کافی است R یا C (یا هردو) را زیادکنیم تاخالی شدن C درزمان دگرگونی ضعیف باشد.



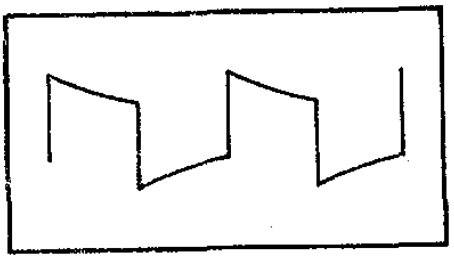
مهندســ آقای مبتدی، امروزبخصوص سرحال هستید. اما دقت‌کنیدچون اگر حاصلضرب RC را زیادکنید ممکن است‌که C بین دو دگرگونی زمان لازم برای پرشدن‌کامل را نداشته‌باشد؛ دراینصورت فشارخروجی همانست‌که درشکل ۶۹



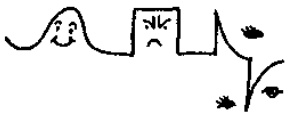
شکل ۶۸ ــ یك علامت مستطیلی (a) تعدادی تغییرات ناگهانی صعودی و نزولی بدنبال هم است. وقتی‌آنرا به یك‌مدارمشتق‌گیرنده‌که ثابت زمانی‌آن (RC) کوچك‌است بگذارند ضربه‌هائی بدست‌خواهد دادکه بطورمتناوب مثبت ومنفی هستند.

برای شما می‌کشم. بنابراین باید حاصلضرب RC را نسبت به‌مدت دگرگونی‌بزرك

و نسبت به پریود علائم کوچك انتخاب کرد. هرچه نسبت مدت دگرگونی به‌پریود علائم‌بیشتر باشد این انتخاب آسانتر است.



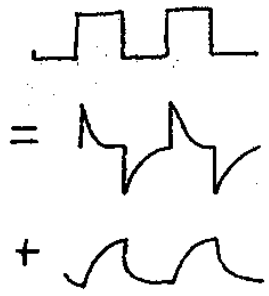
شکل۶۹ــ اگرثابت زمانیRC مـدار نسبت به پریود علائم قابل چشم‌پوشی نباشد،فشارخروجی تغییرشکل می‌دهد، چون C بین دودگرگونی زمـان‌کافی برای تخلیه نخواهد داشت.



مبتدیــ قطعاً علائم بیچاره دیگرصورت انسانی ندارند! قسمتی ازمنحنی سینوسی‌شکل را (می‌توان اینطورفرض‌کرد) درقپان اشمیت به‌علائم مستطیلی‌تبدیل کرده‌اند، بعد به‌وسیلهٔ مدارشکل ۶۴شما، بصورت جهش درآورده‌اند... که‌واقعاًاسم این مدارچیست؟

مدار انتگرال‌گیرنده

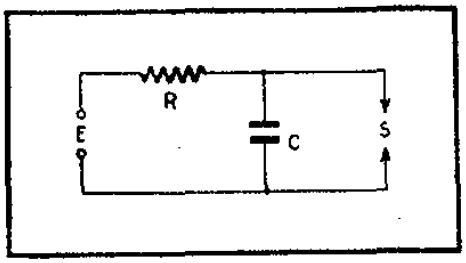
مهندســ آنرا «مدارکاهنده» یا «مدار مشتق‌گیرنده» می‌نامند. می‌بینید که نامش بی‌جهت شما را ترسانده بود. اما درهمینجـا نمی‌ایستیم چـون تغییرات دیگری هم هست‌کـه می‌شودآنهـا را ساخت. دربارهٔ شکل ۷۰ که نامش را بعداً برایتان می‌گویم چه فکرمی‌کنید؟



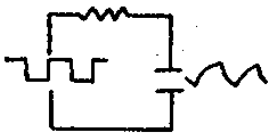
مبتدیــ این همان شکل ۶۴ است، فقط جای R و C را بـا هم عوض کرده‌اید.

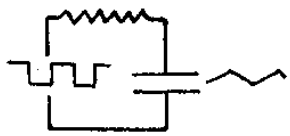
مهندســ این جزئی است‌که‌کل‌را تغییرمی‌دهد! خوب، درE علائم‌مستطیلی را بگذارید درخروجی چه خواهید داشت؟

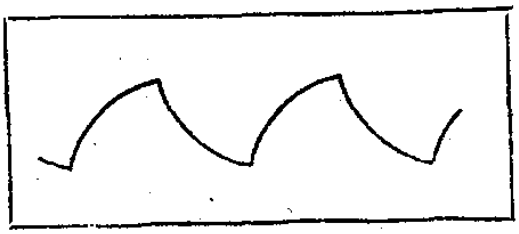
مبتدیــ چون دراینجا هم یك مقاومت ویك خازن بطورپیاپی قراردارند، شاید همان وضع سابق را داشته باشیم یعنی همانکه درشکل ۶۸b کشیده‌اید.



شکل۷۰ــ صافی پائین‌گذرکه آنرا به‌عنوان‌مدار انتگرال گیرنده بکارمی‌برند







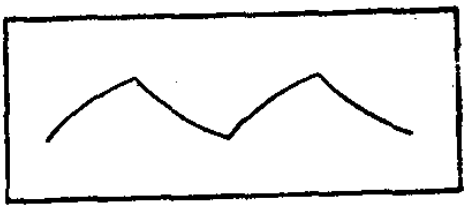
شکل ۷۱ــ باگذاشتن علائم‌مستطیلی، که پریود آن نسبت به RC بزرگ باشد، به ورودی مدار ، در خروجی علائمی با کناره‌های گرد‌داریم که با علائم ورودی شباهت کمی دارد.

مهندسـ چه وحشتناك! با وجود این الان برایتان گفتم که: «فشار دو سر یك خازن درزمان صفر نمی‌تواند ازیك‌مقدارمعین تغییر کند». ببینید آقای‌مبتدی، اگردر E، درمونتاژشکل ۶۴علائم مستطیلی می‌گذاشتیم (شکل ۶۸a)ودرخروجی آن، یعنی در دوسر R علائم شکل ۶۸b را داشتیم، باید در دوسرخازن آنچه راکه علائم ۶۸b لازم دارند تا علائم ۶۸a را بسازند، داشته باشیم.

مبتدیـ می‌خواهید بگوئید اختلاف این دو؟ خوب، می‌توانم آنرا ازروی شکل بدست بیاورم. صبر کنید... آنرا روی شکل ۷۱ برایتان می‌کشم.

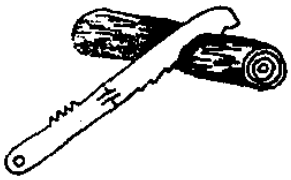
مهندسـ بسیارخوب. می‌بینیدکه این علامت‌که در دوسر C ظاهر می‌شود، همان علامتی است‌که درخروجی مدار شکل ۷۰ بدست خواهیم‌آورد. می‌شد انتظار آنراداشت چون‌درجریان‌دگرگونی‌علامت ورودی، S فوراً تغییر نمی‌کند، زیرا باید زمانی بگذرد تا C با مقدارجدید فشارپرشود.

مبتدیـ بنابراین علامت شما مستطیلی با جبهه‌های‌کمی خمیده وگرداست. باآن چه می‌شودکرد؟



شکل ۷۲ـ اگر RC بزرگتر باشد ، خازن C بین‌دو دگرگونی‌وقتی برای‌پرشدن کامل ندارد.

شکل ۷۳ ـ با افزایش بازهم زیادتر RC ، تفاوت دامنهٔ قله‌به‌قلهٔ علامت خروجی‌راکاهش می‌دهیم .



مهندسـ درواقع آنطورکه شماکشیده‌اید خیلی جالب نیست. امـا فرض کنیدکه من حاصلضرب RC را زیادکنم. علامت چه تغییری خواهدکرد؟

مبتدیـ تصورمی‌کنم‌چون C، جریان‌کمتری برای پرشدن دراختیار دارد (درحالی‌که با بزرگترشدن،جریان بیشتری‌لازم دارد) پرشدن C درلحظهٔ‌دگرگونی بعدی به‌پایان نخواهد رسید؛ شاید چیزی شبیه به‌شکل ۷۲ بدست بیاید.

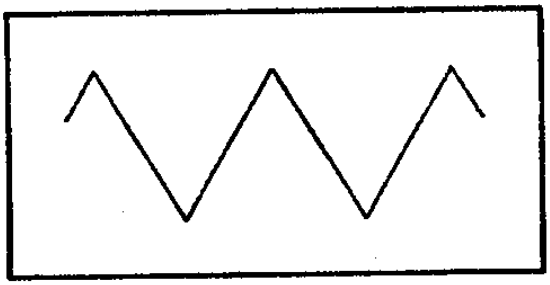
مهندسـ حق با شماست. اگربازهم RC را زیادکنیم. فشارخروجی‌تغییر کمی خواهدکرد ومنظرهٔ شکل ۷۳ را خواهد داشت.

دندانهٔ ارهٔ چوب‌بری

مبتدیـ عجب، قسمت‌هائی راکشیده‌اید‌که تقریباً خط راست هستند!

مهندسـ همینطور خوبست، چون واقعاً خط راست هستند. چون S نسبت به E ضعیف باقی می‌ماند، می‌توان‌گفت‌که فشاردر دوسرمقاومت R درفاصله زمانی بین دو دگرگونی تقریباً ثابت باقی می‌ماند. بنابراین جریان پـرشدن (یا خالی شدن) C ثابت خواهد بود وخازن C به روشی تقریباً خطی پر(ویا خالی)می‌شود.

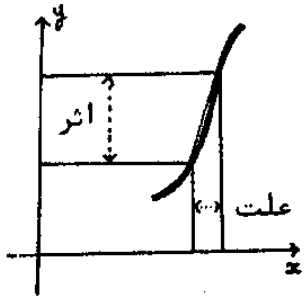
برای اینکه بتوانید شکل فشارS را بهتر ببینید، حالا آنـرا طوری می‌کشم که در جهت محورعمودی به‌اندازه‌کافی بزرگ شده است (شکل ۷۴).



شکل۷۴ــ علامت خروجی شکل ۷۳ که با مقیاس دیگری بررسی شده است ، ازبخش‌های کوچک‌تقریباً راستی‌تشکیل شده است که شکل «دندانهٔارهٔ چوب‌بری» دارد.

مبتدی‌ــ شکل عجیبی است. مثل اینست‌که دندانه‌های اره‌ایست‌کـه برای چوب‌بری ساخته باشند.

مهندس‌ــ بهمین جهت است‌که این‌علامت‌را «دندانهٔارهٔ چوب‌بر» یا«دندانهٔ ارهٔ متقارن» می‌گویند. آنرا وقتی بکارمی‌برندکه بخواهند یك تغییرات فشارخطی داشته باشندکه ابتدا بالا برود وبعد پائین بیاید. یکی ازکاربردهای مدارشکل۷۰ که‌آنرا مدار«انتگرال‌گیرنده» می‌نامند درهمینجاست.

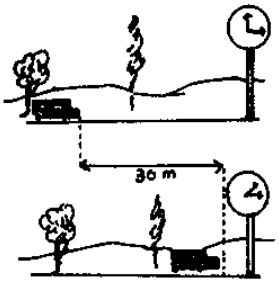


مبتدی‌ــ آه، بهمین جهت بود کـه نمی‌خواستید نامش را بمن بگوئید. از این‌گذشته خیلی دلم می‌خواست بدانم چرا به این مدارها نام‌های عجیب و غریب می‌دهند.

تعریف ریاضی

مهندس‌ــ آقای مبتدی خودتان اینطورخواستید! نمی‌توانم به پرسش شما پاسخ بدهم مگرآنکه‌بطورکوتاه برایتان‌بگویم‌که مشتق وانتگرال چیست.وانگهی این‌کارچندان مغزشما را خالی نمی‌کند.

مقداری مانند y را تابع می‌گویندکه وابسته به‌مقدارxکه «متغیر» نامیده می‌شود، باشد به‌این معنی‌که برای هرمقدارx (که علت است) یك مقدار y (اثر) وابسته باشد. دراطراف یك مقدارداده شده a ازمتغیرx، خواهیم دیدکه آیا y کم یا زیاد به‌تغییرات x پاسخ می‌دهد؛به‌عبارت دیگر تغییرات اثررا باتغییراتی‌ازعلت که باعث بوجودآمدن‌آن شده است مقایسه می‌کنیم (با بدست‌آوردن خارج قسمت این تغییرات). مشتق تابع درنقطه a تقریباً همین است. البته، ما فقط تغییراتی از x را دراطراف مقدارa درنظرمی‌گیریم‌که تا حد امکان‌کوچك باشد، تا با دقت هر چه بیشتربتوانیم بدانیم‌که تابع نزدیك به‌a چه‌وضعی دارد.



ببینید،کمی متغیر(علت) را قلقلك می‌دهیم ونگاه می‌کنیم این‌کارروی‌تابع (اثر) چه‌تغییری می‌دهد. اگراثراین «قلقلك» روی تابع زیاد باشد،می‌گوئیم کـه مشتق زیاد است.

اگرمتغیرزمان باشد، این مشتق سرعت‌تغییرات تابع را بیان می‌کند.مثلا اگروضع یك اتومبیل را دریك جاده درهرلحظه بدانیم، می‌توانیم سرعتش رااز آن بدست بیاوریم. اگردرلحظه‌ای‌که به‌وسیله T_0 مشخص می‌کنم، اتومبیل دریك‌فاصله

قرارداشته باشد در لحظه T_0+2s (که دوثانیه بعد باشد)، ۳۰ متر دورتر رفته باشد، سرعت آنرا ازتقسیم کردن راه پیموده اضافی از مبدأ (۳۰ متر) به‌افزایش متغیرزمان (2s) بدست می‌آوریم؛ نتیجه می‌شود:

$30 \div 2 = 15 m/s$ (که ۵۴ کیلومتر درساعت می‌شود)

بنابراین می‌توانم بگویم که سرعت‌مشتق راه پیموده نسبت به‌زمان است. این‌مشتق وقتی زیاد است که راه پیموده برحسب زمان به‌سرعت افزایش یابد.

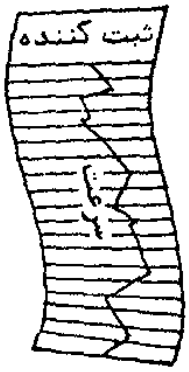
مشتق به‌وسیلهٔ یك مدار

مبتدیـ بطورمبهم فهمیدم. پس برای مدارشکل ۶۴ هم‌وضع کمی شبیه به همین است چون اگرفشاردر ورودی به‌سرعت افزایش یابد، جریان پرشدن خازن زیاد خواهد بود که درنتیجه فشارخروجی قوی بدست خواهد داد.

مهندسـ کاملا موضوع‌را فهمیده‌اید. البته‌درمثال اتومبیل نمی‌توان‌تغییرات ناگهانی درراه‌پیموده را بدست‌آوردچون دراینصورت سرعت مربوط به‌آن‌بی‌نهایت خواهدبود...

مبتدیـ که همه دوندگان خواب آنرا می‌بینند!

انتگرال



مهندسـ نه، چون غیرممکن است. این سرعت«بی‌نهایت»که درزمان‌قابل چشم‌پوشی بدست‌آمده باشد، نمایندهٔشتاب بی‌نهایت هم هست؛ بنابراین بطوردوبرابر امکان‌ناپذیراست. حالا دربارهٔ تعریف‌ریاضی انتگرال‌وگرفتن انتگرال‌صحبت‌کنیم. اگرهمان اتومبیلی‌که‌گفتم درنظربگیرید، تصورکاملی ازآن خواهید داشت، امااین بارفرض‌کنیدکه درهرلحظه وضعیت‌آنرا نمی‌دانید بلکه سرعتش را می‌شناسید(مثلا به‌وسیلهٔ یك‌سرعت‌نگار)

منظورپیداکردن راه پیموده درهرلحظه به‌وسیلهٔ اتومبیل است.

مبتدیـ اینکارمشکلی پیش نمی‌آورد چون‌کافی است زمانی راکه اتومبیل در راه بوده درسرعت متوسطش ضرب‌کنیم.

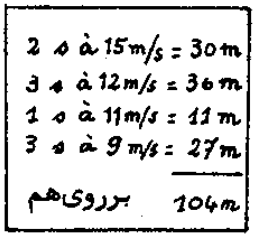
مهندسـ استدلال شماکاملا درست است. اما فقط در حالتی‌که این سرعت کاملا ثابت باقی مانده باشد. بسیارامکان داردکه اینطورنباشد چون مثلااتومبیل‌از دهکده‌ای‌عبورکرده‌که حرکتش راآهسته‌ترکرده است،ممکن بود ازراههای‌مستقیمی عبورکرده باشدکه راننده روی‌گاز فشارداده باشد. به‌طوری‌که سرعت‌آن بهیچوجه ثابت نمانده باشد.

$e = V \times t$
اگر V ثابت باشد

مبتدیـ دراینصورت مطلقاً نمی‌دانم چه بکنم...

مهندسـ بطورساده روش شما را بکارخواهیم برد، اما زمان را به‌بخشهای جزئی تقسیم‌می‌کنیم، که‌هرکدام ازآنها به‌اندازه‌کافی‌کوچك باشد تا بتوانیم اینطور بگیریم‌که سرعت دراین فاصله‌ها تغییرنمی‌کند...

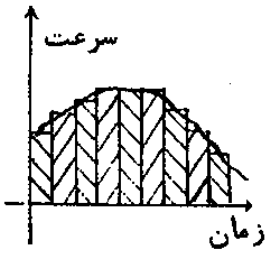
مبتدیـ دراینحال همه‌چیزعوض می‌شود! حسابی‌که می‌کنید هیچ ربطی به حقیقت ندارد.



مهندس- ازشما همین انتظاررا داشتم. هـرچه تعداد فاصلـه‌ها را بیشتر بگیریم، بیشتر به‌ارزیابی درست نزدیك می‌شویم. از این‌گذشته، فراموش نکنیدکه سرعت یك اتومبیل برحسب زمان معمولا تغییرات آهسته‌ای دارد...

مبتدی- به‌عقیده من‌اصلااینطورنیست. یادتان هست دربارهٔ پسرعمویم که‌یك اتومبیل‌کورسی دارد با شما صحبت‌می‌کردم. برای اوچند ثانیه‌کافی است تابسرعت ۱۸۰ کیلومتردرساعت برسد...

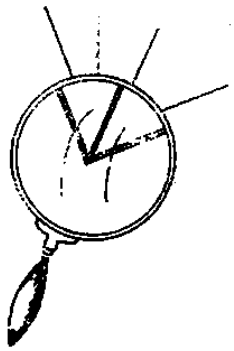
مهندس- بله، اما من دربارهٔ اشخاص معمولی صحبت‌می‌کردم. پس اگـر فاصله زمانی بسیارکوتاهی را درنظربگیریم، مثلا یك ثانیه را درنظربگیریم ودر این‌مدت سرعت نگاشته شده نزدیك به۳۶کیلومتردرساعت (۱۰ متردرثانیه) باشد، می‌توانیم بگوئیم‌که درمدت این یك‌ثانیه، راه پیموده بسیارنزدیك‌به۱۰ متراست.



به‌این‌ترتیب با افزودن راههای پیموده درمدت زمانهای بسیارکوتاه، یك نوع جمع بسیاربزرك انجام می‌دهیم‌که شامل تعدادی جمع است وحاصل‌جمعی داریم که به‌اندازهٔ‌کافی درست است.

ریاضی‌دانان با داشتن چنین آگاهی‌هائی عمل می‌کنند. فقط چیزها را تا حد زیادی پیش می‌برندبا این‌فرض‌که تعداد فاصله‌های زمانی تا بی‌نهایت‌افزایش می‌یابند. دراین‌حال می‌گویندکه انتگرال تابع را حساب‌کرده‌اند.

مبتدی- این عبارت برای من بی‌اندازه ناخوشایند است. هـرچه بـاشد، «انتگرال» مشهور شما بنظر من درست مخالف با چیزی است که قبلا اسمش را مشتق‌گذاشتید چون درآنجا سرعت را ازموقعیت اتومبیل بدست می‌آوردیم ونامش مشتق بود، اگردرست درخاطرم مانده باشد، عمل‌مخالف‌آن امکان می‌دهد موقعیت‌را ازروی سرعت بدست بیاوریم.

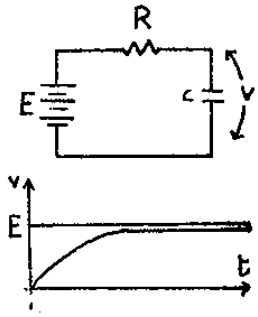


مهندس- مطلب راکاملا فهمیده‌اید. درریاضی نمی‌گویند مخالف، می‌گویند عمل عکس‌آن‌را باید انجام داد. فکرمی‌کنم حالا شباهت کاملی با مدار «انتگرال گیرنده» شکل ۷۰ می‌بینید...

مبتدی- بهیچوجه، بنظرمن درآنجا هیچ رابطه‌ای وجود ندارد.

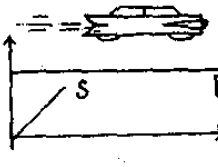
انتگرال‌گرفتن به‌وسیلهٔ مدار

مهندس- این شباهت را فوراً خواهید دید. فرض‌کنیدکه در ورودیEاین مدارفشارثابتی بگذارم. درخروجی چه فشاری بدست خواهیم‌آورد؟



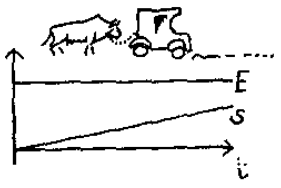
مبتدی- بدون شك منحنی‌همیشگی پرشدن یك خازن است،که‌قوس‌صعودی که‌گردمی‌شود وبه‌یك حداکثر برابر با فشارثابت‌گذاشته شده به‌ورودی می‌رسد.

مهندس- درست است‌آقای مبتدی. اگربه‌این منحنی دقیق شویم، می‌بینیم که‌شامل بخش‌کوچکی است‌که تاوقتی‌فشارخروجی نسبت به‌فشارورودی‌ضعیف باقی می‌ماند، بطور منظم صعود می‌کند. البته این موضوع‌کاملا منطقی است چون‌اختلاف بین فشارورودی E وفشارخروجی S است‌که به‌مقاومت R گذاشته مـی‌شود؛ اگرE ثابت باشد درحالی‌که Sکوچك است، جریان پرکردن‌که ازراه مقاومتR می‌گذرد عملا ثابت است. دراین شرایط خازن بطورمنظم پرخواهد شد (برای اینکه دقیقتر باشد می‌گوئیم بطورخطی پرمی‌شود).



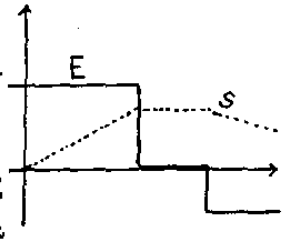
مبتدیـ خوب، تا اینجا گفته‌های شما را فهمیدم، اما مطلقاً رابطهٔ آنرا با داستان غم‌انگیز اتومبیل شما و گرفتن انتگرال نمی‌دانم.

مهندسـ پس بطورساده به‌ورودی مدارشکل ۷۰ فشار E را که در هر لحظه متناسب با سرعت اتومبیل است وصل می‌کنیم؛ تا وقتی‌که شما فرض می‌کنید فشار خروجی S خیلی ضعیف باقی خواهد ماند چه پیش خواهد آمد؟



مبتدیـ چون S را قابل‌چشم‌پوشی فرض‌کردیم، جریانی‌که از R می‌گذرد درهر لحظه متناسب‌با E خواهدبود. بنابراین پرشدن خازن برحسب آنکه E (یعنی سرعت، اگراشتباه نکرده باشم) کم و بیش بزرگ باشد، کم و بیش تندتر خواهد بود.

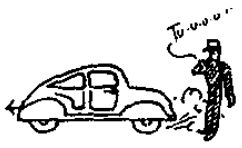
مهندسـ دیگرسودی ندارد که به‌حرفهای من گوش بدهید چون کارتمام‌است زیرا درهر لحظه، فشاردوسرخازن‌که پرمی‌شود درست مثل راه پیموده به‌وسیلهٔ اتومبیل‌ما، افزایش می‌یابد. اگرسرعت زیاد باشد (E بزرگ باشد)، خازن تند پر می‌شود، فشار S در دوسر آن به‌تندی افزایش می‌یابد، درست مثل راه پیموده‌به‌وسیلهٔ اتومبیل وقتی‌که سرعتش زیاد است. اگردریک لحظهٔ معین، اتومبیل ما بایستد، فشار E صفرمی‌شود، پرشدن خازن قطع می‌گردد...



مبتدیـ آه، نه دیگرا من دیگر با آن موافق نیستم چون E صفراست، خازن خالی می‌شود.

مهندسـ اگرسخت بگیریم حق باشماست. اما فرض‌کردیم‌که E خیلی بزرگ‌است و R و C هم‌همینطور. فشاردوسرخازن C هم‌نطورنسبت به‌مقدارمعمولی E ضعیف است. بنابراین اگرخازن C وقتی E صفرمی‌شود بطورمؤثر کمی‌تخلیه شود، این خالی‌شدن اهمیت بسیارکمی دارد.

مبتدیـ خوب، دارم می‌فهمم. حتی فکری هم به‌خاطرم رسیده است.



مهندسـ معمولا من به‌افکارشما اعتماد ندارم، بااینحال بگوئید.

مبتدیـ خوب، اگراتفاقاً اتومبیل به‌عقب حرکت‌کند وسرعت منفی‌شود...

مهندسـ این مطلب ازنظرجبری‌کاملا قابل‌قبول است.

مبتدیـ خوب دراین شرایط، درورودی شکل ۷۰ یك فشارمنفی خواهیم داشت. این‌بار می‌شودگفت‌که خازن C خالی خواهد شد، درحالی‌که فشار منفی در ورودی‌مقدارزیادی دارد. تقریباً شبیه به‌همانست‌که درکیلومترشمارا تومبیل شما پیش خواهدآمد یعنی می‌بینیم‌که‌کاهش را نشان می‌دهد.

مهندسـ آقای مبتدی تمام تبریکاتم را بپذیرید، شماکاملا موضوع را فهمیده‌اید... درواقع مقداری‌که به‌ورودی داده می‌شودکاملا می‌تواند منفی باشد. اما درباره عملی‌کردن این تجربه، وقتی‌کوشش می‌کنید به‌این ترتیب‌با سرعت به‌سمت عقب حرکت کنید و درسمت راست جاده باشید، ترجیح می‌دهم با شما در اتومبیل نباشم. گذشته ازاین وضع فکرشماکاملا منطقی است.

فقط نیستی کامل است

مبتدیـ بله، اما... مرا ببخشید، درتمام‌این مطلب چیزی هست‌که‌ناراحتم می‌کند؛ بمن‌گفتید برای اینکه مدارشکل ۷۰ بدرستی عمل‌کند، یعنی همانطورکه شما می‌گوئید «انتگرال‌گیرنده» باشد، بایدفشارخارجی S بسیارضعیف‌باشد. اتومبیل

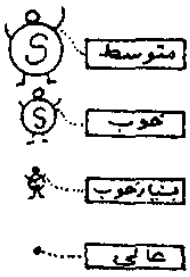
با نیروی حرکتی که دارد کیلومترها راه را پشت سر مـی‌گذارد، بـه‌عبارت دیگر، خازن C، اختلاف سطحی درخود جمع می‌کند. پس چه باید کرد؟ دیگر نمی‌توانید بگوئید که فشارخروجی نسبت‌به E قابل‌چشم‌پوشی است؟

مهندس- کاملا حق دارید. این سیستم فقط برای یک‌زمان محدود با ارزش است، طولانی بودن این زمان هم انقدراست که مقاومت R را زیادتـر وخازن C را بزرگتر بگیرید که به‌همین سبب فشاردوسرخازن C بی‌نهایت ضعیف خواهد بود.

مبتدی- اما دراینحال با بردن چیزهـا تابی‌نهایت مـی‌توان گفت که وقتی مدار به‌عنوان فشار در خروجی اصلا چیزی بدست ندهد، مدار شما کامل خواهد بود.

مهندس- آقای مبتدی روی یک اصل فلسفی انگشت گذاشتید کـه برجهان حکومت می‌کند و آن اینست که تکامل به‌ما تعلق ندارد و بازگشت نخواهد کرد مگر با چیزی که به‌طرف صفر تمایل دارد. ما ازچیزی خشنودمی‌شویم که کامل نباشدولی صفرهم نباشد وارزیابی می‌کنیم که به‌این‌ترتیب بسیارخوب است.

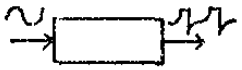
مبتدی- گمان می‌کنم حرف‌های شمارا خوب‌فهمیده‌ام، اما احساس می‌کنم که باافزودن دانش خود، مغزمن به‌فشاری رسیده است که باعث می‌شودو فاداری که ازآن صحبت می‌کنید. فاصلهٔ بسیارزیادی از تکامل بگیرد وشاید وقت آن‌رسیده‌باشد که گفتگوی خودمان را همینجا تمام‌کنیم.



مبحث هشتم

حالا دیگر کار تمام است چون مبتدی به‌وسیلهٔ «تغییرشکل‌خواهی» (تمایل‌به تغییردادن علائم) مسموم شده است. اوکار را با چند برابرکردن فرکانس آغاز می‌کند، بعد آنرا تقسیم می‌کند، که این مطلب باعث می‌شود که مهندس دربارهٔ ویبراتور چندجانبه برایش صحبت کند. توضیحاتی که در مورد تقسیم به اعداد زوج داده می‌شود ، احساس پیش‌دسی از وجود مونتاژ دوثابتی «اکلس‌ـجـوردان» (Eccles–Jordan) را در مبتدی بوجود می‌آورند و به وسیله Hybrid (اختلاط) با ویبراتور چندجانبه، یك‌ثابتی را بوجودخواهد آورد. مبتدی خیلی وسوسه خواهد شد که بجای کاربرد این مونتاژ، که تأخیرانداز ضربه است، «پیش‌انداز ضربه» را بگذارد (البته سیستم مبتدی است!) اما می‌ترسد که موفق به اختراع دستگاه اخیر نشود.

ضرب و تقسیم فرکانس‌ها



مبتدی ـ آقای مهندس مثل اینست که میل شما به آزار علائم و تغییر آنها به بالاترین حد، این‌بار دچارکمروئی شده است.

مهندس ـ قبلا بشما گفتم که منظور من آزار آنها نیست، بلکه‌الکترونیك به آن نیاز دارد. با این توضیح حالا بمن بگوئید ازکجا ایـن‌کمروئی را بمن نسبت می‌دهید؟

مبتدی ـ در تمام تغییر شکل‌ها، شکل علائم را چنان خراب‌کرده‌اید که مولد به وجود آورندهٔ آنها، دیگر کودکان خود را نخواهد شناخت؛ با اینحال بر خلاف میل خودتان فرکانس آنها را حفظ کرده‌اید.

مهندس ـ خوب، اگر اینکار خوشحالتان می‌کند، الان‌دربارهٔ ضرب وتقسیم فرکانسها صحبت می‌کنیم...

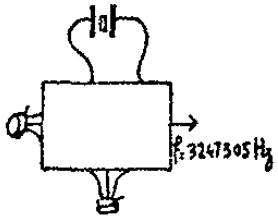
مبتدی ـ اینکار بخصوص برای خوشحال‌کردنم نیست، چون از الان حدس می‌زنم که بی‌نهایت پیچیده است.

مهندس ـ پیچیده کلمهٔ رسائی نیست، بگوئید بسیار مشکل و تازه شایـد گویا نباشد... تا بحال‌دربارهٔ دستگاههای چندبرابرکنندهٔ فرکانس چیزی‌شنیده‌اید؟

مبتدی ـ نه، هرگز، و نمی‌دانم با آن چه می‌کنند.

چند برابرکردن فرکانس

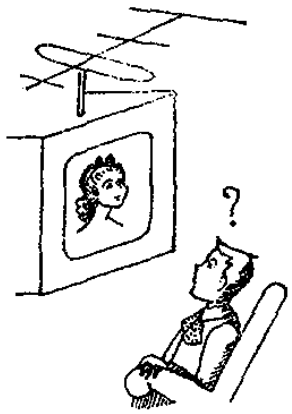
مهندس ـ حالا آنرا خواهید دید. قطعاً تا بحال نوسان‌سازهای کوارتزی را بکار برده‌اید؟



مبتدی ـ بله، حتی آنرا ساخته‌ام و بسیار درست‌کار می‌کند: فرکانس کاملا ثابتی بدست می‌آوریم، که در دنیای کنونی، چیز ثابتی است.

مهندس ـ بالاترین مقدار فرکانس زیادی که با کوارتز درست‌کرده‌اید چقدر است؟

مبتدی ـ هیچوقت نیاز نداشتم که فـرکانسی بیشتر از ۳ یا ۴ مگاهرتز داشته باشم .



مهندس- می‌توانستید کوارتزهائی پیدا کنید که فرکانس آنها نزدیک به ۲۰ مگاهرتز باشد ، اما بعد از این مقدار دشوار است و در هرحال کوارتزی پیدا نمی‌کنید که با فرکانس ۱۸۵/۲۵ مگاهرتز کار کند .

مبتدی- این فرکانسی است که نمیدانم چه فایده‌ای دارد!

مهندس- از این حرف نتیجه می‌گیرم که هیچوقت به تلویزیون نگاه نکرده‌اید. با اینحال سودمند است بدانید که ارسال تصویر به وسیلهٔ فرکانسی که کوارتز ایجاد می‌کند، انجام می‌گردد.

مبتدی- لعنت برشیطان! این فکر را نکرده بودم. اما شما که گمان نمی‌کنید اگر یك کوارتز ۱۸۵/۲۵ مگاهرتزی سفارش بدهند، می‌توان آنرا به همان صورت بکار برد؟

مهندس- مسلماً نه. هرچه فرکانسی که کوارتز باید با آن نوسان کند بیشتر باشد، باید آنرا نازکتر کرد؛ و در این فرکانس کوارتز بسیار نازك خواهد بود...

مبتدی- تصور می‌کنم مثل آدمی است که رعشه بگیرد...

مهندس- آقای مبتدی بجای اینکه شوخی‌هائی بکنید که برای مجله‌های پیش‌پا افتاده خوبست، بهتر است فکر کنید که نمی‌توان کوارتزی ساخت که کلفتی آن چند میکرون باشد. پس به کوارتزی اکتفا می‌کنیم که فرکانسی بدهد که خیلی کمتر از ۱۸۵/۲۵ مگاهرتز باشد.

مبتدی- دوست عزیز در اینصورت باید بگویم اگر کوارتز شما فرکانس مورد نیاز فرستنده را ندهد هیچکاری نمی‌توانم بکنم.

مهندس- دوست عزیز بگذار منهم متقابلا بگویم که می‌توانم به کوارتزی اکتفا کنم که فرکانس خیلی کمتری می‌دهد به شرط آنکه بتوانم این فرکانس را در عدد صحیح ضرب کنم.

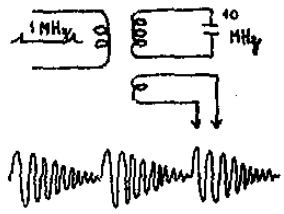
مبتدی- خوب، این موضوع اصلا به فکرم نمی‌رسید. حدس می‌زنم حالا برایم خواهید گفت که یك فرکانس را چگونه چند برابر می‌کنند. اقرار می‌کنم که اینکار تا حدودی کنجکاویم را تحریك می‌کند.

مهندس- خیلی آسان‌تر از آنست که گمان می‌کنید. قبلا درباره مدارهای نوسانی چیزهائی شنیده‌اید. می‌دانید که نوسان‌های یك خازن و یك قرقره که در نتیجهٔ یك ضربهٔ الکتریکی ایجاد شده باشد میل دارد فرکانسی داشته باشد که با فرمول تامسون داده شده است:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$$

فرض کنید که یك مدار نوسانی ساخته‌ایم که فرکانس هماهنگی آن ۱۰ مگاهرتز است. آنرا با ضربه‌های الکتریکی کوتاه با فرکانس یك مگاهرتز برای برگشت تحریك می‌کنیم. با هر ضربه مدار آغاز به نوسان می‌کند در حالی که فرکانسی برابر ۱۰ مگاهرتز بما می‌دهد. این نوسان‌ها میل به میرا شدن دارند یعنی دامنه‌ای دارند که به تدریج کم می‌شود. در لحظه‌ای که مدار نوسان دهم خودرا آغاز می‌کند، یك ضربهٔ تازه می‌رسد و به این ترتیب ضربهٔ جدید دامنهٔ نوسان مدار را دوباره زیاد می‌کند (شکل ۷۵) وکار ادامه می‌یابد.

مبتدی- اما در اینجا چند برابر کردن واقعی فرکانس وجود ندارد.

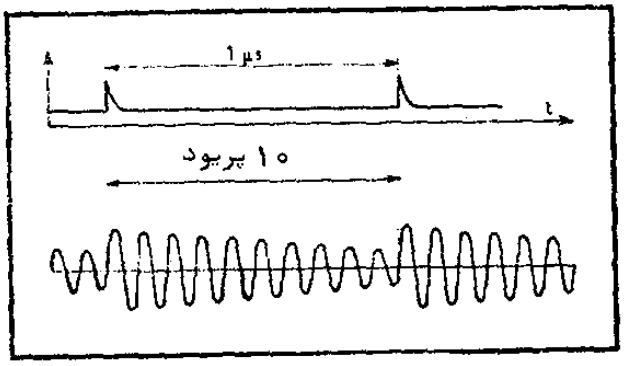


مهندس- مگر شما چه می‌خواهید؟ دراین‌مدارفرکانس یك مگاهرتز وارد می‌کنم و از آن فرکانس ۱۰ مگاهرتز بیرون می‌آورم.

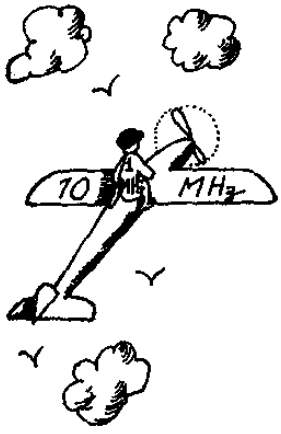
مبتدی- بله، تا اینجا را قبول دارم. اما این نوسان ۱۰ مگاهرتز به‌وسیلهٔ مدار داده شده‌است. این‌فرکانس بافرکانسی‌که به آن می‌دهیم هیچ رابطهٔ‌کامل‌ندارد.

راهنمائی به وسیلهٔ مدار

مهندس- اگر من درست دقت‌نمی‌کردم وفرکانس آنرا ۱۰ برابرفرکانس ضربه‌هائی‌که به آن می‌دهیم نمی‌گرفتم، هیچ رابطه‌ای با آن نداشت. چون درست همین‌کار را کرده‌ام، ضربهٔ تازه‌ای‌که دامنهٔ‌نوسان را زیاد می‌کند، آنرا درست در موقعی به حرکت درآورده‌که دهمین پریود آغاز شده است. بنابراین نوسانی با فرکانس ۱۰ مگاهرتزداریم‌که به‌گونه‌ای به وسیلهٔ‌ضربه‌های یك‌مگاهرتزی‌راهنمائی و رهبری می‌شود. حالا فرض‌کنیدکه فرکانس یك مگاهرتزی ۵ درصد زیاد شود؛ با هرضربه‌ای‌که درورودی ایجاد می‌شود، نوسان‌های ۱۰ مگاهرتزی مدار نوسانی، کمی‌زودتر به حرکت آورده می‌شوند؛ بنابراین درفرکانس خروجی افزایش‌کمی که آنهم ۵ درصد است به وجود خواهد آمد. بدیهی است چنین دستگاهی غیر از تغییرات ضعیف فرکانس ورودی چیزی قبول نمی‌کند. بادرنظرگرفتن اینکه موضوع چند برابرکردن فرکانس نوسان یك‌کوارتز به وسیلهٔ یك عدد ثابت در بین است،



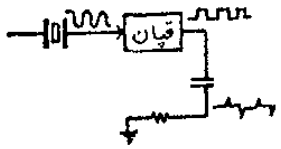
شکل ۷۵- ضربه‌های‌بافرکانس یك مگاهرتز، نوسان‌های یك مدار ده مگاهرتزی را درهر پریود به حرکت درمی‌آورند به این‌ترتیب فشار خروجی فرکانسی داردکه‌ده‌باربزرگتر از فرکانس ضربه‌های تحریك‌کننده است.



می‌توانیم مطمئن باشیم‌که تغییرات این فرکانس همیشه بسیار ضعیف است.

مبتدی- خوب، قبول دارم‌که در اینجا چند برابرکردن فرکانس بطور مؤثر انجام می‌شود. فقط در دستگاه‌شماچیزی هست‌که ناراحتم می‌کند و آن‌اینست که اگر از یك‌نوسان‌سازکوارتزی استفاده‌کنم، تمام‌کوشش خود رامی‌کنم‌که‌کوارتز فشار سینوسی شکل درست‌کند. کوارتز از آن ضربه‌های مناسب بدست نمی‌دهدکه بتواند مدار نوسانی را تحریك‌کند.

مهندس- پس آقای‌مبتدی‌تمام چیزهائی‌که دفعهٔ قبل‌گفتم‌فراموش‌کرده‌اید؛ فکر می‌کنیدکه قپان اشمیت، مدارهای مشتق‌گیرنده و دیگر مدارها را فقط‌برای این اختراع‌کرده‌اندکه اشخاصی نظیر مبتدی را ناراحت‌کنند؟ از آنها هم‌می‌توان استفاده‌کرد.



مبتدیـ اقرار می‌کنم‌که دیگر به آنها فکر نمی‌کردم. اما این‌دستگاهها نسبتاً پیچیده هستند.

مهندسـ واقعاً بنظر شما یك دستگاه‌که با دو ترانزیستور معمولی،چهار مقاومت و شاید یك یا دو دقیقه‌کار درست می‌شود پیچیده است؟ اینکار آن قدرکم است‌که بکاربردن‌کلمهٔ درست‌کردن برایش زیاد است. نه آقای مبتدی اگردراینجا متوقف شوید، من بروم بخوابم برایم بهتر است.

ضرب غیردوره‌ای

مبتدیـ خوب، حرفم را نشنیده بگیرید. اما... معذرت می‌خواهم بدون شك میل عجیبی برای مخالفت دارم... با اینحال بنظر من اندوهبار است‌که این دستگاه چند برابرکنندهٔ فرکانس در ورودی نیاز به چنین‌ثباتی دارد.دلم‌می‌خواست دستگاهی برای چند برابرکردن به من معرفی می‌کردیدکه تغییرات قابل توجه فرکانس درورودی را هم قبول‌کند.

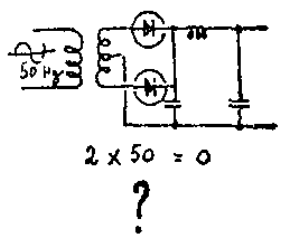
مهندسـ خوب آقای مبتدی خودتان یکی از آن برایم پیداکنیدواین بار، ضمانت می‌کنم‌که بتوانیدگواهینامهٔ مشهورخودتان را بگیرید. بابهره‌برداری از آن حتی پول زیادی هم بدست می‌آورید (یا درست‌تر بگویم پول زیادی‌به‌کسی که از آن بهره‌برداری‌کند می‌رسانید) با اینحال برای اینکه‌کمی دلگرم شوید، روش‌هائی راکه چند برابرکردن فرکانس را از راه آسانتری امکان‌پذیر می‌کنند، به شما نشان خواهم داد. نتیجه‌های بدست آمده خیلی جالب نیستند، اما می‌توان حد مجاز برای تغییرات فرکانس را زیادترگرفت. حتی مطمئن هستم‌که تا بحال دستگاه دو برابرکنندهٔ فرکانس هم ساخته‌اید.

مبتدیـ خدایا! مسلماً نه وگرنه خودم خبر داشتم.

مهندسـ خوب. حالا می‌فهمید. قطعاً یکسوسازی ساخته‌ایدکه ازبرق‌شهر استفاده می‌کند تا به وسیلهٔ دولامپ فشار مستقیم در اختیارتان بگذارد؟

مبتدیـ بله، البته. اما بادوبرابرکردن فرکانس‌خیلی فاصله دارم چون‌از فرکانس ۵۰ هرتز آغاز می‌کنم تا به فرکانس صفر هرتز برسم... اگر این‌کار را دوبرابرکردن بدانید، من در عالم خیال هستم.

مهندسـ به چیزی‌که پس از صاف‌کردن بدست می‌آورید فکر نمی‌کنم، بلکه قبل از صافی موردنظر من است. چون هرلامپ بطور نوبتی دریك پریودکار می‌کند، در سرصافی فشار خرخر بدست می‌آوریدکه فرکانس آن دوبرابر فرکانس شبکه است (شکل ۷۶) به عبارت دیگر، فرکانس صدهرتز بدست می‌آورید.



$2 \times 50 = 0$

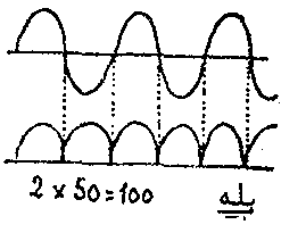
?

مبتدیـ اما مقدار آن بسیار ناچیز است چون خازن صافی درست برای حذف‌کردن این مؤلفه‌گذاشته شده است.

مهندسـ بله، اما اگر صافی بکار نبرید، فشاری داریدکه دردوتیم‌پریود نمایان می‌شودکه اصولا فشار متناوب صدهرتزی است که به یك مؤلفهٔ ثابت اضافه شده است.

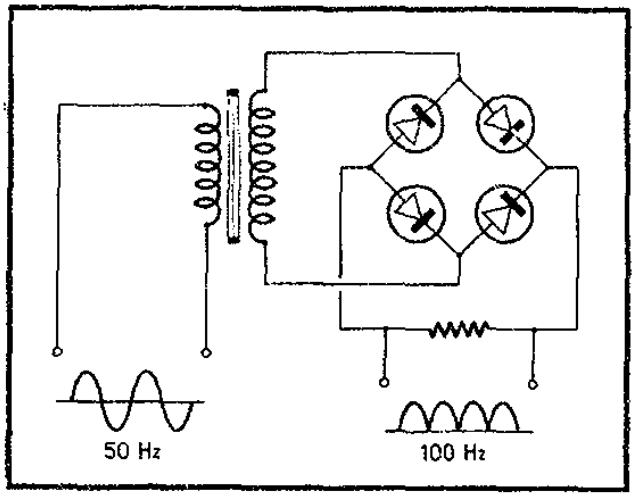
مبتدیـ قبول دارم‌که فرکانس آن تقریباً صدپریود درثانیه است،اماخیلی با فرکانس سینوسی شکل فاصله دارد.

مهندس- منهم هیچوقت نگفته‌ام که سینوسی شکل است. در واقع اگر به دقت این فشار را تجزیه و تحلیل کنید، علاوه برمؤلفهٔ مستقیم و مؤلفهٔ صدهرتزی، هارمونیک‌هائی پیدا می‌کنید که باعث می‌شوند این شکل شگفت‌آور را پیداکند. وآنگهی به‌وسیلهٔ یك صافی هارمونیک‌ها را به آسانی می‌توان حذف کرد و فقط مؤلفهٔ صدهرتزی را نگهداشت.



مبتدی- بله ، قبول دارم، اما حالاکه یك صافی وجـود دارد برای تمام فرکانس‌ها قابل استفاده نیست.

مهندس- کاملا موافقم، و هیچوقت ادعا نکردم دوبرابرکنندهٔ فرکانسی بشما معرفی کنم که کاربرد همگانی داشته باشد.

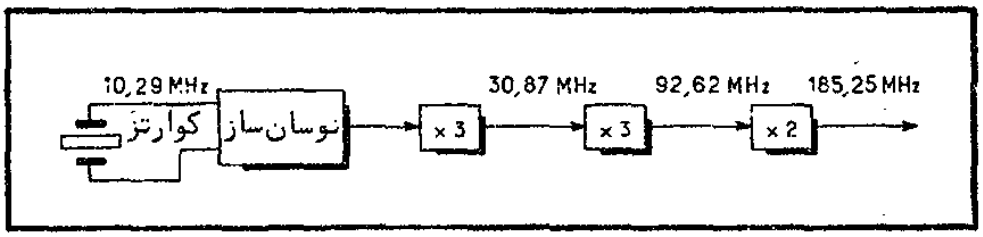


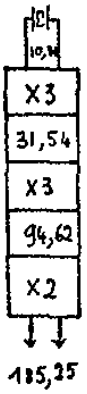
شکل۷۶- با یکسوسازی‌دونیم پریود یك فشار۵۰ هرتزی، فرکانس را دوبرابر می‌کنیم برای اینکه اساس‌فشار یکسو شده صد هرتز است.

ضرب آبشاری

مبتدی- پس در اینحال می‌توان فشار صدهرتز صاف شدهٔ شما را برای گذاشتن به یك دستگاه شبیه مدار شکل ۷۶ بکار برد؛ در اینصورت ۲۰۰ هـرتز بدست می‌آیدکه می‌توان آنرا به نوبهٔ خودش صاف کرد و...

مهندس- آفرین آقای مبتدی، کاملا فهمیده‌اید که غالباً بسیار جالب است





شکل ۷۷- یك نوسان‌ساز کوارتزی که روی فرکانس ۱۰/۲۹ مگاهرتز کار می‌کند، پس از دوطبقهٔ سه برابرکننده و یك طبقهٔ دوبرابرکننده فرکانس زیاد ۱۸۵/۲۵ مگاهرتز را بدست می‌دهد، ثبات فرکانس درست مانند کوارتز در آغازکار است و فرکانسی ایجاد می‌کند که برای ایجادآن کوارتزی وجود ندارد.

که روش چند برابر کردن فرکانس‌ها دنبال هم بکار برده شود. در مثال فرکانس زیاد ۱۸۵/۲۵ مگاهرتزی که قبلا برایتان گفتم، بهتر اینست که از فرکانس ۱۰/۲۹ مگا-هرتزی آغاز کنیم. با سه برابر کردن فرکانس آن به وسیلهٔ روشی که قبلا برایتان گفتم فرکانس ۳۰/۸۷ مگاهرتز را بدست می‌آوریم که به ورودی یك تقویت‌کننده با تحریك زیاد گذاشته می‌شود که اگر ضربه ایجاد نکند دست‌کم هارمونیك ایجاد می‌کند و به وسیلهٔ آن یك مدار نوسانی زیر تحریك قرار می‌گیرد که روی هارمونیك سوم آن تنظیم شده است و در نتیجه در آن فرکانس ۹۲/۶۲ مگاهرتز را بدست می‌آوریم. اگر این فرکانس را دو برابر کنیم فرکانس ۱۸۵/۲۵ مگاهرتز را بما خواهد داد (شکل ۷۷)

تقسیم فرکانس

مبتدی- آقای مهندس حالا که ضرب فرکانس یك علامت به این ترتیب امکان-پذیر است، تقسیم کردن آن‌هم باید امکان داشته باشد درست است؟

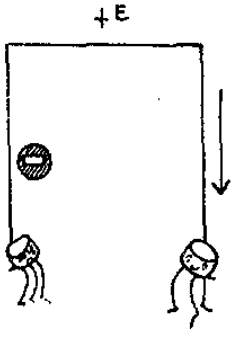
مهندس- اگرچه در نتیجه‌گیری شما از منطقی استفاده شده که قابل بحث است با اینحال درست است. حتی باید بگویم که تقسیم کردن یك فرکانس از ضرب کردن آن ساده‌تر است. روش‌های زیادی برای این کار وجوددارد. روش‌های اساسی را بدنبال هم بررسی خواهیم کرد.

اگر فرکانسی درنظر باشد که نسبتاً تغییراتش کم است، می‌توانیم از نوسان-سازی استفاده کنیم که روی ضربه‌هائی کار می‌کند که ما آنرا به وسیلهٔ فرکانسی که می‌خواهیم تقسیم کنیم همزمان کرده‌ایم.

ویبراتور چند جانبه

مبتدی- منظورتان از نوسان‌سازی که با ضربه کار می‌کند چیست؟

مهندس- چیزی شبیه ویبراتور چند جانبه است. طرز کار دستگاه آنقدر ساده است که تصورش را نمی‌توانید بکنید، در شکل ۷۸ بطور خلاصه آنرا کشیده‌ام.

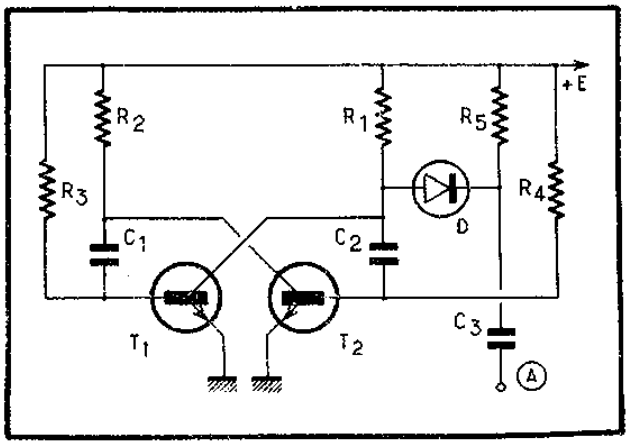


مبتدی- وقتی همینطوری به آن نگاه کنیم چندان پیچیده بنظر نمی‌آید. اما به شما چندان اعتماد نمی‌توان کرد. می‌شود گفت که یك تقویت‌کننده با دوطبقه است که خروجی آنرا به ورودیش وصل کرده‌اند.

مهندس- کاملا درست است. و آنگهی به همین جهت است که مجموعهٔ آن شروع به نوسان می‌کند. با آنچه که دربارهٔ مدارهای مشتق‌گیرنده برایتان گفته‌ام، باید به آسانی طرز کار آنرا بفهمید. فرض می‌کنیم ابتدا ترانزیستور T_1 هدایت می‌کند و حتی به حالت اشباع رسیده است؛ این ترانزیستور نوعی اتصال کوتاه بین جمع‌کننده، ارسال‌کننده و پایهٔ خودش در مونتاژ به وجود می‌آورد. در این لحظه فرض کنیم که T_2 مسدود است. چون در یك لحظه پایهٔ آن به یك فشار منفی وصل شده است. در این شرایط جریانی که از مقاومت R_4 می‌گذرد میل دارد با خالی کردن خازن C_2 این پایه را کمتر از پیش منفی (وحتی مثبت) کند. در یك لحظه، پایهٔ ترانزیستور T_2 مثبت می‌شود...

مبتدی- آنوقت آنهم هادی می‌شود، آن هم به اشباع می‌رسد و همه‌چیز متوقف می‌گردد.

مهندس- آرامتر آقای مبتدی. اگر T_2 هادی شود، اختلاف سطح جمع‌کنندهٔ آن‌که E+ بود، ناگهان صفرمی‌شود. این تغییر ناگهانی از راه خازن C_1 بطورکامل به پایهٔ T_1 منتقل خواهد شد؛ این پایه ناگهان منفی می‌شودو T_1مسدود خواهد شد. در نتیجهٔ همین عمل، ازدیاد اختلاف سطح جمع‌کننده T_1 که‌میل دارد خازن C_2 را دوباره پرکند، بهT_2 کمك می‌کندتا به اشباع برسد.



۷۸- ویبراتور چندجانبهٔ دو ترانزیستوری، که‌هرکدام‌بطور متناوب مسدود مـی‌شود در حالی‌که دیگری‌به‌اشباع‌رسیده است.

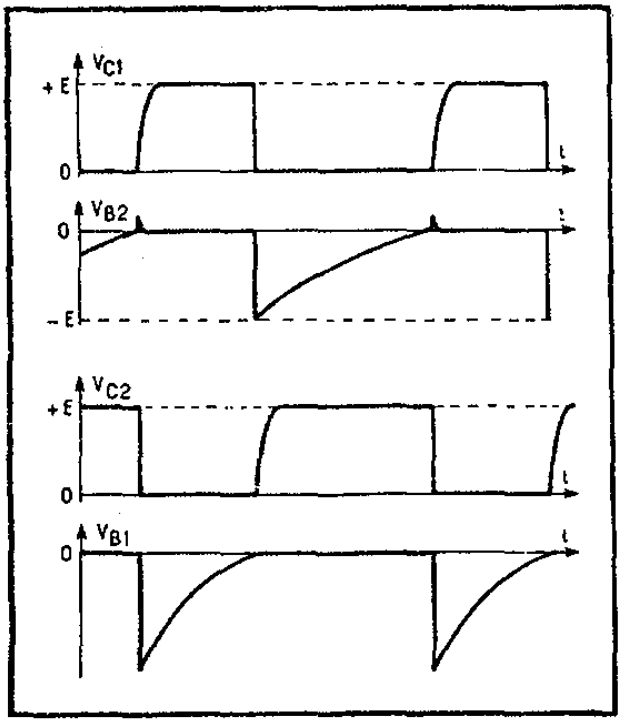
در حالی‌که پایه T_1 منفی است، جریانی‌که از مقاومت R_2 می‌گذرد، با خالی‌کردن خازن C_1 اختلاف سطح آنرا بالامی‌برد تا حدی‌که پایهٔ T_1 بسیارکم مثبت شود. در این لحظه T_1 هادی خواهد شد و T_2 را مسدود خواهدکرد درست مثل چند لحظه قبل وکار ادامه پیدا می‌کند. در شکل ۷۹ تغییرات فشار دو جمع کننده و دوپایهٔ ترانزیستورها را برایتان‌کشیده‌ام.

مبتدی- تقریباً می‌فهمم چگونه‌کار می‌کند اگرچه بسیار پیچیده است. در واقع روی پایه‌ها فشارهائی بدست می‌آوریم‌که‌کمی شبیه به فشارهـای شکل ۶۹ هستند، چیزی‌که تقریباً عـادی است زیرا بعد از مدارهائی‌که ارتباط خازنی و مقاومتی دارند همین نوع فشار بدست می‌آید. چیزی‌که بیشتر شگفت‌زده‌ام‌می‌کند، شکل فشارهائی است‌که روی نوسان‌ساز بدست می‌آید و آن اینست‌که چرا بالارفتن منحنی‌آهسته وپائین آمدنش ناگهانی است؟

مهندس- بالا رفتن آهسته بخوبی قابل توضیح است. مثلا وقتی‌که ترانزیستور T_1 به وسیلهٔ پایه‌اش مسدود شد، اختلاف سطح جمع‌کننده‌اش نمی‌تواند به سرعت بالا برود زیرا باید خازن C_2 از راه خازن C_1 دوباره پرشود. همین باعث بوجود آمدن‌گردی در منحنی می‌شودکه شما درباره‌اش صحبت‌کردید.

برعکس وقتی یك ترانزیستور ناگهان رسانا می‌شود، یك‌نوع اتصال‌کوتاه درست می‌کندکه از راه آن خازن‌ها می‌توانند به سرعت خالی شوند. ازاین‌گذشته خازن‌ها نیازی هم به آن ندارند.

در واقع وقتی T_1 مسدود شد، C_2 باید پرشود، چون جوشن پائینی آن‌از

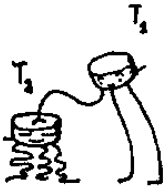


شکل ۷۹- شکل موج‌های ویبرا- تور چند جانبهٔ شکل ۷۸.

راه اتصال پایه‌ـارسال‌کننده T_2 که رسانا است بـه اختلاف سطح بدنه وصل است. وقتی T_1 ناگهان مسدود شد، خازن C_2 کاهش ناگهانی اختلاف سطح جمع‌کنندهٔ T_1 را به پایهٔ T_2 منتقل می‌کند؛ بنابراین نباید خالی شده باقی بماند. ایـن چیزی است که علت راست بودن کناره‌های نزولی را که در منحنی تغییرات اختلاف سطح جمع‌ـ کننده T_1 دیده می‌شود، بیان می‌کند. و آنگهی نباید فراموش کرد که پایه‌های دو ترانزیستور نمی‌توانند مثبت شوند. زیرا بمحض اینکه کمی مثبت شوند. اتصال پایه ـ ارسال‌کننده رسانا می‌شود و به‌این‌ترتیب یك اتصال کوتاه‌واقعی با بدنه تشکیل خواهد داد. این‌همان‌چیزی است که بیان‌کننده وجـود بخش‌های افقی روی منحنی نمایش تغییرات فشار دو پایهٔ ترانزیستورها برحسب زمان است.

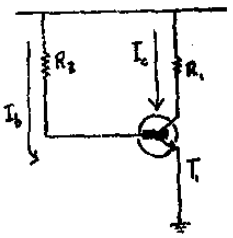
دربارهٔ ویبراتور چند جانبه مطلب‌های زیاد دیگری برای‌گفتن هست، اما مطالبی که می‌دانید آنقدر هست که بتوانیم آنرا به عنوان بخش‌کنندهٔ فرکانس بکار ببریم.

شرایط اشباع



مبتدی- قبل از اینکار می‌خواستم پرسشی بکنم. بمن گفتید که ترانزیستور- های T_1 و T_2 وقتی کار می‌کردند اشباع شده بودند. دلم می‌خواهد حرفتان را باور کنم ولی می‌خواستم بدانم برای چه.

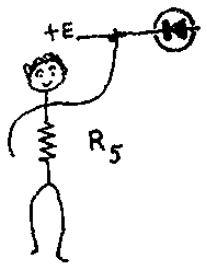
مهندس- کاملا حق دارید این پرسش را بکنید. مثلا فرض کنید که T_1 رسانا است. جریانی که به پایهٔ آن می‌رسد از راه مقاومت R_2 است. اختلاف سطح پایهٔ



آن تقریباً برابراختلاف سطح ارسال‌کنندهٔ آنست، همانطورکه در تمام ترانزیستور غیرمسدود اینطوراست. پس در دوسرمقاومت R_3 فشاری وجود داردکه عملا برابر E است. بنابراین جریانی که‌ازاین مقاومت می‌گذرد، یعنی جریان پایه T_1 برابر است با $\frac{E}{R_3}$.

ازطرف دیگر، اگراین ترانزیستور اشباع شده باشد، چون اختلاف سطح جمع‌کنندهٔ آن عملا صفراست، جریان جمع‌کننده‌اش برابراست با $\frac{E}{R_1}$.

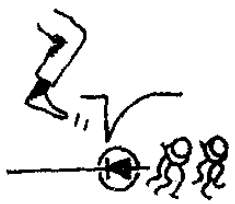
بنابراین‌کافی است ضریب بهرهٔ ترانزیستوردرجریان (که‌آنرا به‌وسیله β نمایش می‌دهیم) به نحوی باشدکه حاصلضرب جریان پایه $\frac{E}{R_3}$ در β بزرگتر از جریانی باشدکه ممکن است به‌وسیلهٔ جمع‌کننده بگذرد، یعنی بزرگتر از $\frac{E}{R_1}$ باشد. یك مثال عددی‌می‌زنم. ترانزیستوری می‌گیریم‌که ضریب بهرهٔ آن‌درجریان $\beta=30$ باشد. کافی‌است‌که مقاومت R_3 کمتراز ۳۰ برابرمقاومت R_1 باشد، تا اینکه‌حاصلضرب $\frac{E}{R_3}$ در β(۳۰) بزرگتر از $\frac{E}{R_1}$ باشد.



مبتدیـ تا اینجا مطالب شما را خوب فهمیدم، اما چیزدیگری هم‌هست. شما جریان‌هائی راکه درنتیجهٔ پرشدن یا خالی‌شدن خازن‌ها ممکن است به پایه‌ها بروند و یا ازآن خارج شوند، درنظر نمی‌گیرید.

مهندسـ این جریان‌ها فقط‌کارها را دیرتر راه‌تر می‌کنند. مثلا وقتی خازن C_1 ازراه مقاومت R_2 پرمی‌شود، جریان پرشدن آن به‌جریانی‌که ازراه R_3 به‌پایهٔ T_1 می‌رسد. افزوده می‌شود. بنابراین غیر از بهتر کردن موقعیت، کـار دیگـری نمی‌کند.

همزمانی



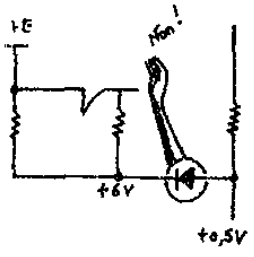
مهندسـ حالا ازدیود D که تابحال بکارنبرده بودم، استفاده خواهم‌کرد تا یك ضربهٔ منفی‌را، که از نقطه A از راه خازن C_3 فرستاده شده، بـه جمع‌کنندهٔ ترانزیستور T_1 بگذارم.

مبتدیـ مقاومت R_5 به چه درد می‌خورد؟

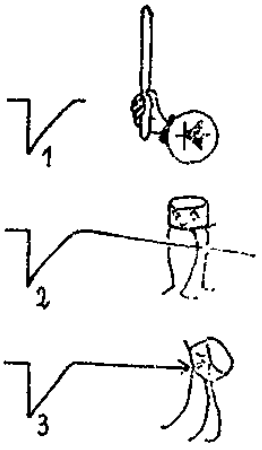
مهندسـ این مقاومت بطورساده برای اینست‌که اختلاف سطح متوسط‌کاتد دیود D را به‌مقدارE+ ثابت نگهدارد. به‌این‌ترتیب دیود D نمی‌تواند رسانا باشد مگرآنکه ترانزیستور T_1 مسدود باشد (چون این موضوع جمع‌کنندهٔ ترانزیستور T_1 ودرنتیجه آند دیود را به‌اختلاف سطح E+ وصل می‌کند) وکاتد دیود به‌وسیلهٔ ضربه‌ای‌که ازراه خازن C_3 می‌رسد، منفی شود.

مبتدیـ وحشتناك است! اگربه‌این‌ترتیب ضربه‌ای را روی جمع‌کنندهٔ T_1 بفرستید، کارمونتاژراکاملا برهم می‌زنید!

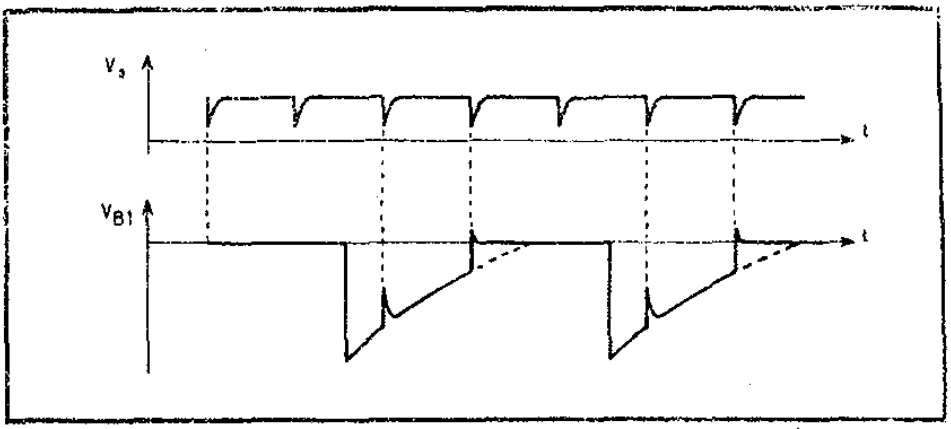
مهندسـ اقرار می‌کنم که قصدمن‌هم همین بود. فرض کنید که مثلاً ویبراتور چندجانبه میل داشته باشد که با فرکانس تکرار ۱۰۰ هرتز کار کند. به‌نقطه A مونتاژ ضربه‌های منفی با فرکانس ۳۳۰ هرتز می‌فرستیم. ابتدا فرض می‌کنیم که نخستین کار ویبراتورچندجانبه که همزمان با کاهش ناگهانی اختلاف سطح جمع‌کننده T_1 است، درست در لحظه‌ای به‌وجود بیاید که یك ضربه به A می‌رسد.



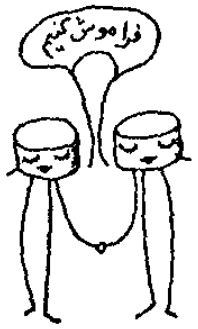
وقتی ضربهٔ بعد به A می‌رسد، خیلی احتمال دارد که ترانزیستور T_1 همانطور اشباع شده بماند. بنابراین ضربهٔ گذاشته شده به‌کاتد دیود، منتقل نخواهد شد. ضربهٔ بعدی ممکن است بازهم به حالت اشباع T_1 برخورد کند؛ پس آن هم اثری ندارد. سومین ضربه در لحظه‌ای بوجود می‌آید که ویبراتورچندجانبه روی نقطهٔ نوازن لحظه‌ای است. در اینحال T_1 مسدود است و پایه T_1 ازدوباره خارج‌شدن از مسدودی خیلی دور نیست. به‌این‌ترتیب سومین ضربه حالت توازن ویبراتور چند جانبه را کمی زودتر از آنکه خودش می‌کرد، ایجاد می‌کند. ۳ پریود ازیك علامت ۳۳۰ هرتزی، کمی کمتر ازیك‌صدم ثانیه طول می‌کشد. پس ازسه ضربهٔ تازه، دوباره شبیه به‌سه‌ضربهٔ نخست، همان وضعیت تکرار می‌شود؛ حالت توازن ویبراتور چند جانبه به‌سبب ضربهٔ دریافت شده در A دوباره کمی زودتر بوجود می‌آید. پس‌ویبراتور چند جانبه کمی‌زودتر از آنچه که خودش نوسان می‌کرد، نوسان می‌کند. این‌ویبراتور چندجانبه، علائمی با ۱۱۰ هرتز به ماخواهد داد، یعنی $\frac{1}{3}$ فرکانس گذاشته شده به ورودی آن (شکل ۸۰)



مبتدیـ در اینجا با شما موافق نیستم. نخستین باری که این ویبراتورچند جانبه را با خشونت مشخصی مجبور کردید خیلی زودتر ازموقع نوسان کند، باید در نتیجهٔ این کار نوعی تغییرشکل در ویبراتورچندجانبه بوجود آمده باشد. مرتبهٔ بعد، تغییرشکل بعدی حتماً به‌قبلی افزوده شده است. و بعد از ۲ یا ۳ پریود ویبراتورچند جانبه، این کار دیگر عملی نیست.



شکل ۸۰ ــ ضربه‌های گذاشته شده به‌نقطهٔ A، توازن دوبارهٔ ویبراتور چند جانبه را زودتر از آنکه خودبخود بوجود می‌آمد، ایجاد می‌کند. ویبراتورچند جانبه با فرکانسی نوسان می‌کند که برابر $\frac{1}{3}$ فرکانس ضربه‌های گذاشته شده به‌نقطهٔ A است.



مهندسـ دقیقاً نه آقای مبتدی. یك ویبراتورچندجانبه حافظه ندارد. یك بار که به‌حالت توازن درآمد، خواه خود بخود باشد یا زیر تأثیر ضربهٔ خارجی، در وضع کاملا مشخصی قرار می‌گیرد که بستگی به این ندارد که تحریك شده است یا نه.

مبتدیـ اگرخوب فهمیده باشم ویبراتورچندجانبهٔ شماکینه‌ای نیست.

مهندسـ الکترونیك به‌اندازهٔ‌کافی وسایل تجزیه و تحلیل روحی‌دراختیار نداردکه بتوان وضع روحی ویبراتورهای چندجانبه را شناخت. ساده‌تر بگوئیم، به عبارت فنی حافظه ندارد، وآنگهی این موضوع مشخصهٔ بسیار گرانبهائی برای ما است.

ثبات تقسیم

مبتدیـ درواقع این‌کارخیلی به‌نظرمن پیچیده نیست. امـا اگـر فرکانس ضربه‌های‌گذاشته شده به A را تغییردهم چه پیش می‌آید. مثلا اگر تعدادآنـرا به ۴۰۰ هرتز برسانم چه می‌شود.

مهندسـ ممکن است باز هم‌کارکند و ویبراتورچندجانبه رضایت بدهدکه کارش راکمی تندترکند وبه ۱۳۳ = ۳÷۴۰۰، هرتز برساند. اما همینطورامکان دارد وقتی همزمان با یك ضربه به‌توازن‌درآمد، پس ازگذشت سه‌ضربه، برای‌حساس بودنش دربرابرضربه هنوزخیلی زود بـاشد. دراین شرایط ضربـهٔ سوم را ندیده می‌گیرد وبطورساده روی ضربهٔ چهارم،کـه درست وقتی می‌رسدکه ویبراتـور چند جانبه میل دارد دوباره به‌توازن درآید، متوازن می‌شود. دراینصورت دستگاه‌دیگر به ۳ تقسیم نمی‌کند بلکه بر۴ تقسیم خواهدکرد.

مبتدیـ پس خیلی ثابت نیست؟

مهندسـ تاآنجا ثابت است‌که فرکانسی را که باید تقسیم‌کند، زیاد تغییر ندهید. چنین دستگاهی‌آماده نیست‌که هرفرکانس نامشخص‌را به‌یك عدد ثابت‌تقسیم کند. اگرفرکانس‌گذاشته شده به‌ورودی فقط تا حد ضعیفی تغییرکند، با این روش تقسیم‌کننده‌ای بسیارعالی ساخته‌اید.

مبتدیـ این چیزی است‌که به‌درد من می‌خورد چون خیلی دلم‌می‌خواست یك تقسیم‌کننده به ۸۱۹ داشته باشم تا ضربه‌هائی بـا فرکانس تعداد تصویرهـای تلویزیون به‌وسیلهٔ ضربه‌های با فرکانس خطوط داشته باشم بنابراین ویبراتورچند جانبه‌ای‌می‌سازم‌که تقریباًروی۲۵ هرتزاماکمی‌آهسته‌تر کارکند زیرا برایم‌گفتیدکه همزمانی غیراز تندترکردن کار دیگری انجام نمی‌دهد و ضربه‌هائی بـا فرکانس خطوط به‌آن خواهم داد.

819 = 9x7x13

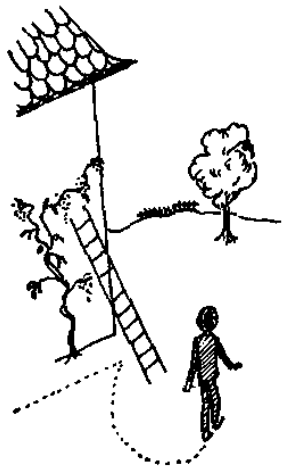
مهندسـ آقای مبتدی اگرموفق شوید یك سورحسابی بشما می‌دهم‌چطور می‌خواهیدکه ویبراتور چندجانبهٔ شماآنقدر زرنگ باشدکـه روی ضربهٔ همزمانی ۸۱۸ به‌توازن درنیاید وروی ضربهٔ ۸۱۹کاملا بکاربیفتد. واقعاً بین این دو ضربه وضع آن‌کمی تغییرکرده‌است. برای‌اینکار باید تنظیم‌جادوئی مطلق وباعدم ثبات‌کامل وجود داشته باشد.

با وجود این می‌توانید یك تقسیم‌کننده‌به۸۱۹ بسازید ولی یکباره‌ساخته

نخواهد شد. شاید توجه کرده باشید که ۸۱۹ حاصلضرب ۱۳ × ۷ × ۹ است. بنابراین درطبقهٔ اول فرکانس خط خودتان را به ۹ تقسیم می‌کنید. ضـربه‌های این نخستین ویبراتورچندجانبه به‌ویبراتوردوم گذاشته خواهد شد که آنرا به ۷ تقسیم می‌کند؛ این طبقهٔ دوم به‌ویبراتورچندجانبهٔ سوم می‌رسد که فرکانس وابسته را به ۱۳ تقسیم‌می‌کند. البته احتمال دارد که آخرین طبقه برای شما بیشتر اشکال ایجاد کند.

مبتدیـ آقای مهندس اگرخوب فهمیده باشم، خرافاتی هستید چـون از عدد ۱۳ می‌ترسید...

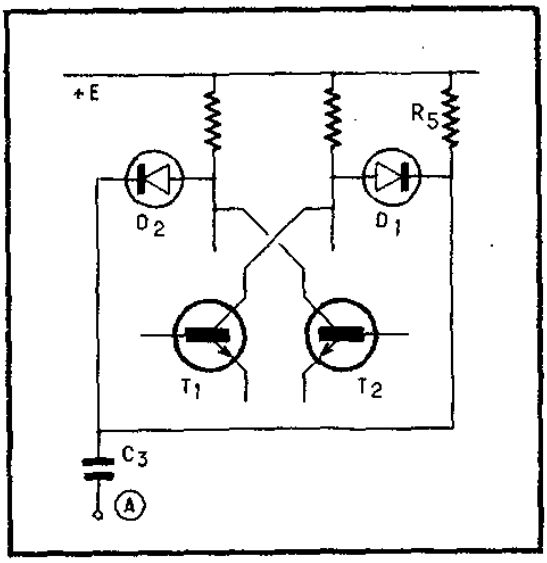
مهندسـ ضمانت می‌کنم که خرافات دراین میان هیچ نقشی ندارد. اگـر بجای ۱۳، ۱۵ یا ۱۷ بود بیشترپریشان می‌شدم. هرچه نسبت تقسیم بیشتر باشد، ساختن تقسیم‌کننده دشوارتراست؛ ویبراتورچندجانبه نباید روی ضربهٔ دوازدهم‌بکار بیفتد، اما روی ضربهٔ سیزدهم بطورمطمئن باید بکاربیفتد. انجام اینکارآسان‌نیست. با وجود این موفق به‌انجام اینکارمی‌شوند. بهرحال برای این نوع تقسیم‌کننده‌هـا ترجیح می‌دهند مونتاژهای پیچیده‌تری بکاربرند که ترجیح می‌دهم اکنون روی آن پافشاری نکنم چون این‌کار ما را ازموضوع دورخواهدکرد.



تقسیم به عدد زوج

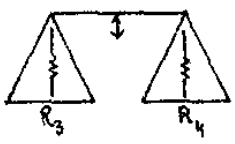
مبتدیـ خوب، ازشما متشکرم، اما می‌خواستم پرسشی بکنم. وقتی‌دربارهٔ عدد ۱۳ با شما صحبت‌کردم، بمن‌گفتیدکه ازتقسیم به ۱۵ یا ۱۷ بیشتر پـریشان خواهید شد. چرا فقط این عددهای فرد راگفتید؟

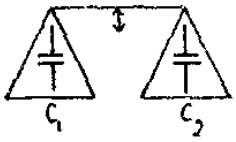
مهندسـ خیلی خوب‌کردیدکه به این مطلب توجـه داشتید. وقتی منظور تقسیم به عددهای زوج باشد، یك سیستم بسیار نبوغ‌آمیز وجود داردکه امکان‌میدهد آنرا با بهترین ثبات انجام داد. به شکل خلاصه‌ای‌که درشکل ۸۱ برایتان‌کشیده‌ام



شکل ۸۱ ــ مونتـاژ دودیودی که امکان می‌دهد ویبراتور چند جانبه بطورقرینه زیر اثرقرارگیرد تاآنرا روی هرنوسان همزمان سازد وتقسیم فرکانس به‌وسیلهٔ یك عدد زوج عملی گردد.

نگاه کنید. بقیهٔ ویبراتور چند جانبه را نکشیده‌ام ؛ فقط خاطـر نشان می‌کنم که ویبراتور چند جانبه بـا بیشترین دقت ساخته شده تـا به حد امکان قرینه باشد، یعنی در نبودن ، ضربه‌های همزمانی، میل دارد علائمی بدست بدهد که بسیار قرینه هم هستند در حالی که هر ترانزیستور در هر پریود به اندازهٔ ترانزیستور دیگر مسدود باقی می‌ماند . در این کار با برابر گرفتن مقاومت‌های R_3 و R_4 وهمچنین خازن‌های C_1 و C_2 شکل ۷۸ تا حد امکان موفق می‌شوند . مقدار مقاومتهای R_1 و R_2 اهمیت کمتری دارند .

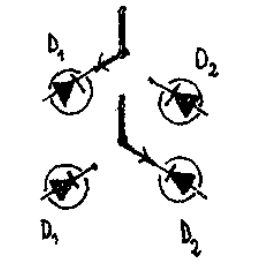




مبتدیـ تصور میکنم دو ترانزیستور انتخاب خواهید کرد که تا حدامکان شبیه هم باشند .

مهندسـ البته این کارهیچ زیانی ندارد، اما تقریباً بی‌سود است چـون ترانزیستورهای ما ازمسدود بودن به‌اشباع می‌رسند مثل کلید عمل می‌کنند.

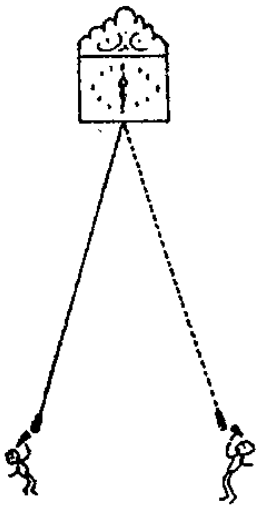
فرض کنید که ویبراتورچندجانبهٔ ما میل دارد با فرکانس تقریباً ۹۰ هرتز کار کند. درنقطه A به‌آن ضربه‌های ۴۰۰ هرتزی می‌گذاریم. این‌ضربه‌هـا درعین حال به‌کاتد دیودهای D_1 و D_2 گذاشته می‌شوند. فقط یکی ازاین‌دو دیود که آند آن به‌یك ترانزیستور مسدود متصل است می‌تواند ضربه را متصل کند. فرض کنید که یکی ازهمین ضربه‌ها نوسانی درویبراتورچندجانبه بـوجود بیاوردکـه T_1 را مسدود و T_2 را به‌اشباع برساند. ضربهٔ بعدی می‌تواند به‌جمع کننده T_1 برسد، چون این جمع‌کننده به‌اختلاف سطح E+ وصل است. اما در حالی که این ضربه $\frac{1}{400}$ ثانیه بعد ازتوازن می‌رسد، ویبراتورچندجانبه به‌اندازهٔ کافی دور ازلحظه‌ایست کـه خود بخود نوسان کند واگرضربهٔ فرستاده دامنهٔ مناسبی داشته باشد، بـرای ایجاد این توازن کافی نخواهد بود. در عوض ضربه بعدی $\frac{1}{200}$ ثانیه پس از یك توازن می‌رسد، یعنی کمی قبل ازلحظه‌ای که ویبراتورچندجانبه خودبخود به‌توازن درمی‌آید (یادآوری می‌کنم که ویبراتورخیلی قرینه است بنابراین هر توازن خود بخود در اینحال $\frac{1}{180}$ ثانیه ازتوازن قبلی دورتراست) پس این ضربهٔ دوم ویبراتورچندجانبه را به‌توازن درمی‌آورد؛ T_1 به‌اشباع می‌رسد و T_2 مسدود خواهد شد. حـالا D_2 است که می‌تواند ضربه‌ها را متصل کند. مثل حالت قبل، ضربه بعدی نمی‌گذرد یـا بطور دردست‌تر اثری ندارد؛ فقط ضربه بعد از آن است که توازن دیگری بوجود می‌آورد.



مبتدیـ دراینصورت بهیچوجه فایده ندارد چون ویبراتورچندجانبه شما، فقط با هردوضربه یکبار بکار می‌افتد؛ بنابراین با ۲۰۰ هرتز کارمی‌کند.

مهندسـ مبتدی عزیز بنظر می‌رسد که فراموش کرده‌اید که یك پریود کامل ویبراتورچندجانبه وابسته به‌دو نوسان است؛ تاحدودی‌مثل اینست که‌یك‌نوسان «رفت» و یك نوسان «برگشت» وجود دارد. به عبارت دیگر کاملا عادی است که ویبراتور چندجانبه ۲۰۰ باردرثانیه به‌توازن درآید. فرکانس واقعی آن ۱۰۰ هرتز خواهد بـود.

مبتدیـ فکرش را نکرده بودم! در واقع حق با شماست. اما خیلی جالب



است. اگرچه بخش بر۴ انجام می‌شود، ویبراتورچندجانبه برای هردوضربه‌ورودی یکبار بکارمی‌افتد. بنابراین درکارخودش بیشتر ثبات دارد.

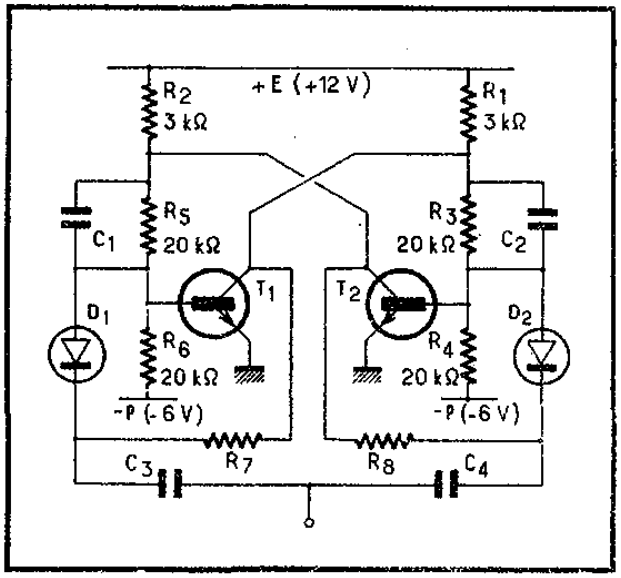
مهندس- البته وبهمین خاطر بود که چند دقیقه قبل بشما گفتم، بخش بر۱۳ دشوار وبخش بر۱۵ دشوارتر وبر۱۷ ازهردودشوارتر است... برعکس بخش بر۱۴ خیلی آسان‌تر ازتقسیم بر۱۳ است.

بخش بر ۲

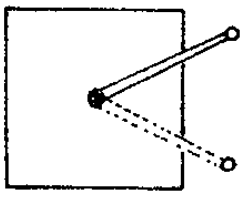
مبتدی- من به‌فکرمطلبی هستم و آن اینست که اگرلازم بود بـر ۲ بخش کنند، تقریباً کارکاملی داشتیم چون ویبراتور چندجانبه با هر ضربهٔ ورودی بکار می‌افتاد.

مهندس- آقای مبتدی کاملا حق با شماست وحتی راهی به‌شما می‌آموزم که بخش بر۲ را برایتان مطلقاً کامل وبکلی مستقل ازفـرکانس انجام دهد. بـرای اینکارشمارا با یك‌مونتاژ تازه‌آشنامی‌کنم که قپان‌کنندهٔ دوثابتی‌یا قپان‌کننده‌اکلس-جردان نام دارد. شکل خلاصه‌آنرا اینجا برایتان می‌کشم (شکل ۸۲).

مبتدی- عجب، عجب! چقدربنظرپیچیده می‌آید!

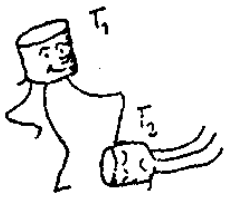


شکل۸۲- مونتاژ دوثابتی، که «اکلس - جردان» گفته‌میشود، با دودیود که برای فرستادن ضربه‌هـای نوسان‌ساز به سوی ترانزیستوری که اشباع شده است، بکارمی‌روند.

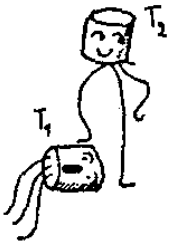


مهندس- شاید درهم باشد، اما واقعاً پیچیده نیست. در اینجا شباهت‌هائی با ویبراتورچندجانبه‌شکل ۷۸ می‌بینید، مثلا وقتی‌که یکی ازدوترانزیستورجریان می‌دهد، به‌وسیله فشارجمع‌کننده‌اش روی پایهٔ ترانزیستوردیگراثرمی‌کند. برعکس آنچه‌که درویبراتورچندجانبه شکل ۷۴ وجود داشت، دراینجا ارتباط‌هـای مستقیم بین هرجمع کننده و پایهٔ ترانزیستور مقابل داریم. به‌این ترتیب است‌که مثلا اگر ترانزیستور T_1 جریان بدهد (دروضع‌اشباع اگرممکن باشد). اختلاف سطح جمع کنندهٔ آن خیلی‌کم است. به‌وسیلهٔ تقسیم‌کنندهٔ‌فشار R_4—R_3، اختلاف سطح پایه‌T_2

را به مقداری که کمی منفی است می‌رساند که اینکار عملا T_2 را مسدود می‌کند. برعکس اگر T_1 مسدود شود، اختلاف سطح جمع‌کننده‌اش در حدود E+ است. بنابراین پل مقاومتی R_3-R_4 میل دارد پایهٔ ترانزیستور T_2 را به یك فشار مثبت برساند. در واقع این پایه به زحمت مثبت می‌شود و جریان پایه یك نوع برش سربرای فشاری‌که به‌وسیلهٔ مقاومت‌های R_3 و R_4 به سوی آن برده می‌شود، ایجاد می‌کند.

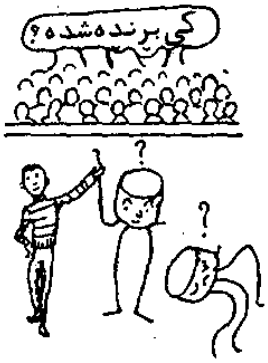


مبتدیـ تقریباً گفته‌های شما را فهمیدم، امـا یك مثال عددی خوشحالـم خواهد کرد.



وضعیت کار یك اکلس ـ جردان

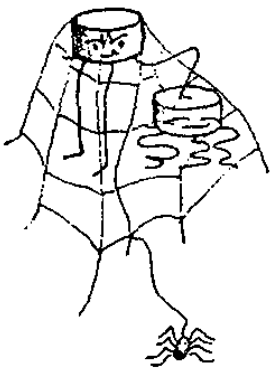
مهندسـ گمان می‌کنم اگر به‌شکل ۸۲ نگاه‌کنید، راضی مـی‌شوید: بین پرانتز مقدار فشارهای تغذیه E+، یعنی $^{V}۱۲$، پلاریزاسیون P− (که در اینجا $^{V}۶-$ است) وهمینطور مقدارمقاومت‌هارا مشخص‌کرده‌ام. فرض‌کنیدکه T_1جریان بدهدوعملادراشباع‌باشد،بنابراین‌اختلاف‌سطح‌جمع‌کننده‌اش بـه صفررسیده است، در نتیجه جریان جمع‌کننده‌اش درحدود ۴mA است چون این جمع‌کننده به‌وسیلهٔ‌یك فشار۱۲ ولت ازراه مقاومت R_1که$^{K\Omega}۳$ است تغذیه می‌شود. پس دومقاومت R_3 و R_4 که با هم برابرند پایه T_2 را به اختلاف سطح $^{V}۳-$ مـی‌رسانند. بنابراین این ترانزیستورکاملا مسدود خواهد بود.



حالا فرض‌کنیدکه T_1 مسدود باشد. بنابراین اختلاف سطح جمع‌کننده‌اش درحدود $^{V}۱۲+$ است، دراینحال پل مقاومتی R_3-R_4 میل دارد پـایهٔ T_2 را به اختلاف سطح $^{V}۳+$ برساند، البته این پایه به‌زحمت به‌اختلاف سطح $^{V}۰/۳$ (مقدار معمولی فشارپایهٔ ارسال‌کننده دریك ترانزیستورژرمانیومی‌که‌بطورعادی‌کارمی‌کند) می‌رسد. دراین شرایط، به‌آسانی‌می‌توان حساب‌کردکه به‌این پایه ازراه مقاومت‌های R_1 و R_3 که رویهم $^{K\Omega}۲۳$ است جریانی می‌رسدکه $^{A}۰/۰۰۰۵۲ = \frac{۱۲}{۲۳۰۰۰}$ یا $^{mA}۰/۵۲$ است. از طرف دیگر ازراه مقاومت R_4 جریانی برابر:

$^{A}۰/۰۰۰۳ = \frac{۶}{۲۰۰۰۰}$ یا $^{mA}۰/۳$ عبورمی‌کند. بنابراین پـایه، اختلاف بین این دوجریان یعنی $^{mA}۰/۲۲ = ۰/۳ - ۰/۵۲$ را دریافت مـی‌کند. اگـر ضریب بهره جریان درترانزیستور فقط بیشتراز۲۰ باشد، مطمئن خواهیم بودکـه‌آنرا به اشباع‌رسانده‌ایم چون فراموش‌نکنیدکه جریان جمع‌کننده‌اش حداکثر برابر ۴mA است.

مبتدیـ خوب، درواقع می‌بینم‌که درمونتاژشما، وقتی یکی ازترانزیستورها جریان می‌دهد، دیگری را مسدود می‌کند، درعـوض وقتی یکی ازترانزیستورهـا



مسدود است، دیگری را به اشباع می‌رساند. اما چیزی که می‌خواستم بدانم اینست که کدامیك مسدود و کدامیك اشباع خواهد بود؟

مهندس- آقای مبتدی، دقیقاً برای پاسخ به‌پرسش شما ناتوانم. در واقع خیلی احتمال دارد که درمدتی‌که T_2 اشباع است، T_1 مسدود باشد، بهمین ترتیب امکان داردکه وقتی T_2 مسدود است، T_1 اشباع باشد.

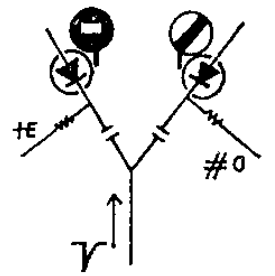
مبتدی- دراینصورت مونتاژشما نمی‌داند چه می‌خواهد!

مهندس- بی‌آنکه واردبحث روانشناسی شوم، فقط به‌شما می‌گویم که‌مونتاژ موردنظریك «دوثابتی» است. قبلا همراه با قپان اشمیت شکل ۶۱، وقتی فشارپایهٔ ترانزیستور T_1 بین دومقدارآستانه قرارداشت، با آن برخوردکرده‌اید.

مبتدی- پس این مونتاژمی‌تواند مدتی بـا وضع T_1 مسدود و T_2 اشباع شده ویا برعکس آن باقی بماند.

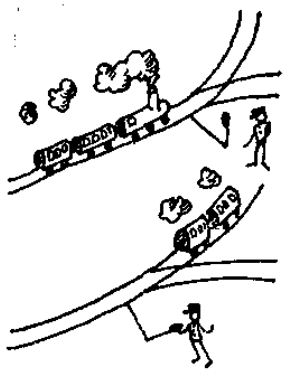
مهندس- باگفته شما موافقم، با این شرط‌کـه نگوئید «مـدتی». در واقع وقتی مونتاژشکل ۸۲ دریك وضع مشخص است، ممکن است تا موقعی‌که وضعش را تغییر نداده‌اند، تا بی‌نهایت درهمان حال بماند.

آغاز بکار اکلس- جردان



مبتدی- دراینصورت چگونه «وضعش را تغییرمی‌دهید»؟ (ازهمان اصطلاح خودتان استفاده‌کردم).

مهندس- دراینجاست‌که دیودهای D_1 و D_2 دخالت می‌کنند. فـرض کنیم که مونتاژدروضعیتی است‌که T_1 مسدود و T_2 اشباع است. می‌بینیم‌که دراین‌شرایط کاتد دیودها ازراه مقاومت‌های R_7 و R_8 به اختلاف سطح‌هائی وصل شده‌اندکه‌از اینقرارهستند: کاتد D_1 تقریباً به $+12^V$ وکاتد D_2 تقریباً به اختلاف سطح‌صفر. یك ضربهٔ منفی به نقطه A می‌فرستیم؛ خازن‌های C_3 و C_4 این ضربه را در یك زمان به‌کاتدهای دو دیود منتقل می‌کنند. اما چون‌کاتد D_1 به $+12^V$ وصل است، درحالی‌که‌آند آن به اختلاف سطح منفی وصل است (T_1 مسدود)، ضربه‌ای بابیش از 12^V لازم است تا بتواند D_1 را رسانا سازد. درعوض‌کاتد D_2 به‌اختلاف سطح صفر(یا تقریباً صفر) وصل است وآند آن اختلاف سطحی دارد که نزدیك به صفر ویا بسیارکم مثبت است (گفتیم‌که ۰/۲ یا ۰/۳ ولت است). بنابراین فقط دیـود D_2 رسانا خواهد شد. یك ضربـهٔ منفی به پـایه T_2 گذاشته خواهد شدکه مسدود می‌گردد. افزایش فشاروابستهٔ به‌جمع‌کنندهٔ آن به‌وسیله پل R_6ـ R_5. وبه‌ویژه به‌وسیله خازن C_1 که‌کناره‌های عمودی را بخوبی انتقال می‌دهد، به‌پایه T_1 منتقل‌شده‌وآنرا ازحالت مسدود بودن خارج می‌کند. بنابراین دستگاه تغییر وضع داده است.



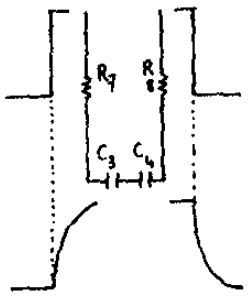
مبتدی- خوب تا اینجا متوجه شدم. اما ضربه بعدی همین اثررا دارد. در حالی‌که باید اثرمعکوس داشته باشد تا مونتاژرا بحالت اولیه برگرداند.

مهندس- مبتدی عزیز، بنظرم فراموش‌کرده‌ایدکه ترانزیستور T_1 رسانا شده است درحالی‌که T_2 مسدودگردیده است. بنابراین پس‌ازنوسان، مقاومت R_7 به‌تدریج آند دیود D_1 را به اختلاف سطحی نزدیك به‌صفرمی‌رساند؛ درهمین‌مدت

مقاومت R_8 به تدریج اختلاف سطح کاتد D_2 را به مقداری نزدیک به $+12^V$ می‌رساند. اگر به‌اندازهٔ کافی صبر کنید و سپس ضربهٔ بعدی را بفرستید، می‌بینید که وضعیت پلاریزاسیون‌های کاتد دیودها نسبت به آنچه که قبل از نخستین ضربه بود، معکوس شده است. بنابراین وقتی ضربهٔ دوم می‌رسد، عمل معکوس انجام می‌شود یعنی این ضربه مونتاژ را به‌وضع اولیه برمی‌گرداند.

مبتدیـ این دستگاه بسیار نبوغ‌آمیز است. در واقع دیودهای D_1 و D_2 نقش یك سوزن‌بان راه‌آهن را بازی می‌کنند که ضربه را به‌طرف ترانزیستوری می‌فرستند که درست برای مسدودشدن به‌آن نیازدارد.

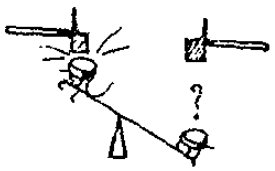
مهندسـ کاملا حق دارید، منظورهمین سوزن‌بانی است. اما به‌ویژه توجه شما را به نقشی که مقاومت‌های R_7 و R_8 و همچنین خازن‌های C_3 و C_4 در کار این سوزن‌بانی بازی می‌کنند، جلب می‌کنم. یکبار که مونتاژ بـه توازن درآمد، تغییر اختلاف سطح‌های کاتد دیودهای D_1 و D_2 بـه تدریج انجام می‌شود، درواقع باید زمان لازم را برای اینکه C_3 ازراه مقاومت R_7 و C_4 ازراه مقاومت R_8 پرشوند، حساب کرد. درواقع سوزن‌بانی کاملا مؤثری وجود داردکه به‌وسیلهٔ وضعیت قبلی‌قپان فرمان داده‌شده است. نقش تأخیراندازی مدارهای $R_7 - C_3$ و $R_8 - C_4$ اساسی است و برای اینکه مقایسهٔ راه‌آهنی شما راکامل‌کرده باشم می‌گویم که همین‌نقش از انجام‌کارسوزن‌بانی (تعویض مسیر) درلحظهٔ عبورترن جلوگیری می‌کند.

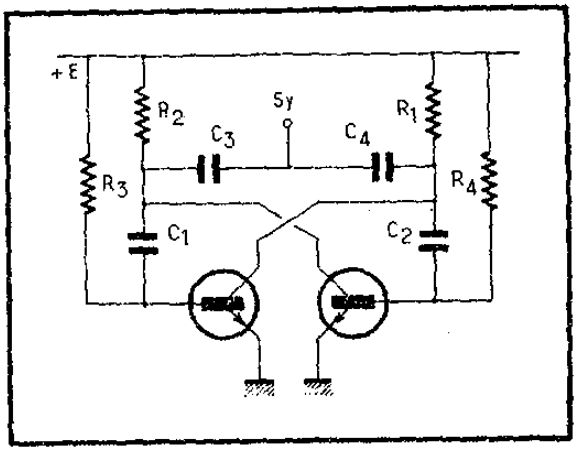


مبتدیـ با وجود این چنین چیزی درمونتاژشکل ۸۱، که درآن دیودهای D_1 و D_2 نقش یك سوزن‌بان مشابه را بازی می‌کنند وجود ندارد...

دیودهائی‌که سوزن‌بان نیستند

مهندسـ بهیچوجه آقای مبتدی؛ دراینجا مرتکب اشتباه متداولی می‌شوید، اما دلم می‌خواهد مثل همه مردم عمل نکنید... درمونتاژ شکل ۸۱، دیودهای D_1 و D_2 به منظور بازی کردن نقش یك سوزن‌بان گذاشته نشده‌اند. تنها هدف آنها اینست که به‌ضربهٔ منفی‌که باید توازن ایجادکند اجـازه بدهند تا به‌سوی یکی از



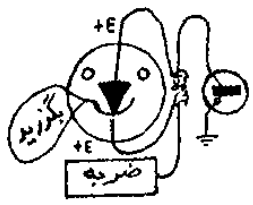


شکل ۸۳ ــ برای تقسیم یك فرکانس به عدد زوج‌وبیراتور چند جانبهٔ دودیودی را روی دو جمع کننده‌اش همزمان می‌کنند و وبیراتورچندجانبه را تا حد امکان قرینه‌درست می‌کنند.

جمع‌کننده‌ها برود، درحالی‌که همین جمع‌کننده پس از آن، مثل اینست‌که ازمنبع ضربه جدا شده است. درمونتاژ شکل ۸۱ می‌توانستم با دشواری زیاد اینکار را در نقطهٔ A انجام بدهم وبه‌وسیلهٔ دوخازن‌کوچك C_3 و C_4 (شکل ۸۳) ضربه‌ها را به دوجمع‌کننده بفرستم...

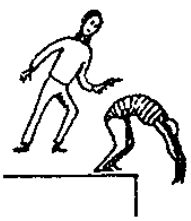
مبتدیـ آه، نه دیگر! دراینصورت آنها را فقط به جمع‌کنندهٔ ترانزیستور مسدود نخواهید فرستاد بلکه به‌دیگری هم می‌فرستید.

مهندسـ آقای مبتدی، انتظاردارید ترانزیستور اشباع شده با دریافت ضربهٔ منفی روی جمع‌کننده‌اش چه‌کاری بکند؟ تأثیر آن بهمان اندازه است که روی تنهٔ درخت تنومندی داغ‌کوچکی بگذارید. جمع‌کنندهٔ چنین ترانزیستوری وقتی به‌این‌ترتیب زیر تأثیر قراربگیرد، این ضربه منفی را به پایهٔ ترانزیستور مسدود می‌فرستد، که قطعاً اینکار نمی‌تواند آنرا بیشترمسدودکند. فقط ترانزیستور مسدود است‌که دربرابرضربهٔ منفی وارد شده روی جمع‌کننده‌اش حساس است وآنرا از راه خازن ارتباطی به‌پایهٔ ترانزیستور اشباع شده می‌فرستدوبه‌این‌ترتیب است‌که‌توازن آغاز می‌شود.



مبتدیـ پس دراینصورت چرا یك خازن C_3، یك مقاومت R_5 و دو دیود D_1 و D_2 که بهای‌آنها زیاد است بکاربرده‌اید؟ چون فقط دوخازن‌کافی است.

مهندسـ ابتدا دربارهٔ بهای آنها بگوئیم‌که یك دیود خوب،گرانتر ازیك خازن نیست. اما بعد، اگر این دیودها را بکار برده‌ام برای اینست‌که به‌ویبراتور چندجانبه‌امکان بهترکارکردن داده شود. وجود دوخازن‌که‌به‌هریك ازجمع‌کننده‌ها می‌رود درحالی‌که همین خازن‌ها ازسوی دیگر به‌نقطهٔ A متصلند‌که ازآنجاضربه‌های منفی می‌رسد، ممکن بودکار ویبراتورچندجانبه‌را دچاراغتشاش کند. درعوض بابکاربردن دو دیود D_1 و D_2 درشکل ۸۱، آن دیودی که اول رسانا می‌شود، یك ضربه را به‌جمع‌کننده ترانزیستور مناسب منتقل می‌کند، پس‌ازآنکه توازن بوجود آمد، این دیود مسدود می‌شود. وضع کارطوری است‌که بنظرمی‌رسد در این لحظه منبع ضربه‌ها را ازویبراتورچند جانبه جداکرده‌اند.



مبتدیـ پس این دیودهـا نقش سادهٔ یك‌کلید را بازی می‌کنند. می‌توان بجای‌آنها دوکلیدکوچك‌گذاشت‌که پس ازفرستادن ضربه آنرا قطع‌کنند.

مهندسـ دراصل بله. اما اگربتوانید قطع ووصل‌کلیدهای خود را با تقریب $\frac{1}{4}$ میکروثانیه انجام‌دهید ووقتی لازم باشد اینکاررا ۲۰۰۰۰ باردرثانیه‌انجام دهید، تشویقتان می‌کنم ازکارتان دست بکشید ودریك سیرك نمایش بدهید.

مبتدیـ البته! اما چیز دیگـری هم هست که‌کمی ناراحتم می‌کند و آن اینست‌که آیا در مونتاژشکل ۸۲ دیودهای سوزن‌بانی D_1 و D_2 همین نقش جدا کنندهٔ منبع ضربه‌ها وقپان را بازی نمی‌کنند؟

مهندسـ چرا، کاملا درست است. چون این دیودها درعین‌حال دیودهـای سوزن‌بانی ودیودهای جداسازی منبع ازقپان هستند. دروضع مونتاژهای شکل ۷۸ و ۸۱ دیودها فقط نقش جداکنندهٔ‌منبع ومونتاژبکارافتاده را بازی می‌کردند. برای اینکه بهترمتوجه شوید، تشبیه مکانیکی آنرا برایتان‌می‌گویم. تعدادی شیرجه‌رودرا درنظربگیریدکه پشت سرهم ازروی سکوبه‌آب می‌پرند، درحالی‌که مربی شنا آنها

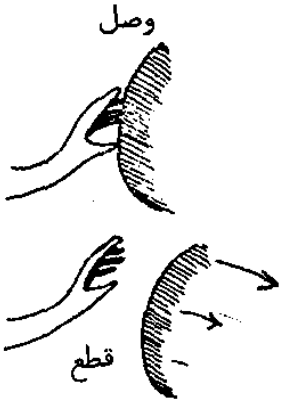
را همزمان می‌کند به‌این‌ترتیب‌که روی پشت شیرجه‌روئی‌که آماده پریدن است ضربه‌ای می‌زند بطوری‌که اوراکمی زودتر اززمانی‌که درنظردارد شیرجه برود به آب بیندازد...

مبتدیـ دراینصورت، برای بدبختی‌که قبل ازلحظه‌ای‌که انتظارداردبه‌آب پرت می‌شود، نتیجه شوم است!

مهندسـ نه، مطمئن‌باشید! پیش‌انداختن حرکت خیلی‌کم است. شیرجه‌رو همان‌موقع آماده پریدن است. حالا بررسی‌کنیم‌که مربی شنا چگونه‌کارمی‌کند. او شیرجه‌رو را به جلو می‌راند تا اینکه حرکت‌کند. بنابراین باید ارتباط مکانیکی بین مربی شنا و شیرجه‌رو یك جانبه باشد. به عبارت دیگر مربی شنا باید بتواند شیرجه‌رو را به‌جلوبراند اما نباید به وسیلهٔ اوکشیده شود. اگر مربی شنا بجای فشاردادن دست به‌پشت شیرجه‌رو، محکم شانه‌های اورا بگیرد، دوحالت وجوددارد: یا مربی خوب جاگرفته است تا مانع شودکه شیرجه‌رو اورا بطرف‌آب بکشد و یا اینکه به‌وسیله اوکشیده می‌شود وبا اوشیرجه می‌رود...

مبتدیـ کارخوبی می‌کند!

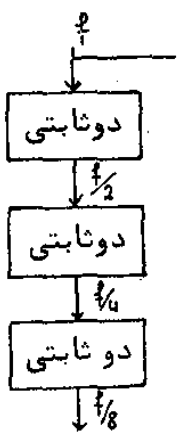
مهندسـ آن یك داستان جداگانه است. می‌بینید آقای مبتدی، در این حالت، مثل وضع بکارافتادن یك ویبراتور چندجانبه یا هرچیزدیگر، ارتباطی لازم است‌که جزدریك جهت عمل نکند و بمحض اینکه توازن شروع شد قطع‌کند. همین نقش است‌که همیشه دیودها بازی می‌کنند؛ همینطور دربعضی موارد می‌توانند نقش سوزن‌بان را بازی‌کنند همانطورکه این وضع درمونتاژشکل ۸۲ دیده می‌شود. حالا پس ازاین گفتگوی درازدربارهٔ نقش دیودها وخارج شدن ازموضوع، به‌کاراین‌مونتاژ برمی‌گردیم.



توازن اکلس ـ جردان

مبتدیـ گمان می‌کنم اکنون همه‌چیزراگفته باشید به این‌ترتیب‌که هربار که یك ضربه به A می‌رسد، مونتاژ تغییر وضع می‌دهد. بنابراین باید دو ضربه درنقطه A داشت تا مونتاژ به‌وضع اولیه برگردد.

مهندسـ درست است. کار مجموعه را بدرستی فهمیده‌اید. پس می‌بینیدکه این دستگاه می‌تواند برای بخش کردن یك فرکانس، که هرچه می‌خواهد باشد، به ۲ بکاربرود. به این دستگاه بخش‌کنندهٔ **غیر دوره‌ای** می‌گویند. اگرعلائم تهیه شده روی جمع‌کنندهٔ این‌مونتاژرا بکاربیریم وآنرا به‌وسیلهٔ یك‌مدارمشتق‌گیرنده‌ازنوع مدارشکل ۶۴ به‌ضربه تبدیل‌کنیم، می‌توانیم به وسیلهٔ آن قپان دوثابتی دیگری را تحریك‌کنیم وبه‌این‌ترتیب تقسیم برعدد ۴ را عملی‌کرده‌ایم. می‌بینیدکه بااین‌روش می‌توانیم به‌سادگی تقسیم فرکانس‌ها را به۴، ۸، ۱۶، ۳۲،.... عملی‌کنیم.



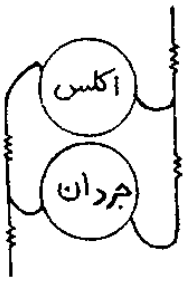
مبتدیـ تصورمی‌کنم نخستین تقسیم‌کننده درمیان این تقسیم‌کننده‌هاست‌که حداکثر سرعتی راکه مونتاژمی‌تواند باآن‌کارکند، محدود می‌کند. تکامل‌معمولی دستگاهها تا چه اندازه است؟

مهندسـ یك قپان مانند شکل ۸۲ را می‌توان بسیارآسان‌بافرکانس‌های ۵ یا ۶ مگاهرتز بکار انداخت با انتخاب خوب ترانزیستورها و با مقاومت‌هائی

کمتر ازمقدارهائی که برای شما مشخص کرده‌ام، بخوبی موفق می‌شوند فرکانس‌هائی را که تا ۳۰ مگاهرتزهم می‌رسند، بخش کنند.

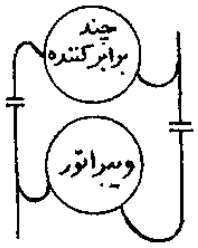
توجه خواهیدکردکه این دستگاه تا چه اندازه پاسخگوی نیازهای ساخت یك بخش کننده کامل است چون همین قپان که با دریافت ضربه‌هائی با فرکانس ۳۰ ملیون درثانیه، درخروجی علائمی بافرکانس ۱۵ ملیون پریوددرثانیه بدست می‌دهد، با دریافت چهارضربه درثانیه به‌همان روش کار می‌کند و در خروجی علائمی بدست می‌دهدکه فرکانس آن ۲ هرتزاست.

مبتدیـ این مدار بسیار جالب است. افسوس که فقط به ۲ قسمت می‌کند (یا ۴، ۸، ۱۶،...)



مهندسـ دستگاههائی با چند وضع ثابت وجود دارندکه امکان‌می‌دهندبخش بر اعداد دیگری غیراز۲ به همین تکامل انجام شود، این اعداد ممکن است ۳، ۴، ۵ ویا هرمقدار دیگرباشد. این مجموعه‌ها براساسی شبیه به اساس مونتاژ شکل ۸۲ استوارند. این دستگاهها کمی مفصل‌تر هستند و جزئیات آنها را وقتی دربارهٔ شمارش گفتگو می‌کنیم، خواهیم دید.

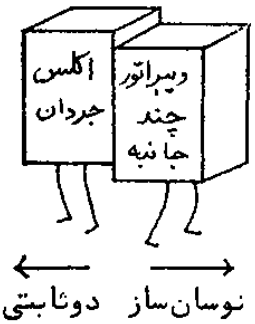
مبتدیـ بیچاره من! قپان اکلس‌ـجردان شما بخودی خود پیچیده بود! اگر بخواهید چیزهای پیچیده‌تری برایم‌بگوئید، احساس می‌کنم‌که مغزمن‌نمی‌تواند مقاومت‌کند.



مهندسـ آقای مبتدی ناراحت نشوید؛ این‌کار را خیلی به‌تدریج انجام می‌دهیم وخواهید دیدکه درباطن بی‌نهایت‌کمتر ازآن پیچیده است‌که با نگاه‌کردن به‌شکل‌آن تصورمی‌شود.

مبتدیـ امیدوارم‌اینطور باشد. درواقع‌فهمیدن‌کاریك‌مونتاژ، اگربتوان‌آنرا بامونتاژی‌که‌قبلا شناخته‌ایم مقایسه‌کرد، کمی‌آسانتراست. به‌این‌ترتیب بین اکلس‌ـ جردان شکل ۸۲ و ویبراتورچندجانبهٔ‌شکل ۷۸ شما بنظرمن بعضی شباهت‌هاوجود دارد. اختلاف اساسی‌آن دو دراینست‌که در ویبراتورچند جـانبه، ارتباطهای یك جمع‌کننده با پایهٔ ترانزیستورمقابل ازراه خازن‌ها برقرارمی‌شود. درمونتاژاکلس‌ـ جردان ارتباط همیشگی به‌وسیله پل‌های مقاومتی برقراراست.

قپان یك‌ثابتی



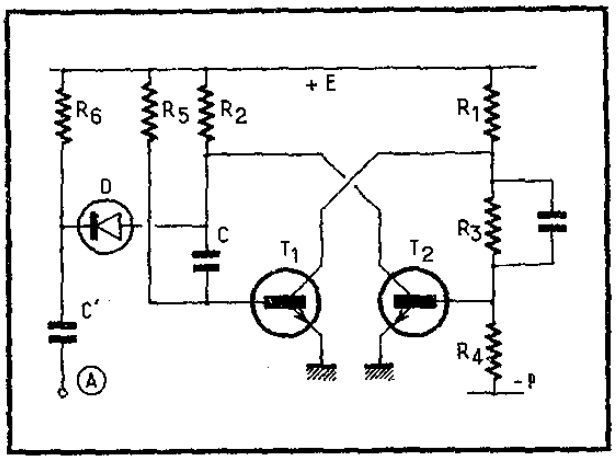
مهندسـ آقای مبتدی‌کاملا حق با شماست. حالاکه می‌بینم خوب و سرحال هستید. دربارهٔ مونتاژتازه‌ای‌برایتان صحبت‌می‌کنم‌که تقریباً فرزند مونتاژهای‌شکل ۸۲ وشکل ۷۸ است واین مونتاژرا بطورخلاصه‌درشکل ۸۴ کشیده‌ام.

مبتدیـ این دیگرمخلوط شگفت‌آوری است چون ترانزیستور T_1 به‌وسیلهٔ تقسیم‌کنندهٔ فشار R_3-R_4 باترانزیستور T_2 تزویج شده است همانطورکه درمونتاژ اکلس ـ جردان دیده می‌شود در حالی‌که جمع‌کننده T_2 مثل ویبراتور چندجانبه شکل۷۸ به‌وسیلهٔ خازن C با پایهٔ ترانزیستور T_1 تزویج شده است. دراین حالت این مونتاژ نوسانی است یا دوثابتی؟

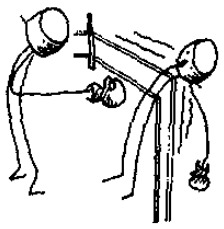
مهندسـ نه‌اینست و نه‌آن. درواقع ویبراتورچندجانبه شکل۷۸ بطبقه‌ای ازمونتاژها تعلق‌داردکه«ثابتی‌ها» نام‌دارد، یعنی درشمارمونتاژهائی است‌که نمی‌توانند

دریك وضع نامشخص بمانند چون درنتیجهٔ دگرگونی ناگهانی که دریك لحظه بوجود می‌آید ویا دراثر یك ضربهٔ راه‌انداز کمی شتاب پیدا می‌کنند و ازآن وضع خارج می‌شوند. مونتاژشکل ۸۴ وضعی داردکه درآن تا بی‌نهایت می‌تواند بـاقی بماند و این وضعیتی است که در آن ترانزیستور T_1 در اشباع جریان می‌دهد در حالی که ترانزیستور T_2 را مسدود می‌کند، درست همانطور که در اکلس ــ جردان پیش می‌آید.

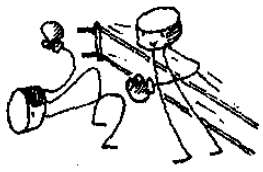
مبتدیــ دراینصورت یك مونتاژدوثابتی مانند قبل است.



شکل ۸۴ــ مونتاژ یك ثابتی، مخلوطـی از ویبراتور چند جانبه و مونتاژ دو ثابتی‌است که می‌توان آنرا بـا گذاشتن ضربه در A به‌توازن درآورد و خود بخود به حال اول‌بر- می‌گردد.



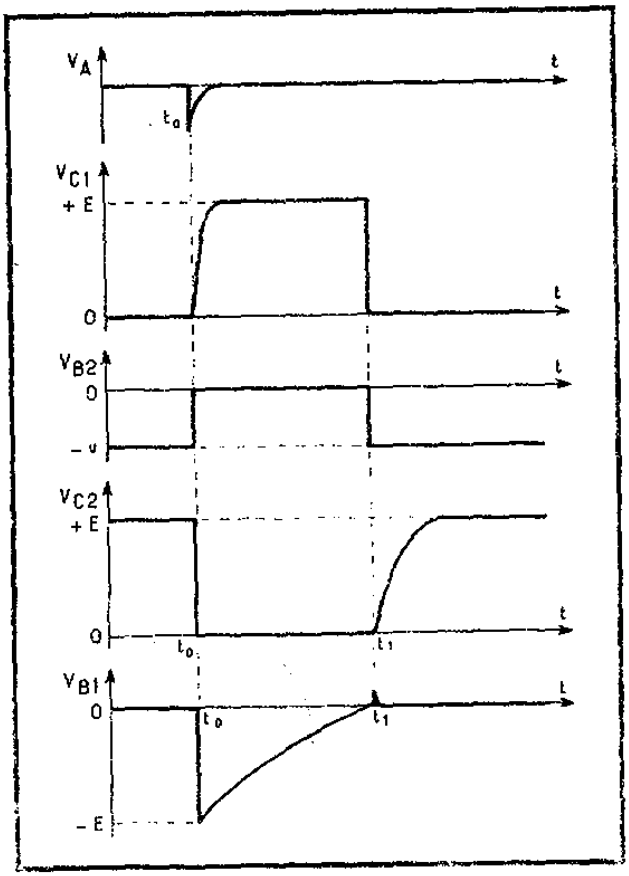
مهندســ نه‌آقای مبتدی‌این مونتاژدوثابتی نیست، یك‌ثابتی است.درواقع اگریك ضربهٔ منفی به‌نقطه A گذاشته شود، از راه خازن C′ به‌کاتد دیود D منتقل خواهد شد؛ این ضربه از راه این دیود و خازن C، میل دارد ترانزیستور T_1 را مسدودکند. بمحض اینکه جریان این ترانزیستور آغاز به‌کم‌شدن‌کند، افزایشی در اختلاف سطح جمع‌کننده‌اش بـوجود می‌آید (افت فشار در R_1 کاهش می‌یابد) این افزایش‌به پایه‌ترانزیستورT_2 انتقال می‌یابدکه شروع به‌جریان دادن‌می‌کند. اختلاف سطح جمع‌کننده T_2 کاهش می‌یابد، این‌کاهش‌که ازراه خازن C به‌پایه ترانزیستور T_1 منتقل می‌شود عمل ضربهٔ اصلی را تقویت می‌کند تا اینکه به‌مسدودکردن‌کامل T_1 وکارT_2 درحال اشباع کشانده شود.



مبتدیــ این همانست که به شما می‌گفتم چون این دومین حالت ثابت است!

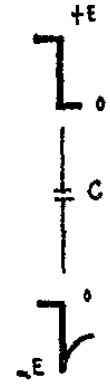
مهندســ نه این حالت نمی‌تواند تا بی‌نهایت برقرارباشد چون فراموش نکنیدکه حالا اختلاف سطح پایه T_1منفی است. جریانی ازراه مقاومت R_5خواهد گذشت، این جریان می‌خواهد اختلاف سطح پایه T_1 را زیادکند درعین‌حال‌خازن C به‌وسیله همین جریان خالی خواهد شد. بمحض اینکه پـایه T_1کمی مثبت شد، T_1 دوباره شروع به‌جریان دادن می‌کند، اختلاف سطح جمع‌کننده‌اش پائین‌خواهد آمدکه میل دارد جریان دادن T_2 راکم‌کند ودرنتیجه اختلاف سطح جمع‌کننده T_2 را بالا می‌برد. این بالا رفتن اختلاف سطح‌که به وسیلهٔ خـازن C به T_1 گذاشته

می‌شود به دگرگون شدن مجموعه شتاب بیشتری می‌دهد تا اینکه T_1 دوباره اشباع و T_2 مسدود شود.



شکل ۸۵ــ شکل موجهای یك ثابتی شکل۸۴

مبتدیــ تمام این پدیده‌ها که همزمان بوجود می‌آیند وروبهم اثرمی‌کنند بی‌نهایت پیچیده هستند ومن بەزحمت می‌توانم آنها را بفهمم.



علائم قپان یك‌ثابتی

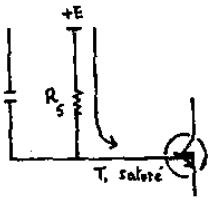
مهندســ برای کمك به شما، درشکل ۸۵ منحنی‌هـای نمـایش تغییرات اختلاف سطح‌های گوناگون الکترودهای مونتاژ را برحسب زمان کشیده‌ام. می‌بینیم که در A، درلحظه t_0 یك ضربهٔ منفی به مونتاژ گذاشته‌اند. در این لحظـه اختلاف سطح جمع‌کنندهٔ T_1 مـی‌خواهد به $+E$ افـزایش یابد. این افزایش از راه پل R_3-R_4 به‌پایهٔ ترانزیستور T_2 که دراصل با فشار $U-$ مسدود شده انتقال می‌یابد وبه‌این ترتیب اختلاف سطح آن کمی بالای صفر می‌رسد. همانطورکه می‌بینید، این موضوع خارج شدن T_2 ازمسدودبودن را بدنبال دارد چون اختلاف سطح‌جمع‌کنندهٔ آنرا تقریباً به‌صفر می‌رساند.

این کاهش اختلاف سطح جمع‌کننده T_2 که ازراه C به‌پایه T_1 انتقال‌یافته است (این پایه دراصل اختلاف سطح صفرداشته است) اختلاف سطح این پایه را به

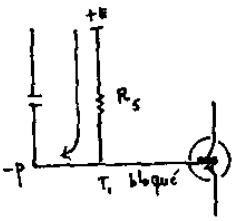
مقداری نزدیک به E— می‌رساند.

مبتدی— می‌خواستم بدانم چرا این مقدار E — است؟

مهندس— آقای مبتدی این اصل مشهوررا فراموش کرده‌اید که فشار در دوسر یک خازن نمی‌تواند ازیک مقدارمعین درزمانی تقریباً صفر تغییر کند. اگر به آن فکر کنید خواهید دید که درست قبل ازرسیدن ضربه در A، اختلاف سطح جمع کننده T_1 مقدارE+ بوده است (T_2مسدود)، اختلاف سطح پایه T_1 تقریباً صفر بوده است. بنابراین خازن C با فشاری نزدیک به E پرشده است؛ درست پس از توازن، باز هم با فشارE پرشده است. چون جوشن فوقانی آن به اختلاف سطحی نزدیک به‌صفررسیده است (T_2 مسدود) بنابراین جوشن پائینی آن فقط به اختلاف سطحی درحدود E— رسیده است.



مبتدی— اقرارمی‌کنم که دیگر به‌اصل مشهورشما فکر نمی‌کردم. فراموش کردم آنرا با حروف زرین بنویسم و دراطاقم آویزان کنم. اما باورکنید که دیگر تأخیری دراینکار نخواهم کرد. روی منحنی‌های شما می‌بینم که اختلاف سطح پایه T_1 درست پس ازتوازن آغازبه‌زیاد شدن می‌کند. تصورمی‌کنم به‌علت جریانی باشد که از R_5 می‌گذرد.



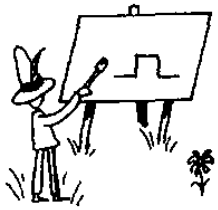
مهندس — اشتباه نمی‌کنید، وقتی T_1 اشباع شده بود، جریانی که از R_5 می‌گذشت به‌پایهٔ این ترانزیستورمی‌رفت. حالاکه T_1 مسدود است، تنهاکاری که این جریان می‌تواند بکند، خالی‌کردن خازن C وحتی اگرقبل ازآن چیزی وارد کار نمی‌شد، پرکردن آن درجهت مخالف است. اما قبل ازاینکه به این مرحله برسد، اختلاف سطح پایه T_1 تقریباً به‌صفرمی‌رسد واین چیزی است که درزمان t_0 می‌گذرد. در این لحظه می‌بینید که ترانزیستور T_1 دوباره رسانا می‌شود اختلاف سطح جمع کننده آن به‌صفرمی‌رسد که دراثرهمین کارترانزیستور T_2 راکه اختلاف سطح جمع‌کننده‌اش به‌سوی E+ افزایش می‌یابد، مسدود خواهدکرد.

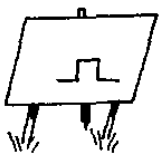
مبتدی— آقای مهندس در آنجا یک بخش صعودی کشیده‌اید که نشان‌دهنده افزایش نسبتاً آهسته اختلاف سطح جمع‌کننده T_2 است. چرا؟

مهندس — فراموش نکنید که برای افزایش اختلاف سطح جمع‌کننده T_2 باید جریانی که از R_2 می‌گذرد اول خازن C را پرکند. جوشن پائینی این خازن به وسیلهٔ ارتباط پایه — ارسال‌کننده T_1 که جریان می‌دهد دراختلاف سطح تقریباً صفر نگهداشته شده است، دراینصورت این‌خازن فقط به تدریج پرخواهد شد و به‌این ترتیب نمی‌گذارد اختلاف سطح جمع‌کننده T_2جز به‌آهستگی افزایش یابد.

مبتدی — طرز کار مونتاژ عجیب شما را دارم می‌فهمم. با وجود این شگفت‌آور است چون اگرفکرکنیم می‌بینیم که ترانزیستورT_2 تازه شروع به‌جریان دادن کرده است که مسدود می‌شود. این موضوع مشخص‌کننده احساس وحشتناک محرومیت درآنست.

مهندس— می‌توانید برای ترانزیستورها یک درمانگاه روانشناسی تأسیس کنید تا بتوانید اثرهای ناراحت‌کنندهٔ این عقده را جبران کنید. تا آن وقت، به استفاده ازمونتاژی که برای کاربردهای زیادی جالب است اکتفاکنید.





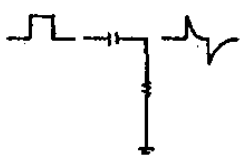
کاربرد یك ثابتی‌ها

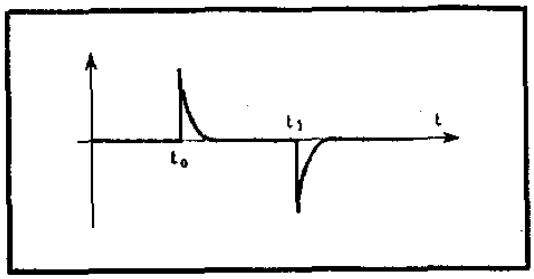
مبتدی- اما دراینجا با ویبراتور چندجانبه سروکارنداریم چون‌تاحدودی، به‌غیرازیك مورد، کارآن شبیه ویبراتورچندجانبه نیست.

مهندس- درست به‌همین‌جهت‌که یکبار با دونوسان،که اولی با تحریك و دومی خود بخود انجام می‌شود،مثل آن‌کار می‌کندآنرا ویبراتوریك‌جانبه‌می‌گویند. گاهی هم دیده می‌شودکه آنرا «ویبراتور چند جانبهٔ یك‌ثابتی» نامیده‌اند. از این نامگذاری‌که درشکم‌خودش‌جمع اضداد است وحشت دارم بهمان اندازه‌که‌ازکلمه‌های گازفلزی و یا روشنی تاریکی وحشت می‌کنم. جالب بودن مونتاژ برای اینست‌که ضربه بکاربرده در A هرچه باشد، به‌شرطی‌که برای ایجاد نوسان‌کافی باشد،می‌بینید که در جمع‌کننده T_1 علامتی با زمان برقراری یکسان و دامنهٔ غیر متغیر بدست می‌آورید. بنابراین دستگاه برای‌یکنواخت‌کردن ضربه‌ها نهایت مطلوب است.مثلا یادتان هست‌که ضربه‌های تهیه شده‌به‌وسیله شمارگرگایگر-مولرکاملا نامنظم بودند. اگرآنها را به‌ورودی مدار یك‌ثابتی مانند شکل ۸۴ بگذاریم، می‌توانیم آنها را شبیه بهم‌کنیم واینکارگذشته ازهمه‌چیز، شمارش‌آنها راآسان می‌کند.

مبتدی- برش دادن سرآنها ساده‌تر است.

مهندس- درآن صورت نتیجه بدست‌آمده به‌این تکامل نیست. درواقع‌وقتی ضربه‌های داده شده به‌وسیله چنین شمارگری زیاد بلند باشد، درعین حال درازترهم هست و درنتیجه لامپ شمارگرزمان درازتری لازم دارد تا دوباره ایونیزاسیون‌خود را ازدست بدهد. برش سرساده ضربه‌هائی به‌ما خواهد دادکه بلندی یکسانی دارند اما همه آنها پهنای برابرنخواهند داشت. ازاین‌گذشته‌کاربرد جالب دیگری برای این مونتاژ یك‌ثابتی وجود دارد. فرض‌کنیدکه فشارجمع‌کننده ترانزیستور T_1 را بگیریم وآنرا به‌یك مدارمشتق‌گیرنده مانند مداری‌که در شکل ۶۴ بررسی‌کردیم بگذاریم. اگرخازن C ومقاومت R مدار مشتق‌گیرنده را بحد کافی‌کوچك انتخاب کرده باشیم چه نتیجه‌ای ازآن بدست می‌آید؟



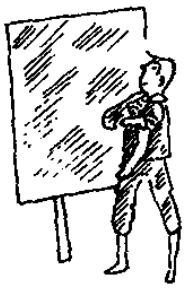


شکل۸۶- بامشتق‌گرفتن علامت نمایان شده روی جمع‌کننده T_1 مونتاژیك ثابتی، می‌توان یك ضربه‌منفی بازمان t_1 بدست‌آورد که نسبت به‌ضربه ایجادنوسان تأخیردارد.

مبتدی- گمان می‌کنم بتوانم آنرا بگویم: اگرحافظهٔ من درست باشد، در خروجی این مداریك ضربه مثبت در لحظهٔ t_0 (شکل ۸۶)، درلحظه‌ای‌که اختلاف سطح جمع‌کننده T_1 ناگهان زیاد می‌شود، بدست مـی‌آوریم، بعد در زمان t_1 در لحظه‌ای‌که T_1 دوباره ازمسدود بودن خارج می‌شود واختلاف سطح جمع‌کنندهٔ آن

ناگهان پائین می‌آید، یك‌ضربهٔ منفی بدست می‌آوریم.

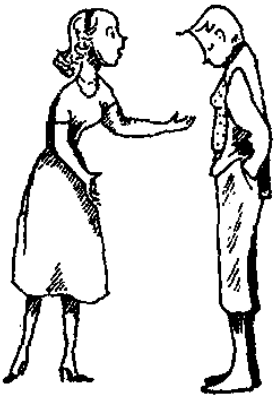
مهندس- قطعاً آقای مبتدی، این نام‌بیش ازپیش برایتان نامناسب‌است! کاملا درست گفتید. در این شرایط فرض‌کنیدکه به‌کمك یك دیود، ضربه مثبت را قطع‌کنم. بنابراین غیرازضربه‌منفی درلحظه t_1 چیزی باقی نمی‌ماند. پس این‌ضربه بعد ازضربه تحریك خواهدرسید با تأخیری‌که فقط بستگی به‌خازن‌هاومقاومت‌های مونتاژ شکل ۸۴ دارد. پس به‌این ترتیب یك مونتاژ تأخیر انداز ضربه‌ساخته‌ایم به این معنی‌که اگرضربه‌ای در A به‌آن بگذاریم، ازآن یك ضربه بـا تأخیری خارج می‌شودکه‌آنرا به‌دستی می‌شناسیم ومی‌توانیم برحسب مقدارعنصرهای‌مونتاژ این تأخیررا ازکسرمیکروثانیه تا چندین ثانیه تغییردهیم.



مبتدی- در اینصورت برای این کشف به شما تبریك نمی‌گـویم! پیوسته تکرار می‌کنندکه الکترونیك فن سرعت به حدکمال است. حالا شما وسیله‌ای‌کشف کرده‌اید که تأخیری در کار آن واردکنید؛ بنابراین در جهت عکس پیشرفت قدم بر می‌دارید.

کاربرد تأخیراندازها

مهندس- آرامتر، با کلمات بازی نکنید. درعملیات تدریجی، لازم است بتوانیم یك علامت‌را با زمانی قابل‌تنظیم به تأخیربیندازیم. به‌ویژه وقتی‌بخواهند به وسیلهٔ این علامت پدیده‌ای را تحریك‌کنند و بهمین‌ترتیب اسیلوسکوپ پیش‌بینی شده برای‌مشاهدهٔاین‌پدیده رابکاربگیرند؛ همین‌کاررا می‌کنند به‌این‌ترتیب‌که پدیده را با تأخیرتحریك می‌کنند واسیلوسکوپ رابدون تأخیر بکارمی‌گیرند. ازاین راه می‌توانیم پدیده را با اسیلوسکوپ کاملا مشاهده کنیم، زیرا جـاروی اسیلوسکوپ قبل ازاینکه پدیده‌آغارشود، آغازبکارکرده است.



مبتدی- آقای مهندس بگوئید ببینم اگر اسیلوسکوپ راکمی جلوتر بکار بیندازیم بهترازآن نیست‌که پدیده با تأخیرایجاد شود؟

مهندس- خوب آقای مبتدی، یك «مدار پیش‌انداز» را برایم کشف‌کنید که بتواند درخروجی خود به‌مقدارمشخصی اززمان **قبل** از اینکه ضربه‌ای به‌ورودی آن‌گذاشته شود، ضربه‌ای به ما بدهد! وبشما قول می‌دهم ابتدا شهرت جهانی پیدا کنید وبعد موفقیت بزرگی در جامعه دانشگاهیان نصیب شما شود!

مبتدی- درست می‌گوئید، فکرش را نکرده بودم؛ بـه این تـرتیب بجای داشتن یك اسیلوسکوپ‌پیش افتاده، ترجیح می‌دهندپدیده‌ای با تأخیر(عقب‌افتاده) داشته باشند... همانطورکه دراین جهان همه‌چیز نسبی است.

مهندس- بنابراین ازقلهٔ بلند فلسفه پائین می‌آئیم وبه مشاهدات زمینی بر می‌گردیم تا توجه شما را جلب‌کنم‌که خیلی دیر است. نمی‌خواهم به این ترتیب مسئول یکو مکوی شما و «پولت» باشم...

مبتدی- کاملا حق دارید و دفعهٔ بعدگفتگوی خودمان را دنبال می‌کنیم.

مبحث نهم

دوست جوان مامی‌خواهد با اینهمه درعلائم(وهمینطوردرافکارخو دش...) نظم وترتیبی به‌وجودبیاورد. بنابراین بدنبال‌آن خواهدرفت‌که‌بداند چگونه می‌توان علائم را «تمیز داد» یعنی‌آنها را برحسب فرکانس، دامنه وزمان ادامه ازهم جداکرد؛ وخواهد دیدکه چگونه مشاهده‌های روی‌گربه‌های ماده‌که بچه‌زائیده‌اند، مسئلهٔ «جداکننده‌های دامنه» را روشن می کند.

تمیز دادن علائم

مبتدی‌ـ آقای مهندس، با در نظرگرفتن گوناگـونی غیرعادی شکل‌های علائم که با خوشحالی آنها را شکنجه می‌دهید، باید شناختن آنها از هم دشوار باشد.

مهندس‌ـ نه‌چندان. ضربه‌ها را با علائم مستطیل شکل، یا سینوسی شکل اشتباه نخواهیدکرد ویك اسیلوسکوپ کافی است تا بدانیم باکدام علامت سر وکار داریم.

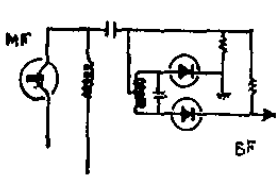
مبتدی‌ـ بله، اما اینکار نیاز به آن داردکه همیشه یکنفر اسیلوسکوپ را زیرنظربگیرد. نمی‌شود یك جداسازی «خودکار» برای این علائم بوجود آورد؟

مهندس‌ـ خیلی خوب هم می‌شود. وآنگهی این‌کارمرا به راهی می‌برد که باید دربارهٔ مسئلهٔ تمیز دادن علائم برایتان صحبت‌کنم.

مبتدی‌ـ این داستان دیگرچیست؟

مهندس‌ـ بطورساده منظورساختن مدارهائی است‌که بتوانند تغییرات‌یکی ازمشخصه‌های علائم‌را نمودارکنند. مثلا یك‌تمیزدهندهٔ فرکانس می‌سازندکه وقتی‌به ورودی آن علائمی گذاشته شود، بـرحسب اینکه فرکانس این علائم از یك مقدار انتخاب شده بیشتر یاکمترباشد، درخروجی فشاری مثبت یا منفی به‌ما می‌دهد.

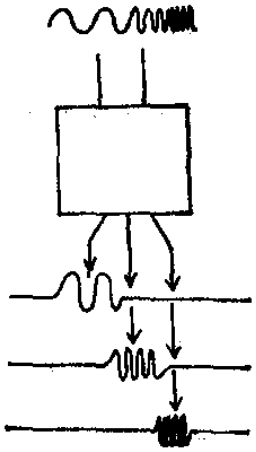
تمیزدهنده



مبتدی‌ـ آه، درست است! باید بیاد می‌آوردم. در واقـع دستگاهی کـه در گیرنده‌های با مدولاسیون فـرکانس جـانشین آشکارساز معمولـی در رادیوهای با مدولاسیون دامنه می‌شود، تمیزدهنده مـی‌نامند. بنابراین قبلا با این دستگاه آشنا شده‌ام.

مهندس‌ـ درواقع دستگاهی‌که‌گفتید برای این نوع کاربرد بسیار متداول است. در کاربرد صنعتی معمولا منظوراینست‌که تغییرات یك فرکانس را برای هدفی نمایان سازندکه با نقطه‌نظرشما درپخش رادیوئی فرق دارد. به این ترتیب است‌که مثلا یك لمس‌کننده راکه دریك مقایسه‌کننده‌کلفتی است بکاربیندازندکه این لمس‌کننده روی جوشن متحرك یك خازن واقع در یك مدار نوسانی، قـرار دارد. بیاد داریدکه ازکاربرد چنین جذب‌کننده‌ای نام بردیم. مدارنوسانی مورد بحث‌که بخشی ازیك نوسان سازرا تشکیل می‌دهد، به‌ما امکان خواهد دادکه فرکانسی بدست‌بیاوریم

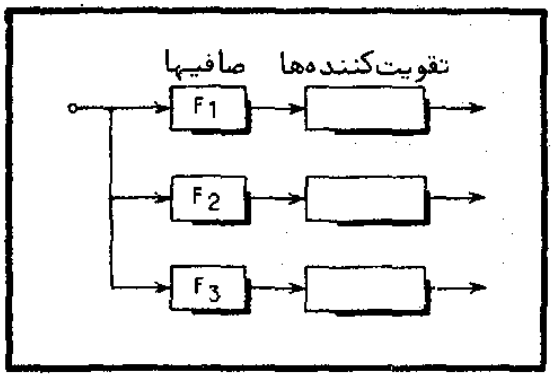
که وقتی جوشن متحرك خازن جابجا می‌شود، این فرکانس تغییر خواهد کرد. فشار متناوب با فرکانس متغیر وقتی به ورودی یك تمیزدهنده گذاشته شود، در خروجی فشاری می‌دهد که همانند تغییر جوشن متحرك، متغیر خواهد بود.



مبتدیـ بنابراین همیشه دستگاهی مورد نظر است که برحسب فرکانس ورودی فشاری کم و بیش زیاد ایجاد می‌کند؟

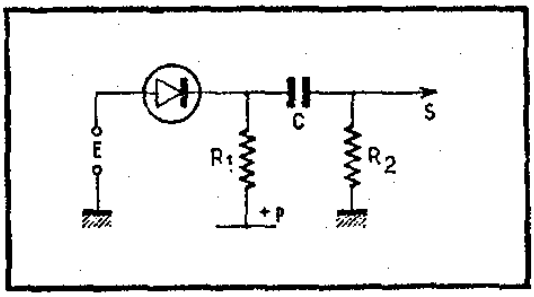
مهندسـ می‌توان چیز دیگری هم ساخت. ممکن است به دستگاهی نیازداشته باشید که وقتی روی ورودی خودش علائم با فرکانس متغیر را می‌گیرد، برحسب آنکه فرکانس این علائم درچه محدوده‌ای ازفرکانس قراردارد، آنها را به راههای (کانال‌های) مختلف بگذارد...

مبتدیـ ساختن آن باید بی‌نهایت پیچیده باشد!



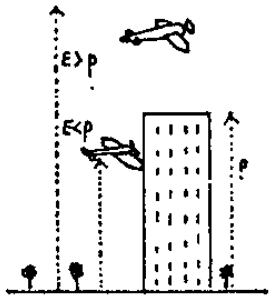
شکل ۸۷ ــ برحسب فرکانس علامت ورودی، صافی‌ها این‌علامت رابه‌طرف تقویت کننده‌های مختلف می‌فرستند. به‌این ترتیب یك تمیز دهندهٔ فرکانس ساخته می‌شود.

مهندسـ نه، بهیچوجه، حتی بسیار ساده است. کافی است تعدادی تقویت‌کنندهٔ جداساز (شکل ۸۷) ساخت که هرکدام ازآنها یك صافی برای گذراندن باند معینی از فرکانس داشته باشند وهمه آنها دریك زمان زیر اثرعلائم قرار بگیرند. باندهای گذرای مختلف صافی‌ها همدیگررا نمی‌پوشانند، بلکه درکنارهم قراردارند بطوری‌که یك علامت ورودی برحسب فرکانسی‌که دارد ازیك راه (یا کانال) ویا از راه (کانال) دیگرخارج می‌شود به این ترتیب جداسازی علائم را برحسب فرکانس آنها عملی کرده‌ایم.



شکل ۸۸ ــ در S ضربسه‌ای دریافت نمی‌شودمگرآنکه در E ضربه‌ای گذاشته شودکه فشار قلهٔ‌آن بیشترازP+باشد.

جداسازی بوسیلهٔ دامنه



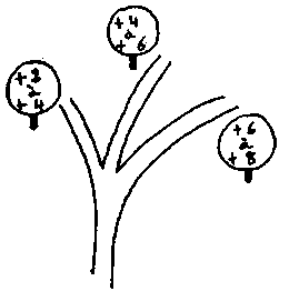
مبتدیـ آیا جداسازی علائم برحسب دامنهٔ آنها هم امکان‌پذیر است؟

مهندسـ کاملا. با یکی ازدستگاههای برش سرکه درشکل‌های ۵۴،۵۳ و ۵۵ به‌شما نشان دادم وباکمی تغییردرآن می‌توان اینکاررا انجام داد. به‌این‌ترتیب است‌که مثلا مدارشکل ۸۸ فشارخروجی S را به‌شما نخواهد داد مگر آنکه فشار ورودی E ازیك مقدارP+ بیشتر شود وتا موقعی‌که Eکمتر از P+ است، دیود مسدود است.

مبتدیـ خازن C ومقاومت R_2 به چه درد می‌خورند؟

مهندسـ فقط برای حذف مؤلفهٔ مستقیم ایجاد شده درنتیجه پلاریزاسیون P+کەروی‌کاتد دیود وجود دارد، بکار می‌روند.

مبتدیـ بنابراین فرستادن‌علائم درجهت‌های‌مختلف‌برحسب‌دامنهٔ آنها بسیار آسان است چون‌کافی است چند عدد از مونتاژشکل ۸۸ شما با مقادیر گوناگون و درجه‌بندی شده P ساخت و در هر راه فقط برای فشارهای‌کاملا معین راه خروج وجود دارد.



مهندسـ درواقع تمیزدهنده برحسب دامنه را بهمین‌ترتیب می‌سازند، اما مسئله‌کمی پیچیده‌تر ازآنست‌که‌گمان می‌کنید. فرض‌کنیدکه پنج مدارمطابق شکل ۸۸ درست‌کنیم‌که مقدار پلاریزاسیون Pآنها به ترتیب ۲+، ۴+، ۶+، ۸+و ۱۰+ ولت باشد. دریك لحظه همه‌آند دیودها راکه بین خودشان متصل‌هستندزیر تأثیرمی‌گیریم. بدیهی است‌که‌کاتد دیودی‌که پلاریزاسیون آن ۱۰۷+ است‌علامتی عبورنخواهدادمگرآنکه‌فشارورودی از ۱۰۷+ تجاوزکند. همینطورکاتد دیودی‌که پلاریزاسیون ۶+ ولت دارد، علایم را منتقل نمی‌کند مگر آنکه علائم دامنه‌ای بالاتر از ۶+ ولت داشته باشند. اما ممکن است بخواهیم روی یك کانال علائمی نداشته باشیم مگرآنکه فشارورودی دامنه‌ای داشته باشدکه بین ۶+ و ۸+ولت قرارگرفته باشد.

مبتدیـ این موضوع هیچ مشکلی به‌وجود نمی‌آورد چون همان چیزی‌است که روی‌کاتد با پلاریزاسیون ۶+ولت پیدا می‌کنیم.

مهندسـ خوب‌آقای مبتدی، شما مرا بفکریکی ازدوستانم می‌اندازید.او گربهٔ ماده‌ای داشت‌که خیلی دوستش داشت وبرای این‌گربه درپائین درەیك‌گربه‌رو درست‌کرده بود یعنی دریچه‌ای‌گذاشته بودکه بقدرکفایت بزرگ بود تاگربه بتواند بدون اشکال ازآن بگذرد. اما بعد ازآن، این‌گربه بچه‌هائی پیداکرد. دوست من که می‌خواست‌کاری بکندکه بچه‌گربه‌ها هم بتوانند بگذرند بفکرش رسیدکه‌پهلوی گربهٔ روی اصلی،گربه‌روهای‌کوچکی درست‌کند...

مبتدیـ نمی‌دانم چه رابطه‌ای با موضوع دارد ولی بهرحال کاملا بیهوده است چون بچه‌گربه‌ها هم بخوبی می‌توانستند بدنبال مادرشان از گربه روی اصلی بگذرند...

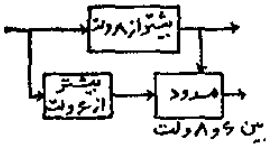
مهندسـ آقای مبتدی حرفی راکه می‌خواستم بزنم ندید. کاتد دیودی که پلاریزاسیون ۶+ ولت‌دارد، وقتی یك علامت بیشتر از ۶ ولت به ورودی برسد

آنرا تحویل خواهد داد. اما اگر این فشار ورودی از ۸ ولت هم بگذرد، تحویل دادن را قطع نخواهد کرد بلکه برعکس تمام فشارهای بالاتر از آنرا هم تحویل می‌دهد.

مبتدی- آه! چقدر احمق بودم، فکرش را نکرده بودم! پس کاری نمی‌شود کـرد.

جداکنندهٔ چندکانالی

مهندس- چرا، مطمئن باشید. موقعیتی که در آن فقط روی کاتد با پلاریزاسیون ۶+ ولت علائم را بدست می‌آوریم و روی کاتد با پلاریزاسیون ۸+ ولت بدست نمی‌آوریم چیزی است که ما بدنبال آن هستیم یعنی علائمی که در ورودی دامنهٔ آنها بین ۶ و ۸ ولت قراردارد. بنابراین به‌کمك مدارهائی که «ضد برخورد» نام‌دارند دستگاههائی می‌سازیم که به‌وسیلهٔ خروجی کاتد با پلاریزاسیون ۶+ ولت زیر تأثیر قرارمی‌گیرند و به‌وسیلهٔ خروجی کاتد با پلاریزاسیون ۸+ ولت مسدود می‌شوند و به‌این ترتیب مسئله را حل کرده‌ایم.



مبتدی- دلم می‌خواهد قبول کنم ولی شما این مسئله را با جادو حل کرده‌اید! این مدارهای ضد برخورد چیست که تا بحال اسمش را نشنیده‌ام؟

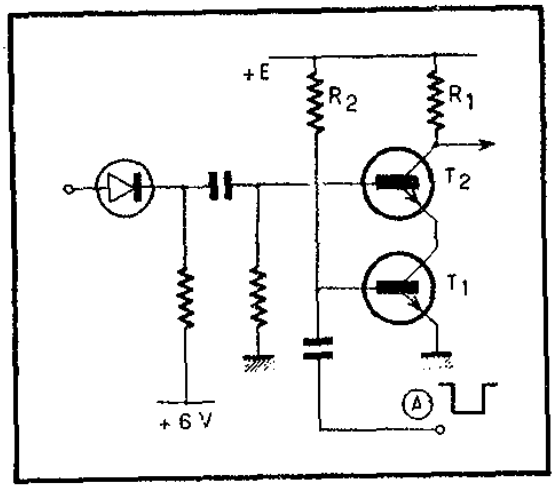
مهندس- می‌توان بسیاری از آنها را به‌روش‌های گوناگون در نظر گرفت. مثلا می‌توانیم یك دستگاه شکل‌دهنده درخروجی دیودی که پلاریزاسیون ۸+ ولت دارد قراردهیم. این دستگاه بطور مثال یك ویبراتور یك جانبه (سیستم یك‌ثابتی) خواهد بود که وقتی دامنهٔ علامت از ۸+ ولت تجاوز کرد، بکار می‌افتد. علامت این ویبراتوریك‌جانبه برای مسدودکردن یك تقویت‌کننده بکارخواهد رفت که ورودی معمولی آن زیر تاثیر علامتی که ازکاتد با پلاریزاسیون ۶+ ولت خارج شده است، قراردارد. پس این تقویت‌کننده قادرخواهد بود فقط وقتی کارکند که علامت ورودی از ۶ ولت تجاوزکند (تا علامتی در ورودی داشته باشد) و درعین حال این علامت به ۸ ولت نرسیده باشد (برای اینکه مدار یك‌ثابتی را تحریك نکند و در نتیجه تقویت‌کننده مسدود نگردد).

مبتدی- دارم می‌فهمم. با اینحال دوچیز را می‌خواستم بدانم. ابتدا چـرا این یك‌ثابتی را درخروجی دیودی که پلاریزاسیون ۸ ولت دارد بکاربرده‌اید و بعد چطوریك تقویت‌کنندهٔ قابل مسدودکردن را درست می‌کنند؟

مهندس- اگراین ویبراتور یك‌جانبه را بکار بردم فقط برای اینست کـه فشاری دراختیارداشته باشم که به‌محض رسانا شدن دیود با پلاریزاسیون ۸ ولت از «هیچ» (یا قطع) به «همه» (یا اصل) برسد. اگرعلامت کاتد این دیود را مستقیماً برای مسدودکردن تقویت‌کننده‌ام بکاربرده بودم، مسدودکردن برحسب اینکه علامت کم وبیش از ۸ ولت تجاوزمی‌کرد، با انرژی کمتریا بیشتر انجام می‌شد. ویبراتور یك‌جانبه دز اینجا فقط به عنوان دستگاه شکل‌دهنده، دستگاه یکسان‌کنندهٔ ضربه‌ها بکاررفته که بمحض آنکه علامت ورودی کمی از ۸ ولت تجاوزکند یك علامت کاملا مشخص بما می‌دهد.

به عنوان تقویت‌کنندهٔ مسدود شدنی، می‌توانید مونتاژی که بطور خلاصه

در شکل ۸۹ کشیده‌ام بکار ببرید. می‌بینید که ترانزیستور T_1 معمولا همیشه اشباع است. درواقع پایهٔ آن ازراه مقاومت R_2 به $E+$ وصل است، بنابراین مثل یک اتصال کوتاه عمل می‌کند وکارها طوری است که گوئی ارسال‌کنندهٔ ترانزیستور T_2 به بدنه وصل است. برعکس ترانزیستور T_2 که پلاریزاسیون پایه‌اش صفر است، مسدود می‌باشد. این ترانزیستور بوسیلهٔ فشاری که از کاتد دیود با پلاریزاسیون ۶ ولت خارج می‌شود، ازمسدود بودن خارج می‌گردد. اگر هیچ علامتی به A گذاشته نشود، یک علامت که به پایهٔ T_2 برسد، روی جمع‌کننده‌اش یک علامت منفی بما خواهد داد. برعکس اگر یک علامت منفی خارج‌شده ازیک ثابتی که زیر تأثیر دیود با پلاریزاسیون ۸ ولت است، به A گذاشته شود، در مدتی که این علامت می‌رسد، ترانزیستور T_1 به صورت مسدود درمی‌آید وما در خروجی چیزی نخواهیم داشت (روی جمع‌کننده T_2) حتی اگر T_2 از مسدود بودن خارج شود.



شکل ۸۹ــ اگر به آنددیود ضربه‌ای بیش از ۶ ولت گذاشته شود، ترانزیستور T_2 ازمسدود بودن خارج می‌شود به شرط آنکه ضربه‌ای به A نرسد که علامت بدهد وآنرا مسدودکند.

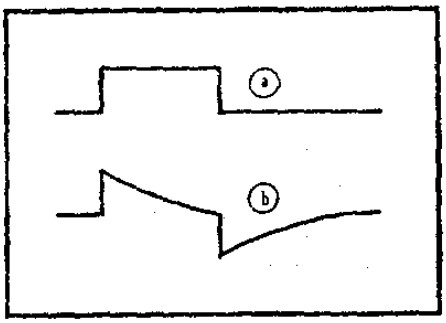
مبتدیــ ببینم مونتاژشما فقط برای علامت‌هائی مؤثراست که امکان دارددر زمان وجود علامت تهیه شده به وسیلهٔ یک‌ثابتی به پایهٔ T_2 برسند. اگر علامت‌های رسیده روی کاتد T_2، طولانی‌تر باشند، دستگاه کار نمی‌کند.

مهندســ حق باشماست، اصولا این مونتاژ برای آن ساخته شده است که به‌غیر ازضربه‌های نسبتاً کوتاه چیزی را نگیرد. اگر بخواهید برای کارکردن با علامت‌های غیرمشخص مناسب باشد باید بجای ویبراتور یک‌جانبه یک نوع قپان اشمیت بگذارید و بین خروجی این قپان تا پایه T_1 یک ارتباط مستقیم بر قرار کنید.

مبتدیــ در اینصورت جداکنندهٔ دامنه شما مجموعه‌ای خواهد شدکه نسبتاً پیچیده است. خوشبختانه پنج‌کانال بیشتر نیست.

مهندســ آقای مبتدی، به‌این‌سادگی مطمئن نشوید، جداسازهای دامنه‌ای وجود دارندکه تا ۱۰۰ یا ۲۰۰ کانال دارند. فقط باید مونتاژمورد نظررا به تعداد کافی تکرارکرد. این نوع جداسازها بخصوص برای طبقه‌بندی کردن ضربه‌های ورودی بکارمی‌روندکه این ضربه‌ها از یک شمارگرگایگر ــ مولر یا یک چندبرابر ــ

کننده نوری مجهز به یك برق‌زن بدست آمده‌اند. پس به‌این ترتیب می‌توان ضربه‌های



شکل ۹۰ ــ یك علامت مستطیل شکل طولانی (a) که به‌مدار مشتق گیرنده گذاشته شود، با تغییرشکل کامل ازآن خارج می‌گردد (b) که دربخش منفی پیشروی قابل توجهی کرده‌است.

با دامنه‌های کمتر از ۱ν، از ۱ تا ۲ν، از ۲ تا ۳ν وغیره را بطورجداگانه‌شماره کرد. این شمارش ضربه‌های با سطح معین امکان می‌دهدکه انرژی پارتیکول‌هائی‌را که با این دستگاه نمایان ساخته‌اند، محاسبه کنند.

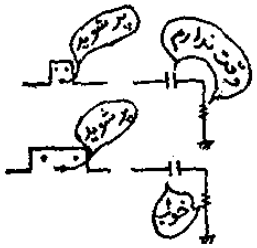
جداسازی برحسب مدت علامت

مبتدی- اگر می‌خواستندضربه‌های گرفته شده را برحسب مدت آنها، نه‌دامنهٔ آنها، جداکنند چه می‌کردند؟

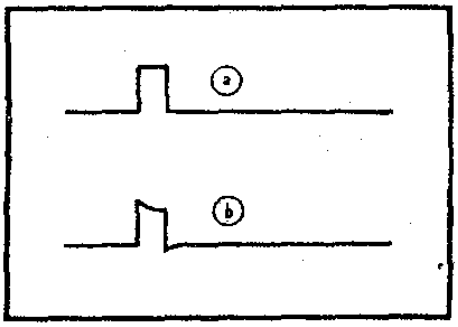
مهندس- راه حل‌های زیادی وجود دارد؛ البته ما با یکسان کردن دامنهٔ تمام ضربه‌هاکه به‌وسیلهٔ برش سرانجام می‌شودکاررا آغاز می‌کنیم. وقتی اینکارانجام شد، می‌توانیم ازیك مدارمشتق‌گیرندهٔ ساده مانند شکل ۶۴ استفاده‌کنیم.

مبتدی- در اینصورت من چیزی نمی‌فهمم چون چنین مداری هر علامت مستطیلی را به دو ضربه تبدیل می‌کند که یکی مثبت در ابتدا و دیگری منفی در انتهاست.

مهندس- این وضع برای ضربه‌هائی است‌که پهنای آنها بسیارزیاد باشد. یادتان هست‌که امکان ایجاد مدارهائی را درنظرگرفتیم‌که خازن ومقاومتی بامقدار زیاد نسبت به‌مدت‌زمانی‌که ابتدا وانتهای ضربه را ازهم جدا می‌کند، داشته‌باشند. اگر به‌چنین مداری یك ضربهٔ طولانی بفرستیم، همانطورکه روی شکل ۹۰a نشان داده‌ام، فشارخروجی قطعاً به‌صورتی است‌که در۹۰b نشان دادهٔ شده است یعنی یك ضربهٔ مثبت درآغاز ویك‌ضربهٔ منفی درپایان، می‌بینیدکه دراین حالت مدت زمان علامت ورودی به‌اندازهٔ‌کافی بزرگ است‌که خازن بتواند درمدت رسیدن این‌علامت کاملا خالی شود. برعکس اگر علامت‌کوتاهتری بفرستم مانند شکل ۹۱a، می‌بینیم که خازن درمدت وجود علامت، وقت‌خالی شدن ندارد (یا درست‌تر بگویم خیلی‌کم خالی می‌شود). بنابراین در خروجی، علامتی شبیه به‌آنچه درشکل ۹۱b نشان داده شده است داریم‌که عملا ضربهٔ‌منفی ندارد. به‌وسیلهٔ یك دستگاه‌که ضربه‌های مثبت‌را قطع می‌کند و ضربه‌های منفی را هم اگر از یك‌آستانه (یا حد) نگذرند نمایان نمی‌کند، مداری خواهیم داشت‌که می‌تواند ضربه‌های‌کوتاه را (که علامتی به‌خروجی نخواهند داد) از ضربه‌های طولانی (که در پایان ضربهٔ طولانی علامتی درخروجی



می‌دهند) تمیز بدهد.



شکل ۹۱ــ اگر یك علامت کوتاه (a) به مدار مشتق‌گیرنده گذاشته شود، درخروجی(b) تغییر شکل کمی پیدا می‌کند وپیشروی دربخش منفی کم است.

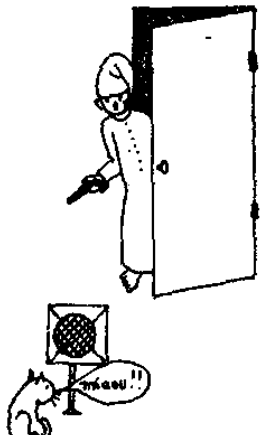
مبتدیـ همین باعث تأسف است. چرا نباید دستگاهی داشت‌که از ابتدای ضربه طولانی یك علامت بدست بدهد؟

مهندسـ آقای مبتدی فکر نمی‌کنیدکه چنین دستگاهی باید جادوگر باشد چون یك ضربه طولانی ویك ضربه‌کوتاه هردو به‌یك نوع آغازمی‌شوند. وقتی به‌انتها رسیدند می‌توان گفت‌که ضربه طولانی بوده است یاکوتاه.

مبتدیـ درست است... اقرارمی‌کنم‌که به‌این مطلب فکرنکرده بودم.

تمیزدهندهٔ شکل موج

مهندسـ این موضوع نشان می‌دهدکه همیشه خوب است قبل ازگفتن‌کمی فکرکنیم. حالا می‌توانیم علائمی داشته باشیم‌که بخواهیم آنها را برحسب شکلشان تمیزدهیم. مثلا می‌توانیم دستگاهی بسازیم‌که غیرازضربه‌ها چیزی را نمایان نسازد وتغییرات آهسته را نمایان نکند. برای اینکار کافی است‌که یك مدار سادهٔ مشتق‌گیرنده، همان مدار جاودانی شکل ۶۴ را بکار ببریم. اگر فشاری به ورودی آن بگذاریم‌که آهسته تغییرکند، تقریباً درخروجی چیزی بدست نمی‌دهد، چون‌خازن زمان لازم برای پرشدن یا خالی‌شدن‌درمدت تغییرات آهسته دارد واینکاربا کمترین جریان پرشدن یا خالی شدن انجام می‌شودکه با عبور از مقاومت، فشار بسیارکمی بدست می‌دهد. برعکس تغییرات ناگهانی فشارگذاشته شده به‌ورودی، بطورکامل از راه خازن دوباره منتقل خواهد شد وبنابراین آنرا درخروجی خواهیم یافت.



مبتدیـ بنظرمن این مطلب بسیار روشن است، اما نمی‌دانم برای چه علائم با تغییرات ناگهانی را از علائم با تغییرات‌آهسته باید جداکرد.

مهندسـ حافظهٔ‌شماکم‌است. بیاد بیاوریدکه دستگاه‌دزدگیری ساخته‌بودید و باعث ناراحتی شما شد...

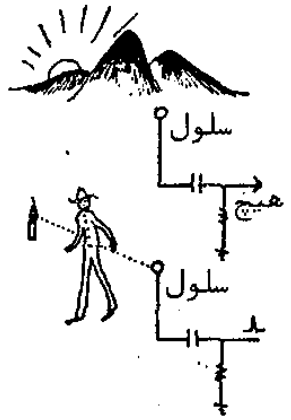
مبتدیـ از این‌کار وحشتناك صحبت نکنیدکه خاطرهٔ بسیار بدی است!

مهندسـ با وجود این یادتان هست‌که بشما پیشنهادکردم از سلول فتوـ الکتریك‌استفاده‌کنید. در این‌حالت خوبست‌که بدنبال‌این سلول مداری‌بگذاریدکه فقط در برابر تغییرات ناگهانی روشنائی حساس باشد، مثل وقتی‌که یکنفر ضمن عبور بین لامپ و سلول قرار بگیرد. به این ترتیب‌علامت‌هائی‌راکه ممکن است از تغییرات آهستهٔ روشن یا تیره شدن سلول نتیجه شده باشند (مثل طلوع خورشید یا فرارسیدن شب) حذف می‌کنند.

مبتدیـ واگر برعکس این را می‌خواستند یعنی در برابر تغییرات ناگهانی روشنائی حساس نباشد و فقط تغییرات آهستهٔ نور را نمایان کند چطور؟

مهندسـ بطور ساده یك مدار که «انتگرال‌گیرنده» نام دارد یعنی مدار شکل ۷۰ را بکار می‌بردیم. درحالی‌که مدار مشتق‌گیرنده شکل ۶۴ یك صافی بالا گذر بود، مدار شکل ۷۰ یك‌صافی پائین‌گذر است. این‌صافی مؤلفه‌های‌بافرکانس بالا یادگرگونی‌های سریع را حذف می‌کند و فقط مؤلفه‌های مستقیم‌را حفظ‌می‌کند.

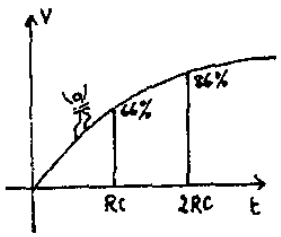
این دستگاه شبیه دستگاهی است که روی اتومبیل خودم بکار برده‌ام. در جلوی‌کاپوت اتومبیل یك سلول فتوالکتریك‌کوچك نصب‌کرده‌ام‌که یك‌قپان اشمیت را زیر تأثیر می‌گیرد تا لامپ‌کوچکی را در تابلوی جلوی راننده روشن‌کند و این‌کار وقتی انجام می‌شودکه روشنائی محیط اطراف خیلی ضعیف شده و من هنوز چراغ اتومبیلم را روشن نکرده‌ام. چون نمی‌خواستم هربارکه از زیریك درخت کمی انبوه می‌گذرم این لامپ روشن و خاموش شود، یك‌صافی شبیه صافی‌شکل۷۰ گذاشته‌ام‌که مجهز به ثابت زمانی در حدود ۱۰ ثانیه است. همه‌چیز طوری مرتب شده‌که‌گوئی سلول فتوالکتریك من بسیار آهسته جواب می‌دهد و بنابراین فقط در روشنائی متوسط آسمان، که به‌طرف‌آن برگردانده شده است، حساس است.



ثابت زمانی

مبتدیـ از نظر فکربسیار زیرکانه است. با وجود این می‌خواستم بدانم منظورشما ازثابت‌زمانی به‌درستی چیست؟

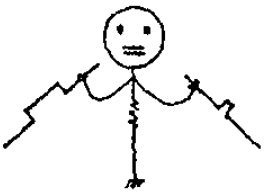
مهندسـ منظورکمیتی است کاملا متداول‌کـه آنرا برای تمام مدارهای دارای مقاومت و خازن بکار می‌برند. ببینید آقای مبتدی وقتی ظرفیت خازن C مثلا یك مدار انتگرال‌گیرنده را درمقاومت Rآن ضرب می‌کنند، عددی بدست می‌آیدکه می‌توانندآنرا برحسب ثانیه بیان‌کنند (به‌شرط آنکه C برحسب فاراد و R برحسب اهم باشد). این زمان وابسته به‌مدتی است که خازن لازم دارد تا از راه مقاومت R پرشود ویا روی آن خالی شود بطوری‌که این پرشدن یا خالی‌شدن به‌مقدار۶۳ درصد باربایانی آن باشد. ازمن نخواهیدکه علت انتخاب این رقم را بگویم چون برای این‌کاربایدازمعادلات دیفرانسیل استفاده‌کنم.



مبتدیـ همه‌چیزرا قبول دارم اما نه‌اینکاررا!

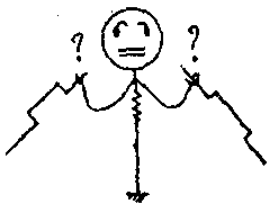
مهندسـ خاطرجمع باشید، بدآن نیازی نداریم. بنابراین درپایان‌زمانی که برابراین ثابت زمانی RC است، خازن به‌مقدار ۶۳ درصد مقدارپایانی‌اش پر یا خالی شده است. پس ازمدتی‌که دو برابرثابت زمانی است، خازن به مقدار۸۶ درصد پریا خالی خواهد شد. بالاخره درپایان مدتی‌که سه برابرثابت‌زمانی باشد پرشدن (یا خالی‌شدن) تا ۹۵ درصد انجام خواهد شد. به عبارت دیگر برای یك مدار مشتق گیرنده یا انتگرال گیرنده مقدارهای جداگانه C و R معین نیستند که به‌حساب می‌آیندبلکه حاصلضرب آنهاست‌که برحسب‌ثانیه (یا میکروثانیه) بیان می‌شود و نام‌آنراثابت‌زمانی گذاشته‌اند.

مبتدیـ بنابراین اگرخوب فهمیده باشم، وقتی منظورجداکردن علامت‌ها بر حسب زمان باشد، یك ثابت زمانی انتخاب کرده‌اید که نسبت به علامت شکل



۹۰a کوتاه و نسبت به زمان علامت نشان داده شده در شکل ۹۱a دراز (طولانی) باشد؟

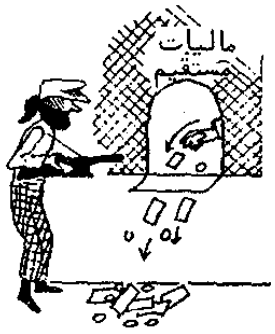
مهندس_ کاملا درست گفتید، درواقع بهمین ترتیب ثابت زمانی را انتخاب می‌کنند. و آنگهی به همین دلیل است که هر چه نسبت زمان ضربهٔ طولانی به ضربهٔ کوتاه بزرگتر باشد، تمیزدادن علامت‌ها ازهم مؤثرتر انجام می‌شود.



مبحث دهم

دوستان ما که در کارهای پی‌درپی خود، رد علامت‌ها را تعقیب می‌کنند، به لحظه‌ای رسیده‌اند که بسیار علاقمندند علامت را «بکار ببرند». در اینحال مبتدی می‌فهمد که «رله‌ها، چندان ساده نیستند!» برای اینکه قطعه‌ای‌را بگردانند، باید موتوری وجود داشته باشد؛ مهندس برای‌او از رازهای این دستگاهها ومدارهائی که می‌توانند به‌آنها فرمان دهند، پرده برمی‌دارد.

رله‌ها و موتورها



مهندس- حالا انواع گوناگون «پس‌دهنده» را بررسی می‌کنیم.

مبتدی- این دستگاه‌ها چیست که‌هیچوقت درباره‌اش برایم صحبت نکرده‌اید؟

مهندس- چرا، دربارهٔ آنها برایتان مطالبی گفته‌ام. بنابراین یادتان رفته است که تمام دستگاههای الکترونی تشکیل‌می‌شوند از یك جذب‌کننده که‌اثرخارجی را به‌یك علامت الکتریکی تبدیل می‌کند، یك مبدل که روی علائم همه‌نوع تغییری را به‌وجود می‌آورد وبالاخره یك پس‌دهنده که ازعلامت تغییرکرده نشانهٔ مورد نظر را بدست می‌دهد ویا عملی را به‌انجام می‌رساند.

مبتدی- آه پس به آخرین حلقهٔ زنجیر رسیدیم. پس مطلب دارد جدی می‌شود.

مهندس- آقای مبتدی مطلب همیشه جدی بود. وانگهی اگر اکنون با آخرین‌حلقهٔ زنجیر روبرو هستیم، بازهم‌چیزهای زیادی دربارهٔ کاربردهای‌اختصاصی برای‌گفتن داریم. بهرحال‌کار را با رله‌ها شروع می‌کنیم.

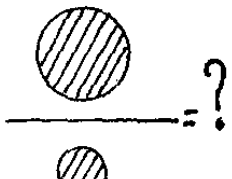
مقاومت یك قرقره رله

مبتدی- اینکار بی‌فایده است، چون مطلب راکاملاً می‌دانم.

مهندس- خوب، حالاکه طبق‌گفتهٔ محجوبانه شما «مطلب راکاملاً می‌دانید»، می‌توانید بمن بگوئید مقاومت یك‌رلهٔ مشخص چگونه برحسب فشاری‌که بایدآنرا بکار بیندازد تغییر می‌کند؟

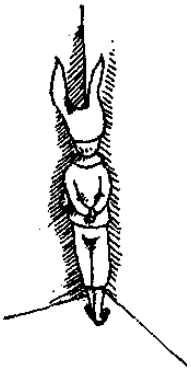
مبتدی- آه... این پرسش بیشتر جنبهٔ ریاضی دارد!

مهندس- ازشما نخواستم‌که توضیح مفصل بدهید. فقط خواستم کمی فکر کنید.



دریك رلهٔ مشخص، یك‌مشخصهٔ مهم تعداد آمپر-دوری است که برای جذب‌کردن لازم است، به‌عبارت دیگر حاصل‌ضرب تعداد دور قرقره درجریان لازم‌برای جذب تیغه به‌طرف هسته است که عمل می‌کند واتصالی‌های رله را وصل می‌کند.

یك رلهٔ مشخص را در نظر می‌گیریم (شکل ۹۲) که برای قرقرهٔ آن یك محل معین را در نظرگرفته‌اند. این قرقره چند دور سیم‌پیچی با سیمی که مقطع و مقاومت آن معین است دارد. فرض‌کنید بجای این سیم، سیمی بکار ببریم که قطر

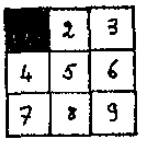


آن سه‌بارکوچکتر باشد، مقطع آن چقدرکم شده است؟

مبتدیـ خیلی ساده است، به‌نسبت ۳.

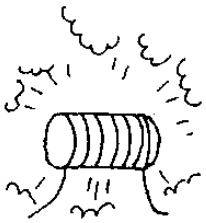
مهندسـ آقای مبتدی نمرهٔ شما صفراست. چگونه جرأت می‌کنیدبگوئید که وقتی قطر یك دایره را به‌نسبت ۳ کم می‌کنید، سطح آن بهمین نسبت کاهش پیدا می‌کند؟ با اینحال مدتهاست می‌دانیدکه سطح یك دایره متناسب با توان دوم شعاع آنست! بنابراین با یك شعاع (یا یك قطر)کـه $\frac{۱}{۳}$ باشد، سطحی که داریم ۹ بار کوچکتر است. پس می‌توانیم تعداد دورها را ۹ بار بیشتر کنیم. حالا می‌توانید بگوئیدکه مقاومت جدید چقدر است؟

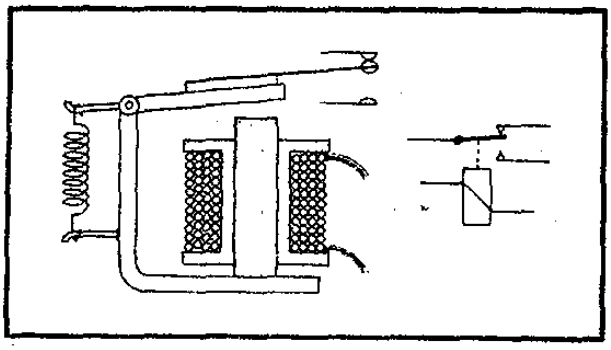
مبتدیـ این‌بار دیگر بسیار ساده است چون سیم ۹ بار درازتر شده‌است پس مقاومت آن ۹ برابر زیادتر می‌شود.



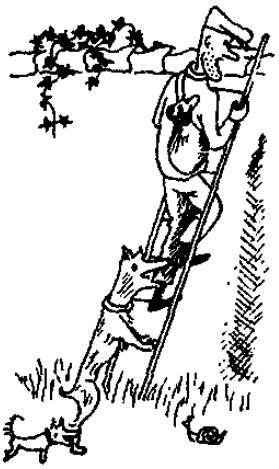
مهندسـ این‌بار آقای مبتدی دیگر از حدگذرانده‌اید! فراموش‌کرده‌اید که اگـر سیم ۹ بـار درازتر شده، مقطع آنهم ۹ برابر کمتر شده است، بنابراین مقاومت اولیه در ۸۱ ضرب شده است.

مبتدیـ که اینطور! هیچوقت فکر نمی‌کردم بایك سیم‌که فقط سه برابر کوچکتر است، مقاومتی داریم‌که تا این‌حد زیادتر شده است. اما اگر جریانی از آن بگذرانیم، توان تلف‌شده درآن زیاد خواهد بود.





شکل۹۲ـ یك‌رله (که‌به‌صورت اختصاری در سمت چپ نشان داده شده). شامل یـك قرقره است‌که یك میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند وتیغه را جذب کرده و باعث می‌شود کـه یك اتصالی،که اتصالی کار نام دارد، باز یا بسته شود.

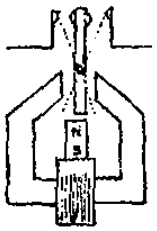


مهندسـ مسلماً نه، درواقع‌چون‌تعداد دورهای‌قرقره ۹ برابرقرقرهٔ‌اول‌است، باید جریانی از آن بگذرانیم‌که ۹ برابر کوچکتر است. با درنظرگرفتن اینکه توان تلف‌شده متناسب با مقاومت و توان دوم جریان است، بنابراین در سیم‌پیچی همان توان اولیه را بدست می‌آوریم. چیزی‌که دراینجا بدست آورده‌ایم‌کاملاً کلی است چـون وقتی حجم مس سیم‌پیچی مشخص است، فقط توان مصرف شده در این سیم‌پیچی است‌کـه عمل مغناطیسی رله را معین می‌کند. بهمین جهت است‌که برای یك رلهٔ مشخص می‌گویند توان تحریك آن ۱ یا ۱/۲ وات است. می‌توان انواع بسیار حساس‌تری ساخت بطوری‌که با توان فرمان ۰/۲ وحتی ۰/۱ وات کارکنند. رله‌های مافوق حساس می‌توانند باتوان تحریك درحدود میلی‌وات (یکهزارم‌وات) کارکنند: معمولاً این رله‌ها غیراز جریان‌های بسیار ضعیف نمی‌توانند جریان‌های

@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال

دیگری را قطع و وصل کنند و برای هرمـورد بکار نمی‌روند بلکه آنها را برای فرمان رلهٔ واسطی که توان بیشتری دارد بکار می‌برند.

فرمان یك رله به‌وسیلهٔ ترانزیستور

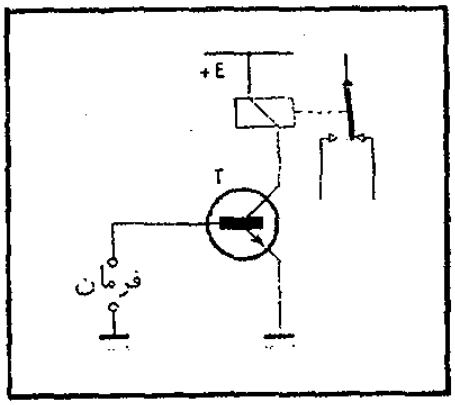


مبتدیـ فکر بسیارخوبی به‌مغزم رسید و آن اینست که اگر به‌جای فرمان‌دادن مستقیم جریان قرقرهٔ یك رله، پایهٔ یك ترانزیستور را زیر تأثیر بگیریم که جریـان جمع‌کننده‌اش از رله عبورکند، در اینصورت می‌توانیم ترانزیستور را با توان بسیار ضعیفی فرمان دهیم؛ حتی این توان را در صورت لزوم می‌شود باز هم کمتر کـرد به‌این ترتیب که از یك طبقه تقویت‌کننده‌که آنهم ترانزیستوری است استفاده کنیم.

مهندسـ آقای مبتدی کاملاً حق با شماست، فقط باید بگوییم که این فکر قبلاً پیشنهاد شده و حتی عملی هم شده است . درواقع رله‌هائی وجود دارند که در کنار سیم‌پیچی قرقره، یك تقویت‌کننده ترانزیستوری دارند، بطوری که بتوان آنها را با کمترین توان فرمان داد (شکل ۹۳) حتی رله‌هائی ساخته‌اندکه در آنها قبل از این تقویت‌کننده قپان اشمیت قرار داردکه بادقت بسیار زیاد حدود جذب وقطع اتصالی‌ها را مشخص می‌کند.

مبتدیـ درست، باز هم یکنفر ازمن پیش‌افتاده است... دارم باور می‌کنم که هیچوقت نمی‌توانم پیش‌از دیگران چیز تازه‌ای پیداکنم.

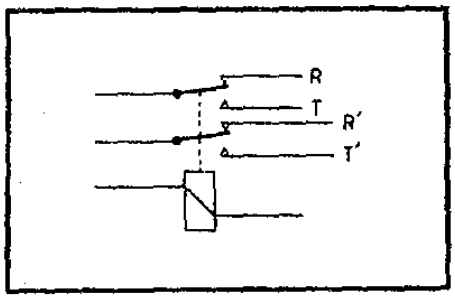
مهندسـ آقای مبتدی ناراحت نباشید، یك روز هم نوبت به‌شما می‌رسد، اما ابتدا باید این فن را خوب یاد بگیرید، اینکار برای پیداکردن چیزهای تازه پیش‌از دیگران لازم است. برای‌اینکه دوباره به‌رله‌ها بپردازیم، برایتان ازطبقه‌ای نام می‌برم که بدون‌شك آنرا نمی‌شناسید و آنهم رله‌های جهت‌دار است. اینها رله‌هائی هستندکه در آنها یك آهن‌ربای دائمی اثر خود را به‌اثر مغناطیسی قرقره می‌افزاید. به‌عبارت دیگر برحسب جهت جریان، تیغه ممکن است جذب و یا دفع شود. بنابراین رله‌هائی داریم که فقط برای جریانی که درجهت مشخص باشد جذب می‌کنند.



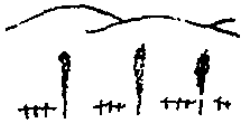
شکل ۹۳ـ یـك رله را می‌توان به وسیلهٔ یك ترانزیستور بطور مؤثر فرمان داد.

مبتدی- این‌کار را با آسانی بیشتری می‌شود انجام داد به‌این ترتیب‌که بطور پیاپی با سیم‌پیچی یك دیود ساده بگذاریم.

مهندس- بله، اگر فقط منظور این باشدکه کاری بکنیم تا رله برای یك جهت مشخص جریان جذب کند. اما با یك رلهٔ جهت‌دار می‌توان بهتراز این عمل کرد. می‌شودکاری کردکه برای جریان‌های مثبت تیغهٔ متحرك به‌طرف‌راست حرکت کند و به‌این‌ترتیب یك اتصالی را ببندد. وقتی جریان وجود ندارد این تیغه در وسط باقی می‌ماند؛ اگر جهت جریان را معکوس کنند، تیغه به‌طرف چپ می‌رود و اتصالی دیگری‌را می‌بندد. دراینجا چیزی اضافه برآنچه‌که یك رلهٔ معمولی بایك دیود،که بطور پیاپی با سیم‌پیچی آن وصل‌است، بما می‌دهد، داریم. وآنگهی آقای مبتدی‌می‌دانیدکه در رله‌های‌معمولی‌اتصالی‌هائی وجود دارندکه «اتصالی‌استراحت» نام دارند و وقتی رله زیر تحریك نیست، آنها وصل هستند؛ وقتی رله جذب می‌کند این اتصالی‌ها قطع می‌شوند. معمولاً وقتی رله جذب می‌کند همان تیغه‌ای که اتصالی استراحت را قطع‌کرد، اتصالی‌کار را وصل می‌کند. بنابراین با چیزی سروکار داریم‌که اتصالی معکوس‌کننده یا استراحت‌ـکار می‌نامند و بیشتر وقت‌ها با اتصالی RT آنرا مشخص می‌کنند . حتی ممکن است چند عدد از این اتصالی‌ها داشت. (شکل ۹۴).



شکل ۹۴- یك سیم‌پیچی می‌تواند دو معکوس‌کننده‌را بکاربیندازد، دواتصالی استراحت مستقل‌را بازکند و دو اتصالی کار راکه مستقل هستند، ببندد.



احتیاط‌هائی‌که برای‌کارانداختن رله‌ها به‌وسیلهٔ ترانزیستور بایدمراعات کرد

مبتدی- گمان می‌کنم حالا همه‌مطالب لازم دربارهٔ رله‌ها را فهمیده باشم.

مهندس- آقای مبتدی، من فهمیده‌ام‌که هیچوقت کمروئی برشما تسلط نداشته است؛ جا دارد کتاب‌های زیادی دربارهٔ رله‌ها نوشته شود. من فقط به‌گفتن مطالب جزئی دربارهٔ آن اکتفا می‌کنم. ابتدا می‌دانید که وقتی جریان قرقرهٔ یك رله را به‌وسیلهٔ یك ترانزیستور یا یك لامپ فرمان می‌دهند (تأمین می‌کنند) چه احتیاط‌هائی باید بعمل آورد؟

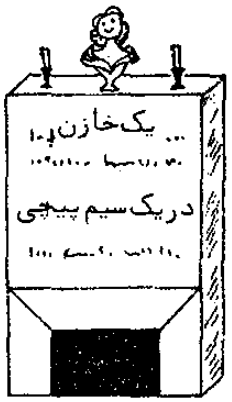
مبتدی- تصور می‌کنم‌که باید ترانزیستور یا لامپ را طوری انتخاب کرد که بتواند جریان لازم را بدون دشواری تهیه‌کند.

مهندس- درواقع این نخستین شرط است، اماکافی نیست. کمی فکر کنید که وقتی جریان کاملاً در رله برقرار شد، ناگهان ترانزیستور را با یك فشار مناسب روی پایه‌اش مسدود کنند چه پیش خواهد آمد؟

مبتدی- دراین شرایط، جریان درسیم‌پیچی قطع‌می‌شود و رله‌قطع‌می‌گردد.

مهندس- آقای مبتدی ناآگاهی شما امکان می‌دهد که درکنار بدترین مهلکه‌ها جای بگیرید. مثل اینست‌که فراموش‌کرده‌اید سیم‌پیچی رله ضریب خود القائی بزرگی دارد و به‌همین جهت با تغییرات تند شدت جریان به‌سختی مخالفت می‌کند. اصل دومی هم وجود داردکه دلم می‌خواست آنراهم بنویسید و در اطاقتان بزنید البته به‌شرطی‌که جای‌کافی وجود داشته باشد، آن اصل اینست:

«در شدت جریانی‌که از یك سیم‌پیچی می‌گذرد در زمان بی‌نهایت کوچك، تغییرات مشخصی نمی‌تواند وجود داشته باشد».



بنابراین اگر با مسدودکردن ترانزیستور، بخواهیم ناگهان‌شدت جریانی راکه از سیم‌پیچی می‌گذرد، قطع کنیم، در دو سر سیم‌پیچی اختلاف فشاری به‌وجود می‌آیدکه ممکن است قابل‌توجه باشد. این اضافه‌فشار ممکن است آنقدر بزرگ باشدکه ترانزیستور را خراب کند یا سیم‌پیچی رله را ازبین ببرد و یا اگر بخت همراه باشد حتی هردو ازبین بروند.

مبتدی- شما این را بخت می‌نامید، من آنرا بیشتر کاربرد معمولی نظریهٔ کاملاً شناخته شدهٔ شیرینی مربائی می‌دانم!

مهندس- موضوع چیست؟

مبتدی- این نظریه‌ایست‌که زیرنام «نظریهٔ حداکثر مسمومیت» هم شناخته شده است. این نظریه به‌وسیله عمل زیر قابل لمس است: وقتی شیرینی مربائی از دستتان می‌افتد، همیشه طوری می‌افتد که مربای آن روی زمین قرار می‌گیرد و حساب احتمالات را کاملاً باطل می‌کند.

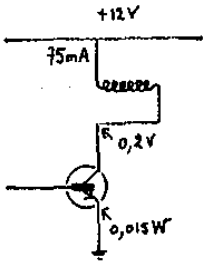
مهندس- آقای مبتدی، باوجود این به‌عقیدهٔ من در اینجا چیزی هست‌که موضوع را تغییر می‌دهد چون وجود مربا، مرکز ثقل شیرینی را اندکی برهم زده است وبنظرم می‌رسدکه نظریه مشهور شما با روش فیزیکی بیشتر قابل‌توضیح‌است تا روش ماوراءالطبیعی. خوب این صحبت‌های سطح بالا را کنار بگذاریم و به رله‌های خودمان برگردیم. چون ممکن است اضافه فشارهای زیادی بوجود بیاید، باید راهی پیدا کردکه رله و ترانزیستوری‌که به‌آن فرمان می‌دهد، حفظ کنیم. یك روش بسیار ساده وجود داردکه شامل بکاربردن ترانزیستورهائی است‌که مقاومتشان با فشاری‌که به‌آنها گذاشته می‌شود تغییر می‌کند؛ به‌عبارت دیگر منظور عنصرهائی هستند که از قانون اهم پیروی نمی‌کنند و آنهارا V. D. R (که از حروف اول کلمه‌های انگلیسی به‌معنای مقاومت وابسته به‌ولتاژ گرفته شده است) یاواریستانس Varistance می‌نامند. مثلاً یك نوع از آنها وجود دارد که زیر فشار ۱۲ ولت جریان ۵ میلی‌آمپر از خود می‌گذراند درحالی که زیرفشار ۱۴ ولت جریانی از خود می‌گذراندکه ۱۵ بار بیشتر یعنی ۷۵ میلی‌آمپراست. اگر یکی‌ازاین‌عنصرها را موازی با قرقرهٔ یك‌رله‌که برای‌کار با ۱۲ ولت پیش‌بینی شده‌است. قرار دهیم، وقتی ناگهان جریان‌قرقره را قطع‌کنیم، اگر این‌جریان ۷۵ میلی‌آمپر بوده،ابتدا ازعنصر V. D. R می‌گذرد و در این عنصر فقط فشار ۲۴ ولت ایجاد می‌کندکه به تندی روبکاهش خواهد رفت. درکار عادی‌چون در دوسر این عنصر ۱۲ ولت وجود دارد، مصرف آن فقط ۵ میلی‌آمپر است‌که عملاً دربرابر شدت جریان مصرف شده در رله قابل چشم‌پوشی است.

مبتدیـ نمی‌توانستیم بجای این عنصرعجیب V. D. R یك مقاومت ساده بگذاریم؟

مهندسـ چرا، می‌شد اینکار را کرد. اما فرض‌کنیدکه می‌خواستیم اضافه فشار را به ۲۴ ولت محدود کنیم در اینصورت می‌بایست مقاومتی انتخاب کنیم‌که زیرفشار ۲۴ ولت، جریان ۷۵ میلی‌آمپر از خود بگذراندکه یك مقاومت تقریباً ۳۳۰ اهمی است. چنین مقاومتی‌که موازی باقرقرهٔ رله قرارگرفته باشد، برای‌کار عادی تقریباً شدت جریان ۳۷ میلی‌آمپر مصرف می‌کندکه نسبت به‌جریانی‌که از رله می‌گـذرد، از چشم‌پـوشی بدور است. لازم است ترانزیستور جریـانی برابر ۱۱۲ = ۷۵ + ۳۷ میلی‌آمپررا ازخود بگذراندکه فقط ۷۵ میلی‌آمپر آن در رله بکار می‌رود.

مبتدیـ بله، فایدهٔ ایـن عنصرهای V. D. R را بخوبی فهمیدم. درواقع آنهاکمی نقش دیودهای ایجاد نوسان وبیراتور چندجانبه را بازی می‌کنندکه‌قبلاً دربارهٔ آنهاگفتگوکردیم. درحقیقت درکارعادی آنها از رله قطع هستند. و وقتی به آن متصل می‌شوندکه فشار افزایش می‌یابد.

محافظت به‌وسیلهٔ دیود

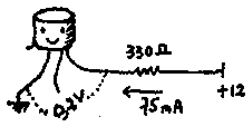


مهندسـ درحقیقت شباهتی وجود دارد. از این گذشته می‌توانستید برای محافظت رله دیودی بکارببرید. کافی است آنرا همانطورکه درشکل ۹۴ مکررنشان داده‌ام سوارکنید. می‌بینید کـه اختلاف سطح جمع‌کنندهٔ ترانزیستور نمی‌تواند از ۲۴ ولت زیادتر شود، اگرچه جریان جمع‌کنندهٔ ترانزیستور ناگهان قطع شود.

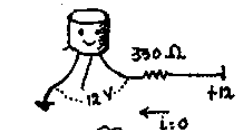
مبتدیـ راه‌حل باکاربرد V. D. R را ترجیح می‌دهم. چون درآن منبع کمکی ۲۴ ولت وجود ندارد. اما نکته‌ای هست‌که کمی ناراحتم می‌کند، بخصوص درمثال عددی شما. از رله‌ای صحبت‌کردیدکه با ۱۲ ولت وجریان ۷۵ میلی‌آمپر کار می‌کند. این دو رقم نشان‌دهنده توان ۰/۹ وات در قرقره است.

مهندسـ آقای مبتدی این مقدارکاملاً عادی است. چنددقیقه پیش آنرا به‌شما گفتم.

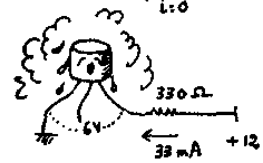
مبتدیـ برای رله بله، اما اینکار ایجاب می‌کند که ترانزیستور از نوع قوی باشد برای اینکه باید یك وات را به‌مصرف برساند.



مهندسـ مبتدی عـزیز. اینطور نیست. فکر کنید کـه در کار معمولی، ترانزیستور اشباع شده است و دراین‌حال جریان جمع‌کننده ۷۵ میلی‌آمپری کاملاً از آن می‌گذرد. اما فشار جمع‌کننده‌اش تقریباً صفر است و تقریباً تمام ۱۲ ولت در دوسر سیم‌پیچی قرقره وجود دارد. دراین شرایط توان تلف‌شده روی جمع‌کنندهٔ ترانزیستور بی‌نهایت‌کم است.

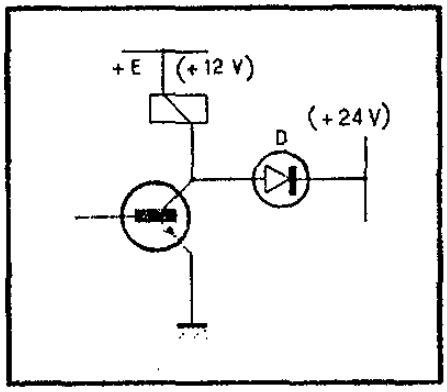


مبتدیـ دراینصورت‌می‌توانیم به‌یك ترانزیستورکوچك اکتفاکنیم به‌شرط آنکه ۷۵ میلی‌آمپر را روی جمع‌کننده و اضافه فشار ۲۴ ولت را وقتی مسدود است تحمل‌کند؟



مهندسـ می‌توانید اینکار را بکنید به‌شرط آنکه مطمئن باشیدترانزیستور همیشه دراشباع ویا مسدودبودن‌کار می‌کند. اما اگر پایهٔ آن‌طوری فرمان داده‌شود

که ترانزیستور بتواند در یك حالت بین مسدودبودن و اشباع کارکند، ممکن است تلفی روی جمع‌کننده‌اش وجود داشته باشد. به‌آسانی می‌توان نشان داد که هربارکه ترانزیستوری به‌وسیله فشار E+ از راه‌مقاومت R تغذیه‌شده باشد، زیادترین‌مقدار تلف توانی‌که روی جمع‌کنندهٔ آن ممکن‌است وجود داشته باشد برابر $\frac{E^2}{4R}$ است‌که $\frac{1}{4}$ بیشترین تلفی‌است‌که وقتی‌ترانزیستور اشباع‌است روی مقاومت R وجود دارد.



شکل ۹۴ مکرر- وقتی‌ترانزیستورناگهان‌مسدود شود، انرژی موجود درقرقرهٔ رله اختلاف‌سطح جمع‌کننده را به‌اندازه‌ای بالا می‌بردکه D را رسانا می‌کند. دیـود تـرانزیستور را حفظ خواهدکرد.

این بیشترین تلف $\frac{E^2}{4R}$ درجمع‌کننده ترانزیستور وابسته به‌وضع‌کاری است که درآن همان مقدار فشاری‌که در دوسر ترانزیستور وجود دارد در دوسر بار هم موجود باشد (مقدار این فشار در دوسر هرکدام از آنها $\frac{E}{2}$ است). در حـالت مورد نظر ما، اگر در دو سر رله ۶ ولت وجود داشته باشد (بنابراین در دو سر ترانزیستور ۶ ولت هست) تلف جمع‌کننده در ترانزیستور به‌حد امکان زیاد است؛ این تلف همانطورکه گفتم برابر یك‌چهارم بیشترین تلف در رله، یعنی‌کمی بیشتر از ۰/۲۲ وات است. عده زیادی از ترانزیستورهای کوچك این تلف را به‌خوبی تحمل می‌کنند.

75 mA × 0,2V = 0,015 W
0 mA × 12V = 0 W

انتخاب ترانزیستور

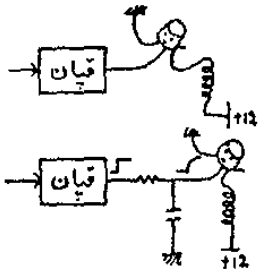
مبتدی- پس اگر مطالب شمارا خوب فهمیده باشم می‌توان‌گفت دو حالت وجود دارد، یا ترانزیستور درحالت مسدود و یا اشباع‌کار می‌کند که دراینصورت تلف جمع‌کننده ضعیف است، یا ترانزیستور به تدریج از حـالت مسدود به اشباع می‌رسدکه دراین‌حالت‌بایدبتواند ۰/۲۲ وات مصرف‌کند. اما درواقع‌مدت‌زمان‌کمی دراینحالت‌که باید ۰/۲۲ وات مصرف‌کند باقی می‌ماند (خیلی‌احتمال داردکه این وضع برای جذب رله نارسا باشد چون در دوسر سیم‌پیچی آن نیمی از فشار لازم

برای کار نله وجود دارد). بنابراین می‌توانیم ترانزیستوری پیش‌بینی کنیم که غیر از ۰/۱۵ وات و حتی کمتر از آن نتواند مصرف کند.

مهندس- نه آقای مبتدی، با ترانزیستورها استدلال لامپ‌ها را بکار نبرید چون حتی برای یک زمان کوتاه از حدود نظری تلف نباید تجاوز کرد. محل اتصالی یک ترانزیستور ماندگرمائی کمی دارد، به‌عبارت دیگر درجه گرمای آن بسیار تند از تغییرات قدرت تلف‌شده پیروی می‌کند. در یک لامپ ضریب اطمینان بزرگی دارید چون لامپی که اصولاً نباید بیش از یک وات روی آندش مصرف کند، بخوبی می‌تواند ۴ یا ۵ وات را برای مدت چند ثانیه روی آند مصرف کند، به شرط آنکه اینکار را زیاد تکرار نکنید . برای یک ترانزیستور این حد به‌روش بسیار بحرانی‌تری مشخص شده است. از طرف دیگر مدت نسبتاً زیادی طول می‌کشد تا آند یک لامپ گرم شود، درحالی‌که برای یک ترانزیستور، چندهزارم ثانیه کافی است تا اتصالی آن گرم شود. از این گذشته بهیچوجه ثابت نشده است که مجموعه ترانزیستور احتمالاً مدت زیادی در وضعیتی که ۰/۲۲ وات در ترانزیستور مصرف شود باقی نخواهد ماند (در اینمورد با شما موافقم که نامناسب‌ترین وضع است).

مبتدی- پس بکاربردن یک ترانزیستور با توان کمتر غیرممکن است؟

مهندس- نه، کاملاً امکان دارد اما در این حال باید این ترانزیستور را مثلاً به‌وسیلهٔ یک قپان اشمیت فرمان داد تا همیشه درحالت مسدود یا اشباع باشد وهیچوقت نتواند در وضع بینابین قرارگیرد. برعکس، در این موقع نقص‌هائی را که دربارهٔ تغییر بسیار تند جریان جمع کننده برایتان گفتم خواهید یافت. خطر اضافه فشارهای زیاد وجود دارد که برای مقابله با آنها باید از پیش به‌دیود یا مقاومت V. D. R مجهز شد.



مبتدی- در این حالت امکان ندارد که بین قپان اشمیت وپایهٔ ترانزیستور، صافی پائین‌گذری از همان نوع که مدار انتگرال گیرنده نامیده‌اید بگذاریم ؟

بهرحال عبور از حالت مسدود به اشباع بقدر کافی تند خواهد بود که ترانزیستور مدت بسیار کوتاهی در وضع نامطلوبی که ۰/۲۲ وات مصرف می‌کند باقی بماند؛ از طرف دیگر شاید بتوان کاری کرد که این دگرگونی آنچنان تند نباشد که اضافه فشارهای زیاد تولید کند.

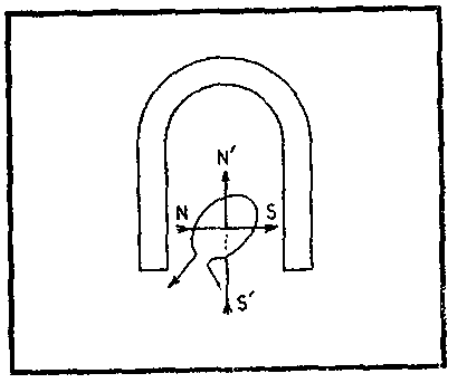
مهندس- آقای مبتدی استدلالتان قابل توجه بود، اما ممکن است برای یافتن راه‌حل قابل‌قبول آشکارا به‌زحمت بیفتید. بهرصورت کاملاً یادآوری شده است که جبهه‌های کاملاً عمودی را بدون اینکه به‌وسیلهٔ مدار انتگرال گیرنده تضعیف‌شوند نباید به‌پایهٔ ترانزیستوری فرستاد که مدار جمع کننده‌اش شامل یک قرقره است . اگر مایل باشید حالا با دستهٔ دیگری از پس‌دهنده‌ها روبرو می‌شویم: منظورم موتورهاست.

مبتدی- این دستگاه‌ها تاحدودی پیچیده هستند ومن دربارهٔ آنها تصورات مبهمی دارم.

موتور جریان مستقیم

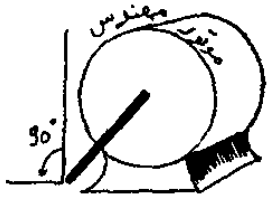
مهندس- تا اندازه‌ای حدس می‌زدم. بهمین‌خاطر است که چندکلمه دربارهٔ الکترونیک برایتان صحبت می‌کنم. کار را باموتور جریان مستقیم آغاز می‌کنیم.

به‌چیزی‌که در شکل ۹۵ برایتان کشیده‌ام نگاه‌کنید. آهن‌ربای بزرگی‌که به‌شکل



شکل ۹۵- طرح یك موتور: وقتی از یك سیم حلقه شکل در یك میدان مغناطیسی NS (که مثلاً به‌وسیلهٔ یك مغناطیس ایجاد شده است) جریان بگذرد یك میدان N′S′ ایجادمی‌کند که با ایجاد واکنش روی میدان مغناطیسی، سیم را می‌گرداند.

نعل اسب است. یك میدان مغناطیسی افقی بشما می‌دهدکه درآن یك‌سیم حلقه‌شکل را به‌صورت افقی قرار داده‌ام واز آن جریانی می‌گذرانم. اگر اکنون آهن‌ربا را به‌حساب نیاورید زیر اثر جریان دراین سیم چه می‌گذرد؟



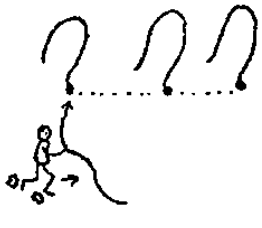
مبتدی- این را می‌دانم، چون سیم حلقه شکل چیزی شبیه به‌یك مغناطیس صاف می‌شودکه قطب شمال آن بالا و قطب جنوبیش پائین است.

مهندس- کاملاً درست است. آقای مبتدی در این‌حالت به‌عقیدهٔ شما، اثر مغناطیسی‌که ثابت‌است ومیدان مغناطیسی آن افقی است وبرعکس میدان‌مغناطیسی سیم حلقه‌شکل است چه خواهد بود؟

مبتدی- گمان می‌کنم دو میدان مغناطیسی روی‌هم اثر می‌کنند و درنتیجه مغناطیس و یا سیم حلقه‌شکل می‌گردد.

مهندس- چون مغناطیس‌کاملاً ثابت است، سیم حلقه‌شکل خواهد گشت با میل به اینکه قطب شمالش را به‌طرف قطب جنوب مغناطیس ببرد. اگر این سیم حلقه‌شکل روی یك محور ثابت باشد، دراین‌صورت محور خواهدگشت.

مبتدی- آقای مهندس نمی‌خواهم شما را ناراحت کنم. اما اگر درست فهمیده باشم، «موتور مهندس» بیشتر از $\frac{1}{4}$ دور نمی‌گردد. به‌عبارت دیگرچندان برای من جالب نیست.



مهندس- قبل‌ازاینکه اینطور انتقادکنیدکمی صبر داشته باشید. با حرف شماکاملاً موافقم. اگر فقط یك سیم حلقه‌شکل به‌همین وضع داشتم موتور من فقط یك‌چهارم دور می‌گشت. اما من بیشتر از یك سیم دارم... البته درکیفم! درنتیجه روی محور چندین سیم حلقه‌شکل می‌گذارم‌که هرکدام نسبت به‌سیم‌های‌دیگر جابجا وبا فاصله است و این سیم‌ها به‌نوبت عمل خواهندکرد.

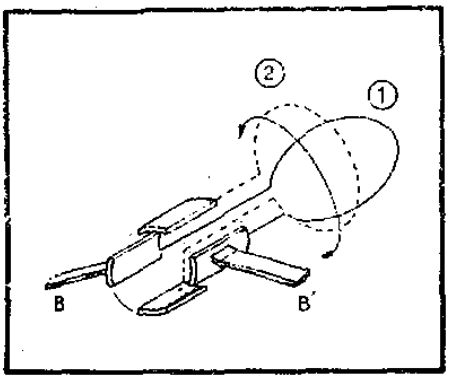
مبتدی- دراین‌صورت باید آدمی‌که جریان‌را به‌حلقه‌های مختلف می‌فرستد خیلی تندکارکند تا جریان را فقط به‌حلقه‌ای بفرستدکه کاملاً سودمند است.

کلکتور و جارو

مهندس- این مطلب‌را به‌خاطر بسپاریدکه این «آدم»که شماگفتید، اصلاً کاری ندارد، به‌تدریج‌که محور می‌گردد حلقه‌ها از برابر او رژه می‌روند. به‌شکل ۹۶ نگاه کنیدکه در آن دو سیم حلقه‌شکل راکشیده‌ام‌که شماره ۱ و ۲ را دارند. می‌بینیدکه این حلقه‌ها درسوی من به‌تیغه‌های‌کوچکی ختم می‌شوندکه‌کمی پهن‌است و جاروهای B و B′ جریـان را به آنها می‌رسانند. وقتی حلقه ۱ افقی (یا کمی متمایل) است، جاروهای B و B′ جـریان را به‌آن می‌رسانند. وقتی این حلقه به سبب تأثیر مغناطیسی روی میدان مغناطیسی کـه این حلقه ایجاد می‌کند، آغاز به گرداندن محورکرد، جریان درحلقه ۱ قطع خواهدشد، اما درحلقه ۲که جای‌آنرا می‌گیرد و به‌نوبه خودش جریان جـاروهای B و B′ را دریـافت می‌کند، برقرار خواهد شد.

مبتدی- این دستگاه بسیار زیرکانه است! دراینصورت دوحلقه عمود برهـم خواهید داشت‌که هرکدام به‌نوبۀخود عمل می‌کنند.

مهندس- از این حلقه‌ها حتی خیلی‌بیشتر از دوتا خواهم‌گذاشت و به‌این ترتیب تیغه‌های بیشتری می‌گـذارم تـا جریان را به‌این حلقه‌ها برسانند. درواقع روش ساخت طبقه‌ها کمی پیچیده‌تر است. اما همانکه برایتان شرح دادم کاملاً قابل استفاده خواهدبود. به‌این‌ترتیب یك موتور جریان‌مستقیم ساخته‌ایم. مجموع تیغه‌ها که جاروها روی‌آن مالش پیدا می‌کنند (واز این‌راه تیغه‌ها را بطور پی در پی به حلقه‌ها ارتباط می‌دهند) کلکتور نـام دارد. گاهی برای ایجاد میدان مغناطیسی‌که روی حلقه‌ها تأثیر کند، مـانند شکل ۹۵ یك مغناطیس دائمی بکار می‌برند. غالباً

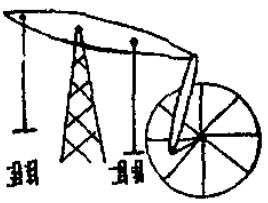


شکل ۹۶- برای داشتن چرخش بیشتر از $\frac{1}{4}$ دور در موتور قبلی روی حلقه ۱ حلقه ۲ را قرار می‌دهند ومجموع آنها شروع به‌چرخیدن می‌کند.

بجای این مغناطیس، یـك مغناطیس برقی می‌گذارند. سیم‌پیچی ایـن مغناطیس را القاءکننده (اندوکتور Inducteur) می‌گـویند درحالی‌که سیم‌پیچی کـه می‌گردد القاءشده (Induit) نام دارد.

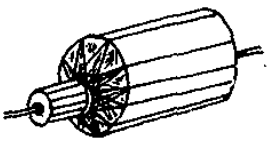
مبتدی- درواقع یك موتور برقی آنطورکه گمان می‌کردم پیچیده نیست.

مهندس- نه، درواقع بسیار ساده است. آقای مبتدی می‌بینید تمام حیله‌ای



که درساخت موتورها بکار رفته مشتمل بربکارگرفتن نیروئی است که از یك میدان مغناطیسی می‌گذرد و روی یك جریان اعمال می‌شود، در آغاز پیدایش الکتریسیته، فکر می‌کردند از نیروی جاذبه‌ای که یك مغناطیس برقی روی آهن اعمال می‌کند استفاده کنند. این نیرو برحسب فاصله‌ای که بین مغناطیس برقی و آهن‌وجود داشت بسیار متغیر بود، این کار مجبور می‌کرد وسیلهٔ قطع و وصل پیچیده‌ای برای سیم‌پیچی‌ها بسازند. همین مطلب نویسندگان بزرگی‌را وادار ساخته‌بودکه بگویند موتور برقی برای همیشه محکوم است و هیچوقت دستگاه قابل‌استفاده‌ای جز برای بازی، نخواهد بود. خوشبختانه از آن ببعد دربارهٔ کاربرد نیروهای کناری فکر کردند. خاطرنشان می‌کنم‌که برای تقویت‌اثر مغناطیس، آهن القاءشده بجای‌آنکه یك تکه‌گرفته شود، ازمقداری صفحه‌های آهنی ساخته‌می‌شود تا ازایجاد جریان‌های گردنده (مثل مبدل‌ها) درآن جلوگیری شود و دراین صفحه‌ها شیارهائی ایجادشده که سیم‌پیچی‌هائی‌که برایتان گفتم در این شیارها جای داده شده‌اند. تکه‌های قطبی (نام آنهارا قطبی‌گذاشته‌اند چون به‌قطب مغناطیس ویا مغناطیس برقی‌وصل هستند) شبیه به‌هلال هستندکه خیلی به‌القاء شده نزدیك می‌شوند تا امکان بسته‌شدن‌خطوط میدان مغناطیسی‌را از آن راه آسانترکنند. و حالا آقای مبتدی یك معما برایتان طرح می‌کنم. اگر یکی‌از این موتورها را بگیرم با فرض اینکه مثلاً القاءکننده آن یك‌مغناطیس دائمی باشد؛ چنانچه القاءشده آنرا بگردانم چه پیش می‌آید؟

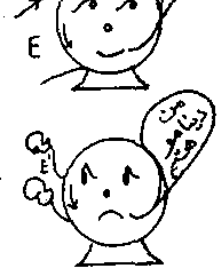
دینامو (نیروزای جریان مستقیم)



مبتدی- آه، خیلی ناراحتم می‌کنید. تصور می‌کنم حالاکه حلقه‌ها در یك میدان مغناطیسی جابجا می‌شوند، درآنها فشارهائی القاء می‌شود.

مهندس- کاملاً حق دارید. با استفاده ازسیستم جاروها وکلکتور، باز هم حلقه‌ای را که سیلان مغناطیسی تندترین تغییرات را درآن دارد از راه جاروها به مدار خارجی وصل می‌کنیم به‌این‌ترتیب دستگاه ما به‌منبع جریان تبدیل می‌شود.

مبتدی- خوب، تقریباً متوجه شدم، اما می‌خواستم بدانم فرکانس این جریان چقدر است.



مهندس- آقای مبتدی برای پیداکردن آن به زحمت می‌افتید چون این فرکانس... صفر است. درحقیقت دستگاه ما جریان‌کاملاً مستقیم نخواهد بود چون وقتی جاروها برای‌گذشتن ازیك حلقه و رفتن به‌حلقه دیگر از یك جفت تیغه جدا می‌شوند تا به‌یك جفت تیغه دیگرکلکتور وصل شوند. جریان اندکی دچار نوسان می‌شود. اما چون حلقه‌ای‌که به‌جاروها وصل است. وقتی القاءشده می‌چرخدبدنبال حلقه قبلی می‌آید. همیشه نسبت به‌آهن‌ربا یك‌وضع را دارد. جریان درخارج، یعنی درمداری‌که جاروها وصل‌می‌کنند، همیشه دریك جهت برقرار می‌شود. حالادستگاهی ساخته‌ایم‌که دینامو (نیروزای جریان مستقیم) می‌نامند.

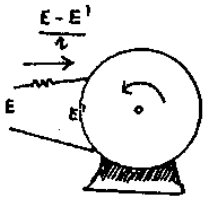
مبتدی- چیزی هست که خیلی آزارم می‌دهد چون واقعاً نمی‌دانم اختلاف بین یك‌موتور و یك دینامو چیست؟

مهندس- آقای مبتدی کاملاً حق دارید، چون هردو یك ماشین هستند. فقط مسئلهٔ کلمه درپیش است. وقتی القاءشده را بگردانم و برق تولیدشده‌را بگیرم،

دستگاه را بصورت دینامو بکار برده‌ام؛ اگر به‌القاء شده جریـان بدهم و نیروی مکانیکی محور را بکار ببرم، دستگاه را بصورت موتور بکار برده‌ام.

نیروی ضد محرکه

مبتدی- دراینصورت چیزی هست که کمی ناراحتم می‌کند. وقتی این‌دستگاه را بصورت موتور بکار می‌برند، اینکار نمی‌تواند باعث شود که فراموش کند کـه می‌تواند دینامو هم باشد... بنابراین به‌نوبهٔ‌خودش جریان تولید می‌کند کـه روی جریانی کـه شما به‌آن می‌دهید، می‌افتد... راستی به‌این جریان‌کمك می‌کند یا به آن آزار می‌رساند؟



مهندس- آقای مبتدی خوب استدلال‌کردید اما خودتان می‌توانستیدپاسخ پرسشتان را پیدا کنید. مشخصهٔ مخالفت القاء یـادتان هست. بنابراین می‌تـوانید پیشاپیش مطمئن شویدکه جریان ایجادشده به‌وسیلهٔ موتور (ازآنجاکه همیشه‌نیروزا است) با جریانی‌که من به‌آن می‌دهم تا مانند موتور آنرا بچرخاند، مبارزه می‌کند و این همانست‌که «نیروی ضدمحرکهٔ» موتور می‌گویند.

مبتدی- دراینصورت وحشتناك است! دیگر هیچ جریانی ازموتورنمی‌گذرد و دیگر نخواهد چرخید... اما اگر دیگر نچرخد، نیروی ضدمحرکه‌ای هم وجود ندارد و دراینحال می‌گردد... احساس می‌کنم‌که دیوانه خواهم شد!

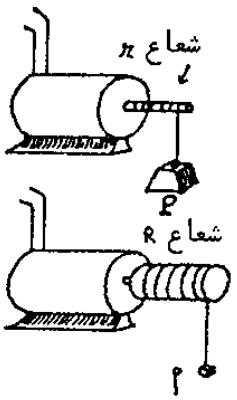
مهندس- آقای مبتدی عصبانی نشوید، این چیزها خیلی‌ساده‌تر است.

فرض‌کنید به‌موتور فشاری وصل‌کنم به‌این‌ترتیب جریانی ازحلقه‌های‌القاء شده عبور خواهد کرد. بنابراین القاءشده با سرعتی‌که روبه‌افزایش است، آغازبه حرکت خواهدکرد. به‌تدریج‌که سرعت آن افزایش می‌یابد، نیروی ضد محرکه هم به‌سهم خودش افزایش پیدا می‌کند. زمـانی می‌رسدکه نیروی ضد محرکه به‌اندازهٔ کافی نزدیك به‌فشارگذاشته شده به‌موتور می‌شود، بطوری‌که اختلاف بین این‌دوفقط جریان نسبتاً ضعیفی ازموتور می‌گذراند. این‌جریان درست برای نگهداری‌حرکت موتور بکار می‌رود چون نیروی لازم برای‌مبارزه با سایش را بوجود می‌آورد. اگر باکارگرفتن از موتور، جلوی حرکت‌آنرا بگیرم، حرکت آنراکمی آهسته می‌کنم و درنتیجه‌کاهش نیروی ضد محرکه، دیگر بین این‌نیرو و فشارگذاشته شده به‌موتور تعادل ایجاد نمی‌شود وافزایش جریانی درموتور بوجود خواهد آمدکه این‌جریان نیروی لازم‌را به‌موتور خواهد داد تا باکندشدن حرکتش مبارزه‌کند.

مبتدی- گمان می‌کنم فهمیده باشم. اما دلم می‌خواست مطالبی‌راکه دربارهٔ نیروی‌کندکنندهٔ حرکت وسرعت‌گفتید، دقیقتر برایم بگوئید.

زوج

مهندس- اینکار خیلی ساده است. اگـر القاء شده را نگه داریـد و از چرخیدنش جلوگیری‌کنید، میل زیادی‌که برای‌گـردش دارد (که آنرا زوج می‌گویند و بعد برایتان تعریف می‌کنم) متناسب با شدت جریانی است‌که وارد القاء شده‌کرده‌ام. این‌شدت جریان را دو برابر کنید، به‌این ترتیب میل به‌گردش را در

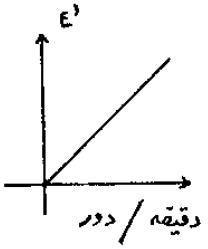


القاء شده دوبرابر کرده‌اید. برای اینکه درست‌تر گفته باشند از زوج موتور صحبت می‌کنند. این زوج با مقدار وزنه‌ای که موتور می‌تواند بلند کند اندازه‌گیری می‌شود به‌شرط اینکه این وزنه به رشته‌ای وصل باشدکه بدور استوانه‌ای که روی محور موتور ثابت شده است بپیچدکه شعاع این استوانه معین است.

مثلاً می‌گوئیم زوج یک‌موتور معین برای جریان یک‌آمپر درالقاءشده‌اش برابر ۰/۳ کیلوگرم برسانتیمتر (۰/۳kg/cm) است به‌شرطی‌که وقتی جریان در القاءشده به‌یک آمپر رسید موتور بتواند یک‌وزنه ۰/۳ کیلوگرمی راکه به‌رشته‌ای وصل شده است از زمین بلند کند و رشته‌را به‌دور استوانه‌ای به‌شعاع یک سانتیمتر که روی محورش نصب است بپیچد.

مبتدیـ اوه! خیلی پیچیده است. ولی چرا به‌این ترتیب قطر استوانه را تعیین می‌کنید؟

مهندسـ ببینید، حتماً حدس می‌زنید که اگر رشته را روی استوانه‌ای با قطر بسیارکم بپیچم. حتی اگر یک موتورکم‌توان باشد، می‌تواند یک وزنه بزرگ را بلند کند چون این کار را بسیار آهسته انجام می‌دهد، زیـرا هردور وابسته به درازای بسیارکمی از رشته است. برعکس اگر بتواند همین‌وزنه را با پیچیدن‌رشته روی استوانهٔ بزرگتری بلندکند، شایستگی بیشتری دارد، چون برای همان سرعت موتور، وزنه خیلی تندتر بالا می‌آید.



مبتدیـ پس به‌گفته شما، شدت جریانی که از یک موتور می‌گذرد، امکان می‌دهدکه میل به‌گردش آنرا بدست بیاوریم (یا اگر میل شما باشد، زوج موتور را بدست بیاوریم، چون هنوز به‌این‌کلمه‌که برایم اسرارآمیز است، اعتماد ندارم).

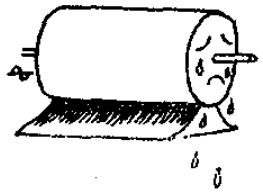
مهندسـ کاملاً درست است. حالا چیز دیگری هست‌که باید بدانید وآن سرعت موتور برای فشارمعین است. فرض می‌کنیم‌که هیچ‌سایشی وجود ندارد و در این‌حالت نیروی ضد محرکه‌کاملاً برابر فشاری است‌که به‌دوسر موتورگذاشته شده است. به‌عبارت‌دیگر وقتی فشار ۱۰ ولت را به‌القاءشده موتور می‌گذارند،القاءشده سرعتش را زیاد می‌کند تا اینکه سرعتش به‌مقداری برسدکه اگر موتور رابصورت دینامو بکار می‌گرفتید، فشاری‌که تهیه می‌کند برابر ۱۰ ولت باشد. در این لحظه جریانی‌که از القاءشده می‌گذرد تقریبا صفراست. البته این‌مطلب منطقی‌است چون موتور نباید زوجی بوجود بیاورد پس فقط‌کافی است حرکت القاءشده را حفظ کند. درواقع این مطلب فقط برای موتوری درست است‌که آزادکارکند (یعنی در خارج کاری انجام ندهد) و یا درحالتی باشد که مقاومت سیم تشکیل‌دهنده القاءشده آن بسیارکم باشد.

مبتدیـ دارم متوجه می‌شوم. اما خیلی درمورداینکه منظور موتورجریان مستقیم‌است اصرارکردید. تصور می‌کنم‌که حالا دربارهٔ دستگاه تازه‌تر به‌عبارت‌دیگر موتورهای جریان متناوب برایم صحبت خواهیدکرد.

طرزکار درجریان متناوب

مهندسـ درواقع می‌خواهم برایتان دربارهٔ آنها صحبت‌کنم، اما آنها را دستگاه‌های تازه‌تری ندانید. آنها مزایا و نواقصی دارند؛ اما اگـر بخواهید در

آغاز بکار یك زوج قوی وبه‌ویژه کارکردن روان و آرامی داشته باشید، موتورهای جریان مستقیم بهترین موتورها هستند.



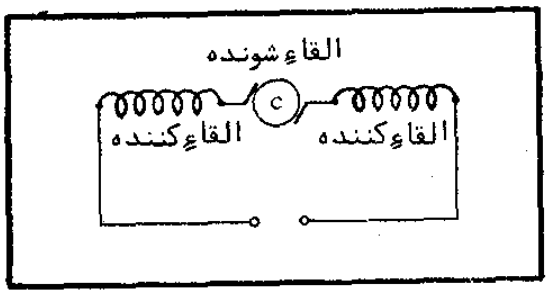
قبل‌از اینکه درباره موتورهائی کـه به‌ویژه برای جریان متناوب ساخته شده‌اند برایتان صحبت‌کنم، می‌خواستم پرسشی ازشما بکنم: اگر یك‌موتور با القاء شده و کلکتور راکه برای جریان مستقیم ساخته شده‌است با جریان متناوب تغذیه کنیم چه پیش خواهد آمد.

مبتدی- حدس می‌زنم‌که اینکار را اصلاً دوست ندارد!

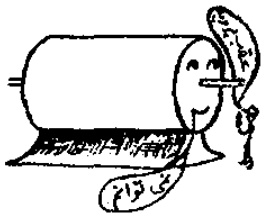
مهندس- منظور من حالت روحی موتور نیست ، بلکه واکنش‌های قابل لمسی‌که ممکن است، روی موتور داشته‌باشد چیست؟

مبتدی- فکر می‌کنم‌که شروع به‌لرزش می‌کند، کمی دریك جهت می‌گردد وبعد در جهت عکس... تا اینکه‌کاملاً ازبین برود.

مهندس- اگر موتوری باشدکه القاءکننده‌اش با آهن‌ربا ساخته شده‌باشد، حق با شماست، درواقع جهت‌گردش باتغییرجهت جریانی که از القاءشده می‌گذرد، عوض می‌شود. اما اگر موتوری مورد نظر باشدکه القاءکننده از آهن‌ربای برقی ساخته شده باشد و سیم‌پیچی آن با سیم‌پیچی القاءشده بطورپیاپی قرارگرفته باشد همانطور کـه غالباً اینطور است (شکل ۹۷) فکر کنید وقتی جریان تغییر جهت می‌دهد، قطب مغناطیس آهن‌ربای برقی هم تغییر می‌کند. دراین‌شرایط جهت‌جریان در القاءشده و در سیم‌پیچی القاءکننده‌که بطورپیاپی با آن قرارگرفته است هرچه باشد، موتور همیشه درهمان‌جهت می‌گردد.

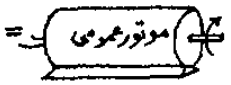


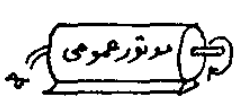
شکل ۹۷- در موتور معمولی ازنوع «پیاپی»، القاء کننده با القاءشده بطور پیاپی قرار گرفته است.



مبتدی- این شوخی بسیار نامطبوع است. بنابراین نمی‌شود جهت گردش چنین موتوری را عوض‌کرد؟

مهندس- چرا می‌شود این کار را کرد. باید جهت جریان را در القاءشده تغییر داد ولی در القاءکننده عوض‌نکرد. بنابراین‌کافی است جهت جاروها یاسرهای آهن‌ربای برقی القاءکننده را عوض‌کنیم تا موتور جهت‌گردش خود را تغییر دهد. اما اگرجهت جریان را یکباره درالقاءشده و القاءکننده معکوس‌کنیم جهت‌گردش عوض نمی‌شود، بنابراین اگر چنین موتوری‌را باجریان متناوب تغذیه‌کنید، همیشه دریك جهت می‌گردد؛ حتی باید بگوییم‌که اینکار غالباً انجام می‌شود و بهمین جهت است‌که به‌آن «موتورعمومی» می‌گویندکه درآن تحریك القاءکننده به‌وسیله‌جریانی انجام می‌گرددکه از القاءشده‌گذشته است. همین موتور اگر باجریان مستقیم تغذیه شود می‌گردد، و اگر جریان متناوب هم به‌آن بدهند می‌گردد اما نه بخوبی موتور



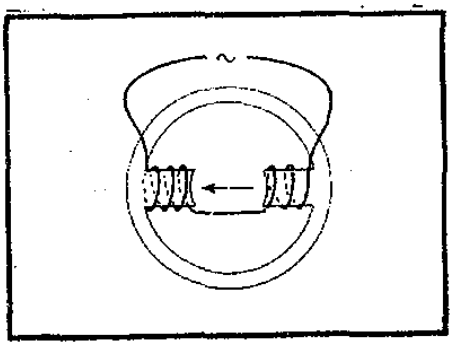


جریان مستقیم.

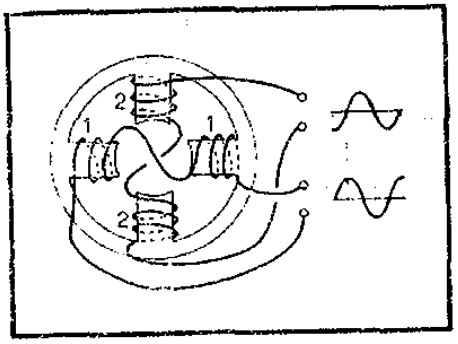
مبتدی- چرا بخوبی آن نمی‌گردد؛ چون به‌آن توهین شده است؟

موتور دو فاز

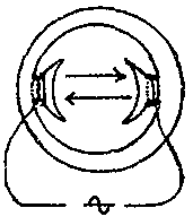
مهندس- جدی باشید اگر با جریان متناوب، بخوبی جریان مستقیم نمی‌گردد، فقط برای اینست‌که این‌جریان غالباً صفر می‌شود و وقتی جریان ضعیف است، موتور غیراز یك زوج ضعیف چیزی نمی‌دهد. از طرف دیگر موتور، دارای ضریب خودالقائی است‌که مقداری دارد و با عبور جریان متناوب در یك سیم‌پیچی مخالفت می‌کند. حالا دستگاهی را خواهیم دید‌که کاملاً با این موتور فرق دارد، فقط باجریان متناوب کار می‌کند و برای کاربردهای گوناگون بسیار سودمند است یعنی‌موتوری‌است‌که با جریان‌های با فاز مختلف‌کار می‌کند. به‌شکل ۹۸ نگاه‌کنید: دراینجا یك آهن‌ربای برقی ساخته‌ام‌که‌کاملاً شبیه به‌القاءکننده معمولی یك‌موتور عادی است‌که آنرا به‌جریان متناوب وصل می‌کنم. میدان مغناطیسی بین قطعه‌های قطبی چگونه ظاهر می‌شود؛



شکل ۹۸- میدان ایجادشده به‌وسیله قرقره‌هائی که جریان متناوب از آن‌ها گذشته‌است، نوسانی است.



شکل ۹۹- به‌وسیلهٔ دو زوج قرقره که به‌وسیلهٔ جریان‌های متناوب با فازهای مختلف تغذیه شده‌اند، می‌توان میدانی تهیه‌کرد‌که جهت آن می‌چرخد و درنتیجه ممکن است یك مغناطیس در اثر این میدان کشیده شده و با سرعتی‌که میدان می‌گردد، بچرخد. این موتور همزمان است. باگذاشتن حلقه‌های اتصال‌کوتاه شده‌سیم درآن یك موتور غیرهمزمان می‌سازند.



مبتدی- چیزی‌که شما قطعه‌های قطبی می‌گوئید، گمان می‌کنم همان‌قسمت‌های پیش آمده‌ایست‌که دور آنها سیم‌پیچی شده است؛

مهندس- کاملاً درست است. آنها مجهز به‌چیزی‌هستند‌که آنرا شکوفائی قطبی می‌گویند[1] که امکان عبور بهتر خطوط میدان به‌القاءشده را فراهم می‌کند.

---

۱. در زبان فارسی عده‌ای آنرا کفشك نامگذاری کرده‌اند (مترجم).

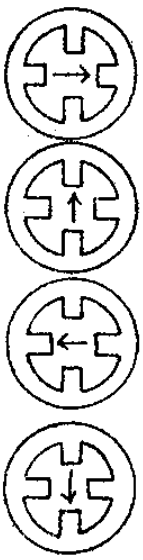
به‌پرسش من برگردیم.

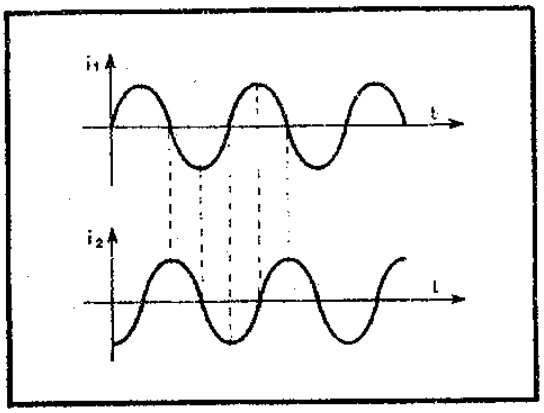
مبتدیـ فکر می‌کنم میدان مغناطیسی بین این قطعه‌های قطبی از یکی به‌دیگری می‌رود و به‌تدریج که جریان زیاد می‌شود، میدان قویتر می‌گردد، بعد پائین می‌آید و به‌جائی می‌رسد که صفر می‌شود، برعکس می‌گردد ودرجهت مخالف زیاد می‌شود، به‌نوبت خودش کم می‌شود...

مهندسـ کاملاً همینطور است. حالا باگذاشتن یك سیم‌پیچی دوم،کار را پیچیده‌تر می‌کنیم. همانطور که در شکل ۹۹ می‌بینید، این سیم‌پیچی دوم میل دارد یك میدان مغناطیسی ایجادکندکه عمود برمیدان اول خواهد بود. دراین سیم‌پیچی دوم جریان متناوبی می‌فرستم که همان فرکانس سیم‌پیچی‌اول‌رادارد، اما به‌اندازهٔ یك‌چهارم پرید نسبت به‌آن اختلاف فاز دارد...

مبتدیـ آه، کار دارد خراب می‌شود! به‌محض‌اینکه داستان فاز به میان می‌آید، مطلب بسیار پیچیده می‌شود.

مهندسـ نه تا این‌اندازه، اگر دقت‌داشته باشید. جریان i_2 (شکل۱۰۰) که من به‌سیم‌پیچی ۲ می‌فرستم، در دگرگونی‌هایش یك چهارم پرید نسبت به i_1 جریانی‌که از سیم‌پیچی ۱ می‌گذرد، تأخیر دارد. به‌عبارت دیگر در لحظه‌ای که جریان در ۱ بیشترین مقدار را دارد، جریان در ۲ صفر است. این جریان در لحظه‌ای‌که جریان در سیم‌پیچی ۱ پس‌از مثبت‌شدن به‌صفر می‌رسد، بیشترین مقدار مثبت را پیدا می‌کند. در این شرایط میدان مغناطیسی بین چهارقطعه قطبی روش کاملاً مخصوصی پیش خواهدگرفت. ابتدا، چون جریان در سیم‌پیچی ۱ بیشترین مقدار را دارد ومثبت است، این میدان ازچپ به‌راست می‌رود. جریان درسیم‌پیچی ۱ کم می‌شود و در همان‌حال در ۲ افزایش می‌یابد. دراین شرایط یك میدان از پائین به‌بالا آشکار می‌شودکه به‌تدریج‌که میدان افقی از چپ به‌راست‌کاهش می‌یابد،





شکل ۱۰۰ـ جریان‌هائی‌که دو سیم‌پیچی موتور دو فاز را تحریك می‌کند، نسبت به هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند به‌این ترتیب‌وقتی‌یکی‌حداکثر است دیگری صفر است.

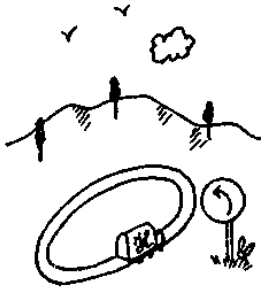
مقدار میدان عمودی بیشتر می‌شود.

پس از یك‌چهارم پرید، میدان فقط از پائین به بالاست و آغاز به‌کم‌شدن می‌کند زیرا شدت جریان در ۲کاهش می‌یابد. دراین لحظه جریان دوباره آغاز به گذشتن از ۱ می‌کند امـا درجهت معکوس آنکه در ابتدا داشت. میدانی از آن نتیجه می‌شود که کمی به‌طرف چپ می‌رود. اندکی بعد وقتی جریان بیشترین مقدار

منفی را در ۱ دارد (و در ۲ صفر است)، میدان مغناطیسی فقط به‌سمت چپ متوجه است و بیشترین مقدار را دارد. جریان منفی کـه از ۱ می‌گذرد از شدتش کاسته خواهد شد (ازلحاظ قدر مطلق) درحالی‌که یك‌جریان‌منفی می‌خواهد در ۲ برقرار شودکه میل دارد یك میدان مغناطیسی عمودی به‌ما بدهدکه این‌بار از بالا به‌پائین است. وقتی جریان در ۱ دوباره صفر شود، ما به‌میدانی می‌رسیم‌که فقط از بالا به پائین متوجه است. در این‌لحظه جریان در ۲ از لحاظ قدرمطلق‌کم می‌شود درحالی که در ۱ مقدارش زیـاد می‌شود و در عین‌حال مثبت می‌شود، یك میدان مغناطیسی خواهیم داشت‌که میل دارد ازچپ به‌راست برود.

درواقع، میدان‌های مغناطیسی در دوسر قرقره‌های ۱ و ۲ در هرلحظه بهم افزوده می‌شوند برای اینکه یك میدان واحد بدست بدهند کـه می‌تواند نسبت به محورهای ۱ و ۲ تمایل داشته باشد و اگر جریان در ۲ نسبت به‌جریانی‌که از ۱ می‌گذرد زیاد باشد این میدان به‌سوی محور عمودی متمایل خواهد بود و به‌همین ترتیب تغییر پیدا می‌کند.

میدان دوار

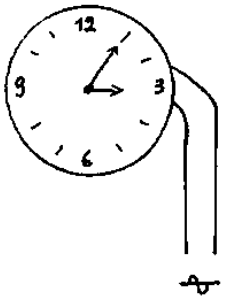


مبتدیـ درواقع بسیار پیچیده است. اما گمان می‌کنم فهمیده باشم که در آنجا پدیدهٔ بی‌نهایت عجیبی‌می‌گذرد. این‌میدان‌مغناطیسی وانمود می‌کند‌که‌می‌گردد.

مهندسـ کاری‌که می‌کند بیشتراز وانمودکردن است چون‌واقعاً می‌گردد. به‌این‌ترتیب میدانی درست‌کرده‌ایم‌که دوار نام دارد.

یك مغناطیس درون این میدان قرار دهید، مغناطیس میل دارد بگردد تا هرلحظه از این میدان پیروی کند؛ مغناطیس درست باهمان سرعت گـردش میدان می‌گردد. به‌این‌ترتیب چیزی ساخته‌ایم‌که موتور همزمان نام دارد.

مبتدیـ چنین موتوری بسیار عالی است. کلکتوری وجود ندارد و قسمت گردنده فقط یك مغناطیس است. سادگی آن خارق‌العاده است. علاوه‌براینها، بـا سرعتی می‌گرددکه‌کاملاً مشخص است.

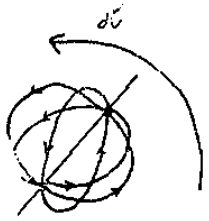


مهندسـ البته مزایای بزرگی دارد. با اینحال بایدخاطرنشان کنم‌کـه نقص‌های آن هم‌کمتر از مزایای آن نیستند. این موتور جز با سرعتی‌کـه میدان می‌گردد، طور دیگری نمی‌تـواند بگردد. اگرکار بیشتری از آن بخواهند، دیگر نمی‌تواند از این سرعت گردش پیروی‌کند. در این حالت می‌گویندکه موتور جدا می‌شود و بلافاصله می‌ایستد. برای اینکه دوباره به‌گردش درآید، ممکن است لازم باشد مثلاً به‌کمك یك دستگاه مکانیکی آنرا به‌حرکت بیاوریم تا دوباره به‌سرعت گردشی برسدکه بـا میدان بستگی پیدا می‌کند. بنابراین دستگاهی است‌که خارج از موارد مخصوص، که سرعت‌گردش‌کاملاً معینی مورد نیاز است، کاربرد آنرا توصیه نمی‌کنم. مثلاً این موتور را می‌توان برای‌گرداندن عقربه‌های ساعت به‌وسیلهٔ یك فرکانس کاملاً ثابت‌که از تقسیم‌کنندهٔ‌فرکانس تحریك‌شده به‌وسیلهٔ‌کوارتز بدست‌آمده است، بکاربرد. برای‌کاربردهای متداول دیگر، موتور غیرهمزمان‌را توصیه می‌کنم.

القاءشده با حلقه‌های اتصال‌کوتاه

مبتدیـ منظور از موتور غیرهمزمان چیست؟

مهندسـ فرض کنید که در فضای موجود بین قطعه‌های قطبی‌شکل ۹۹، چند دور سیم به‌صورت حلقه قرارداده باشم‌که همهٔ آنها اتصال‌کوتاه باشند. چه‌پیش خواهد آمد؟

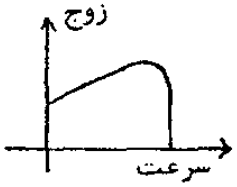


مبتدیـ ظاهراً هیچ‌چیز.

مهندسـ کاملاً اشتباه می‌کنید. پس یادتان رفته‌که پدیدهٔ القاء چیست؟

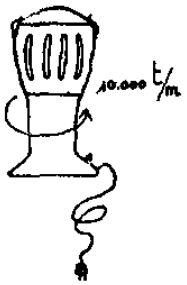
مبتدیـ نه، اما ایـن مطلب چندان تغییری ایجاد نمی‌کند. قطعاً میدان دوار شما سیلان مغناطیسی را دراین‌حلقه‌ها تغییر خواهد داد و درنتیجه‌جریان‌هائی ایجاد می‌شود. ولی اینکار فقط هرج ومرج بزرگی بوجود می‌آورد.

مهندسـ بهیچوجه! باز هم مشخصه ضد و نقیض القاء را بخاطر بیاورید. جریان‌هائی کـه زیر اثر این فشارهای القاءشده برقرار می‌شوند روی میدان اثر خواهندکرد وبه‌این‌ترتیب نیروهائی نتیجه می‌شوندکه میل‌دارند حلقه‌هارا به‌حرکت درآورند. برای تمام‌حلقه‌ها، اثر مکانیکی میل‌دارد آنهارا باسرعت میدان‌به‌گردش درآورد. به‌این‌ترتیب اگرمیدان‌نسبت به‌حلقه‌ها بی‌حرکت‌گرفته شود، دیگرجریانی درآنها القاء نخواهدکرد. این‌کاری‌است‌که‌نیروهای‌مغناطیسی‌معمولاً میل‌دارندانجام بدهندتابتوانند با تغییرات سیلانی‌که‌آنهارا به‌وجود آورده‌است، مبارزه‌کرده‌باشند.



مبتدیـ ایـن موضوع بنظر مـن قابل درك است. اما نمی‌دانم نسبت به موتور همزمان چه امتیازی بدست آورده‌اید. با این‌همه، گذاشتن یك مغناطیس از گذاشتن این‌همه حلقه ساده‌تر بود.

مهندسـ ابتدا بگوییم‌که نمی‌شودگفت اینکار حتماً ساده‌تر است. وبعد هم دراینجا از یك امتیاز قابل توجه سود می‌بریم و آن اینست‌که موتور به‌خودی خود حرکت می‌کند. اگر القاء شدهٔ آن به‌ایستد زوجی به‌بزرگی زوج موتـور جریان مستقیم ایجاد نمی‌کند. با وجود این می‌تواند بخودی خود به حرکت درآید. سپس چنانچه بخواهیم از آن‌کار بگیریم، حرکتش‌کمی آهسته‌تر می‌شود، بطوری‌که القاء شدهٔ آن سرعت‌کمتری از میدان دوار دارد و به‌این‌ترتیب جریان‌های القاءشده‌ای درحلقه‌ها بوجود خواهد آمد. القاءشده ازمیدان جدا نمی‌شود وبا سرعتی نزدیك به‌سرعت‌گردش میدان می‌گردد ونسبت به‌سرعت‌گردش یك **لغزش** یا **جابجائی** نشان می‌دهد کـه هرچه کاری‌که ازآن می‌گیریم بیشتر باشد، این لغزش بزرگتر است. بنابراین موتوری است‌که نرمش بیشتری دارد.



مبتدیـ دراینصورت فکر می‌کنم همین‌موتور را درجاروهای برقی وقهوه خردکن‌های برقی بکار می‌برند...

مهندسـ معمولاً در این دستگاهها کـه نیاز به‌گردش بسیار تند دارند، بیشتر موتورهای عمومی را بکار می‌برند که یك کلکتور و دوجارو دارند. ببینید آقای مبتدی، یك‌موتور غیرهمزمان نمی‌تواند سریعتر ازمیدان، بگردد. باجریان متناوبی‌که دراختیار ماست، این گردش ۵۰ دور درثانیه است.

مبتدیـ این سرعت بنظر من عالی است!

مهندس- بله، اما به‌گفتهٔ کارشناسان این سرعت کافی نیست که بتواند قهوه خردکن برقی را که سرعت گردشش باید دست‌کم سه‌برابر این (۱۵۰ دور در ثانیه یا ۹۰۰۰ دور در دقیقه) باشد، به‌درستی بکار بیندازد. بهمین‌جهت است که در این دستگاهها موتـور عمومی می‌گذارند. در عوض، برای تهیهٔ توان‌های زیاد به‌روش آسان، موتور غیرهمزمان را زیاد بکار می‌برند. تقریباً همیشه ماشین‌های رختشوئی را با ایـن موتورها درست می‌کنند. ما فقط به‌کاربرد آن در دستگاههای کوچکی اکتفا می‌کنیم که ماشینهای فرمان نامیده می‌شوند و بعدها دربارهٔ آنها گفتگو می‌کنیم. الان چگونگی جریان‌دادن به‌این موتورها را، خواه موتـور جریان مستقیم باشد یا موتور همزمان، کمی بررسی می‌کنیم.

تغذیهٔ موتورها

مبتدی- مسلماً جریان‌دادن به یك موتور غیرهمزمان آسان‌تر است چون باید جریان متناوب به‌آن داد و تقویت‌کننده‌های ایـن نوع جریان آسان‌تر ساخته می‌شوند.

مهندس- تاحدودی حق با شماست، اما درمورد موتور غیرهمزمان مسئلهٔ کوچکی وجود دارد. به‌این موتور دو جریان مختلف می‌دهند.

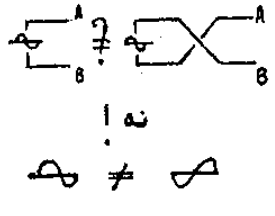
مبتدی- نمی‌دانم چرا اینکار شمارا اندوهگین می‌کند چون فقط کافی است دو تقویت‌کننده بکار ببریم.

مهندس- اگر یك‌جفت از قرقره‌ها را با جریان متناوبی کـه دامنهٔ ثابت دارد تغذیه کنیم و جفت دیگر را زیرجریان متناوبی قـرار دهیم که نسبت به‌اولی اختلاف فاز دارد و به وسیلهٔ تقویت‌کننده تهیه شده، ایـن کار ساده‌تر است. میدان دواری بدست می‌آوریم کـه کمی لنگ می‌زند، اما به‌این ترتیب می‌توانیم سرعت موتور را برحسب فشار خروجی تقویت‌کننده تنظیم کنیم.

مبتدی- بله، اما در اینجا چیزی هست که کمی ناراحتم می‌کند. ولی شاید تغییر جهت گردش این گـونه موتورها موردنظر نباشد چون نمی‌شود گفت که یك جریان متناوب مثبت است یا منفی.

مهندس- درست‌است اما می‌توان گفت یك‌چهارم‌پریدنسبت به‌جریانی که از سیم‌پیچی یك جفت قرقره مستقیماً تغذیه شده می‌گذرد، پیش‌افتادگی یا پس‌افتادگی دارد. بنابراین اگر پلاریزاسیون‌خروجی تقویت‌کننده‌ای که یك جفت قرقرهٔ دیگر را تغذیه می‌کند معکوس کنیم جهت‌گردش موتور راهم معکوس کرده‌ایم.

مبتدی- نمی‌دانـم منظورتان از «معکوس کـردن پلاریزاسیون‌خروجی» چیست... متناوب همیشه متناوب است!



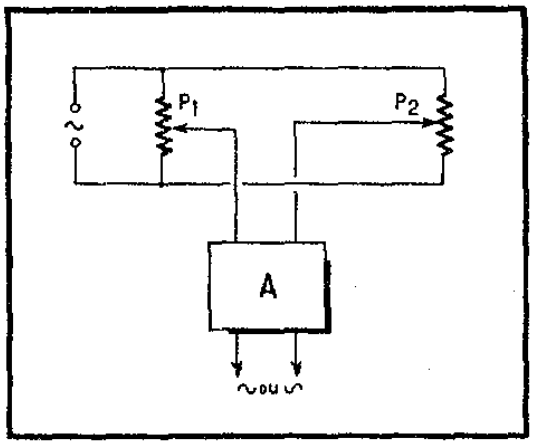
مهندس- آرامتر، به‌مونتاژ شکل ۱۰۱ نگاه کنید...

مبتدی- مدتهاست آنرا می‌شناسم، فقط یك پل‌ویتستون است.

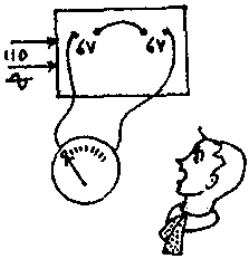
مهندس- عجب! آقای مبتدی امروز کاملاً سرحال هستید. بله درواقع یك پل‌ویتستون است. فرض کنید که سرهای متحرك P_1 و P_2 درست در وسط باشند، در این‌صورت چه فشاری به‌ورودی تقویت‌کنندهٔ A می‌فرستیم؟

مبتدی- هیچ فشاری نمی‌فرستیم.

مهندس- درواقع یك «فشار صفر» به‌آن‌می‌گذاریم. حالا با ثابت‌نگهداشتن سر متحرك P_2 سر متحرك P_1 را ابتدا به‌طرف بالا و سپس به‌طرف پائین جابجا می‌کنیم. بخوبی می‌بینید فشاری‌که به‌ورودی A می‌گـذاریم ممکن است با فشاری که بتانسیومترها را تغذیه می‌کند هم فاز باشد ویا فاز مخالف آن‌را داشته باشد.



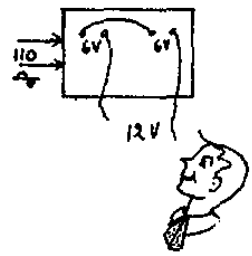
شکل ۱۰۱- برحسب‌وضع قرار گـرفتن P_1 و P_2 ، فشار خروجی‌که از A بدست‌می‌آید ممکن است هم فاز و یا با فازمخالف فشاری باشدکه در P_1 و P_2بدست آمده است.



مبتدی- این دیگر مضحك‌تر است! پس می‌شود از یك فشار متناوب‌مثبت یا منفی صحبت‌کرد.

مهندس- من این کلمه را بکار نمی‌برم، فقط می‌گویم «هم‌فاز» یا «با فاز مخالف». ببینید آقای مبتدی حتماً برای‌شما اتفاق افتاده‌است‌که دوسیم‌پیچی ثانوی یك میدل را بطورپیاپی بهم وصل‌کنید تا فشاری برابر مجموع فشار آن‌دو بدست بیاورید؟

مبتدی- بله البته، یادم هست. حتی این موضوع توهینی هم به‌شخصیت من کرد. میدلی داشتم‌که دو سیم‌پیچی ثانوی داشت‌که هرکدام ۶ ولت بود خواستم آن دو را بهم ببندم‌که فشار ۱۲ ولت بدست بیاورم وابتدا فشاری بدست‌آوردم‌که‌کاملاً صفر بود.



مهندس- می‌بینید آقای مبتدی، دوفشار خروجی خودتان را بطور پیاپی وصل‌کـرده بودید اما با فاز مخالف. اگر سرهای یکی از دو سیم‌پیچی ثانوی را عوض می‌کردید، فشار ۱۲ ولت بدست می‌آوردید. جـای خوشوقتی است کـه نیاز نداشتید ثانوی‌های خودتان را موازی وصل‌کنید چون دراین حالت اگر اتصال را با فاز مخالف انجام می‌دادید، برابر با یك اتصال کوتاه واقعی بود. پس می‌بینید که می‌توانیم به‌سیم‌پیچی کمکی یك موتور دوفاز فشار متناوبی بدهیم‌که آنرا دریك جهت یا درجهت دیگر بگرداند (برحسب فاز این‌فشار متناوب) و سرعت آنراکم و زیادکنیم (برحسب دامنهٔ این فشار).

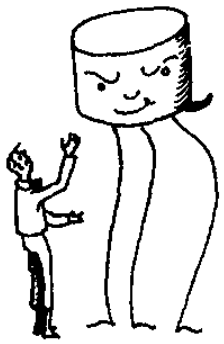
تغذیهٔ موتور جریان مستقیم

مبتدی- درحالت موتور جریان مستقیم، گمان نمی‌کنم جریان یك لامپ یا یك ترانزیستور را مستقیماً به‌موتور بدهید؟

مهندس- اگر قانونی کـه مرا از اینکار باز می‌دارد نشانم بدهید خیلی متشکرمی‌شوم. درواقع همین‌کار را خواهم‌کرد. معمولاً ترانزیستور آمادگی بیشتری برای این‌نوع‌کار دارد، چون موتورها را با سیمهای کلفت‌تر و دور سیم‌پیچی کمتر، آسانتر می‌شود ساخت، به‌عبارت دیگر ساختن آنها برای فشارهای نسبتاً ضعیف و جریان زیاد ساده‌تر است. بنابراین غالباً برای بکارانداختن موتور یك‌ترانزیستور بکار می‌بریم.

دراین صورت باید به‌بعضی موارد توجه شود. وقتی القاءشده یك موتور را درمدار جمع‌کنندهٔ یك ترانزیستور قرار دهیم، عملاً مقدار جریانی را که باید از این القاءشده بگذرد تعیین‌کرده‌ایم (تا موقعی‌که در دوسر ترانزیستور فشار وجود دارد یعنی ترانزیستور اشباع شده نیست). بنابراین مقدار زوجی‌که موتور بوجود می‌آورد، معین‌کرده‌ایم. وقتی ترانزیستور به‌اشباع می‌رسد یعنی دیگر فشار در دو سر آن وجود ندارد، فشار در دوسر موتور دیگر نمی‌تواند افزایش یابد ودرنتیجه برابر فشار تغذیه است. به‌این‌ترتیب این موضوع حد سرعت موتور را معین‌می‌کند.

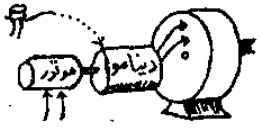
مبتدی- اما چیزی هست که مرا ناراحت می‌کند چون یك موتور جریان مستقیم آمادگی‌دارد که درهردوجهت بگردد. دراینجادیگرموضوع وحشتناك‌هم فازی و یا فاز مخالف وجود ندارد. زیرا تغییر جهت جریان القاءشده، و نه در القاءکننده، است‌که تغییرجهت‌گـردش موتور را بدنبال دارد. درحالیکه جریان جمع‌کنندهٔ یك ترانزیستورجزدریك‌جهت‌نمی‌تواندبگذرد. این مسئله را چگونه باید حل‌کرد؟



مهندس- راه‌حل‌های زیادی وجود دارد. مثلاً می‌توانید موتور خودتان را با تقویت‌کنندهٔ پوش، پول پیاپی (سری) بکار بیندازید کـه بطور خلاصه آنرا در شکل ۵۲ برایتان‌کشیده‌ام. این راه‌حل بازهم ساده‌ترین راه‌حل است.

مبتدی- باز هم چیزی هست‌که فکر مرا پریشان می‌کند. در بعضی موارد ممکن است به‌موتوری نیاز باشدکه توان بسیار زیادی بدهد ومن نمی‌دانم‌می‌توانم به‌آسانی ترانزیستورهائی پیداکنم‌که‌بتوانند چندین‌ده آمپر جریان بدهند وچندین صد ولت فشار را تحمل‌کنند.

دینامو (نیروزای جریان مستقیم) تقویت‌کننده

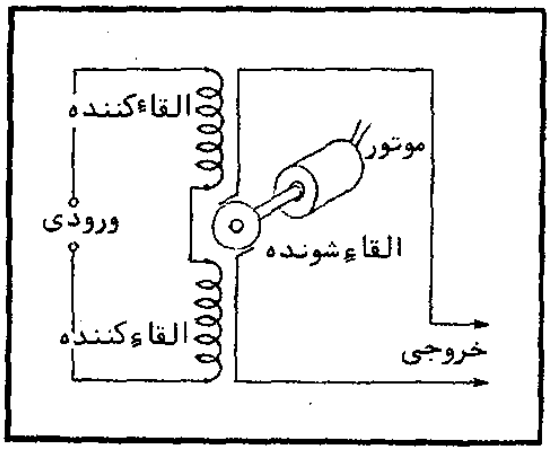


مهندس- می‌توانید پیداکنید اما برایتان نسبتاً گران تمام می‌شود. دراین حالت راه‌حل ظریفی وجود دارد وآن بکاربردن دینامو تقویت‌کننده است.

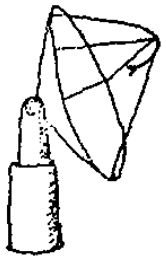
مبتدی- فـوراً بگوئید ایـن چگونه چیزی است چـون فقط لامپ‌ها و ترانزیستورها را به‌عنوان تقویت‌کننده می‌شناختم، اما هرگز حدس نمی‌زدم که این حیوان نجیب‌کـه دینامو نام دارد و زیرکاپوت اتومبیلم به‌وجودش پی‌بردم، بتواند بجای تقویت‌کننده بکار برود.

مهندس- آه، بی‌نهایت ساده است. دینامـوئی را درنظر بگیرید (شکل ۱۰۲) که به‌وسیلهٔ یـك موتور می‌گردد، اگر به آهن‌ربای الکتریکی که به‌عنوان القاءکنندهٔ آنست جریانی ندهم، دینامو هیچ‌جریانی روی جاروهای خودش بوجود نمی‌آورد. هرچه‌جریانی‌که به‌القاءکننده‌اش می‌دهم بیشتر باشد، فشاری‌که این‌دینامو در دو سر جارو بوجود می‌آورد و می‌تواند جریان به‌ما بدهد زیادتر است. توان

نسبتاً ضعیفی برای تحریك القاءکننده‌کافی است تا امکان آنرا بوجود بیاورد کـه دینامو توان برقی بسیار زیـادی بین دو جارو ایجادکند. درواقع از موتوری که دینامو را می‌گرداند انرژی خواسته می‌شود، درحالی‌کـه تنها هدف جریانی‌که از القاءکننده می‌گذرد اینست‌که یك میدان مغناطیسی ایجاد کند،که آنـرا می‌شود با انرژی‌کمی تهیه‌کرد بمشرط آنکه حلقه‌های سیم‌پیچی را زیادگرفته باشند.



شکل ۱۰۲- دریك دینامو که بوسیلهٔ موتوری به‌گردش درمی‌آید، فشار در دوسرجاروها تابع‌جریان درالقاءکننده است.

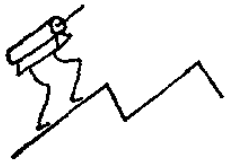


مبتدی- این دیگر بسیار عالی است! بنابراین جریان دینامویی خـودتان را به‌موتوری‌که می‌خواهید فرمان دهید می‌فرستید وتقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری‌فقط القاءکنندهٔ دینامو را زیرتأثیر می‌گیرد؟

مهندس- کاملاً درست است. چنین سیستمی بـا ترانزیستور معمولی و کم‌بها، امکان‌کم و زیادکردن سرعت گردش یك موتور با توان چندین کیلووات را بوجود می‌آورد. من آنرا برای‌گرداندن برج‌کوچك آنتن رادارمی‌که چندین تن وزن دارد وآنرا با تقویت‌کنندهٔ بسیارکوچکی فرمان می‌دادند، بکار برده‌ام.

مبتدی- درواقع ساختن آن بسیار خوبست. امـا نکته‌ای هست که مرا اندوهگین می‌کند! دراین‌حالت مجبور هستید سه ماشین داشته‌باشیدکه یکی موتور گردانندهٔ دینامویی تقویت‌کننده است، خـود دینامو و موتوری که جریان دینامویی تقویت‌کننده را به‌آن می‌دهند. واقعاً داشتن همه‌اینهاکمی جایگیر است!

مهندس- درواقع یکی‌از نقص‌های این‌سیستم همین است.(که مستقل‌ازنقص وابسته به دشواری‌هائی است‌که از مغناطیسی نتیجه می‌شوندکه ممکن است در آهن القاءکنندهٔ دینامو باقی بماند ونیاز به‌روش‌های اصلاح پیچیده‌دارند.) بهمین جهت است‌که به‌موازات آن روش دیگری راگسترش داده‌اند که بی‌نهایت زیرکانه است و شامل تغذیهٔ یك‌موتور جریان مستقیم با تیراترون است.



فرمان به‌وسیلهٔ تیراترون

مبتدی- پس دراین‌حالت موتور شما حرکت دندانه ارهای دارد!

مهندس- آقای مبتدی قبلاً حرفهای احمقانه زده‌اید اما نه تا این‌حد... نه، شوخی نکنید. البته یك تیراترون آمادگی داردکه در بعضی از مونتاژهائی‌که

برایتان گفتم برای تهیهٔ فشارهای دندانه اره‌ای بکار برود. درحقیقت آنرا با روش کاملاً متفاوتی برای راه‌انداختن موتورمان بکار می‌بریم به‌این ترتیب که جریان تیراترون را وارد القاءشدهٔ موتور می‌کنیم.

مبتدی- اما القاءشده از این‌نوع جریان وحشت دارد، چون جریان یک تیراترون از ضربه‌های کوتاهی تشکیل می‌شودکه شدت آنها بسیار زیاد و مدت ادامهٔ آنها بسیارکوتاه است.[۱]

مهندس- این وضع آنها در مونتاژهای زاینده‌دندانه اره‌ای‌بودکه برایتان گفتم. تیراترون می‌تواند به‌گونه‌کاملاً متفاوتی کارکند؛ مثلاً وقتی‌که خاصیت‌اساسی آنراکه غیرمداوم‌بودن است بکار ببریم. یکبار که عبور جریان را در آن برقرار کردیم، اگر چیزی غیرازخازنی‌که جریان‌آند آنرا ایجادمی‌کند باشد، تیراترون می‌تواند بخوبی به‌گذراندن جریان ادامه دهد.

مبتدی- آقای مهندس حرفهای شما ضد و نقیض است! قبلاً کاملاً تأکید کرده بودیدکه دریک تیراترون وقتی جریان برقرارشد ممکن است به‌مقدارزیادی برسد و حتی باید اقدام‌های احتیاطی برای محدودکردن آن بعمل آورد.

مهندس- این درست همان کاری است‌که ما می‌کنیم. اگر در مدار آند تیراترون یک‌مقاومت و یک منبع را بطور پیاپی قرار دهیم، وقتی تیراترون بکار افتاد، شدت جریان‌کاملاً عاقلانه در مقداری‌که قانون اهم حکم می‌کند، نگه داشته خواهد شد. افت فشار در دو سر تیراترون بسیارضعیف و در دو سر مقاومت زیاد است وشدت جریانی‌که از تیراترون‌می‌گذرد به‌واسطه این‌مقاومت محدودخواهدشد.

مبتدی- این مطلب به‌عنوان‌کاربرد یک تیراترون بنظر من بسیار عجیب است. به‌عبارت‌دیگر وسیله‌ای برای گذراندن جریان ازموتور دراختیار داریم. اما گذشته از امکان گذراندن این جریان باتحریک تیراترون از راه شبکه‌اش، نسبت به‌چیزی‌که یک رلهٔ ساده به‌ما می‌داد، چیز مهمی بدست نیاورده‌ایم.

تغذیه با جریان متناوب

مهندس- اگر منبعی‌که تیراترون را تغذیه می‌کند منبع‌فشار مستقیم بود، حق داشتید. اما اگر موتوری راکه بطور پیاپی با تیراترون قرار گرفته است با منبع جریان متناوب تغذیه‌کنیم، موضوع فرق می‌کند.

مبتدی- دراینصورت فکر می‌کنم موتوری بکار می‌بریدکه عمومی نام دارد وکار با جریان متناوب راهم می‌پذیرد؟

مهندس- بهیچوجه، یک موتور جریان مستقیم بکار می‌بریم که اگر القاءکننده‌اش آهن‌ربای دائمی نباشد، جریان تحریک آن هم‌کاملاً ثابت باشد.

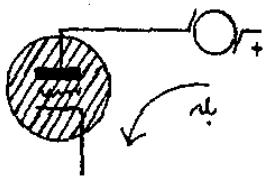
مبتدی- دراینصورت بهتر است فوراً بروم! آقای مهندس آخر بمن‌گفتید که چنین موتوری در جهتی می‌گردد که بستگی به جهت گردش جریان در القاء شده‌اش دارد!

مهندس- عصبانی نشوید. البته جریانی که در القاءشده موتور می‌گذرد

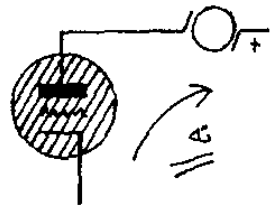
---

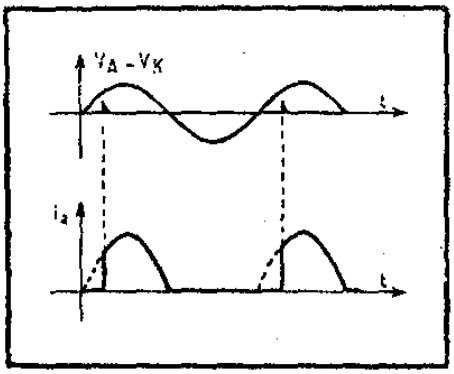
۱. نگاه‌کنید به‌کتاب «تلویزیون؟ بسیار ساده است!»

مستقیم نخواهد بود. دست‌کم باید گفت که یکسو شده است چون یك تیراترون نمی‌تواند ایونیزاسیون درگاز داخل حباب بوجود بیاورد مگر وقتی که آند آن نسبت به‌کاتدش مثبت باشد. جریانی‌که از موتور می‌گذرد همیشه دریك جهت است و فقط در نیم پریدِ عبور می‌کند واین نیم‌پریدِ همانست‌که در آن آند تیراترون نسبت‌به کاتدش مثبت است.



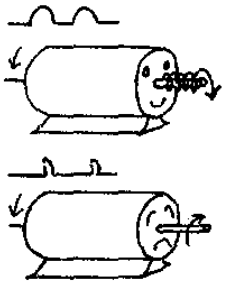
مبتدیـ در این شرایط قبول دارم. اما درست نمی‌دانم چه امتیازی بدست آورده‌اید چون اگرشبکه، به‌مقدارکافی منفی باشد، در تیراترون ایونیزاسیون‌بوجود نمی‌آید و موتور نمی‌گردد. واگر شبکه را مثبت‌کنید ویا حتی آنرا به‌اختلاف‌سطح صفر وصل‌کنید، تیراترون در تمام مدت با ایونیزاسیون است ومی‌توان بجای آن یکسوساز ساده‌ای گذاشت.

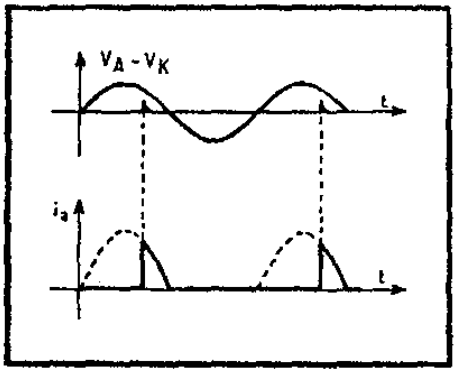




شکل ۱۰۳ـ اگر ضربه‌های راه‌انداختن تقریباً در ابتدای نیم پریدِ مثبت فشار آند به شبکهٔ تیراترون گذاشته شوند، جریان آندی در بخش بزرگی ازاین نیم‌پریدِ عبور می‌کند ودرنتیجه مقدار متوسط آن زیاد است.

مهندسـ بله، شما حدود نهائی را خوب ارائه می‌دهید. اما من می‌توانم کاری بکنم‌که خیلی تدریجی‌تر باشد. مثلاً فرض کنیدکه بمشبکهٔ تیراترون ضربه‌هائی بگذاریم و ترتیب‌کار را طوری‌بدهم‌که در نیم‌پریدی‌که آند نسبت به‌کاتدمثبت است، این ضربه‌ها کم وبیش با تأخیر برسند. می‌بینیدکه اگر این ضربه‌ها در این نیم‌پریدِ خیلی زود برسند، همانطورکه در شکل ۱۰۳ نشان داده شده است، جریان

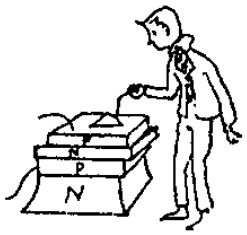




شکل ۱۰۴ـ اگر ضربه‌ها دیرتر برسند، جریان متوسط ضعیف است.

یکسوشده تقریباً درتمام مدت نیم‌پریدِ ازموتور خواهدگذشت. برعکس اگرضربه‌ها را خیلی دیرتر بفرستم، همانطورکه درشکل ۱۰۴ نشان داده شده، به‌آسانی‌مشاهده می‌کنید که زمان ایونیزاسیون در تیراترون قبل از اینکه به‌علت منفی‌شدن آندش نسبت به‌کاتدکاملاً ازبین برود. بسیارکوتاه است.

مبتدی- این‌مطلب جالب است! این تیراترون مثل یکسوسازی کار می‌کند که بتوان آنرا فرمان داد.

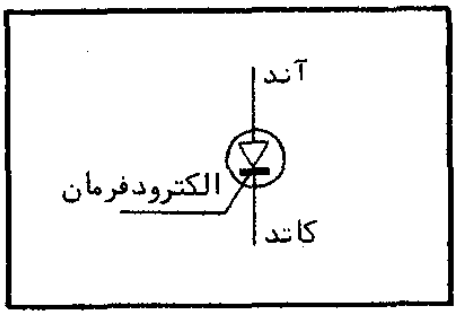


مهندس- وآنگهی بهمین‌جهت است‌که غالباً آنرا با نام «لامپ‌زیرفرمان» مشخص‌می‌کنند. از این‌گذشته‌معادل نیم‌هادی‌آنراهم «یکسوساز سیلیکومی‌زیرفرمان» می‌نامند وآنرا غالباً با حروف اول‌کلمه‌های انگلیسی آن‌که به‌همین معنی است با S. C. R مشخص می‌کنند.

تیراترون‌های نیمه‌هادی (تریستورها Thyristors)

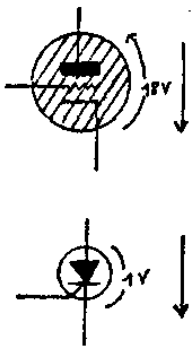
مبتدی- پس نیمه‌هادی‌هائی هم هست‌که مثل تیراترون‌کار می‌کند؟

مهندس- بله وکار آنها عـالی است. بی‌آنکه در جزئیات ساخت آن وارد شوم. بشما می‌گویم کـه آنها چهار پوشش دارندکه بطور یك‌درمیان p، n، p و n است. نخستین پوشش p آند نـام دارد، آخرین پوشش n کاتد است. پوشش p که درست پهلوی پوشش n کاتد قرار دارد به یك سیم خارجی (الکترود فرمان) وصل است وپوشش سوم به‌چیزی وصل نیست، باوجود این اتصالی‌های آن درکار نقشی به عهده دارند. چنین تیراترونی‌که معمولاً برای تحمل فشار حداکثری به‌مقدارمعین مثلاً ۲۰۰ یا ۴۰۰ ولت درست شده است، ممکن است به وسیله الکترود فرمانش در یك جهت یا جهت دیگر تحریك شود و بکار بیفتد. این کار وقتی انجام می‌شود که ابتدا، درست مثل یك تیـراترون گازی، آند آنرا نسبت به‌کاتد مثبت کنند



شکل۱۰۵- علامت تیراترون جامد (معادل نیمه هادی تیراترون گسازی) کـه آنرا یکسوساز سیلیسیومی‌زیرفرمان‌یا تریستورهم‌می‌گویند.

اما با آن ایـن تفاوت را داردکه فشاری روی الکترود فرمان آن نمی‌گذارند بلکه جریانی به آن داده می‌شود. یکبار که تیراترون بکار افتاد، فقط مدار خارجی جریانی راکه ازآن می‌گذرد محدود می‌کند، چون تقریباً مثل یك اتصال کوتاه عمل می‌کند، یا درست‌تر بگویم مثل یك دیود یکسوساز سیلیکومی است که افت فشاری‌برابر یك ولت ایجاد می‌کند. می‌بینیدکه تا چه اندازه نسبت‌به‌تیراترون گازی جالبتر است چون این تیراترون وقتی تحریك‌شد در دوسر خود افت‌فشاری درحدود ۱۵ ولت دارد.

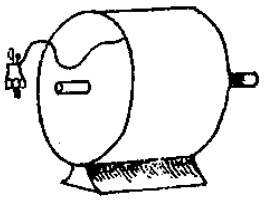


بنابراین تیراترون سیلیسیومی بـایك جریان چند میلی آمپری که روی الکترود فرمانش وجود داشته باشد، بکار می‌افتد و بعداز اندکی، تاوقتی در مدار آندش شدت جریانی بالاتر از چندمیلی‌آمپر برقرارکنند، مثل یك‌دیود یکسوساز عمل می‌کند. اگر این تیراترون را اتصال‌کوتاه‌کنندکه اینکار فشار دوسر آنرا از ولت هم،که‌معمولاً وقتی رساناست این‌فشار بین آندوکاتدش وجود دارد، کمترمی‌کند،

تیراترون ازکار می‌افتد. همینطور با قطع‌کردن جریانی که ازآن می‌گذرد یا منفی‌کردن آندش نسبت‌به‌کاتدکه هردویکی‌است، آنرا ازکار می‌اندازند. برای‌یادآوری اینکه این دستگاه تاچه‌اندازه به‌یکسوسازی‌که زیرفرمان‌گرفته باشند نزدیک‌است، آنرا بصورتی‌که درشکل ۱۰۵ کشیده‌ام خلاصه می‌کنند، به‌عبارت دیگر مثل دیود یکسوساز با یك الکترود اضافی فرمان است‌که بطورکج ازکاتد بیرون آمده‌است.

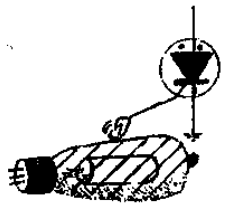
مبتدی‌ـ با این تیراترون‌های نیمه‌هادی می‌توان شدت جریان‌های زیاد را زیر فرمان‌گرفت؟

مهندس‌ـ آه، بله، جریان‌های بسیار زیاد. مثلاً این تیراترون را که در دست من است می‌بینید. اقرار می‌کنیدکه خیلی بزرگ نیست. بله، همین تیراترون کوچك‌که دربرابر بزرگی موتور ۲ کیلو واتی اصلاً به‌حساب نمی‌آید، برای زیر فرمان‌گرفتن سرعت موتور بطور منظم‌کاملاً کفایت می‌کند. این دستگاههای‌کوچك که ده‌تای آن دریك مشت جا می‌گیرد، هرکدام ۸ گرم وزن دارد، بالاترین فشاری که تحمل می‌کنند ۵۰۰ ولت است ومی‌تواند جریانی بیشتراز ۲۰ آمپر از خودش عبور دهد. برای‌اینکه بتوان بایك تیراترون‌گازی‌همین‌کار راکرد، باید نوع بسیار عالی‌آنرا انتخاب‌کردکه ۷ تا ۸ سانتیمترقطرودرحدود ۱۵ سانتیمتر بلندی دارد. وآنگهی به‌مسئله‌های دیگری اشاره می‌کنم مثل مصرف بسیار زیاد انرژی بـرای گرم‌کردن‌کاتداین‌تیراترون‌گازی وزمان زیادی‌که‌کاتد قبل‌از بکارانداختن‌تیراترون باید‌گرم شودکه ممکن‌است به‌آن زیان زیادی برساند.



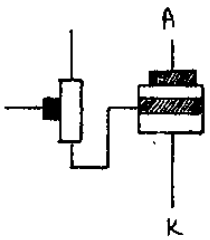
مبتدی‌ـ دراینصورت فکر می‌کنم تا چندسال دیگر تیراترون گازی وجود نداشته باشد.

مهندس‌ـ عقیدهٔ منهم همین است. در حال حاضر انواع نیمه‌هادی آن نسبتاً گران است.که البته‌گرانی آن خیلی بیشترازگرانی نوع‌گازی باهمین تکامل نیست واگر برای نگهداری آنها دربرابر اضافه‌فشار اقدام احتیاطی ویژه‌ای نکنند، زود از بین می‌روند. بایدگفت تیراترون‌های نیمه‌هادی بی‌چون وچرا راه‌حل‌های آینده را بهمراه دارند.



بکارافتادن تیراترون

مبتدی‌ـ بسیارخوب، وقتی مدارفرمان‌موتورها را سوارکنم، فقط‌تیراترون‌های‌سیلیکومی‌درآن می‌گذارم. بازهم نکته‌ای‌هست‌که‌کمی ناراحتم‌می‌کند وآن‌اینست که شما دربارهٔ ضربه‌های کارانداز تیراترون صحبت کردیدکه آنراکم و بیش جلو می‌اندازد. چطور این ضربه‌ها را درست می‌کنند وچگونه وضع آنرا (تصور می‌کنم بمن خواهید گفت «از نظر فاز») نسبت به‌پرید مثبت، روی آند تیراترون تغییر می‌دهید؟



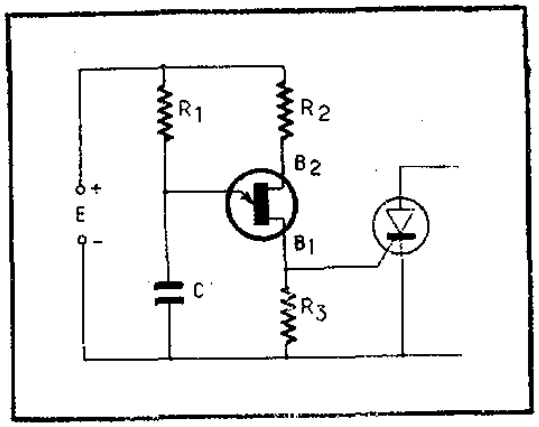
مهندس‌ـ این ضربه‌ها را به‌راههای‌گوناگون می‌توان تهیه‌کرد. غالباًبرای بکارانداختن تیراترون‌های سیلیکومی، مونتاژی‌را بکار می‌برندکه یك ترانزیستور ویژه بنام «ترانزیستوریك اتصالی» دارد.

مبتدی‌ـ بنظر من این وضع بسیار خوبست. می‌خواهیم تیراترونی را بکار بیندازیم‌که‌سه‌اتصالی دارد و برای این‌کار ترانزیستوری بکار می‌بریم‌که اگر اسمش

درست باشد، فقط یك اتصالی دارد. اینکار تعادل را کمی برقرار می‌کند.

مهندس- بفکر تقسیم‌مساوی‌تعداد اتصالی‌ها نبودم. هرچه‌باشد، ترانزیستور یك اتصالی دستگاه کوچك و ساده‌ایست چون میلهٔ سیلیسیومی از نوع n است که در هرانتها یك اتصالی دارد(که‌آنهارا پایهٔ ۱ و پایهٔ ۲ می‌گویند) ویك اتصالی کاملاً در وسط بایك منطقه P دارد که آنرا ارسال‌کننده می‌گویند. وقتی بین دو پایهٔ آن اختلاف سطحی بگذارم، تاحدودی مثل تیراترونی عمل‌می‌کندکه آند، ارسال‌کننده آنست وکاتد یکی‌از دوپایه است. اگر مونتاژی مطابق شکل ۱۰۶ باآن سوارکنم خازن C از راه R_1 پرخواهدشد تا الکترود نمایش داده‌شده به‌وسیله سهم (که‌آنرا ارسال‌کنندهٔ ترانزیستور یك‌اتصالی‌می‌نامند) به‌اختلاف سطحی نزدیك‌به $\frac{E}{2}$ برسد.

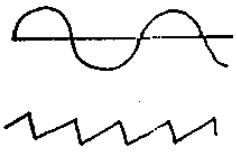
دراین‌لحظه، اتصالی ارسال‌کننده ترانزیستور یك اتصالی ناگهان بسیار رسانا می‌شود و خازن C به‌سرعت از راه R_3 خالی می‌شود. اتصالی‌هائی را که B_1 و B_2 نامیدیم درواقع دواتصالی هستندکه روی پایهٔ این ترانزیستورکه جمع‌کننده ندارد، درست شده‌اند. درلحظه‌ای‌که C روی R_3 خالی‌می‌شود، در دوسر این‌مقاومت، فشاری ظاهر می‌شودکه می‌تواند تیراترون را بکار بیندازد.



شکل ۱۰۶- مونتاژ یك ترانزیستور یك اتصالی برای اینکه وقتی فشار در دوسر C به‌مقدار معینی می‌رسد به‌وسیلهٔ‌تخلیه C روی R_3 ضربه‌های لازم برای بکار-انداختن تیراترون جامد را بدست بدهد.

مبتدی- درواقع‌ترانزیستور یك‌اتصالی شما یك‌نوع تیراترون‌کوچك‌است؟

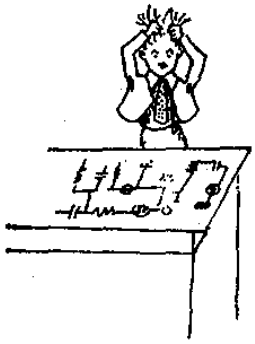
مهندس- درحقیقت شباهت‌هائی با تیراترون دارد. اما فقط جریان‌های با شدت کم را عبور می‌دهد. می‌توان آنرا برای فشارهای دندانه اره‌ای و موارد دیگری بکار برد. غالباً آنرا مانند بخش‌کارانداز تیراترون‌ها بکار می‌برند.



مبتدی- بنظر من ترانزیستور یك اتصالی شما دستگاه شگفت‌آوری‌است. اما چیزی داردکه ناراحتم می‌کند چون شما بمن نگفته‌اید‌که درمونتاژ شکل ۱۰۶ چه می‌کنید تا ضربه‌ای کم وبیش زودتر در مدتی‌که نیم‌پرید مثبت برق شهر ادامه دارد، بدست‌بیاورید. بنظرم‌می‌آیدکه دستگاه‌شما باید دندانه اره‌ای‌هائی بدهدکه با شبکه هیچ ارتباطی نداشته باشند.

همزمانی به‌وسیلهٔ برق شهر

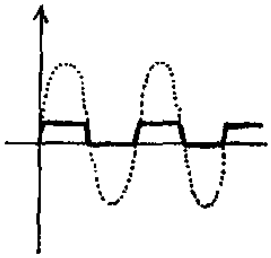
مهندس- حق با شماست. شکل ۱۰۶ را برای این کشیدم که طرز کار



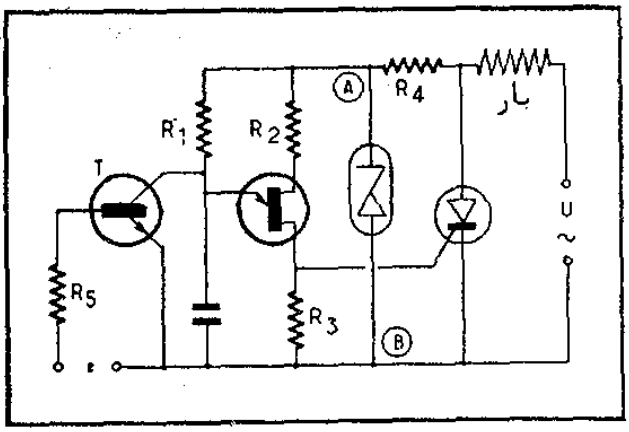
ترانزیستور یك اتصالی و روشی‌كـه آنرا با یك تیراترون تزویج می‌كنند بشما بفهمانم. اگر شكل نهائی‌كاربرد آن را می‌خواهید، به‌شكل ۱۰۷ نگاه كنیدكه به آسانی خواهید فهمید.

مبتدیـ جرأت‌می‌كنیدبگوئید آسان‌است! شكل شما بی‌نهایت پیچیده‌است.

مهندسـ نه، مثل تمام شكل‌ها، بایدكوشش‌كنید هرعنصر را پس‌ازدیگری نگاه‌كنید، می‌بینیدكه فشار متناوب U از راه مقاومت بار به‌تیراترون‌گذاشته شده است. ازاین‌بار (كه ممكن است القاءشده یك موتور باشد) وقتی تیراترون بكار افتاد (در مدت نیم‌پریدهائی كه آند آنرا نسبت به‌كاتدش مثبت می‌كنند) جریان تیراترون خواهد گذشت. از روی فشاری‌كه در دو سر تیراترون وجود دارد، فشار تغذیهٔ ترانزیستور یـك اتصالی را به‌وسیلهٔ مقاومت R_4 و دیود زنر درست می‌كنیم بمحض‌اینكه فشار دوسر تیراترون مثبت باشد، هرچند هم‌كـه كمی بالاتر از فشار دیود زنر باشد، افت فشار در مقاومت R_4 بین نقاط A و B فشار ثـابتی را حفظ می‌كندكه برابر فشار زنر است.

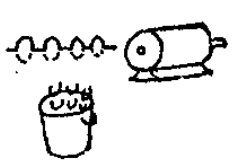


اگر فشار دوسر تیراترون‌منفی‌باشد (آند نسبت‌به‌كاتدمنفی‌باشد) دیود زنر مثل دیود معمولی كار می‌كند و اختلاف سطح A را در مقداری تقریباً برابر با B نگه می‌دارد. بنابراین مجموعهٔ ترانزیستور یك اتصالی به‌وسیلهٔ فشار بین A و B تغذیه می‌شود كه جایگزین فشار E شكل ۱۰۶ می‌شود. پرشدن خازن C درست در لحظه‌ای آغاز می‌شود كـه فشار دو سر تیراترون طـوری شودكه آند آن نسبت به كاتدش مثبت باشد. پرشدن درلحظه‌ای قطع می‌شودكه بارخازن به‌مقداری رسیده‌باشد كه برای رسانا‌كردن ترانزیستور یك‌اتصالی كفایت می‌كند.



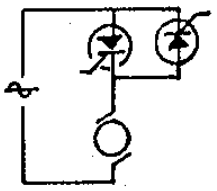
شكل ۱۰۷ـ مونتاژكامل‌فرمان جریان متوسط درمقاومت بار به‌وسیلهٔ تیراترون جامدكه با یك ترانزیستور یك اتصالی بكار افتاده است.

اگر ترانزیستور T مسدودشود، پرشدن خـازن سریع است وضربه‌ای كه در دو سر R_4 بوجـود می‌آید از آغاز نیم‌پرید مثبت عملاً تیراترون را بكار می‌اندازد. برعكس اگر ترانزیستور T به‌وسیلهٔ جریانی‌كه منبع e به‌پایه‌اش‌می‌دهد رسانا باشد، بخشی‌از جریان را به‌نقطه B می‌فرستدكه از راه R_1، خازن‌را پركند: پس این پرشدن آهسته‌تر خواهد شد، و درنتیجه‌كارافتادن ترانزیستور یك‌اتصالی با تأخیر صورت می‌گیرد و تیراترون هم با تأخیر كار خواهد كـرد. پس جریان متوسطی‌كه در تیراترون می‌گذرد خیلی كم است.



مبتدیـ آنقدرها هم‌كه شما می‌گوئید ساده نیست. باوجوداین‌گمان می‌كنم

کمی فهمیده باشم. اما دراین شکل و همینطور درشکل قبلی چیزی هست که ناراحتم می‌کند و آن اینست که عملاً یك نیم‌پرید فشار متناوب را بکار می‌برند و نیم‌پرید دیگر اجباراً از دست می‌رود.



مهندس- درست است و اگر از ایـن مطلب نـاراحتید، امکان دارد دو تیراترون بکار ببریدکه درجهت عکس هم سوار شده‌اند و هرکدام روی‌یك نیم‌پرید شبکه‌کارمی‌کنند. به‌وسیله دو دیود معمولی متصل به‌دو تیراترون ترتیب‌کار راطوری می‌دهندکه جریان نیم‌پرید اول ویا نیم‌پرید دیگر دریك‌جهت ازمقاومت بارعبورکند. همانطورکه می‌بینید، دراینجا سیستم چندان پیچیده‌ای نیست وبرای فرمان موتورهای با توان بسیار زیادکاملاً آمادگی دارد.

مبتدی- دلم می‌خـواهد حرفتان را قبول کنم، اما بازهم چیزی هست که موجب ناراحتی من می‌شود چون جریانی‌که از این موتورها می‌گذرد ناگهان زیاد می‌شود واگر بخواهیم آنراکم‌کنیم‌فقط درپریودهای کوتاه عبور می‌کند.نباید ابتدا درانتظار اضافه فشارهائی بودکه درنتیجهٔ پدیدهٔ خودالقائی ایجاد می‌شوند و بعدهم منتظر بود در موتورکه نمی‌خواهد زیر اثر این قطع‌کردن‌های ناگهانی قرارگیرد واکنش‌هائی بروزکند:

مهندس- درموردموتور جزتسلیت‌گفتن به‌آن‌کاری‌نمی‌توانم بکنم. اما بشما می‌گویم که شخصاً یکی از این موتورها در خانه دارم و هیچوقت ندیده‌ام بیاید و شکایت کند. ایـراد شما دربارهٔ فشارهای ایجاد شده به‌وسیلهٔ خودالقائی مهم‌تر است چون درواقع این اضافه‌فشارها می‌توانند مارا ناراحت‌کنند، بهرحال‌کار دستگاه را پیچیده‌تر مـی‌کنند بی‌آنکه الزاماً تغییرشکل بسیار مهمی در شکلی کنـه برایتان کشیده‌ام و بسیار نزدیك به‌مداری است‌که می‌توان درعمل بکار برد، بوجودبیاورند.

مبتدی- ممکن است موتور شما به‌آن عادت کند، امـا احساس می‌کنم که مغزم اشباع شده است وگمان می‌کنم بهتر باشد فردا به‌گفتگو ادامه دهیم.

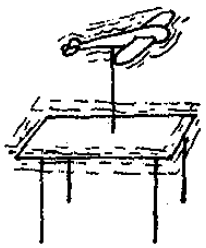
مبحث یازدهم

این‌بار دیگر چیزی برای گرداندن درکار نیست چون‌مبتدی می‌خواهد بداندکه مافوق‌صوت‌چیست و چگونه آنرا ایجاد می‌کنند. با رسیدن به‌مدولاسیون منبع‌های نوری و کاربرد آنها در فرستادن عکس به‌راه دور با دستگاهی آشنا می‌شودکه آیندهٔ بزرگی درپیش دارد وآن لیزر LASER است.

مولد مافوق صوت

مدولاتور نور و لیزر

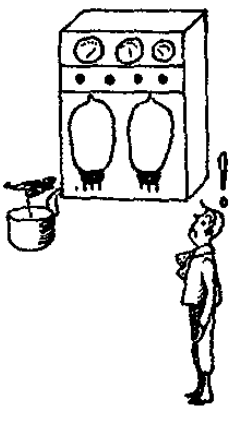
تحریك‌کننده‌های ارتعاش



مبتدی- آقای مهندس یك‌نوع پس‌دهنده هست‌که دلم می‌خواست چندکلمه دربارهٔ آن برایم‌صحبت‌کنید. یکی‌از دوستانم‌که در هواپیمائی کار می‌کند به‌من‌گفته است‌که برای آزمایش دستگاههای کوچك و ظریف‌که باید روی هواپیماها سوار شوند، آنهارا روی میز لرزانی قرار می‌دهند که به‌وسیلهٔ یك تقویت‌کنندهٔ بزرگ فرمان داده می‌شود. این دستگاه دیگر چیست؟

مهندس- بدون‌اینکه خودتان بدانید دستگاه را می‌شناسید. فقط یك بلند-گوی بسیار بزرگ با بوبین متحرك است. آهن‌ربائی‌که آنرا درست می‌کند بسیار بزرگ‌است ودرفاصلهٔ دوقطب‌آن قرقره‌ای‌می‌گذارندکه درآن‌جریان یك‌تقویت‌کننده را واردمی‌کنند. این قرقره به‌قطعه‌هائی‌که به‌آن بسته شده‌باشند، حرکتی بافرکانس جریانی‌که به‌آن داده‌اند، می‌دهد.

مبتدی- دراینصورت بخوبی می‌توانم چنین تحریك‌کنندهٔ ارتعاشی درست کنم چون کافی است از بلندگوئی‌که‌گوشهٔ‌گنجه‌ام‌گذاشته‌ام و به‌علت‌اینکه صفحه‌اش پاره شده مصرف نمی‌کنم، استفاده‌کنم.



مهندس- درواقع می‌توانستید از آن استفاده کنید اما تحریك‌کننده‌های ارتعاش معمولی دستگاههائی هستند که توان آنها نسبت به‌بلندگوی کوچك شما بسیار زیاد است. تصورکنیدکه برای ایجاد ارتعاش اجباری با دامنهٔ معین در یك صفحهٔ بزرگ فولادی که روی آن اشیاء مورد آزمایش قرار داده شده‌اند، اگر بخواهید حرکت، دامنهٔ قابل‌توجهی داشته باشد، باید توان بسیار زیاد باشد. مثلاً من‌یك ایستگاه آزمایش را می‌شناسم‌که در آن تقویت‌کنندهٔ میز مرتعش می‌تواند توانی برابر ۸۰ کیلووات بدهد.

مبتدی- این‌مطلب برایم مبهوت‌کننده است. قطعاً با تقویت‌کنندهٔ ۵ واتی کاری نمی‌توانم بکنم.

مهندس- گفتهٔ شمارا تصحیح می‌کنم، شما می‌توانید به‌چیزهای کوچك و سبك، به‌ویژه درفرکانسهای نسبتاً پائین‌ارتعاشهای بادامنهٔ‌کمی بدهید. بدست‌آوردن

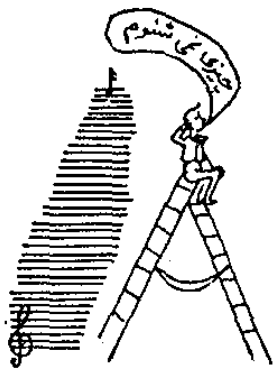
دامنهٔ قوی درفرکانسهای بالا بدون آنکه توان‌های زیادی در بوبین تحریک‌کننده مصرف شود، دشوار است.

مبتدیـ بله، اما چیزی‌هست‌که ناراحتم می‌کند، توانی‌که به‌آن‌می‌فرستید بطورکامل به‌انرژی مکانیکی تبدیل نمی‌شود. پس چه می‌شود؟

مهندسـ بخش بزرگی از آن به گرما تبدیل می‌شود. بهمین جهت است که درتحریک‌کننده‌های ارتعاش‌که از یك اندازه بزرگتر هستند، باید دستگاههای خنك‌کنندهٔ بسیار قوی پیش‌بینی شود. در دستگاهی‌که من‌دیدم و به‌وسیلهٔ تقویت‌کننده ۸۰ کیلو واتی تحریك می‌شد، از راه تصحیح‌های مناسب در تقویت‌کننده‌های تحریك، قادر بود صدا را طوری باوفاداری زیاد ایجادکندکه تابحال صدائی مانند آن نشنیده‌اید. چیزی‌که شگفت‌آورتر بود، شنیدن صدای والس شوپن بود که به‌وسیلهٔ ارتعاش یك‌صفحه فولادی به‌بزرگی تقریبی نیم‌متر مربع‌که چندین‌میلیمتر قطر داشت، درهوا ایجاد می‌شد. کمی تصورش را بکنید که چه توانی برای ارتعاش این صفحه با دامنهٔ قابل‌توجه بکار می‌رود تا بتواند ازآن یك‌صفحهٔ بلندگوی‌واقعی برای فرکانسهای ۳ یا ۴ کیلو هرتز بسازد.

مبتدیـ برای موسیقی به‌صفحه کاغذی معمولی‌که با چند وات بخوبی بکار می‌افتد اکتفامی‌کنم. اما باکمال‌میل‌قبول می‌کنم‌که این‌بلندگو نمی‌تواندستگاههای کوچکی را کـه می‌خواهند آزمایش کنند تا مرز قطع‌شدن به‌لرزش درآورد. اما بدرستی چگونه می‌فهمندکه این دستگاهها زیر چه آزمایشی قرارگرفته‌اند؟

مهندسـ بی‌نهایت ساده است چون در کنار دستگاه آزمایش شده، یکی از سیستم‌های‌کوچکی راکه شتاب‌سنج نام دارد و قبلاً برایتان‌گفته‌ام می‌گذارند.



مافوق‌صوت‌ها

مبتدیـ با این تحریك‌کننده‌های ارتعاش تا چه فرکانسی می‌شود رفت؟

مهندسـ از ده کیلو هرتز نباید تجاوز کرد. حتی رسیدن به‌این حد هم خیلی‌کم اتفاق می‌افتد. اگر بخواهید به‌یك جسم ارتعاش تندتری بدهید، عملاً به قلمروی مافوق‌صوت می‌رسیم.

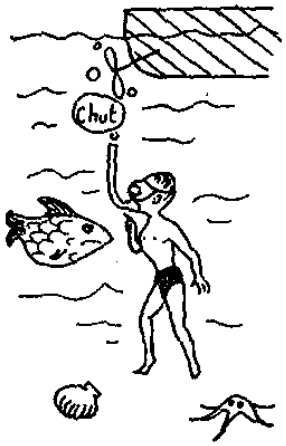
مبتدیـ وصفش‌را شنیده‌ام. گمان می‌کنم آنها صدائی هستندکه فرکانسشان بسیار بالاست بطوری‌که‌گوش نمی‌تواند بشنود، به عبارت دیگر فرکانسهائی هستند که از ۱۵ کیلوهرتز بالاترند.

مهندسـ درواقع همینطور است. گام امواج مافوق‌صوت بی‌نهایت گسترده است واز ۱۵ کیلوهرتز تا چندین مگاهرتز گسترده است.

مبتدیـ گمان می‌کنم برای ایجاد آنها باید بلندگوهای‌کاملاً خارق‌العاده ساخت.

مهندسـ درواقـع آنها را بسیار کم با بلندگو ایجاد می‌کنند. از این گذشته مافوق‌صوت را خیلی‌کم در هوا بکار می‌برند. به‌آسانی می‌توانید با توان‌کم وبا استفاده از بلندگوهای کـوچك الکترواستاتیك کـه غالبا بـه عنوان تویتر Tweeter[1] در دستگاههای‌صوتی باوفاداری زیاد بکار می‌برند تافرکانس ۱۰۰ کیلو

۱. Tweeter بلندگوی کوچکی است که‌می‌تواندفرکانسهای‌زیادرا باوفاداری‌ایجادکند.



هرتز را بسازید. همینطور می‌توانید بلندگوهای ایونی را بکار ببرید که امکان رسیدن به‌فرکانسهای بالاتر را هم بوجود می‌آورند. اما امواج مافوق‌صوت در هوا بخوبی منتشر نمی‌شوند. بیشتروقت‌ها آنهارا درمایع‌ها و یا جامدها بکار می‌برند.

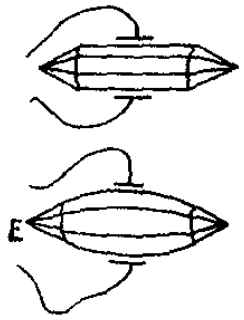
مبتدی‌ـ عجب ! با اینحال نمی‌توانید بمن بگوئید که امواج مافوق‌صوت درمایع‌ها و جامدها منتشر می‌شوند.

مهندس‌ـ اگرهم شما موافق نباشید، همین‌را خواهم گفت. چرا می‌خواهید مافوق‌صوت‌ها اینکار را نکنند‌درحالی‌که صوت‌معمولی‌این‌کار را می‌کند؛ اگرزیرآب دریا رفته باشید، مشاهده‌کرده‌اید‌که در زیر آب صدای پروانهٔ کشتی‌که خیلی‌دورتر ازشما حرکت می‌کند بخوبی شنیده می‌شود. برای‌امواج مافوق‌صوت، انتشارآسانتر است زیرا این صداها که طول موج‌کوتاهی دارند به‌آسانی به‌صورت دستهٔ فشرده‌ای درمی‌آیندکه می‌توان آنهارا بدون تلف به‌فاصلهٔ دور فرستاد. اما همانطورکه‌گفتم، دستگاههائی مثل بلندگو را بسیارکم برای ایجاد آنها بکار می‌برند.

مبتدی‌ـ دراینصورت واقعاً نمی‌دانم امواج مافوق‌صوت را جز با یك‌بلندگو چگونه می‌شود طور دیگری ساخت.

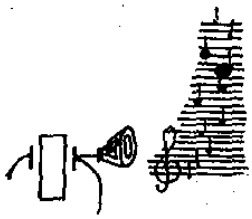
مهندس‌ـ دو روش اساسی آن شامل کـاربرد پیزوالکتریسیته یا مانیتو-استریکسیون[1] است.

مبتدی‌ـ اگر بخواهید این‌کلمه‌ها را بکار ببرید بهتر است فوراً بروم.



مولد مافوق‌صوت پیزوالکتریك

مهندس‌ـ آقای مبتدی ناراحت نشوید. پیزوالکتریك خـاصیتی است‌که بعضی‌از بلورهادارند و وقتی‌زیرفشار مکانیکی قرارمی‌گیرند، یك‌فشارالکتریکی بوجود می‌آورند. هم‌اکنون هـم باآن آشنا هستید چون پیکاپ‌های پیزوالکتریك بسیار متداولند. این پدیده دو طرفه است، به‌عبارت دیگر وقتی بین دو الکترودی که بطورمناسب روی یك بلور معین‌گذاشته شده‌است، فشار الکتریکی بگذاریم، این بلور تغییرشکل می‌دهد. به‌کمك بلوری از این‌نوع که غالباً کوارتز است، امواج مافوق‌صوت درست می‌کنند به این ترتیب‌که به‌آن فشار متناوب با فرکانس بالا را وارد می‌کنند وبلور شروع به‌ارتعاش می‌کند.



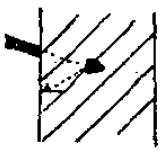
مبتدی‌ـ این دستگاه برای ساختن بلندگو بسیار عالی است، با مطلبی‌که گفتید تصور می‌کنم به‌ویژه برای ایجاد فرکانس‌های بالا موردتوجه باشد.

مهندس‌ـ حتی برای فرکانس‌هـای بسیار بـالا هم مناسب است. در عمل فرکانس‌های پائین‌را بسیار بد ایجاد می‌کند، چون دامنهٔ تغییرشکل‌کم‌است و برای ایجاد فرکانس‌های پائین باید دامنه قوی باشد. درواقع این‌دامنه چنان ضعیف‌است که بدون استفاده از هم‌آهنگی حتی با دستگاههای مخصوص هم نمی‌توان ارتعاش مافوق‌صوت ایجاد شده را احساس کـرد. می‌دانید که یـك بلور، فرکانس نوسانی مخصوصی دارد. معمولاً[2] آنرا روی همین فرکانس تحریك می‌کنند. دراین صورت دامنهٔ نوسان بزرگتر می‌شود. بلور را مستقیماً در مایعی فرو می‌برندکه باید دسته

---

۱. فشردگی مغناطیسی.

امواج مافوق‌صوت را در آن بفرستد و یا آنکه به قطعهٔ جامدی‌که امواج باید در آن فرستاده شود متصل می‌کنند که در این‌حالت برای اینکه بهتر بهم متصل‌شوند پوشش نازکی از روغن بین آنها می‌گذارند.

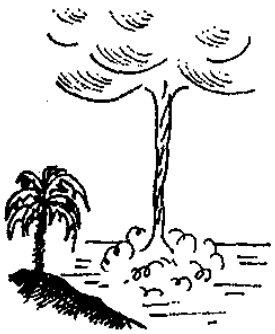


مبتدی‌ـ از این پرسش که می‌کنم معذرت می‌خواهم اما فرستادن امواج مافوق‌صوت درمایع و یا جامد به‌چه درد می‌خورد؟

مهندس‌ـ امواج مافوق صوت که در یك مایع فرستاده شود، این مشخصه را دارد که مواد سریشمی شناور در آب را ته‌نشین می‌کند. همچنین موجودات میکروبی را از بین می‌برد. این روش برای سترون‌کردن است اما کاملاً متداول نیست. همینطور این امواج امکان ساخت مخلوطی از مواد را به‌صورت بی‌نهایت همگن بوجود می‌آورد درحالی که معمولاً مخلوط نمی‌شوند. مثلاً اگر امواج مافوق‌صوت را در آبی بفرستید که در ته آن جیوه قرار دارد، می‌بینید که جیوه به‌قطره‌های بسیار ریز پخش می‌شود که این قطره‌ها با آب مخلوط می‌شوند و نوعی محلول‌خاکستری بوجود می‌آید که مدتها بعد دوباره ته‌نشین می‌شود. در جامدها، غالباً دسته امواج کوچك مافوق‌صوت را در آنها می‌فرستند تا بدانند که آیا این امواج در داخل جامدها به‌نقص‌هائی (ترك یا حفره) برخورد می‌کنند که در اینصورت انعکاس آشکار شونده‌ای بوجود می‌آورند و به‌این ترتیب امکان پی‌بردن به‌نقص‌ها بدون‌خراب‌کردن قطعه بوجود می‌آید. در این باره بعدها دوباره گفتگو می‌کنیم. همینطور در یك مایع مافوق‌صوت می‌تواند وسیله‌ای برای ارتباط بوجود بیاورد همانطور که یك موج حامل رادیو در هوا و یا درخلاء بوجود می‌آورد. همچنین می‌توان آنها را برای آشکارکردن مانع در آب بکار برد، مثلاً توده‌های ماهی را برای صید مشخص کرد یا کاربردهای نظامی به‌آن دادکه به‌آسانی حدس می‌زنید.

مبتدی‌ـ فرستندهٔ مافوق‌صوت چگونه ساخته شده است؟ صحبت از بلور (کریستال) کردید، دلم می‌خواست بدانم چگونه آنها را بکار می‌برند.

پرتوافکن‌های مافوق‌صوت با توان‌کم

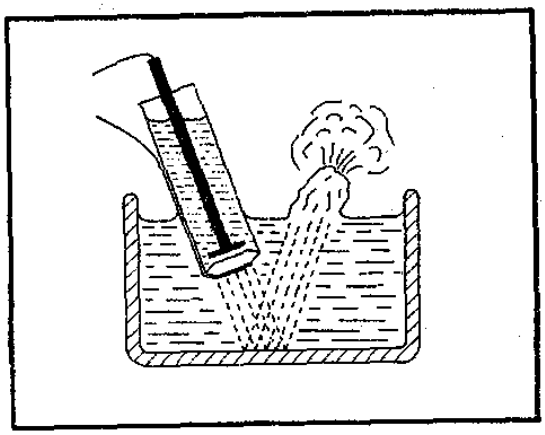


مهندس‌ـ روش‌های زیادی وجود دارند. برای توان‌های کم، یك تیغه کوارتز را بکار می‌برند که یك روی آن فلز نشانده شده و روی دیگر که در مایع عایقی مثل نفت فرو رفته است در فاصلهٔ کمی ازیك پیستون قرار دارد که الکترود دیگر را تشکیل می‌دهد، به‌این ترتیب که مقطع آنرا درشکل ۱۰۸ برایتان کشیده‌ام. می‌بینید که پیستون بسیار نزدیك به‌رویه عقب‌تیغهٔ کوارتز است بی‌آنکه کاملاً با آن تماس پیدا کند.

مبتدی‌ـ وضعیت دستگاه شما را بخوبی مشاهده می‌کنم. برعکس اصلاً نمی‌فهمم برآمدگی کوچکی که درسطح آب، درسمت راست «پرتوافکن مافوق‌صوت» (اگر بشود اینطور گفت) کشیده‌اید چیست.

مهندس‌ـ کلمه‌ای که بکار برده‌اید یعنی پرتوافکن کاملاً درست‌است وغالباً بکار برده می‌شود. اما این برآمدگی کوچك فقط نشان‌دهندهٔ پدیده‌ایست که واقعاً می‌بینید. امواج مافوت‌صوت کاملاً مستقیم حرکت می‌کنند و عمود برروبهٔ فلزی نشانده شده زیری بلور هستند. این امواج به‌ته محفظهٔ محتوی آب می‌رسند و در

آنجا منعکس می‌شوند و به‌سطح آب می‌رسند. به‌این‌ترتیب مشاهده می‌شودکه وقتی یك انرژی قوی مافوق‌صوت را وارد آب می‌کنند، نقطه‌هائی که زیر این تشعشع قرارگرفته‌اند به‌وسیلهٔ پدیده‌ای پیچیده‌کـه آنرا فشار تشعشع می‌نامند بهم فشرده

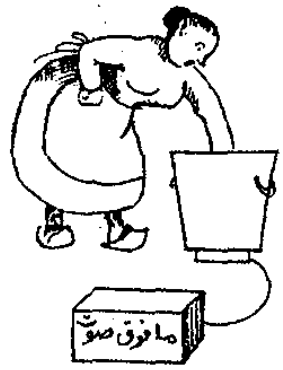


شکل ۱۰۸- تیغهٔ کوارتزکه در انتهای پرتوافکن مافوق‌صوت قـرار دارد بـه نوسان‌درمی‌آید ودسته امواج مافوق‌صوت را واردآب می‌کند؛ امواج در ته محفظه منعکس می‌شونـد و فشار تشعشع ، چشمهٔ کوچکی روی‌آب بوجود می‌آورد.

می‌شوند. اگر امواج مافوق‌صوت‌که از زیرآب می‌آیند نزدیك به‌سطح‌آب برسند، دیده می‌شودکه دربالای سطح آب، نوعی چشمهٔ جهندهٔ کوچك بوجود می‌آیدکه در بالای آن گردی از ذرات بسیار ریز آب دیده می‌شودکه درنتیجه آشفتگی مافوق‌صوتی بوجود آمده است.

مبتدی- اگر دستم‌را درآب زیر امواج مافوق‌صوت بگذارم چه اثری روی آن می‌کند؟

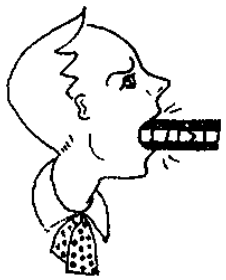
مهندس- فوراً دستتان‌را بیرون‌می‌آوریدچون‌احساس خواهیدکردکه‌دستتان را،که‌کم‌وبیش پوستش‌کنده‌شده‌است، درمحلول اسید سولفوریك‌فروبرده‌اید. درهمین حال احساس سوزش‌هم بشما دست می‌دهد. البته این مطلب بسیارخوبست زیرا نباید بگذارید امواج مافوق‌صوتی‌که چنین توانی دارد مدت زیادی روی اعضاء بدن‌شما اثر کند. این امواج می‌توانند یاخته‌ها را تباه کنند و یـا گلبول‌های قرمز را ازبین ببرند.



مبتدی- عجب، هرگز گمان نمی‌کردم‌که امواج‌مافوق‌صوت‌خطرناك‌است. اما پیشنهادکرده‌اندکه این امواج را برای شست وشوی لباس بکار ببرند. اقرار می‌کنم که از ایـن موضوع سردرنمی‌آورم و بنظر من اگر برای رخت‌ها خطرناك نباشد، دست‌کم برای خانه‌دارها خطرناك است.

مهندس- آقای مبتدی خیالتان راحت باشد، در این حالت منظور کاربرد اشعهٔ مافوق‌صوت باتوان‌کم است. ازاین‌گذشته بمحض اینکه در ماشین رختشوئی را بازکنندکه دست درآن بکنند، یك دستگاه ویژه مولد مافوق‌صوت را قطع می‌کند. تأثیر چنین دستگاهی باید به‌حدکافی خوب‌باشد چون اکنون‌ازآنها برای‌تمیزکردن قطعه‌های‌کوچك مکانیکی استفاده می‌کنند و نتیجه‌های بسیار خوب بدست می‌آورند. درباره رختشوئی باید بگوییم‌که عمل‌اشعهٔ مافوق‌صوت داخل‌کردن فرآورده پاك‌کننده در منفذهای‌پارچه خواهدبود. ازاین‌گذشته‌گمان نمی‌کنم درحال‌حاضر هنوزگسترش زیادی پیدا کرده باشد. اما درآینده امکانات جالبی برای‌آن وجود دارد.

پرتوافکن‌های با توان زیاد



مبتدیـ پس همیشه پرتوافکنی شبیه به‌آنچه‌که درشکل ۱۰۸ نشان‌داده‌اید بکار می‌برند.

مهندسـ نه. به‌ویژه اگر بخواهید دسته اشعهٔ قویتری داشته باشید باید کوارتز کلفت‌تری بگیرید. چون این ماده نسبتاً کمیاب و گرانبهاست، راه‌حل بسیار جالبی پیدا کرده‌اند که «ساندویچ لانژون Langevin» نام دارد. دراین روش یك تیغهٔ نازك کوارتز را می‌گیرند و در دو طرف آن تیغه‌ای از فلزی می‌گذارند که سرعت انتشار صوت دراین فلز مانند سرعت انتشار کوارتز باشد. خوشبختانه فولاد جوابگوی این نیاز هست، پس به‌این ترتیب مجموعه‌ای از دو صفحهٔ ضخیم فولادی تشکیل می‌دهند که به‌وسیلهٔ یك تیغهٔ نازك کوارتز از هم جدا شده‌اند که ممکن است این تیغه ازچند قطعه تشکیل شده باشد به‌شرط آنکه همهٔ آنها یك کلفتی داشته باشند و همه را نسبت به‌محورهای بلور کوارتز یکسان بریده باشند.

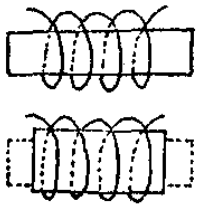
مبتدیـ صمیمانه بگویم که این‌نوع ساندویچ فولاد ـ کوارتز نباید برای صبحانه چندان جالب باشد!

مهندسـ غیرمستقیم چرا. درواقع همین دستگاه است که درکشتی‌ها برای فرستادن ضربه‌های مافوق‌صوت وهمینطور آشکارکردن وجود زیردریائی‌ها واحتمالاً تودهٔ ماهی‌ها از راه انعکاس بکار می‌رود.

مبتدیـ بخوبی متوجه شدم که به‌کمك این خاصیت پیزوالکتریك چگونه اشعهٔ مافوق‌صوت تولید می‌کنند. اما ازچیزی صحبت کردید که نامش به‌همین عجیب و غریبی بود.

مهندسـ از مانیتواستریکسیون یا فشردگی مغناطیسی صحبت می‌کنید. این پدیده نسبتاً ساده است واز اینقرار است. بعضی مواد مغناطیسی، وقتی زیر اثر یك میدان مغناطیسی واقع شوند، درازایشان تغییر می‌کند. اگر این مواد را زیر اثر یك میدان متناوب که به‌یك میدان دائمی اضافه شده است و فرکانس میدان متناوب برابر فرکانس هماهنگی مکانیکی ماده باشد، بگذارند، اثر ارتعاش مافوق‌صوت بدست می‌آید.

مبتدیـ چرا به‌یك میدان مغناطیسی دائم اضافه می‌کنید؟



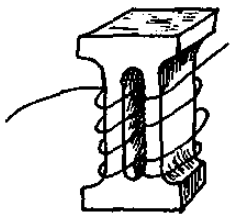
مهندسـ درست مثل بلندگوهای قدیمی است. وقتی میدان مغناطیسی در یك‌جهت و یا در جهت دیگر باشد، تیغه بطور یکسان منقبض می‌شود. انقباض در اطراف میدان صفر، تقریبا صفر است. میدان مغناطیسی دائمی یك‌نوع پلاریزاسیون مغناطیسی تشکیل می‌دهد که تأثیر خوبی برای دستگاه بوجود می‌آورد.

مبتدیـ این ماده مرموز که چنین خاصیتی دارد چیست؟

مهندسـ می‌توان ورقه‌های فولاد ـ نیکلی را بکار برد؛ بعضی از فریت‌ها که این خاصیت‌را دارند بیش‌ازپیش بکار برده می‌شوند و به‌روش بسیار باصرفه‌ای بدست‌آوردن دسته‌های قوی اشعه را امکان‌پذیر می‌سازند که با اینحال در قلمروئی از فرکانس که به‌ندرت از ۵۰ کیلو هرتز تجاوز می‌کند، محدود می‌شوند، برای فرکانس‌های بالاتر کوارتز بکار می‌رود.

مبتدیـ این قطعه فریت را چگونه برش داده‌اند؟

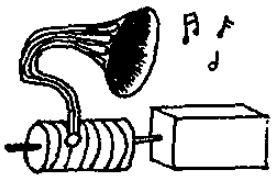
مهندس- معمولاً به‌شکل یك قطعهٔ استوانه‌شکل و یا یك هسته‌که به‌روی خودش بسته شده‌باشد می‌سازند تا امکان گردش خوب‌سیلان مغناطیسی بوجود بیاید. چیزی‌که مهم‌است اینست‌که دوصفحه‌انتهائی آن‌کاملاً صاف وکاملاً موازی‌هم باشند. به‌این‌ترتیب موج مافوق‌صوتی‌که ازاین‌میله می‌گذرد به‌درستی روی‌رویه‌هایش‌منعکس می‌شود ونوسانی با امواج ساکن‌را در داخل میله حفظ می‌کند. هربارکه این‌موج به‌یك‌رویه برخورد می‌کند، بخشی‌از آن به‌طرف ملاء خارجی می‌گریزد وبخشی هم درفریت منعکس می‌شود. به‌واسطهٔ همین بخش منعکس شده‌است‌که نگهداری نوسان با موج ساکن تامین می‌گردد.



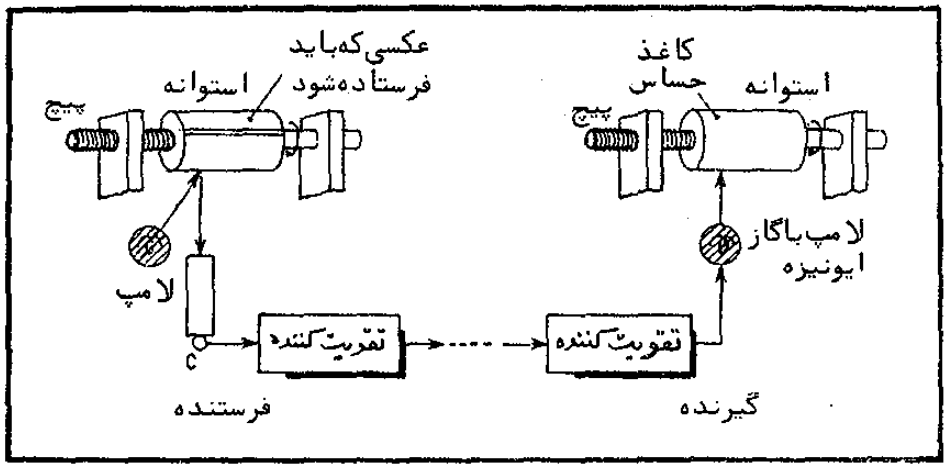
عکس‌نگار خط به‌خط (بلینوگراف Belinographe)

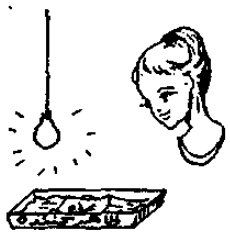
مبتدی- متوجه شدم درمیله چه می‌گذرد. اما آقای مهندس بگوئید ببینم نمی‌شودکوشش‌کرد چیز دیگری غیراز امواج مافوق‌صوت به‌عنوان پدیدهٔ پس‌دهنده بوجود آورد؟ مثلاً اگر نور دردست‌کنیم. آیا وسیلهٔ دیگری غیرازلامپ‌های معمولی وجود دارد؟

مهندس- آه. بله،وسیله‌های‌زیادی‌هست! ابتدا کاربردلامپ‌های‌با‌ایونیزاسیون را داریدکه درآنها ازگاز جریان‌ایونها را می‌گذرانید. چنین لامپی برای‌تغییرات سریعتر نور خیلی بیشتراز لامپهای معمولی آمادگی دارد. به این ترتیب است که مثلاً فرستادن عکس به فاصله دور را بـا روش ادوارد بلین Edward Belin عملی می‌کنند.

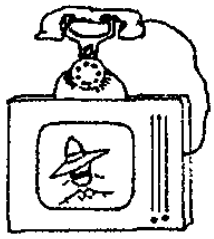


عکسی کـه باید فرستاده شود روی یك استوانه (شکل ۱۰۹) جای داده می‌شودکه بطورکاملاً منظم و با سرعت‌کاملاً معینی‌که به‌وسیلهٔ یك کوارتز مشخص





شکل ۱۰۹- برای فرستادن یك سند به‌وسیلهٔ عکس‌نگار خط‌به‌خط، این سند راکه روی یك استوانه پیچیده شده خط‌به‌خط تجزیه وتحلیل می‌کنند. استوانه‌که به‌دور محورش می‌چرخد آهسته ازبرابر یك سلول فتوالکتریك می‌گذردکه دریك‌لحظه یك‌نقطهٔ آنرا تجزیه‌وتحلیل می‌کند. درگیرنده‌لامپی که روشنائی متغیری دارد روی یك‌کاغذ حساس عکاسی‌که همان‌سرعت حرکت سند تجزیه‌وتحلیل شده درفرستنده را دارد، سند را چاپ می‌کند.



شده‌است می‌گردد. یك سلول فتوالکتریك C مقطعی از این استوانه را در سطحی بطور عمود برمحورش تجزیه و تحلیل می‌کند یا درست‌تر بگویم یك مارپیچ روی استوانه را تجزیه و تحلیل می‌کند چون نقطه‌ای‌که کاوش می‌شود آهسته با حرکتی موازی بامحور استوانه جابجا می‌شود.

مبتدی- آقای مهندس واقعاً زحمت نکشید و جزئیات را برایم نگوئید. این‌نوع تجزیه وتحلیل آنقدر به‌تلویزیون‌کنونی شباهت داردکه از نظر من تقریباً قطعی است.

مهندس- چه‌بهتر. درگیرنده علائم فرستاده‌شده به‌وسیلهٔ سلول فتوالکتریك از راه خط تلفنی‌گرفته می‌شود، پس‌از اینکه دریك لامپ باگاز تجزیه‌شده به‌وسیلهٔ ایونها تقویت شد، نقطه‌ای‌کم و بیش درخشان بدست می‌دهدکه روی یك استوانه شبیه به‌استوانهٔ فرستنده‌که دریك اطاق تاریك قرار دارد و رویش‌کاغذ حساس عکسی است، می‌افتد. استوانهٔ گیرنده درست با همان سرعت استوانهٔ فرستنده می‌گردد (برای اینکار روی دقت بی‌نهایت‌کوارتز حساب می‌شود) و به‌وسیلهٔ یك ضربهٔ ویژه جریان، مراقبت می‌شود که حرکت استوانهٔ درگیرنده کاملاً هم‌فاز حرکت استوانهٔ فرستنده باشد. نقطه نورانی‌که روی کاغذ حساس می‌افتد در طول یك خط موازی با محورگردش استوانه با همان سرعتی‌که نقطهٔ‌کاوش‌کننده در فرستنده حرکت می‌کند، جابجا می‌شود. وقتی‌گرفتن عکس تمام شد، عکس‌را ظاهر می‌کنند.

مبتدی- چیزی‌هست‌که اصلاً نمی‌فهمم وآن‌اینست‌که وقتی دربارهٔ‌تلویزیون برایم صحبت می‌کردید روی این‌مطلب اصرارکردیدکه برای فرستادن تصویر باند گذرای بسیار بزرگی لازم است‌که از مگاهرتز تشکیل‌می‌شود. حالا دربارهٔ‌فرستادن تصویر روی یك‌خط تلفنی صحبت می‌کنید! اصلاً نمی‌فهمم.

مهندس- درتلویزیون هرتصویر در $\frac{۱}{۲۵}$ ثانیه فرستاده می‌شد. یك‌عکس با روش ادوارد بلین در ۷ تا ۱۵ دقیقه فرستاده می‌شود. می‌بینیدکه می‌شود باندگذرا را بطور قابل‌توجهی‌کم‌کرد و به‌این‌ترتیب یك مدار تلفنی را بکار برد.

مبتدی- بله، اما خیلی تقریبی است. این مطلب برایم توضیح می‌دهدکه چرا عکسهای گرفته شده به‌وسیلهٔ تلفن (تله‌فتو) که در روزنامه‌ها چاپ می‌شوند، خوب نیستند.

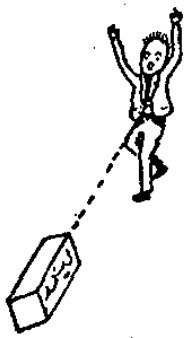
مهندس- این‌مطلب اصلاً ربطی به‌فرستادن عکس ندارد. اگرعکس‌اصلی و عکس‌گرفته‌شده درفاصله ۶۰۰ کیلومتری را پهلوی هم بگذارم و بشما نشان دهم گمان نمی‌کنم بدون‌کمك یك‌ذره‌بین بتوانید آنهارا از هم مشخص‌کنید، فقط چون تله‌فتوها معمولاً برای اخباری‌که فوریت زیادی دارند، ارسال می‌شوند، روش‌کلیشه سازی سریعی‌که در روزنامه‌ها بکار می‌رود، تصویرها را دگرگون می‌کند.

مبتدی- خوب، دیگر ازعکسبرداری از راه‌دور (تله‌فتو) بدگوئی‌نمی‌کنم. اما آقای مهندس بگوئید ببینم نمی‌شود نور را به‌طریق دیگری تهیه‌کرد.

لیزر

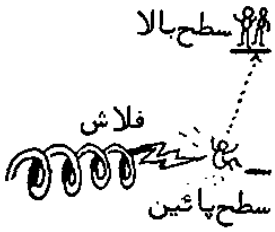
مهندس- آه چرا، البته. حتی برای شما تازه‌ترین روش تهیهٔ آنرا نشان

خواهم داد، روشی‌که بسیار نویددهنده است ولیزر نام دارد واسم آن از یك‌گروه‌بندی حروف اصلی تعریف انگلیسی آن‌گرفته شده‌است.



مبتدی‌ـ دربارهٔ این وسیله چیزهای مبهمی شنیده‌ام، حتی بمن گفته‌اندکه می‌توان اشعهٔ‌مرگ ساخت.

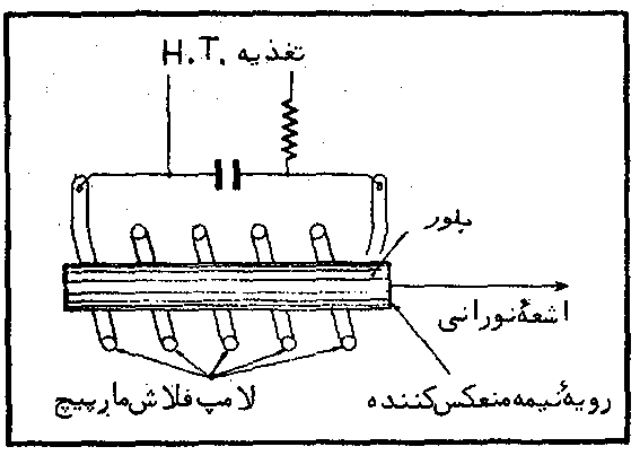
مهندس‌ـ آقای مبتدی می‌بینم که اطلاعات خود را از روزنامه‌های خبری کسب‌کرده‌اید. توجه داشته باشید کـه متاسفانه کمی حقیقت‌هم در آن وجود دارد. هم‌اکنون لیزر می‌تواند اشعهٔ نورانی کاملاً جهت‌دار تهیه‌کند و امکان دارد مـانند آنها به فاصله‌های بسیار دور فـرستاده شود. تعبیه آن کمی شبیه بـه مولد مافوق صوت با فریت است‌که‌کمی قبل‌ازآن صحبت‌کردیم. یك بلور شفاف ازنوع یاقوت‌را بکار می‌برندکه دو رویهٔ انتهائی آن‌کاملاً صاف و موازی باهم هستند. این دو رویه بخشی‌از نوری راکه درون بلور ممکن است بوجود آمده باشد منعکس می‌کنند و بخش دیگر را عبور می‌دهند. در اطراف این بلور (شکل ۱۱۰) یك منبع نورانی قرار می‌دهندکه توان بسیار زیادی دارد، مثلاً ازیك لامپ فلاش شبیه به آنچه در عکاسی بکار می‌بـرید استفاده می‌کنندکه از تخلیهٔ خازن بزرگ C که بـا فشار الکتریکی زیادی پرشده دریك لامپ باگـاز تجزیه‌شده به ایون‌ها روشنائی ایجاد می‌کند.



مبتدی‌ـ و نور فلاش است‌که از بلور خارج می‌شود! دراینصورت... لیزر شما چیز جدیدی ندارد.

مهندس‌ـ اصلاً اینطور نیست. نور از خود بلور خارج می‌شود.

انرژی کـه به‌صورت نوری، به‌مواد تشکیل‌دهندهٔ بلور داده می‌شود باعث می‌گردد که بعضی از پارتیکول‌ها[1] در داخـل بلور فعالیت بیشتری پیدا کنند به عبارت‌دیگر درحد انرژی آنها افزایشی بوجود می‌آورد. این پارتیکول‌ها مقداری از انرژی خـود را از دست می‌دهند و به‌انرژی در سطح کمتری می‌رسند. ایـن انرژی ازدست داده شده‌است‌که به‌صورت نور تشعشع پیدا می‌کند. بلور بارویه‌های هموارش یك‌نوع هماهنگ‌کننده را تشکیل می‌دهدکه تاحدودی شبیه به‌مدار نوسانی



شکل ۱۱۰ـ در لیزر بلوری، فلاش‌که دوربلور پیچیده‌شده است، برقی می‌فـرستد کـه پارتیکول‌های بلور راتحریك می‌کند. این‌پارتیکول‌ها بااز دست‌دادن انرژی خـود، یك دسته اشعهٔ نـورانی ایجاد و تقویت‌می‌کنند که برای آن، بلور بـا دو رویهٔ صاف و موازی‌هم‌خود، یك«هم‌آهنگ کنندهٔ نوری» تشکیل‌می‌دهد.

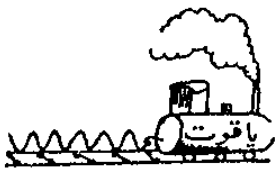
با اضافه‌فشار بسیار زیاد است. بنابراین نور بافرکانس اجباری‌که به‌وسیله درازای

۱. ذرات بسیار ریز ماده.

بلور تعیین می‌شود، بوجود می‌آید؛ و ایـــن نور به‌وسیلهٔ یکی از رویه‌های انتهائی بلور به‌صورت دسته اشعه‌ای‌که تقریباً موازی هستند تشعشع می‌کند.

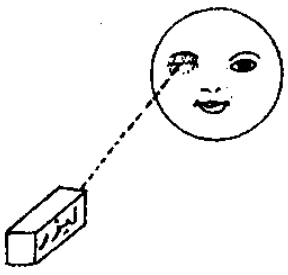
مبتدیـ آیا نور ایجاد شده به‌وسیلهٔ بلور همان توان نور فلاش را دارد؟

مهندسـ نه‌آنقدر. اما یك‌مشخصهٔ‌گرانبهادارد چون این‌نور را «چسبنده» می‌گویند. این‌نور، برعکس نور فرستاده‌شده به‌وسیلهٔ اجسام‌گرم و یا گازهای تجزیه شده به‌ایون معمولی، ازیك سلسله موج تشکیل شده است‌که نوسان‌های خود را در یك زمان قابل پیش‌بینی می‌فرستد. در روش‌های دیگر تهیه نور، انـرژی نـوری به‌وسیلهٔ مقداری نوسان‌های‌کوچك تشعشع پیدا می‌کنندکه هرکدام در زمان‌بی‌نهایت کوچکی ادامه دارد وهرکدام یك‌سلسله موج بسیارکوتاه تشکیل‌می‌دهند (به‌درازای چند سانتیمترکه بادرنظرگرفتن سرعت نور زمان بسیارکمی است)کـه هیچکدام با دیگری رابطهٔ فازی ندارد.



برعکس درلیزر نور تهیه شده از نظر ساختمان موجی کاملاً شبیه بهموج الکترومغناطیسی ایجادشده به‌وسیلهٔ یك آنتن است‌که یك‌نوسان بافرکانس‌زیادآنرا ایجادکرده باشد. همچنین لیزرهای‌گازی را بکار می‌برندکه در آنها یك گاز معین بین دو رویهٔ نیمه منعکس‌کننده‌کاملاً صاف وموازی هم قرار دارد. این‌گاز به‌وسیله یـك تخلیهٔ الکتریکی به‌روش لامپ نورانی ایونی تحریك می‌شود. امـا این‌بار ارسال نور چسبنده بوجود خواهدآمد. همچنین از لیزرهای نیمه‌هادی نام می‌برم. مشاهده شده است‌که بعضی از دیودها، بخصوص آنهائی کـه از **آرسنیورگالیوم، انتیموانوراندیوم** وترکیب‌های دیگری ازهمین نوع درست شده‌اند، وقتی جریان‌های شدیدی درجهت‌گذرای آنها عبور داده شود، ازخود نوری می‌فرستند. معمولاً این ارسال نور درقلمروی نور زیر قرمز است ونور چسبنده درکار نیست.

اما اگر چنین دیودی بسازندکه دو رویهٔ‌کاملاً موازی وصاف داشته‌باشد، می‌توانند نور چسبنده‌ای بـدست بیاورند. چنین لیزری (که «تزریقی» یـا «لیزر نیمه‌هادی» گفته می‌شود)کـوچکترین اندازه را دارد اگرچه جهت‌پذیری آن آشکارا کمتر از نوع‌گازی یا بلوری آنست. مسلماً با درنظرگرفتن موازی‌بودن‌کامل اشعهٔ نورانی بدست آمده به‌وسیلهٔ لیزر، اگر آنها را به‌وسیلهٔ یك عدسی متمرکز کنند، گردآوری انرژی بسیار زیادی دریك نقطه به‌ابعاد آنقدر کوچك بدست می‌آیدکه انرژی‌آن دریك‌سانتیمترمربع بسیار زیاد است درنتیجه بامتمرکزکردن اشعهٔ لیزر با این روش روی یـك تیغه فولادی، تقریباً بلافاصله آنـرا سوراخ می‌کنند. از اینجاست‌که فکرکاربردآن برای‌تخریب‌گرفته شده‌است‌که‌خوشبختانه فعلاً دروضعیت طرح‌باقی‌مانده‌است‌وجای‌تاسف‌است‌چون یك‌روز ممکن‌است واقعیت وحشتناکی‌بشود.

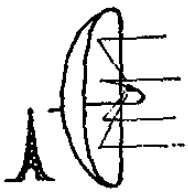


کاربرد لیزر

مبتدیـ بنظر من این لیزر وسیلهٔ بسیار آزاردهنده‌ایست. چه‌سودی برای ما دارد؟

مهندسـ سود آن در اینست‌که می‌توان یك نور سوارشده (بامدولاسیون) را به‌وسیلهٔ فرستنده فرستاد و در عین‌حال همین نور را با دقت بسیار زیاد از راه کانال جابجاکرد. به‌وسیلهٔ چنین دستگاهی بودکه موفق‌شدند یك‌نقطهٔ معین روی‌کره

ماه را روشن کنند بی‌آنکه بـا وجود راه پیموده‌ای برابر ۳۸۰۰۰۰ کیلومتر، پراکندگی قابل‌ملاحظه‌ای در اشعه بوجود آید.



مبتدی- مطلب دارد قابل توجه می‌شود. اما می‌شود امواج هرتزی را هم متمرکز کرد؟

مهندس- این کار دشوارتر خواهد بود. آقای مبتدی فراموش نکنید که امکان تمرکز یک‌موج غیرمشخص تابعی از نسبت ابعاد قسمت‌های بکار برده‌شده برای تمرکز آن به‌طول موج تشعشع متمرکزشونده است. به‌عبارت‌دیگر اثر تمرکزی‌که یک‌بلور باپهلوی ۵ میلیمتر برای لیزری با اشعه‌ای باطول موج ۰/۷ میکرومتر بوجود می‌آورد برابر اثر تمرکزی است‌که یک منعکس‌کننده با پهلوی ۷۰۰ متر برای یک‌موج بطول ۱۰ سانتیمتر بدست می‌دهد. به‌اضافه چون فرکانس‌نوسان‌های نورانی بی‌نهایت زیاد است، می‌تواند به‌عنوان موج حامل برای فرکانس‌های قابل توجه بکار برود. یک‌شعاع لیزر می‌تواند دریک‌زمان صدها هزار برنامه تلویزیونی یا چندمیلیارد مکالمهٔ تلفنی‌را منتقل‌کند، یعنی تمام ارتباط‌های لازم برای‌کرهٔ‌زمین را تأمین‌کند... حالا درباره پس‌دهنده‌ای صحبت خواهیم کردکه پدیده‌ای غیرمادی در خروجی تهیه می‌کند.

مبتدی- کـه اینطور آقای مهندس! پس شما در قلهٔ کره‌بلند فلسفه شنا می‌کنید؟

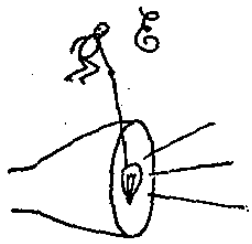
لامپ اشعهٔ‌کاتودی

مهندس- آقای مبتدی، دلم می‌خواست اول برایم تعریف می‌کردید قلهٔ کره چیست. بعد هم وقتی شنا می‌کنم، ترجیح می‌دهم سطح صاف (آب) باشد. نه، مطمئن باشید. وقتی از پس‌دهنده غیرمادی صحبت می‌کنم، معنی‌اش اینست کـه پس‌دهنده‌ای مورد نظر است‌که چیز مادی را به‌حرکت نمی‌آورد (باید گفت با نور هم تقریباً همین‌حالت وجود داشت). چیزی‌کـه دراین لحظه بفکر آنم، فقط لامپ اشعهٔ کاتودی اسیلوسکوپ است چون پس‌دهنده (که دراینجامیدان الکتریکی بوجودآمده ازفشار خروجی اسیلوسکوپ است) تأثیری جز برروی الکترونها ندارد.

مبتدی- اما الکترون‌هاکاملاً مادی هستند!

مهندس- اینطور فکر می‌کنید؟ بسیار خوب، پس این سطل را بگیرید و برای من پراز الکترون کنید!

مبتدی- می‌خواستم بگویم‌که از تشکیل‌دهنده‌های ماده‌است. خوب با این الکترونها چه می‌خواهید بکنید؟



مهندس- فقط آنها را در یک لامپ مخصوص از کاتدی‌که آنرا می‌فرستد متمرکز می‌کنم تا آنها را به‌یک نقطهٔ مشخص در ته لامپ برسانم‌که همانطور کـه می‌دانید درآنجا پوششی ازمادهٔ نورزا وجود داردکه وقتی الکترون باآن‌تماس پیدا می‌کند روشن می‌شود. به‌این‌ترتیب یک نقطهٔ نورانی ساخته‌ایم‌که می‌توانیم‌به‌وسیله میدان‌های الکتریکی ایجاد شده به‌وسیلهٔ صفحه‌های انحراف داخل لامپ آنرا در تمام جهت‌ها جابجا کنیم.

مبتدی- آقای مهندس من ایـن دستگاه را خوب می‌شناسم. فکر نمی‌کنم

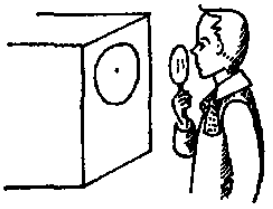
درباره آن چیزی برای یاددادن بمن داشته باشید.

مهندس- می‌دانم که معمولاً وقتی کمی دربارهٔ یك‌سئوال بررسی کردید همیشه احساس می‌کنید آنرا کاملاً می‌دانید. اما مطالب زیادی دربارهٔ اسیلوسکوپ کاتدی برای گفتن وجود دارد. ابتدا از شما می‌پرسم برای اینکه یکی از آنها را با ترانزیستور بسازید چه می‌کنید؟ (البته به‌غیراز خود لامپ کاتدی).

مبتدی- در اینصورت ترانزیستورهای خوبی انتخاب می‌کنم که فشارهای نسبتاً زیاد را تحمل کنند و تقویت‌کننده‌ها و قواعد زمانی‌ها را با روش معمولی سوار می‌کنم.

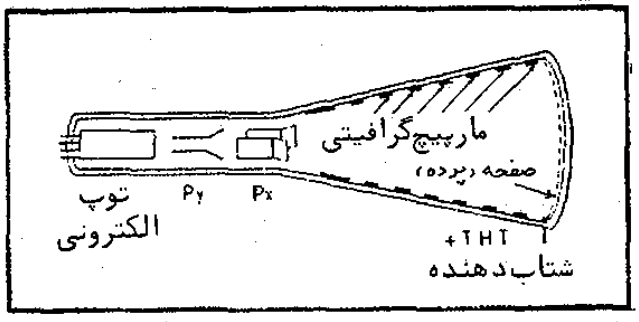
لامپ با حساسیت زیاد

مهندس- موافقم. اما بدانید که ترانزیستورهای شما به‌دشواری فشار ۴۰ یا ۵۰ ولت جمع کننده را تحمل می‌کنند، به‌ویژه اگر بخواهید توانی هم از آنها بگیرید که اگر آنها را برای توان‌های زیاد بکار ببرید که این کار لازم هم هست چون ضمناً گرفتن جریان زیاد به‌واسطهٔ مقاومت‌های ضعیف بارکه وابسته به‌باند گذرای بزرگ است اجباری است. دریك لامپ کاتدی معمولی، که در آن حساسیت انحراف درحدود ۰/۳ میلیمتر به ولت است، فشارهای خروجی چنین تقویت‌کننده‌ای حداکثر می‌تواند اسپات را ۲۰ میلیمتر منحرف کند. احتمالاً با یك مونتاژ متقارن می‌توانید این انحراف را دوبرابر کنید، اما بهیچوجه توصیه نمی‌کنم که این فشارهای ۶۰ ولتی را برای ترانزیستورها بکار ببرید. مقدار ۲۰ ولت متداول‌تر است. در این لحظه مجبور می‌شوید با یك ذره‌بین نقطهٔ روشن را زیر نظر بگیرید تا متوجه جابجائی آن بشوید.

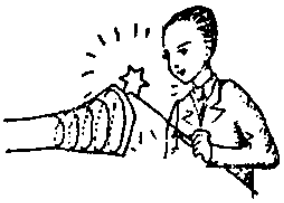


مبتدی- اگر عادت نداشتم که ببینم شما مسئلهٔ حل‌نشدنی را حل‌می‌کنید، موقعیت را وخیم می‌دانستم. درنتیجه منتظر معجزه هستم.

مهندس- ازاعتماد شما تشکرمی‌کنم. معجزه‌ای درکار نیست، بلکه‌پیشرفت مهمی درساخت لامپ‌های اشعهٔ کاتدی بوجود آمده است. موفق شده‌اند درالکترونها بعداز انحراف، به‌وسیله یك میدان الکتریکی طبقه طبقه شتاب ایجاد کنند که این میدان به‌وسیلهٔ یك‌نوع آند تشکیل‌شده از مارپیچ که جدار داخل لامپ‌را می‌پوشاند (شکل ۱۱۱) درست شده است. به‌واسطهٔ ساخت کاملتر الکترودهای انحراف، به حساسیت انحرافی می‌رسند که ۵ میلیمتر به‌ولت وحتی بیشتر است. در این شرایط،



شکل ۱۱۱- در لامپ کاتدی با آندشتاب‌دهنده، الکترون‌های فرستاده شده به‌وسیلهٔ توپ الکترونی که به‌وسیلهٔ صفحه‌های انحراف، منحرف شده‌اند، بعداً به‌وسیلهٔ میدان الکتریکی تدریجی که به‌وسیله T.H.T درلامپ بوجود آمده است و مارپیچ گرافیتی که به‌این آند شتاب‌دهنده متصل است، سرعت بیشتری پیدا می‌کنند.



با ترانزیستورهائی که با فشار معمولی خود تغذیه شده‌اند، تمام لامپ را به‌آسانی می‌توان زیر جارو گرفت.

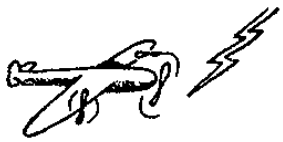
مبتدیـ افسوس که قبلاً این لامپ‌ها را نساخته بودند! استفاده از آنها با تقویت‌کننده‌های لامپی گرم خیلی عملی بود. اما سئوالی هست که فکرم را بخود مشغول کرده است آن اینست که با این اسیلوسکوپ‌های ترانزیستوری چه باند گذرائی می‌توان داشت؟

اسیلوسکوپ با نمونه

مهندسـ آنهائی که من می‌شناسم درحال‌حاضر باندگذرای ۲۰ مگاهرتزی دارند، که بدهم نیست. این‌را بدانید که با پیشرفته‌ترین روش فنی هم بدست‌آوردن باندهای‌گذرائی که از ۵۰ یا ۸۰ مگاهرتز خیلی بیشتر باشند، بسیار دشواراست. اگر بخواهید شکل امواج مربوط به‌سرعت‌های بیشتر را هم ببینید، اگر پدیده دوره‌ای باشد، راه‌حل جالبی وجود دارد و آن اسیلوسکوپ با نمونه است.

مبتدیـ این دستگاه چیست که اصلاً صحبتش‌را نشنیده‌ام؟

مهندسـ فقط کاربرد روش فنی استروبسکوپی[1] درمیکروسکوپ است. این روش‌را می‌شناسید؟ اگر درختی راکه می‌گردد به‌وسیله یك‌برق‌کوتاه روشن‌کنید که درهردور یك‌برق آنرا روشن‌کند، به‌سبب باقی‌ماندن احساس دید، درخت بنظر شما بی‌حرکت خواهد آمد. فرکانس برقها را خیلی کم کاهش دهید؛ در هربرق بنظر می‌رسد که درخت نسبت به‌وضعیت سابق‌کمی جابجا شده‌است؛ شما احساس‌می‌کنید که درخت‌را می‌بینید که باسرعت بی‌نهایت‌کمی می‌گردد.

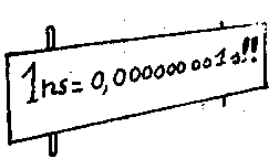


مبتدیـ این سیستم بسیار زیرکانه است. کار آنرا دیده بودم، اما بهیچوجه نمی‌دانستم چگونه اینکارانجام‌می‌شود. این اصل‌را چطور دراسیلوسکوپ بکارمی‌برید؟

مهندسـ درشکل ۱۱۲، شکل خلاصه و کلی چنین اسیلوسکوپی‌را برایتان کشیده‌ام.

فرض می‌کنیم که همیشه قبل‌از علامت دوره‌ای موردنظر برای بررسی، یك علامت همزمانی وجود داشته باشد. اگر نیاز باشد این علامت همزمانی را از روی علامت موردبررسی با مونتاژی نزدیك به‌قپان اشمیت دست می‌کنیم وعلامتی که باید بررسی شود به‌وسیلهٔ یك خط تأخیری عقب می‌اندازیم تا ضربهٔ همزمانی پیش‌از آن برسد.

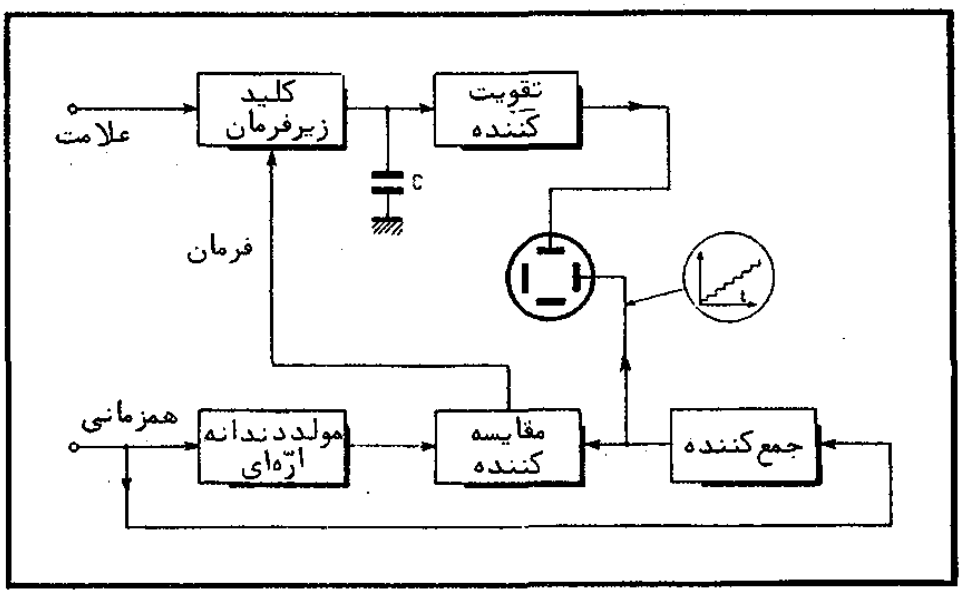
هروقت که یك ضربهٔ همزمانی می‌رسد، یك دندانه اره‌ای با صعود بسیار تند ایجاد می‌کند. در همین زمان آنرا به‌دستگاهی می‌گذاریم‌که «جمع‌کننده» نام دارد و پله به‌پله یك خازن‌را پرمی‌کند به‌این‌ترتیب‌که هربار پارسیدن‌ضربهٔ‌همزمانی خازن یك‌پله پر می‌شود. دندانه اره‌ای باصعود تند وعلامت خارج‌شده ازجمع‌کننده به‌مونتاژی‌که «مقایسه‌کننده» نام دارد گذاشته می‌شوند. این مونتاژ در لحظه‌ای که فشارهای‌گذاشته شده به‌دو ورودی‌اش به‌یك‌مقدار برسند، در خروجی ضربه‌ای‌بدست



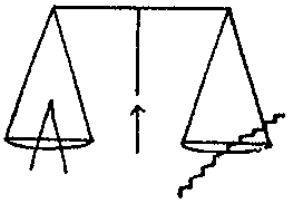
---

۱. روشی که دیدن حرکت‌های تند یك جسم‌را به‌صورتی امکان‌پذیرمی‌کند که‌گوئی جسم بی‌حرکت‌است ویا حرکت آنرا آهسته‌کرده‌اند. مترجم.

می‌دهد. این ضربه‌را برای فرمان یك‌نوع کلید الکترونی بکار می‌برند که علامت‌را با خازن حافظه C ارتباط نمی‌دهد مگر درست در لحظه‌ای‌که یك ضربهٔ بازکننده به‌وسیلهٔ مقایسه‌کننده به‌آن‌گذاشته شده باشد.

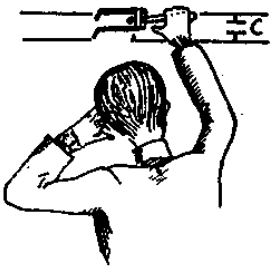


شکل ۱۱۲ـ شکل خلاصه وکلی یك اسیلوسکوپ بانمونه‌که امکان می‌دهد از یك‌نوع موج دوره‌ای «استروبسکوپی» بعمل آید.



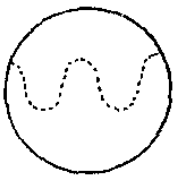
مبتدیـ پیچیدگی اینها دیوانه‌کننده است!

مهندسـ منهم نگفتم ساده‌است. اماگمان می‌کنم لازم باشد این دستگاه را که درالکترونیك سریع، انقلابی بوجود می‌آورد بشناسید (الکترونیکی‌که درآن، زمان برحسب نانوثانیه یعنی میلیاردیم ثانیه اندازه‌گیری می‌شود). می‌بینید با نخستین علامتی‌که می‌رسد، فشار خروجی جمع‌کننده تقریباً صفر است. بنابراین کاملاً درابتدای قوس صعودی دندانه اره‌ای تند است‌که‌مقایسه‌کننده ضربهٔ خود را می‌فرستد و درنتیجه قطع‌کننده الکترونی در لحظهٔ بسیار نزدیکی که بعد از ضربه همزمانی است، علامت را به C ارتباط می‌دهد.



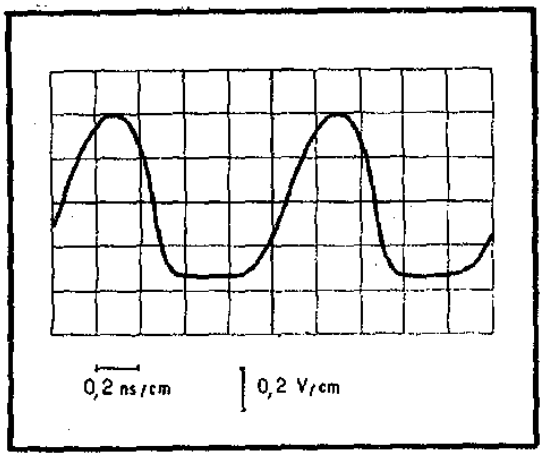
درپریودبعدی، درحالی‌که فشار خروجی جمع‌کننده به‌مقدار ارتفاع‌وابسته به‌یك پله بالاتر رفته است، مقایسه‌کننده ضربهٔ خود را به‌اندازهٔ بسیار کمی دیرتر خواهد فرستاد. بنابراین در لحظه‌ای‌که‌کمی دیرتر از لحظه رسیدن ضربه همزمانی است، با ارتباط‌دادن علامت به‌خازن C وضع کار را تجزیه و تحلیل می‌کنیم. در هر پریود C کمی‌دیرتر با علامت‌ارتباط‌داده‌می‌شود. با پذیرفتن اینکه C ازیك‌پریود به‌پریود دیگرخالی نمی‌شود. بنابراین نقطه به‌نقطه در دوسر C تغییرات فشاری خواهیم‌داشت‌که وابسته به‌فشارعلامت‌که بطورقابل‌توجهی آهسته شده‌است، میباشد. همه‌چیز مانندآنست که دراستروبسکوپی می‌گذرد‌چون‌درهرپریود، کمی‌دیرتر به‌علامت «نگاه‌می‌کنیم». فشار دوسر C، قبل‌از اینکه به‌صفحه‌های عمودی اسیلوسکوپ‌گذاشته شود، تقویت می‌شود.

اما انحراف افقی مستقیماً به‌وسیله جمع‌کننده ایجاد می‌شود و به‌این‌ترتیب همانطور که می‌توانید بفهمید، اسپات لامپ کاتدی بسیار ناگهانی از یك نقطه به‌نقطه دیگر جابجا می‌شود؛ اسپات بطور نقطه‌چین یك منحنی رسم می‌کند که وابسته به‌تغییرات فشار علامت در طول زمان است. می‌توان آنرا با تقویت‌کننده‌های با باند گذرای بسیار باریك ساخت.



مبتدیـ خوب، اینهم پیچیدگی‌های زیاد برای ساختن اسیلوسکوپ! واقعاً نمی‌دانم از اینکار چه نتیجه‌ای گرفته‌ایم؟

مهندسـ برای‌اینست که درست نگاه نمی‌کنید. کمی به‌شکل رسم شده به وسیله اسیلوسکوپ که در اینجا بشما نشان می‌دهم (شکل ۱۱۳) نگاه کنید. این منحنی روی لامپ کاتدی یك اسیلوسکوپ با نمونه رسم شده است. می‌بینید چه مشخصه‌ای روی شکل برده شده است؟



شکل ۱۱۳ـ منحنی رسم شده روی یك اسیلوسکوپ با نمونه. این شکل امکان می‌دهد که شکل‌موج‌سربوط به‌یك‌ژیگاهرتز (۱۰۰۰MHz) دیده‌شود.

مبتدیـ بله‌درجهت‌عمودی۰/۲V/cm ودرجهت‌افقی ۰/۲ns/cm رامی‌بینم.

مهندسـ اینحرف را با آرامش می‌زنید بی‌آنکه ازخودتان‌کمی بپرسید اینها وابسته به‌چیز هستند. آقای مبتدی می‌دانیدکه یك نانوثانیه چقدر است؟

مبتدیـ بمن‌گفته‌ایدکه یك‌میلیاردیم ثانیه است. همین.

مهندسـ بنظر نمی‌آیدکه واکنشی ازخودتان نشان داده‌باشید. امافکرش را بکنید درمدت یك نانوثانیه، نور (که در پیمودن راه سرعت‌کمی ندارد) فاصله ۳۰ سانتیمتر را می‌پیماید.

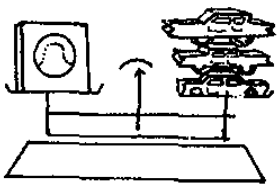
مبتدیـ آه! دراینصورت دارم می‌فهمم‌که درواقع خیلی تندإست. اما اگر خوب‌حساب‌کرده باشم، این منحنی سینوسی‌شکل‌کمی تغییرکرده،که درشکل می‌بینیم یك پریودش ۵ سانتیمتر راگرفته‌است، به‌عبارت‌دیگر دریك نانوثانیه پیموده است. بنابراین ۱۰۰۰ مگاهرتز است!

مهندسـ خوشوقتم‌که شما را وادارکردم‌که کاملاً احساس کنید در اینجا چیز واقعاً قابل‌توجهی هست.

مبتدیـ اما آقای مهندس بمن‌گفته بودیدکه این‌منحنی از نقطه‌چین یعنی نقطه‌هائی بدنبال‌هم تشکیل شده‌است‌درحالی‌که‌من غیرازیك‌خط‌پیوسته چیزی‌نمی‌بینم.

مهندس- درواقع نقطه‌هائی بدنبال هم است. اما دو هزار نقطه برای تمام منحنی وجود دارد. درنتیجه نمی‌توانید آنهارا از هم مشخص کنید.

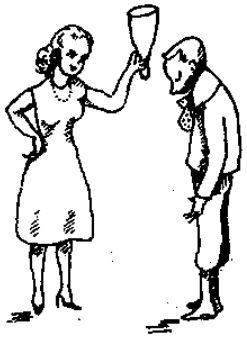
مبتدی- دستگاه جالبی‌است وفوراً می‌روم تا یك‌اسیلوسکوپ با نمونه برای خودم بخرم.



مهندس- توصیه می‌کنم‌کمی صبر کنید، بهای این دستگاه در وضع‌کنونی، برابر ۲ یا ۳ اتومبیل‌کورسی است.

مبتدی- چون فعلاً به‌یك ژیان ساخته‌ام، بازهم‌کمی صبر می‌کنم. برعکس احساس می‌کنم‌که خیلی دیر است...

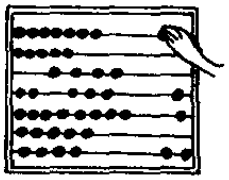
مهندس- نمی‌خواهم باعث شوم‌که «پولت» ازشما بازخواست‌کند. درنتیجه ازشما دعوت می‌کنم فردا برای ادامهٔ این بحث بیائید.



مبحث دوازدهم

چون مبتدی ریاضیات را دوست ندارد، منطقی است‌که دوستش برای او شرح‌بدهد ماشینهای‌الکترونی چگونه برای‌او حساب می‌کنند. بـرای اینکار باید نخستین عمل یعنی شمارش را بررسی کـرد. ابتدا شمارش دوتائی بررسی می‌شود وبعد به‌روش «ده‌تائی» می‌رسندکه مستقیماً درسیستم ده‌تائی می‌شمارد و به‌وسیله‌های انجام آنها واعلام نتیجه می‌پردازند. مبتدی‌که دیگر تردیدی ندارد حتی می‌خواهد بداندکه یك «شمارگر مشخص از پیش» چیست.

شمارش الکترونی



مهندس- سلام آقای مبتدی. امروز دربارهٔ چیز بسیار تـازه‌ای برایتان صحبت خواهم‌کرد وآن شمارش است.

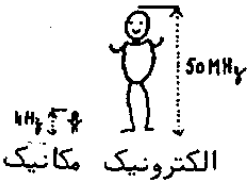
مبتدی- چه‌چیز را می‌خواهید بشمارید؟

مهندس- ضربه‌های الکتریکی‌را می‌شماریم. مطلب بسیار جالب اینست‌که می‌شود آنها را خیلی تند شمرد. شاید حالا هم وسیله‌ای برای شمردن عـلامت‌های الکتریکی می‌شناسید؟

شمارش مکانیکی

مبتدی- بله، مـدتی است یـك شمارگر تلفنی خریده‌ام. نگاه کرده‌ام که ببینم چگونه ساخته شده‌است و دیدم‌که نسبتاً ساده‌است. یك آهن‌ربای برقی وجود داردکه هروقت جریانی به‌آن می‌دهیم یك تیغهٔ‌کوچك را جذب می‌کند. وقتی‌جریان قطع می‌شود، تیغه‌که به‌وسیلهٔ فنری‌کشیده‌می‌شود، بجای اول برمی‌گردد. دربازگشت بجای اول خاری‌را فشار می‌دهدکه این خار یك چرخ دندانه‌دار را بجلو می‌راند. این چرخ دندانه‌دار، چرخ دیگری را می‌گرداندکه دارای شماره‌هائی است که این شماره‌ها درجلوی یك شکاف می‌گردند ومی‌توان آنهارا دید. هربارکه چرخ‌شماره‌دار یك دورکامل می‌زند و به‌این‌ترتیب ده شماره جلو می‌رود، شماره بعدی را به‌میزان یك‌دهم دور می‌گرداند واینکار درست به‌ترتیبی است‌که کیلومترشمار اتومبیل انجام می‌دهد.

مهندس- بسیارخوب آقای مبتدی، الان برای من بادقت زیادکارشمارگر مکانیکی‌را تشریح‌کردید. کار چنین دستگاهی‌آسان است، اما بدون‌شك متوجه‌شده‌اید که ازنظر سرعت شمارش، امکانات آن محدود است.

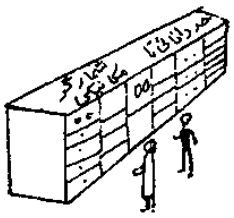


مبتدی- نه‌چندان! حتی باآن توانستم تا چهار ضربه درثانیه را بشمارم.

مهندس- برای یك شمارگر مکانیکی بد نیست، اما بزودی با مونتاژهائی روبرو خواهیم شدکه می‌توانند چندین‌ده میلیون ضربه در ثانیه را بشمارند. گمان نمی‌کنم‌دستگاه مکانیکی‌شما بتواند به‌این‌تکامل برسد، حتی‌به‌گردپای آن‌هم‌نمی‌رسد.

مبتدی- آه، بیچاره، حتماً نمی‌تواند. حدس‌می‌زنم ازدستگاههای‌الکترونی استفاده می‌کنید؟

شمارش دوتا دوتا



مهندس- بله، و شما یکی‌از این دستگاهها را می‌شناسید.

مبتدی- که اینطور! بهیچوجه نمی‌دانم‌کدام دستگاه است.

مهندس- باوجود این درباره‌اش با هم‌گفتگوکرده‌ایم، همان‌قپان دو ثابتی اکلس-جردان است که خلاصهٔ آنرا درشکل ۸۲ برایتان‌کشیده‌ام.

مبتدی- درآنجا یك تقسیم‌کنندهٔ ساده فرکانس به ۲ موردنظر بود و نمی‌دانم چطور می‌تواند بشمارد.

مهندس- باوجود این آقای مبتدی فرض‌کنیدکه برای آغاز این قپان‌را بطور منظم در یك حالت معین قرار دهم (مثلاً T_1 اشباع و T_2 مسدود). برحسب آنکه قپان درهمان حالت باقی بماند ویا تغییرحالت بدهد به‌آسانی می‌توانم‌بفهمم قپان ضربه‌ای دریافت‌کرده است یانه.

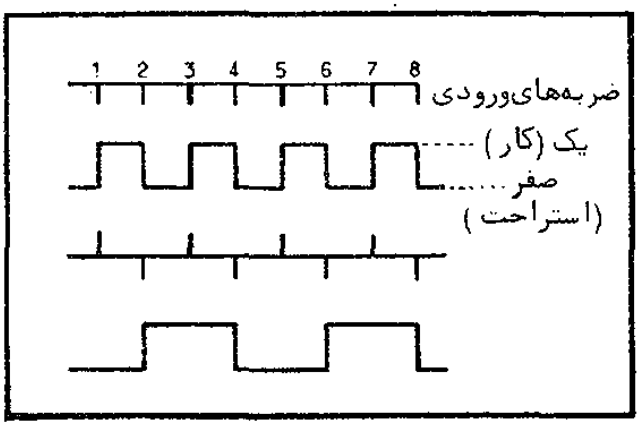
مبتدی- با این‌مطلب اصلاً موافق نیستم چون اگر سه ضربه رسیده باشد درست در همان وضعیتی است‌که یك‌ضربه دریافت‌کرده باشد. اگر دو ضربه دریافت کرده باشد می‌توانید نتیجه بگیریدکه اصلاً ضربه‌ای دریافت نکرده است.

مهندس- درست است، این مونتاژ فقط تا یك می‌تواند بشمارد. از این عددکه‌گذشت، باعث اشتباه شما می‌شود.

مبتدی- دراینصورت بشما تبریك نمی‌گویم. ساختن چیزی به‌این‌پیچیدگی که غیرازیك، چیزی نمی‌تواند بشمارد. واقعاً بسیار اندك است!

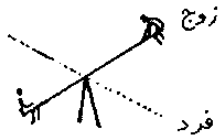
شمارش ۴ تا ۴

مهندس- حالا فرض کنیدکه این مونتاژ را بگیرم و ترتیبی بدهم‌که با رسیدن به‌صفر (یعنی وقتی T_1 از مسدودبودن خارج می‌شود و T_2 مسدود می‌شود)



شکل ۱۱۴- ضربه‌های‌ورودی، درحالی که قپان نخستین را از وضعیت یك به‌وضعیت‌صفر (یا برعکس) می‌رسانند، آنرا با فرکانسی‌که به‌اندازهٔ نصف فرکانس ضربه است بکار می‌اندازند. فشار خروجی مشتق شده‌اش، که درآن فقط ضربه‌های منفی بکار رفته‌اند، قپان دیگری‌را بکارمی‌اندازد که دراین‌صورت با فرکانسی کار می‌کندکه‌چهاربارکمتراز فرکانس‌ضربه‌های ورودی‌است.

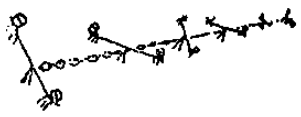
یك ضربهٔ منفی بدهدکـه به‌ورودی مونتاژ دیگری شبیه به‌مونتاژ اول گذاشته شود (شکل ۱۱۴). کار را با دو قپان که هردو در وضعیت صفر هستند آغاز کنیم. با ضربه اول، قپان‌اول به‌حالتی می‌رسدکه آنرا حالت «کار» (T_1 مسدود و T_2 اشباع) می‌گوییم، اما این وضع روی قپان دوم بی‌اثر خواهد بود چون این توازن فقط یك ضربهٔ مثبت به‌طرف آن می‌فرستدکه دربرابر آن غیرحساس است. در دومین ضربه ورودی، قپان اول به‌حالت صفر برمی‌گردد. بنابراین یك ضربهٔ منفی به‌قپان دوم می‌فرستدکه آنرا به‌حال توازن درمی‌آورد. ضربه سوم، قپان اول‌را دوباره به‌حالت یك می‌رساند درحالی‌که قپان دوم درهمان حال کار باقی می‌ماند. ضربه چهارم فقط قپان اول‌را به‌وضعیت صفر برمی‌گرداندکه بافرستادن یك‌ضربه منفی به‌قپان‌دوم آنرا هم به‌وضعیت صفر می‌آورد. به‌این‌ترتیب مونتاژ تازه‌ها می‌توانند ازصفر تا یك، دو و سه بشمارد. ازآن ببعد حاصل‌جمع‌هائی‌که به‌ما می‌دهد اشتباه است.



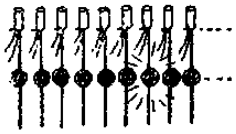
مبتدیـ اینهم چندان معجز اثر نیست. شمردن تاسه‌که‌کار درخشانی نیست.

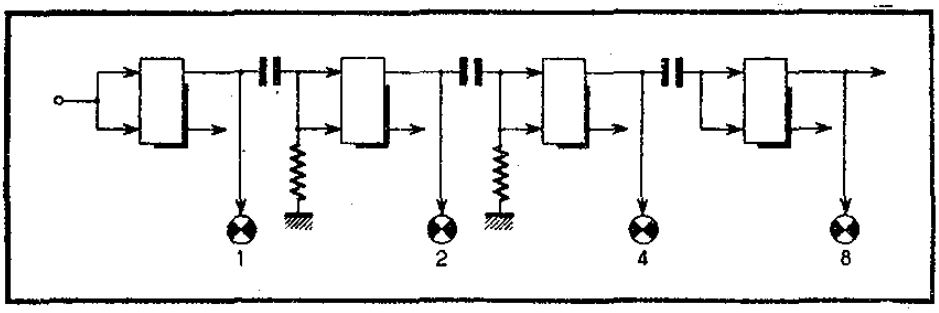
شمارش با توان ۲

مهندسـ اما اینکار به‌سرعت جالب می‌شود. تعدادی قپان مثل شکل ۸۲ می‌سازیم وطوری عمل می‌کنیم‌که توازن یك قپان روی ورودی قپان بعدی اثرکند. مثلاً فشار جمع‌کننده T_1 هرقپان را به یك مدار از نـوع مشتق (مثل مدار شکل ۶۴) می‌گذاریم. هربارکه یك‌قپان به‌صفر برمی‌گردد، یك ضربهٔ منفی به‌ورودی‌قپان بعدی خواهدگذاشت و آنرا به‌حال توازن درخواهد آورد (شکل ۱۱۵).



مبتدیـ قبول دارم‌که هرمستطیل نشان‌دهنده یك دوثابتی شبیه به‌شکل ۸۲ است، اما نمی‌فهمم چرا هرقپان دوثابتی، دو ورودی و دو خروجی دارد.





شکل ۱۱۵- به‌وسیله یك‌سلسله قپان‌که هرکدام دیگری‌را فرمان می‌دهد، یك شمارگر دوتائی‌درست می‌کنند، درحالی‌که وضع هرقپان به‌وسیله یك لامپ مشخص می‌شود.

مهندسـ دو ورودی فقط خـازن‌هـای C_3 و C_4 در شکل ۸۲ هستند. در اینجا بازهم هردو را دریك زمان زیر تأثیر می‌گیرم. اما همیشه اینطور نیست. دو خروجی به‌دو جمع‌کننده ترانزیستورها وصل هستند. اکنون بیش‌ازپیش میل دارند قپان‌هائی بکار ببرند کـه دیگر از اجتماع ترانزیستورها و مقاومت‌های جداگانه تشکیل نشده‌باشند بلکه ازمدارهای مجتمع درست شده‌باشند. امکانات این‌مدارهای مجتمع به‌ترتیبی است‌که اکنون می‌توانند حتی دریك صفحهٔ‌کوچك چندقپان دوتائی (بیشتر از چهارتا) را یکجاگرد بیاورند. در این‌کار، به‌ویژه از این جهت محدود

می‌شوند که یك مدار مجتمع نمی‌تواند سیم‌های زیادی داشته باشد؛ دراینصورت اگر بخواهند برای هرقپان یك ورودی، یك (یا دو) خروجی، یك صفرکننده و مدار-های فرمانی که بعداً خواهیم‌گفت داشته باشند، امکان ندارد تعداد قپان‌هارا در یك مدار مجتمع به‌مقدار دلخواه زیادکنند.

از این نوع قپان‌ها چندین نوع وجود داردکه تقریباً نام داده شده به آنها یکنواخت شده است.

۱ــ نوع T (ت)که فقط شامل یك‌ورودی است‌که‌گذاشتن یك‌علامت‌مناسب روی آن وضعیت قپان را تغییر می‌دهد، و اگر در حال «کار» بوده آنرا به‌وضعیت «استراحت» درمی‌آورد و برعکس.

۲ــ نوع R_S_T کــه علاوه‌بر ورودی T دو ورودی دیگر به‌نام‌های R (صفرکننده) و S (یك‌کننده) دارد. اگر قبل‌از فرمان ورودی T:

ــ روی S، ولی نه روی R، فشاری گذاشته شود، پس از فرمان روی T، قپان به‌حالت «کار» برمی‌گردد (مگراینکه قبلاً به‌این وضعیت رسیده باشد که در این‌صورت فرمان روی T اثر نمی‌کند).

ــ روی R فشاری‌گذاشته شود اما روی S گذاشته نشود، بعداز فرمان‌روی T، قپان به‌وضعیت «استراحت» برمی‌گردد (مگر اینکه قبلاً به‌این وضعیت رسیده باشدکه دراین صورت فرمان روی T اثر نمی‌کند).

ــ روی R و S فشار صفر گذاشته شود، فرمان روی T اثر نمی‌کند، قپان حالت اولیهٔ خودش‌را حفظ می‌کند.

ــ روی R و S فشاری‌گذاشته شود، نمی‌شود فهمید چــه پیش می‌آید، در اینصورت در «وضعیت غیرمشخص» هستیم.

۳ــ نوع J_K که نوع‌پیشرفته نوع R_S_T است وآنهم‌دارای یك‌ورودی T است اما «وضعیت غیرمشخص» ندارد. اگر قبل‌از فرمان ورودی T:

ــ روی ورودی J فشارگذاشته‌شود اما روی ورودی K چیزی‌گذاشته‌نشود، پس‌از فرمان روی T قپان بــه‌حالت «کار» درخواهد آمد (مگر آنکه قبلاً به‌این وضعیت رسیده باشدکه دراین‌صورت فرمان روی T اثر نمی‌کند).

ــ روی K فشار گذاشته شود اما روی ورودی J چیزی گذاشته نشود، پس از فرمان روی T قپان به‌حالت «استراحت» درخواهد آمــد (مگرآنکه قبلاً به این وضعیت رسیده باشدکه دراینصورت فرمان روی T اثر نمی‌کند).

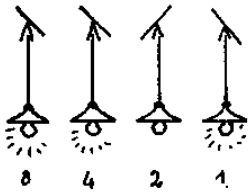
ــ نه در ورودی J و نه در ورودی K فشاری گذاشته نشود، قپان در همان حالتی‌کــه بــوده باقی می‌ماند و ورودی T عمل نمی‌کند (تا اینجا همه چیز مثل R_S_T است درحالیکه J نقش ورودی S و K نقش ورودی R را بازی‌می‌کند).

ــ روی ورودی J و ورودی K فشار گــذاشته شود، با رسیدن فرمان روی T، قپان تغییر وضعیت می‌دهد، حالت قبلی‌اش هرچه باشد فرقی نمی‌کند (مثل‌یك قپان از نوع T).

۴ــ قپان ازنوع D، که یك قپان J_K است کــه درآن فقط دسترسی به ورودی J امکان‌پذیر است، درحالی که ورودی K به‌وسیلهٔ مدار «معکوس‌کننده»ای فرمان داده می‌شودکه درون مدار مجتمع قرار گــرفته است. غالباً آن را به‌عنوان عنصر حافظه بکار می‌برند.

این قپان‌های مختلف برحسب روش زیر تأثیرگرفتن به‌رسته‌های دیگری تقسیم می‌شوند. کاملترین آنها انواعی هستندکه«ماستر اسلاو» (آقا-برده) نامدارند (دستگاههائی بامدار«آقا» ومدار«برده»). برای فرمان روی ورودی T آنها دادن هیچگونه شکل جدید به‌علامت لازم نیست چون فرمان در T فقط باید ازیك فشار صفر آغاز شود، ازیك حد یا آستانه بگذرد ودوباره پائین بیاید وهرچه‌که‌بخواهیم آهسته به‌کمتر ازیك آستانه دیگرکه‌کمتراز اولی است برسد (مثلاً تاصفر برود).

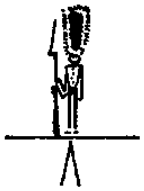
ازیك سلسله ازهمین قپان‌ها شروع‌کنیم‌که دراصل همه آنها دروضعیت صفر هستند. می‌بینیدکه قپان اول هربارکه تعدادی ضربهٔ فرد به‌آن بدهیم دروضعیت یك است و هردفعه‌که تعدادی ضربهٔ زوج دریافت‌کند به‌وضعیت صفر درمی‌آید. قپان‌دوم پس‌از ضربهٔ دوم به‌وضعیت یك می‌رسد و برای ضربهٔ سوم در همان وضع می‌ماند و برای چهارمین و پنجمین ضربه دوباره به وضعیت صفر می‌رسد. بنابراین با ادامهٔ استدلال می‌توانید ببینیدکه هرچه یك قپان در این سلسله دورتر واقع شده باشد، کمتر دچارتوازن می‌شود. وآنگهی این‌مطلب شگفت‌آور نیست برای‌اینکه‌هرکدام از آنها فرکانس‌را به‌نسبت ۲ تقسیم می‌کند. برای‌من‌کافی است‌که وضع قرارگرفتن قپان‌را مثلاً به‌وسیلهٔ چراغی‌که وقتی قپان دروضعیت یك است روشن می‌شود، تعیین کنم تا تعداد ضربه‌های فرستاده‌شده را بدانم. زیر چراغ قپان اول می‌نویسم ۱، زیر چراغ قپان دوم ۲، زیر لامپ قپان سوم ۴، زیر لامپ قپان چهارم ۸ و به‌ترتیب زیر چراغهای قپان‌های پنجم وششم وهفتم، عددهای ۱۶، ۳۲ و ۶۴ را می‌نویسم...



پس‌از اینکه تعدادی ضربه فرستادم،کاری ندارم جزآنکه به‌اعدادی‌که زیر چراغ‌های روشن قرارگرفته‌اند نگاه‌کنم وآنهارا باهم جمع‌کنم. به‌این‌ترتیب‌مجموع ضربه‌های دریافت شده را بدست خواهم آورد. می‌بینیدکه هربار که یك طبقه اضافه می‌کنم عددی را که می‌توانم بشمارم دو برابر می‌کنم. به این ترتیب با ده طبقه تا ۱۰۲۴ را می‌توانم بشمارم و با ۱۱، ۱۲ و ۱۳ طبقه می‌توانم تا ۴۰۹۶،۲۰۴۸ و ۸۱۹۲ بشمارم. می‌بینیدکه این‌اعداد از هم‌اکنون سریع بالا می‌روند.

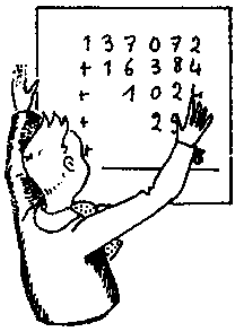
مبتدی- می‌خواهم آنرا قبول‌کنم، با وجود این خیلی پیچیده است. علاوه براین نمی‌توانید مطمئن شویدکه تعداد ضربه‌ها ازبیشترین تعدادی‌که شمارگر شما می‌تواند نشان دهد، تجاوز نکند. دراین‌لحظه نخواهید فهمیدکه چیزی‌که نشان می‌دهد درست است یانه.

«قپان محافظ»



مهندس- وسیله‌ای برای‌دانستن آن وجود دارد. کافی است بعد از آخرین قپان، قپان مخصوصی بگذاریم‌که فقط یکبار می‌تواند کارکند. این قپان را مثلاً از روی شکل ۸۲ باحذف خازن C۴ می‌سازند. دراین شرایط، این‌قپان وقتی ضربه‌ای دریافت‌کرد به‌وضعیت یك می‌رود، اما اگر ضربه‌های دیگری‌هم به‌آن‌برسد، باز در همان وضعیت می‌ماند. این‌نوع قپان‌که بعداز آخرین قپان قرار داده شود، تشکیل دستگاه‌اطمینان‌مارا خواهد داد. اگرآخرین قپان‌هیچوقت‌به‌صفر برنگردد، قپان‌اطمینان ما در وضعیت صفرباقی‌خواهد ماند. بنابراین اگرقپان اطمینان دروضعیت‌صفر باقی بماند، مطمئن خواهیم بودکه عدد نشان داده شده درست است. بهرحال ترتیب‌کار را

طوری می‌دهند که تعداد طبقه‌ها کافی باشد تا شمارگر بتواند همیشه ضربه‌هائی را که به‌آن می‌فرستیم شمارش کند بی‌آنکه «دوباره‌کاری کند» یعنی بی‌آنکه به‌علت تجاوز از بیشترین شمارهٔ مجاز دوباره به‌صفر برگردد.



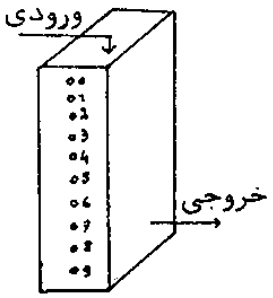
مبتدیـ دراین‌صورت، قبول می‌کنم با تعداد طبقه‌ها، شمارگر شما به‌حدبلوغ رسیده است و می‌تواند تا ۸۱۹۲ یا دو برابر آنرا بشمارد. چیزی‌که اندوهگینم می‌کند اینست‌که برای بدست‌آوردن مجموع ضربه‌های دریافت‌شده، باید اعدادی را جمع‌کردکـه بعضی از آنها ممکن است مفصل باشد. اینکار فوراً انجام نمی‌شود و درست نمی‌دانم نسبت به‌شمارگر مکانیکی چه امتیازی بدست آورده‌ایم.

مهندسـ قطعاً شمارگر مکانیکی شما ازنظر ساختمان ساده‌تر بود و خیلی آسانتر خوانده می‌شد. اما یادآوری می‌کنم‌که اگر نخستین قپان‌هارا خوب‌انتخاب کنیم، می‌توانیم ضربه‌ها راباآهنگ‌چندمیلیون درثانیه وحتی‌چندین‌ده ملیون درثانیه حساب‌کنیم.

مبتدیـ بفکر آن نبودم، اما دراین‌حالت، نمی‌شود انتظار داشت‌که‌رسیدن به‌پایان امکانات شمارگر شما مدت زیادی طول بکشد مگرآنکه تعداد طبقات واقعاً زیادی داشته باشد.

مهندسـ قبول دارم چـون برای داشتن ظرفیت شمارش تا یـك ملیون، شمارگر باید تقریباً ۲۰ طبقه داشته‌باشد. یادآوری می‌کنم‌که این‌طبقه‌ها نسبتاً ساده هستند. بخصوص آنهائی‌که با آهنگ آهسته‌کار می‌کنند. بهرحال با شما موافقم‌که این شمارگر نوع دو رقمی (که برپایهٔ مکانیسمی است‌که فقط‌صفر ویك‌را می‌شناسد) کاربرد ساده‌ای ندارد. بهمین جهت است‌که شمارگرهای کاملتری ساخته‌اندکه امکان شمارش درسیستم ده‌تائی خوب ما را فراهم می‌کند.

شمارش ده‌تائی



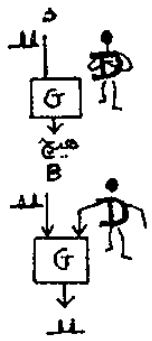
مبتدیـ می‌توانید یکی از آنهارا برایم شرح بدهید... می‌ترسم که بطرز وحشتناکی پیچیده باشد.

مهندسـ بعضی از این مونتاژها ممکن است خیلی پیچیده باشند. ما فقط یکی‌از آنهارا بررسی می‌کنیم. منظور ساختن یك «ده‌تائی» است یعنی یك مونتاژ الکترونی‌که هروقت ده ضربه دریافت‌کرد دوباره به‌وضعیت اول برگردد. در ضربهٔ دهمی‌که دریافت می‌کند، یـك ضربه روی راهی‌که «خروجی» نام دارد می‌فرستد که مأموریت دارد به‌ده‌تائی دیگری فرمان بدهد.

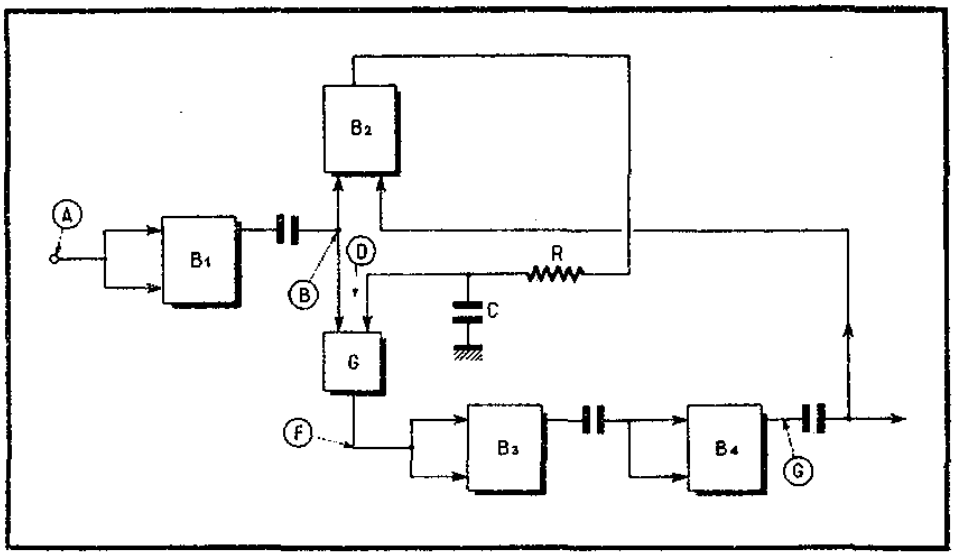
بطور ساده ساختمان یك ده‌تائی روشار «Rochar» راکه شمای‌جعبه‌ای آن درشکل ۱۱۶ نشان‌داده شده بشما نشان خواهم‌داد. درابتدای آن یك‌قپان دوثابتی B_1 را می‌بینید که دوباره آنرا بصورت مستطیل کوچکی می‌کشم (باز هم مونتاژی است شبیه مونتاژ شکل ۸۲).

مبتدیـ بازهم دو ورودی کشیده‌اید اما سودی ندارد چون همیشه هردو را بهم متصل می‌کنید.

مهندسـ نه، همیشه اینطور نیست. می‌توانم هرکدام‌را بطور دیگری زیر تأثیر بگیرم. مثلاً روی C_3 ضربه‌هائی بگذارم و روی C_4 ضربه‌های دیگری وارد



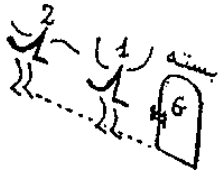
کنم. بهمین‌جهت است که قپان را به‌عنوان اینکه دو ورودی دارد در نظر می‌گیرم. وقتی آنرا به‌صورت بخش‌کننده به ۲ بکار می‌بریم، این دو ورودی بهم‌متصل‌می‌شوند و دریك زمان به‌آنها ضربه‌های‌منفی گذاشته می‌شود. حالتی را که در آن ترانزیستور T_1 جریان می‌دهد و T_2 مسدود است، به‌نسام وضعیت صفر (یا استراحت) مشخص کرده‌ایم. وقتی یك قپان به‌صفر برمی‌گردد، کاهش ناگهانی اختلاف سطح جمع‌کننده T_1 بعداز یك مدار مشتق‌گیرنده که دراینجا فقط خازن آنرا کشیده‌ام، به‌یك ضربه منفی برگردان می‌شود. بنابراین می‌بینید که در نقطه B به‌ازاء هردو ضربهٔ ورودی، یك ضربهٔ منفی داریم.



شکل ۱۱۶ـ شمای‌جعبه‌ای ده‌تائی شمارش روشار: دوثابتی B_1 تقسیم فرکانس به۲ را عملی می‌کند، مجموع سه‌دوثابتی دیگر از پنج حالت پشت‌سرهم می‌گذرند.

مبتدی‌ـ بله، وهمینطور می‌بینم که این ضربه در دوجهت فرستاده شده‌است؛ ابتدا به‌قپان B_2 که بطورعجیبی روی یك‌ورودی‌اش وارد می‌شود، بعد درمونتاژی که G نام دارد و اصلاً کار آنرا نمی‌دانم.

مهندس‌ـ با دقت طرزکار آنرا دنبال کنیم. درواقع قپان B_2 فقط به‌وسیلهٔ پایهٔ ترانزیستور T_1 زیرتأثیرگرفته شده است. با اولین ضربه‌ای‌که روی ورودی سمت چپ دریافت می‌کند، به‌توازن درمی‌آید واز وضعیت صفر به‌وضعیت یك (T_1 مسدود و T_2 اشباع شده) می‌رود. تا وقتی که دوباره به‌صفر برنگردد، ضربه‌های منفی‌که ممکن است به‌نقطه B برسند روی آن تأثیری ندارند.



امـا مونتاژ G، بطور ساده همان چیزی است کـه در زبان فرانسهٔ جدید «gate» (در) گفته می‌شود، یعنی کلید قطع و وصل الکترونی است که به‌وسیلهٔ یك فشار فرمان داده‌می‌شود. به‌این‌ترتیب‌که اگر فشاری‌که روی‌ورودی D خود دریافت می‌کند، صفر باشد، ضربه‌هائی که روی ورودی سمت چپ آن می‌رسند، در F وجود نخواهند داشت. برعکس اگر ورودی D آن فشارمثبتی دریافت‌کند، این دربرای ضربه‌ها باز خواهد بود و ضربه‌هائی‌کـه روی ورودی چپ آن قرارگیرند، در F

بدست می‌آیند.

مبتدیـ ساختن این مونتاژ باید بطور وحشتناکی پیچیده باشد.

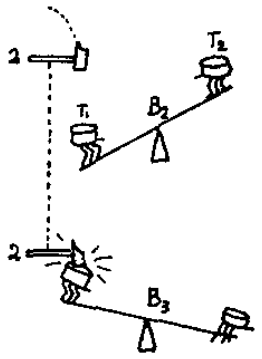
مهندسـ آه، نه، معمولاً از یک دیود ویک مقاومت درست می‌شود؛ بعداً آنرا خواهیم دید. فعلاً درحالی‌که به‌جز ضربه‌های منفی‌که به‌نقطهٔ B می‌رسند با چیز دیگری کار ندارم، بشما نشان خواهم دادکه بقیه مونتاژ پنج طبقه داردکه این ضربه‌ها بطور پی‌درپی از آنها می‌گذرند.

اولین‌ضربه‌ای‌که به B می‌رسد، B_2 را به‌توازن درمی‌آورد، اختلاف‌سطح خروجی چپ B_2 (جمع‌کنندهٔ ترانزیستور T_1 آن) زیاد می‌شود و در G را از حالت مسدودبودن خارج می‌کند...

مبتدیـ بنابراین، همین ضربهٔ اول از راه G عبور می‌کند و در F بدست می‌آید.

مهندسـ نه آقای مبتدی، مثل اینست‌که وجود مقاومت R وخازن C را فراموش‌کرده‌اید؛ اینها بالارفتن‌اختلاف‌سطح D را به‌اندازه‌کافی به‌تأخیر می‌اندازند تا ضربه‌ای‌که در B_2 توازن ایجادکرده بازهم در باز G را پیدانکند وبه‌این‌ترتیب انتقال نیابد.

در عوض، دومین ضربه که به B می‌رسد، خواهد توانست از راه در G بگذرد.

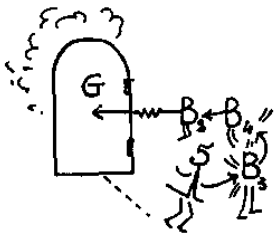


مبتدیـ اما، این‌ضربه دوباره روی قپان B_2 عمل خواهد کرد؟

مهندسـ این ضربه حتماً زیانی به‌آن نمی‌رساند چون فراموش نکنیدکه فقط روی یکی‌از خروجی‌های این قپان عمل می‌کند، این‌ضربه بصورت فشار منفی روی پایه T_1 که مسدود است می‌رسد. پس‌کاری به‌آن نمی‌کند.

مبتدیـ درست است، فراموش‌کرده بودم. اما اگرکاری به B_2 نکند باید برای B_3 کاری انجام دهد؟

مهندسـ کاملاً حق باشماست چون آنرا به‌توازن درمی‌آورد،که روی B_4 تأثیری ندارد چون B_3 از وضعیت صفر به‌یک می‌رسد درحالیکه یک‌ضربهٔ مثبت به B_4 می‌فرستدکه دربرابر آن حساس نیست. سومین ضربه در B هم از راه G می‌گذرد (B_2 همانطور در وضعیت یک باقی می‌ماند). بنابراین آنرا در F بدست می‌آوریم وقپان B_3 را به‌وضعیت صفر می‌رساند. اینکارکه انجام‌شد، B_3 یک ضربه منفی بهB_4می‌فرستدکه‌به‌حال توازن درمی‌آید. چهارمین‌ضربه به B می‌رسد، از راه G می‌گذرد به F می‌رسد، B_3 را به‌حال توازن درمی‌آورد وبه‌وضعیت یک‌می‌رساند، که اثری روی B_4 نمی‌کند...

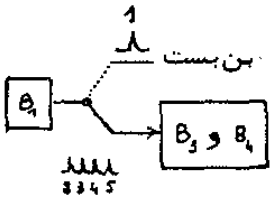


مبتدیـ آقای مهندس، احساس می‌کنم که قپان‌های B_3 و B_4 درست مثل یک شمارگر معمولی‌کار می‌کنندکه تا ۳ می‌شمارد؟

مهندسـ احساس شما کاملاً درست است. حالا بررسی کنیم‌که برای ضربهٔ پنجم‌که به B می‌رسد چه پیش‌می‌آید. ضربه از در G می‌گذرد. آنرا در F بدست می‌آوریم. این‌ضربه B_3 را به وضعیت صفر می‌آورد، بنابراین B_3 یک ضربه منفی به B_4 می‌فرستدکه به‌توازن درمی‌آید، یعنی به‌صفر می‌رسد. چون B_4 دوباره‌به‌صفر می‌رسد، از راه خروجی چپ خود، یک ضربهٔ منفی روی ورودی راست قپان B_2 می‌فرستد وآنرا به‌وضعیت صفر می‌رساند.

مبتدی- حالادیگرکاری انجام نمی‌شود چون B_2 به‌وضعیت‌صفر رسیده‌است، بنابراین در G را مسدود می‌کند و نمی‌گذارد این‌ضربهٔ پنجم بگذرد.

مهندس- چرا آقای مبتدی، مثل اینست‌که یکبار دیگر وجود مقاومت R وخازن C راکه ارسال علامت‌خروجی B_2 را به‌در G کند می‌کند فراموش‌کرده‌اید. ازطرف دیگر حتی بدون این‌ن مقاومت و خازن، خطری وجودنداردچون پنجمین ضربه باید ابتدا از راه G عبورکند، بعد B_3 را به‌وضعیت صفر برساند، که اینکار قبل‌از اینکه ضربه‌ای‌که باید B_2 را به‌وضعیت صفر برساند فرستاده شود، B_4 را به وضعیت صفر رسانده است. تمام این تأخیرها که با هم جمع شوند، باعث می‌شوندکه ضربه‌بخوبی از راه G بگذرد حتی‌اگرباعث‌شودکه پس‌ازآن بسته‌شدن در آغازگردد.



مبتدی- این سیستم بسیار زیرکانه‌است. اگر درست فهمیده‌باشم شما یك‌نوع شمارگر چهار وضعیتی داریدکه این وضعیت‌ها از B_3 و B_4 تشکیل شده‌اند و نمی‌تواند غیراز ۰ تا ۳ چیزی بشمارد. یکی از ضربه‌هائی راکه برای آن می‌فرستیم وسیله در G ازآن می‌گیریم و قپان B_2 است‌که آنرا درخود نگاه می‌داردکه‌باعث می‌شود این مجموعه از ۰ تا ۴ را بشمارد یعنی پنج شماره.

مهندس- آقای مبتدی، کاملاً حق با شماست و بشما تبریك می‌گویم. شما کاملاً سرحال هستید. در ایـن شرایط متوجه می‌شوید که این مجموعه بطور مؤثر تقسیم‌بر ۱۰ را انجام می‌دهد، چـون مجموع قپان‌های B_2، B_3 و B_4 هربارکه پنج ضربه به‌نقطه B رسیده است، یعنی ده‌ضربه در A دریافت شده باشد، دوباره به همان حالت اول برمی‌گردند. با درنظرگرفتن پیشرفت‌هائی که به‌وسیلهٔ مدارهای مجتمع بدست آمده است، اکنون مدارهای ده تائی‌کاملی در یك مدار مجتمع وجود دارند، بعضی‌از آنها ازنظرتشکیل‌وضعی دارندکه به‌درستی تشکیلات‌ده‌تائی **روشار** را بیاد می‌آورند. این وضعیت در مورد مدارهای SFC ۴۹۰ و SN ۷۴۹۰ و غیره صدق می‌کند. دراین‌مدارها مجموعه‌ایست‌که مستقیماً ده‌تائی می‌شمارد درحالی‌که خروجی آنها باکد دو رقمی ده‌تائی معمولی است. ورودی آن از نوع «ماستر اسلاو» (آقا ـبرده)است، بنابراین برای‌فرمان آن شکل‌دادن علائم بهیچوجه لازم نیست. سرعت شمارش از ۲۰ مگاهرتز بیشتر است، ده تـائی علاوه‌بر بخش معمولی دو مدار دارد (که هرکدام دو ورودی دارند)که امکان می‌دهند آنرا به‌وضعیت صفر درآورد و یا به‌وضعیت مربوط به ۹ قرار داد. برای تغذیهٔ همه آنها ۵ ولت کافی است ومصرف آن‌کمتر از ۴۰mA است. اکنون ده‌تائی‌های دیگر با مدار مجتمع امکان می‌دهند که شمارش و «شمارش معکوس» انجام شود.

نمایش رقم‌ها

مبتدی- قبول می‌کنم که درواقع مونتاژهای شما ده تائی حساب می‌کنند. اما نمی‌دانم چطور نتیجه‌را نشان می‌دهیم.

مهندس- برای‌اینکار مخلوطی از فشارهائی لازم است‌که ازجمع‌کنندهٔ‌چهار قپان روی مقاومت‌هـا بدست می‌آید. تشریح جزء به‌جزء آنها پیچیده است و تازه سود چندانی ندارد. فقط بدانیدکه بدست‌آوردن فشارهائی روی ده رشته سیم مستقل که فقط یکی‌از آنها مثبت است در حالی‌که دیگران منفی هستند، آسان‌است.وقتی

تمام مجموعه در وضعیت صفر است، رشته‌ای‌که «صفر» نامیده شده است، فشار مثبتی را جابجا می‌کند، در حالی‌که رشته‌های دیگر به‌اختلاف سطح منفی وصل شده‌اند. به‌تدریج که ضربه‌ها به ده‌تائی فرستاده می‌شوند، فشار مثبت روی رشته‌ای، که یك نشانه‌گذاری شده، بوجود می‌آید، بعد روی رشتهٔ ۲ و... وبعد روی رشتهٔ ۹ و در آخر روی رشته‌ای که صفر نشانه‌گذاری شده می‌آید. این ده رشته، ده پسایهٔ ده ترانزیستور سیلیسیومی راکه می‌توانند فشار زیادی را تحمل کنند، زیر فرمان می‌گیرند. درجمع‌کنندهٔ این ده‌ترانزیستور ده لامپ نئون قرارمی‌دهندکه‌می‌توانند وقتی ترانزیستوری که به آنها فرمان می‌دهد از مسدودشدن خارج شود، به‌نوبت روشن شوند.

مبتدیـ واقعاً اجزاء زیادی دارد. فقط اگر خوب فهمیده باشم ده لامپ نئون خودتان‌را دریك خط قرار می‌دهید و درکنار هرکدام عددهای ۰ تا ۹ را می‌نویسید. باید چیزکاملتری هم وجود داشته‌باشد چون یك روز، پیش یکی‌ازدوستانم که در انرژی هسته‌ای‌کار می‌کند، شمارگری دیدم‌که درآن خود رقم‌ها، همیشه‌دریك محل، دریك نوع لامپ کوچك با رقم‌های قرمز کاملاً خوانا دیده می‌شدند. آنرا چگونه درست می‌کنند؟

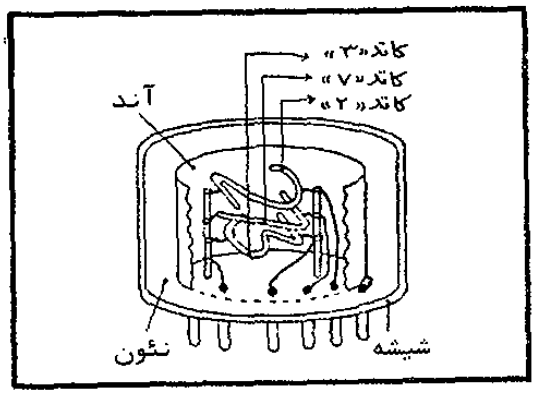
مهندسـ آنچه شما دیده‌اید فقط تازه‌ترین نوع نمایش ارقام است: لامپ گازی با نمایش عددی است. غالباً آنرا با نام «نیکسی **Nixie**» مشخص می‌کنند. اگرچه منظور از آن مارکی است‌که مؤسسهٔ سازنده آن «بروگس **Burroughs**» رویش‌گذاشته است. این لامپ شامل یك آند بشکل استوانه و ده‌کاتد با سیم آهنی بسیار نازك‌است‌که هرکدام جلوی دیگری قرار دارد و هریك به‌شکل یك‌رقم‌است. (شکل ۱۱۷). آند از راه مقاومتی‌که شدت جریان‌را محدود می‌کند به‌اختلاف‌سطح ۲۵۰ تا ۳۰۰ ولت وصل است؛ ده کاتد به‌جمع‌کننده‌های ده ترانزیستورسیلیسیومی که قبلاً برایتان‌گفتم وصل هستند. فقط یکی‌از این ترانزیستورها ازحالت مسدود بودن خارج شده است درحالی‌که بقیه مسدودند. کاتدی‌که مربوط به‌این‌ترانزیستور است به‌اختلاف سطحی‌که تقریباً صفر است می‌رسد وجریانی‌که درنتیجهٔ‌ایونیزاسیون بوجود می‌آید واز لامپ می‌گذرد، شکل روشنی ایجاد می‌کند که شبیه به‌عدد است واین عدد وابسته به‌ترانزیستوری است‌که از حالت مسدودبودن خارج شده است.

مبتدیـ بسیار زیرکانه است! اما چیزی هست که بنظرم عجیب می‌آید. گفتیدکه این کاتدهای مختلف هریك پشت دیگری قرارگرفته است. وقتی کاتدی را که آخرهمه قرارگرفته است روشن‌کنند، نباید چیزی دیده شود برای‌اینکه‌کاتدهای دیگر جلوی آن هستند.

مهندسـ تمام حقه درساختن این‌کاتدهاست‌که از رشته فلزی بسیار نازك ساخته‌شده‌اند، بطوری‌که حتی وقتی جلوی شکل روشن حاصل درنتیجهٔ ایونیزاسیون هم قرارگرفته باشند نمی‌شود آنها را دید. اگر آنهارا از نزدیك نگاه‌کنید، شاید بتوانید خطوط سیاه بسیار ریزی ببینید که به‌شکل رقم درست شده‌اند، اما باید چشمان بسیار تیزی داشته باشید تا بتوانید آنها را تشخیص بدهید. البته روش‌های زیاد دیگری هم برای نمایش وجود دارد، اما این روش لامپ باگازنمایش عددی، دارد ازهمه بیشتر متداول می‌شود.

مبتدیـ با وجود این اگر دربارهٔ آن فکرکنیم، ناراحت‌کننده است. پس

یك ده تائی علاوه‌بر چهار قپان و یك در، باید شامل ده ترانزیستور سیلیسیومی با فشار زیاد، یك‌لامپ نمایش عددی و مقاومت‌های فرمان ترانزیستورهای‌سیلیسیومی هم باشد.



شکل ۱۱۷ـ لامپ نمایش‌عددی درگاز نئون شامل یك آند استوانه‌ای (در اینجا مقطع آن کشیده شده است که ساختمان‌کاتدها نشان داده شود) و ده کاتد باسیم بسیار نازك‌است، هرکدام شکل یکی‌ازرقم‌های ۰ تا ۹ را دارند. برحسب‌آنکه‌کدام‌کاتد وصل شده‌باشد، می‌بینیم‌که رقم‌های‌مربوط به‌آن بانور قرمز روشن می‌شود.

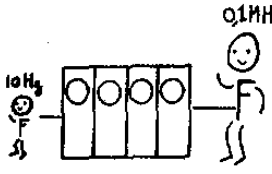
مهندس‌ـ توجه داشته باشیدکه درمیان مدارهای مجتمع، اکنون یك نوع وجود دارد (مثلاً SFC۴۴۱E) که شامل تمام مدارهای آشکارکردن کد، به‌اضافهٔ ده‌ترانزیستور سیلیسیومی بافشار زیاد برای فرمان‌کاتدهای لامپ نمایش‌عددی‌است. بنابراین برای ساختن یك ده‌تائی دو مدار مجتمع و یك لامپ نمایش کافی است درحالی‌که این ده‌تائی آنقدرکوچك است‌که می‌توان ۴ یا ۵ عدد از آنرا درمشت جای داد. همینطور یادآوری می‌کنم‌که می‌توان بین خروجی‌های دو رقم ده تائی و ورودی آشکارکنندهٔ کد، یك قپان چهارتائی D گذاشت‌که به‌صورت حافظهٔ آخرین نتیجه شمارش بکار می‌رود و به‌این ترتیب نتیجهٔ محاسبه را وقتی می‌گیرندکه یك علامت مناسب به‌مدار حافظه فرستاده شده باشد. دراینصورت می‌توان یکبارمحاسبه کرد، وقتی محاسبه تمام‌شد نتیجه‌را آشکارکرد، دوباره حساب‌کرد (درحالی‌که‌نتیجهٔ آشکارشدهٔ شمارش قبلی حفظ شده است) ونتیجه را وقتی آشکارکردکه محاسبهٔ جدید تمام شده باشد.

مبتدی‌ـ با وجود این تعداد عنصرها بـرای شمارش تا ۱۰، حتی بدون حافظه، خیلی زیاد است.

مهندس‌ـ آقای مبتدی تاحدودی باشما موافقم، فقط این‌را بدانیدکه اگر این ده تائی بیشتر از ۱۰ حساب نمی‌کند، آنرا بی‌نهایت سریع انجام می‌دهد. با دو ده‌تائی تاصد می‌شمارید وبا ۶ تا ازآنها تا یك‌ملیون می‌توانید بشمارید.

مبتدی‌ـ فکری به‌خاطرم رسید...

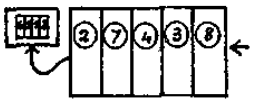
مهندس‌ـ بسیار خطرناك‌است، اما با اینحال بگوئید ببینم چیست.



مبتدی‌ـ فکر می‌کنم وقتی مثلاً چهار عدد ازاین نوع ده‌تائی‌هارا دنبال هم بگذاریم، ضربه‌هائی‌که از آخرین ده‌تائی خارج می‌شوند، فرکانس بسیارکمتری از ضربه‌هائی دارندکه به‌اولی وارد می‌گردند.

مهندس‌ـ من نمی‌گویم خیلی‌کمتر، بلکه می‌گویم «ده‌هزاربارکمتر».

مبتدی‌ـ همین‌را می‌خواستم بگویم. درنتیجه این ضربه‌ها با فرکانس‌هائی که تاحدودی پائین است خارج می‌شوند و شاید بتوان آنها را با وسیلهٔ ساده‌تری شمرد. حتی بایك جمع‌کنندهٔ مکانیکی.



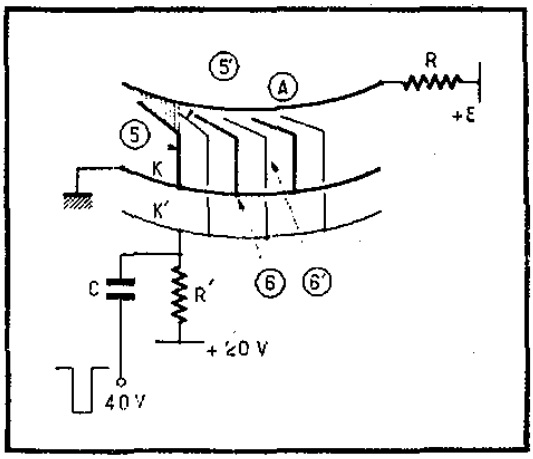
مهندس- آقای مبتدی اینکار عملی است. معمولاً بیشتر از چهار ده تائی قبل از جمع کننده مکانیکی می‌گذارند. این جمع کننده نمی‌تواند بیشتر از ۴ یا ۵ بار در ثانیه کار کند. چون نامطلوبترین ده‌تائی‌ها هم اکنون چندین صد هزار ضربه در ثانیه را می‌شمرد، می‌بینید که دست‌کم قبل از شماره‌کنندهٔ مکانیکی باید پنج عدد از آنها قرار داد. اگر بخواهم آهنگ شمارش‌را تندتر کنم، قبل‌ازهمه یك ده‌تائی اضافی می‌گذارم که این‌بار طوری‌ساخته شده‌است که بسیار سریع کار کند، مثلاً برای اینکه ۲ تا ۳ ملیون ضربه در ثانیه را بشمرد.

اگر بخواهم بازهم امکان مجموعهٔ شمارگر را زیادکنم، بازهم درجلوی‌آن یك‌ده‌تائی‌که به‌ویژه با دقت ساخته‌شده و می‌تواند مثلاً ضربه‌های ۵۰ مگاهرتزی را بشمرد قرار می‌دهم و به‌این‌ترتیب دستگاه بسیارکاملی خواهیم داشت.

مبتدی- بله، بنابراین می‌بینیم که کاربرد شماره‌کنندهٔ مکانیکی در مصرف چند ده‌تائی درسوی فرکانس‌های بسیار پائین صرفه‌جوئی کرده است. اما با وجود این بنظرمن اندوهبار است که برای‌شمردن باید مجموعه‌ای به‌این‌پیچیدگی ساخت.

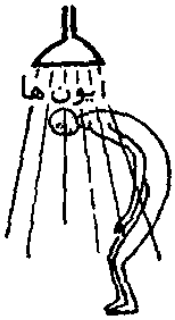
دکاترون

مهندس- اگر زیاد عجله نداشته‌باشید، به‌عبارت‌دیگر اگر شمارش مافوق سریع نخواهید، می‌توانید دستگاههای ساده‌تری را بکار ببرید، اگرچه امکان آنها محدودتر است. هم‌اکنون کار نسبتاً جالبی هست که می‌شود انجام داد و آن لامپ شمارگر گازی است. برای‌شما دربارهٔ یکی‌از آنهاکه دکاترون نام‌دارد صحبت‌خواهم کرد. این لامپ در یك جو نئون، آرگون یا هیدروژن شامل حلقه‌ایست‌که آند را تشکیل می‌دهد و درشکل ۱۱۸ با A نمایش داده شده‌است. برای‌اینکه شکل درهم نشود فقط قسمتی‌از آنرا برایتان کشیده‌ام. زیر این حلقه ده‌کاتد اصلی قرار دارند که به‌وسیله K نمایش داده شده‌اند وهمینطور می‌بینید این‌کاتدها در محلی‌که به‌آند نزدیك می‌شوند به‌صورت مورب خم شده‌اند.



شکل ۱۱۸- لامپ شمارگر گازی نوع «دکاترون»: وقتی یك‌ضربهٔ منفی از راه C به (۵') گذاشته شود، ایونیزاسیون از راه این کاتد ثانوی از (۵) به (۶) می‌جهد.

این ده کاتد بین خودشان به‌وسیلهٔ یك حلقه ارتباط دارند که به‌بدنه متصل می‌شود. بین هردوتا از این‌کاتدها، یك‌کاتد ثانوی قرار دارد که این‌کاتدها را با



خطوط باریکتری نشان داده‌ام و با نمایش آنها بـاحرف K آنها را شماره‌گذاری کرده‌ام. این‌کاتدها هم به‌یك‌حلقهٔ دیگر متصلندکه از لامپ خارج می‌شود. اینها هم ده عدد هستند وبهمان شکل‌کاتدهای K خم‌شدگی دارند.

مبتدیـ دکاترون شما بطور وحشت‌آوری پیچیده است! با بیست‌کاتد حتماً بهای آن زیاد است.

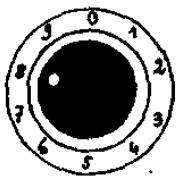
مهندسـ بهیچوجه. این‌کاتدها غیراز نقطه‌های فلزی‌که روی حلقه‌ها نصب شده‌اند چیز دیگری نیستند، ساختمان آن بسیار ساده است.

آند به‌وسیله فشار E+ که ۳۰۰ یـا ۴۰۰ ولت است از راه مقاومت R تغذیه می‌شود. کاتدهای اصلی K به‌بدنه وصل هستند درحالی‌که کاتدهای کمکی K′ همه به‌اختلاف سطحی‌که کمی مثبت است وصل شده‌اند. بنابراین ایونیزاسیون روی یکی‌ازکاتدهای K آغاز می‌شود. فرض‌کنیم‌کـه روی‌کاتد شماره ۵ که برای شما در شکل نشان داده‌ام باشد.

حالا از راه خازن C، یك‌ضربه منفی بادامنه ۴۰ ولت‌را به‌کاتدهای کمکی K′ می‌گذاریم. این‌کاتدها نسبت به‌کاتدهای K منفی خواهندشد چون آنها دراصل اختلاف سطح ۲۰ ولت داشته‌اند و خازن تمام جبهه نزولی ضربه را منتقل خواهد کرد. بنابراین حالا ایونیزاسیون میل دارد بین‌آند وبکی ازکاتدهای K′ برقرار شود زیرا اختلاف سطحی‌که بین‌آند A وکاتدهای K′ وجود دارد بالاتراز اختلاف سطحی است‌که بین آند وکاتدهای K هست.

مبتدیـ و کدام کاتد K′ ازاین ایونیزاسیون «استفاده» می‌کند؟ می‌شود هرکدام از آنهاراگرفت چون ده تا هستند.

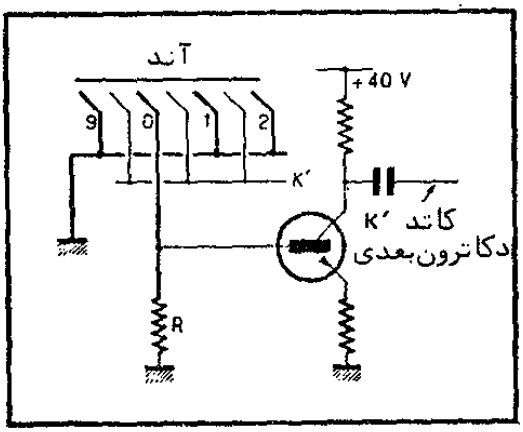
مهندسـ نه، فقط یك امکان وجود دارد، چـون کاتدکمکی ۵′ به انتهای خمیده‌ای ختم می‌شودکـه هم‌اکنون در منطقهٔ ایونیزاسیون کاتد اصلی ۵ قرار دارد، همین‌کاتد است‌که ایونیزاسیون‌را به‌طرف خودش می‌کشد و بردیگران ترجیح دارد. دراینصورت منطقهٔ ایونیزاسیون روی‌کاتد ۵′ کشیده می‌شود. درآنجا زیاد نخواهد ماند. در پایان ضربه‌گذاشته شده به‌کاتدهای K′، این‌کاتدها دست‌کم اختلاف سطح ۲۰+ ولت خود را باز می‌یابند. بنابراین ایونیزاسیون میل دارد دوباره بطرف یکی از کاتدهای اصلی K برود. کاتدی‌که برای برقراری ایونیزاسیون مخصوصاً مناسب است، کاتد اصلی شماره ۶ خواهد بود، زیرا انتهای خم شده آن در منطقه با ایونیزاسیونی‌که اکنون‌کاتد ۵′ را احاطه‌کرده است، قرار دارد.



بنابراین می‌بینیدکه با هرضربه فرستاده‌شده به‌کاتدهای‌کمکی K′، منطقه ایونیزاسیون ازیکی ازکاتدهای اصلی به‌کاتد بعدی جهش پیدا می‌کند. با درنظر گرفتن‌اینکه‌این منطقه چون نور ازخود بیرون‌می‌دهد، دیده‌خواهد شد، کافی‌است به انتهای پیشانی لامپ درمحور حلقهٔ آند نگاه‌کنیم تا بدانیم تعداد ضربه‌های‌دریافت شده چند است. در خارج لامپ دراطراف محل‌آند، حلقه‌ای می‌گذاردکه روی آن به‌صورت دایره تقریباً شبیه به‌یك‌ساعت اعداد صفرتا نه را نوشته‌اند.

مبتدیـ این‌سیستم شما بسیار زیرکانه است چون لامپ درعین‌حال‌هم‌برای شمردن وهم برای نشان‌دادن نتیجه شمارش بکار می‌رود. حالا، چیزی‌که کمتر‌متوجه می‌شوم اینست‌که چگونه هرده ضربه یکبار، ضربه‌ای‌را بدست می‌آورند تادکاترون بعدی را بکار بیندازند.

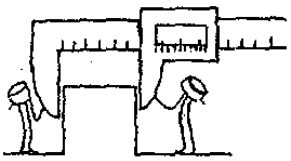
مهندس- برای اینکار کافی است که یکی از کاتدهای اصلی K به‌وسیلهٔ یك خروجی جداگانه از لامپ بیرون برده شود؛ آنرا به‌وسیلهٔ یك مقاومت کوچك R به‌بدنه وصل‌می‌کنیم (شکل ۱۱۹) که وقتی تخلیهٔ باراالکتریکی به‌این کاتدمی‌رسد، در دوسر این مقاومت فشاری ظاهر می‌شود که‌کمی مثبت است. این فشار مثبت وقتی به‌پایهٔ یك ترانزیستور گذاشته شود، روی مدار جمع‌کننده آن، ضربه منفی راکه باید به‌دکاترون بعدی داد، بدست می‌دهد.



شکل ۱۱۹- کاتد «صفر» دکاترون وقتی جریان دریافت کند، باعث می‌شود ترانزیستوری ازحالت مسدود خارج شود که این‌ترانزیستورپیشروی دکاترون‌بعدی را زیر فرمان می‌گیرد.

مبتدی- ازاین سیستم خیلی بیشتراز ده‌تائی‌های شما خوشم می‌آید! خیلی ساده‌تر است وفقط باید از لامپ استفاده‌کرد.

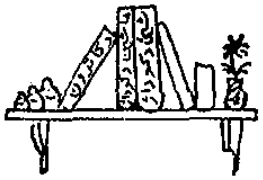
محدودیت دکاترون



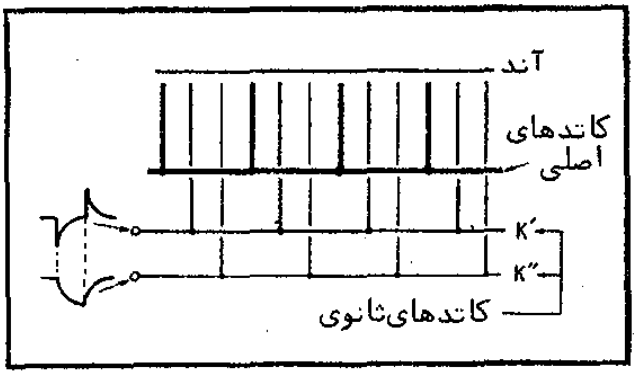
مهندس- با وجود این فراموش نکنیدکه برای فرمان‌کاتدهای K′ باید یك ترانزیستور تقویت‌کننده داشت. حتی غالباً دوترانزیستور بکار می‌برندکه‌این دو بصورت یك‌ثابتی سوار شده‌اند تا یك‌ضربه باشکل معین بدست بدهند. ازجانب دیگر ایـن سیستم دکاترون اگـرچه سادگیهائی دارد، از نظر فرکانس محدودیت زیادتری دارد. انواع متداولی کـه روی این دکاترون ساخته شده‌اند تا حدود صد کیلو هرتز کار می‌کنند که‌خود این هم خوبست. بعضی از انواع ویژه آنهاکه با هیدروژن پرشده‌اند تا 1MHz هم کار می‌کنند. اما با هیدروژن نور فرستاده شده بسیار ضعیف است وغالباً باید دستگاه نمایش نتیجهٔ ویژه‌ای بکاربرد. توجه شما را جلب می‌کنم که این‌لامپ‌هاکوچکند وتقریباً قطر آنها ۱۸ میلیمتر و درازای آنها ۴۰ میلیمتر است. غالباً ده‌کاتد اصلی K بطور جداگانه بیرون آورده شده‌اند، تا امکان نمایش عدد شمرده شده از راه یك تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری روی‌یك‌لامپ نمایش عددی ازنوع «نیکسی» وجود داشته باشد.

مبتدی- جـای تأسف است، دستگاهی به‌این سادگی داشتید و حالا دارید پیچیده‌اش می‌کنید.

شمارش ـ شمارش معکوس

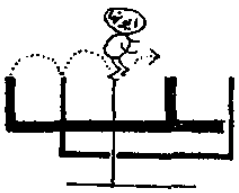


مهندسـ آقای مبتدی، این‌را بدانیدکـه تعداد زیاد روشهای بکار رفته برای ساختن ده‌تائی‌ها، دلیلی است برای‌اینکه راه‌حل‌کامل وجود ندارد.



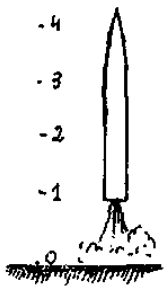
شکل ۱۲۰ـ در دکاترون با دو ردیف‌کاتد ثانوی، جهت‌گردش منطقهٔ ایونیزاسیون را به‌وسیلهٔ علامتهائی که روی این کاتدها گذاشته می‌شوند فرمان می‌دهند: روی کـاتدهای K' علامتهای قائم‌الزاویه‌مشتق وروی‌کاتدهای K'' علامت‌هـای قـائم‌الـزاویه انتگرال‌گذاشته می‌شوند.

یادآوری می‌کنم‌که انواع دیگری هم از دکاترون وجود داردکـه از نظر تاریخی قبل‌از دکاترونی‌که برایتان شرح دادم قرار دارند. کاتدها نوک‌های صافی دارند و یکی هم نیست بلکه دو ردیف کاتدکمکی K' و K'' (شکل ۱۲۰) وجود دارد. روی اولین ردیف ضربه‌های باجبهه راست راکه بعداً به‌تدریج پائین می‌آیند می‌گذاریم و روی ردیف دوم ضربه‌هائی می‌گذاریم که به‌تدریج بالا می‌روند و بعد آهسته‌تر پائین می‌آیند. به‌ایـن ترتیب می‌توان منطقه ایونیزاسیون را از یکی از کاتدهای اصلی، باعبور از دوکاتدکمکی‌که بین دوکاتد اصلی قرار دارند، به‌کاتد بعدی جهش داد. اگرچه این سیستم ممکن است پیچیده‌تر بنظر برسد، این امتیاز را داردکه با معکوس‌کردن جهت اتصال دو ردیف‌کاتدکمکی اعداد را روبه‌افزایش ویا روبه‌کاهش قرار داد.



مبتدیـ ایـن موضوع به‌نظر من واقعاً بیشتر نقص است تاامتیاز. همیشه بمن‌گفته‌اند شمارش‌را درجهت افزایش یعنی ۱، ۲، ۳، ۴... انجام می‌دهند.

مهندسـ بله، شمردن بهمین‌ترتیب است. اما برای بعضی از کـاربردها داشتن سیستمی‌که «شمارش معکوس» را انجام دهد، ممکن‌است سودمندباشد. مثلاً، به‌این‌ترتیب می‌توانید باشمردن تعداد ضربه و سپس با شمارش معکوس عدد دیگر، تفریق‌را انجام دهید. شمارگر اختلاف را نشان خواهد داد. دکاترون با دو سیستم کاتدکمکی برای اینکار آمادگی دارد درحالی کـه دکاترونی‌که در شکل ۱۱۸ برایتان‌کشیده‌ام،که ازنظر ساختمانی ساده‌تر است، فقط دریك جهت می‌گردد.

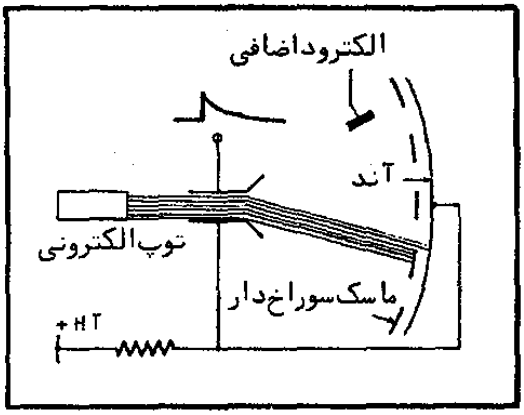


مبتدیـ آیا حالا تمام روش‌های شمارش‌را برایم شرح داده‌اید؟

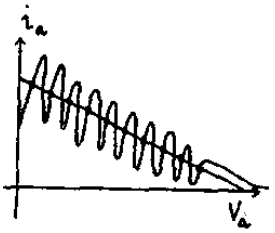
لامپ با اشعهٔ صفحه‌ای

مهندسـ آه، نه! هنوز خیلی مانده است! بدون‌اینکه وارد جزئیات شوم، به‌سرعت دستگاههائی راکه از این به‌بعد می‌آیند برای شما نام می‌برم. ابتدا لامپ

با اشعهٔ صفحه‌ایست. این لامپ نوعی لامپ با اشعهٔ کاتدی است که در آن دسته اشعهٔ الکترونی ممکن‌است به‌وسیلهٔ صفحه‌های انحراف، منحرف شود. اشعه به‌پرده‌ای می‌رسد که درکنار لامپ قرار دارد وامکان‌تعیین وضعیت دسته اشعه را بوجود می‌آورد. این اشعه از سوراخها (شکل ۱۲۱) به‌طریقی می‌گذرد که جریانی که ایجاد می‌کند برحسب وضعیت‌اشعه بموجب قانون تا اندازه‌ای پیچیده تغییر می‌کند که باگذاشتن مقاومت ساده‌ای در آند، امکان می‌دهد ۱۰ وضعیت ثابت برای اشعه بدست آید. به‌وسیلهٔ ضربه‌هائی که کناره پیشانی آن راست است وکناره‌عقبی آن تغییرات آهسته‌ای دارد، می‌توان طوری عمل کرد که اشعه از یك وضعیت به‌وضعیت دیگر جهش کند.



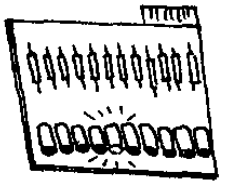
شکل ۱۲۱ـ در لامپ با اشعهٔ صفحه‌ای، اشعه الکترونی‌می‌توانند از راه‌سوراخهای یك‌ماسك به‌آند برسند. آند به‌یك‌صفحهٔ منحرف‌کننده وصل‌است، که این موضوع به‌معنی مشخصه‌جریان آند برحسب‌فشار آن، شکل‌سینوسی می‌دهد درحالی‌که این امکان‌را بوجود می‌آورد که اگر آند را از راه یك مقاومت مناسب تغذیه کنند، اشعهٔ الکترونی ده وضعیت ثابت داشته باشد. اگر روی‌صفحه منحرف‌کننده‌دیگر به‌وسیله‌علائمی که‌جبههٔ جلوی آن‌راست‌باشد وبعد آهسته‌پائین‌بیاید اثر بگذاریم، می‌توان اشعه‌را ازیك‌وضعیت به‌وضعیت‌دیگر برد.



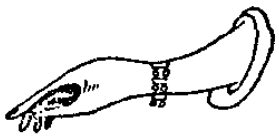
وقتی اشعه به‌دهمین وضعیت ثابت رسید، هنگام عبور، الکترونها را روی الکترود اضافی کوچکی می‌فرستد و به‌این‌ترتیب علائمی می‌دهد که لامپ شمارگر بعدی را بکار می‌اندازد و اولی‌را به‌صفر می‌رساند. این‌سیستم بدون احتیاط‌ویژه‌ای‌می‌تواند تا ۳۰ KHz کارکند. با مونتاژهای بسیار دقیق می‌توان کار آنرا تا ۱ MHz رساند. ابعاد این‌لامپ‌ها متوسط است. متداول‌ترین لامپ درمیان آنها E1T است که ۳۵ میلیمتر قطر و ۶۵ میلیمتر بلندی دارد. این راه‌حل تا حدودی جالب و نسبتاً باصرفه است. باید بگویم کاربرد آن رفته‌رفته کمتر شده است.

مبتدی‌ـ افسوس. چون کاملاً الکترونی است، ظریف‌تر از سیستم‌های گازی با ایونیزاسیون است.

مهندس‌ـ لامپ‌های گازی بسیارجالبی وجود دارند برای‌مثال تیراترون‌های باکاتد سرد را یادآوری‌می‌کنم. اینها لامپ‌های کوچك نئونی هستند که یك‌الکترود مخصوص تحریك دارند (شکل ۱۲۲). با این لامپ‌ها می‌توان انواع مونتاژ با ۱۰ حالت متعادل (با ده لامپ) ساخت که دارای این امتیاز هستند که هرحالتی دارند آنرا آشکارکنند ومونتاژی که ده لامپ با ایونیزاسیون داشته‌باشد، نور قرمز بسیار روشن دارد. این‌سیستم هرگز شمارش بیشتراز چندکیلوهرتز را امکان‌پذیر نمی‌کند، اما ساده‌است وبرای بعضی کاربردهای صنعتی آمادگی دارد.



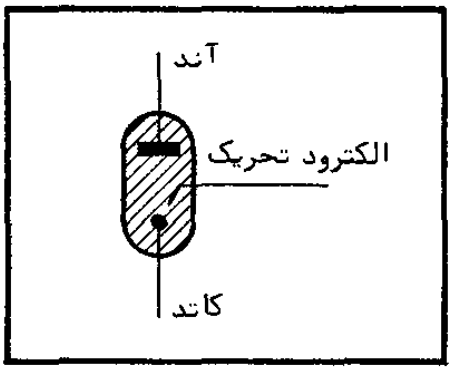
همینطور نامی هم از «تروکوترون Trochotron» می‌برم که میدان مغناطیسی ایجادشده به‌وسیلهٔ یك آهن‌ربا بدور لامپ را بکار می‌برد. طرزکار آن تاحدودی پیچیده است، اما تا یك مگاهرتز می‌تواند بشمارد.



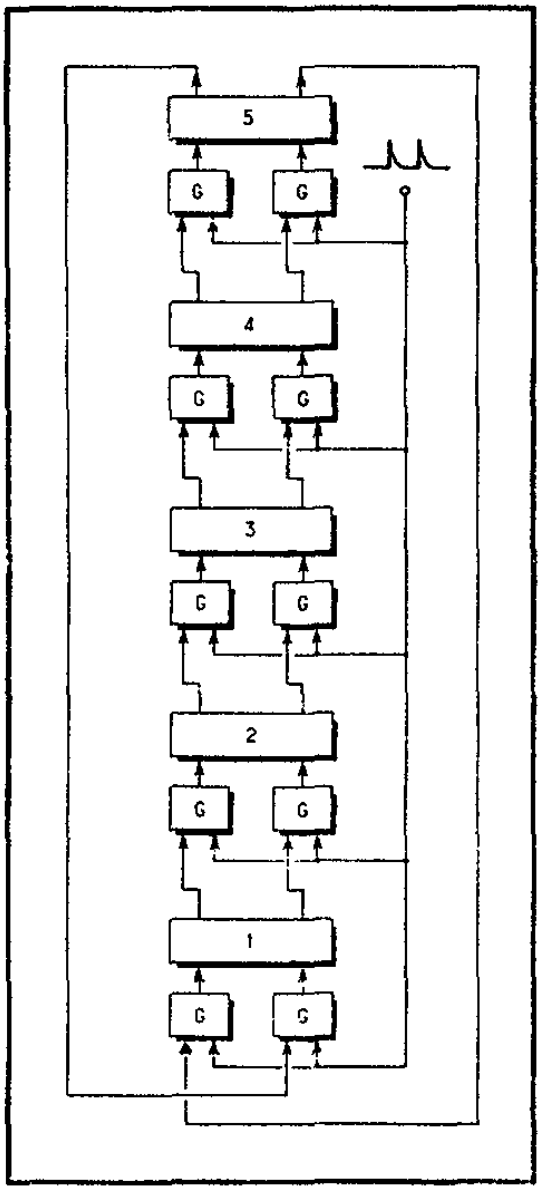
به‌ویژه یادتان باشدکه برای شمارش، بیش‌ازپیش به‌سوی‌کاربرد ده‌تائی‌های مجهز به‌ترانزیستورکه نتیجه‌را روی یك‌لامپ نشان‌دهنده‌گازی عددی نشان‌می‌دهد، توجه پیدا می‌کنند.

حلقهٔ رجنر Regener

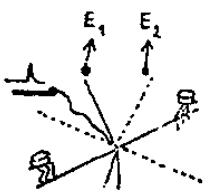
مبتدی- آیاتمام ده‌تائی‌های ترانزیستوری‌مطابق‌شکل ۱۱۶ سوار شده‌اند؟



شکل ۱۲۲- تیراترون با کاتد سرد شامل یك الکترود تحریك است‌که به‌وسیلهٔ یك جریان بسیار ضعیف، می‌تواند تخلیه بین‌کاتد و آند را ایجادکند.



شکل ۱۲۳- ساختمان «حلقهٔ رجنر»که امکان‌شمارش‌ده‌تائی‌را با۵قپان‌دوثابتی ومونتاژهای «در» یا «gate»، G که ضربه‌های راه‌انداز را جهت می‌دهند، بوجود می‌آورد.



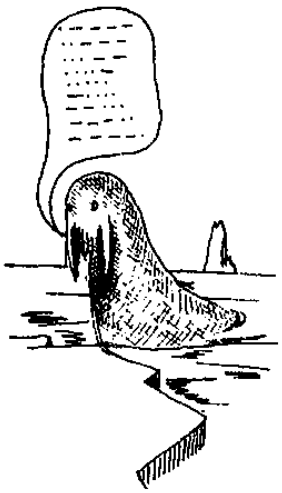
مهندس- آه نه، تعدادشان خیلی زیاد است. احتمالاً صدها مدار مختلف ده‌تائی وجود دارد. در نظر ندارم‌که تمام آنها را برایتان بشمارم. فقط، بی‌آنکه زیاد درجزئیات وارد شوم، برایتان سیستم نبوغ‌آمیز حلقهٔ رجنرکه ۵ قپان شبیه به

قپان‌شکل ۸۲ را بکار می‌برد، شرح‌می‌دهیم. هرقپان‌به‌وسیلهٔ فشارهای خروجی‌اش، درهائی را که‌ضربه‌ها را به‌سوی یکی‌از دو ورودی قپان بعدی می‌فرستد، باز می‌کند و یا می‌بندد. (شکل ۱۲۳). قپان شماره ۱ به‌ترتیبی وصل شده است‌که تمام ضربه‌های فرستاده شده به‌دری‌که این ترانزیستور فرمان می‌دهد، می‌خواهد قپان شمارهٔ ۲ را به‌همان حالتی‌که قپان شمارهٔ ۱ هست در بیاورد. در تزویج بین شمارهٔ ۲ و شمارهٔ ۳، همینطور بین شمارهٔ ۳ و شمارهٔ ۴ و شمارهٔ ۴ و شمارهٔ ۵ هم ایـن وضع وجود دارد.

برعکس قپان شمارهٔ ۵ با قپان شمارهٔ ۱ (یا بهتر بگوئیم به‌درهائی‌که به دو ورودی شمارهٔ۱ فرمان می‌دهند) تزویج شده‌است. به‌طوری‌که بارسیدن یك‌ضربه قپان‌شمارهٔ ۵ می‌خواهد قپان‌شمارهٔ ۱ را به‌وضعی‌مخالف‌وضع قپان شمارهٔ ۵ ببرد...

مبتدی‌ـ این سیستم شما پیچیدگی وحشت‌آوری دارد.

مهندس‌ـ بله، درواقع تا حدودی پیچیده است، اما کاملاً نبوغ‌آمیز است. در اصل تمام قپان‌ها در وضعیت صفر هستند. بافرستادن یك ضربه تمام درها، چون قپان شمارهٔ ۵ در وضعیت صفر است، ایـن ضربه را به در فـرمان قپان شمارهٔ ۱ می‌فرستد بطوری که قپان شمارهٔ ۱ به‌وضعیت ۱ درمی‌آید. ضربهٔ دوم اثری روی قپان شمارهٔ ۱ ندارد چـون قبلاً به‌وضعیت یك درآمده است، روی قپان شمارهٔ ۲ اثرخواهد کرد و آنرا به‌وضعیت یك‌می‌برد. درپنجمین‌ضربه تمام‌قپان‌ها به‌وضعیت ۱در آمده‌اند. دراین لحظه‌اثرقپان۵روی‌اطوری‌است‌که‌ضربهٔ‌ششم‌قپان‌شمارهٔ۱را به‌وضعیت‌صفرمی‌برد. ضربه‌هفتم‌هم‌قپان۲را به‌وضعیت‌صفرمی‌برد وضربهٔ‌دهم‌هم‌قپان‌شمارهٔ ۵ را به‌وضعیت صفر می‌برد. همانطورکه می‌بینید سیستم معمولاً بصورت ده‌تائی می‌شمارد.



مبتدی‌ـ سرگرم‌کننده است، پشت‌هم‌آمدن حالت‌های پنج قپان شما چیزی را بیاد من می‌آورد، ولی نمی‌توانم به درستی بگویم چیست... آه! فهمیدم، نمایش عددهای مختلف به‌صورت الفبای مورس است، که همیشه پنج علامت را بکار می‌برد و درآنها می‌بینیم‌که نقطه‌ها پیش می‌روند از ۱ (یك نقطهٔ چهار خط) به۲ می‌رود (۲ نقطه، سه خط) وتا ۵ (۵ نقطه) می‌رسد. بعداز این خط‌ها هستند کـه پیشروی می‌کنند به‌این‌ترتیب‌که از ۶ (یك خط چهارنقطه) تا ۹ (چهارخط‌یك‌نقطه) می‌رود.

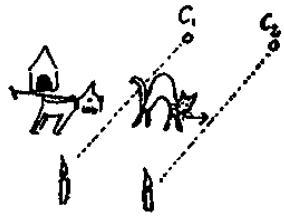
مهندس‌ـ اقرار می‌کنم‌که هیچوقت ایـن فکر را نکرده بودم، اما درست است. دست‌کم این‌مطلب نشان می‌دهدکه پشت‌هم‌آمدن حالت‌های مختلف را بخوبی فهمیده‌اید.

به‌اندازه‌ای ده‌تائی‌های گوناگون وجود داردکه مسلماً در فکر آنهم نیستم که شرح آنها را آغاز کنم. هرسازنده‌ای می‌خواهد ساخته خـود را بکار ببرد و بدبختانه راه‌حل‌کاملی وجود ندارد. هرچه باشد، اکنون وسیله‌های بسیارخوبی برای شمردن ضربه‌های بافرکانس خیلی سریع در دست داریم (منظورم شمارشی است که تا ۲ یا ۳۰۰ مگاهرتز می‌رسد).

کاربرد شمارش سریع

مبتدی‌ـ اجازه بدهید یك پرسش بکنم، شمردن با این سرعت به چه درد می‌خورد؟

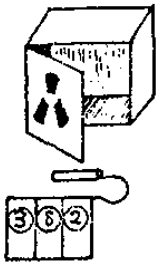
مهندس- کاربردهای آن بسیار زیاد است. ابتدا به‌این وسیله می‌توانید یك فرکانس را با درستی زیاد اندازه بگیرید چون ترتیب‌کار را طوری می‌دهند که علامت یا شمارگر درمدتی‌که بسیار نزدیك به‌یك‌ثانیه است ارتباط پیداکند پس دراین حالت شمارگر تعداد پریود دریك‌ثانیه را بشما نشان‌خواهد داد.



بعد می‌توانیم این شمارش را برای اندازه‌گیری زمان بکار ببریم. فرض کنیدکه به‌شمارگر ضربه‌های با بازگشت ۱۰ مگاهرتزی بگذاریم درحالی‌که این گذاشتن فرکانس درلحظه‌ای آغاز شده باشدکه یك نوع ضربه درست شده و یك در را بازکرده باشد و درلحظه‌ای تمام شودکه ضربه دیگری در را ببندد. به‌این ترتیب زمانی را کـه این دو ضربه را ازهم جدا کرده است برحسب میکروثانیه اندازه گرفته‌ایم. بنابراین اندازه‌گیری سرعت یك گلوله‌که بطور پی‌درپی به‌دودسته اشعهٔ نورانی‌که به‌دوسلول فتوالکتریك می‌رسند، برخورد می‌کند، به‌این ترتیب بسیار ساده و با دقت بسیار زیاد امکان‌پذیر است.

کاربرد دیگری را هم به‌شما یادآوری می‌کنم، به یك شمارگر **۲۳۴۷۳** ضربه بفرستید، بعد بی‌آنکه بین دو ارسال آنرا به‌صفر برسانید، **۱۱۸۲۷۷** ضربهٔ دیگر به‌آن بدهید. دراینصورت خواهید دیدکه شمارش نشان داده شده روی‌شمارگر **۱۴۱۷۵۰** است‌که بطورساده‌جمع دوعدد قبلی است به‌این‌ترتیب شما جمع را انجام داده‌اید. با درنظرگرفتن سرعتی‌که اعداد شماره شده‌اند، می‌بینید کـه این سیستم اگرچه ازنظر اساس ابتدائی است، می‌تواند به‌سرعت حاصل‌جمع‌های بزرگ‌را بدهد.

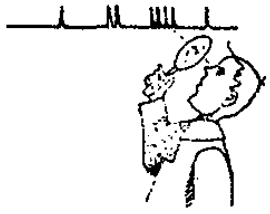
بالاخره از این شمارش درکاربردهای هسته‌ای استفاده‌های زیادی می‌کنیم.



یادتان هست‌که شمارگرهای ویژه، وقتی شمارگرهای گایگر-مولر باشند، ضربه‌هائی به‌ما می‌دادندکه آهنگ متوسط آن فعالیت منبع هسته‌ای‌که آنها را ایجاد می‌کرد، مشخص می‌ساخت.

مبتدی- گمان می‌کنم دراین‌حالت‌ها نیاز به‌شمارگر با تکامل‌بسیار زیاد نیست.

مهندس- سخت در اشتباه هستید. درواقع فراموش نکنیدکه این ضربه‌ها، با آنکه یك آهنگ متوسط دارند (مثلاً هزار ضربه درثانیه) به‌روش‌کاملاً نامنظم فرستاده شده‌اندکه آنهارا بی‌قاعده می‌گوئیم.



به‌عبارت دیگر اگر یك شمارگرگایگر-مولر هزار ضربه درثانیه برای ما می‌فرستد، زمانی‌که یك ضربهٔ‌را از ضربه بعدی جدا می‌کند وبا آهنگ‌منظم همیشه یك‌هزارم ثانیه است، ممکن است یك‌صدهزارم ثانیه ویـا ۲۵ هزارم ثانیه باشد. بنابراین برای اینکه یك ضربه‌را فراموش نکنیم، باید شمارگر الکترونی که بعد از آنست، بتواند ضربه‌ای راکه یك‌صدهزارم ثانیه بعد می‌رسد باضربهٔ قبلی بطور جداگانه به‌حساب بیاورد. به‌عبارت‌دیگر اگرچه شمارگر بطورمتوسط‌درهرثانیه‌هزارضربه دریافت می‌کند، باید بتواند ضربه‌هائی راکـه فاصلهٔ منظم صدهزارضربه دریك‌ثانیه ازهم دارند، محاسبه‌کند.

مبتدی- خیلی وحشت‌آور است! به‌این ترتیب ده تائی دوم باید بتواند ده هزار ضربه درثانیه بشمرد!

مهندس- نه، دقیقا. درواقع اگر ازیك ضربه به‌ضربهٔ دیگر، فاصلهٔ زمانی که آنها را از هم جدا می‌کند بتواند خیلی تغییرکند، زمانی‌که برای دریافت ده

ضربه لازم است فقط دچـار تغییرات ضعیف‌تر می‌شود؛ اصولاً بطور متوسط $\frac{۱}{۱۰۰}$ ثانیه است. تغییر آن‌به‌مقدار ۵۰ ± درصد بسیار کـم اتفاق می‌افتد. پس از دو ده تائی، ضربه‌هائی خواهیم‌داشت‌که تقریباً منظم‌هستند. درواقع اگر صدضربه‌بشماریم، زمانی برای دریافت آنها لازم است،کمی‌بعد، زمان لازم برای صدضربهٔ دیگر بسیار نزدیك بداولی است، یعنی اگر آهنگ متوسط ۱۰۰۰ ضربه درثانیه باشد، بسیار نزدیك به $\frac{۱}{۱۰}$ ثانیه خواهد بود. به‌عبارت دیگر فقط ده‌تائی اول باید سرعت کارش خیلی زیادتر ازسرعت‌کاری باشدکه بطور نظری لازم است، ده‌تائی دوم‌کمی‌زیادتر خواهد بود و سومی ضربه‌ها را با آهنگی تقریباً منظم می‌شمارد.

مبتدیـ از این موضوع بیشتر خوشم می‌آید. به‌این ترتیب می‌توانیم پس از ۳ یا ۴ ده‌تائی، یك شماره‌کنندهٔ مکانیکی خوب بگذاریم تـا رقم ده‌ها، صدها، هزار و رقم‌های بالاتر را بدانیم.

باوجود این پرسشی هست‌که می‌خواستم مطرح‌کنم؛ برایم‌گفته‌اندکه بعضی از سیستم‌های شمارگرهای الکترونی هستندکه در ابتدا روی آنها یك عدد دامی‌آورند و وقتی نتیجهٔ کار به این عدد می‌رسد، علامت می‌دهد. آنرا چطور درست می‌کنند؟

شمارگر پیش مشخص‌شده

مهندسـ چیزی‌که الان‌گفتید، شمارگر پیش مشخص شده نام دارد. ساختن آن آسان است. همین ده‌تائی‌های معمولی‌را بکار می‌برندکه نتیجهٔ آن روی‌لامپ‌های **نیکسی** نشان داده می‌شود. به‌وسیلهٔ چندکلید ده وضعیتی (تعدادکلیدها برابر تعداد ده‌تائی‌هاست)، یك الکترود غیرمشخص از یکان نیکسی را به‌راه اول، یـك الکترود از دهگان نیکسی را به‌راه دوم و... غیره وصل می‌کنیم. فـرض کنیدکه رقم ۷ یکان، رقم ۲ دهگان و رقم ۴ صدگان‌را به‌وسیلهٔ‌این‌کلیدها وصل‌کرده‌باشیم. می‌توانیم یك مدار الکترونی بسازیم‌که وقتی فشار صفر روی سه‌کلید وجود دارد، ضربه‌ای به‌ما بدهد، یعنی وقتی رقم ۷ یکان و ۲ دهگان و ۴ صدگان باهم روشن شدند، این ضربه‌را بدهد. بنابراین ضربهٔ مزبور وقتی تهیه می‌شودکه شمارگر ۴۲۷ ضربه دریافت‌کرده باشد. به‌این‌ترتیب یك شمارگر پیش مشخص‌شده درست‌می‌کنند.

حالاکـه شما اصول پایه‌ای شمارگرها را می‌شناسید، با هم خواهیم دیدکه چگونه این آگاهی‌هارا برای‌ساختن ماشین‌حساب‌های بزرگ عددی بکارمی‌برند...

مبتدیـ برای امروز روی من حساب نکنید، من خیلی روی مغزم حساب کرده‌ام واحتمال دارد حساب‌های شما عکس آن باشد ودرنتیجه عکس رضایت شما جلب شود...

مبحث سیزدهم

چون ماشین‌حساب‌های الکترونی سلیقهٔ خاصی بـرای تقسیم اعداد دو علامتی دارند، دوست جوان ما باید دربارهٔ این‌حساب عجیب‌که غیرازصفر و یـك چیزی نمی‌شناسند، اطلاعاتی بدست بیاورد. او به‌سرعت در این‌باره ذوق پیدا می‌کند واین موضوع مهندس را به‌جائی می‌رساندکه دربارهٔ «مدارهای منطقی»که غیرازصفر ویك وپیوستن آن‌دو باهم باچیزی سروکار ندارند، صحبت‌کند. مبتدی‌که بطور ویژه‌ای از فسفر پرشده است، بدون اشکال زیاد، این دستگاه اساسی ماشین‌حساب‌های الکترونی یعنی نمایش‌دهنده—جابجاکننده (یاثبت‌کننده با جاپجائی) را می‌فهمد. این دستگاه که برای هرکار مناسب است، با اینحال برای انجام عمل جمع کمی کند بنظر می‌رسد.

مدارهای منطقی

و حساب‌های الکترونی

مهندس— آقای مبتدی بگوئید ببینم امروز سرحال هستید؟

مبتدی— بله، متشکرم. چرا این سئوال راکردید؟ می‌خواهید بلائی سرم بیاورید؟

مهندس— می‌خواهم‌کـار را با یاد دادن شمردن به‌شما آغازکنم... البته با شماره‌گذاری دوعلامتی.

مبتدی— گمان می‌کردم دفعهٔ گذشته موضوع شمردن را تمام‌کرده‌ایم.

مهندس— راه‌حل‌های الکترونی را مرورکردیم. موضوعی‌که امروز مطرح است مربوط به‌حساب است.

مبتدی— اوه!

مهندس— پـریشان نشوید، خواهید دیدکه بسیارآسان است. آیا به‌درستی می‌دانیدکه معنی عدد ۳۸۵ چیست؟

مهندس— البته، معنی آن اینست که ۳ صدگان، به‌اضافهٔ هشت دهگان و به‌اضافهٔ ۵ یکان.

مهندس— درست است. من با دقت بیشتر می‌گویم، حالا که عدد نویسی ده تائی را بکار می‌بریم معنی این عدد اینست: ۳ دفعه پایهٔ ۱۰ به‌توان دو، به‌اضافهٔ ۸ بار پایهٔ ده به‌توان یك، به‌اضافهٔ ۵ واحد. حالا تصورکنید بجای‌اینکه عدد ۱۰ را پایهٔ عددنویسی بگیریم، عدد ۲ را پایه انتخاب‌کنیم. کافی است دو رقم را بکار ببریم‌که به‌ترتیب ۰ و ۱ هستند، دراین‌حالت، مقداری‌راکه درپایهٔ ۱۰ با ۲ نمایش داده می‌شود چطور می‌نویسید؟

$3 \times 10^2 = 300$

$8 \times 10 = 80$

$5 \times 1 = 5$

385

مبتدی— دراینجا نمی‌دانم چطور باید ازعهده بربیایم چون نمی‌توانم غیراز ۰ و ۱ عدد دیگری بکار ببرم.

مهندس- باوجود این ساده است. این عدد را به‌شکل ۱ که صفر بدنبال دارد خواهیم نوشت. درواقع، مقدارآن می‌شود یك‌بار پایهٔ (۲) به‌توان‌یك، به‌اضافهٔ صفر واحد. بنابراین آنرا به‌شکل ۱ که صفر بدنبال دارد می‌نویسیم.

مبتدی- این موضوع به‌نظرمن روشن نیست. شما می‌نویسید ۱۰ وارزش آن ۲ است.

مهندس- من ننوشتم ۱۰ بلکه عدد ۱ را نوشتم‌که ۰ دنبال‌آن است. این دیگر ده نمی‌شود، برای‌اینکه دیگر حساب برپایهٔ ده را بکار نمی‌بریم بلکه‌حساب دوعلامتی را بکار می‌بریم وباگفتن ۱۰ این عدد را مشخص نمی‌کنم بلکه‌می‌گویم ۱ ،صفر. حالا دراین‌حساب‌عددی‌راکه‌درپایهٔ ۱۰، ۳ نوشته‌می‌شود چگونه‌می‌نویسید؟

مبتدی- کمی تردید دارم اما چـون مقدار این عدد برابر ۲ به‌توان ۱ به‌اضافهٔ واحداست، تاحدودی فکرمی‌کنم به‌صورت دوتا ۱ نوشته می‌شودکه به‌دنبال هم هستند.

مهندس- کاملاً حق دارید. و برای نوشتن ۴؟

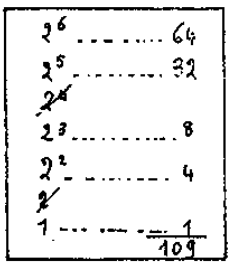
مبتدی- این را دیگر نمی‌دانم.

مهندس- با وجود این ساده است، عددی که ما ۴ می‌نامیم غیراز مربع پایهٔ (۲) چیزی نیست. بنابراین آنرا به‌شکل ۱ که دوصفر بدنبال‌دارد می‌نویسیم، تا یادآوری شودکه منظور یك‌بار مربع پایه است، به‌اضافهٔ صفر دفعه پایه، به‌اضافهٔ صفر یکان.

مبتدی- حساب دوعلامتی شما برای من جالب بنظر نمی‌آید. برای‌نوشتن عدد ۴ باید سه‌رقم بکار ببرید... این بیچارگی است.

تبدیل وحساب دوعلامتی

مهندس- آقای مبتدی خیلی تند قضاوت نکنید. مسلماً در اینجا تعداد رقم‌هائی‌که بکار برده می‌شود بیشتراز حسابی است‌که می‌شناسید وبطور متوسط سه برابر است. اما این رقم‌ها فقط صفر ویك هستندکه‌کارکردن با آنها ساده‌تر است.



حالا رقمی را کـه برایتان به‌صورت ۱۱۰۱۱۰۱ می‌نویسم با عددنویسی برپایهٔ ده چگونه می‌نویسید؟

مبتدی- اول از دامی‌که برایم گسترده شده خـود را کنار می‌کشم به‌این ترتیب‌که می‌گویم منظور عدد یك‌ملیون ویکصد ویك هزار و صد ویك نیست. حالا ازسمت راست شروع می‌کنم، گمان می‌کنم اینکار آسانتر باشد. پس این‌عدد یك‌یکان دارد، از پایه چیزی ندارد چون دومین رقم از سمت راست آن صفر است. برعکس مربع (توان‌دوم) پایه را دارد یعنی ۴ و همینطور توان سوم پایه راهم دارد، یعنی ۸ چون سومین و چهارمین رقم از سمت راست هر دو یك هستند. عدد شامل توان چهارم پایه نیست (عدد ۱۶) برعکس شامل پایه به‌توان پنج هست (یعنی ۳۲) و پایه به‌توان ۶ (یعنی ۶۴) هم دارد. بنابراین برابر خواهدبود بامجموع ۶۴، ۳۲، ۸، ۴ و ۱: پس مقدار آن درعددنویسی ده‌تائی (برپایهٔ ۱۰) ۱۰۹ است.

مهندس- درست است آقای مبتدی، بطور قابل توجهی این عدد را تبدیل کردید. حالا می‌توانید به‌حساب دوعلامتی برای من جمع بزنید؟

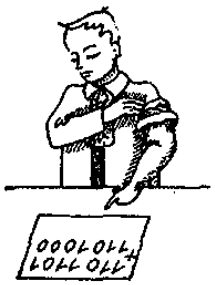
مبتدی- این‌کار بـاید وحشتناك باشد، باوجود این احساس می‌کنم برای آزمایش حاضرم.

مهندس- خوب پس این جمع را بزنید:

h g f e d c b a

1 1 0 1 1 0 1 +

1 1 0 1 0 0 0



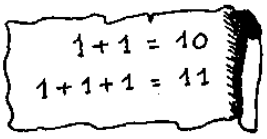
بالای هرستون حروف الفباء را گذاشته‌ام تـا شما را راهنمائی کند؛ a مربوط به‌یکان است، b برای دومان (ببخشیدکه لغت‌جدیدی‌وضع کرده‌ام‌که یادآور دهگان است)، c بـرای چهارمان، d برای هشتمان، e برای شانزدهمان، f برای سی و دومان، g برای شصت وچهارمان و h برای صد وبیست‌و هشتمان. می‌توانید شروع کنید.

مبتدی- سعی می‌کنم این‌کار را بکنم. تصور می‌کنم‌که مثل حساب برپایهٔ ده عمل می‌کنند؟

مهندس- درست همانطور، فقط با قاعده‌های دیگری برای جمع‌کردن‌رقم‌های جداگانه چون درحساب دوعلامتی هستیم.

مبتدی- شجاعانه عمل‌کنیم. درستون a یکان‌ها، یك‌دربالا و صفر درپائین است. تصور می‌کنم‌کـه معمولاً صفر به‌اضافهٔ یك می‌شود یك که آنرا در زیر می‌نویسیم. درست است؟

مهندس- خیلی خوبست، اما اقرارکنیدکه چندان پیچیده نبود.



مبتدی- خوب، باکمال میل قبول می‌کنم. بستون b دومان می‌رویم.خوب دراینجاکمی ناراحتم. هردو عدد صفر است.

مهندس- این عمومیت دارد چون وقتی خیلی ساده است، هیچکس نمی‌داند. برای من درهرحسابی‌که باشد، صفر به‌اضافهٔ صفر برابر صفر است.

مبتدی- واقعاً باید فکرش‌را می‌کردم. بنابراین درجمع زیر ستون b می‌نویسم صفر. به‌چهارمان در c برویم. در اینجا هم مشکلی نیست، یك‌دربالا و صفر در پائین، مجموع آنها یك است‌که در زیر می‌نویسیم. در جهت هشتمان شاید کمی پیچیده‌تر باشد چون دربرابر یك دربالا و یك‌درپائین قرارگرفته‌ایم. مجموع آنها ۲ می‌شود ومن عدد ۲ ندارم.

مهندس- مسلماً عدد ۲ ندارید. اما می‌توانید عدد ۲ را در دو علامتی به شکل ۱ که صفر بدنبال دارد بنویسید. به‌عبارت دیگر در موقعیتی قرار می‌گیرید که درحساب معمولی وقتی جمع دوعدد بیشتراز ده می‌شود، به‌آن برخورد می‌کنید. دراین حالت چه می‌کنید؟

هیچ + هیچ = ؟

مبتدی- دراین حالت‌فقط رقم‌یکان را می‌گذارم و رقم دهگان‌را برمی‌دارم.

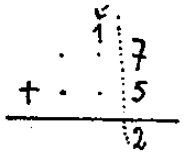
مهندس- خوب، رقم یکان یعنی صفررا درستون d می‌گذارید و رقم‌دومان یعنی یك را می‌گیریدکه به‌رقم ستون e اضافه می‌کنید.

مبتدی- ادامه می‌دهم. بـرای e مشکلی نیست، فقط همان رقمی را کـه برداشته‌امدارم به‌اضافهٔ صفر، به‌اضافهٔ صفر، بنابراین همان‌رقم ۱ را درجمع‌ستون e می‌نویسم. در f چیزی می‌بینم‌که شناخته شده‌است: ۱ به‌اضافهٔ یك‌که عدد ۲ را بمن می‌دهد: صفر می‌گذارم و ۱ را نگه می‌دارم‌که بستون g اضافه می‌کنم.

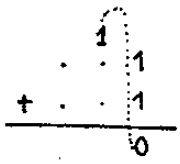
در اینجا خیلی دشوار خواهد شد چون باید سه‌بار ۱ را باهم جمع کنیم.

مهندس- اما درست همان اصل را بکار خواهید برد. سه‌بار عدد یك یعنی ۳ درحساب دو رقمی نماینده یك دومان به‌اضافهٔ یك‌واحد است، بنابراین به‌صورت ۱ بدنبال ۱ نوشته می‌شود، پس در ستون g، یك را می‌گذارید و یك را هم نگه می‌دارید.

مبتدی- درست است باید فکرش را می‌کردم و چون عدد یکی که نگه داشته‌ام چیزی برای اضافه‌شدن ندارد به‌گذاشتن آن درستون h اکتفا می‌کنم. حالا می‌فهمم که چرا این ستون را که نه عدد اول و نه عدد دوم در آن رقم داشتند و بهمین جهت خیلی مرا تحریك کرده بود، گذاشته بودید.



مدارهای منطقی



مهندس- گمان می‌کنم حالا به‌اندازه‌ای می‌دانید که بتوانید هرعملی را با استدلال منطقی در دو علامتی انجام دهید. حالا خواهیم دید که وسایل الکترونی که می‌توانند این‌کار را انجام دهند کدامند.

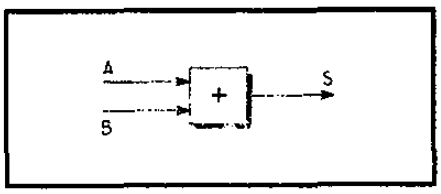
کار را باصحبت دربارهٔ مدارهای منطقی آغاز می‌کنم.

مبتدی- چطور؟ تمام مدارهائی که تابحال برایم گفتید غیرمنطقی بود؟

مهندس- نه، از روی کلمه قضاوت نکنید. به‌مدارهائی منطقی می‌گویند که امکان انجام بعضی عملیات را فراهم‌کنند که وابسته به‌روش استدلالی باشد که آنرا جبر منطقی می‌گویند وهمبستگی کاملی با حساب دوعلامتی دارد. دراین‌مدارها فقط امکان بودن یا نبودن‌فشار را موردنظر قرار می‌دهیم. نبودن فشار صفر نامیده می‌شود و بودن مقداری فشار مثبت یك نامیده خواهد شد. به‌عبارت دیگر هرچیز که یك نباشد صفر است و هرچیز صفر نباشد یك است.

مبتدی- تا وقتی خیلی پیچیده نباشد، احساس آرامش می‌کنم.

مهندس- آقای مبتدی چندان به‌آن اعتمادنکنید، درست پشت همین‌سادگی ظاهری است که گاهی دشواری این نوع استدلال‌ها پنهان است. بهرحال خواهید دید که شمارا چندان دور نمی‌برد.

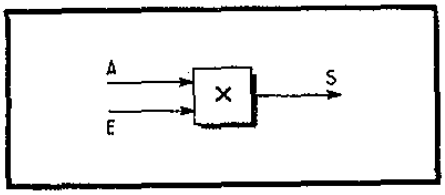


شکل ۱۲۴- علامت‌اختصاری مدار منطقی «یا» که وقتی‌فشار روی یك ورودی یا روی‌دیگری (یا هردوی آنها) وجود دارد، در خروجی فشاری بدست می‌دهد.

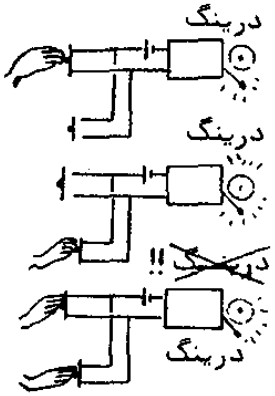
با مدار «یا» که خلاصهٔ آنرا در شکل ۱۲۴ برایتان کشیده‌ام کار را آغاز می‌کنیم. ازعلامت + ناراحت نشوید. آن اشاره به‌علامت‌گذاری مخصوصی است که ترجیح می‌دهم شمارا وارد آن نکنم. این مدار «یا» بمنظور اینست که وقتی روی ورودی A یا ورودی B ویا روی هردو ورودی آن فشاری وجود دارد، درخروجی فشاری بدست بدهد. و با فرض اینکه فشارهای A و B روی قرقره‌های دو رله که کنتاکت یاا تصالی کار آنهارا موازی قرار داده‌ام اثر خواهند کرد، چیزی شبیه به‌آن

درست خواهید کرد.

مبتدی- چیزی که مرا در مدار «یا»ی شما کمی ناراحت می‌کند اینست که وقتی فشار روی یکی از دو ورودی ویا در یك لحظه روی هردوی آنها می‌گذارم، تفاوتی نمی‌کند.



شکل ۱۲۵- علامت اختصاری مدار منطقی «و» که فقط وقتی درخروجی فشاری بدست می‌دهد که روی یکی از خروجی‌ها و روی خروجی دیگر دریك زمان فشاری وجود داشته باشد.

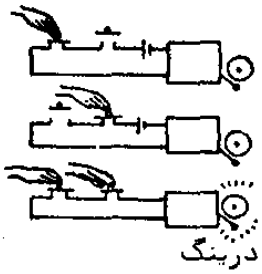


مهندس- این فکری است که باید به‌آن عادت کنید. مثلاً تصور کنید که زنگی را به‌وسیله دو دکمهٔ مختلف تغذیه می‌کنید که باهم بطور موازی قرار دارند، برای اینکه بشود از دو محل مختلف آنرا بکار انداخت. اگر روی هرکدام از دکمه‌ها فشار بدهیم، زنگ به‌صدا درمی‌آید. اگر روی هردو کلید دریك‌زمان فشار بدهیم، بازهم زنگ به‌صدا درمی‌آید (اما شدت صدایش دو برابر نیست).

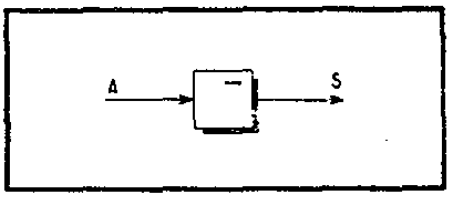
مبتدی- خوب، قبول کردم، اما دراینصورت باید بجای «یا»ی تعریف شما کلمهٔ مخصوصی گذاشته شود.

مهندس- بخشی ازگفتهٔ شما درست است. بی‌اندازه عادت کرده‌ایم که کلمهٔ «یا» را برای اختصاص بکار ببریم چون وقتی می‌گویند که یکنفر بلند است یا کوتاه، او نمی‌تواند درعین‌حال هردو اندازه را داشته باشد. امـا این کلمه را در معنی غیراختصاصی آن هم بکار می‌برند. وقتی می‌گوئید یك ترانزیستور بد بکار برده شده یا خراب است، کاملاً امکان داردکه درعین‌حال هردو وضع وجود داشته باشد وکلمهٔ «یا» دراینجا اختصاص ایجاد نمی‌کند.

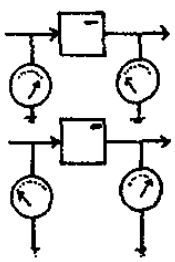
حالا به‌مدار «و» می‌پردازم. برای‌نمایش‌آن، علامت اختصاری شکل ۱۲۵ را بطور قراردادی انتخاب کرده‌ام. علامت X علامت‌گذاری‌های‌جبر «بول Boole» را بیاد می‌آوردکه بررسی آن مارا از موضوع دور خواهدکرد.



این مدار وقتی فشاری به‌ورودی A و ورودی B آن در یك زمان‌گذاشته می‌شود، باید فشاری در خروجی‌اش بدست‌بدهد. مثلاً می‌توانیم آنرا به‌این‌ترتیب بسازیم که به‌وسیلهٔ فشار به‌قرقره‌های دو رله فرمان بدهم که اتصالی‌کار آنهارابطور پیاپی باهم وصل کرده‌ایم.

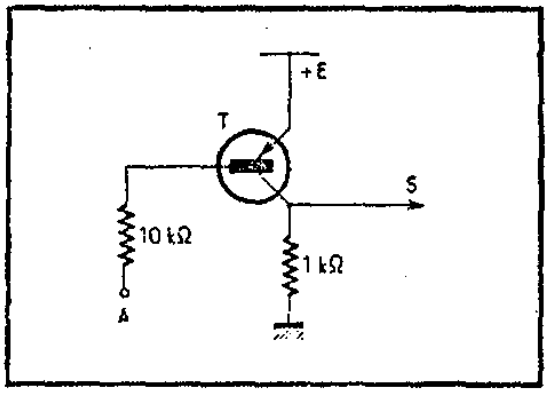


شکل ۱۲۶- علامت‌اختصاری مدارمنطقی «متمم» که وقتی‌فشار در ورودی‌آن نیست، درخروجی فشاری بدست می‌دهد و برعکس.



حالا سومین مدار منطقی را برایتان تعریف می‌کنم که مدار «متمم» است. علامت اختصاری آن مطابق شکل ۱۲۶ است. بطور ساده مداری است که وقتی به ورودیش فشاری ندهیم، درخروجی فشاری بهما می‌دهد، و وقتی در ورودی فشاری به‌آن بدهیم، در خروجی فشاری بهما نمی‌دهد. می‌توانیم آنرا به‌این ترتیب درست

کنیم که به‌وسیلهٔ فشار ورودی A روی قرقرهٔ رله‌ای اثر بگذاریم که اتصالی استراحت آن یک فشار مثبت در خروجی به‌ما می‌دهد.



شکل ۱۲۷- ساختمان یک مدار «متمم» به‌وسیلهٔ یک ترانزیستور ساده.

مدار منطقی بدون رله

مبتدی- درواقع بنظر من مدارهای شما تا اندازه‌ای ساده هستند، امامن از وجود رله در آنها ناراحتم. مسلماً راهی هست که بجای آنها عنصرهائی بگذاریم که کارشان سریعتر است.

مهندس- حق با شماست. مدارهای رله‌ای که برایتان شرح دادم به‌این منظور بود که به‌روشنی طرز کار مدارهای منطقی را بشما نشان دهم. درواقع اگر مثالی می‌خواهید، مدار شکل ۱۲۶ را بخوبی می‌توان به‌وسیلهٔ مونتاژ شکل ۱۲۷ ساخت.

می‌بینید که اگر من نقطهٔ A را به‌اختلاف سطح E+ وصل کنم (که مانند وجود فشار در نظر گرفته شده است) ترانزیستور T مسدود می‌شود و فشار خروجی S صفر است. برعکس اگر نقطهٔ A به‌بدنه وصل شود (نبودن فشار در ورودی) یک جریان پایه در ترانزیستور از راه مقاومت $10^{K\Omega}$ می‌گذرد؛ اگر ضریب بهره جریان در این ترانزیستور بیشتر از ۱۰ باشد، که چیز معمولی است، ترانزیستور اشباع شده است و جریانی که از آن می‌گذرد جمع کنندهٔ آن (یعنی خروجی S) را به‌اختلاف سطحی نزدیک به E+ می‌رساند. سیستم‌های تا اندازه‌ای ساده و همینطور ترانزیستوری برای ساختن مدارهای «و» و «یا» هم داریم.

مبتدی- درواقع همه اینها به‌نظر من تقریباً ساده هستند. امادرست نمی‌دانم با مدارهای منطقی خودتان چه می‌خواهید بکنید. بنظر من امکانات آنها بسیار محدود است.

بهم‌پیوستن مدارهای منطقی

مهندس- ناراحت نشوید. ازلحظه‌ای که تعدادی از آنهارا باهم یکجاجمع کنیم، امکانات آنها زیاد می‌شود. برای اینکه مثالی برایتان آورده باشم، الان مداری خواهیم ساخت که درجمع کردن اعداد دوعلامتی بکار خواهدرفت. همانطور که متوجه شده‌اید، وقتی دوعدد دوعلامتی را جمع می‌کنیم اعداد یکان عبارتنداز: صفر اگر هردو صفر باشد.

یك اگر فقط یکی از هردو عدد یك باشد.

بنابراین گروهی از مدارها را پیدا می‌کنیم که اگر به‌هریك از دو ورودی آن فشاری بگذارم، در خروجی فشاری به‌ما بدهد، اما وقتی به‌دو ورودی آن‌فشاری گذاشتم در خروجی فشاری بما ندهد.

مبتدی- بنابراین مدار **یا** مناسب نیست.

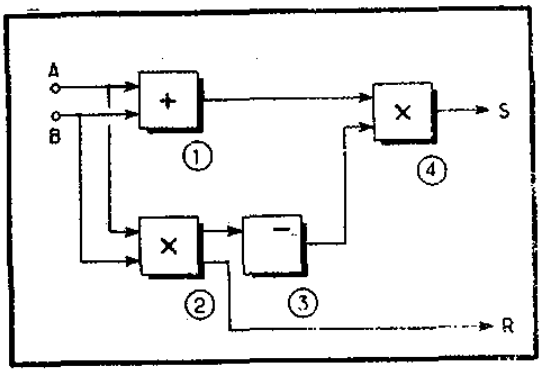
مهندس- قطعاً به‌تنهائی نمی‌تواند کافی باشد. اما مونتاژ ساخته‌شده‌ای را که درشکل ۱۲۸ بطور خلاصه برایتان کشیده‌ام، بررسی کنید. دو فشار ورودی A و B دریك‌لحظه به‌مدار «یا»ی شمارهٔ ۱ ومدار «و» شمارهٔ ۲ گذاشته می‌شوند. می‌بینیدکه در خروجی مدار «و»، مدار «متمم» شمارهٔ ۳ را قرار داده‌ام.

پس در خروجی این‌مدار «متمم»، یك خواهم داشت، مگروقتیکه فشارهای ورودی A و B هردو وجود داشته باشند واین وضع درواقع‌فقط‌وقتی وجود داردکه من‌درخروجی مدار «و» شمارهٔ ۲ فشاری داشته باشم.

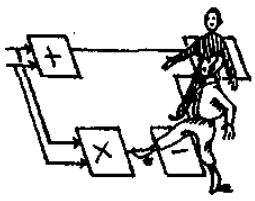
مبتدی- تا اینجا بدون دشواری فهمیده‌ام.

مهندس- بقیهٔ آن پیچیده‌تر از ایـن نیست. در خروجی مدار «یا» شمارهٔ ۱. وقتی فشار روی A یا B یا هردو وجود داشته باشد، فشاری خواهیم‌داشت. حالا وضع‌کار مدار «و» شمارهٔ ۴ را بـررسی‌کنید. فقط درحالتی‌که ورودی‌های A و B هردوفشاری دریافت‌کنند، مدار «و» شمارهٔ ۴ روی ورودی پائینی‌اش چیزی‌دریافت نمی‌کند. درسه حالت دیگر (فشار صفر در A و B، فشار صفر در A وبودن فشار در B و فشار صفر در B و بودن فشار در A) روی ورودیش فشاری را دریـافت خواهدکرد.

پس این‌مدار شمارهٔ ۴ بودن‌فشار درخروجی مدار «یا»ی شمارهٔ ۱ را فقط درحالتی حذف می‌کندکه فشارها دریك‌لحظه در A و B وجود داشته باشند. پس می‌بینیدکه با بررسی تمام حالت‌های ممکن، فشار S وجود نخواهد داشت مگر آنکه فشار روی A داشته‌باشیم اما روی B نداشته باشیم یا اینکه روی B باشد ولی‌روی A نباشد.



شکل ۱۲۸- بهم‌پیوستن‌مدارهای‌منطقی یـك مدار «یا اختصاصی» یـا «نیم جمع‌کننده»می‌دهدکه‌وقتی‌فشاردر۱. ویا B وجود داشته‌باشد در خروجی‌فشاری بدست‌می‌دهد، اما اگر درهردو ورودی فشار وجود داشته باشد، در خروجی فشاری نخواهد داد.



مبتدی- به‌آن اندازه که گفتید ساده نیست، با وجود این می‌شود از آن سردرآورد. فقط نمی‌دانم این خروجی‌که به‌حرف R نمایش داده‌اید و از مدار «و» شمارهٔ ۲ گرفته‌اید بدچه درد می‌خورد.

مهندس- آقای مبتدی به‌خاطراتتان رجوع کنید. بیادتان خواهد آمدکه

درجمع دوعلامتی، اگر هردو رقم جمع‌شده مقدارشان یك‌بود، باید یك را نگه می‌داشتیم؛ به‌عبارت دیگر خروجی R نمایندهٔ نگه‌داشتن عدد است، اگر در A و B فشار وجود داشته باشد، در R یك وجود دارد.

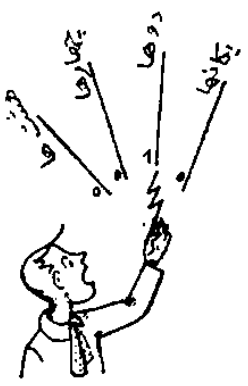
A	B	S	R
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

مبتدیـ آیاحالامی‌توانید دربارهٔماشین‌حساب‌های‌بزرگ برایم صحبت‌کنید؟

نمایش الکتریکی اعداد

مهندسـ قبل از اینکه به‌آن برسیم، باید ابتدا بشما بگویم‌کـه روشهای بکار برده شده برای نمایش اعداد بمشکل الکتریکی چیست.

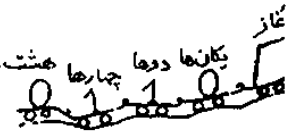
یك عددکه برحسب‌کد دوعلامتی بیان شده‌باشد از تعدادی رقم تشکیل شده است‌که یا یك هستند ویا صفر. فرض‌کنیدکه n رقم وجود دارد. می‌توانیم این رقم را بمشکل الکتریکی با دو روش بیان‌کنیم.



ابتدا بمشکل اعداد موازی است به‌این ترتیب‌که n رشته سیم بکار می‌بریم که به‌ترتیب وابسته به n رقم هستند، که روی این سیم‌ها برحسب‌آنکه عدد وابسته به‌آن سیم یك باشد یا صفر، فشاری وجود خواهد داشت یا نخواهد داشت. بنابراین تمام رقم‌ها دریك‌زمان روی همان تعداد سیمی‌که رقم‌ها لازم دارند، ارائه می‌شوند.

روش دوم نمایش، روش‌اعداد پیاپی‌گفته‌می‌شود. این‌روش مشتمل‌برفرستادن یا نفرستادن ضربه‌ها روی یك خط تنها، با آهنگ تعیین شده از قبل است به‌این ترتیب‌که با بررسی رقمی‌که باید فرستاده شود، مثلا از راست به‌چپ، برای هررقم ۱، ضربه‌ای فرستاده می‌شود وبرای هررقم صفر ضربه فرستاده نمی‌شود.

مبتدیـ این روش آخر بنظر من خیلی خطرناك است چون اگر عددی‌که باید فرستاده شود باچند صفر شروع شود، بهیچوجه نمی‌شود فهمید فرستادن عدد چه وقت آغاز شده است. به‌این‌ترتیب است‌کـه مثلاً در یك عدد ۷ رقمی، اگر شامل یك ۱ و شش صفر باشد، عدد پیاپی شما فقط از یك ضربه تشکیل می‌شود؛ می‌شود فکرکردکه عدد یك است و یا عدد یك وصفر. درست معلوم نیست.



مهندسـ برای اینکه این تردید از بین برود، وسیله‌ای بکار می‌برند که ورزشکاران بخوبی می‌شناسند. بـرای اینکه تمام شرکت‌کنندگان در دو صد متر یکباره حرکت‌کنند، چه می‌کنند؟

مبتدیـ از آغازکنندهٔ مسابقه می‌خواهند یك تیر شلیك‌کند.

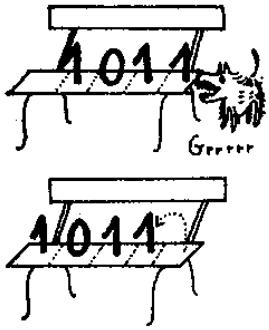
مهندسـ ماهم همین‌کار را می‌کنیم به‌این‌ترتیب‌که در روی سیمی‌که رقم‌ها باید فرستاده شوند، ضربهٔ آغازی بنام «استارت» (آغاز) وجود دارد کـه فرستادن دوباره را اعلام می‌کند واز روی‌آن می‌دانندکه چه وقت باید رقم‌های یکان،دومان، چهارمان وغیره را دریافت‌کرد. برای‌اینکه علامت آغاز با ضربه‌های‌رقم‌ها اشتباه نشود، مدت زمان آنرا متفاوت می‌گیرندکه امکان‌می‌دهد به‌سادگی آنرا جداکنند.

مبتدیـ بنظر مـن ایـن روش فرستادن مجدد خیلی زیرکانه‌تر از روش عددهای موازی است. برای فرستادن همه آنها فقط یك سیم‌کافی است. بـا اینحال چیزی هست که بنظر من خیلی عجیب است و آن روش فرستادن است‌که با ارسال یکان آغـاز می‌شود، بعد دومان، بعد چهارمان و غیره فرستاده می‌شوند. بطورکلی وقتی عددی را می‌خوانند، رقم‌های آنرا ازچپ به‌راست می‌دهند.

نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده

مهندس ـ درواقع عادت بر آنست که شما گفتید، اما می‌دانید که همیشه برای انجام‌عمل جمع و ضرب، از یکان آغاز می‌کنند. برای کاربرد آسان این‌عدد پیاپی در ماشین‌های حساب، بهتر است که اول یکان را به‌ما بدهد. اما دربارهٔ بهتربودن فرستادن اعداد پیاپی، فراموش نکنید که اگرچه به‌بیشتر ازیك سیم برای فرستادن اعداد نیازی نیست، اما این کار به‌دوجهت گران تمام می‌شود: ابتدا زمان فرستادن طولانی‌تر است، سپس کاربرد عددگرفته شده به سادگی اعداد موازی نیست. حالا خواهیم دید که دستگاه ـ کلید ماشین‌حساب‌ها را چگونه می‌سازند؛ این دستگاهی است که نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده‌می‌نامند و با نام انگلیسی آن **Shift Register** (ثبت‌کننده با جابجائی) هم مشخص می‌کنند. این دستگاه یك‌نوع میز حافظه‌است که می‌توان عدد را رقم به‌رقم روی آن لغزاند.

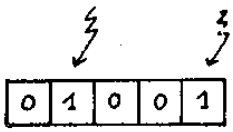
مبتدی ـ چگونه می‌خواهید حافظه بسازید؛ علاوه‌بر این، اگر باید عدد را جابجا هم بکند، باید بطرز خاصی دشوار باشد.



مهندس ـ شکل خلاصهٔ این‌نوع نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده با سه‌طبقه را در شکل ۱۲۹ برایتان کشیده‌ام؛ می‌بینید که تکرار این مونتاژ اساسی مشخص است این دستگاه تشکیل می‌شود ازیك قپان‌که روی یکی از ورودی‌هایش بطور مستقیم و روی ورودی دیگرش به‌وسیلهٔ مدار «یا» زیرتأثیر قرار می‌گیرد. قپان یك فشار خروجی بدست‌می‌دهد که با تبدیل به‌ضربه، به‌یك مونتاژ گذاشته می‌شود که یك‌تأخیر ـ انداز است و به‌وسیلهٔ R مشخص شده است. مثلاً می‌توان به‌وسیلهٔ یك مونتاژ یك ثابتی نظیر همانهائی‌که برایتان شرح دادم، آنرا ساخت.

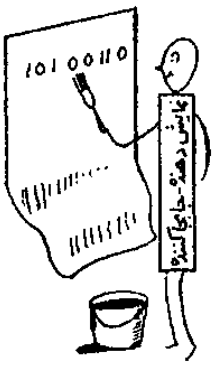
مبتدی ـ قطعاً مطلب قابل‌فهمیدن بنظر می‌آید. اما بالاخره به‌اینجا رسیدم که به شماهای جعبه‌ای شما بدبین شوم چون زیر ظاهر سادهٔ خودشان، پیچیدگی وحشت‌آوری پنهان کرده‌اند.

مهندس ـ این یکی مو بربدنتان راست نمی‌کند. روی‌قپان‌ها علاوه‌بر ورودی‌های معمولی، یك ورودی‌کناری‌کوچك می‌بینید که باحرف Z نمایش‌داده‌ام. این یك ورودی‌است که وابسته‌به‌فرمان صفرکننده‌است: این‌کار را مثلاً بافرستادن یك ضربهٔ منفی از راه این ورودی به‌پایهٔ ترانزیستور T_2 مونتاژ شکل ۸۲ می‌توان انجام داد.



فرض‌کنید که یك‌عدد موازی دراختیارمن باشد. آنرا به‌وسیلهٔ تمام‌خطوطی که منتقل‌کرده‌اند به‌ورودی‌های E_1 و E_2 و E_4 وغیره نشان‌دهنده ـ جابجاکننده‌که تمام قپان‌هایش به‌حالت صفر درآمده‌اند می‌گذاریم. سیم یکان شبکه سیمها راکه عدد موازی روی آن منتقل شده به‌ورودی E_1 وصل می‌کنیم؛ سیم دومان به‌ورودی E_2 خواهد رفت وسیم چهارمان به‌ورودی E_3 می‌رود. اگر به‌این‌ترتیب عدد موازی به‌صورت ضربه یا نبودن‌ضربه به‌ورودی‌های مختلف نشان‌دهنده ـ جابجاکننده گذاشته شود چه می‌گذرد؛

مبتدی ـ تمام این مطالب آنقدر برای من مبهم‌است که فقط می‌توانم این پاسخ را به‌شما بدهم که تنها قپان‌هائی‌که ضربه دریافت کنند به‌حالت ۱ درمی‌آیند.



از این‌که بگذریم، دیگر چیزی نمی‌توانم بگویم.

مهندس- آقای مبتدی منهم بیشتراز این از شما نخواستم. بنابراین می‌بینید قپان‌های مختلف وابسته به‌ردیفی‌که در آن ۱ وجود داشته بحال تـوازن در می‌آیند. پس فشارهای خروجی این قپان‌ها یك حافظه ازعدد مـورد بحث تشکیل می‌دهندکه بصورت‌کد موازی نمایانده شده وبطور دائم نشان داده می‌شود.

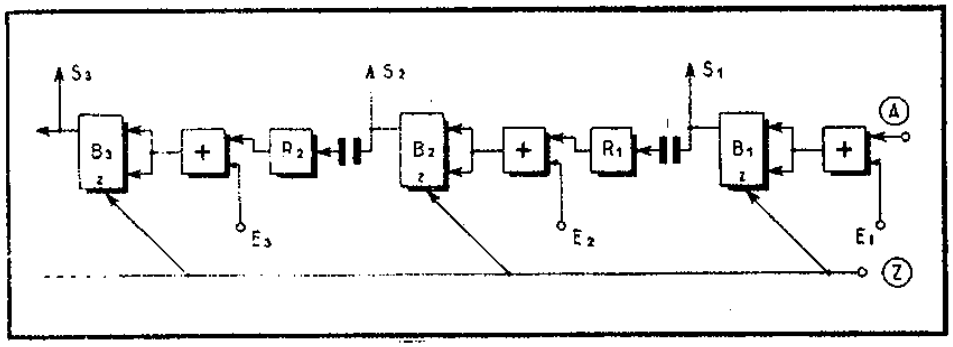
مبتدی- تمام این عملیات پیچیده‌تر از آنست‌که یك حافظه از عدد بدست بیاید. عدد موازی شما به صورت بودن یا نبودن ضربه تهیه شده‌بود. اگر به‌صورت فشار مستقیم یا نبودن فشار مستقیم تهیه می‌شد، تمام مونتاژ شما بی‌فایده بود.

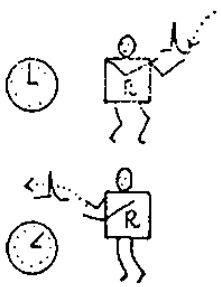
جابجائی

مهندس- کاملاً باشماموافقم. اماهنوزتصورامکانات مونتاژرا هم نکرده‌اید. حالا فرض‌کنیدکه به‌سیم Z یك ضربهٔ منفی صفرکننده بگذارم. چه خواهد شد؟

مبتدی- اوه، جادوگری‌که نیست، تمام قپان‌ها به‌حالت صفر درمی‌آیند و حافظهٔ شما پاك می‌شود.

مهندس- اگـر مدارهای تأخیرانداز نداشتم این مطلب درست بـود. در لحظه‌ای‌که من این ضربهٔ صفرکننده را وارد می‌کنم، قپان‌هائی که در وضعیت یك بودند به‌صفر برمی‌گردند. با اینکار ضربه‌ای به‌تأخیراندازهائی‌که بعدازآنها قرار گرفته‌اند، می‌فرستند. در این لحظه آن عده از قپان‌هائی که باید دوباره به‌حالت ۱ بروند، این‌کار را می‌کنند. حالا خواه به‌حالت صفر آمده باشند یا نه.

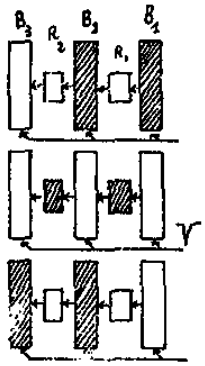




شکل ۱۲۹- شمای جعبه‌ای «نشان‌دهنده - جابجاکننده» (ثبت‌کننده یـا جابجائی (Shift Register) که روی‌آن می‌توان یك‌عدد دوعلامتی‌را به‌وسیلهٔورودی‌های Z نشان‌داد، یك‌ضربه‌که به (Z) واردشودعدد نشان‌داده‌شده را به‌سمت‌چپ‌می‌لغزاند.

مبتدی- دراین موردکاملاً با شما موافقم. با این حرکت عجیب چه چیزی نصیب شما می‌شود؟

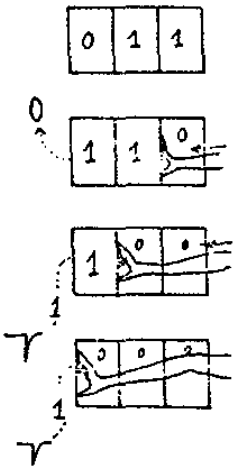
مهندس- چیزی‌که بدست‌می‌آید اینست‌که وضع مشخصی‌که قبل از به‌صفر رساندن روی هرقپان وجود داشت، حالا روی قپان بعدی برده شده است (در جهت راست به‌چپ). مثلاً اگـر یك ضربه روی E_1 و یکی هم روی E_2 فرستاده باشم و روی E_3 چیزی نفرستاده باشم، در اصل در S_1 و S_2 فشار خـروجی خواهم داشت



و در $S_۳$ چیزی ندارم. حالا یك ضربهٔ صفرکننده می‌فرستم. قپان‌های $B_۱$ و $B_۲$ به حالت صفر درمی‌آیند درحالی‌که تأخیرانداز‌های $R_۱$ و $R_۲$ را تحریك می‌کنند. برعکس قپان $B_۳$ که در وضعیت صفر بوده دیگر به‌آن حالت برنمی‌گردد وهمانجا می‌ماند. بنابراین تأخیرانداز $R_۳$ راهم تحریك نمی‌کند. وقتی اندکی بعد تأخیر اندازهای $R_۱$ و $R_۲$ ضربه‌های خودرا می‌فرستند، قپان $B_۲$ که به‌حالت صفر آورده شده بود، دوباره به‌حالت ۱ برمی‌گردد. بنابراین در خروجی‌های $S_۳$ و $S_۲$ فشار خواهیم داشت، و در خروجی $S_۱$ نداریم. بجای نشان‌دادن عدد ۰۱۱ حالا عدد ۱۱۰ را نشان خواهیم داد. عدد نشان داده شده را یك ستون به‌طرف چپ جابجا کرده‌ایم و درسمت راست یك صفر گذاشته‌ایم.

مبتدی- اگر چنین‌کاری روی عدد نشان داده شده درپایهٔ ۱۰ انجام‌می‌شد، یعنی تمام رقم‌ها یك‌ستون به‌سمت چپ جابجا می‌شدند ویك صفر سمت راست‌گذاشته می‌شد عدد را در ده ضرب کرده بودیم. اما وقتی عدد دو علامتی مورد نظر است، نمی‌دانم اینکار وابسته به‌چیست.

مهندس- بطور ساده وابسته به‌ضرب‌کردن آن در ۲ است. این تازه یکی از امکانات دستگاه ماست. با هرضربه‌ای‌که روی Z فرستاده می‌شود، عددی‌را نشان می‌دهم که دو برابر عددی است که در اصل نشان داده شده بود. اما نشان‌دهنده ــ جابجاکنندهٔ مــا باز هم امکانات جالبتری دارد حالا وقتی سه‌بار بطور پی در پی به‌وسیلهٔ خط Z صفرکردن را انجام دهم، به‌ضربه‌هائی‌که از قپان $B_۳$ خارج خواهد شد نگاه‌کنید.



تبدیل موازی-پیاپی

مبتدی- بــرای اینکه بهتر متوجه شوم، حالتی راکه شما در نظر گرفتید بررسی می‌کنم به‌این‌ترتیب، عددی‌که دراصل نشان داده شده بود ۰۱۱ بود. اولین فرمان به Z، عدد نشان داده را ۱۱۰ کرد، اماگمان می‌کنم در این حالت، در نظر می‌گیریدکه ضربه‌ای ازقپان $B_۳$ خارج نمی‌شود چون از وضع صفر به‌یك می‌رود.

مهندس- درواقع یــك ضربهٔ مثبت می‌دهد که ما بـا یك دیود آنرا حذف می‌کنیم. بنابراین چیزی ازقپان $B_۳$ خارج نمی‌شود. در صفرکردن بعدی چه پیش می‌آید؟

مبتدی- اوه، اینجا خیلی پیچیده خواهد بود! می‌بینیم به‌وسیلهٔ ضربه‌ای‌که درZواردشده،قپان$B_۱$که به‌وضعیت یك‌درآمده‌بود، دوباره به‌صفرخواهد رفت؛به‌عقیدهٔ من باید درخروجی‌اش یك ضربه بدست بدهد،چون فقطضربه‌هائی برای شماجالبند که‌وابسته به‌عبورازحالت یك به‌صفرباشند. اما چون $B_۳$ به‌وسیلهٔ تأخیرانداز $B_۲$ ضربه‌ای راکه از به‌صفررسیدن $B_۲$ بدست آمده دریافت می‌کند، $B_۳$ دوباره‌به‌حالت یك درمی‌آید. حالا درست نمی‌دانم به‌کجا رسیده‌ایم.

مهندس- خوب، ما ضربه‌ای ازقپان $B_۳$ بیرون آورده‌ایم وعدد نشان داده شده حالا ۱۰۰ است. اگر برای‌بارسوم ضربهٔ صفرکردن‌را بفرستیم، دوباره‌ضربه‌ای از $B_۳$ بیرون خواهیم آورد، چون ازحالت یك دوباره به‌وضعیت صفر خواهدرسید. دیگر هیچ قپانی نمی‌تواند به‌حالت یك برگردد، چون عدد نشان داده شده به‌طرف

چپ پیشروی کرده به‌حدی که کاملاً کنار زده شده است.

مبتدیـ اینکار دیگر خنده‌آور است! شما یا سه‌بار صفر کـردن، به‌نوعی، عددی را کـه روی مونتاژ نشان داده می‌شد، رقم به‌رقم، کنار زده‌اید. فقط آنرا در جهت بدی کنار زده‌اید چون این عدد را ابتدا با نبودن ضربه (رقم چهارمان)، بعد یك ضربه (رقم دومان) و بعد بازهم یك ضربه (رقم یکان) بدست آورده‌ایم.

مهندسـ درواقع همینطور است. ما عددمان را رقم به‌رقم از جائی که نشان داده شده بود، کنار زدیم. به‌عبارت دیگر آنرا در خروجی S_3 به‌صورت کد پیاپی بدست آورده‌ایم. وقتی گفتید که این کد پیاپی با پایان‌یافتن به‌یکان تهیه می‌شود حق داشتید؛ اگر می‌خواستیم برعکس آنرا داشته‌باشیم، می‌بایست عدد را روی سه قپان به‌ترتیب معکوس نشان می‌دادیم، یکان در E_3، دومان در E_2 و چهارمان در E_1.

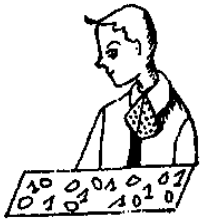
مبتدیـ بنابراین نشان‌دهنده ـ جابجاکنندهٔ شما می‌تواند یك‌عدد موازی را به‌یك عدد پیاپی تبدیل کند.

تبدیل پیاپی ـ موازی

مهندسـ آه، می‌دانید اگـر بشود باید گفت که ترانزیستور این مونتاژ بیشتر از یك معجزه دارد. می‌تواند برعکس آنرا هم انجام بدهد. فرض کنید کـه عدد را به‌شکل پیاپی آن روی ورودی A بفرستیم، درحالی کـه بدنبال فرستادن هر رقم یك ضربهٔ صفرکننده بفرستیم. می‌بینید که وقتی اولین رقم روی B_1 نشان داده شد، صفر کردن، آنرا به‌سمت B_2 پیش می‌برد. دراین لحظه، رقم دوم روی B_1 نشان داده شده است که قبلاً به‌صفر رسانده شده‌بود. ضربهٔ دوم به Z می‌رسد و رقمی را کـه ابتدا روی B_2 نشان داده شده‌بود (رقم اول) به‌سمت B_3 می‌برد، درحالی که رقم نشان داده شده روی B_1 (رقم دوم) به B_2 می‌رود. دراین لحظه B_1 دوباره به صفر رسیده است و می‌تواند رقم سوم پیاپی را که به A می‌رسد، ثبت کند.

مبتدیـ قطعاً این مونتاژ بسیار هوشیار است. حالا یك‌عدد پیاپی‌را به‌یك عدد موازی تبدیل کرده است.

جمع موازی

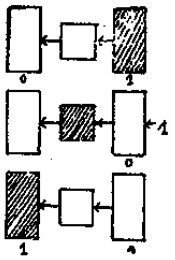


مهندسـ هنوز تمام امکانات آنرا ندیده‌ایم. فرض کنید که یك‌عدد موازی را به‌وسیلهٔ ورودی‌های E_1 و E_2 و E_3 به مونتاژ خودم بفرستم. حـالا عدد دوم را روی همان ورودی‌های E می‌فرستیم، یکان روی E_1، دومـان روی E_2 و چهارمان روی E_3. حالا چه خواهد شد؟

مبتدیـ یك مخلوط وحشتناك بدست می‌آید!

مهندسـ بهیچوجه. نگاه کنید در یکی‌ازقپان‌ها چه می‌گذرد. اگر پس از نمایش اولین رقم در وضعیت صفر بـاشد، ممکن است در موقع نمایش عـدد دوم ضربه‌ای دریافت نکند به‌شرط آنکه این عدد دوم در جای وابسته به‌این قپان شامل صفر باشد. دراین‌حالت در وضعیت صفر باقی می‌ماند. همینطور ممکن‌است در لحظهٔ نمایش عدد دوم ضربه‌ای دریافت کند که دراینصورت به‌توازن درمی‌آید و به‌حالت

یك می‌رود. ممکن است درجریان نمایش عدد اولی ضربه‌ای دریافت‌کند اما هنگام نمایش عدد دوم ضربه‌ای دریافت نکند. دراین حالت هم پس از نمایش عدد دوم به حالت یك باقی خواهد ماند. می‌بینیدکه دراین سه حالت روی هرقپان رقمی داریم که وابسته به‌رقم مجموع دوعدد است.



مبتدی‌ـ عجب، سرگرم‌کننده است. اما چیزی‌که بمن‌گفتید فقط در حالت‌های محدودی درست است.

مهندس‌ـ الان به‌شما نشان می‌دهم‌که در تمام حالت‌ها درست است. فرض کنیدکه قپان B_1 درجریان نمایش عدد اول ضربه‌ای دریافت‌کرده باشد (که نشان می‌دهد عدد اول در رقم یکان عدد ۱ داشته است). حالا فرض می‌کنیم‌که در جریان نمایش عدد دوم هم یك‌ضربه در E_1 دریافت کرده باشد. بنابراین دوباره به‌صفر برمی‌گردد و به‌این ترتیب رقم مجموع را نشان خواهد داد. اما با آمدن به‌صفر، ضربه‌ای به‌تأخیرانداز R_1 می‌فرستد. این‌ضربه چیزی جز آنچه نگهداشته می‌شود نیست. پس‌از نمایش عدد دوم، این عدد نگه داشته شده به‌قپان B_2 می‌رسد و با تغییر دادن وضعیت آن به‌عددی‌که B_2 نمایش داده است اضافه خواهد شد.

مبتدی‌ـ بسیار جالب است. چون مونتاژ شما می‌تواند جمع را انجام دهد وحساب اعداد نگه داشته شده راهم داشته باشد، این مطلوبترین راه برای ساختن جمع‌کننده است.

مهندس‌ـ این یکی از راه‌حل‌هاست، اما بهترین آنها نیست. فرض‌کنیدکه اولین عدد نمایش داده‌شده ۱۱۱ و عدد دوم ۰۰۱ باشد. وقتی عدد دوم را نمایش می‌دهیم B_1 به‌حال توازن درمی‌آید و به‌حالت صفر برمی‌گردد. این قپان به‌وسیلهٔ R_1 ضربه‌ای به B_2 می‌فرستدکه پس‌ازکمی تأخیر به‌توازن درمی‌آید و به‌حالت صفر برمی‌گردد. B_2 به‌وسیلهٔ R_2 ضربه‌ای به B_3 می‌فرستدکه پس از تأخیر دیگری به توازن درمی‌آید و به‌حالت صفر برمی‌گردد. دراین‌صورت می‌بینیدکه تأخیرها بهم اضافه می‌شوند وزمان قابل‌توجهی طول‌می‌کشد تا حاصل‌جمع کاملاً نمایش داده شود.

مبتدی‌ـ این تقصیر شماست. چرا تأخیرکننده‌ها راگذاشتید؟

مهندس‌ـ آقای مبتدی، پس طرز کار نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده را نفهمیده‌اید؛ این تأخیرانداز‌ها دوری‌ناپذیرند. درواقع وقتی یك عدد را به‌وسیلهٔ صفرکردن جلو می‌برم باید اول قپان‌ها به‌صفر برگردند و بعد از آن به‌آنهائی‌که باید دوباره به‌توازن درآیند یك ضربه‌که فرستاده شده و به‌وسیلهٔ یکی از مدارهای تاخیرانداز به‌تأخیر افتاده است، برسد. همینطور وقتی‌که نمایش‌دهنده‌ـجابجاکننده را برای جمع‌کردن اعداد موازی بکار می‌بریم باید از رسیدن یك رقم از عدد دوم ویك عدد نگه داشته شده‌ای‌که ازقپان دیگری رسیده است بطور همزمان به‌یك‌قپان، جلوگیری شود.

مبتدی‌ـ آقای مهندس باز شروع‌شد. از من خواستیدکه با کار وحشت‌آور طرزکار نمایش‌دهنده ـ جابجاکنندهٔ شمارا بفهمم وحالا می‌خواهید بگوئیدکه نمی‌شود آنرا بکار برد.

مهندس‌ـ نه آقای مبتدی. بخوبی می‌توان نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده‌را بکار برد. وآنگهی بزودی‌کاربرد بی‌نهایت هوشیارانه‌ای ازاین مجموعه خواهیم‌دید. طبیعتاً روش‌های‌فنی مدارهای مجتمع امکان‌کاهش پیچیدگی نمایش‌دهنده‌ـجابجاکننده

صبح ها ساعت ۳۳۸۴۰۱ تلفن کنید
نشان دهنده ـ جابجاکننده می‌تواند حافظه را نگهدارد(جابجا کند، پیاپی را به موازی و موازی را به پیاپی تبدیل‌کند و ... غیره
درجستجوی محلی برای مونتاژ جهت هر کاراست:
با شماره ۷۰ مجله مکاتبه کنید:
ترانزیستور کوچك بهراندازه در جستجوی محل غیر اشباع

را بمقدارزیاد فراهم کرده‌اند (امروزه غالباً دستگاه «ثبت باجابجائی» نام‌گرفته‌اند). بیشتر وقتها آنرا با مـدار مجتمع با تکنولوژی M. O. S می‌سازند و چندین نوع از آن وجود دارد:

۱ـ دستگاه ثبت از نوع «دینامیك»، که در آنها اطلاعات نمی‌تـواند نگه داشته شود مگر آنکه آنرا به‌وسیلهٔ فرمان‌های جلوبرنده‌ای که سرعت پشت‌هم‌آمدن آن از یك مقدار حداقل بیشتر است «به‌جریان بیندازند». چون مدارهای مجتمع مورد بحث می‌توانند تا ۱۰۰ رقم دو علامتی را در خود نگه دارند، تجهیز چنین مداری به ۱۰۰ ورودی و ۱۰۰ خروجی مورد نظر نیست. بنابراین به‌این موضوع اکتفا می‌کنند که با «بستن» دستگاه ثبت به‌روی خودش، عدد نمایش داده شده را «به‌جریان بیندازند». اگر بخواهند عدد نمایش‌داده‌شده را بدانند باید آنرا «پل» بگیرند، به‌عبارت دیگر آنرا به شکل عدد پیاپی، وقتی‌که از آخرین طبقه خارج می‌شود تا به‌اولین‌طبقه‌برود ، درحین عبورآنرا به‌صورت رقم‌های‌دوعلامتی‌بخوانند.

۲ـ دستگاه ثبت نـوع «استاتیك» که پیچیده‌تر است و در آن می‌تـوان اطلاعات را متوقف‌کرد. بنابراین رقم‌های دوعلامتی‌که دراین دستگاه نوشته‌می‌شود، برای دوری ازپاك‌شدن، نیاز به «جریان‌داشتن» بطور همیشگی ندارند.

اگر بخواهند یك دستگاه با جابجائی با همان تعداد ورودی و خروجی‌که رقم دو علامتی درخود نگه می‌دارد، بسازند، این‌کار را باچندین مدار مجتمع‌انجام می‌دهند. برای این منظور می‌توان مدارهائی‌کـه چندین‌قپان از نوع J_K دارند بکار برد. (این‌قپان بطور قابل‌توجهی برای‌ساختن این‌نوع دستگاههای‌ثبت، آمادگی دارد) و یا از نوع D استفاده‌کرد. بالاخره توجه شمارا به‌این عمل جلب می‌کنم‌که اگر یك دستگاه ثبت با مدارهای تأخیرانداز بکار ببریم، ممکن است اینکار مدت زیادی طول بکشد. بنابراین‌کوشش خواهیم‌کرد دراین‌حالت روش دیگری بکاربریم که فردا دربارهٔ آن صحبت خواهیم‌کرد.

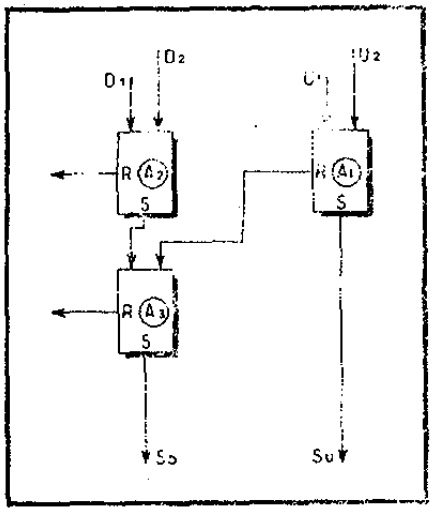
مبحث چهاردهم

این واقعه حتمی بود چون مبتدی برای اینکه بیشتر با الکترونیك آشنا شود، پیش می‌تازد! او فهمید که چگونه با حساب الکترونی دو علامتی باید عمل جمع‌را انجام‌داد. بنابراین آماده است که ظریف‌کاری این فن را بیاموزد وچراکه ضرب‌کننده را بررسی نکند. بازهم باید قبل‌از آنکه‌انرژی هوشمندانه‌اش،مثل یك‌خازن لیزر پس‌از برق‌زدن خالی شود، طرزکار حافظه‌های باهستهٔ فریت را بفهمد و فرابگیرد...

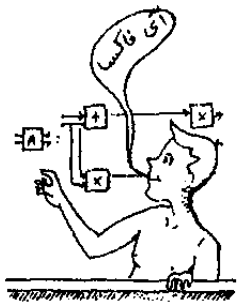
ضرب‌کننده‌های حسابی

و حافظه‌ها

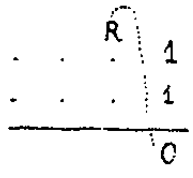
مبتدی- من راه‌حل جمع کننده را پیدا کـردم چون هیچ دشواری خاصی وجود ندارد، مونتاژی درست می‌کنیم‌که برای هررقمی کـه باید جمع شود، مداری شبیه به‌شکل ۱۲۸ داشته باشد.



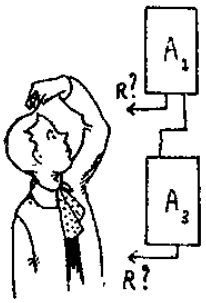
شکل ۱۲۰- طبقه‌های یکان و دوممان یك جمع‌کنندهٔ موازی دو علامتی.



مهندس- بله، این کار برای یکان و دوممان نخستین عددکاملاً خوبست. وقتی بخواهیم دوممان این دو عدد را با هم جمع کنیم، مسئله‌ای پیش خواهد آمد و آن اینست‌که احتمالاً باید سه رقم را جمع‌کنیم‌که عبارتند از رقم دوممان نخستین عدد، رقم دوممان عدد دوم و عدد نگه داشته‌ای‌که احتمالاً ازجمع یکان دوعدد بدست آمده است.

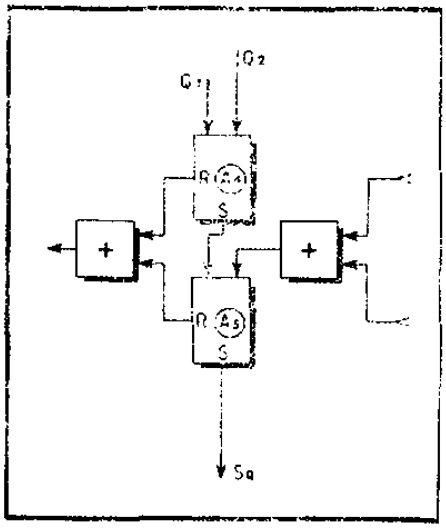


مبتدی- در اینصورت تصور می کنم مداری شبیه به‌مدار شکل ۱۲۸ که‌کمی تغییر داده شده تا بجای دو ورودی، سه ورودی داشته‌باشد، برایمان لازم است.



مهندسـ درواقع بطور ساده دوتا از مدارهای شکل ۱۲۸ را، همانطور که درشکل ۱۳۰ نشان داده‌ام، بکار می‌بریم. در ایـن شکل بجای تمام مدارهای شکل ۱۲۷ (که چندین‌بـار بکار برده شده‌اند) مستطیل‌های A را گذاشته‌ام که دو ورودی، یك خروجی S برای حاصل‌جمع و یـك خروجی R بـرای عددهای نگه داشته، دارند. می‌بینید که مدار A_1، رقم یکان نخستین عدد (U_1) و دومین عدد (U_2) را می‌گیرد. خـروجی S آن رقم یکان مجموع را به ما می‌دهدکه آنـرا با S_U نشان داده‌ام. همینطور می‌بینیدکه برای جمع رقم‌های دومان دوعددماکه‌به‌وسیلهٔ D_1 و D_2 مشخص شده‌اند، مدار A_2 را بکار می‌بریم. خروجی حاصل جمع آن به یك مدار مشابه A_3 فرستاده خـواهد شد، درحالی‌که ورودی دیگر A_3، رقم نگه داشته‌ای را کـه از A_1 می‌رسد، دریافت می‌کند. در خروجی S از A_3، S_D رقـم مجموع دومان را خواهیم داشت.

مبتدیـ گمان می‌کنم فهمیده باشم. اما دراین‌صورت رقم نگه داشته ایـن عمل آخر از A_2 خارج می‌شود یا از A_3 یا از هردو دریك زمان؟



شکل ۱۳۱ـ طبقهٔ «چهارمان» همان جمع‌کننده

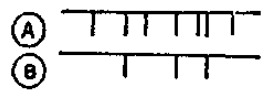
مهندسـ مسلماً از هردو دریك زمان خارج نمی‌شود. درواقع اگر رقم‌نگه داشته‌ای باشدکه از A_2 خارج شود، معنی‌اش اینست‌که مقدار D_1 و D_2 هردو یك است. دراینصورت خروجی جمع A_2 صفر است. دراینحال A_3 با دریافت صفر روی یکی از ورودی‌هایش می‌تـواند یك خروجی مجموع بدست بدهد، امـا رقم نگه داشته‌ای نخواهد داد.

مبتدیـ درواقع می‌بینم‌که خروجی رقم نگه داشته در یك زمان روی A_2 و A_3 وجود نخواهد داشت. دراینصورت برای رفتن به‌چهارمان، به‌عنوان رقم نگه داشته‌کدامیك از خروجی‌هـای R، A_2 یا A_3 را باید به‌جمع‌کنندهٔ وابسته متصل کنیم؟

مهندسـ آقای مبتدی کلمهٔ دقیقی راکـه دامحل را بشما خواهد داد بکار بردید. بنابراین به‌ورودی نگه‌داشتهٔ مجموع دومدار A، که تشکیل جمع‌کنندهٔ رقم‌های چهارمان را خـواهد داد، خروجی R از A_2 یا A_3 را به‌وسیلهٔ مدار «یاه»

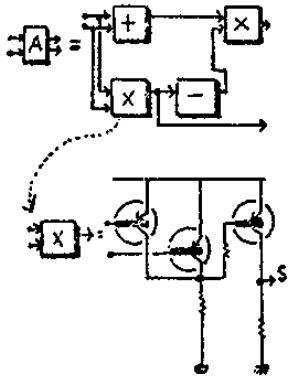
متصل می‌کنیم. این همان چیزی است که در شکل ۱۳۱ برایتان کشیده‌ام که نشان‌دهندهٔ تشکیل دنبالهٔ جمع‌کننده است. ازطبقهٔ چهارمان به‌بعد همه‌چیز دوباره بهمین ترتیب تهیه می‌شود. بنابراین می‌بینید که اگر یک‌جمع‌کنندهٔ موازی احتمالاً پیچیده است، چندان درهم نیست.

مبتدیـ دیگر می‌خواستید چه باشد؟ وقتی‌فکرمی‌کنم چیزی راکه‌معصومانه



با حرف A در یک مستطیل مشخص کرده‌اید، مدار شکل ۱۲۸ است که در آن هر مربع کوچک مجموعه‌ای از چندین ترانزیستور، مقاومت و دیود است، کمی مضطرب می‌شوم.

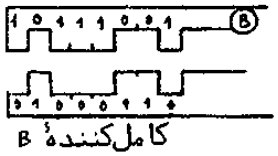
مهندسـ آقای مبتدی مضطرب نشوید. سیستم‌های عملیات حسابی همیشه تکراری هستند از چندین دفعه عنصرهای نسبتاً ساده که به‌مجموعه‌های کوچکتری که ساده‌ترند تجزیه می‌شوند. هرچه باشد یک جمع‌کننده مثل شکل ۱۳۰ و ۱۳۱ این برتری را داردکه بلافاصله مجموع دوعدد موازی راکه روی ورودی آن نشان‌داده شده است، بدست می‌دهد.



مبتدیـ اگر می‌خواستیم عدد پیاپی را جمع‌کنیم چطور؟

مهندسـ مونتاژی نظیر همین را می‌گیریم، درحالی که فقط دو مدار A، یک مدار «یا» روی نگه‌دارنده رقم‌ها و یک سیستم حافظه بکار می‌بریم که مثلاً رقم نگه‌داشتهٔ دومان را درموقع جمع چهارمان به‌آن اضافه می‌کند. تشریح آن مارا از مطلب کمی دور می‌کند اما نسبتاً ساده است. ایـن سیستم شامل عنصرهای خیلی کمتر است اما نقص آن دراینست که نیاز به‌ذخیره‌کردن عدد پیاپی که خارج‌می‌شود، دارد. در جمع‌کننده‌های شکل ۱۳۰ و ۱۳۱، پاسخ فوراً بدست می‌آید بدون‌اینکه رقم به‌رقم منتظر آمدن عدد پیاپی باشیم، به‌اضافه این پاسخ درخروجی نمایش‌داده می‌شود درحالی‌که عددهای موازی به‌ورودی گذاشته شده‌اند.

تفریق

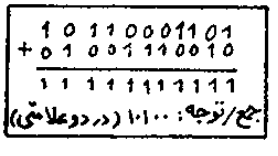


مبتدیـ حالا تقریباً جمع‌کسردن را می‌دانم. اما تفریق را چگونه انجام می‌دهید؟

مهندسـ معمولاً مسئله را برعکس می‌کنند. فـرض‌کنیدکه می‌خواهیم از عدد A، عدد B راکم‌کنیم. کار را بـا اضافه‌کردن یک واحد به A شروع می‌کنیم و عدد مخالف B را به‌آن می‌افزائیم و رقمی‌راکه باید نگه داریم به‌حساب نمی‌آوریم.

مبتدیـ عدد مخالف B به‌چه می‌گوئید؟

مهندسـ بطور ساده عددی است کـه وقتی به‌جای تمام یک‌ها در عدد B، صفر و بجای تمام صفرهایک بگذاریم بدست می‌آید. چون B کوچکتر از A است، باید B را طوری نوشت‌که بعدازاولین یک درسمت چپ آن آنقدر صفر داشته‌باشد که تعداد رقم‌هایش برابر رقم‌های A شود. باگرفتن عدد مخالف B تمام این‌صفرها تبدیل به یک می‌شوند. یک مثال عددی برایتان می‌زنم: فرض کنیدکـه A برابر ۱۰۱۱۰۱ (یعنی ۴۵) باشد و B برابر ۱۰۱۱...



مبتدیـ بعبارت دیگر ۱۱.

مهندسـ آفرین آقای‌مبتدی. سیستم دوعلامتی‌را خیلی خوب‌یادگرفته‌اید.

بنابراین عدد B را به‌این‌ترتیب می‌نویسیم:

۰۰۱۰۱۱

تا مثل عدد A، شش رقم داشته باشد، با گرفتن عدد مخالف B بدست می‌آوریم:

۱۱۰۱۰۰

حالا بگذارید پرسشی از شما بکنم: اگر این عدد مخالف را با B جمع کنید چه بدست می‌آورید؟

مبتدی- گمان می‌کنم بدون دشواری بتوانم این جمع‌را انجام دهم: هرجا که دریکی از دو عدد صفر وجود دارد در دیگری یك است. بنابراین مجموع آنها عددی است شش رقمی‌که تمام آنها یك است یعنی ۱۱۱۱۱۱

مهندس- آفرین، کاملاً درست است! حالا به‌آن یك واحد اضافه کنید.

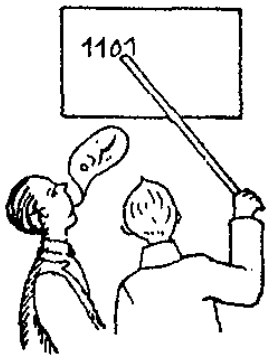
مبتدی- خوب اگر این واحد را اضافه‌کنم: برای جمع یکان رقم صفر را بدست می‌آورم. یك را نگه می‌دارم‌که وقتی به‌یك اضافه شود: صفر را به‌عنوان‌رقم دومان بدست می‌دهد و یـك را نگه می‌دارم... عجب جالب است، بالاخره عـدد ۱۰۰۰۰۰۰ را بدست خواهم آورد.

مهندس- درست است. عدد شما حالا ۷ رقم دارد، اگـر آخرین رقمی‌که نگه داشتید، ندیده بگیرم، غیر از صفر چیزی باقی نمی‌ماند. پس می‌بینید کـه با اضافه‌کردن «عدد مخالف B» ویك واحد، صفر بدست می‌آوریم. به‌عبارت‌دیگر اگر رقم نگه‌داشته را ندیده بگیرم، عـدد مخالف B، به‌اضافهٔ یك واحد، به‌نوعی برابر با B— است. بنابراین‌کافی است آنرا به A اضافه‌کنم: عمل به‌این‌ترتیب است:

۱۰۱۱۰۱ +

۱۱۰۱۰۰

۱۰۰۰۰۱ (۱)



مبتدی- می‌بینم‌که آخرین ۱ را درپرانتز گـذاشته‌اید، بدون شك برای اینست‌که نمی‌خواهید آخرین رقم نگه‌داشته شده را به‌حساب بیاورید.

مهندس- درست همینطور است. می‌بینیدکه حالا اگـر یك واحد به‌حاصل جمع بدست آمـده اضافه کنم به‌ما خواهد داد ۱۰۰۰۱۰. اگر همین عدد آخر به پایهٔ ده تبدیل شود رقم ۳۴ را می‌دهدکه درست اختلاف بین ۴۵ و ۱۱ است.

مبتدی- اقرار می‌کنم‌که بدون عبور ازسیستم دوعلامتی خیلی سریعتر عمل می‌کردم!

مهندس- شما، شاید. اما ماشین‌های الکترونی درسیستم دو علامتی خیلی سریعتر از شما درسیستم ده‌تائی عمل می‌کنند، حتی اگر زمـان لازم برای تبدیل را هم درنظر بگیریم.

ضرب

مبتدی- قطعاً این سیستم حساب خـودکار بسیار سرگرم‌کننده است. می‌توانید برای من بگوئیدکه ضرب را چگونه انجام می‌دهند؟

مهندس- این‌بار جرأت شما بسیار زیاد شده است. درواقع مجموعه‌مونتاژ بسیار پیچیده است.

کار را با نشان‌دادن اینکه از نظر عملیات حساب برای بیان اعداد چگونه عمل می‌کنند، آغاز می‌کنم. فرض کنید که می‌خواهیم مضروب ۱۱۰۱۰ (۲۶) را در یك مضروب‌فیه که برابر ۱۳ است ضرب کنیم...

مبتدی‌ـ به‌عبارت دیگر ۱۱۰۱.

مهندس‌ـ اوه! واقعاً در تبدیل پایهٔ ده به دو علامتی خیلی قـوی هستید. بنابراین می‌بینید که مضروب فیه تشکیل می‌شود از:

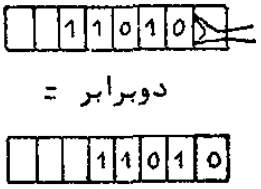
ـ یك‌بار یك واحد.
ـ صفر بار ۲
ـ یك‌بار توان دوم ۲
ـ یك‌بار توان سوم ۲

بنابراین، این عددها را با هم جمع می‌کنیم:

ـ یك‌بار مضروب
ـ صفر بار همین مضروب که در عدد ۲ ضرب شود. (یعنی با یك صفر در سمت راستش، به‌عبارت دیگر ۱۱۰۱۰۰).
ـ یك‌بار همین مضروب که درعدد ۴ ضرب شود یعنی با دوصفر اضافه در سمت راستش نوشته شود (به‌عبارت دیگر ۱۱۰۱۰۰۰).
ـ یکبار همین مضروب که درعدد ۸ ضرب شود یعنی باسه صفر اضافه در سمت راستش (به‌عبارت دیگر ۱۱۰۱۰۰۰۰).

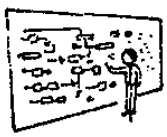
بنابراین می‌توانیم عمل‌ضرب را به‌ترتیبی که برایتان می‌نویسم انجام‌دهیم:

```
   11010  ×
    1101
  -------
   11010
   00000
  11010000
 110100000
 -----------
 1010100010
```



مبتدی‌ـ حالاکه به‌سیستم دو علامتی کاملاً عادت کـرده‌ام، عمل ضرب شما درست‌کاری راکه درسیستم ده‌تائی انجام می‌دهم بیادم می‌آورد چیزی که بیشتر ازهمه مرا ناراحت می‌کند جمع‌کردن حاصل‌ضرب‌های جزء به‌جزء است. اما تصور می‌کنم وقتی اینکار بخواهد با مدارها انجام شود، وحشتناك می‌شود.

ضرب‌کنندهٔ دوعلامتی

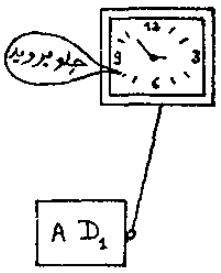


مهندس‌ـ نه، کار پیچیده‌ای خواهد بود. امـا با بکاربردن نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده که عمومیت پیدا کرده و شما کمی پیش از آن ناراحت بودید، دراین‌کار موفق می‌شویم. یادتان هست که روی این مونتاژها، می‌توان عدد نمایش داده‌شده را یك رقم جلو برد یعنی آنرا در ۲ ضرب کرد. برای اینکار کافی است درمونتاژشکل ۱۲۶، فرمانی به‌خط Z داده شود. گمان می‌کنم به‌اندازه‌کافی تمرین کـرده‌اید که

بتوانید با جرأت با شمای کامل چندبرابر کننده روبرو شوید مثل چیزی که درشکل ۱۳۲ برایتان کشیده‌ام. مضروب را روی نمایش‌دهنده ــ جابجاکنندهٔ AD_1 نمایش داده‌ایم، این مضروب طوری قرارگرفته که یکان در سمت راست، بعد با رفتن به‌سمت چپ دومان (D)، چهارمان (Q)، هشتمان (H) قرار دارند. فرمان Z_1 عددنمایش داده شده روی AD_1 را به‌سمت چپ جلو می‌برد.

مضروب‌فیه روی نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده AD_2 نمایش داده شده است. این‌بار یکان را کاملاً سمت چپ گذاشته‌ایم، دومان در راست آن، چهارمان بیشتر به طرف راست... و Z_2 فرمان جلوبردن نمایش مضروب فیه راهـم به‌طرف چپ پیش می‌برد. روی یك نمایش‌دهنده ــ جابجاکنندهٔ سوم کـه فقط به‌عنوان جمع‌کننده بکار می‌رود، حاصل‌ضرب نمایش داده خواهد شد. نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده‌های AD_1 و AD_2 به‌اندازهٔ کافی ورودی و خروجی دارند که عملیات تا آخر بتواند انجام‌شود.

مستطیل کوچکی که درسمت راست واقع شده است، یك‌مولد ضربه‌های‌تعیین آهنگ (یاساعت) است. همین مولداست که آهنگ‌پیش‌رفتن عملیات راتعیین‌می‌کند.



ببینیم درجریان رسیدن اولین ضربهٔ تعیین آهنگ چه‌می‌گذرد: این ضربه از مدار «و» G_1 خواهد گذشت برای اینکه رقم یکان، که روی AD_2 نمایش داده شده یـك است. خروجی‌های AD_1 و AD_2 را درلحظهٔ رسیدن اولین ضربهٔ تعیین آهنگ، برای شما در داخـل پرانتزها نوشته‌ام. پس این اولین ضربه از راه G_1 می‌گذرد. این ضربه به‌تمام مدارهای D که بین AD_1 و AD_2 واقع‌شده‌اند خواهد رسید واز تعدادی از این مدارها که در ورودی خودشان، که به‌وسیلهٔ خروجی همین ردیف از AD_1 فرمان داده‌می‌شوند رقم ۱ دریافت می‌دارند، دوباره‌خارج‌خواهدشد...

مبتدی‌ـ این مطلب کاملاً موحش است ومن چیزی از آن نمی‌فهمم!

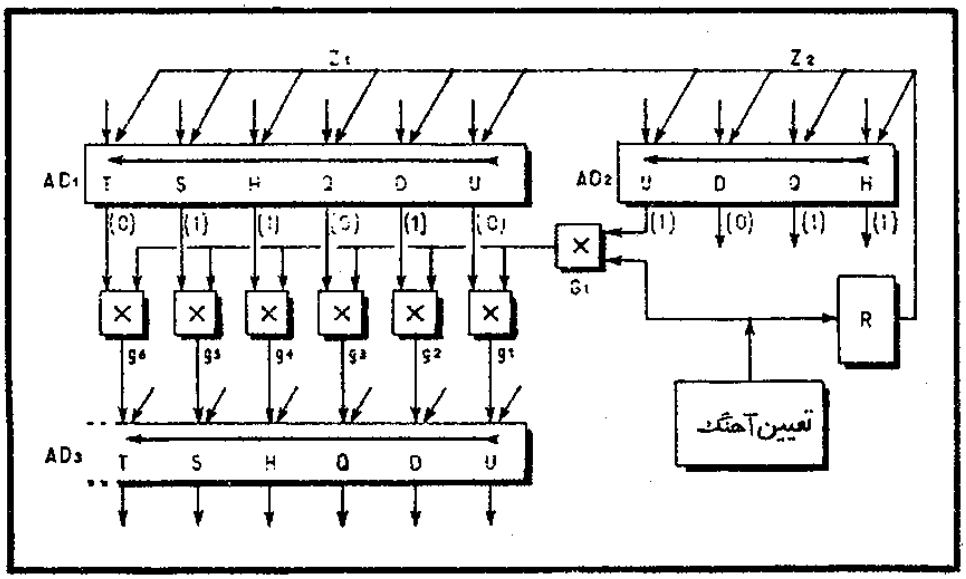
مهندس‌ـ جزئیات آنرا ازسرمی‌گیریم: می‌بینیدکه در خروجی U نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده AD_1 صفر وجود دارد، درسمت راستش روی خروجی D آن (دومان) رقم ۱ است، روی خروجی Q آن (چهارمان) صفر است، روی‌خروجی H و S (هشتمان و شانزدهمان) یك است. در اصل روی خـروجی یکان (U) AD_2 یك است. پس اولین ضربهٔ تعیین‌آهنگ از راه مدار «و» G_1 می‌گذرد. این ضربه به تمام ورودی‌های سمت راست مدارهای دیگر «و»، g_1، g_2، ... g_6 خواهد رسید. به‌سبب وجود عدد نشان داده شده روی AD_1، این ضربه: روی خروجی g_1 نیست، روی خروجی g_2 هست، روی خروجی g_3 نیست، روی‌خروجی‌های g_4 و g_5 وجود خواهد داشت. گمان می‌کنم که این‌بار فهمیده باشید؟

مبتدی‌ـ بی‌نهایت‌پیچیده‌است، اما باکمك‌گرفتن ازتمام چشمه‌های‌هوشیاریم تقریباً دارم می‌فهمم.

مهندس‌ـ خواهید دیدکه بقیهٔ آن دشوارتر نیست. می‌بینید که این اولین ضربهٔ تعیین‌آهنگ، نتیجه‌ای که خواهد داشت نمایش مقدار حاصلضرب روی AD_2 به‌مقدار واقعی است. وقتی این ضربه پایان یافت، مدار تأخیرانداز R (که زمان تأخیر آن‌کمتر از فاصلهٔ زمانی است‌که دوضربهٔ تعیین‌آهنگ را ازهم جدامی‌کند) یك‌فرمان‌جابجائی به Z_1 در AD_1 و به Z_2 در AD_2 می‌فرستد. برای AD_1 عدد نمایش داده شده یك رقم به‌چپ جابجا می‌شود. به‌عبارت دیگر چیزی‌که روی AD_1 نمایش داده شده حالا عدد ۱۱۰۱۰۰ است کـه قبلاً به‌آن برخورده بودیم. روی

$AD_۲$ عدد نمایش داده شده یك‌رقم به‌سمت چپ جابجا می‌شود، به‌عبارت دیگر، رقم قدیمی دومان (صفر) است‌که حالا به‌ورودی بالائی مدار $G_۱$ گذاشته می‌شود.

بنابراین ضربهٔ دوم تعیین‌آهنگ از راه $G_۱$ نخواهد گذشت، زیرا رقم دومان مضروب فیه‌که حالا به‌ورودی بالائی $G_۱$ گذاشته شده است، صفراست. به‌عبارت دیگر، حاصلضرب مضروب در ۲ به نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده $AD_۳$ فرستاده نخواهد شد.



شکل ۱۳۲ـ شمای‌کامل یك ضرب‌کنندهٔ دوعلامتی، که سه نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده و یك نوسان ساز تعیین‌آهنگ را مورد استفاده قرار می‌دهد. R یك تأخیرانداز ضربه‌ها است.

ضربهٔ دوم دوباره تأخیرانداز R را بکار خواهدانداخت. ضربهٔ تأخیری‌که ازآن‌خارج‌می‌شودبه‌وسیلهٔ $Z_۱$ روی $AD_۱$ و به‌وسیلهٔ $Z_۲$ روی $AD_۲$ اثرخواهدکرد.

بنابراین چون باز هم عدد نمایش داده‌شده روی $AD_۱$ را یك رقم به‌سمت چپ جابجا می‌کنیم، حالا روی $AD_۱$ عدد ۱۱۰۱۰۰۰ یعنی حاصلضرب مضروب در ۴ را نمایش خواهیم داد. همینطور مضروب فیه روی $AD_۲$ یك رقم جابجا شده است و حالا رقم چهارمان (۱) است‌که به‌ورودی بالائی $G_۱$ گذاشته شده است.

بنابراین سومین ضربهٔ تعیین آهنگ از راه $G_۱$ خواهد گذشت، و از آن دسته مدارهای g که به‌وسیلهٔ خروجی $AD_۱$ رقم یك را دریافت‌کنندنیزخواهدگذشت. این ضربه عددی را به $AD_۳$ می‌فرستدکه وابسته به حاصلضرب مضروب در عدد ۴ است (دو رقم به‌طرف چپ جابجا می‌شود).

مبتدی‌ـ اما اینکار مخلوط وحشت‌آوری روی $AD_۳$ به‌وجود می‌آورد!

مهندس‌ـ بهیچوجه. فراموش‌کرده‌ایدکه یك نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده می‌تواند جمع دوعدد موازی را بزند. برای اینکارکافی است دو عدد یکی بعد از دیگری روی آن نمایش داده شود.

مبتدی‌ـ اما بمن‌گفتیدکه این نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده خیلی طول می‌دهد تا این جمع را بزند...

مهندسـ گزافه‌گوئی نکنیم چون‌زمانی‌که برای اینکار طول می‌کشدبرابر مجموع تأخیرهائی است‌که تأخیراندازها درآن بوجود می‌آورند. اما فقطمی‌تواند درچند میکروثانیه عمل کند. بهرصورت زمان لازم را به‌آن می‌دهیم به‌این ترتیب که‌ضربه‌های‌تعیین آهنگ‌راخیلی تندنمی‌فرستیم.وقتی‌سومین‌ضربهٔ تعیین آهنگ گذشت، به‌وسیلهٔ R دچار تأخیر می‌شود، دوباره در AD_1 برای مضروب و در AD_2 برای مضروب فیه جابجائی بوجود می‌آورد. حالا مضروب با سه صفر در سمت راست آن (یعنی ضرب‌شده در ۸) در روی AD_1 نمایش داده شده است. روی AD_2 حالا رقم هشتمان‌هاست‌که به‌ورودی بالائی G_1 گذاشته شده است یعنی رقم ۱ است.

چهارمین ضربهٔ تعیین آهنگ، کـه می‌تواند به‌وسیلهٔ G_1 بگذرد چون رقم هشتمان درمضروب فیه یك است، به‌وسیلهٔ مدارهای g نمایش حاصلضرب مضروب در عدد هشت را روی AD_3 ایجاد خواهدکرد. AD_3 بازهم این عدد تازه‌را به‌آنهائی که قبلاً جمع‌کرده بود، اضافه می‌کند. بنابراین حاصلضرب بدست خواهدآمد.

مبتدیـ پس باید برای ازکارانداختن سیستم تعیین آهنگ‌خیلی دقت‌کرد؟

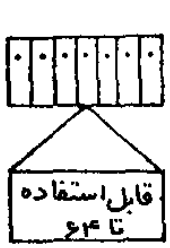
مهندسـ اینکار اصلاً لازم‌نیست. فراموش نکنیدکه پس‌از چهارمین‌ضربه، که با تأخیر به Z_2 گذاشته‌می‌شود، نمایش‌دهندهٔ AD_2 «خالی» شده است. اگرضربه‌های دیگر به‌دنبال آن برسند، دیگر از راه G_1، کـه همیشه روی ورودی بالائی خود صفر دارد، عبور نخواهندکرد.

مبتدیـ من این روش فنی دو علامتی را خیلی ستوده‌ام، بنظر مـن این ضرب‌کننده‌کابوس الکترونیسین‌های بیمار است!

مهندسـ قبول دارم‌که باید زیاد دقت‌کرد تا کارآنرا فهمید. دراین‌صورت تقسیم‌کننده را به‌شما هدیه می‌کنم‌که باز هم پیچیده‌تر است وکار آن به‌صورتی مثل آزمایش، لمس‌کردن و تفریق است!

قلمروی‌کاربرد ماشین‌حساب‌ها

مبتدیـ آقای مهندس نمی‌خواستم شمارا ناراحت‌کنم اما بنظرم می‌آیدکه این ماشین‌حساب‌ها تجسم یـك بمب هیدروژنی را برای انسان بوجود می‌آورندکه برای‌کشتن مگس درست شده باشد. تعدادزیادی ترانزیستور، دیود وعنصرهای‌دیگر را رویهم ریخته‌اید و همهٔ اینها را بـرای ضرب ۲۶ در ۱۳ گرد آورده‌اید! واقعا کاربرد وسایل بزرگ برای‌کارکوچك است.

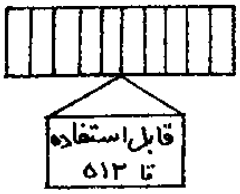


مهندسـ الان روی یکی‌ازکاربردهای‌مهم ماشین‌حساب‌ها انگشت‌گذاشتید. درواقع با اضافه‌کردن طبقه‌های‌اضافی به‌ضرب‌کنندهٔ شکل ۱۳۲، یعنی باامتدادادن نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده و اضافه‌کردن مدارها به‌آن، امکانات آنرا بطور منظم بالا می‌برم.

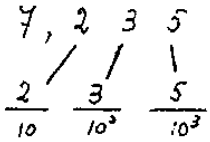
مبتدیـ بله، اما درعین‌حال پیچیدگی آنرا افزایش می‌دهید.

مهندسـ درست است، امـا چیزی‌که شما نمی‌بینید، نقطهٔ بعدی است چون هربار که یك «بخش» به‌نمایش‌دهنده ـ جابجاکننده و یـك طبقه g اضافه می‌کنم، امکان بکاربردن عددهائی‌که یك رقم اضافه‌تردارند بوجود می‌آورم، به‌عبارت دیگر عددهائی‌که دوبرابر بزرگترند می‌توانم بکار ببرم به‌این معنی‌که هربارکه یك طبقه

اضافه می‌کنم، ظرفیت ماشین را دوبرابر می‌کنم.



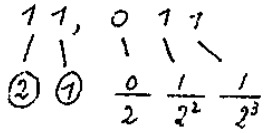
به‌عبارت دیگر وقتی یك ماشین‌حساب بتواند اعداد ۴ یا ۵ رقمی را بکار ببرد، اگر از نظر نسبت پیچیدگی ساخت به‌نتیجه بدست آمده کاملاً شوم باشد، برعکس وقتی روی اعداد ۲۰ یا ۳۰ رقمی کارکند، بسیار جالب خواهد بود. مثلاً با ۳۰ رقم، روی اعداد درحدود میلیاردکار می‌کنیم و نتیجه در یك زمان‌کوتاه به‌ما داده می‌شود. به‌عبارت دیگر، ماشین‌حساب‌ها اساساً برای این هستندکه دقت زیادی روی اعداد با رقم‌های زیاد به‌ما بدهند.



برپایهٔ ده

مبتدی‌ـ اگر خوب فهمیده باشم می‌خواهید بگوئیدکه وقتی تعداد طبقه‌ها با تصاعد حسابی زیاد می‌شود، امکانات ماشین‌ها با تصاعد هندسی افزایش پیدا می‌کند؟

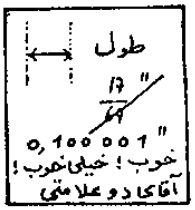
مهندس‌ـ خدایا! بدادم برس! چون خیال می‌کردم همیشه فهمیدن مطالب برایتان دشوار است، این بودکه‌کوشش‌کردم تا به‌زبان‌ساده مطلب‌را برایتان‌بگویم. بله‌کاملاً حق با شماست.



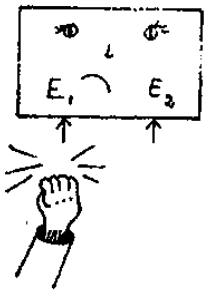
دوعلامتی

مبتدی‌ـ راستی دربارهٔ دقت برایم حرف زدید؛ بیشتر کار آنها را دربارهٔ عددهای بزرگ قبول‌دارم نه عددهای‌دقیق. عددهای دو علامتی بخش‌کسری‌ندارند.

مهندس‌ـ اینهم خبر تازه‌ایست!کاملاً می‌توانید یك عدد دوعلامتی‌بنویسید که یك ممیز داشته باشد و بعد از آنهم عدد قرار گرفته باشد. مثلاً معنی عدد ۱۱/۰۱۱ اینست: ۳ عدد صحیح (یك‌بار ۲ و یك‌بار ۱) و در سمت راست ممیز، رقم اول صفر است‌که معنی‌اش اینست‌که نصف ($\frac{1}{2}$) وجود ندارد، رقم دوم یك است‌که معنی‌اش اینست‌که $\frac{1}{4}$ وجود دارد، سومین رقم بازهم یك است‌که‌معنی‌اش اینست‌که $\frac{1}{8}$ هم وجود دارد. به‌عبارت دیگر قسمت راست ممیز معنی‌اش اینست‌که باید صفر را با $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{8}$ جمع کنیم، یعنی $\frac{3}{8}$. می‌بینیدکه‌کاملاً می‌توان‌ازاعداد کسری صحبت‌کرد، درست مثل اعداد پایهٔ ده با بکاربردن ممیز.



مبتدی‌ـ این یك سیستم عددنویسی است‌که به‌ویژه انگلیسی‌ها باید ازآن خوششان‌بیاید. چون اینچ آنها به‌نصف، یك‌چهارم، یك‌هشتم وغیره تقسیم می‌شود. با این روش عددنویسی صحبت‌کردن دربارهٔ $\frac{17}{64}$ اینچ نسبتاً ساده است!



مهندس‌ـ اقرار می‌کنم‌که فکرش را نکرده بودم. اما درواقع می‌شودفکر کردکه این روش‌کسری عددهای دو علامتی برای خشنودی‌کسانی‌که این اینچ‌های غیرواقعی و اجزاء آنرا بکار می‌برند، اختراع شده است. حالا برای‌اینکه تصوری از مجموعهٔ این ماشین‌های حساب داشته باشید، باید چندکلمه‌ای دربارهٔ سیستم‌های حافظه صحبت‌کنیم.

مبتدی‌ـ چه فکر عجیبی. به‌چه درد می‌خورد؟

حافظه‌ها

مهندس- حافظه‌ها درماشین‌های حساب، همان نقشی را بازی می‌کنند که کاغذ در موقع حساب کردن برای شما دارد. باید نتیجه‌های بدست آمده ضمن کار را یادداشت کرد تا بتوان بعداً از آنها استفاده کرد. دراینجا به‌کمك کاربرد عدد نویسی دو علامتی، کاری نداریم جزاینکه بودن یا نبودن را روی بعضی‌از راه‌ها (یا کانال‌ها) که وابسته به‌صفرها و یك‌ها هستند، یادداشت کنیم. بساید نتیجهٔ یك عمل (یا یك عدد داده شده) بتواند نشان داده شود.

مبتدی- اما قبلاً دربارهٔ آن برایم صحبت کرده‌اید. اینکار را روی یك نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده بخوبی می‌شود انجام داد.

مهندس- درست است، سیستم نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده شامل قپان‌هائی هستند. این قپان‌ها امکان یك‌نوع سیستم حافظه را نشان می‌دهند. برحسب آنکه در حال استراحت ویا حال توازن باشند، نشان‌دهندهٔ رقم صفر یا یك هستند.

مبتدی- در ایــن صورت به‌عنوان حافظه از نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده استفاده می‌کنیم؟

مهندس- دربعضی موارد این‌کار ممکن است انجام شود، اما بیشتر وقت‌ها راه‌حلی‌است که بیهوده‌گران است. می‌توانیم به‌قپان‌های ساده اکتفا کنیم. آنهارا با ضربه‌هائی‌که باید درحافظه قرار بگیرند، به‌وسیلهٔ یکی‌از ورودی‌هایشان زیر تأثیر می‌گیریم. به‌این‌ترتیب قپان‌هائی‌که یك ضربه دریافت می‌کنند به‌وضعیت‌کار می‌روند وتا موقعی‌که آنها را دوباره صفر نکنند بهمان وضع باقی می‌مانند.

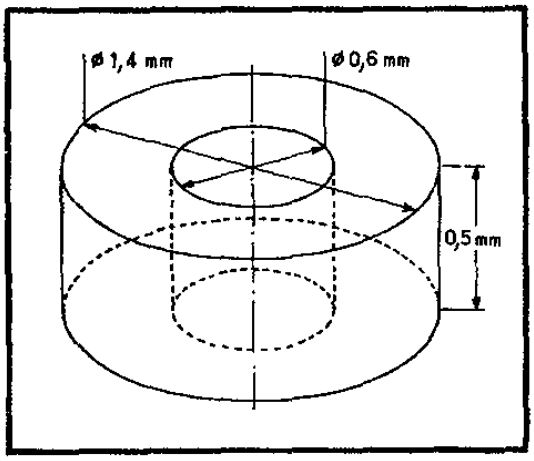
اما می‌خواستم چندکلمه دربارهٔ دستگاه حافظهٔ‌ساده صحبت‌کنم. دستهٔ جالبی از این سیستم وجود داردکه حلقهٔ‌کوچك فریت را بکار می‌برد (فریت به‌ترکیبی از آهن، اکسیژن و چند فلز دیگر گفته می‌شودکه برحسب تکنیك سرامیك‌ها ساخته شده‌اند).

مبتدی- آه، درست، دارم به‌شرح این «هسته‌های با منحنی بستهٔ مستطیلی» می‌رسم‌که صحبتش را شنیده بودم اما نمی‌فهمیدم منظور چیست.

مهندس- درست همانها هستند. می‌توان فریت‌هائی ساخت کـه وقتی زیر اثر یك میدان مغناطیسی با شدت‌کافی قرار بگیرند، خاصیت مغناطیسی خود را در یك جهت یا درجهت دیگر حفظ‌کنند. فــرض کنید حلقهٔ‌کوچکی شبیه به‌آنچه بشما نشان می‌دهم (شکل ۱۳۳) داشته باشیم...

مبتدی- خوب، اگر ذره‌بین نداشته باشید، به‌زحمت می‌توانید آنرا ببینید و یا پیداکنید!

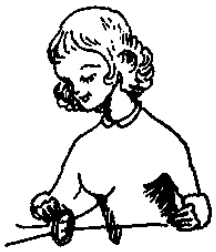
مهندس- درواقع جالب‌بودن سیستم در همین است چون ابعاد کوچك آن بهما امکان می‌دهد حافظه‌هائی باتعداد نسبتاً زیادی عنصر بسازیم‌که در حجم‌کوچکی جای بگیرند. یك سیم رسانا از سوراخ این حلقهٔ کوچك می‌گذرانیم و جریانی از آن عبور می‌دهیم، با حلقه‌ای‌که گفته‌شد، اگرشدت جریان مثلاً از ۰/۷ آمپر بیشتر شود، تمام سیستم در یك جهت مغناطیس می‌شود، درحالی‌کـه خطوط نیروی میدان مغناطیسی در حلقه بسته می‌شوند.



شکل ۱۳۳- حلقهٔ فریت که برای نگه‌داشتن یك حافظه به‌وسیلهٔ جهتی که مغناطیس شده است، بکارمی‌رود.

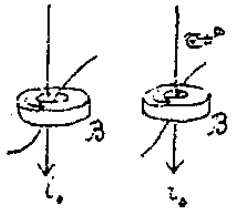
مبتدی- آیا در این صورت این حلقه برابر با یك مغناطیس است؟

مهندس- نـه، حلقه هیـچ میدان مغناطیسی خارجی ندارد، چون خطوط نیرو در داخل فریت بسته می‌شوند. امـا وسیله‌ای در اختیارماست که بدانیم درکدامیك از دو جهت مغناطیس شده است. فرض کنید که حلقه به‌وسیلهٔ جریانی که از ۰/۷ آمپر بیشتر است و در یـك جهت از سیم می‌گـذرد مغناطیس شده بـاشد، جـریانی بیشتر از ۰/۷ آمپر را درجهت عکس از همین سیم می‌گذرانیم می‌بینیم که جهت مغناطیس حلقه معکوس می‌شود.

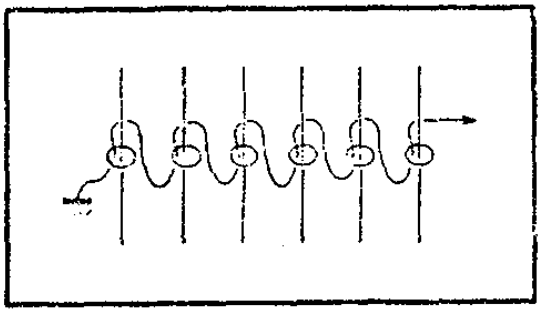


مبتدی- بدون گفتگو حرفتان را قبول می‌کنم، امـا پیشرفت بیشتری از قبل نکرده‌ام چون حلقهٔ کوچك هنوز هم میدان خارجی ندارد.

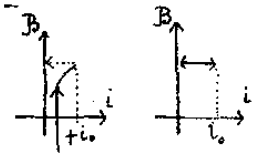
مهندس- با شما موافقم. اما فرض کنید کـه سیم دومی هم از حلقه عبور دهیم. این سیم یك‌نوع مدار ثانوی برای مبدلی به‌حساب می‌آیدکه یك سیم بیشتر ندارد وسیم اول مدار اولیهٔ آنست و فریت هسته آهنی مبدل را تشکیل می‌دهد. وقتی جهت مغناطیس درحلقه‌گردش می‌کند، فشاری روی این سیم دوم القاء می‌شود. بنابراین وسیله‌ای دراختیار داریم که بدانیم آیا جهت مغناطیس درحلقه عوض شده است یا نه.



ده حلقهٔ نظیر همین‌را درنظر بگیرید. ازهرکدام ازآنها یك سیم‌جداگانه عبور می‌کندکه سیم ثبت نام دارد. فقط یك سیم هم، پشت‌سرهم از تمام حلقه‌ها می‌گذرد. همین سیم است کـه آنـرا سیم خواننده (قرائت‌کننده) می‌نامیم و به‌ترتیبی است که برای شما درشکل ۱۳۴ نشان داده‌ام. کار را باگذاشتن سیستم در وضعیتی

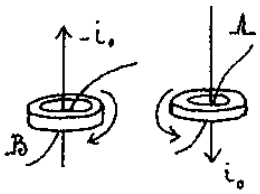


شکل ۱۳۴- حافظهٔ مغناطیسی ازهسته‌های قابل‌مغناطیس‌شدن‌تشکیل شده‌است که از هرکدام از آنها یك سیم ثبت -بهرش (عمودی) و یك سیم خواننده می‌گذرد.

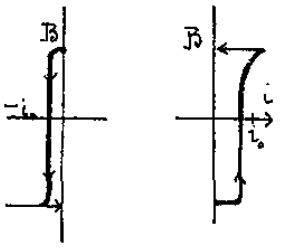


که آنرا صفر می‌نامیم شروع می‌کنیم و این‌کار را با عبوردادن جریانی بیشتر از ۰/۷ آمپر در سیمهای عمودی از بالا به‌پائین انجام می‌دهیم. اینکار را پاك‌کـردن حافظه می‌گویند. حالا در تعدادی از سیم‌های وابسته به‌محل‌هائی که می‌خواهیم در

آنجا یك واحد داشته باشیم (یك واحد یادداشت کنیم) جریان‌هائی بیشتر از ۰/۷ آمپر ازپائین به‌بالا می‌گذرانیم. حلقه‌های وابسته به‌این سیم‌ها، میدان مغناطیسی معکوس پیدا می‌کنند. حالا برای پرسش از حافظه، جریانی بالاتر از ۰/۷ آمپر را در هریك از سیم‌ها از بالا به پائین می‌فرستیم. حلقه‌هائی‌که در جریان یادداشت رقم‌ها جریانی ازپائین به‌بالا دریافت‌کرده‌اند، میدان مغناطیسی معکوسی پیدا می‌کنند و روی سیم خواننده جریانی القاء می‌کنند. می‌بینیدکه به‌این‌ترتیب حافظه‌ای درست‌کرده‌ایم.



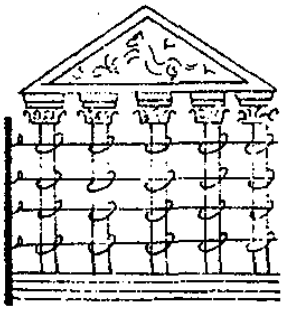
مبتدی‌ـ درواقع متوجه شدم، اما از یك‌چیز متاسفم وآن اینست‌که برای خواندن نتیجهٔ این حافظه، مجبورید در همان‌حال آنرا پاك‌کنید. از طرف دیگر، این سیستم حلقه‌های ردیف‌شده‌که به‌تعداد مفروضاتی که باید ثبت شود سیم دارد به نظر من‌کمی درهم است.



حافظه با خطوط و ستون‌ها

مهندس‌ـ قطعاً یکی‌از نقص‌های این سیستم اینست کـه حافظه،خواننده‌ای داردکه آنرا ازبین می‌برد. می‌توان دستگاههای مخصوصی را درنظرگرفت‌که وقتی ضمن خواندن، یك هستهٔ مغناطیس‌شده (که نمایندهٔ یك واحد است) پیدا کـردند، آنچه راکه در داخل آن ثبت شده است بلافـاصله پس‌از خواندن دوباره ثبت می‌کنند.این‌کارموضوع راکمی پیچیده‌تر می‌کند، اما ساختن آن متداول است.

واردجزئیات صفحه‌های فریتی با چندین سوراخ نمی‌شوم‌که آنهاهم‌خواندن بدون ازبین‌بردن را امکان‌پذیر می‌کنند. ترجیح می‌دهم به‌پرسش دوم شماکه دربارهٔ پیچیدگی سیستم است پاسخ بدهم. می‌توان به‌روش زیر آنـرا بمقدار زیادی بهتر کرد: برای ثبت واحد دریك هسته و برای خواندن چیزی‌کـه درآن ثبت شده یك سیم بکار نمی‌بریم بلکه از دوسیم استفاده می‌کنیم، در هریك‌از این سیم‌ها، جریانی به‌شدت ۰/۴ آمپر می‌فرستیم. بنابراین اگر فقط دریك سیم جریان بفرستیم، ثبتی وجود نخواهد داشت، ثبت وقتی وجود داردکه در یك زمان به‌هردو جریان بدهیم.



مبتدی‌ـ این یك‌نوع مدار «و» است.

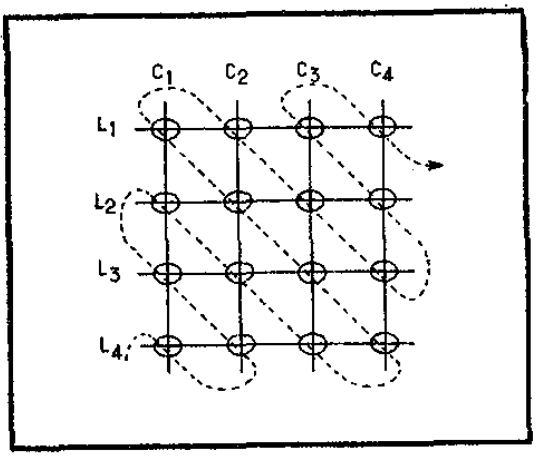
مهندس‌ـ کاملاً درست است. جالب‌بودن این سیستم دراینست‌که به‌ما امکان می‌دهد ثبت را به‌صورت خط و ستون انجام دهیم. درشکل ۱۳۵ می‌بینید ۱۶ هسته دراختیارمن است‌که درنقطهٔ برخورد چهارستون C_1 ... C_4 وچهار خط L_1 ... L_4 واقع شده‌اند. سیم خواننده ازتمام این هسته‌ها می‌گذرد و به‌صورت نقطه‌چین‌نمایش داده شده است. برای ثبت یك رقم درستون سوم و خط دوم، یك جریان ۰/۴ آمپر را درسیم C_3 از بالا به‌پائین و درسیم L_2 از چپ به‌راست می‌فرستم. فقط هسته‌ای که درنقطهٔ تقاطع این دوسیم قرارگرفته است، معادل جریان ۰/۸ آمپر را دریافت خواهدکرد و به‌وضعیت مغناطیسی وابسته درخواهد آمـد. وقتی بخواهیم آنچه در این هسته نوشته شده بخوانیم، جریان‌های پرسش ۰/۴ آمپر را در C_3 ازپائین به بالا و در L_2 از راست به‌چپ خواهیم فرستاد. اگر هستهٔ ستون سوم خط دوم ثبتی دریافت‌کرده باشد، و فقط درهمین‌حالت، در سیم خواننده فشاری القاء می‌شود.

به‌این‌ترتیب می‌بینیدکه با ۱۶ خط و ۱۶ ستون می‌تـوانم چیزی درست

کنم که آنرا «صفحهٔ حافظه» می‌نامند و ۲۵۶ عنصر دارد که در حجم بسیار کوچکی جای گرفته است.

مبتدی- درواقع بسیار زیرکانه‌است، اما نمی‌خواهم بجای کسانی باشم که چنین حافظه‌ای را درست می‌کنند چون واقعاً مثل بافتنی خانمهاست.

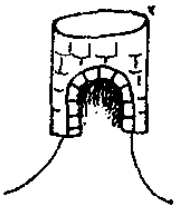
مهندس- واقعاً هم سازندگان این صفحه‌های حافظه خانمها هستند. به‌اینکار «بافت» می‌گویند چون درحقیقت شباهتی بین ساختمان آن و بافتن پارچه وجود دارد. با یکجا گردآوردن تعداد زیادی ازاین صفحه‌ها بطور موازی، یك حافظهٔ مجموع بدست می‌آورند که امکان می‌دهد تعداد بسیار زیادی رقم داده شده را ثبت کنیم.



شکل ۱۳۵- حافظهٔ مغناطیسی به صورت تابلوی مربع هسته‌ها. سیم نقطه‌چین، سیم خواننده است، که وقتی در محل برخورد دو سیم یك هستهٔ مغناطیس‌شده را مورد پرسش قرار می‌دهند، روی آن فشارهائی بدست می‌آید.

برای اینکه نمونهٔ دیگری، که در قلمروی حافظه‌ها بسیار جالب‌است، به‌شما نشان دهم، توجه شما را به‌کاربرد دیودهای تونلی جلب می‌کنم.

حافظه با دیود تونلی



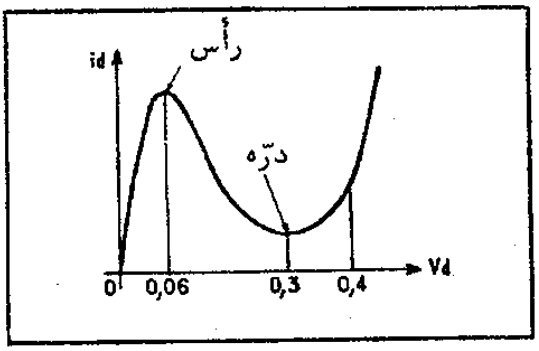
مبتدی- این دستگاهها را خیلی کم می‌شناسم و بهیچوجه نمی‌دانم چطور آنها را برای ساختن حافظه بکار می‌برند.

مهندس- یك دیود تونلی، دیودی است که از یك فشار الکتریکی به بعد (آنرا ۰/۴ ولت می‌گیریم) مثل دیود معمولی درجهت هدایت کار می‌کند. برای فشارهائی کمتر از این مقدار، باز هم درجهت مستقیم، می‌بینیم که وقتی فشار کم می‌شود، برخلاف انتظار جریان دیود افزایش می‌یابد. بنابراین دراین قسمت منطقه‌ای هست که مقاومت منفی دارد. برای یك فشار مخصوص که آنرا فشار «رأس» می‌گویند، جریان دیود از یك مقدار حداکثر می‌گذرد و اگر به‌کم کردن فشار در دوسر دیود ادامه بدهند، این‌بار جریان بسیار تند کاهش می‌یابد و به‌صفر می‌رسد. در شکل ۱۳۶ منحنی نمایش تغییرات جریان دیود را برحسب فشار دو سر آن کشیده‌ام. چنین دیود تونلی اگر از یك فشار داده شده به‌بعد از راه یك مقاومت تغذیه شود، یك سیستم دوثابتی بما می‌دهد.

مبتدی- که اینطور، من که بهیچوجه نمی‌دانم چگونه است!

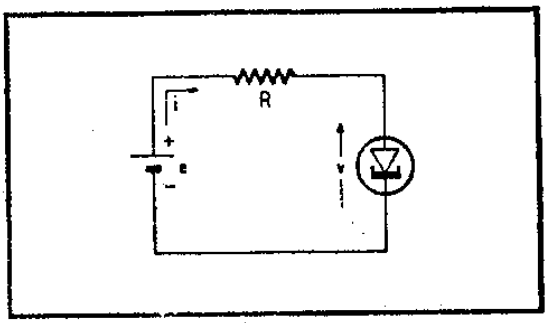
مهندس- مونتاژ شکل ۱۳۷ را که حتماً قبول می‌کنید چندان پیچیده نیست، بررسی کنید. ما درپی آن هستیم که جریان i را در دیود و فشار دو سر آن v را مشخص کنیم. باید دومقدار i و v پیدا کنیم که درعین‌حال مصرف‌کننده (دیودتونلی)

و تهیه‌کنندهٔ (قوهٔ خشك یا نیروی محرکهٔ e و مقاومت داخلی R) را راضی کند. منحنی نیازهـای مصرف‌کننده، منحنی شکل ۱۳۶ است. منحنی نشان‌دهندهٔ رابطهٔ بین v و i که به‌وسیلهٔ تهیه کننده تحمیل می‌شود یك خط راست است همانطور که قانون اهم می‌خواهد. این خط راست همانست که شما زیر نام «خط راست‌بار» می‌شناسید. درشکل ۱۳۸ منحنی مشخصهٔ دیـود تـونلی و خط راست‌بار را کشیده‌ام به این ترتیب می‌بینید که می‌توان به‌عنوان دومقدار v و i که وابسته به حالت ثابت هستند، مقادیری را پیدا کرد که از راه رسم به‌وسیلهٔ نقطه‌های A و B نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۳۶- منحنی مشخصهٔ فشار - جریان یك دیود تونلی ژرمانیومی.

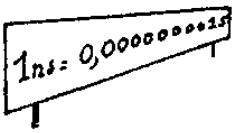
مبتدی- این دیود واقعاً عالی است چون ساختن یك سیستم دوقطبی با یك قوهٔ خشك، یك مقاومت و یك دیود بسیار عـالی است. اما با نقطهٔ C چه می‌کنید، آیا آنهم یك حالت ممکن را مشخص می‌کند؟



شکل ۱۳۷- مونتاژ دیود تونلی به‌صورت عنصر حافظه.

مهندس- ممکن هست اما ثابت نیست. دراین‌محل، مقاومت دینامیك دیود تونلی منفی است وحالت وابسته به‌آن نمی‌تواند حفظ شود.

می‌بینید با یك دسته از دیودهای تونلی به‌این‌ترتیب می‌توانیم حافظه‌هائی بسازیم. امتیاز این سیستم دراینست که دسترسی به‌این حافظه بی‌نهایت سریع است، به‌عبارت دیگر ثبت دربخش کوچکی از میکروثانیه انجام می‌شود. دراینجا زمان‌را بیشتر با نانوثانیه یعنی یك‌میلیاردیم ثانیه اندازه می‌گیرند. در هسته‌های فریتی در بهترین وضع، زمان ثبت به‌میکروثانیه‌می‌رسید چون‌درواقع باید به‌ماده مدتی‌فرصت داد تا مغناطیس آن به‌توازن درآید. بـا تغذیه هردیود تونلی به‌وسیلهٔ دو مقاومت می‌توانیم با دیودهای تونلی سیستم‌های ثبتی به‌صورت خطوط وستون‌ها مانندهسته‌های فریت بسازیم. همینطور با این دیودها به‌آسانی می‌توان خواننده‌هائی‌ساخت که

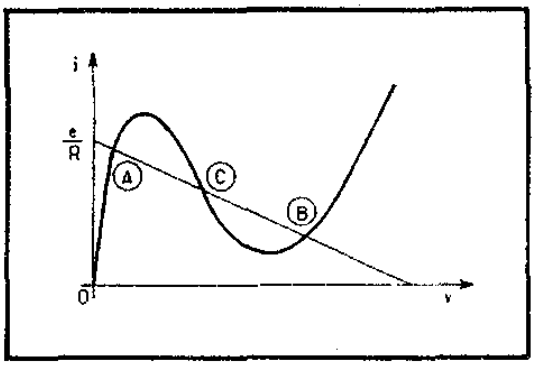


حافظه راهم ازبین نبرند.

مبتدی- هیچ شکی نیست‌که اگر یك روز ماشین حساب درست‌کنم، حافظهٔ آن از دیود تونلی است!

مهندس- فکر خوبی است. بدبختانه فقط یك عیب داردکه بزودی‌ازشدت آن‌کاسته می‌شود وآن اینست‌که این دیودهای تونلی نسبتاً گران هستند. بدون شك امکان‌تازه‌وجالبی‌درقلمروی‌حافظه‌هاوجود داردکه«اوویستور Ovistors»می‌باشد (از نام Ovhinsky مخترع آن‌گرفته شده است). منظود دیودهائی است‌که نیمه هادیهائی از جنس شیشه دارندکه معمولاً یك عایق تقریباً کامل است. این دیود از یك فشار الکتریکی به‌بعدکه به‌دوسر آن‌گذاشته شود، دچار تغییر وضعیتی می‌گردد که بسیار سریع است (به‌نظر می‌رسدکه زمان‌های پاسخ درحدود همان‌زمان‌های دیود تونلی است)که آنرا به‌وضع رسانا بودن می‌رساند. برحسب جنس ماده این حالت ممکن است پس‌از قطع تمام فشار باقی بماند (دراینصورت یك‌ضربه در جهت عکس لازم‌است تا اوویستور را به‌وضع اولیه درآورد) یا اینکه نگهداشته‌نشود مگرآنکه فشار دوسر دستگاه را ازیك مقدار حداقل‌کمتر نکنند.

اگر بتوانند این دیودها را با بهای‌کم تهیه‌کنند، عنصرهای حافظهٔ بسیار جالبی تشکیل می‌دهند.

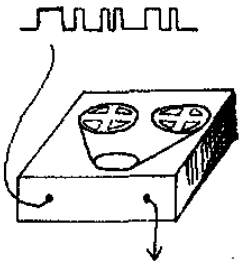


شکل ۱۳۸- سه حالت ممکن مونتاژ شکل ۱۳۷. نقطه‌های A،B و C وابسته به‌حالت‌های ثابت هستند.

حافظه برای عددهای پیاپی

مبتدی- اگر می‌خواستم یك عدد پیاپی را درحافظه نگه دارم، چطور می‌توانستم اینکار را بکنم؟

مهندس- بطور ساده آنرا مثل یك علامت معمولی روی نوار مغناطیسی ثبت می‌کنید. همینطور غالباً یك‌استوانه راکه پوشش اکسید مغناطیسی دارد وبسیار تند می‌چرخد بکار می‌برندکه روی آن سرهای متعدد مغناطیسی کار ثبت مشخصات وابسته را روی راههای زیادی انجام می‌دهند. نقص این دستگاه اینست که زمان دسترسی به‌حافظه نسبتاً زیاد است.



مبتدی- راستی آقای مهندس، بمن نگفتیدکه اعداد پیاپی‌را چطورمی‌توان درهم ضرب کرد.

مهندس- اقرار می‌کنم که شمای ضرب‌کنندهٔ اعداد پیاپی را نمی‌دانم. اما اگر شمای ضرب‌کنندهٔ شکل ۱۳۲ را بررسی‌کنید مشاهده خواهیدکردکه مضروب فیه و مضروب روی نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده نمایش داده شده‌اند. ازطرف‌دیگر به‌شما گفته‌ام‌که این دستگاه‌ها تبدیل یك‌عدد پیاپی را به‌یك عدد موازی به‌سادگی

امکان‌پذیر می‌سازند. اگر دوعدد پیاپی داشتم‌که می‌خواستم درهم ضرب کنم،کار را با تبدیل آنها به‌عدد موازی روی نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده‌های AD_1 و AD_2 شکل ۱۳۲ آغاز می‌کردم.

پس حـالا اساس سیستم‌های جمع‌کننده، تفریق‌کننده و ضرب‌کنندهٔ ماشین حساب‌ها راکه در انجام عملیات بزرگ حساب با سرعت زیاد، نقش بازی می‌کنند، می‌شناسید.

مبتدیــ در واقع با این حرف تقریباً موافقم، اما با افزودن دشواری‌ها و ضرب‌کردن‌دام‌ها یا تله‌ها، تمام مادهٔ خاکستری مغز من را تفریق‌کرده‌اید واحساس می‌کنم‌که حافظه‌های من کاملاً نیروی مغناطیسی خودشان را از دست داده‌اند. اگر ناراحت نمی‌شوید،گمان می‌کنم بهتر باشد دفعهٔ دیگر به صحبت‌هایمان ادامه دهیم، حتی اگر ایـن جلسه چند روز بعد باشد بهتر است تا من بتوانم از ایـن «حمام دیژیتالی»که در آن فرو رفته‌ام، بیرون بیایم.

مبحث پانزدهم

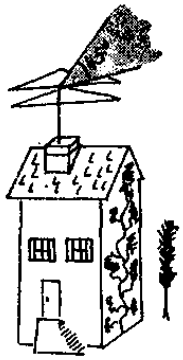
مبتدی نزدیك است مهندس مشاور شود! او یك سیستم فرمان آنتن درست‌کرده است. اما می‌خواهد به نتیجه‌های بهتری برسد. مهندس نخواهد گذاشت که این موقعیت‌غیرمنتظره برای یاددادن ماشین‌های‌فرمان‌دهنده به‌او (با خطرهای پنهانی به‌نوسان‌آمدن تمام این مجموعه‌ها) و شباهت آن با یك تقویت‌کنندهٔ ضد واکنشی، از دست برود.

ماشین‌های فرمان‌دهنده

مبتدی- آه آقای مهندس، از دیدار شما خوشحالم، چون احتمالاً راه‌حل مسئله‌ای راکه فکرم را خسته‌کرده است خواهیدگفت.

مهندس- شروع کنید، همهٔ آنرا به‌روشنی برایم‌شرح بدهید، من‌سراپاگوشم.

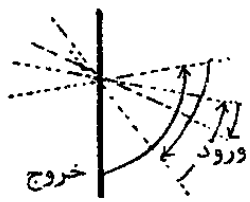
ارسال دوبارهٔ وضعیت



مبتدی- یکی‌از دوستانم‌که برای‌سرگرمی ارتباط رادیوئی برقرارمی‌کند (دوستدار اینکار است)، یك آنتن جهت‌پذیر دارد. از من خواسته است به‌او کمك کنم تا یك سیستم جهت‌دادن بـه آنتن بسازد چون از آپارتمان خودش نمی‌تواند آنتن موردبحث را ببیند و می‌خواهد بداند آنتن به‌کدام‌طـرف متوجه است. به او پیشنهادکردم برای شناختن وضعیت آنتن آنرا به‌یك پتانسیومتر وصل‌کند، چون شما بمن آموختیدکه می‌توان آنهارا برای اعلام وضعیت بکار برد.

مهندس- راه‌حل خوبی است، اما می‌دانید که نمی‌توانید آنرا برای یك دورکامل بکار ببرید چون یك پتانسیومتر یك زاویهٔ مرده دارد.

مبتدی- می‌دانم، اما درحال حاضر اهمیتی ندارد چون دوست مـن قربانی ساختمان نزدیك منزلش شده است کـه ارسال امواج رادیوئی را بـرای او در یك زاویهٔ ۴۵ درجه غیرممکن می‌سازد. بنابراین گردش آنتن او محدود است، حتی در مکانیسم آن خارهائی گذاشته شده است‌که آنرا دورتر از حد مـورد نیاز نبرند (شکل ۱۳۹). برای او پتانسیومتری پیداکردم‌که زاویهٔ مردهٔ آن ۵ درجه است و به‌اوکمك‌کردم تا برای فرمان‌دادن به‌موتور وآنتن دستگاهی به‌وسیلهٔ دوترانزیستور بسازد تا بتوان تمام آنرا با یك‌کلید بسیارکوچك فرمان داد. یك ولتمترکه فشار را بین سر متحرك پتانسیومتر و یکی‌از دو انتهایش اندازه می‌گیرد، امکان‌شناختن وضعیت آنتن را فراهم می‌آورد.



مهندس- تمام آن بسیار خوبست. نمی‌دانم درچه مورد می‌توانم بشماکمك کنم. احساس می‌کنم‌که مسئله‌ای‌که برای شما طرح‌کرده‌اندکاملاً حل‌کرده‌اید.

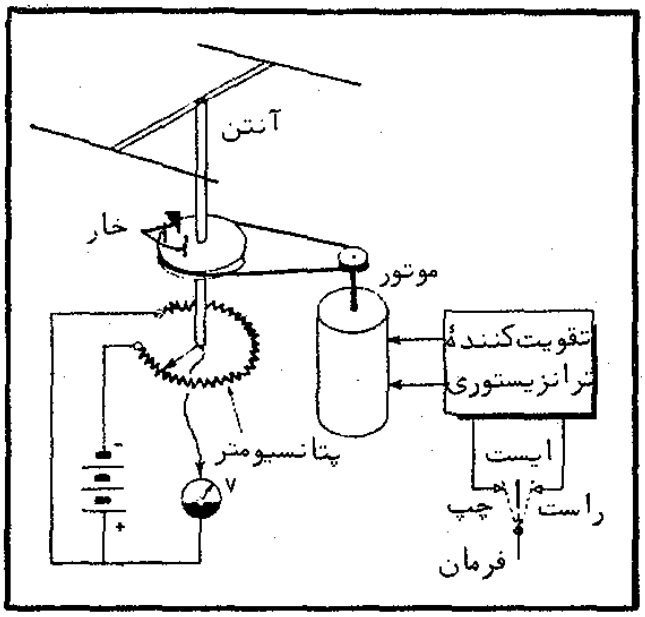
مبتدی- آه... تقریباً نصف‌آنرا. درواقع من و دوستم ازنتیجهٔ بدست‌آمده چندان خشنود نیستیم. موتور دور برمی‌دارد و وقتی شروع به‌گردش می‌کند برای اینکه وضعیت مورد نظر را بدست بیاوریم باید کمی جلوتر آنرا قطع‌کنیم. غالباً

از این موقعیت می‌گذریم و باید آنرا به‌عقب برگرداند. حتی گاهی می‌شود که زیاد عقب می‌آید و باید تنظیم را دوباره شروع کرد. مطمئن هستم که برای اینکار راه‌حلی دارید.

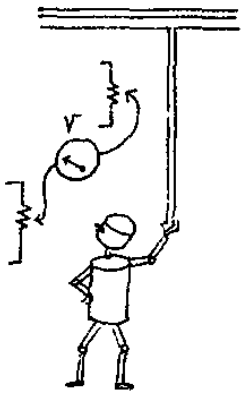
مهندس- نه‌تنها راه‌حلی دارم بلکه خیلی خوشحالم که این پرسش را ازمن کرده‌اید. فرض کنید که می‌خواهیم به‌آنتن شما حرکتی بدهیم و یا درست‌تر بگویم آنرا دریك وضعیت کاملاً مشخص قرار دهیم. به‌عنوان وسیلهٔ فرمان یك پتانسیومتر دیگر انتخاب می‌کنیم که تاحد امکان شبیه به‌پتانسیومتری باشد که آنتن آنرا حرکت می‌دهد. حتی به‌شما توصیه می‌کنم پتانسیومتر دوم را روی یك تخته یا صفحه قرار بدهید که محورش از آن بیرون بیاید. روی همین صفحه نقشهٔ دنیا را قرار بدهید و یك عقربه که به‌محور پتانسیومتر وصل است، جهتی را که آنتن را باید روی آن بگذارید مستقیماً به‌شما نشان خواهد داد.

مبتدی- اگر وسیله‌ای دراختیارم بگذارید که بشود این سیستم را ساخت، احساس می‌کنم که به‌چشم دوستم بزرگترین مهندسی که در تمام دورانها وجود داشته خواهم شد!

مهندس- خواهید دید که اینکار درچند ساعت انجام می‌شود. سیم‌پیچی ثابت پتانسیومتر آنتن و پتانسیومتر دیگر را که من «فرمان» می‌نامم به‌وسیلهٔ یك فشار یکسان تغذیه می‌کنم.



شکل ۱۳۹- گردش آنتن به‌وسیلهٔ موتوری فرمان داده می‌شود که به‌وسیلهٔ جریان یك تقویت‌کننده تغذیه می‌گردد. برای شناختن وضعیت آنتن، پتانسیومتری به آن متصل کرده‌اند که این وضعیت را روی ولتمتر V نشان می‌دهد.



بنابراین منظور از اینکار اینست که اختلاف سطح‌های دو پتانسیومتر آنتن و فرمان را برابر کنیم.

مبتدی- بله همینطور است. تا حدودی می‌دانم چه می‌خواهید بکنید. می‌خواهید بین دوسر متحرك پتانسیومترها یك ولتمتر قرار بدهید و فرمان موتور را طوری تنظیم کنید که این ولتمتر روی صفر بیاید.

مهندس- از یك نظر حق با شماست، چون روی وضعیت آنتن «عمل می-

کنند» تا اختلاف‌سطح بین دوسر متحرك پتانسیومترها را به‌صفر برسانند. اما آنکه «عمل می‌کند» نه شما هستید و نه دوستتان بلکه یك دستگاه خودکار است.

فرض‌کنیدکه اختلاف سطح بین دوسر متحرك پتانسیومترها به‌ورودی یك تقویت‌کننده‌گذاشته شودکه خروجی آن به‌موتور آنتن فرمان می‌دهد؛ اگر تقویت‌کنندهٔ شما خوب درست شده باشد و اگر مؤلفهٔ جریان مستقیم را بخوبی عبور دهد، بخشی‌از مسئله را حل‌کرده‌اید.

مبتدی‌ـ بسیارعالی‌است! الان می‌روم این‌را درخانهٔ‌دوستم نصب‌می‌کنم و...

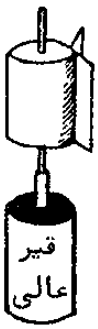
مهندس‌ـ و دوستی شما تاآخر عمر بهم می‌خورد! درواقع اگر این‌دستگاه را بدون احتیاط لازم نصب‌کنید، واقعهٔ‌غیرمنتظرهٔ بسیار نامطبوعی درانتظارشماست که خواهید دید آنتن با خشم دائماً حرکت می‌کند تا اینکه موتور خراب شود و یا آنتن ازبین برود و یا هردو ازکار بیفتند.

مبتدی‌ـ اینهم از مشخصات شماست. پس‌از اینکه راه‌حل بسیارجذابی پیدا می‌کنید به‌دلایلی‌که من نمی‌دانم چیست بمن می‌گوئید غیرقابل استفاده است!

ثبات

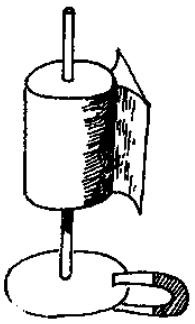
مهندس‌ـ دور برندارید. فقط باید بعضی چیزهای کـوچك به‌شکل اولیه اضافه‌کرد تاکاملاً قابل‌کاربرد باشد. درواقع حرکتی‌کـه دربارهٔ آن با شما صحبت کردم بطور واقعی ظاهر می‌شود. این فقط در نتیجهٔ آنست‌که خودکاربودن آن شبیه به‌حرکت با دست است.

وقتی موتور می‌خواهد آنتن‌را به‌حرکت درآورد تا آنرا به‌وضعیت‌مطلوب برساند، مقداری دور می‌گیرد. وقتی آنتن به‌این وضعیت رسید، موتور دیگرفشار الکتریکی دریافت نمی‌کند، اما دوری‌که گرفته است آنرا از وضعیت مطلوب می‌گذراند، بعد فشار دوسر آن معکوس می‌گردد وموتور درجهت عکس‌گردش می‌کند. ممکن است که‌ایـن نوسان در دو جهت میرا شود و موتور وضع ثابتی بگیرد اما احتمال هم داردکه این حرکت برای همیشه ادامه پیداکند. دراین لحظه باید سیستم میراکردن حرکت موتور واردکار شود.



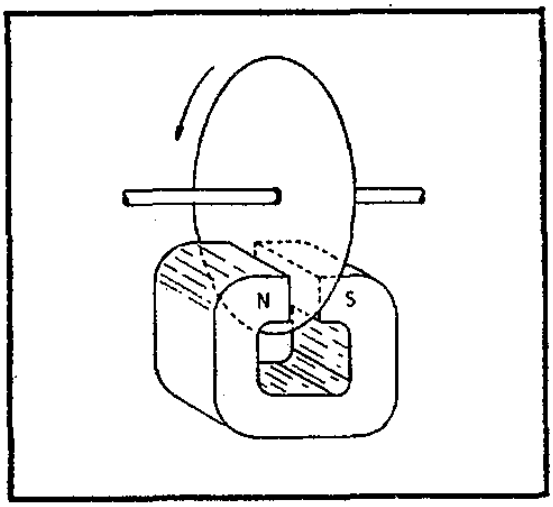
مبتدی‌ـ یك‌مدار نوسانی‌را می‌توانم میراکنم اما یك‌موتور را نمی‌توانم!

مهندس‌ـ با اینحال با روش فنی بسیار شبیه به‌آن، همین کار را می‌کنیم. برای میراکردن یك مدار نوسانی، به‌دوسر آن یك مقاومت وصل می‌کنید به‌این ترتیب وقتی فشار در دو سر خازن (یا قرقره) زیـاد است، تلف توان زیادی در مقاومت وجود دارد. اما درمورد موتور، به‌عنوان نخستین راه‌حل به‌شما توصیه‌می‌کنم روی محور آن دستگاهی ازنوع مالشی چسبنده نصب‌کنید. منظور نوعی ترمز است‌که یك زوج ترمزکننده‌راواردکار می‌کندکه هرچه سرعت بیشتر باشد، مقدارآن بیشتر است. یك نوع ساخت سادهٔ این دستگاه (شکل ۱۴۰) به‌شکل یك صفحهٔ مسی است‌که از فاصلهٔ بین دو قطب یك آهن‌ربای بسیار قوی می‌گذرد. جریان‌های‌القاء شده درجرم مس در ضمن‌گردش (جریان فوکو) نیروهائی ایجاد خواهند کـرد که حرکت صفحه را با شدتی ترمز کنندکه هرچه گردش صفحه تندتر باشد، این شدت زیادتر است. دراین شرایط آنتن‌شما به‌وضعیت موردنظرتان نزدیك می‌شود وتمایل



کمی به‌گذشتن از این وضعیت دارد. پس از چند نوسان با دامنهٔ کوچك به‌وضعیت نهائی خود می‌رسد.

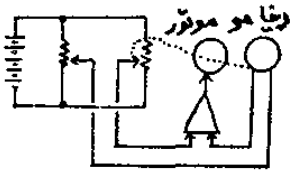
مبتدی- بله، این راه‌حل عملی است، اما هیچ از آن خوشم نمی‌آید چون به‌این ترتیب سرعت موتور را خیلی محدود خواهید کرد. این روش برای وقتی‌که آنتن نزدیك به‌وضعیت مطلوب باشد، بسیار خوب است اما وقتی‌که دور از آن‌باشد چندان خوب نیست و به‌این ترتیب چنین دستگاهی زمان لازم برای آوردن آنتن به‌وضعیت مطلوب را خیلی زیاد می‌کند.



شکل ۱۴۰- یك صفحه‌که در فاصلهٔ بین دو قطب آهن‌ربا می‌چرخد دراثر جریان‌های فوکو، اثر ترمزی بوجودمی‌آوردکه هرچه سرعت‌گردشش زیادترباشد، این‌اثر ترمز بیشتر است.

مهندس- کمی از آنچه‌گمان می‌کنیدکمتر است. فراموش نکنیدکه هرچه آنتن از وضع موردنظر دورتر باشد، فشاری‌که بین دو سر متحرك پتانسیومترها وجود دارد زیادتر است، درنتیجه فشار الکتریکی گذاشته شده به‌موتور، برحسب دوری از وضعیت مطلوب، رو به‌افزایش است. بنابراین اگر این فاصله زیاد باشد، باوجود ترمز، موتور می‌تواند نسبتاً تند بگردد، و نیروی ترمز نمی‌تواند زیادتر از نیروی‌گردانندهٔ موتور باشد مگر در وقتی‌که فاصلهٔ آنتن از وضع مطلوب کم باشد. حالا دربارهٔ اینکه این راه‌حل کافی نیست با شما موافقم.

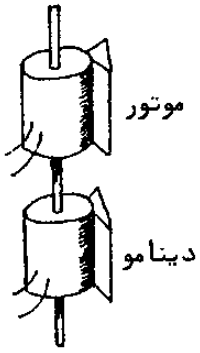
ثبات به‌وسیلهٔ دینامو سرعتی



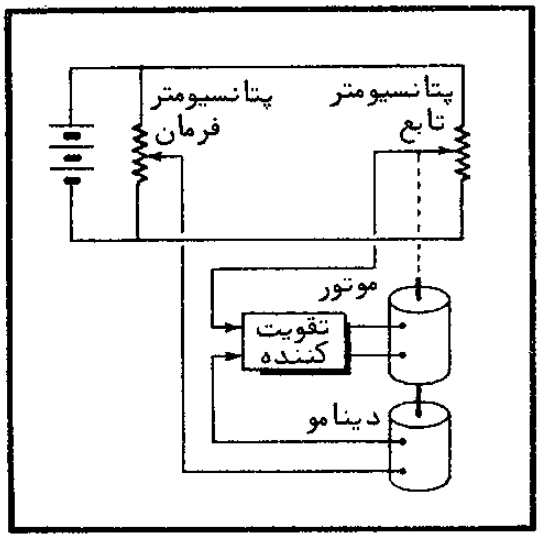
مبتدی- چیزی‌که بسیارخوب خواهد بود،اینست‌که‌یکنوع ترمز داشته باشیم که فقط‌وقتی‌دخالت کند که آنتن به‌وضعیتی‌که باید درآن قرار بگیرد نزدیك شده است و بخصوص متناسب با وضعی باشد که موتور خیلی تند می‌چرخد.

مهندس- آقای مبتدی به‌درستی در راه صحیح گام برمی‌دارید. باید در تقویت‌کننده‌ای‌که به‌موتور فرمان می‌دهد، فشاری وارد کرد‌که متناسب با سرعت موتور باشد و به‌فشار موجود بین دوسر متحرك پتانسیومتر اضافه شود. برای این کار ساده‌ترین راه‌حل اینست‌که به‌موتور، یك دینامو وصل شودکه دراین‌حالت آنرا **دینامو سرعتی** می‌گویند و فشار خروجی را که بدست می‌دهد متناسب با سرعت موتور است واین فشاری است‌که از اختلاف دوسرمتحرك پتانسیومترها کاسته می‌شود

(شکل ۱۴۱)



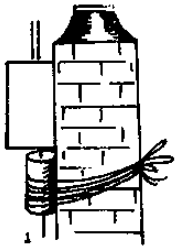
مبتدیـ چرا باید یك دینامو را به‌موتور وصل‌کرد؟ چندی‌پیش برایم‌شرح دادیدکه یك موتور جریان مستقیم ویـك دینامو هردو یك دستگاه هستند، از این



شکل ۱۴۱ـ دراین سیستم فرمان‌خودکار، فشار ایجاد شده به‌وسیلهٔ دینامویسرعتی از فشار اشتباهی (فشاری‌که بین دوسر متحرك دوپتانسیومتر وجود دارد) کاسته شده‌است. به‌این‌ترتیب‌نمی‌تواند تندبگردد مگر آنکه این فشار زیاد بساشد؛ وقتی موتور به وضعیت مطلوب نزدیك باشد، دیگر نمی‌تواند تند بگردد چوندینامویسرعتی نزدیك به‌انتها، سرعت را کـم می‌کند وبه‌این‌ترتیب‌گذشتن موتور را از حد معین و نوسان را حذف می‌کند.

گذشته یادم می‌آیدکه وقتی موتورکار می‌کند بخاطر می‌آوردکه یك دینامو هم هست و بهمین جهت یـك نیروی ضد محرکه از خود نشان می‌دهد. نمی‌شود این نیرو را بکار برد؟

مهندسـ از یك‌جهت حق با شماست، اماکاربرد این نیروی محرکه‌همیشه آسان نیست. درواقع در دوسر یك موتور فشاری داریم‌که حاصل‌جمع نیروی‌محرکه و یك افت فشار است‌کـه در نتیجهٔ عبور جریان از سیم‌های القاءشده، که بهرحال مقاومتی دارند بوجودآمده است.درحقیقت‌مونتاژهائی وجود داردکه امکان بکاربردن فشار الکتریکی دو سر موتور را برای بدست‌آوردن همین مقدار تابع سرعت ، کـه ثبات مجموعه را عملی می‌کند، بوجود می‌آورند. این مونتاژها پیچیده هستند و زیاد توصیه نمی‌کنم‌که وارد این بحث شوید. درواقع نباید فراموش‌کردکه موتور شما به‌خروجی تقویت‌کنندهٔ شما ارتباط دارد. پس به‌این آسانی‌که می‌خواهید،فشار دوسر آن دراختیارتان نیست. اگـر به‌موتور یك دینامویسرعتی بسته باشید، می‌توانید فشاری متناسب باسرعت داشته‌باشیدکه روی دوسیم‌که‌کاملاً ازبدنه جداهستند تهیه شده است ومی‌توانید با نهایت آسانی آنرا ازاختلاف سطح بین دوسرمتحرك پتانسیومترهاکسر کنید. حتی اگر لازم‌باشد، می‌توانید این فشار الکتریکی‌دینامو را به‌وسیلهٔ دیود یا دستگاههای مشابه دیگر با «برش سر» تغییر بدهید. به ایـن ترتیب‌کار ترمز وابسته به‌سرعت محدود خواهد بود کـه این موضوع امکان می‌دهد سرعت گـردش مجموع موتور ـ دینامو تا وقتی اختلاف سطح بین دو سر متحرك پتانسیومترها زیاد است، خیلی زیاد باشد.

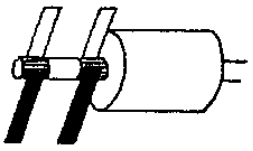


مبتدیـ درحقیقت راه‌حل ظریفی است، اما احساس می‌کنم که دربکاربردن آن ناراحتم. مجموع سیستم مکانیکی فرمان آنتن قبلاً درست شده است و نمی‌دانم

این دینامو راکجا باید جای داد.

تصحیح به‌وسیلهٔ مشتق

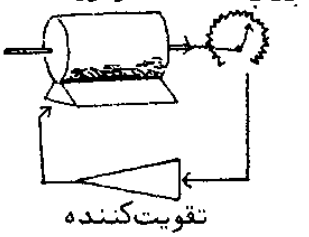
مهندس- موتورهائی وجود دارندکه خودشان شامل یك دینامویسرعتی در داخل‌خود هستند. القاءشدهٔ موتور و دینامو ازنظر قرارگرفتن، مخلوط باهمدیگرند اما ازنظر الکتریکی ازهم عایقند و دوکلکتور جداگانه و دوجفت جارو دارد. با اینحال اگر بخواهید تأسیسات موجودرا تاحد امکان‌کمتر تغییر بدهید، یك‌راه‌حل تقریبی وجود داردکه بدهم نیست به‌این‌ترتیب‌که فشار سر متحرك پتانسیومتر آنتن خودتان را می‌گیرید وآنرا به‌یك مدار مشتق از نوع شکل ۶۴ می‌گذارید. چون فشارگذاشته شده به‌این‌مدار متناسب با وضعیت آنتن است، چیزی‌که در خروجی مدار مشتق بدست می‌آورید، فشاری خواهد بودکه تقریباً متناسب با سرعت این آنتن است. وقتی فشار خروجی این‌مدار بطورمناسبی تقویت شود وبهمراه اختلاف سطح موجود بین دوسر متحرك پتانسیومترها به‌ورودی تقویت‌کننده گذاشته شود، بشما امکان خواهد دادکه‌کار مجموعه را ثابت نگه دارید. شاید اینکار بخوبی‌کار با دینامو نباشد، اما تغییر تأسیسات نصب‌شده خیلی‌کمتر خواهد بود.



مبتدی- گمان می‌کنم‌که راه‌حل مناسب را پیداکرده باشید وقطعاً همین‌را بکار خواهم برد و دوست من خوشحال می‌شود.

مهندس- درواقع گمان می‌کنم تأسیسات شما او را کاملاً راضی کند. با پتانسیومترهای خوب می‌توانید دقت جهت‌یابی را بهتراز یکدرجه‌کندکه برای یك آنتن‌کاملاً کافی است.

سیستم‌های دوسربسته



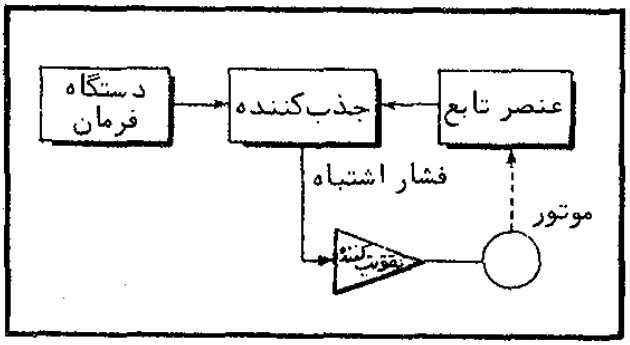
مبتدی- دراین مجموعه چیزی وجود داردکه‌کنجکاوی مرا تحریك‌می‌کند. برای اینکه اصطلاحات شما را بکار ببرم، موتوری که روی آنتن اثر می‌کند، «پس‌دهنده» است. پتانسیومتر آنتن چیزی غیراز «جذب‌کننده» نیست. درحالی که دراین سیستم پس‌دهنده مستقیماً به‌جذب‌کننده بسته شده است، با اینحال جذب‌کننده به‌پس‌دهنده فرمان می‌دهد.

مهندس- الان انگشت روی‌نقطهٔ اساسی این دستگاه‌ها گذاشتید چون‌درواقع همین اثرپس‌دهنده روی‌جذب‌کننده‌است‌که‌دستگاه‌های فرمان‌دهنده را مشخص‌می‌کند.

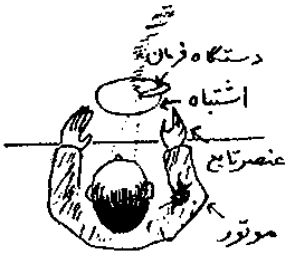
مبتدی- پس دستگاه‌های فرمان‌دهنده، ماشین‌هائی هستند که در آنها پتانسیومتر جذب‌کننده (گیرنده) وجود دارد؟

مهندس- غیرازاین چیزی نیست. می‌توان سیستم‌های زیاد دیگری را در نظرگرفت. چیزی‌که مشخص‌کنندهٔ یك دستگاه فرمان‌دهنده است و تا حدودی شکل عمومی آنست، شمائی است که در شکل ۱۴۲ نشان داده شده است. می‌بینید که درآن یك دستگاه فرمان وجود دارد که یك سیستم مقایسه‌کنندهٔ وضعیت (یا حالت) آنرا با وضعیت (یا حالت) عنصر تابع یعنی عنصری که می‌خواهیم به آن فرمان بدهیم، مقایسه می‌کند. تفاوت بین حالت‌های این دو عنصرکه به‌وسیلهٔ مقایسه‌کننده

نمایان می‌شود به‌یك علامت اشتباه (یا اختلاف) برگردان می‌شودکه به‌تقویت‌کننده می‌گذارند. فشار خروجی تقویت‌کننده روی موتوری اثر می‌کندکه می‌خواهدحالت عنصر تابع را به‌ترتیبی درآوردکه تاحد امکان نزدیك به‌حالت دستگاه فرمان باشد.

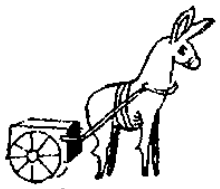


شکل ۱۴۲- شمای جعبه‌ای یك سیستم تابع (فرماندهنده) که درآن موتور برای آنست که عنصر تابع‌را به‌وضعیتی درآورد که درآن فشار اشتباهی صفر باشد.

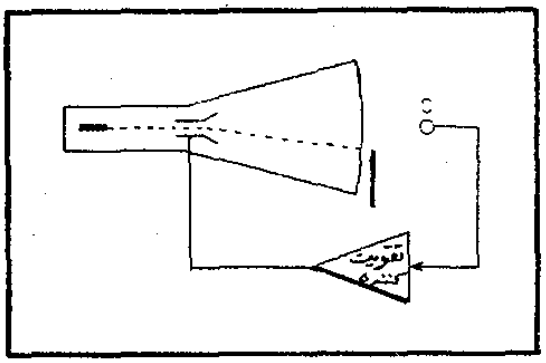


مبتدی- اگرچه معمولاً به‌شمای جعبه‌ای شما اعتماد ندارم، بنظرم‌می‌آید که این یکی خیلی روشن است. درسیستم فرمان آنتن، دستگاه فرمان‌پتانسیومتری است‌که دست دوست من روی آن اثر می‌گذارد، عنصر تابع آنتن است (در نتیجه پتانسیومتر‌جذب‌کنندهٔ وضعیت‌هم هست). اختلاف‌سطح بین دوسر متحرك‌پتانسیومتر-هاست‌که علامت اشتباه شمرده می‌شود وآنرا به‌تقویت‌کننده می‌گذاریم. باوجود این درشمای شکل۱۴۲، سیستم‌های ثبات‌راکه قبلاً دربارهٔ آنها برایم صحبت‌کرده‌اید، نشان نداده‌اید.

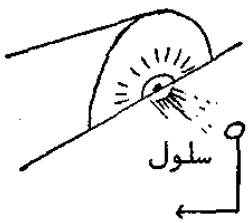
مهندس- این دستگاه‌ها همیشه لازم نیستند و بهرحال آنها را روی شمای جعبه‌ای‌که تا این اندازه ساده باشند، نشان نمی‌دهند. حالا میل دارم‌که آگاه باشید که یك دستگاه فرمان‌دهنده چیز بسیار عمومی است. باید به‌کلماتی‌که بکار برده‌ام معنی بسیارگسترده‌ای بدهید. مثلاً وقتی می‌گویم «موتور»، این معنی را از آن نفهمیدکه منظور چیزی است‌که به‌حرکت درمی‌آورد، یا بطور درست‌تر باعث ایجاد تغییر در چیزی می‌شود و منظور فقط آن چیزی نیست‌که معمولاً از کلمهٔ موتور فهمیده می‌شود.


موتورساده

مبتدی- دلم می‌خواست مثالی دربارهٔ این موتور غیرمادی بزنید.



شکل ۱۴۳- یك مثال برای‌سیستم‌تابع: سلول فتوالکتریك C برحسب آنکه مقوا چگونه بین سلول و اسپات قرار گرفته باشد، کم‌وبیش نور اسپات‌لامپ کاتدی را جذب می‌کند، این سلول تغییر وضعیت اسپات‌را فرمان می‌دهد.

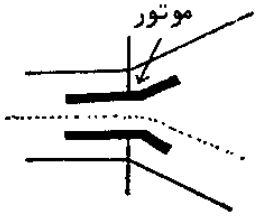


مثال برای سیستم تابع: تقویت‌کنندهٔ ضدواکنشی

مهندس- دراینصورت «مونوفرمر Monoformer» را برایتان نام‌می‌برم. منظور دستگاهی است‌که در آن می‌خواهند اسپات یك لامپ‌کاتدی درست در محلی

روی صفحه برسد که در خارج لامپ یك مقوا جلوی بخشی از نور آنرا می‌گیرد. این نتیجه را بهمان‌ترتیب که در شکل ۱۴۳ نشان داده‌ام بدست می‌آوریم. تقویت‌کنندهٔ فشار سلول فتوالکتریك C را دریافت می‌کند و فشار خروجی آن که به دستگاه انحراف عمودی لامپ‌کاتدی گذاشته شده است می‌خواهد وقتی سلول روشن است اسپات لامپ‌کاتدی را به‌طرف پائین منحرف کند.

مبتدیـ درست است! متوجه شدم، وقتی اسپات در منطقهٔ باز قرار دارد سلول را روشن می‌کند و درنتیجه فشاری به‌ورودی تقویت‌کننده گذاشته می‌شود. بنابراین اسپات به‌سمت پائین منحرف می‌شود تا اینکه به‌لبهٔ مقوا برسد، زیرا اگر پائین‌تر برود، تقویت‌کننده دیگر فشار خروجی نخواهد داشت و اسپات دوباره میل دارد بالا بیاید.



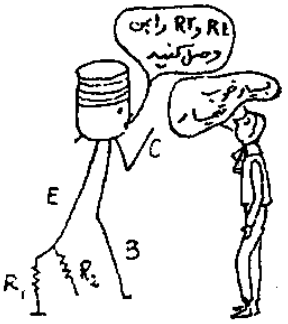
مهندسـ مطلب را کاملاً فهمیده‌اید. می‌بینید که در این مثال «موتور» غیراز اثر منحرف‌کننده‌ای که فشارخروجی تقویت‌کننده روی اسپات اعمال‌می‌کند، چیز دیگری نیست. عنصر تابع اسپات است، دستگاه فرمان مقوا است و مقایسه‌کننده چیزی نیست جز... قانون نور که به‌ما می‌گوید نور روی خط مستقیم منتشر می‌شود. درواقع برحسب آنکه اسپات نسبت به مقوا بالاتر یا پائین‌تر باشد، سلول روشن می‌شود و یا نمی‌شود. بنابراین می‌بینید که کلمات وابسته به‌وضع شکل ۱۴۲ را دریك معنای کلی باید درنظر گرفت.

مبتدیـ اقرار می‌کنم که بطور مجموع هیچ شباهتی بین «مونوفرمر» شما و سیستم فرمان آنتن نمی‌بینم. اما باید بگویم که این مسئلهٔ فرمان‌دهنده‌ها برایم کاملاً تازگی دارد.

یك نوع سیستم تابع:
تقویت‌کنندهٔ ضد واکنشی

مهندسـ آه! مسلماً نه. شما هم احتمالاً فرمان‌دهنده یا بهتر بگویم سیستم‌های تابع (معنی گسترده‌تر از کلمهٔ قبلی) ساخته‌اید بدون آنکه خودتان بدانید. مطمئن هستم که تابحال تقویت‌کنندهٔ فرکانس پائین مجهز به‌ضدواکنش ساخته‌اید.

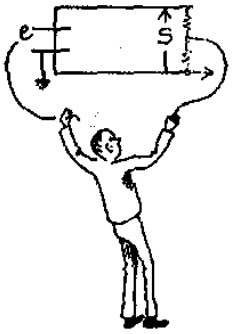
مبتدیـ بله، مثل همه رادیوسازها. اما اصلاً ارتباط آنرا با این‌موضوع نمی‌دانم؛ وانگهی باید بگویم که دراین حالت کورکورانه از دستورهای شکل کشیده شده پیروی کرده‌ام. به‌من گفته بودند که دریك تقویت‌کنندهٔ معین با اضافه‌کردن یك مقاومت در اینجا و یك مقاومت در آنجا، خوبی کار این تقویت‌کننده را با قبول زیانی که کاهش مقداری ضریب بهره است و چندان مهم نیست، افزایش می‌دهند، بشرطی که این ضریب بهره دراصل زیاد باشد. من آزمایش کردم، نتیجه‌های بدست آمده بسیار خوب بود اما اقرار می‌کنم که هنوز هم نمی‌دانم چرا.

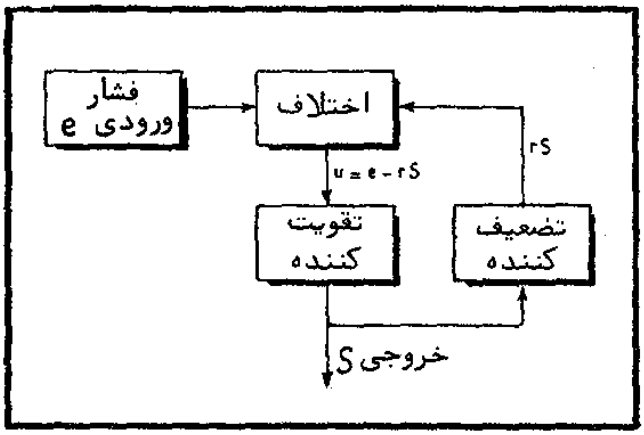


مهندسـ اگر مقاومت‌هائی را که به‌تقویت‌کننده‌های خودتان اضافه کرده‌اید، از نزدیك تجزیه و تحلیل کنید خواهید دید که منظور از این مقاومت‌ها اینست که بخش مشخصی از فشار خروجی را به‌ورودی تقویت‌کننده برسانند، درحالی که این بخش از فشاری که به‌ورودی تقویت‌کننده می‌دهید کسر می‌شود. اینکار مثلاً با برداشت فشار خروجی مدار ثانوی مبدل و گذاشتن مثلاً یکدهم آن به‌وسیلهٔ یك

تقسیم‌کننده فشارمقاومتی به‌کاتد نخستین‌لامپ ویا به‌ارسال‌کنندهٔ نخستین‌ترانزیستور انجام می‌شود.

مبتدی‌ـ درواقع‌مونتاژ را بهمین‌ترتیب درست‌کرده‌ام. آنرا بالامپ درست کردم. اما احساس نمی‌کنم‌که درآنجا منظورکسر چیزی ازفشار ورودی باشد.





شکل ۱۴۴ـ یك‌ضدواکنش در تقویت‌کننده، شامل کسرکردن بخشی‌از فشار خروجی‌ازفشار ورودی آنست: این درست یك دستگاه تابع است.

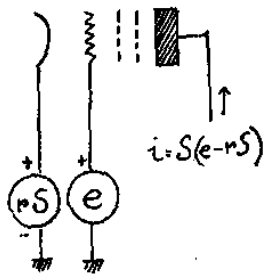
مهندس‌ـ چرا، وقتی فشاری به‌کاتد لامپ می‌گذارید، مثل اینست‌که آنرا درجهت مخالف‌به‌شبکه‌گذاشته‌اید چون برای یك‌لامپ فقط اختلاف سطح‌بین شبکه‌و کاتد است‌که به‌حساب می‌آید. حالا شمای عمومی شکل ۱۴۲ را باشمائی‌که درشکل ۱۴۴ برایتان می‌کشم مقایسه‌کنید. می‌بینیدکه فشار u گذاشته‌شده به‌ورودی تقویت کننده،چیزی‌غیراز اختلاف بین فشارحقیقی ورودی e وبخش r از فشار خروجی S، نیست.این یك تضعیف‌کننده با نسبت r (کمتراز واحد) است‌که به‌یکی‌از دو طرف «مدار اختلاف» فشار rS را می‌گذارد، درحالی‌که فشار ورودی e به‌طرف دیگر این «مدار اختلاف» گذاشته شده است.

مبتدی‌ـ قبلاً دربارهٔ مدار «با»، مدار «و» صحبت‌کرده‌اید اما هیچوقت دربارهٔ «مدار اختلاف» صحبت نکرده‌اید.

مهندس‌ـ در اینجا منظور مدار منطقی نیست. مثلاً یك مدار اختلاف را باگذاشتن فشار e روی شبکهٔ یك لامپ وفشار rS روی‌کاتد آن درست می‌کنند.فقط اختلاف $e-rS=u$ هست‌که برای جریان آند لامپ به‌حساب می‌آید.

مبتدی‌ـ مونتاژ شما را بخوبی می‌فهمم، اما فایدهٔ آنرا نمی‌دانم.

فایدهٔ ضد واکنش



مهندس‌ـ حالا خواهید دید. فرض‌کنیدکه ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده (یعنی نسبت $\frac{S}{u}$) خیلی زیاد باشد. بنابراین‌کافی است فشار بسیار ضعیف u را به‌ورودی تقویت‌کننده بدهیم تا فشار خروجی S را داشته باشیم. پس می‌توان گفت‌که اختلاف u بین فشار ورودی e و فشار rS، عملاً دربرابر هریك از این دومقدار صرفنظر- کردنی است. بنابراین، این دو مقدار برابر یا تقریباً برابرند یعنی عملاً داریم: $e=rS$. یك‌مثال‌عددی‌می‌زنم. فرض‌کنیدکه ضریب بهرهٔ‌اولیهٔ تقویت‌کننده ۱۰۰۰۰

باشد؛ برای بدست‌آوردن فشار خروجی ۱۰ ولت، یک فشار ورودی 1^{mV} لازم است. فرض کنیم کـه تضعیف‌کننده نسبت تضعیف ۵۰ داشته باشد، به‌عبارت دیگر $r=0/02$ باشد. ازآن نتیجه می‌گیریم‌که مقدار rS وقتی S برابر ۱۰ ولت‌باشد، 200^{mV} خواهد بود. برای بدست‌آوردن فشار u که 1^{mV} باشد، باید فشار e در ورودی 201^{mV} باشد. به این ترتیب اختلاف بین e و rS بیشتر از 1^{mV} نخواهد بود.

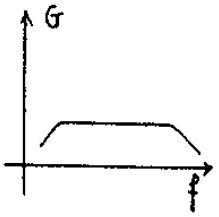
مبتدیـ بدون دشواری حرفهای شمارافهمیدم، اما تااینجا تنها «امتیاز»ی که درمونتاژ شما می‌بینم اینست‌که دراینجا فشار ورودی لازم دویست‌برابر بیشتراز موقعی است‌که بطور مستقیم فشار روی آن‌گذاشته شود. شاید این‌مطلب جالب باشد اما اقرار می‌کنم‌که چیزی ازآن نمی‌فهمم.

مهندسـ ازیک‌جهت حق با شماست، درواقع فشار ورودی بزرگتری لازم است واین یک نقص مونتاژ است‌که معمولاً چندان مهم نیست زیرا همیشه‌می‌توان ضریب بهرهٔ اولیه را مقداری بیشترگرفت. اما خیلی تند امتیازهای این سیستم‌را کشف خواهیدکرد. آقای مبتدی نقص‌های اساسی یک تقویت‌کننده چیست؟

مبتدیـ به‌عقیدهٔ من‌گران است و ساختن آن ناراحت‌کننده است.

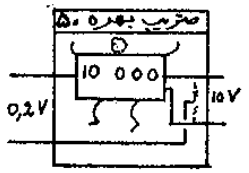
مهندسـ منظورم این نقص‌ها نیست بلکه نارسائی‌هائی است که از نظر الکتریکی دارد.

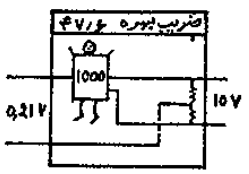
مبتدیـ دراینصورت‌گمان‌می‌کنم منظورتان اشاره به‌اعوجاج آن وهمینطور باندگذرای آنست‌که تا اندازه‌ای‌که می‌خواهند گسترده نیست به‌عبارت‌دیگر گاهی فرکانس‌های زیاد وکم را بهتراز فرکانس‌های متوسط می‌گذراند.



مهندسـ درست می‌خواستم همین‌را بگوئید. مشاهده می‌کنید کـه این دو عیب درنتیجهٔ تغییرضریب‌بهره بوجودمی‌آیند. بدگذراندن فرکانس‌های بسیارزیاد یا بسیارکم بستگی به‌تغییرات ضریب بهره برحسب فرکانس دارد؛ اگـر ضریب بهره برحسب دامنه تغییرکند، باعث بوجودآمدن اعوجاج‌غیرخطی می‌شود.

حالامونتاژ شکل ۱۴۴ را بررسی‌کنید؛ ضریب بهرهٔجدید بی‌نهایت‌نزدیک به ۵۰ است (۱۰ ولت خروجی بـرای 201^{mV} ورودی). اما فرض کنیدکه به یک دلیل نامشخص، ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده ده‌بارکوچکتر شود. حالا برای‌اینکه 10^{V} در خروجی تهیه‌کند دیگر در ورودی 1^{mV} لازم ندارد بلکه 10^{mV} باید به‌آن داده شود. برعکس فشار rS همان مقدار 200^{mV} باقی خواهد ماند. فشار e که باید گذاشته شود تا در u، مقدار 10^{mV} بـدست آیـد ، خـواهد بـود 210^{mV}. بـه عبارت دیگر، ضریب بهرهٔ تـازه مجمـوع دیگر ۵۰ نیست بلکه $47/6=0/21\div 10$ است‌که تغییر آن نسبت به‌ضریب بهره اولیه بیش از ۴/۲ درصد نیست. می‌بینیدکه وقتی ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده خیلی تغییر می‌کند،ضریب بهرهٔ مجموع مـدار به‌مقدار بسیارکمی تغییر می‌کند. بنابراین مونتاژ ما امکان آنرا بوجود آورده است‌که ضریب بهره‌کاملاً ثابت شود.





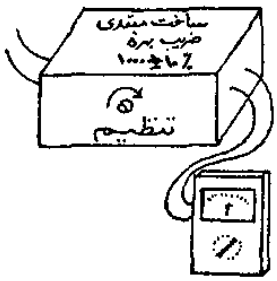
@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال

ضریب بهره برابر عکس تضعیف است

مبتدی- اما ضریب بهرهٔ شما فقط تا آنجا که خود این تضعیف ثابت باشد، ثابت خواهد بود.

مهندس- نکتهٔ بسیار خوبی را گفتید. اما فراموش نکنید که ساختن یك تضعیف کاملاً ثابت، بی‌نهایت ساده است. این کار به‌وسیلهٔ تقسیم‌کنندهٔ فشار مقاومتی انجام می‌شود که درصورت لزوم به‌خازن‌های کوچك مجهز می‌گردد تا اثر ظرفیت‌های مزاحم جبران شود. ساختن یك تضعیف‌کننده که بتواند فشار ورودی را در باند فرکانسی قابل توجه و فشارهای بسیار متغیر به ۵۰ بخش کند بسیار آسان است. به عبارت دیگر بدست آورده‌ایم که ضریب بهرهٔ مجموع مونتاژ، معکوس نسبت r تضعیف، تضعیف‌کننده‌است. به‌این ترتیب است که ضریب بهره را کاملاً ثابت کرده‌ایم.

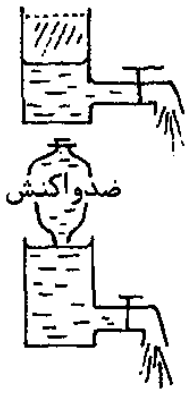
مبتدی- خوشحالم که کار این دستگاه را فهمیدم. به‌این ترتیب راه‌حل مسئله‌ای را که مدتی برایم مطرح بود بدست دادید چون می‌خواستم تقویت‌کنندهٔ کوچکی با ضریب بهرهٔ ۱۰۰۰ بسازم تا آنرا در ورودی یك ولتمتر قرار دهم و ولتمتر را به‌یك میلی ولتمتر تبدیل کنم. یك تقویت‌کننده هم ساخته بودم اما از اینکه می‌دیدم هر روز ضریب بهره‌اش تغییر می‌کند خیلی در زحمت بودم چون این ضریب بهره برحسب تغییر فشار برق شهر وهمینطور فرسودگی لامپ‌ها تغییر می‌کرد.



مهندس- درواقع روشی که گفتم راه‌حل مطلوب برای ساختن تقویت‌کنندهٔ اندازه‌گیری است. آقای مبتدی می‌بینید که تأثیر روش ضدواکنش اینست که امکان تبدیل یك تقویت‌کنندهٔ معمولی را به‌یك تقویت‌کنندهٔ اندازه‌گیری بوجود آورده است. درواقع اگر می‌توانیم بخوبی تقویت‌کننده‌هائی با ضریب بهرهٔ بسیار زیاد بسازیم، برعکس بدست‌آوردن ضریب بهره‌ای بین دومقدار نزدیك بهم در تقویت‌کننده، بدون کاربرد روش ضد واکنش، بسیار دشوار است. لزوم نگهداری ضریب بهره بین دومقدار محدود را تبدیل به‌این می‌کنند که ضریب بهره از یك مقدار حداقل بیشتر باشد که انجام این شرط بسیار آسان است. حالا اضافه می‌کنم که ضد واکنش بهبودی‌های دیگری هم برای مونتاژ ایجاد می‌کند. این بهبود ازکاهش صدای مزاحم تقویت‌کننده، بخصوص صدای مزاحمی که ممکن‌است از صاف‌کردن نادرست تغذیه بوجود آمده باشد، آغاز می‌شود.

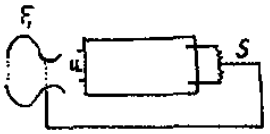
مبتدی- این را دیگر نمی‌دانم چطور انجام می‌شود.

مهندس- خیلی ساده است چون این صدای مزاحم فشاری بدست‌می‌دهد که به S اضافه می‌گردد ومثل اینست که یك منبع فشار مزاحم را بطورپیاپی باخروجی تقویت‌کننده قرار داده باشند. تضعیف‌کنندهٔ بخشی از این فشار مزاحم را به‌ورودی مدار اختلاف منتقل می‌کند واین بخش به‌ورودی تقویت‌کننده خواهد رسید، و در فشار خروجی آن مؤلفه‌ای ظاهر می‌کند که با این فشار مزاحم مبارزه می‌کند وبه مرحله‌ای می‌رسد که آنرا بطور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. وارد محاسبهٔ بهبودی که از این راه حاصل می‌گردد و بسیار ساده هم هست، نمی‌شوم، فقط بدانید که فشار مزاحم خروجی به‌ضریب rG که آنرا ضریب ضد واکنش می‌نامند تقسیم می‌شود. درمثال عددی ما این ضریب برابر ۲۰۰ است.



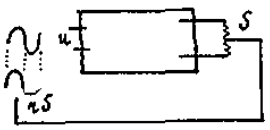
مبتدی- بسیارعالی‌است! به‌این‌ترتیب اگر تقویت‌کننده خرخر وحشتناکی داشته باشد، ضدواکنش آنرا کاملاً[۲] آرام می‌کند.

مهندس- درست است. اثر این ضدواکنش به‌وسیلهٔ کاهش مقاومت خروجی هم آشکار خواهد شد. درواقع اگر مصرف جریان درخروجی تقویت‌کننده یك‌مقدار باشد، به‌سبب وجود مقاومت داخلی خروجی تقویت‌کننده، فشار S میل دارد کاهش پیداکند، این‌کاهش یك‌نوع فشار مزاحم مانند خرخری است‌که صحبتش را کردیم. بنابراین مبارزه‌ای برضد این‌کاهش به‌وسیلهٔ اثر مداربسته ضدواکنش وجود خواهد داشت وکاهش بدست‌آمده خیلی‌کوچکتر خواهد بود و به‌این‌ترتیب مقاومت داخلی خروجی تقویت‌کننده به rG تقسیم شده‌است. همینطور می‌توان نشان دادکه‌برعکس مقاومت ورودی این تقویت‌کننده به‌وسیلهٔ ضد واکنش بسیار زیاد شده است برای اینکه این‌بار در ضریب rG ضرب‌گردیده است.

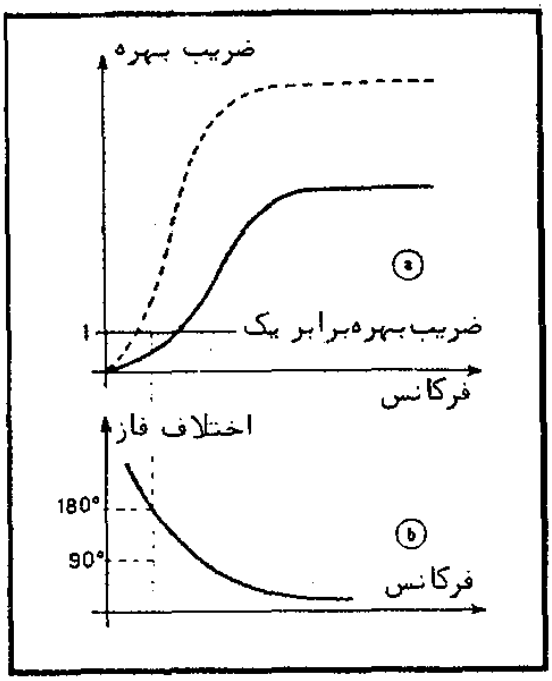


مبتدی- واقعاً جالب است! این ضدواکنش همه‌چیز را مرتب می‌کند!

مسئلهٔ ثبات



مهندس- درواقع خیلی چیزها را مرتب می‌کند. با وجود این باید در کاربرد آن احتیاط‌هائی بعمل آورد چون تقویت‌کننده‌ای‌که ما بکار بردیم اساساً در خروجی فشار S را هم‌فاز با فشار u ورودی به‌ما می‌دهد. برای فرکانس‌های بالا، فشار خروجی ممکن است با فشار ورودی اختلاف‌فاز داشته باشد. اگر این اختلاف



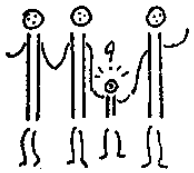
شکل ۱۴۵- در فرکانس‌های پائین ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده پائین می‌آید (a) و اختلاف فاز زیاد می‌شود (b). درمقدار معینی از فرکانس این اختلاف فاز به ۱۸۰ درجه می‌رسد. اگر در این فرکانس ضریب بهرهٔ دو سربستهٔ تقویت‌کننده از یك‌کمتر باشد (منحنی با خط پر)، ضد واکنش عدم ثباتی وارد نمی‌کند. اگر ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده زیاد شود (منحنی نقطه‌چین)، ضریب‌بهرهٔ دوسربسته برای فرکانس وابسته‌به‌اختلاف فاز ۱۸۰ درجه از یك بیشتر است: تمام مدار به نوسان درمی‌آید.

فاز به‌نیم‌پریودبرسد، دیگر ضدواکنش دربین نیست بلکه واکنش مثبت بوجود می‌آید. در اینصورت تمام برتری‌های ضدواکنش را از دست خواهیم داد و برعکس تمام معایب واکنش مثبت را خواهیم داشت که با اینحال همراه با افزایش ضریب

بهره است مگر درحالتی که ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده برای فرکانسی که این اختلاف فاز به‌نیم‌پریودمی‌رسد بزرگ باشد. درحالت اخیر تمام مجموعه به‌نوسان‌درمی‌آید. وقتی دریك تقویت‌کننده، ضدواکنش مورد استفاده قرار می‌گیرد، هرچه بخواهند ضریب ضدواکنش بزرگتر باشد، باید بیشتر مراقب مسئلهٔ اختلاف فاز بود.

مبتدی- این موضوع مرا بیاد حادثهٔ ناخوشایندی‌که برایم اتفاق‌افتاد می‌اندازد. یك تقویت‌کنندهٔ مجهز به‌ضد واکنش ساخته بودم‌که خیلی خوب کار می‌کرد و یك‌روز بجای یکی از لامپ‌هایش، لامپ مشابهی گذاشتم‌که ضریب بهرهٔ بسیار بزرگتری داشت و به‌این‌ترتیب تقویت‌کننده دیوانه شد و صدای عجیبی بمن دادکه آدم را بیاد موتور قایق می‌انداخت.

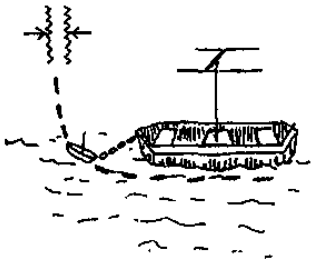
مهندس- درواقع این‌بار یك ایجاد نوسان با فرکانس پائین بوده چون تقویت‌کننده‌ای که ساخته بودید قطعاً تزویج مستقیم نداشته است. درنتیجه برای فرکانس‌های بسیار پائین، اختلاف فازی بین ورودی وخروجی واردکار می‌کرده‌است (شکل ۱۴۵). با ضریب بهره‌ای‌که در اصل متوسط باشد (منحنی با خط پردر a) نمی‌توانید تمام مجموعه را به‌نوسان درآورید. با افزایش ضریب بهرهٔ اصلی در تقویت‌کننده (منحنی نقطه‌چین روی شکل ۱۴۵a)، ضریب ضد واکنش را افزایش داده‌اید واز حدی‌که درآن ایجاد نوسان‌می‌کند (Accrochage[1]) تجاوز کرده‌اید.



مبتدی- بله، منهم حدس می‌زدم‌که علتش آنست‌که تقویت‌کنندهٔ من‌فرکانس‌های پائین را بد می‌گذراند.

مهندس- روش شما راکمی اصلاح می‌کنم به‌این ترتیب‌که باید مقدار تمام خازن‌ها غیراز یکی‌از آنها را افزایش داد. باید توضیح بدهم که ثابت‌کردن این مطلب نیاز به‌محاسبات بسیار پیچیده‌ای دارد، اما اگر برای شما بگوییم‌که فقط‌یك مدار است که اختلاف فاز آن حداکثر می‌تواند به‌یك‌چهارم پریودبرسد، معنی آن کاملاً برایتان روشن می‌شود. علاوه‌براین هرچه فرکانس پائین‌تر باشد، تضعیفی‌که این مدار وارد کار می‌کند بیشتر است. اگر بتوان فرکانس راکم کرد، درحالیکه تضعیف همیشه‌کم می‌شود، قبل از اینکه مدارهای دیگر آغاز به واردکردن اختلاف فازهای زیاد در مدارکنند، می‌توان ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده را به‌کمتر از مقدار بحرانی ایجادنوسان برای فرکانسی رساندکه درآن‌اختلاف‌فازکل‌به‌نیم‌پریودمی‌رسد.

مبتدی- آه، عجب! بی‌نهایت پیچیده است! هروقت مسئلهٔ فاز پیش‌می‌آید همینطور است چون وحشتناك می‌شود.



مهندس- از یك جهت حق با شماست چون موضوع‌هائی‌که با فاز سروکار دارند غالباً دقیق هستند و این مطلب به‌خاطر آنکه افراد کمتر به‌حل آن عادت کرده‌اند دشوارتر می‌شود.

مبتدی- شبیه‌بودن ماشین‌های فرمان‌دهنده و تقویت‌کننده‌های ضد واکنشی را دارم می‌فهمم. می‌توان گفت‌سیستمی‌که شما برای‌جهت‌دادن‌به‌آنتن پیشنهادکرده‌اید یك «راهنمائی» آنتن بوجودمی‌آورد تااختلاف سطح بین دوسر متحرك‌پتانسیومترها به‌صفر برسد. تقویت‌کنندهٔ شکل ۱۴۴ شما هم بهمین‌ترتیب فشار خروجی‌اش را

---

۱. نگاه‌کنید به‌کتاب «رادیو؟... بسیار ساده است!» از همین‌مجموعه.

«راهنمائی» می‌کند تا اختلاف بین e و $\frac{1}{50}$ فشار خروجی‌اش عملاً صفر باشد و یا درست‌تر بگویم درست برابر مقداری باشدکه ورودی تقویت‌کننده می‌خواهد.

مهندس- آقای مبتدی، مطلب را کاملاً فهمیده‌اید و هربارکمتر از پیش این نام بشما می‌آید. امروز بخصوص سرحال هستید!

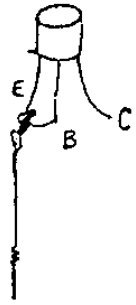
مبتدی- خواهش می‌کنم، من همیشه اینطورم.

مونتاژهای پائین‌آورندهٔ مقاومت ظاهری

مهندس- خوب، پس از این موضوع استفاده می‌کنم تا توجه شما را جلب کنم‌که ما قبلاً با ضد واکنش و فایدهٔ آن در مونتاژهای قبلی برخورد کرده‌ایم. آیا سیستم‌هائی راکه برای پائین‌آوردن مقاومت ظاهری خروجی یك تقویت‌کننده بکار برده‌ایم، بیاد دارید؟

مبتدی- بله، دربارهٔطبقه‌های باخروجی‌کاتدی لامپ یا خروجی روی‌ارسال‌کنندهٔ ترانزیستور برایم صحبت‌کرده‌اید. همینطور یادم هست که مونتاژ عجیبی بود که آنرا قوی‌کنندهٔ عضلانی می‌نامیدید (شکل ۵۰).

مهندس- دراینصورت حالا می‌فهمید کـه چرا مونتاژ خاصیت‌های جالبی داشت چون مونتاژ شکل ۵۱ یك تقویت‌کننده با دوطبقه بود، باضریب بهرهٔ بسیار زیاد و با تزویج مستقیم‌کـه به‌وسیلهٔ کاربرد ترانزیستورهای n–p–n و p–n–p درست شده بود. فشار ورودی بین ارسال‌کنندهٔ ترانزیستور اول و پایهٔ آن‌گذاشته شده بود؛ فشار خروجی در دوسر مقاومت بار جمع‌کنندهٔ ترانزیستور دوم، به‌عبارت دیگر بین این جمع‌کننده و بدنه، برداشت شده بود. درمونتاژ شکل ۵۰، با وصل کردن ارسال‌کنندهٔترانزیستور اول به‌جمع‌کنندهٔ ترانزیستور دوم، تمام‌فشارخروجی را روی این ارسال‌کننده می‌گذاریم‌که به‌این ترتیب از فشار ورودی‌کسر می‌شود. دراینجا ضریب ۲ برابر واحد است. بنابراین هرچه ضریب بهرهٔاصلی تقویت‌کننده شکل ۵۱ بزرگتر باشد، ضریب بهرهٔ مجموع مونتاژتازه، بیشتر به‌یك نزدیك‌است. برای طبقهٔ ساده‌ای که خروجی آن روی ارسال‌کننده است، مثل مدار شکل ۴۹، موضوع بهمین‌ترتیب است چون اگر، درحالی‌که مقاومت بار همانطور بین ارسال‌کننده و بدنه‌گذاشته شده است، فشار ورودی را بین ارسال‌کننده و بدنه بگذارید (فشار ورودی روی دوسیم مستقل‌که هرکدام ازبدنه جدا هستندگذاشته شود)، یك تقویت‌کنندهٔ معمولی بدست خواهید آورد.

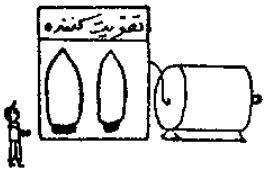


مبتدی- مسلماً نـه! مقاومت بار بجای اینکه در جمع‌کننده بـاشد، در ارسال‌کننده است.

مهندس- هیچ اهمیتی ندارد چون تنها چیزی که به‌حساب می‌آید اینست که جریان ترانزیستور به‌وسیلهٔ فشاری فرمان داده شودکه بین پایه و ارسال‌کنندهٔ آن‌گذاشته شده است واین جریان ازمقاومتی عبورکند تا در دوسر آن فشارمتغیری بوجود بیاورد. اهمیتی نداردکه مقاومت در ارسال‌کننده باشد یا جمع‌کننده، زیـرا جریانی‌که از این الکترودها می‌گـذرد عملاً یکی است. بنابراین می‌بینیدکه از این مونتاژ، به‌مونتاژ ارسال‌کنندهٔ تابع در شکل ۴۹ می‌رسیم درحالی که فقط باید

فشار ورودی را بین پایه وبدنه بگذاریم. در این شرایط فشار خـروجی از فشار ورودی‌کاسته می‌شود تا فشار u را بین بدنه و ارسال‌کننده بدست بدهد. دراینجا هم باز یك ضدواکنش مجموع‌داریم، یعنی یك ضدواکنش با ضریب r برابر باواحد.

مبتدی- حالا فایدهٔ این مونتاژها را درك می‌کنم به‌این معنی‌که مسلم‌است آنها مقاومت داخلی خروجی ضعیف، ضریب بهـرهٔ بسیار ثابت و مقاومت داخلی ورودی زیادی دارند.



مهار سرعت

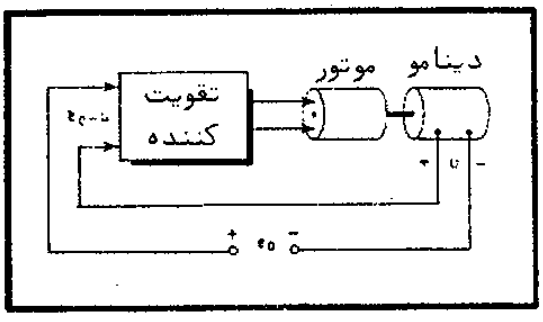
مهندس- کاملاً همینطور است. بـرای پایان‌دادن به‌این موضوع دلم می‌خواهدکمی دربارهٔ زیرفرمان‌گرفتن‌سرعت برایتان صحبت‌کنم. دراینجا مسئله‌اینست که موتوری را با سرعتی بگردانیم‌که‌کاملاً ثابت وقابل تصحیح باشد.

مبتدی- برای اینکار هیچ مشکلی نیست چون تصور می‌کنم که یك موتور همزمان بکار می‌بریدکه به‌آن جریانی می‌دهیدکه فرکانسش‌کاملاً معین باشد؟

مهندس- این‌کار دربعضی‌وقت‌ها انجام‌می‌شود. اماممکن است به‌این‌ترتیب ساختن یك تقویت‌کننده با باندگسترده و یك نیروزا با فرکانس متغیر، که احتمالاً باید هردوی آنها برای تهیهٔ توان قـابل توجهی‌که برای بکارانداختن یك موتور بزرگ لازم است، ساخته شوند، دشوار باشد. معمولاً کاربرد مثلاً یك‌موتور جریان مستقیم راکه یك جذب‌کنندهٔ سرعت‌راکه‌آنهم مثلاً یك‌دینامو‌ی سرعتی است بحرکت می‌آوردترجیح‌می‌دهند.

مبتدی- دینامو‌ی‌سرعتی دراینجا چکار می‌کند؟ آنکه یك سیستم ثبات‌است.

مهندس- این دینامو ممکن است بـه عنوان سیستم ثبات در مهار وضعیتی مثل حالت‌آنتن دوست شما بکار برود.حالاآنرا با روش دیگری بکارمی‌بریم (شکل ۱۴۶) چون فشار u آنرا با فشار ثابت e_0 فرمان مقایسه خواهیم‌کـرد؛ اختلاف بین این دو فشار است‌که به‌ورودی تقویت‌کننده خواهیم‌گذاشت‌که فشار خروجی‌اش موتور را فرمان می‌دهد. در حالت آهسته‌ترکردن حرکت موتور، فشار فرمان آن افزایش خواهد یافت، کـه این موضوع به‌موتور امکان می‌دهد با ترمزکردن مبارزه کند. به‌این ترتیب مهار سرعت را عملی‌کرده‌ایم.

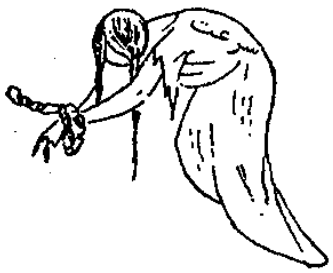


شکل ۱۴۶- برای ثابت نگه‌داشتن سرعت یك موتور در مقدار معین، تفاوت بین یك‌فشارثابت e_0 وفشار u راکه متناسب با سرعت است و بـه‌وسیلهٔ یك دینامو‌ی سرعتی بسته شده به‌موتور به وجود آمده است،به‌ورودی تقویت‌کننده‌ای‌که‌به‌موتور فرمان می‌دهد، می‌گذارند.

همینطور فرمان موتور به‌وسیلهٔ تیراترون راکه قبلاً بـرایتان گفتم زیاد بکارمی‌برند به‌این ترتیب‌که‌کاری می‌کنندکه سرعت موتور روی اختلاف فاز ضربه‌های‌کارانداز تیراترون اثر کند. بخصوص این‌کاریست‌که برای تغییردهنده‌های‌سرعت

در صنعت بکار می‌برند، که در ماشین‌های ابزار بسیار بکار رفته است که امکان‌می‌دهد از یك موتور بزرگ که با سرعت کمی می‌گردد و با اینحال زوج بسیار بزرگی دارد ویا اگر لازم‌شد از یك موتور با سرعت زیاد، همیشه موتوری با سرعت بسیار ثابت داشته باشند.

مبتدیـ توضیحات شما را بخوبی فهمیدم، اما همانطور که شما گفتید، من که سرحال بودم احساس می‌کنم که به‌سرعت دارم خسته می‌شوم. حس می‌کنم که اگر ادامهٔ این بحث برای یك دفعهٔ دیگر گذاشته شود، ترجیح دارد.

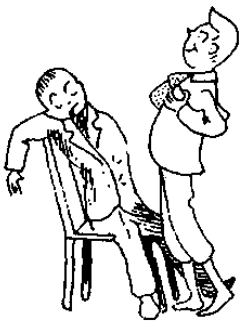


مبحث شانزدهم

قویتر و بازهم قویتر! مبتدی یك «ماشین‌حساب الکترونی» پتانسیومتری ساخته است. اساس آن عالی است اما اغتشاش موجب ایجاد عدم دقت در آن می‌شود. مهندس به‌او نشان می‌دهد که چگونه می‌شود این معایب را رفع کرد و با زرنگی از این مطلب بـرای یاد دادن تقویت‌کننده‌های عملی و ماشین‌های قیاسی به‌او استفاده می‌کند. مبتدی حالا می‌خواهد وارد مرحلهٔ ساختن شود؛ با اینحال ترجیح می‌دهد کمی از آنچه یادگرفته است بازگو کند تا ببیند نقاط حساسی که در تفکرات او انحراف ایجاد می‌کنند چیست.

حساب‌کننده‌های قیاسی

تقویت‌کننده‌های عملی



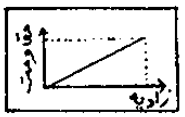
مهندس- آه آقای مبتدی امروز به‌ویژه مغرور بنظر می‌رسید! آیا اختراع تازه‌ای کرده‌اید؟

مبتدی- آقای عزیز، اختراع که چیزی نیست، ساختن مهم است. درواقع بدانید از اینکه به‌تازگی ساخت ماشین‌حساب الکترونی را تمام کرده‌ام خیلی بخود می‌بالم.

مهندس- آه!...

خطی‌بودن یك پتانسیومتر

مبتدی- خواهش می‌کنم غش نکنید. کار به ایـن ترتیب شروع شد: رفتم پتانسیومترهائی برای آنتن دوستم بخرم و چند تا از آنها خریدم، چون مقداری از آنها پیدا کردم که خیلی جالب بود. فروشنده‌ای که آنها را بمن فروخت، بمن گفت که خیلی خطی‌هستند، یعنی از وضعیت آغاز وقتی محورش‌را بگردانیم‌مقاومتی بین سر متحرك و یکی‌از دو انتهای پتانسیومتر بدست می‌آید که کاملاً متناسب با زاویه‌ایست که آنرا چرخانده‌ایم.

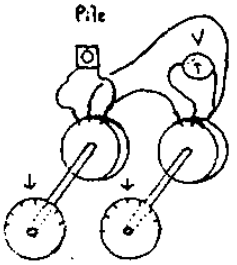


مهندس- آقای مبتدی‌دیگر شمارا نمی‌شود شناخت، تعریف شما ریاضی به تمام معناست. البته کاملاً درست است. خوب ادامه بدهید.

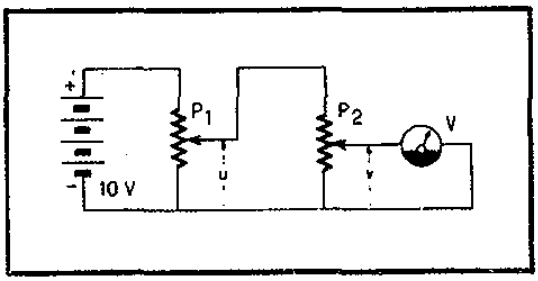
مبتدی- خواستم ببینم چیزی که فروشنده گفته درست است یا نه. بنابراین به‌پتانسیومتر فشاری گذاشتم کـه درست ۱۰ ولت بود و از یك تغذیهٔ خوب و ثابت گرفته می‌شد. روی محور پتانسیومتر صفحهٔ کوچکی گذاشتم که با دقت آنرا زینه‌بندی کرده بودم، آنرا به‌ده‌بخش‌برابر ازوضعیت شروع تا وضعیت‌انتهای‌پتانسیومتر تقسیم‌کردم ویك ولتمتر خوب بین سر متحرك پتانسیومتر و انتهای مقاومتی که سر متحرك از آن شروع به‌حرکت‌کرده است، قرار دادم. دراین لحظه مشاهده کـردم که مقدار نشان داده شده به‌وسیلهٔ ولتمتر کاملاً با زینه‌بندی صفحه وابسته است. روی خط پنجم زینه‌بندی در نیمه راه یك فشار پنج ولت بدست آوردم.

مهندسـ آقای مبتدی بشما تبریك می‌گویم، همان‌کاری‌که برای آزمایش خطی‌بودن پتانسیومتر باید انجام دهید، کاملاً انجام داده‌اید. حالا بنظر من اگر بخواهید این را ماشین‌حساب نامگذاری کنید، کمی از مرحله پرت می‌شوید.

پتانسیومتر دوم



مبتدیـ آقای مهندس فکر می‌کنیدکه مـن جرأت می‌کنم برای چیز به این‌کوچکی شما را عصبانی کنم؟ بگذارید تشریح خودم را تمام کنم. چون فشاری داشتم‌که با چرخاندن محور پتانسیومتر تغییر می‌کرد، فکرکـردم‌که می‌شود آنرا به‌سیمهای یك پتانسیومتر دیگرکه بسیار شبیه به‌پتانسیومتر اول اما مقاومتش‌خیلی زیادتر از آنست گـذاشت تا فشار سر متحرك پتانسیومتر اول را برهم نزند. این پتانسیومتر دوم هم مجهز به‌صفحه‌ایست‌که برای تمام‌گردش پتانسیومتر از ۵ تا ۱۰ زینه‌بندی شده است. در اینحال ولتمتر بین سر متحرك ایـن پتانسیومتر دوم و انتهای پائینی آن قرار دارد، همانطور کـه شکل ۱۴۷ نشان می‌دهد. در اینحال فشارگذاشته شده به‌پتانسیومتر دوم u است؛ فشاری‌که روی ولتمتر V می‌خوانم و u می‌نـامم چیزی نیست غیراز حاصلضرب u در تضعیف (کاهش) پتانسیومتر دوم. اگر بپذیریم‌که انحراف ولتمتر V تا آخر را ۱۰۰ واحدگرفته باشم (۱۰ ولت)، این انحراف عددی بمن می‌دهدکه حاصلضرب دوعدد نشان داده شده روی دو زینه‌بندی است. موضوع همین است وگمان می‌کنم بنظر شما با ارزش است؟



شکـل ۱۴۷ـ «ضـرب‌کنندهٔ مقایسه‌ای مبتدی» از دو پتانسیومتر با خطی‌بودن بسیار زیاد ویك ولتمتر تشکیل می‌شود.

مهندسـ آقای مبتدی کار موفقیت‌آمیزی است، اکنون یـك ضرب‌کنندهٔ مقایسه‌ای ساخته‌ایدکه‌گاهی درماشین‌حساب‌ها بکار می‌برند.

مبتدیـ آه! پس‌قبلاً آنرا می‌شناختید! مرا ببین‌که می‌خواستم اجازهٔ‌ساخت آنرا برای خودم بگیرم!

مهندسـ آقای مبتدی مضطرب نشوید، اگر همینطور ادامه بدهید، بزودی اجازهٔ ساخت‌های دیگری می‌گیرید. سیستم شما خیلی زیرکانه است و از اینکه به تنهائی آنرا یافته‌اید تبریك می‌گویم. مقدار پتانسیومترهای P_1 و P_2 چقدر است؟

مبتدیـ P_1، مقاومـت ۲۰۰۰ اهمی است و P_2 مقاومتش ۱۰۰۰۰۰ اهم است و ولتمتر من یك بررسی‌کنندهٔ متداول $20000\,\Omega/V$ (۲۰۰۰۰ اهم به ولت) است.

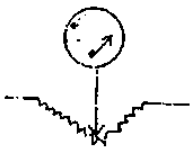
مهندسـ آیا مونتاژ شما خیلی دقیق است؟

مسئلهٔ دقت

مبتدی- برای اینکه چیزی را مخفی نکرده باشم، باید بگویم کـه کمی سرخوردم. بخصوص وقتی‌که سرمتحرك P_2 را نزدیك وسط می‌گذاشتم. به‌این‌ترتیب بودکه مثلاً با گذاشتن سر متحرك هردو پتانسیومتر در وسط (هردو روی خط‌تقسیم ۵) ولتمتر V باید ۲۵ قسمت را نشان می‌داد (۲/۵ ولت)، درحالی‌که دیدم کمی بیشتراز ۲۲ را نشان می‌دهد. بدون شك زینه‌بندی را با دقت انجام نداده‌ام.

مهندس- به‌این‌علت نیست، شمارا خوب‌می‌شناسم ومی‌دانم‌که وقتی‌بخواهید، در رسم پس بسیار دقیقی هستید. این مطلب علت دیگری دارد. بگذارید من‌حساب کنم... خوب، خوب، کار روبراه است. اشتباه به‌جاست.

مبتدی- دراینصورت برای من توضیح بدهید.



مهندس- خیلی ساده است، فراموش‌کرده‌ایدکه ولتمتر V، اختلاف سطح پتانسیومتر P_2 را برهم می‌زند. این پتانسیومتر مقاومت صد هـزار اهمی دارد؛ ولتمتر V روی اندازهٔ ۱۰ ولت، ۲۰۰۰۰۰ اهم مقاومت دارد. می‌بینید کـه این مقاومت نسبت به مقاومت P_2 بی‌نهایت نیست و فشار v که اندازه می‌گیرید کمتر از فشاری است‌که اگر ولتمتری با مقاومت زیادتر بکار می‌بردید، بدست‌می‌آوردید.

مبتدی- دراینصورت باید یك ولتمتر اختصاصی بجای ولتمتر V بکاربرد؟

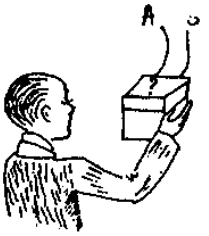
مهندس- بدون‌آن‌هم می‌توانید این‌کار را بکنید. اگر مقاومت‌پتانسیومتر P_2 راکمتر انتخاب‌کنید نتیجه‌ای‌که می‌گیرید خیلی بهتر خواهد بود. محاسبه نشان می‌دهدکه بهترین‌مقدار آن ۱۴۰۰۰ اهم است. اگر آنرا ده هزار اهم هم بگیرید چیز خوبی خواهید داشت.

مبتدی- با کمال‌میل قبول می‌کنم‌که دراین‌حالت ولتمتر V دیگراختلاف سطح پتانسیومتر P_2 را برهم نمی‌زند. اما می‌ترسم‌که این مقاومت ده هزار اهمی که روی سر متحرك P_1 وصل است. این‌بار اختلاف‌سطح P_1 را به‌شدت برهم‌بزند.

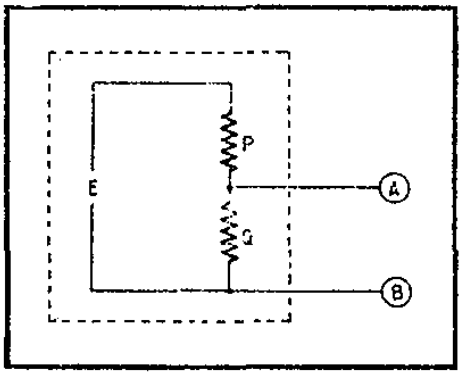
مبدل تونن Thévenin

مهندس- الان به‌شما نشان می‌دهم‌که چگونه این اغتشاش را محاسبه می‌کنند. برای اینکار روش بسیار متداولی را بشما یاد خواهم دادکه آنرا مبدل تونن می‌نامند.

یك منبع E را در نظر بگیرید (شکل ۱۴۸)که روی یـك تقسیم‌کنندهٔ فشار تشکیل شده از مقاومت‌هـای P و Q وصل شده است. اگـر مجموع منبع و مقاومت‌ها دریك جعبهٔ دربسته قرار داشته باشند بین نقطه‌های A و B تقریباًمعادلی از یك منبع تازه بدست آورده‌ام. مبدل تونن به‌ما می‌گویدکه بین نقطه‌های A وB از سوی خارج جعبه، درست مثل اینست‌کـه ما منبعی داریم بانیروی محرکهٔ E' و مقاومت درونی r. این‌مقدار را محاسبه می‌کنیم. برای نیروی محرکهٔ E'، مشکلی وجود ندارد چون وقتی درخارج جعبه بین نقطه‌های B و A چیزی وصل‌نشده‌باشد، همان اختلاف سطحی است‌که بین این دو نقطه وجود دارد. بدون‌شك می‌توانید این مقدار را با محاسبهٔ جریانی‌که E ایجاد می‌کند، حساب‌کنید.

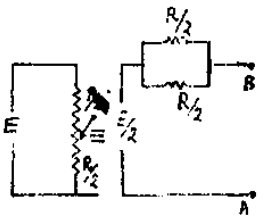


مبتدیـ بنظر من بسیار ساده‌است چون جریان منبع E از مقاومت‌های P و Q که بطور پیاپی قرار دارند می‌گذرد و بنابراین برابراست با $\frac{E}{(P+Q)}$؛ این جریـان وقتی از مقاومت Q می‌گـذرد افت فشاری برابر $\frac{E.Q}{(P+Q)}$ درآن بوجود می‌آورد.



شکل ۱۴۸ـ یـك فشار E کـه به تقسیم‌کنندهٔ P_Q گـذاشته شده است، مقداری فشار بین A و B بدست می‌دهد.

مهندسـ کاملاً درست است. بنابراین مقدار E′ همین خواهد بود (شکل ۱۴۹). مقاومت درونی منبع معادل خواهد بود...



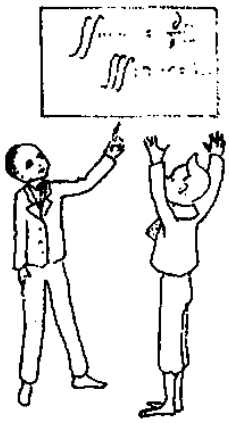
مبتدیـ تصور می‌کنم‌که بطور ساده برابر P است.

مهندسـ دراینجا اشتباهی کردیدکه تقریباً همه می‌کنند. درواقع،مقاومت درونی معادل وابسته به P و Q بطور موازی است یعنی $\frac{PQ}{(P+Q)}$

مبتدیـ از نظر نتیجه تقریباً غیرمنتظره است. باوجـود این مقاومت P بین منبع E و نقطهٔ A کاملاً بطور پیاپی قرارگرفته است.

مهندسـ می‌توانم درستی آنرا به‌وسیلهٔ ریاضی ثابت‌کنم.

مبتدیـ هرکار می‌خواهید بکنید، غیراز اینکار!

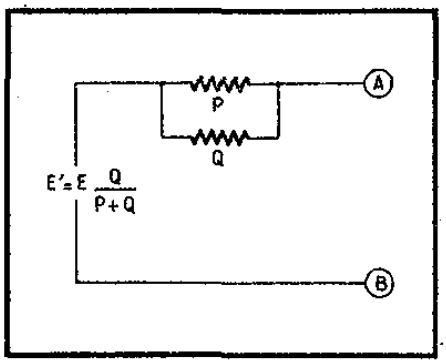


مهندسـ منتظر همین واکنش بودم. این را بدانیدکه مقاومت Q موازی با هرچیزی است که شما بین نقطه‌های A و B قرار می‌دهید. اگر Q نسبت به P کم باشد، می‌توانیم بین A و B مقاومتی قرار دهیم که نسبت به P کم اما نسبت به Q زیاد باشد. بنابراین مقدار Q تغییر نخواهدکرد، که معنی‌اش اینست‌که فشار بین A و B کم تغییر می‌کند. بنابراین می‌بینیدکه منبع معادل ما، یـك مقاومت درونی داردکه خیلی کمتر از P است.

مبتدیـ خوب، مبدل‌تونن شمارا قبول دارم. چگونه‌آنرا برای‌پتانسیومتر P_1 خودمان بکار می‌بریم؟

مهندسـ بطور ساده بادرنظرگرفتن اینکه بجای منبع ۱۰ ولتی ودوبخش پتانسیومتر P_1 شماکه به‌ترتیب بالاوپائین سر متحرك قرارگرفته‌اند، منبعی گذاشته شده‌که فشار آن‌کمتر از ۱۰ ولت است، و از این گـذشته درست وابسته به‌زینهٔ پتانسیومتر P_1 است و مقاومت درونی آن برابر دوبخش P_1 است‌که بطور موازی با هم قرارگرفته‌اند.

می‌بینید که وقتی سر متحرك P_1 نزدیك به‌انتهای یك مقاومت است، این مقاومت درونی خیلی‌کم است، چون یکی‌از دو بخش مقاومت مقدار بسیار کمی را نشان می‌دهد. می‌توان نشان دادکه این مقاومت درونی معادل، وقتی سر متحرك در



شکل ۱۴۹ـ فشار بین (A) و (B) شکل ۱۴۸ معادل (تبدیل تونن) با فشاری است‌که یك‌قوه با نیروی محرکهٔ E می‌دهد و مقاومت درونی آن‌برابرPموازی‌با Q است(یعنی $\frac{P\,Q}{(P+Q)}$)

وسط قرار دارد به‌بیشترین مقدار می‌رسد. در ایـن لحظه هردو بخش پتانسیومتر مقاومتی دارندکه برابر نیمی‌از مقاومت کـل است. وقتی این دو بصورت موازی قرار بگیرند مقاومت معادلی بشما می‌دهندکه $\frac{1}{4}$ مقاومت‌کل است. به‌عبارت‌دیگر، منبع معادل تغذیه ۱۰ ولتی و پتانسیومتر P_1 شما، نیروی محرکـه‌ای دارد کـه برحسب موقعیت سر متحرك P_1، بین ۰ و ۱۰ ولت تغییر می‌کند. مقاومت درونی آن وقتی سر متحرك P_1 کاملاً درپائین است، ازصفر شروع می‌شود، وقتی‌سرمتحرك در وسط قرار دارد بیشترین مقدار راکـه برابر ۵۰۰ اهم است بخود می‌گیرد، تا وقتی سر متحرك‌کاملاً به‌بالا رسید دوباره به‌صفر برسد. بنابراین باید روی مقاومت درونی معادلی‌که‌حداکثر ۵۰۰ اهم است، حساب‌کرد. پس می‌بینیدکه یك‌پتانسیومتر P_2 بامقاومت ده‌هزار اهم فشار ظاهرشده بین سر متحرك P_1 وبدنه (بدون‌مقاومت دیگر) را فقط‌کمی برهم می‌زند.

مبتدی‌ـ بنابراین نتیجه را به‌این ترتیب می‌فهمم که بین سر متحرك P_2 و بدنه مقاومت درونی معادلی داشتم که وقتی سر متحرك در وسط قرار داشت می‌توانست به ۲۵۰۰۰ اهم برسد. در این شرایط عادی بودکه مقاومتی مثل مقاومت ولتمترکه روی زینه ۱۰ ولت برابر ۲۰۰۰۰۰ اهم است، چنین منبعی را به‌شدت مغشوش کند.

مهندس‌ـ این اغتشاش درست برابر ۱۱ درصد بوده است.

اغتشاش آبشاری

مبتدی‌ـ اما بنظر من موقعیت وخیم است چون اگر بـرای P_2 مقاومت زیادی درنظر بگیرید، ولتمتر V فشار خروجی P_2 را مغشوش می‌کند. اگربرای P_2 مقدارکمی انتخاب‌کنید، این پتانسیومتر فشار سرمتحرك P_1 را مغشوش می‌کند. به‌عبارت دیگرموقعیت هما نقدرغم‌انگیز است‌که موقعیت مردی‌که می‌خواست پول زیادی بدست بیاورد (تا ثروتمند شود)، اما پول کمی داشته باشد (تاما لیات

کمتر بدهد) تأثرآور است.

مهندس- این مسئله بخصوص دردناك است. اما اینهم مثل مسئلهٔ ماشین حساب شما راه‌حلی داردکه مصالحه است. با انتخاب P_1 به مقدار ۱۴۰۰۰ اهم است که کمترین اغتشاش را خواهیم داشت.

بهرحال اگر می‌خواستیم حاصلضرب سه مقدار را باسه پتانسیومتر آبشاری داشته باشیم، برای پیداکردن مقدار مقاومت‌های پتانسیومترها که بصورت تصاعد هندسی هستند دچار زحمت می‌شدیم. بنابراین روش ساده‌تری را بکار می‌بریم به‌این ترتیب‌که بین سر متحرك P_1 و سیم‌پیچی مقاومتی پتانسیومتر P_2، تقویت‌کننده‌ای می‌گذاریم که مقاومت ظاهری را پائین می‌آورد و ضریب بهره‌ای داردکه تا حد امکان نزدیك به‌یك است ومقاومت ورودی بزرگ و مقاومت خروجی کمی دارد.

مبتدی- فکر می‌کنم‌که چیزی ازنوع طبقه با ارسال‌کنندهٔ تابع یا «تقویت‌کنندهٔ عضلانی»که شکل خلاصهٔ آنرا درشکل ۵۰ برایم کشیده‌اید بکار خواهیدبرد.

تقویت‌کننده‌های عملی

مهندس- درست همینطور است. حالا که صحبت دربارهٔ این روش حساب کردن را آغازکرده‌ایم، به‌شما نشان خواهم دادکه با تقویت‌کننده‌های عملی چه‌کار جالبی می‌توان انجام داد.

مبتدی- اینهم‌گروه تازه‌ای از تقویت‌کننده‌ها که چیزی ازآن نمی‌دانم!

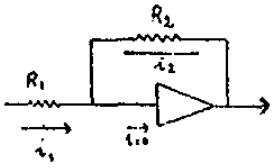
مهندس- آقای مبتدی خیلی ساده‌تر از آنست‌که فکر می‌کنید. بطورساده یك تقویت‌کننده با تزویج مستقیم راکه ضریب بهرهٔ بسیار زیاد، مقاومت ورودی بسیار بزرگ و مقاومت خروجی بسیار کمی داشته باشد، اینطور می‌نامند. غالباً تقویت‌کننده‌های عملی، اختلافی هستند، به‌عبارت دیگر شامل دو ورودی هستند و عملاً فقط دربرابر اختلاف فشارهای گذاشته شده به‌ورودی، حساس هستند نه‌دربرابر مقدار عمومی این دوفشار. مثلاً اگر به‌ورودی یك، فشار ۰/۲+ میلی ولت و به ورودی ۲ فشار ۰/۲− میلی‌ولت‌گذاشته شود در خروجی همان فشاری بدست می‌آیدکه روی‌ورودی‌یك، فشار ۱/۰۰۴ ولت وبه‌ورودی ۲، فشار ۱ ولت‌گذاشته‌شود.

این مسئله مونتاژ را ساده‌تر می‌کند و امکان بکاربردن ضدواکنش جریان (مانند شکل ۱۵۰) یا ضدواکنش فشار، مانند شکل ۱۴۴ را دراین تقویت‌کننده‌ها بوجود می‌آورد. برای کاربردی برابر شکل ۱۵۰، باید ورودی‌آنراکه «ورودی−» یا «ورودی معکوس‌کننده» نامیده می‌شود بکارگرفت‌که وابسته به‌علامت خروجی با فاز مخالف با علامت ورودی است؛ ورودی دیگر راکه «ورودی +» یا «ورودی غیرمعکوس‌کننده» نام‌دارد (واگر به‌تنهائی زیرتأثیر قرار می‌گرفت، علامت‌خروجی هم‌فاز با علامت ورودی بدست می‌داد) به‌بدنه متصل می‌کنند.

برای ضدواکنش فشار، ورودی + زیرتأثیر قرار می‌گیرد و روی‌ورودی − (یا ورودی معکوس‌کننده) است‌که بخشی‌ازفشار خروجی‌گذاشته می‌شود. تقویت‌کننده‌های عملی مجتمع، مثل $\mu A709$، SFC۲۷۰۹ وغیره از همین‌نوع هستند. بعداً خواهیم دیدکه آنهارا چگونه می‌سازند.

فرض‌کنیدکه چنین تقویت‌کننده‌ای را، همانطورکه در شکل ۱۵۰ نشان

داده‌ام، سوار کرده باشیم، ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده منفی است؛ به‌عبارت‌دیگر تقویت‌کننده برای یك فشار مثبت ورودی (که به‌سبب ضریب بهرهٔ زیاد آن بسیار ضعیف است)، درخروجی فشار منفی به‌ما می‌دهد. آیا می‌توانید جریان‌هائی را که از مقاومت‌های R_1 و R_2 که برابر انتخاب کرده‌ایم، می‌گذرند، بمن نشان بدهید؟



مبتدی‌ـ آنقدر، روی مقدار بسیار زیاد ضریب تقویت‌کنندهٔ خودتان اصرار کردید که حدس می‌زنم باید اختلاف سطح A ورودی آنرا صفر گرفت. بنابراین جریان در R_1 برابر $\frac{A}{R_1}$ و در R_2 مقدار $\frac{A}{R_2}$ خواهد بود.

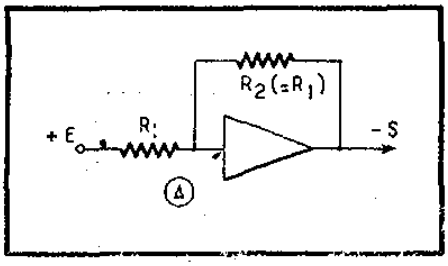
مهندس‌ـ کاملاً درست است. حالا می‌توانید بمن بگوئید که این‌دو جریان نسبت بهم چه مقداری دارند.

مبتدی‌ـ دراین‌مورد هیچ حدسی نمی‌توانم بزنم.

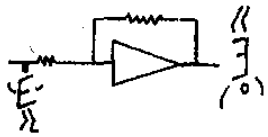
مهندس‌ـ باوجود این به‌شما گفته بودم که مقاومت ورودی این تقویت‌کننده خیلی‌زیاد است. بنابراین جریان ورودی آن عملاً صفر است. معنی‌اش اینست که جریان‌هائی که از R_1 و R_2 می‌گذرند، برابرند. چون مقاومت‌های R_1 و R_2 برابرند، می‌توانید از آن نتیجه بگیرید که $E=S$.

مبتدی‌ـ واقعاً خیلی زحمت کشیدید تا ضدواکنش‌را دوباره برایم شرح‌دادید.

مهندس‌ـ خشنودم که آنرا دوباره‌شناختید. بنابراین چنین تقویت‌کننده‌ای امکان بدست‌آوردن یك‌علامت معکوس را به‌وجود می‌آورد، یعنی از روی یك‌فشار



شکل ۱۵۰ـ ضریب بزرگ ضد واکنش که به تقویت‌کننده گذاشته شود، باعث می‌گردد که ضریب بهره‌اش برابر ۱ـ شود (همیشه باید فشار در A را تقریباً صفر گرفت و جریان ورودی تقویت‌کننده هم صرفنظر کردنی است).



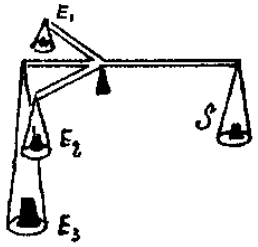
داده شده، یك فشار برابر و با جهت مخالف را بدست می‌دهد. حالا اگر مقاومت R_2 برابر R_1 نبود ومثلاً پنج برابر آن بود، فشار خروجی S که بدست می‌آوریم، ۵ برابر فشار ورودی بود. بنابراین وسیلهٔ ساده‌ای دراختیار داریم که یك فشار را در ۵ ضرب کنیم.

مبتدی‌ـ اما همهٔ این‌ها را قبلاً برایم گفته‌اید. دراینجا چیز تازه‌ای وجود ندارد.

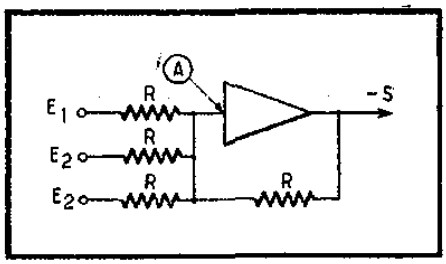
جمع

مهندس‌ـ الان به‌آن‌هم می‌رسیم. حالامونتاژ شکل ۱۵۱ را درنظربگیریم. جریان‌هائی که از سه مقاومت سمت چپ می‌گذرند به ترتیب عبارتند از $\frac{E_1}{R}$، $\frac{E_2}{R}$ و $\frac{E_3}{R}$. جریانی که از مقاومت سمت راست می‌گذرد مانند قبل $\frac{S}{R}$ است. در

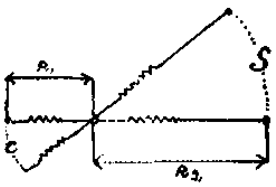
واقع اختلاف سطح در A همیشه به‌سبب بهرهٔ بسیار زیاد تقویت‌کننده، برابر صفر گرفته شده است. به‌سبب مقاومت ظاهری زیاد ورودی تقویت‌کننده، جریانی که به ورودی آن می‌رسد باید صفر گرفته شود که این مطلب باعث می‌شود مجموع سه جریانی که به نقطهٔ A می‌رسند برابر جریانی باشند که از آن خارج می‌شود. اگر این برابری را بنویسید و مخرج‌های R را از دوطرف حذف کنید، بدست می‌آورید:
$E_1+E_2+E_3=S$. به‌این ترتیب فشاری بدست آورده‌ایم که برابر مجموع سه فشار است.



مبتدیـ دستگاه شما بسیار زیرکانه است و تا اندازه‌ای مرا به‌یاد یك نوع ترازو می‌اندازد. درواقع اگر بازوی سمت چپ شاهین ترازو سه‌شاخه با درازای مساوی بود که هرکدام یك کفه داشت، می‌توانستیم بگوئیم که وزنه‌هائی مساوی E_1، E_2 و E_3 درکفه‌های سمت چپ گذاشته‌ایم. ترازو با وزنهٔ S که درکفهٔ سمت راست می‌گذاریم بحال تعادل درمی‌آید و این در موقعی است که این وزنه برابر مجموع سه وزنه‌ای باشد که درسمت چپ گذاشته شده است.



شکل ۱۵۱ـ این مونتاژ درخروجی فشاری تهیه می‌کند که برابر با مجموع سه فشار ورودی (صرفنظر از علامت آن) است.



مهندسـ تشبیه شما عالی است. وآنگهی می‌توان گفت که در مورد شکل ۱۵۰ هم بکار برده می‌شود به‌این ترتیب که چون اختلاف سطح نقطهٔ A ثابت است، اختلاف‌سطح‌های انتهای‌چپ R_1 و انتهای راست R_2 متناسب‌بامقدار این دومقاومت تغییر می‌کند؛ درست مثل حرکت‌هائی است که دوانتهای یك اهرم که نقطهٔ A نقطهٔ اتکاء آنرا تشکیل می‌دهند، درحالی که درازای بازوهای اهرم به‌ترتیب برابر R_1 و R_2 است.

مبتدیـ به‌این ترتیب روشی برای جمع‌کردن سه فشار به‌من داده‌اید...

مهندسـ حالت سه ورودی را فقط به‌عنوان مثال انتخاب کردم. می‌شود هرقدر بخواهیم تعداد ورودی را زیادکنیم.

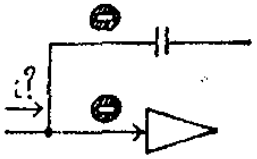
مبتدیـ این‌را فهمیدم. چیزی‌که می‌خواستم بگویم، اینست که این دستگاه جمع را انجام می‌دهد اما برای تفریق چه می‌کنید.

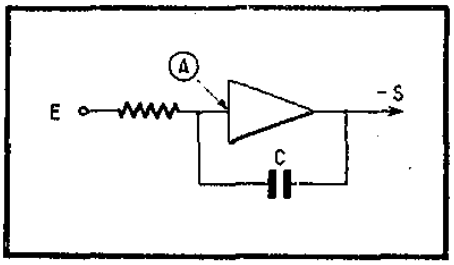
مهندسـ خیلی ساده است، به‌وسیلهٔ مونتاژ شکل ۱۵۰، با مقاومت‌های R_1 و R_2 که برابرند، به یك فشار E مثبت. یك فشار S منفی را وابسته می‌سازند که مساوی با آنست. با «اضافه‌کردن» این فشار S— در مونتاژ شکل ۱۵۱، به‌حالت کسرکردن فشار E از آنها برمی‌گردد.

حالا دلم می‌خواهد بگوئید دربارهٔ مونتاژ شکل ۱۵۲ چه فکر می‌کنید.

انتگرال‌گیرنده

مبتدی- خیلی ساده بنظر می‌آید، اما به‌این سادگی آشکار اعتماد ندارم. برای اینکه به‌روش استدلالی که تا بحال داشته‌ایم گفته باشم، گمان می‌کنم بتوانم بگویم





شکل ۱۵۲- مونتاژ تقویت‌کنندهٔ انتگرال‌گیرنده

که اختلاف سطح نقطهٔ A عملاً صفر باقی می‌ماند. درنتیجه جریانی که از R می‌گذرد خواهد بود $\frac{E}{R}$. فقط ایـن مطلب بهیچوجه ادامـه نمی‌یابد چون این جریان نمی‌تواند به ورودی تقویت‌کننده برود (مقاومت ورودی بی‌نهایت است). باید این جریان به‌خازن برود درحالی که نمی‌توان جریان مستقیم را وارد خازن کرد.

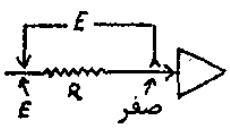
مهندس- مسلماً اگر بخواهد همیشگی باشد، امکان‌پذیر نیست. اما نمی‌دانم چه چیز با فرستادن جریان مستقیم در مدتی محدود برای پر کردن خازن مخالفت می‌کند.

مبتدی- درست است فکرش را نکرده بودم. امـا نمی‌تواند خازن شما را پر کند چون جوشن چپ به‌اختلاف سطح صفر وصل است و جوشن راست به‌خروجی تقویت‌کننده ارتباط دارد!

مهندس- آقای مبتدی قطعاً کمتر از چند دقیقه پیش سرحال هستید چـون خروجی تقویت‌کننده نقطه‌ای نیست که اختلاف سطح ثابتی داشته باشد. به‌تدریج که خازن پر می‌شود، اختلاف سطح جوشن سمت راست آن پائین خواهد آمد. بنابراین می‌بینید کـه جریانی که در هر لحظه خازن را پر می‌کند، متناسب با E است. چه نتیجه‌ای از آن می‌گیرید؟

مبتدی- گمان می‌کنم اگر E را ثابت نگهدارم، خازن C باجریان ثابتی پرخواهد شد، یعنی برحسب قاعده‌ای که کاملاً منظم است.

مهندس- درست است و دقیقتر بگویم برحسب قاعده خطی است. و اگـر E ثابت نباشد چطور؟



مبتدی- این دیگر وحشتناك می‌شود چون خازن جریان دریافتی را درخود جمع می‌کند و همه‌را بهم می‌افزاید و مخلوط وحشتناکی بوجود می‌آید.

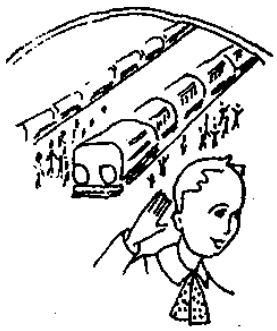
مهندس- خازن آنها را بهم اضافه نمی‌کند، کار بهتری انجام می‌دهد چون انتگرال آنهارا می‌گیرد. چیزی که به‌این ترتیب ساخته‌ایم یك مدار انتگرال‌گیرندهٔ تقریباً کامل است. یادتان هست که یکی از این مدارها را فقط با یك مقاومت و یك خازن (شکل ۷۰) ساخته بودیم. این مدار را نمی‌توانستیم بکار ببریم مگر درحدودی که فشارخروجی S ضعیف وحتی نسبت به‌فشار ورودی E صرفنظر کردنی بود، برای

اینکه بتوان فشار دو سر مقاومت R را کاملاً برابر E در نظر گرفت، در مونتاژ شکل ۱۵۲، حتی اگر فشار خروجی زیاد باشد، فشار دو سر R کاملاً برابر E است. پس این مدار یك انتگرال‌گیرندهٔ کامل است.

مبتدی- وقتی شروع بـه صحبت از انتگرال و چیزهای دیگر می‌کنید، خیلی پریشان می‌شوم. اما گمان می‌کنم کـه این نوع مدار هیچوقت تنها نمی‌ماند. وقتی از انتگرال‌گیرنده صحبت می‌شود، تصور می‌کنم که مشتق گیرنده هـم دور از آن نیست.

مهندس- حق با شماست. باعوض‌کردن جای خازن ومقاومت درشکل ۱۵۲ یك مدار مشتق‌گیرنده بدست می‌آوریم. می‌بینید که با این تقویت‌کننده‌های عملی، می‌توانیم ضرب در یك عدد ثابت، جمع، تفریق، انتگرال‌گرفتن و مشتق‌گرفتن را انجام دهیم.

ضرب‌کنندهٔ قیاسی

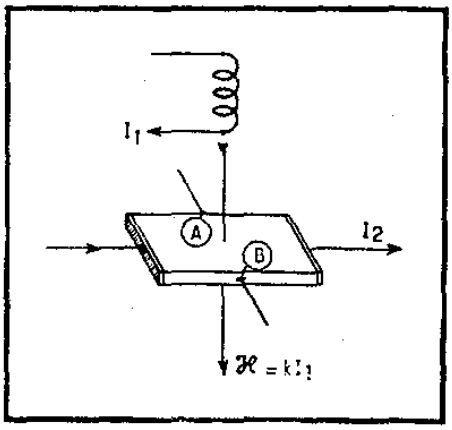


مبتدی- بله، اما بعضی چیزها کسر است. اگر بخواهید ازمقادیری شروع کنید که همیشه فشارهای الکتریکی باشند، نمی‌دانم برای ضرب‌کردن دومقدار درهم چه خواهید کرد. «مونتاژ مبتدی» درشکل ۱۴۷ فقط برای وضعیت قرارگرفتن محور پتانسیومترها بکارمی‌روند نه برای فشارها.

مهندس- می‌توانیم به‌اجبار آن‌چیزی راکه شما «مونتاژ مبتدی» می‌نامید بکاربیریم درحالی که سرهای متحرك P_1 و P_2 را به‌وسیلهٔ دستگاههای فرمان‌دهنده‌ای فرمان بدهیم که به‌وسیلهٔ فشارهائی که باید درهم ضرب شوند، تحریك می‌گـردند. روش‌های دیگری‌هم وجود دارند مثلاً روشی که برپایهٔ «اثرهال Hall» بناشده‌است.

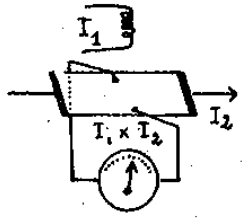
مبتدی- این‌همان اثر پیچیدن صداست که دریك سالن راه‌آهن شنیده‌می‌شود.

مهندس- خواهش می‌کنم جدی باشید. اثر موردبحث شامل ظاهرشدن یك اختلاف سطح بین دونقطه از صفحهٔ کوچك یك نیمه‌هادی است که جریانی از آن می‌گذرد که عمود بریك میدان مغناطیسی است بهمان ترتیب که درشکل ۱۵۳ برایتان



شکل ۱۵۳- اثرهال: در یك صفحهٔ نیمه‌هادی، که جریان I_2 از آن‌گذشته است و زیر اثریك میدان H قـرار دارد، بین نقطه‌های A وB اختلاف سطحی آشکار می‌شودکه با I_2 و H متناسب است.

کشیده‌ام. جریان در صفحه از چپ به‌راست می‌گذرد و میدان مغناطیسی H از بالا

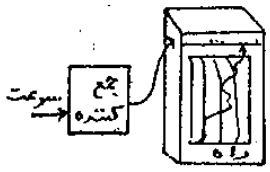


به‌پائین است؛ بین نقطه‌های A و B اختلاف سطحی آشکار می‌شودکه از یك طرف متناسب با جریان واز سوی دیگر متناسب با میدان مغناطیسی است. اگر میدان مغناطیسی را به‌وسیلهٔ یك سیم‌پیچی‌که با جریان I_1 تحریك شده است، بوجود آورده باشیم واز صفحهٔ جریان I_2 را بگذرانیم، اختلاف سطح بین A و B با حاصلضرب $I_1 I_2$ متناسب خواهد بود. به این ترتیب است که می‌توان یك ضرب‌کنندهٔ قیاسی ساخت.

قلمروی محاسبهٔ قیاسی

مبتدی- درواقع این مطلب بنظر من روشن است. برعکس صفت «قیاسی» راکه چندین‌بار بکار برده‌اید، نمی‌فهمم.

مهندس- این صفت دسته‌ای از ماشین‌حساب‌ها را مشخص می‌کندکه روی مقادیر الکتریکی بـا تغییرات مداوم عمل می‌کنند. ایـن مقادیر به‌وسیلهٔ **قیاس (شباهت) الکتریکی** نمایش‌دهندهٔ مقادیری با طبیعت‌گوناگون هستندکه روی آنها می‌توان محاسبه را انجام داد. مثلاً بامدار انتگرال‌گیرندهٔ شکل ۱۵۲، به‌ورودی فشاری می‌گذاریم‌که نمایندهٔ سرعت یك متحرك است. فشار خروجی، زیرشکل یك قیاس الکتریکی، راه پیموده شده به‌وسیلهٔ این‌متحرك‌را نمایش خواهدداد. می‌بینید که روش بکار برده شده در اینجا با آنچه در محاسبه بکار برده‌ایم کاملاً متفاوت است به‌این‌ترتیب‌که ماشین‌های دوعلامتی عددها را بکار می‌بردند وعملیات حساب‌را روی این اعداد انجام می‌دادند، هرعدد فقط بطور غیرمداوم تغییر می‌کرد و معادل شبیه به‌یك پدیده را نمایش نمی‌داد بلکه بیان عددی این پدیده بود.



مبتدی- اختلاف این‌دو را بخوبی‌فهمیدم. بنظرم می‌رسدکه ماشین‌های‌قیاسی خیلی ساده‌تر و خیلی جالبتر ازماشین‌های حساب هستند، فهمیدن طرزساخت آنها بی‌نهایت ساده‌تر است.

مهندس- تاحدودی درست است. اما دقت آنها محدودتر است چون‌رسیدن به‌یك درصد آسان است اماگذشتن از $\frac{1}{1000}$ خیلی دشوار می‌شود. به‌عبارت دیگر، حساب قیاسی وقتی‌که دقت خیلی زیاد لازم نباشد، بیشتر موردنظر قرار می‌گیرد. حالا اگرچه طرزساخت آنها در ظاهر ساده‌تر است، اما فراموش نکنید کـه یك تقویت‌کنندهٔ عملی دستگاهی است‌که ساختمان‌آن دقیق و دشوار است چون درواقع باید ضریب بهرهٔ قـابل‌ملاحظه‌ای داشته باشد (غالباً از ۱۰۰۰۰۰ متجاوز است) درحالی‌که تمام صفت‌های دیگری را هم‌که برایتان نام‌برده‌ام‌باید داشته باشد.

ساختن تقویت‌کننده‌های عملی

مبتدی- چگونه می‌توان به‌این نتیجه رسید؟

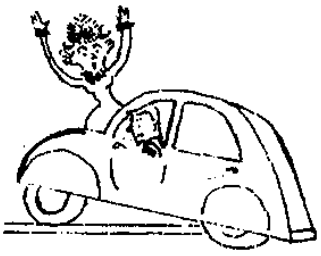
مهندس- معمولاً یکی‌از همین مدولاتورهای قطع (جداساز) همه یا هیچ‌را که قبلاً برایتان گفتم بکار می‌برند؛ بیشتر از یك مدولاتور مکانیکی، از مدولاتور ترانزیستوری یا ازسیستم‌نوری مقاوم (مقاومتی‌که مقدار اهمی آن با تابش‌نورتغییر

می‌کند) استفاده می‌کنند. کاربرد مدولاتورهای همه یا هیچ با ترانزیستورهای با اثر میدان که سابقاً آنرا مشخص کردیم (شکل ۱۶) روز بروز بیشتر می‌شود. با وجود این از این مدل‌های باقطع (جداسازی) که هرچه بیشتر با مدارهای مجتمع و با رقابت درست می‌شوند هم دیده می‌شود که در آنها طرز ساخت زیرکانه‌ای بکار رفته که اساساً تا خروجی آن تقریباً قرینه است و زوج (دوتا) گرفتن تقریباً خودکار عنصرهای ورودی امکان می‌دهد که تعداد انشعاب‌ها به کمترین مقدار برسد به‌حدی که کار به‌وسیلهٔ قطع (جداسازی) دیگر امتیازی ندارد. چون به‌این‌ترتیب این خطر وجود دارد که باندگذرای بسیار محدودی بدست بیاید، مونتاژ نسبتاً پیچیده‌ای بکار می‌برند که مونتاژ گولدبرگ Goldberg است و در آن ترتیب کار را طوری می‌دهند که مؤلفهٔ متناوب به‌یك نقطهٔ مشخص تقویت‌کننده گذاشته شود، درحالی که مؤلفهٔ مستقیم به‌وسیلهٔ یك پیش‌تقویت مجهز به یك مدولاتور و یك آشکارساز ارسال شده است. تمام آنها نسبتاً پیچیده هستند، اما عملاً بهترین راه‌حل برای بدست‌آوردن ضریب بهرهٔ بسیار زیاد، ثبات خوب و امکان‌داشتن ضریب بهرهٔ ضد واکنش بسیار بزرگ است. فراموش نکنید که در مونتاژ شکل ۱۵۰ اگر $R_1=R_2$ گرفته شود، ضریب ضد واکنشی بکار برده‌ام که برابر با ضریب بهرهٔ تقویت‌کننده است؛ بشما گفته‌ام که ضریب بهره ممکن است درحدود ۱۰۰۰۰۰ باشد.

مبتدی- حالا می‌فهمم که چرا همیشه اختلاف سطح نقطهٔ A را صرفنظر کردنی گرفته‌اید. اما همینطور می‌فهمم که این تقویت‌کننده‌های عملی باید مجموعه‌هائی بسیار پیچیده و گران باشند.

مهندس- آقای مبتدی اشتباه نمی‌کنید. درواقع این تقویت‌کننده‌ها قطعه‌های بسیار گرانی هستند و یك ماشین‌حساب قیاسی بزرگ ممکن است تعداد زیادی از آنها داشته باشد.

کاربرد ماشین‌حساب‌های قیاسی

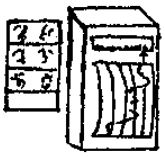


مبتدی- درست متوجه نمی‌شوم چرا تعداد آنها باید زیاد باشد. دلم می‌خواهد دربارهٔ امکانات این ماشین‌ها مثالی برایم بزنید.

مهندس- می‌دانید که درمکانیك سیستم‌های نوسانی وجود دارند به‌این‌ترتیب که هرجسم‌دارای جرم که به‌وسیلهٔ یك فنر که با نیروئی متناسب با فاصله بین‌وضعیت جسم وحالت استراحت آن عمل می‌کند به‌وضعیت معینی رسیده باشد، اگر از این وضعیت فاصله بگیرد، شروع به‌نوسان می‌کند. مثلاً وقتی با زیان خودتان یکی از چرخها را روی لبهٔ پیاده‌رو بالا ببرید، یك‌ضربه به‌لاستیکها وارد کرده‌اید، ضربه‌ای که درنتیجهٔ بالاتربودن سطح پیاده‌رو وارد شده است. روی خود چرخ یك دستگاه نوسانی میرا دارید که آنرا کمك‌فنر می‌گویند. چرخ به‌وسیله‌ای به‌بدنهٔ اتومبیل وصل است که خود آن یك سیستم نوسانی دوم را تشکیل می‌دهد. ضربهٔ وارد شده درنتیجهٔ بلندتربودن پیاده‌رو به‌وسیلهٔ چیزی که‌قابل ارتجاع است یعنی لاستیك‌منتقل شده است. به‌وسیلهٔ سیستم‌های قیاسی، سیستم‌های نوسانی را با مدارهای تشکیل‌شده از خازن و سیم‌پیچی و میرائی مکانیکی آنهارا به‌وسیلهٔ مقاومت‌های موازی شبیه‌سازی می‌کنیم. به‌تمام آن‌که نمایش‌دهندهٔ اتومبیل (یا بهتر بگوئیم حرکات آن)

است، ضربه‌ای به‌شکل یك فشار الکتریکی وارد می‌کنیم که وابسته به‌بالارفتن روی پیاده‌رو است.

مبتدی- بنظر می‌رسد که اینکار بسیار خوبست. به‌این ترتیب خطر آسیب دیدن لاستیك کمتر است.



محاسبه در «زمان ساختگی»

مهندس- این تنها امتیاز آن نیست. می‌توانیم طوری عمل کنیم که گوئی زینه‌بندی زمان را عوض کرده‌ایم. پدیدهٔ الکتریکی که جریان می‌یابد وابستگی کامل با چیزی دارد که بطور مکانیکی می‌گذرد (مثلاً فشار روی بعضی از الکترودها وابسته به حرکت‌های اطاق اتومبیل برحسب زمان است) اما مقیاسهای زمانی آن متفاوت است. به‌عبارت دیگر آنطور که کارشناسان حرکت می‌گویند، ضروری نیست که ما در «زمان حقیقی» عمل کنیم. پس می‌توانیم مثلاً طوری عمل کنیم که تغییرات الکتریکی که نشان‌دهندهٔ پدیده است، آهسته‌تر ازخود آن باشد. به‌این‌ترتیب تمام امکانات را برای ثبت فشار خروجی داریم. حالت‌های دیگری هم هست که برعکس در آن می‌خواهند معادل الکتریکی یك پدیده را به‌شکل سریعتر بسازند.

مبتدی- واقعاً فایدهٔ این یکی را نمی‌دانم چون بادقت بررسی کردن چیزی که دریك پدیده می‌گذرد جالبتر است.

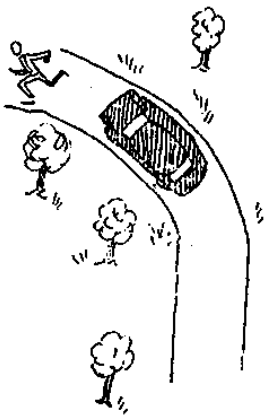
مهندس- بله، به‌شرطی که این پدیده خیلی سریع باشد. امـا ممکن است حرکت و دگرگونی پدیده بسیار آهسته باشد. این وضع بخصوص باحالت یك‌دیگ بزرگ که توربینی را به‌حرکت درمی‌آورد مطابقت دارد چون اگر توان کوره را افزایش بدهند، به‌سبب ماندگرمائی دیگ، تأثیر آن روی فشاربخار پس از زمان قابل‌ملاحظه‌ای ظاهر می‌شود. بسیار جالب است کـه نمونهٔ قیاسی یك دیگ بخار و توربین را ساخت به‌این‌ترتیب امکان آن هست که با شتاب‌دادن به‌کارها معلوم کرد که مجموع دستگاه در برابر یـك مقدار زغال بیشتر یاکمتر که درکوره می‌ریزند چه واکنشی نشان می‌دهد. با انجام آن با شتاب زیادتر امکان آنرا داریم که عملیات گرم‌کردن را با بیشترین سوددهی رهبری کنیم.

مبتدی- درواقع تعبیر تازه‌ای ازگوی بلورین جادوگران است چون بااین روش دربارهٔ آینده پیشگوئی می‌کنید!

مهندس- بیان شما به‌نظر مـن کنایه‌دار است چـون نمی‌توانم «آینده را پیشگوئی» کنم مگر آنکه آینده زیر قوانین ریاضی ساده قرار داشته باشد. فقط در این حالت است که برای من امکان دارد نتیجه واثرهای یك عمل نسبتاً محدود را در زمان پیش‌بینی کنم.

مبتدی- تا آن لحظه که تمام دستگاههای خودکار الکترونی با کسانی که آنهارا ساخته‌اند به‌مبارزه برخیزند.

مهندس- خواهش می‌کنم! **واپد** گنده‌گوئی‌های روزنامه‌های بزرگ‌ومخالف نشوید! فراموش نکنید که یك‌ماشین الکترونی غیراز آنچه که به‌آن داده‌اید، چیزی به‌شما نخواهد داد. این دستگاه نمی‌تواند عصیان‌کند ویا کوشش‌کندسازندهٔ خودش را ازهم بدرد همانطور که یك اتومبیل نمی‌تواند خودبخود حرکت‌کند ویا درحالی



که‌کسی سوارآن نیست قصدجان راننده‌اش را بکند ودرپیچ وخم‌جاده‌ها به‌تعقیب او بپردازد. آقای مبتدی مطمئن باشیدکـه تا اندازه‌ای مسائل الکترونی را بـررسی کرده‌ایم و چیزی‌که به‌ویژه درایـن دانش دوست دارم اینست‌که وقتی موضوع کمك به‌انسان پیش‌می‌آید، خاصیت‌های جالبی دارد وامکان‌گسترش فن را بوجودمی‌آورد که حالا نمی‌شود درباره‌اش حدسی زد، امـا بخش بزرگی از آن در جهت کمك به انسان است.

مبتدیـ حالاکه به‌نتیجه‌گیری‌های‌کلی وبزرگ رسیده‌اید، بایدگفتگوهای خودمان را پایان‌یافته بدانم.

مهندسـ هنوز چیزهای گفتنی زیاد است. آقـای مبتدی پیشنهاد می‌کنم پانزده روزی فکرکنید، پس‌از آن به‌سراغ من خواهید آمد و توضیحات‌گوناگونی دربارهٔ تمام چیزهائی‌کـه بنظرتان پیچیده آمده است. خـواهید خواست. امیدواوم خیلی زیاد نباشد و بزودی‌بتوانیم آنهارا تمام‌کنیم.

مبحث هفدهم

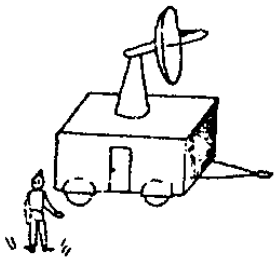
مبتدی با توده‌ای پرسش باز می‌گردد. تمام این پرسش‌ها تقریباً با دیدن یك رادار و خواندن دستور بکاربردن آن برایش پیش آمده است. بنابراین همراه مهندس آگاهی‌هائی دربارهٔ هیپر فرکانس (فرکانس بسیار زیاد)، مانیترون Magnétron وکلیسترون Klystron، کابل‌های هم‌مرکز که سیم مرکزی آن به‌وسیلهٔ... یك ساقهٔ مسی‌عایق شده‌است، سیستم‌های جداساز فرستنده‌ـ گیرندهٔ رادار، ثبات فشار تغذیه وسیستم‌های کپی برداشتن از وضعیت «سلسین Selsyn» بدست می‌آورد. دراینحال، مبتدی که کاملاً بهیجان آمده‌است، درنظر می‌گیرد یك دستگاه واقعاً بزرگ بسازد و از این راه نشان می‌دهدکه الکترونیك دیگر هیچ‌چیز پوشیده‌ای برای‌او ندارد.

مسافرت در اطراف یك رادار

مهندس‌ـ خوب آقای مبتدی، آیا پرسش‌های زیادی برای پرسیدن ازمن پیدا کرده‌اید؟

مبتدی‌ـ بسیار زیاد. فقط گمان‌می‌کنم‌که خودم بتوانم به‌تعداد نسبتاً زیادی از آنها پاسخ دهم. فقط تعدادی از پرسش‌ها را انتخاب کرده‌ام‌که با شگفتی تمام، همهٔ آنها در اطراف‌دیدن یك رادارکه هفتهٔ گذشته انجام داده‌ام، دور می‌زند. برای آغاز دلم می‌خواهد برایم بگوئیدکه یك مانیترون چگونه کار می‌کند.

مانیترون دوآندی

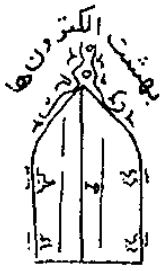


مهندس‌ـ ابتدا مانیترون دوآندی را مورد توجه قرار می‌دهیم. این‌لامپ از یك‌کاتد گرم تشکیل شده است‌که در فاصلهٔ بین دوقطب یك آهن‌ربای قوی، در جهت خطوط نیرو قرار گرفته است. دوآند بطورساده دونیم‌استوانه هستندکه همین کاتد را احاطه کرده‌اند. این دوآند را به‌دو انتهای یك مدار نوسانی متصل‌می‌کنیم که نقطهٔ وسط آن به قطب مثبت یك منبع فشار زیاد وصل است درحالی‌کـه قطب منفی ایـن منبع به کاتد وصل شده است به ترتیبی‌که خیلی خلاصه در شکل ۱۵۴ برایتان‌کشیده‌ام. البته‌مجموع دوآند وکاتد دریك حباب شیشه‌ای‌قراردارند تابتوانند درخلاء‌کارکنند. فرض‌کنیدکه دراثر یك عدم تعادل کوچك، یکی از دو آند بطور لحظه‌ای به‌اختلاف سطحی برسدکه خیلی‌کم بیشتراز آند دیگر باشد.

مبتدی‌ـ چطور اینکار امکان دارد؟ ایـن دو آند به‌وسیلهٔ مدار نوسانی بهم متصل هستند.

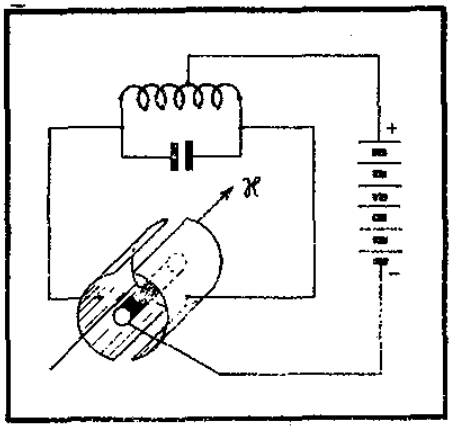
مهندس‌ـ بهمین دلیل ممکن است‌که وضع طوری شودکه این مدار میل به نوسان بسیارکوچکی پیداکند و به‌این‌ترتیب بطور لحظه‌ای اختلاف سطحی بین دو انتهایش بوجود بیاورد، به‌عقیدهٔ شما در این حالت الکترون‌هائی که از کاتد خارج شده‌اند چه خواهندکرد؟

مبتدی‌ـ آه! واقعاً مسئله‌ای وجـود ندارد چون الکترون‌ها به‌تعداد زیاد روی یکی‌از دو آندی‌که مثبت‌تر است فرود خواهند آمد.

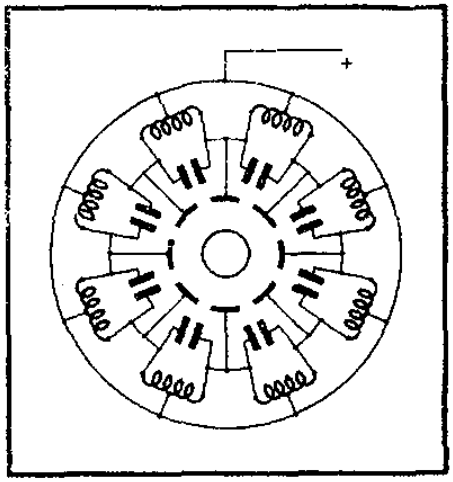


مهندس- دست‌کم در ایـن جهت حرکت می‌کنند. اما نباید وجود میدان مغناطیسی را از یاد برد چون این میدان میل دارد مسیر الکترونها را بـه‌صورت گرداندن بدورکاتد درآورد. درنتیجه، این الکترونهاکه به‌تعداد زیادتری به‌طرف آند مثبت‌تر حرکت‌کرده بودند به‌سبب انحراف مسیرشان روی آندی می‌رسندکـه کمتر مثبت است.

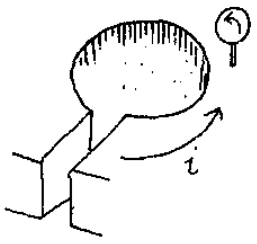
مبتدی- دراینصورت الکترون‌های احمقی هستند!



شکل ۱۵۴- نخستین نوع مانیترون دوآندی‌که زیر اثر یك میدان مغناطیسی موازی با محور کاتد قرارگرفته است.



شکل ۱۵۵- مانیترون ازنوع «چند فازی» با هشت آندکه به‌وسیلهٔ مدارهای‌نوسانی بهم‌وصل شده‌اند.



مهندس- نه اینطور نیست! درواقع این الکترون‌ها تمایل پیدا خواهند کردکه عدم تعادل اولیه را شدیدتر کنند و به‌این‌ترتیب اختلاف سطح بین دو آند را زیادتر خواهندکرد تا اینکه این اختلاف خیلی زیاد شود ومدار نوسانی شروع به‌تغییر این اختلاف درجهت دیگرکند. بنابراین اثر الکترون‌ها ومیدان‌مغناطیسی است‌که نوسان را ایجاد خواهدکرد.

مبتدی- این موضوع بسیار هوشمندانه است! درواقع مانیترون شما چیزی جز یك دیود دو آندی نیست.

مانیترون چند آندی

مهندس- درست همینطور است. معمولاً مانیترون را با بیشتر از دو آند مثلاً با هشت یا ده آند می‌سازند. می‌توان این آندها را به‌ترتیبی کـه در شکل ۱۵۵ کشیده‌ام، گروهبندی کرد. نوسان درست مثل شکل ۱۵۴ بوجود خواهدآمد. با این اختلاف‌که حالا هشت مدار نوسانی تزویج شده وجود دارند که دریك زمان نوسان خواهند کرد. در یك لحظهٔ معین، آندهای زوج نسبت به‌آندهای فرد مثبت خواهند بود؛ در نیم پریود بعدی بر عکس آنست.

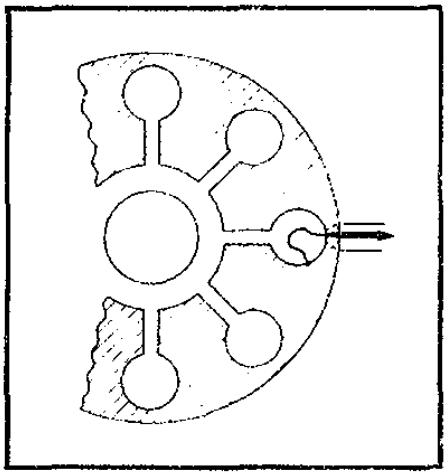
مبتدی- طرز کار آنرا می‌فهمم اما بنظر من ساختن این سیستم با هشت آند با هشت مدار نوسانی بی‌نهایت پیچیده است!

مهندس- آقای مبتدی خیلی ساده‌تر از آنست که فکر می‌کنید، در واقع این مدارهای نوسانی و این آندها را روی یك ورقهٔ مسی‌که بریده شده‌است می‌سازند، همانطورکه در شکل ۱۵۶ برایتان کشیده‌ام تمام این‌ورقهٔ مسی‌را به+HT وصل می‌کنند. می‌بینید که جریان برای رفتن از یك آند به آند دیگر باید دور حفره بگردد که‌همین مطلب معادل یك سیم‌پیچی را بما می‌دهدکه‌فقط یك حلقه‌دارد.

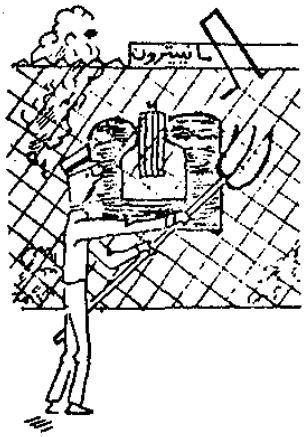
مبتدی- سیم‌پیچی‌را کاملاً می‌بینم اما برعکس بهیچوجه خازن را نمی‌بینم.

مهندس- بنابراین آنجا که باید نگاه کنید، نمی‌کنید چون بین دو روی مقابل هم شکاف کوچکی که فضای موجود در اطراف کاتد را به‌یکی از حفره‌ها مربوط می‌سازد، مقداری ظرفیت وجود دارد.

مبتدی- درست است و با درنظرگرفتن اینکه مقدار خودالقائی و همچنین ظرفیت بسیار اندك است، فکر می‌کنم‌که باید فرکانس خیلی زیاد باشد.



شکل ۱۵۶- ساخت عملی مانیترون هشت آندی بجای مدارهای نوسانی، حفره‌هـای هم‌آهنگ‌شونده‌که در ورقه‌فلزی بریده شده است، قرار گـرفته‌اند. در یکی از آنها یك حلقه بـرای برداشت انرژی پیش‌بینی شده است.



مهندس- بااین مانیترون‌ها به‌آسانی فرکانس‌هائی می‌سازندکه از ۳۰۰۰۰ مگاهرتز یا بعبارت دیگر ۳۰ میلیاردپریود در ثانیه بیشتراست. این فرکانس‌وابسته به‌طول موجی‌کمتر از یك سانتیمتر است. در رادارهای معمولی این مانیترون‌ها را بیشتر برای ایجاد نوسان‌های ۳GH$_z$ (ژیگاهرتز) (که ۳۰۰۰ مگاهرتز یا طول موج 10^{Cm} است) یا 10^{GH_z} (۳ سانتیمتر) بکارمی‌برند. معمولاً برای‌رادارها،

این مانیترون را برای مدت‌زمان بسیار کوتاه (یك میکروثانیه یا کمتر) به‌وسیلهٔ یك فشار نسبتاً زیاد تغذیه می‌کنند و از آن توان لحظه‌ای بسیار زیادی بدست می‌آورند.

مبتدی- این توان را چگونه از مانیترون خارج می‌کنند؟

مهندس- در یکی از حفره‌ها بطور ساده یك حلقه جای داده‌اند که ثانوی یك مبدل را تشکیل می‌دهد و به‌یك کابل هم‌مرکز می‌رسد که انرژی‌را انتقال‌می‌دهد.

کابل هم‌مرکز «عایق‌شده» به‌وسیلهٔ مس

مبتدی- درمورد کابل هم‌مرکز می‌خواستم پرسشی ازشما بکنم. احساس می‌کنم که این کابل را در رادار نسبتاً کم بکار می‌برند. چه مزاحمتی ایجاد می‌کند؟

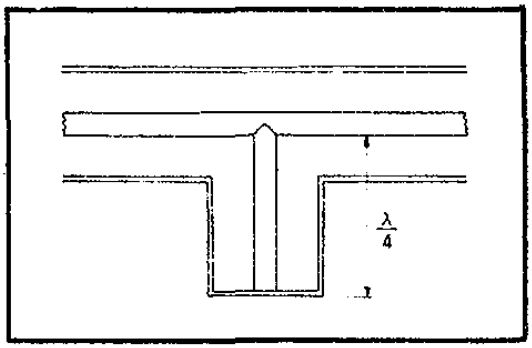
مهندس- مزاحمتش اینست که نمی‌شود توان زیادی را بـا تلف ضعیف در فرکانس زیاد منتقل کـرد. در یك کابل هم‌مرکز، چیزی که بیش‌ازهمه مزاحمت ایجاد می‌کند، لزوم نگهداری سیم مرکزی بطورمکانیکی است. اگر یك عایق غیرمشخص بگذاریم، این عایق تلف‌هائی وارد می‌کند که مشخص‌کنندهٔ کاهش قابل توجه انرژی است.

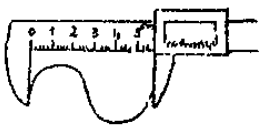
مبتدی- دراینصورت بهترین عایقی که می‌توانید دریك کابل هم‌مرکز بکار ببرید چیست؟

مهندس- برای این حالت، مس را به‌شما توصیه می‌کنم.

مبتدی- مسخره‌ام کرده‌اید؟ دلم می‌خواست بدانم با کابل هم‌مرکز به سر کدامیك از ما دو نفر زده‌اند، شما یا من؟!

مهندس- علت شگفت‌زدگی شمارا می‌فهمم. فراموش نکنید که در اینجا با فرکانس‌های بسیار زیادکار می‌کنیم. بنابراین دریك کابل هم‌مرکز، یك تکیه‌گاه‌مسی مثل آنکه شکل ۱۵۷ نشان می‌دهدمی‌سازیم، بطوری که درازای آن برابر یك‌چهارم





شکل ۱۵۷- تکیه‌گاه یك‌چهارم‌موج برای سیم مرکزی کابل هم‌مرکز.

طول موج نوسانی باشد که کابل هم‌مرکز هدایت می‌کند. چون انتهای این قطعه یك‌چهارم طول‌موج اتصال‌کوتاه است، موجی که به‌وسیلهٔ این اتصال‌کوتاه منعکس شده، هم‌فاز با موجی که به‌آن برخورد می‌کند، به‌نقطهٔ حرکت موج می‌رسد. بنابراین‌وضع طوری است که‌گوئی ساقهٔ‌پایه درمحلی که به‌سیم مرکزی وصل‌شده، قطع‌گردیده‌است.

مبتدی- این راه‌حل بسیار هوشیارانه است. تصور می‌کنم که به‌این ترتیب تمام مسئله‌های ارسال فرکانس‌های بسیار زیاد را حل‌کرده‌اند؟

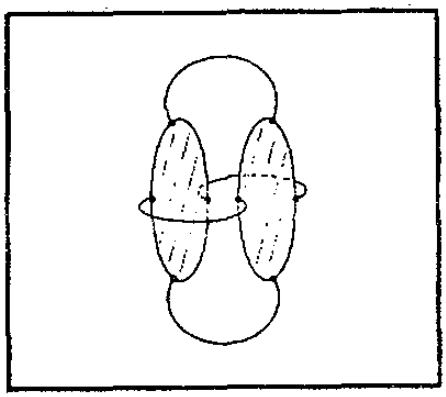
مهندس- متاسفانه این مسئله‌ها خیلی زیادند! چنین سیستمی بـرای یك فرکانس کاملاً[۲] مشخص مناسب است.

درحالی‌که غالباً تغییردادن فرکانس دریك رادار سودمند است. چون کابل هم‌مرکز حتی با پایهٔ یك‌چهارم موج‌کامل نیست، ترجیح می‌دهند لوله‌ای بکار ببرند که معمولاً[۳] مقطع مستطیل‌شکل‌دارد و درآن موج به‌وسیلهٔ انعکاس‌های پی‌درپی‌منتشر می‌شود واین همانست‌که هادی (راهنما) موج نامیده می‌شود.

کلیسترون با چندین حفره

مبتدی- حالا دلم می‌خواهد بپرسم کلیسترون چیست وچگونه‌کار می‌کند.

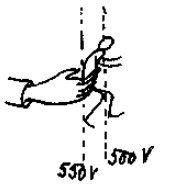
مهندس- ابتدا وضع یك‌کلیسترون تقویت‌کننده بـا دو حفره را در نظر می‌گیریم. بـرای اینکار ابتدا بـاید بدانید که یك حفرهٔ هم‌آهنگ‌شونده از نـوع «رومباترون Rhumbatron» چیست. با مشاهدهٔ شکل ۱۵۸ تصوری ازآن‌خواهید داشت. در این شکل دو صفحهٔ گرد را می‌بینیدکه روبروی هم قرار دارند و تشکیل خازنی را می‌دهدکه به‌وسیلهٔ چندین دور سیم،که سیم‌پیچی موازی‌را تشکیل‌می‌دهند، بهم وصل می‌کنند. درآخر چیزی بدست می‌آوریم کـه مقطع آنرا در شکل ۱۵۹ نشان داده‌ام و درواقع منظرهٔ یك لاستیك اتومبیل (از جهت توئی) را دارد که دو پارچهٔ گرد روبروی هم روی آن بافته باشند.



شکل ۱۵۸- دوصفحهٔ کوچك‌که به‌وسیلهٔ چنددور سیم بهم متصل شده‌اند تشکیل یـك مجموعهٔ هم‌آهنگی را می‌دهند.

مبتدی- قطعاً دراین فن‌فرکانس بسیار زیاد، باید به‌دیدن مدارهای‌نوسانی کاملاً ویژه عادت‌کرد. در داخل این مدار است‌که الکترون‌ها رومبا می‌رقصند؟

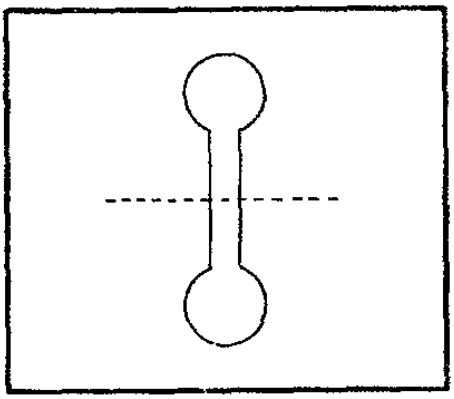
مهندس- هرطـور میل شماست تعبیر کنید. بهتر است بگوئید کـه این میدانهای مغناطیسی هستندکه به‌روش تقریبی اینکار را می‌کنند. بنابراین همانطور که شکل ۱۶۰ نشان می‌دهدکاتدی را درنظر بگیریم‌که الکترون می‌فرستد وآندی که آنرا جمع می‌کند. بین این دو الکترود دوحفرهٔ هم‌آهنگی قرار داده‌ام. از این گذشته جدارهای این حفره‌ها شبکه‌هائی برای‌گذراندن الکترونها هستند.



فرض کنید کـه من حفرهٔ اول را از راه یـك حلقهٔ تزویج به‌وسیلهٔ فشار کوچکی با فرکانس بسیار زیادکه آنرا روی فرکانس هم‌آهنگی‌اش به‌نوسان‌درآورد، تحریك کنم. وقتی الکترون‌ها درسطح دوشبکهٔ وابسته ظاهر شوند، ممکن‌است‌شتاب

بیشتری پیدا کنند (وقتی شبکهٔ دومی که از آن عبور کرده‌اند نسبت به‌شبکهٔ اول مثبت باشد) یا کندتر شوند (درحالت معکوس).

مبتدیـ این مطلب ممکن است بی‌نظمی عجیبی بوجود بیاورد چون الکترون‌ها گاهی تندتر حرکت می‌کنند و گاهی کندتر. باید باهم مخلوط شوند!

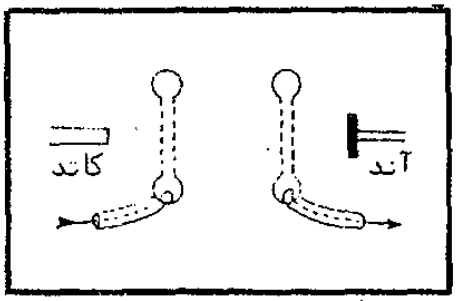


شکل ۱۵۹ ـ مقطعی در امتداد محور «رومباترون» که حفرهٔ هم‌آهنگی یك کلیسترون را تشکیل می‌دهد.

مهندسـ ازحقیقت چندان دور نیستید. اگر مسیر کافی برای الکترونها بگذارند، آنهائی که تندتر می‌روند دوباره به‌آنهائی که کندتر حرکت می‌کنند می‌رسند و به‌این‌ترتیب یك گروه الکترون که در یکجا جمع شده‌اند بدست می‌آوریم. اگر شرایط خوب باشد، این گروه الکترون در سطح دومین شبکه‌های حفرهٔ دوم قابل توجه‌تر است. این دسته‌های الکترون، درحال گذر از حفرهٔ دوم، انرژی خود را به‌آن می‌دهند و دراین حفره‌موجب ظاهرشدن نوسان، با توانی بیشتر از آنچه برای تحریك حفرهٔ اول بکار رفته است، می‌شوند.

مبتدیـ پس کلیسترون یك لامپ تقویت‌کننده است؟

مهندسـ کلیسترون‌های تقویت‌کننده‌هم وجود دارند. حتی باهمین‌لامپهاست که می‌توان بزرگترین توان‌های قله یا رأس را درفرکانس‌های بسیار زیاد بدست آورد بطوری که هم‌اکنون برای امواج ۳ ژیگاهرتزی به‌توان رأسی برابر ۳۰۰۰۰ کیلووات می‌رسند.



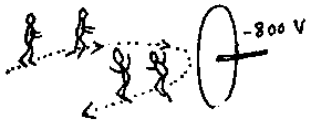
شکل ۱۶۰ـ ساختمان کلیسترون دو حفره‌ای: حفرهٔ اول الکترونها را از نظر سرعت زیر تاثیر می‌گیرد. درفضای بین‌دوحفره‌الکترونها بصورت گروه درمی‌آیند وحفرهٔ دوم‌را تحریك می‌کنند، به غیر از یك جریان مستقیم چیزی به‌آند نمی‌رسد.

همچنین می‌توان کلیسترون را بصورت نوسان‌ساز بکار برد به‌این‌ترتیب که اگر حفرهٔ خروجی را با حفرهٔ ورودی با فاز مناسب تزویج کنید. این مجموعه به نوسان درمی‌آید.

مبتدیـ اما اگر بخواهند فرکانس را تغییر دهند اینکار نسبتا دشوار است

چون باید دریك لحظه تطبیق هردو حفره را تغییر داد.

کلیسترون «انعکاس»



مهندس- درست بخاطر پشت‌سر نهادن این نقص است که کلیسترون «انعکاس» را در نظر گرفته‌اند. این کلیسترون فقط یك حفره دارد که از تمام این مجموعه به اختلاف سطح خیلی مثبت برده شده است و در این کلیسترون بجای آنند، الکترودی می‌گذارند که به‌اختلاف سطح بسیار منفی برده شده است. الکترون‌ها بار اول از حفره می‌گذرند و در اثر سرعتی که دارند به‌الکترود منفی نزدیك می‌شوند، به‌وسیلهٔ این الکترود دفع می‌گردند و بار دوم از حفره می‌گذرند. این حفره که در عین حال هم حفرهٔ خروج و هم حفرهٔ ورود است، تزویج مناسب را واردکار می‌کند و مجموع آن به نوسان درمی‌آید. این کلیسترون‌های «انعکاس» غالباً به‌عنوان نوسان سازمحلی بکار رفته‌اند، درحالی‌که توان ضعیفی ایجاد می‌کنند تا بتوان دریافت‌کننده‌های رادار که معمولاً از نوع سوپر هترودین هستند، با موجی که باید گرفت ضربان ایجاد کنند.

مبتدی- دراینحال روی شبکه یك لامپ، نوسان کلیسترون و روی شبکهٔ دیگر نوسانی که از آنتن می‌رسد می‌گذارند؟

مهندس- اینکار در فرکانس‌های به این زیادی منع شده است. در حقیقت نوسان محلی کلیسترون را به‌یك حفرهٔ هم‌آهنگی می‌فرستند (قطعهٔ هدایت موج) که هدایت موج متصل به‌آنتن هم به‌آنجا منتهی می‌شود. در محلی که این دو موج بهم برمی‌خورند، یك کریستال (بلور) کوچك آشکارساز قرار می‌دهند و به‌این ترتیب عنصری را می‌سازند که برای ایجاد ضربان بین دو موج لازم است. در مدار بلور، فرکانس واسط را دریافت می‌کنند که به‌وسیلهٔ یك تقویت‌کنندهٔ معمولی ترانزیستوری یا لامپی تقویت می‌شود. وقتی منظور تهیهٔ چند میلی‌وات باشد، بیش از پیش میل دارند که بجای کلیسترون‌ها و لامپ‌های مشابه دستگاههای نیمه‌هادی قرار دهند. در بین دستگاههائی که در آخر گفته‌شد می‌توان بطور اساسی از دستگاههای زیر نام‌برد:

۱ــ چندبرابرکننده‌های فرکانس (یا «واراکتورها Varactors») که از دیودهائی تشکیل شده‌اند که برحسب فشاری که به‌آنها گذاشته شده است، ظرفیت متغیری ازخود نشان‌می‌دهند. اگر فشارسینوسی‌شکلی به‌این دیودها بگذاریم تغییرات ظرفیت آنها در جریان یك پریودممکن است به‌آشکارشدن هارمونیك‌های فرکانس فرستاده شده برگردان شود. این هارمونیك‌ها پس از صاف‌شدن می‌توانند به‌نوبت خودشان یك چندبرابرکننده با فرکانس مشابه را زیر تأثیر بگیرند. ازیك علامت H. F با چند مگاهرتز که به‌وسیلهٔ یك نوسان‌ساز ترانزیستوری ایجاد شده، کار را آغاز می‌کنند و به‌وسیلهٔ چندبرابرکردن، علامت‌هائی با توان متوسط و با فرکانس تا چند ژیگاهرتز بدست می‌آورند (در باند امواج دسیمتری و سانتیمتری).

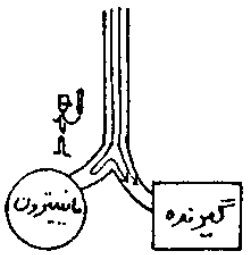
۲ــ دیودهای بهمن (که غالباً «دیود رید Reed» نامیده می‌شوند). منظور دیودهائی هستند که زیر یك روش پلاریزاسیون معکوس، مقاومت دینامیك منفی از خود نشان می‌دهند. با تزویج آن با یك حفرهٔ تطبیق شده، می‌توان نوسانی با فرکانس بسیار زیاد ایجاد کرد.

۳ـ استفاده از «اثر گن Gunn» منظور بوجودآمدن نوسان‌های بافرکانس بسیار زیاد دریك میلهٔ ارسینورگالیوم است که از آن جریان می‌گذرانند.

جداسازی فرستنده‌ـ گیرنده

مبتدی‌ـ دربارهٔ آنتن گیرنده برایم صحبت کردید. باوجود این در رادارها فقط یك آنتن وجود دارد؟

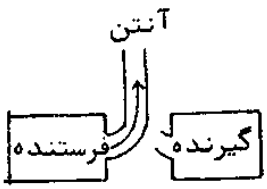
مهندس‌ـ درحقیقت این آنتن ابتدا برای فرستنده، بعد برای گیرنده بکار می‌رود. البته این استفادهٔ دوبرابر مسائل بسیار دقیقی بوجود آورده است از جمله اینکه توان فرستنده از هزاران کیلووات تجاوز می‌کند، درحالی که گیرنده می‌تواند یـك میلیونیم میکروووات را تشخیص بدهد. برای آنکه آنرا دربرابر تخریب به وسیلهٔ موج فرستنده حفظ کنند، یك سیستم بسیار هوشیارانه از لوله‌های محتوی گاز با فشارکم درمسیر هدایت امواج یا در اطراف آن ساخته‌اند. در جریان فرستادن، چون‌توانی که‌درلوله‌های هدایت امواج جریان پیدا می‌کند خیلی قوی است. در گاز ایجاد ایونیزاسیون می‌کند. دراین حالت شبیه به‌ملاء رسانا می‌شوند. به‌این ترتیب انسدادی درهدایت موجی که آنتن را به‌گیرنده وصل می‌کند به‌وجود می‌آورند و گیرنده عملاً چیزی دریافت نمی‌کند. برعکس وقتی باید موج را دریافت کـرد، توان آن بقدری ضعیف‌است که‌گاز اصلاً به‌حالت ایونیزاسیون درنمی‌آید. دراینحال راه عبور موج به‌طرف گیرنده باز است وموج دریافت شده به‌طرف گیرنده می‌رود. یك لولهٔ محتوی گـاز دیگرکه در جهت هدایت بین نقطه انشعاب میان گیرنده و مانیترون قـرار دارد، نقش یك سد را بازی می‌کند و از رفتن موج گرفته شده به طرف مانیترون جلوگیری می‌کند. این لوله درپهلو واقع شده‌است بهمین‌جهت‌وقتی که ایونیزاسیون ندارد معادل بستن لولهٔ هدایت وبرعکس لوله‌ایست‌که درمسیر لولهٔ هدایت موج به‌طرف‌گیرنده قرار داردکه تا وقتی ایونیزاسیون نداشته‌باشد به‌امواج اجازهٔ عبور نمی‌دهد.



مبتدی‌ـ چرا باید از رفتن موج گرفته شده به‌مانیترون جلوگیری کـرد؟ خطری وجود داردکه آنرا خراب کند.

مهندس‌ـ مسلماً چنین خطری نیست. اما این موج برای گیرنده احمقانه از دست می‌رود، درحالی‌که انرژی زیادی برای تلف‌کردن وجود ندارد. بادرنظر گرفتن وجود لوله‌های گاز در مسیر هدایت موج و پهلوی آن (این لوله‌ها TR و ATR نامیده می‌شوند) تمام انرژی دریافت شده ازموج به‌گیرنده فرستاده می‌شود.

مبتدی‌ـ این سیستم جداسازی خودکار و لحظه‌ای علائم بی‌نهایت هوشیارانه است. اما می‌خواستم بازهم دربارهٔ رادار ازشما پرسشی بکنم، چطور تغذیهٔ ثابت‌را درست می‌کنند. درشکل خلاصه‌ای‌که برای رادارکشیده بودند و من بررسی کردم، چندین‌بار تذکر داده بودند، ومن نمی‌دانم چطور باید آنهارا ساخت.

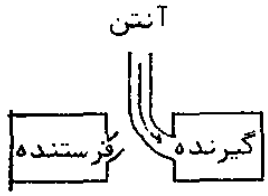


ثبات فشار به‌وسیلهٔ دیود زنر

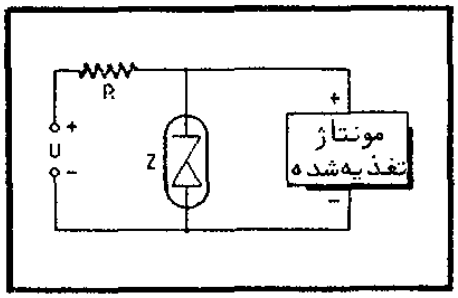
مهندس‌ـ آقای مبتدی هم‌اکنون‌هم تاحدودی آنرا می‌دانید. به‌ویژه‌دربارهٔ

دیودهای زنر با شما صحبت کرده‌ام.

مبتدی- بله، اما درست نمی‌دانم چطور آنها را برای ثابت‌نگهداشتن یك فشار بکار می‌برند.



مهندس- بطور ساده آنرا موازی با مونتاژ تغذیه‌شده سوار می‌کنید، به ترتیبی که درشکل ۱۶۱ آنرا برایتان کشیده‌ام. می‌بینید که دیود زنر جریانی را که مونتاژ تغذیه شده مصرف نمی‌کند، به مصرف می‌رساند. وقتی مونتاژ تغذیه شده مصرف متغیری پیدا کرد، جریانی که از دیود زنر می‌گذرد درجهت‌عکس تغییر می‌کند. فشار تغذیه U را بزرگتر از آنچه لازم دارند انتخاب می‌کنند، اختلاف‌توان باید درمقاومت R مصرف شود. چون مقاومت درونی دیود زنر خیلی کوچکتر از R است، تغییرات فشار U بطور بسیار ضعیف در دوسر دیود و مونتاژ تغذیه شده نمود پیدا می‌کند.



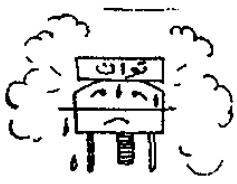
شکل ۱۶۱- ثبات فشار به‌وسیلهٔ دیود زنر

مبتدی- این طرزکار کاملاً شبیه به‌طرزکار لامپ‌های ثابت‌نگهدارندهٔ گازی است، اما گمان می‌کنم بتوان مونتاژهای پیشرفته‌تری هم ساخت.

مهندس- آقای مبتدی اشتباه نمی‌کنید. می‌توان یك سیستم تابع‌را بکار برد که درواقع بسیار شبیه به‌دستگاههای فرمان‌دهنده است وفشار خروجی‌را به‌وسیلهٔ یك ضدواکنش ثابت نگه می‌دارد به‌این ترتیب‌که با مقایسهٔ فشار خروجی با یك فشار **مرجع** و با تقویت اختلاف فشاری‌که از این مقایسه بدست آورده‌است و تأثیر-دادن آن از راه خروجی این تقویت‌کننده روی دستگاه تنظیم‌کننده، اینکار را انجام می‌دهد.

مبتدی- این مطلب‌کمی مبهم است. دلم می‌خواهد یك مثال محسوس‌برایم بزنید.

تغذیهٔ ثابت

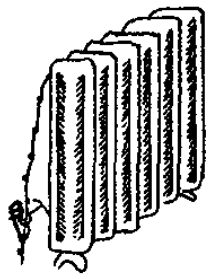


مهندس- دراینصورت مثالی برایتان می‌زنم‌که در شکل ۱۶۲ آنرا نشان داده‌ام. فشار U که باید ثابت شود از راه مقاومت R_3 به‌یك دیود زنر Z گذاشته شده است‌که فشار **مرجع** ما را تهیه می‌کند. این فشار را متغیر درست می‌کنیم تا بتوانیم فشار خروجی را تغییر بدهیم به‌این ترتیب که به‌وسیلهٔ پتانسیومتر P، فقط یك بخش از آنرا می‌گیریم. فشار ثابت شده E، به‌وسیلهٔ تقسیم‌کنندهٔ فشار R_1-R_2 به‌یك نسبت‌کاهش پیدا کرده است. بنابراین بخش معینی از این فشار خروجی است که به ارسال‌کنندهٔ ترانزیستور T_2 گذاشته شده است. برحسب آنکه فشار خروجی

بسیار زیاد یا بسیار کم باشد، ترانزیستور T_2 مسدود یا رساناست. جریان‌جمع‌کنندهٔ آن‌که نشان‌دهندهٔ‌اشتباه فشار (یا اختلاف فشار) تقویت شده است، به‌پایهٔ‌ترانزیستور T_1 گذاشته شده است. تزویج بین دو ترانزیستور بسیار ساده است چون T_1 از نوع p ـ n ـ p است. فرض‌کنیدکه به‌دلیل نامعلومی، مونتاژی‌که به‌وسیلهٔ E تغذیه شده است، بخواهد جریان زیادی مصرف‌کند. فشار E کاهش خواهد یافت؛ اختلاف سطح ارسال‌کنندهٔ T_2 هم‌کاهش می‌یابد که این موضوع باعث افزایش جریان جمع‌کنندهٔ T_2 می‌شود. ایـن جریان ضمن عبور ازپایهٔ T_1، جـریان جمع‌کنندهٔ T_1 را بطور بسیار قابل‌توجهی زیاد می‌کند،که این موضوع اثر برهم‌زنندهٔ اصلی‌را جبران می‌کند.

مبتدی- چیزی‌که دراینجا ناراحتم می‌کند اینست‌که ترانزیستور T_1 تمام اختلاف فشاربین U و E را تحمل می‌کند ودرهمین‌حال بایدتوان زیادی‌مصرف‌کند.

مهندس- ترانزیستور T_1 را ازنوع قدرت (توان) انتخاب می‌کنیم که‌روی یك رادیاتور خوب سوار شده است بطوری‌که از بین‌بردن گـرما را بطور مناسب تأمین‌کند. به‌این‌ترتیب‌به‌سادگی می‌توان تلف بیشتراز ۱۰۰ W را دریك‌ترانزیستور بدست آوردکه از امکانات بیشتر لامپ‌هائی‌که تاکنون بدست آورده‌اید بالاتراست.

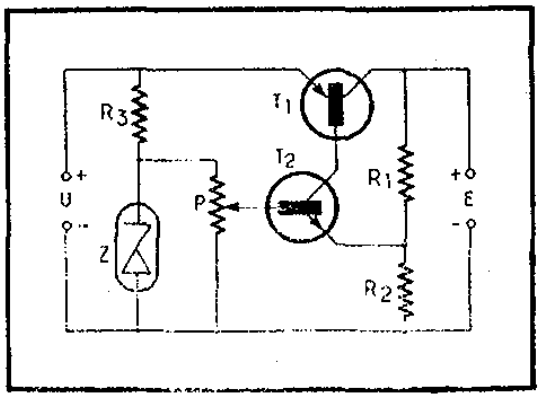


مبتدی- تغذیه به‌این سادگی با تمام این‌کیفیت‌های ثبات واقعاً قابل‌توجه است. احتمالاً تا اندکی بعد یکی‌از آنها برای خودم می‌سازم.

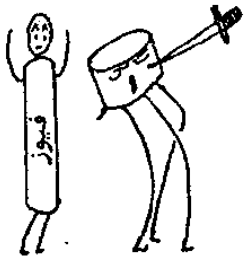
مهندس- اگر آنـرا با دقت بکار ببرید، نتایج بسیار خوبی به‌شما خواهد داد. با اینحال بیاد داشته باشیدکه دربرابر اتصال‌کوتاه حفظ نمی‌شود چون‌اگر دو سر خروجی را بایك مقاومت بسیارکم بهم وصل‌کنید، ممکن است‌کار شما به‌خراب‌کردن ترانزیستور T_1 بیانجامد.

مبتدی- فکر می‌کنم‌گذاشتن یك فیوزکافی باشد.

مهندس- بنظر می‌رسد کـه ترانزیستورهائی وجود دارندکه خیلی سریع عمل می‌کنند. معمولاً ترانزیستور است‌که قبل از سوختن فیوز می‌میرد و فیوز را حفظ می‌کند. اگر بخواهید کاملاً مطمئن باشیدکه ناراحتی برایتان بوجود نمی‌آید



شکل ۱۶۲ـ ثبات‌فشاربه‌وسیلهٔ‌ترانزیستور. فشار مرجع، بخشی از فشاری است کـه در دو سر دیود زنر وجـود دارد، T_2 تقویت‌کنندهٔ فشار اشتباه‌است، درحالی که T_1 یك ترانزیستور قدرت است.



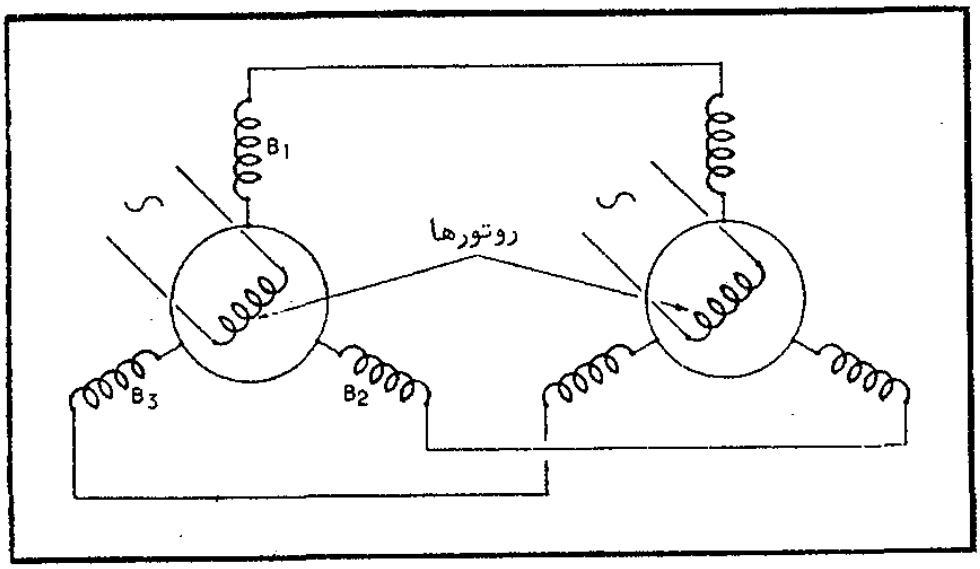
باید به‌این تغذیه مونتاژ نسبتاً ساده‌ای با سه ترانزیستور اضافه‌کنیدکه نقش قهان‌را بازی می‌کند و قطع‌فشار خـروجی را تقریباً بلافاصله (در مدت چند میکروثانیه) پس‌ازبوجودآمدن شدت جریان اضافی انجام بدهد. این مونتاژ را دراینجابرایتان

شرح نمی‌دهم، کمی درهم است اما اصلاً پیچیده نیست؛ جزئیات آنرا در بسیاری از شماهای مختلف پیدا می‌کنید.

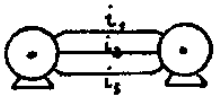
سلسین‌ها Selsyns

مبتدی- به‌این شماهای درهم اما غیرپیچیده‌که شما می‌گوئید اعتمادندارم؛ با اینحال فکر می‌کنم بتوانم ازعهدهٔ آن برآیم. حالا می‌خواستم ازشما بپرسم‌که سلسین که‌درهمان کتابچهٔ رادار خیلی مطلب درباره‌اش خوانده‌ام چیست؟

مهندس- سلسین یك‌دستگاه کوچك است‌که ازخارج شبیه به‌یك موتور است که برای ارسال دوبارهٔ وضعیت یك درخت، بکار می‌رود. شامل یك قسمت ثابت (استاتور) است (شکل ۱۶۳) که از سه سیم‌پیچی B_1، B_2 و B_3 که با هم زاویهٔ ۱۲۰ درجه دارند تشکیل شده است. قسمت متحرك آن (گردان یا روتور) فقط‌یك سیم‌پیچی دارد که یك میدان مغناطیسی عمود برمحور روتور می‌دهد و به‌وسیلهٔ دو حلقه‌که روی آنها دوجارو اصطکاك دارند به‌خارج وصل می‌شود.



شکل ۱۶۳- زوج «سلسین»که برای ارسال دوبارهٔ یك‌وضعیت مکانیکی به‌وسیلهٔ سه‌دامنهٔ فشارهای القاءشده در استاتور فرستنده به‌وسیلهٔ روتور فرستنده بکار می‌رود.



$i_1+i_2+i_3=0$

مبتدی- درواقع کمی به‌موتور شباهت دارد؛ نمی‌دانم چگونه آنرا برای ارسال یك وضعیت بکار می‌برند.

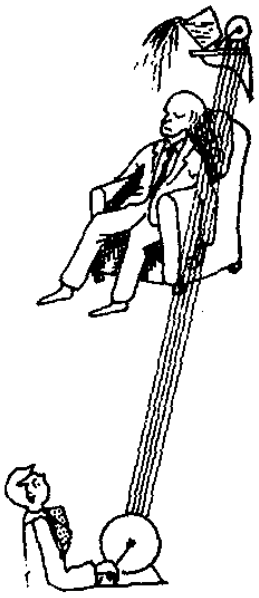
مهندس- فرض کنید‌که دوسلسین شبیه بهم را بکار می‌بریم. همانطورکه در شکل ۱۶۳ نشان داده‌ام، سه سیم‌پیچی استاتور اول را به‌سه سیم‌پیچی وابسته به‌آنها در استاتور دوم وصل کرده‌ام...

مبتدی- آه نه دیگر! من موافق نیستم. درست است که یك سیم از هر سیم‌پیچی را به‌سیم وابسته به‌آن در سیم‌پیچی دوم وصل کرده‌اید اما از یك طرف سه

سر دیگر سیم‌پیچی اول را اتصال کوتاه کرده‌اید و از طرف دیگر، سه‌سر سیم‌پیچی‌های دوم را هم اتصال کوتاه کرده‌اید. قبول می‌کردم که یک سیم برای اتصال این سه سر دیگر بکار ببرید به‌شرط آنکه از یک استاتور به‌استاتور دیگر این سیم وصل‌شود.

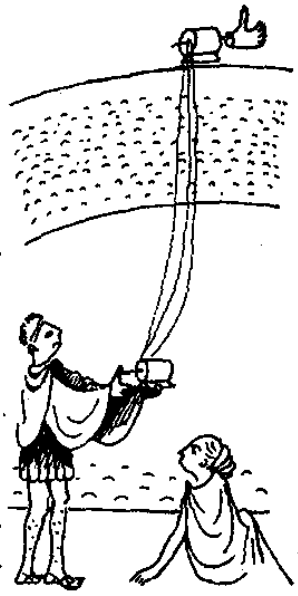
مهندس- اینکار لازم نیست. درواقع می‌توان نشان دادکه فشارهائی‌که ما درسه سیم‌پیچی داریم به‌ترتیبی هستندکه جمع‌جبری آنها همیشه صفراست. بنابراین پیش‌بینی یک اتصال بین نقطه‌های مشترک سیم‌پیچی‌ها بی‌فایده است. حالا یک‌فشار متناوب به سیم‌پیچی روتور سلسین اول می‌گذاریم، درنتیجه سه‌فشار القاءشده در سه سیم‌پیچی استاتور بوجود می‌آیند که دامنهٔ آنها برحسب وضعیت روتور تغییر می‌کند. این سه‌فشار وقتی به‌سه سیم‌پیچی سلسین دوم گذاشته شوند، سه‌میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنندکه باهم ترکیب می‌شوند تا یک میدان مغناطیسی ایجادکنندکه درست هم‌جهت با میدان مغناطیسی ایجادکنندهٔ این سه فشار درسلسین اول باشد.

حالا دو روش برای استفاده از سلسین دوم وجود دارد. می‌توانیم روی روتور آن فشاری بگذاریم‌که مانند همان فشارگذاشته شده روی روتور سلسین‌اول باشد (معمولاً فشار متناوب ۵۰ هرتز ۹۰ تا ۱۰۰ ولت است). در این شرایط میدان مغناطیسی روتور دوم روی سیم‌پیچی‌های استاتور همین سلسین تأثیر می‌کند و روتور را درست به‌همان وضعیت روتور سلسین اول درمی‌آورد.



مبتدی- طرزکار آنرا می‌فهمم اما درست نمی‌دانم بین سلسینی‌که فرمان‌را می‌فرستد و سلسینی‌که آنرا می‌گیرد چه اختلافی وجود دارد.

مهندس- حق دارید که اختلافی نمی‌بینید چون اختلافی وجود ندارد. ارسال علائم ممکن است در دوجهت انجام شود. درست مثل اینست‌که بین‌دوسلسین یک‌کابل قابل انعطاف برای انتقال حرکت قرار داده باشید. اگرروتور دوم را از گردش بازدارید، مقاومت وابسته به‌آنرا روی روتور اول احساس خواهید کرد. این فقط یک ارسال وضعیت است اما سیستم تابع نیست. معمولاً آنرا برای جابجا کردن یک عقربه روی یک صفحهٔ زینه‌بندی شده به‌کمک سلسین دوم بکار می‌برند تا یک وضعیت را نشان بدهند. این سیستم بسیار آسان است و وقتی نیاز به‌گردش دائمی بدون‌زاویهٔ‌مرده‌دارید، این‌سیستم باامتیاز بیشتر جانشین سیستم‌پتانسیومتری می‌شود.



برعکس اگر فشاری روی‌روتور سلسین‌دوم نگذارم و آنرا بادست جابجا کنم، موضوع کاملاً فرق می‌کند. به‌عقیدهٔ شما چه پیش می‌آید؟

مبتدی- فکر می‌کنم‌که فشاری روی این ثانوی القاء خواهد شد.

مهندس- کاملاً درست است. این فشار چگونه تغییر می‌کند؟

مبتدی- باز فکر می‌کنم وقتی روتور سلسین دوم را بگردانم فشار تغییر خواهدکرد. بدون‌شک وقتی این روتور دوم در جهتی است‌که میدان مغناطیسی از حلقه‌های آن بخوبی می‌گذرد، این فشار مقدار زیادی دارد. و وقتی حلقه‌ها را طوری قرار می‌دهیم که میدان دیگر نمی‌تواند از داخل آنها بگذرد احتمالاً این فشار خیلی ضعیف است.

مهندس- درست است، اما برای اینکه مطلب‌را دقیقتر گفته باشم، خاطر-نشان می‌کنم‌که وقتی روتور را در وضعیتی قرار دهم که سطح حلقه‌ها موازی با میدان مغناطیسی ایجاد شده به‌وسیلهٔ سه سیم‌پیچی استاتور درآید. این‌فشار القاءشده

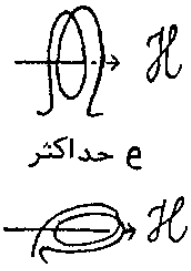
حتماً به‌صفر خواهد رسید. این وضعیت عمود بروضعیتی است که وقتی روتور را به‌وسیلهٔ همان فشاری که روتور سلسین اول را تغذیه می‌کردم وقبلاً برایتان گفتم، تغذیه شود.

می‌توانیم فشار این روتور دوم را به‌یك تقویت‌کننده بدهیم و بعد به یك آشکارساز مخصوص که در برابر فاز حساس است بفرستیم که فشاری به‌ما خواهد داد که برحسب آنکه روتور نسبت به‌وضعیتی که هیچ فشار القاءشده درآن وجود ندارد، دریك جهت یا جهت مخالف آن جابجا شده باشد مثبت یا منفی است.

مبتدی- فکری هم بخاطر من رسید...

مهندس- بگوئید ببینم چیست، بنظر می‌آیدکه امروز خیلی‌سرحال‌هستید.

مبتدی- نه، من همیشه اینطورم. اگر این فشار روتور راکه بطور مناسب تقویت شده باشد به‌یك موتور دوفاز بگذاریم، می‌توانیم آنرا دریك جهت ویاجهت دیگر به‌حرکت درآوریم.



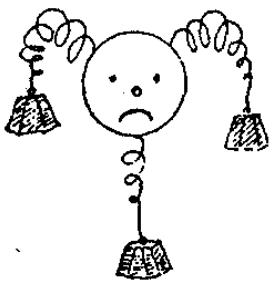
مهندس- کاملاً درست است و اینکار هم انجام می‌شود. چه روش شما را بگیرند ویا موتور مستقیمی بگیرندکه به‌وسیلهٔ آشکارساز حساس در برابر فازکه الان برایتان‌گفتم فرمان داده شود، همیشه این موتور را برای تأثیر روی روتور سلسین بکار می‌برند تا آنرا در وضعیتی نگه دارندکه غیراز یك فشار القاء شده صرفنظرکردنی چیزی درآن نباشد.

مبتدی- امتیاز این روش نسبت به‌روش اول چیست؟

مهندس- این‌بار ارسال دوطرفه نیست. سلسین اول فرمان می‌دهد درحالی که دومی تابع است. ازطرف دیگر توانی‌که روی روتور سلسین تابع دراختیار ما قرار می‌گیرد فقط به‌تقویت‌کننده و موتور زیر فرمانش بستگی دارد. به‌این ترتیب می‌توان یك عضو بسیار سنگین و دارای ماند زیاد را به‌وضعیت مورد نظر رساند. بهمین دلیل است‌که این سیستم ارسال غالباً برای آنتن‌های رادار بکار برده‌می‌شود.

مبتدی- درواقع این سیستم سلسین که می‌توان آنرا به روش‌های بسیار گوناگون بکار برد، بسیار راحت است. شماره ۲ هم ممکن است در دو نوع‌کاربردی که برایم‌گفتید بکار برده شود.

مهندس- بطور نظری امکان آن هست؛ درواقع ترجیح می‌دهندکه سلسین را کمی اختصاصی‌تر کنند. بعضی از آنها هستندکه به‌ویژه برای کاربرد به‌عنوان ارسال‌کننده ساخته شده‌اند. ترتیب‌کار را طوری می‌دهندکه سیم‌پیچی آنها نتوانند به‌وسیلهٔ بارهائی که باید از آنها جریان یابند خیلی دچار اغتشاش شوند. اما دربارهٔ‌کار سلسین تکرارکننده (ریپتور) باید گفت‌که اگر مستقیماً با اعلام‌وضعیت‌کار می‌کند، همانطورکه برایتان‌گفتم، برای میراکردن‌گردش روتور آنها،احتیاط‌هائی بعمل می‌آورند. برعکس اگر بخواهند آنهارا با یك سیستم تابع ویك موتور بکار بگیرند، یعنی برحسب طرزکاری‌که آشکارساز همزمان نام دارد بکار گرفته شوند، باید آهن روتور آنهاکاملاً همگن باشد تا روتور هیچگونه واکنشی روی‌سیم‌پیچی سلسین ارسال‌کننده اعمال نکند. در حالت ارسال مستقیم، بدون موتور گردانندهٔ سلسین دوم (این ارسال را اعلام به‌دور Télé-affichage می‌گویند)، لازم نیست که همگن‌بودن هستهٔ آهن روتور سلسین دوم به‌آن‌حدکامل باشد. چون این روتور که به‌وسیلهٔ نیروهای مغناطیسی در وضعیت وابسته قرار می‌گیرد، واکنشی روی

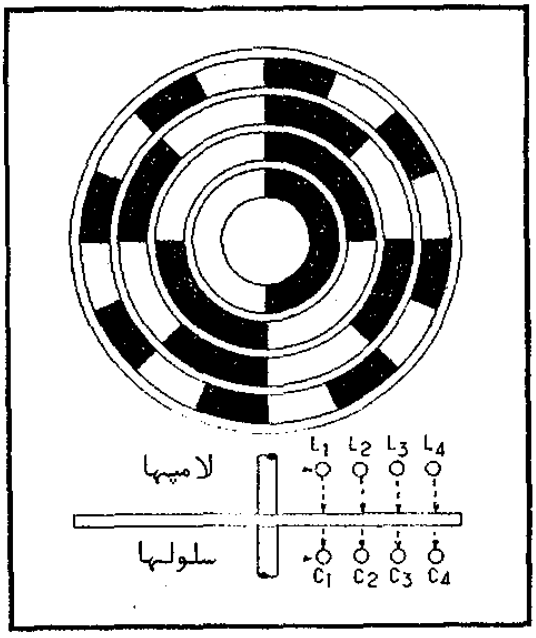


ارسال‌کننده نخواهد داشت.

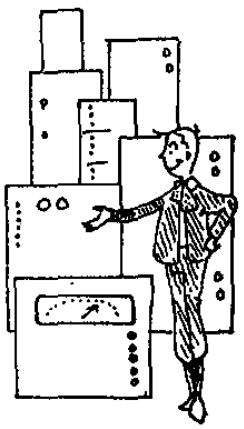
کدگذار شماره‌ای

مبتدی- باز هم چیز شگفت‌آوری در کتابچهٔ راهنمای رادار وجود داشت، در آنجا صحبت از انتقال وضعیت «به‌وسیلهٔ «کدگذار شماره‌ای» بود. این دیگر چیست؟

مهندس- بطور ساده منظور دستگاهی است که به‌یك محور متصل است و وضعیت آنرا به‌صورت عددی معمولاً باکد دوعلامتی منتقل می‌کند. مثلاً می‌توان (شکل ۱۶۴) آنهارا به‌وسیلهٔ یك صفحهٔ گردکه شامل چندین نوار پشت‌سرهم دریك دایره است درست کردکه هرنوار بخش‌های شفاف و بخش‌های تیره دارد. در برابر هرنوار لامپی قرار داردکه این نوار را برحسب بخشی از شعاع صفحهٔ گرد روشن می‌کند و درطرف دیگر یك سلول فتوالکتریك قرار دارد. برحسب آنکه یك‌قسمت شفاف (یا تیرهٔ) این نوار بین لامپ وسلول قرارگیرد، این سلول یك فشار (یافشار صفر) ایجاد می‌کند. با پخش مناسب منطقه‌های شفاف و تیره روی نوارها می‌توان ترتیبی دادکه فشارهای ایجاد شده به‌وسیلهٔ سلول باکد دوعلامتی شماره‌ای را نشان دهدکه امکان آشکارکردن وضعیت محور را بوجود می‌آورد.



شکل ۱۶۴- صفحهٔ‌گردکد گذار نوارهائی با منطقهٔ شفاف و تیره دارد. برحسب وضعیت زاویه‌ای صفحهٔ گرد، لامپ‌های L_1، L_2، L_3 و L_4 یا سلول‌های فتو-الکتریك را روشن می‌کنند و یا روشن نمی‌کنند. این سلول‌ها به‌این‌ترتیب روی تعدادی خطوط‌که برابر تعداد نوارهاست وضعیت صفحه راکه به صورت کد دو علامتی است، ارسال می‌دارند.



وضعیت بهمان ترتیب است‌که در مقایسهٔ محاسبهٔ عددی و محاسبهٔ قیاسی وجود داشت. یك سیستم ارسال حسابی (یا شماره‌ای) وقتی جالب است‌که یك‌ارسال مجدد شامل رقم‌های‌زیاد را بکار می‌برند، که وابسته به‌دقت بسیار زیاد است. برای دقت‌کمتر، می‌توان به‌تغییرات پیوستهٔ مقادیر اکتفاکرد مثلاً از مقادیر دامنهٔ سه فشار در سه سیم‌پیچی همانطورکه در سه سلسین بکار می‌روند، استفاده‌کرد.

طرح‌های بسیار بزرگ

مبتدیـ از اینکه طرز کار ایـن کدگذارهای شماره‌ای را فهمیده‌ام بسیار خوشنودم. اینها به‌من امکان می‌دهند مسئله‌ای را که مدتهاست وقت مرا گرفته است حل کنم چون یکی از دوستانم ازمن خواسته است که برای ماشین ابزارش، فـرمان خودکاری بسازم که برحسب یك برنامهٔ معین کار کند. یکی از همین کدگذارها را به ماشین تزویج می‌کنم و آنرا بکار می‌برم. شماره‌ای کـه برای من مشخص می‌کند، روی یك دستگاه نمایش‌دهنده ــ جابجاکننده ذخیره می‌شود. این دستگاه بمن امکان می‌دهد که آنرا با شمارهٔ برنامه جمع کنم که خود آن روی حافظه‌های مغناطیسی ثبت است...

مهندسـ آقای مبتدی می‌دانستم که سرحال هستید، اما هرگز حدس نمی‌زدم اینقدر سرحال باشید! قطعاً برای شما، الکترونیك...

مبتدیـ الکترونیك؟.. بسیار ساده است!

پایان

یك نامه از مهندس
به مبتدی

دوست عزیز:

مدتهاست که دوباره شما را ندیده‌ام و تصور می‌کنم که ساختن فرمان برنامه‌ریزی‌شدهٔ ماشین ابزار، کاملاً مجذوبتان کرده است. فکر می‌کنم برای اینکه مطلب‌هائی را که درجریان گفتگوهایمان نام بردیم، مرتب کنیم، بجاست که آنهارا به‌گونه‌ای برای شما مرتب کنم.

یادتان هست که نیمه عدم موفقیتی که درساختن دستگاه دزدگیر الکترونی داشتید مرا به‌شرح دستگاههای جذب‌کننده برای شما کشاند (صفحهٔ ۲۰) بعد کوشش کردم الکترونیك را برایتان تعریف کنم (صفحهٔ ۲۳) ودر آخر برای اینکه گفتگوهای بعدی زمینه‌سازی شود، شمارا به‌خواندن دوبارهٔ یك کتاب‌سادهٔ الکتریسیته برانگیختم.

در فصل دوم (صفحهٔ ۲۵) دیدیم که چنانچه پدیده‌ای که به‌بخش الکترونی فرستاده می‌شود، الکتریکی هم باشد، باز ممکن است بکاربردن یك جذب‌کننده لازم باشد؛ دیدیم که چگونه فشارهای مستقیم‌را، برای آنکه آسانتر بتوان تقویت کرد، به‌فشار متناوب تبدیل می‌کنند(صفحهٔ۲۵) دستگاههای جذب‌کنندهٔ میدانهای‌الکتریکی (صفحهٔ ۳۰) را دیدیم، اندازه‌گیری فشاری (صفحهٔ ۳۳)که اندازه‌گیری نیرو را امکان‌پذیر می‌کند و همینطور دستگاههای با تار مرتعش (صفحهٔ۳۸) و دستگاههای پیزو الکتریك را بررسی کردیم.

در فصل سوم (صفحهٔ ۴۰) دربارهٔ مفهوم دقیق شتاب و شتاب‌سنج‌ها (صفحهٔ ۴۱) صحبت کردیم. جذب‌کننده‌های صدا یا میکروفن‌ها (صفحهٔ ۴۴) را دیدیم، عنصرهای حساس در برابر گرما (ازجمله ترمیستانس‌ها را در صفحهٔ ۴۵ و زوج گرمائی) و حساس در برابر نور را بررسی کردیم؛ در میان گروه اخیر، ابتدا سلول‌های فتوالکتریك خلاء (صفحهٔ ۴۶)، و سلول‌های گازی (صفحهٔ ۴۷)، مقاومت‌های نوری (صفحهٔ ۴۹)، دیودهای نوری (صفحهٔ ۵۰)، و سپس چندبرابر کنندهٔ نوری (صفحهٔ ۵۲) مورد بررسی قرارگرفتند.

درگفتگوهای چهارم خودمان (صفحهٔ ۵۵) برای شما چیزی راکه درهستهٔ اتم‌ها وجود دارد شرح‌دادم (فوتون‌ها و نوترون‌ها) و گفتم کـه ایزوتوپ چیست (صفحهٔ ۵۶). با طبیعت تشعشع هسته‌ای آشنا شدیم، اشعهٔ آلفا، بتا وگاما را شناختیم (صفحهٔ ۵۷) و راههای اندازه‌گیری آنها را دانستیم، ازجمله اطاق ایونیزاسیون (صفحهٔ ۵۸)، شمارگر گایگر–مولر (صفحهٔ ۵۹) وبرق‌زن (صفحهٔ ۶۲) را دیدیم.

با گذر از آنجا، گشت کوتاهی درشیمی الکتریکی ایون‌ها زدیم؛ برای شما PH را تعریف کردم (صفحهٔ ۶۴) و روش اندازه‌گیری آنرا با الکترود شیشه‌ای (صفحهٔ ۶۶) و بعد پتانسیل یا اختلاف سطح اکسیدی – احیائی را برایتان گفتم.

وقتی برای پارپنجم همدیگر را دیدیم (صفحهٔ ۷۲)، بررسی بخش الکترونی خاصه مجموعه‌ها را آغاز کردیم و اینکار با تقویت‌کننده آغاز شد که بهشما نشان دادم که باندگذرای آنرا چگونه بطرف فرکانس‌های زیاد (صفحهٔ ۷۳) و فرکانس‌های کم یا صفر (صفحهٔ ۸۰) گسترش می‌دهند. (درهمین زمینه بهشما یادآوری کردم که دسی‌بل (صفحهٔ ۷۶) چیست).

درجریان ششمین گفتگویمان (صفحهٔ ۸۹) بررسی کردیم که چگونه مقاومت ظاهری ورودی یك تقویت‌کننده را باید زیاد کرد و بهلامپ سنجش الکتریکی (صفحهٔ ۹۱) رسیدیم و کم‌کردن مقاومت ظاهری خروجی (صفحهٔ ۹۵) بوسیلهٔ مونتاژهای با خروجی کاتدی (صفحهٔ ۹۶) با جمع‌کنندهٔ مشترك (صفحهٔ ۱۰۱) و بوسیلهٔ تقویت‌کنندهٔ عضلانی و یا مافوق جمع‌کنندهٔ مشترك (صفحهٔ ۱۰۲) رادیدیم.

وقتی برای هفتمین بار همدیگر را دیدیم (صفحهٔ ۱۰۸) دربارهٔ تغییرشکل‌دادن علائم مثل برش‌سر (صفحهٔ ۱۱۰) ومونتاژی که می‌تواند اینکار را بکند، تقویت‌کنندهٔ قرینه، که «زوج دم‌دراز» نامیده‌می‌شود (صفحهٔ ۱۱۳) و بخصوص مونتاژی که دوباره ایجاد می‌کند و «قپان اشمیت» نام دارد (صفحهٔ ۱۱۵) گفتگو کردیم. با این علائم باکناره تند، مدارهای مشتق‌گیرنده (صفحهٔ ۱۱۹) و انتگرال‌گیرنده (صفحهٔ ۱۲۳) را زیر تأثیر گرفتیم. برای مشخص‌کردن نقش آنها می‌بایست برایتان می‌گفتم که مشتق (صفحهٔ ۱۲۵) و انتگرال (صفحهٔ ۱۲۶) چیست.

درهشتمین دیدارمان (صفحهٔ ۱۳۰) ضرب فرکانس‌ها را (صفحهٔ ۱۳۰) درحالت یك فرکانس ثابت و بعد برای یك فرکانس نامعین (صفحهٔ ۱۳۳) دیدیم. در آنجا برای اینکه بتوانم دربارهٔ تقسیم فرکانس‌ها صحبت کنم لازم شد دربارهٔ ویبراتور چندجانبه برایتان صحبت کنم (صفحهٔ ۱۳۵) و بعد کاربرد ویژهٔ آنرا برای تقسیم به عدد زوج (صفحهٔ ۱۴۱) بگویم. این حالت اخیر مرا بمرحله‌ای رساند که باشما ببینیم دوثابتی اکلس‌ـجردان چگونه تشکیل شده است (صفحهٔ ۱۴۳) واز روی آن مونتاژ یك‌ثابتی و یا ویبراتور یك‌جانبه (صفحهٔ ۱۴۹) را کاملاً فهمیدید.

درجریان نهمین گفتگویمان (صفحهٔ ۱۵۵) یاد گرفتید که تمیزدهندهٔ دامنه (صفحهٔ ۱۵۶) و جداکننده (صفحهٔ ۱۵۸) چیست.

دهمین گفتگوی ما (صفحهٔ ۱۶۴) دربارهٔ پس‌دهنده‌های گوناگون بود، درحالی که با رله‌ها (صفحه ۱۶۵) آغازشد ودر ادامه بهموتورهای جریان‌مستقیم (صفحهٔ ۱۷۱) و بعد بهموتورهای جریان متناوب (صفحهٔ ۱۷۷) رسید.

وقتی برای یازدهمین بار همدیگررا دیدیم (صفحهٔ ۱۹۳) خواستید بدانید که تحریك‌کننده‌های ارتعاش (صفحهٔ ۱۹۴) مولدهای مافوق صوت پیزوالکتریك (صفحهٔ ۱۹۵) یا با فشردگی مغناطیسی (صفحهٔ ۱۹۸) چیست. دربارهٔ منبع‌های نور با مدولاسیون، دستگاه عکس نگار خط به خط (صفحهٔ ۱۹۹) و بعد لیزر (صفحهٔ ۲۰۱) گفتگو کردیم.

در جریان دوازدهمین دیدار ما بود (صفحهٔ ۲۰۹) که فهمیدید شمارش الکترونی، ابتدا دو علامتی (صفحهٔ ۲۱۰) و بعد برپایهٔ دد (صفحهٔ ۲۱۴) چگونه است و چطور نتیجه را نمایش‌می‌دهند (صفحهٔ ۲۱۷).

قبل‌از اینکه بهماشین‌حساب‌ها برسیم درابتدای سیزدهمین گفتگوهایمان (صفحهٔ ۲۲۹) لازم بود که‌درمورد حساب دو علامتی، برای جمع (صفحهٔ ۲۳۰)، مدارهای منطقی (صفحهٔ ۲۳۲) که به ما امکان می‌دهند یك نیمه جمع‌کننده (صفحهٔ ۲۳۴) ویك نمایش‌دهنده‌ـجابجاکننده (صفحهٔ ۲۳۷) بسازیم، کمی شمارا تمرین بدهم.

چهاردهمین بار که دوباره همدیگر را دیدیم (صفحهٔ ۲۴۳) آماده بودیم که با جمع‌کنندهٔ دو علامتی کامل (صفحهٔ ۲۴۴) و ضرب‌کننده (صفحهٔ ۲۴۷) روبرو شویم. برای حساب کردن به‌حافظه نیاز داریم، بشما نشان دادم که حافظه‌های باهسته فریت (صفحهٔ ۲۵۳) و دیود تونلی (صفحه ۲۵۵) چگونه کار می‌کنند.

به‌پانزدهمین گفتگوی خودمان رسیدیم (صفحهٔ ۲۵۹) که در جریان آن دربارهٔ فرمان‌های پیروی شده (صفحهٔ ۲۶۰) و اثبات آنها (صفحهٔ ۲۶۲) واز ماشین‌های فرمان‌دهنده بطورکلی (صفحه ۲۶۴) برایتان صحبت کردم. دربارهٔ یك‌نوع دستگاه تابع که تقویت‌کنندهٔ ضدواکنشی (صفحه ۲۶۶) است، صحبت کردیم.

به‌شانزدهمین جلسه رسیدید (صفحه ۲۷۵) یك طرح اصلی از ضرب‌کنندهٔ قیاسی (صفحه ۲۷۶) مرا

به صحبت کردن دربارهٔ تقویت‌کننده‌های عملی (صفحهٔ ۲۸۰) کشاند و بعد دربارهٔ محاسبهٔ قیاسی (صفحهٔ ۲۸۱) بطور کلی صحبت کردم.

هدف هفدهمین دیدار ما (صفحهٔ ۲۸۹) پاسخ‌گوئی به پرسش‌های شما دربارهٔ هیپرفرکانس (فرکانس بسیار زیاد) بویژه دربارهٔ تهیهٔ آنها بوسیلهٔ مانیترون (صفحه ۲۹۰)، راه‌پیمائی آنها بوسیلهٔ کابل هم‌مرکز باعایق یك چهارم موج (صفحه ۲۹۲) و مخلوط‌شدن آنها با فرکانس ثابت تهیه شده بوسیلهٔ کلیسترون (صفحه ۲۹۳) بود. همینطور دوجهت‌کننده‌ها را (صفحه ۲۹۶) که علائم فرکانس زیاد را در رادار به‌دوجهت می‌فرستند، دیدیم. برای مدارهای ضمیمه رادار بودکه مونتاژهای ثبات تغذیه (صفحهٔ ۲۹۷) وعنصرهای کپی‌برداشتن از وضعیت را که سلسین نام دارند (صفحه ۲۹۹) بررسی کردیم.

در این لحظه است که شما، بی‌آنکه هیچ تردید داشته باشید، وارد مرحلهٔ اجرای طرح عالی خودتان که ساختن فرمان برنامه‌ریزی شده است، شده‌اید و بهمین‌جهت بشما تبریك می‌گویم.

بدون شك ما، یعنی من وشما، نمی‌توانیم ادعا کنیم که درجریان هفده دیدارمان «تمام الکترونیك» را بررسی کرده‌ایم. فقط امیدوارم کمی به‌شما کمك کرده‌باشم تا دراین دانش اطلاعاتی بدست بیاورید. دانشی‌شورانگیز است، شرایط زندگی‌را در دنیای تازه بهتر می‌کند وپیشرفتی صاعقه‌آسا دارد. بهمین جهت است که باید پیوسته درجریان آن قرار بگیرید، هرروز الکترونیك را بیاموزید همانطورکه خود منهم اینکار را می‌کنم.

اگر درجریان این «دوباره بکارگرفتن» پیوسته، بدشواری برخوردکردید، در کمك‌خواستن از من تردید نکنید، اگر بتوانم پاسخ بدهم این‌کار را خواهم‌کرد؛ اما به‌جرأت می‌توان شرط بست که یك روز، مرا «پشت‌سر خواهید نهاد» و این وضع بسیار خوبست چون جوان‌ها باید از مسن‌ترها پیش بیفتند.

درانتظار آنروز، دوستی صادقانهٔ مرا بپذیرید.

دوست شما مهندس

چند سال بعد

یك نامه از مبتدی به‌مهندس

مهندس عزیزم

بکلی‌خردشده‌ام! الان‌متوجه‌شدم که دراالکترونیك مطلقاً چیزی نمی‌دانم!

اقرار می‌کنم که از چند نتیجهٔ سرگرم‌کننده‌ای که چندسال است بدست آورده‌ام کمی خام شده بودم. و پیشرفت‌های الکترونیك را از نزدیك دنبال نکرده بودم. درحالی‌که مؤسسه‌ای‌که در آن‌کار می‌کنم (آنها گمان می‌کنند هنوز می‌توانم کاری انجام بدهم، اما می‌ترسم بزودی بفهمند که فقط به درد موزه می‌خورم) یك کارمند فنی تازه کار استخدام کرده است. از من خواسته‌اند به‌او کمك کنم تا درجریان کارها قرار بگیرد. می‌دانید که چقدر بخود می‌بالیدم که (نقش «مهندس»را بازی می‌کنم). درواقع به‌موقعیتی فکر می‌کردم که‌بمن داده شده بود تا بتوانم آنچه راکه می‌دانم آشکار کنم، زیرا فکر می‌کنم با یاددادن به‌دیگران، چیز زیادی می‌شود آموخت (درواقع برای همین نیست که اینقدر دوست دارید مطالب را شرح بدهید؟)

بله، اما طوری شدکه خیلی زود سرخوردم. تازه‌وارد، که‌گذشته از همه چیز دوست‌داشتنی است، با اشتیاق تمام از من اطلاعاتی می‌خواهدکه مطلقاً نمی‌توانم به‌او بدهم. یادداشت‌هائی راکه درجریان گفتگو-

هایمان باهم برداشته بودیم و پیش خودم نگه می‌داشتم تا توضیحاتی به‌او بدهم باخود برده بودم. آنهارا دید، ورق زد وفوراً احساس کردم که تقریباً پس رفت. ابتدا دیدن شماهای لامپی او را شگفت‌زده کـرد. بعد بمن گفت: «دربـارهٔ مـدارهای مجتمع چیـزی در اینجا ننوشته‌اید؟ وبعد این‌لامپ‌ها قدیمی است. بقیه‌یادداشت‌های شماهم باید مال همان‌عصر یعنی‌خیلی قدیمی‌باشد.»

حالا درست‌شد چون من در الکترونیک«توخالی» و «درحال انهدام» هستم. درست است، ما دربارهٔ‌کاربرد مدارهای مجتمع گفتگو نکرده‌ایم. کمی باآنها آشنائی دارم. ولی او تعدادی از آنها را می‌شناسد. (با وجود این از او نخواهم خواست کـه برایم شرح بدهد چون هرچه باشد هرکس شخصیتی دارد!)

چه می‌شودکرد؟ برای یادگرفتن توده‌اطلاعاتی‌که بمنظور درجریان قرارگـرفتن لازم دارم، اگـر سالها وقت لازم نباشد مطمئناً ماه‌ها باید وقت صرف شود. در این مدت فن به‌پیشرفت خود ادامه خواهدداد و فاصلهٔ من از آن بیش‌ازپیش زیاد می‌شود. در اینصورت این علامت S. O. S (درخواست کمک) است‌که‌برایتان می‌فرستم؟ آیا راه‌حلی وجود دارد؟

مهندس عزیزم ازشما خواهش‌می‌کنم اگرراه‌حلی، اگرچه تقریبی، بـرای مسئلهٔ من سراغ داریـد، فوراً آنرا بمن بگوئید.

۱۱۱دقمند شما

مبتدی

(چقدرنام من‌به‌طرزی اندوهبار درست است!)

پاسخ مهندس به مبتدی

مبتدی بیچاره‌ام:

شماهم مانند بسیاری از افراد شبیه به خودتان گذاشتیدکه زیرتأثیر چندپرسش واقع‌شوید، وهمانطور که عوام می‌گویند یك لحظه «دست و پایتان را گم کردید.» ونتیجه‌گرفتیدکه به‌هیچ درد نمی‌خورید.

بخودتان اطمینان داشته باشید، احساس شماکاملاً فریب‌دهنده است. پس من چه‌بگویم‌که ازشمابزرگترم، آنهم... نه، نمی‌گویم چند سال.

این‌را باورکنیدکه همکار جوان شما دربارهٔ‌مدارهای مجتمع اطلاعات کمتری ازشمادارد. چرا، اعتراض نکنید. فراموش نکنیدکه یك مدار مجتمع، روش‌فنی برای به‌انجام‌رساندن یك‌کار است. درحالی‌که شما می‌توانیداین‌مدار را باعنصرهای جدا ازهم، ترانزیستورها، مقاومت‌ها، دیودها و غیره بسازید.

بنابراین بـرای شما چه اثری داردکـه تمام این عنصرها در یك قطعه سیلیسیوم جای داده شده باشند؟ درموارد زیادی تکامل آنها جالب‌توجه است. ساده‌کردن مونتاژها چشمگیر است، اما چیزی‌که زیرپوشش‌مدار مجتمع قرار دارد برای شما تازگی ندارد.

اگر به‌شکل این مدار نگاه‌کنید ازجادرمی‌روید. این مطلب بهیچوجه بـه خاطر آن نیست کـه شما در الکترونیك «توخالی» هستید (یا بهتر بگویم گمان می‌کنیدکه هستید). نه، فقط به‌خاطرواقعیت زیراست:

وقتی یك‌مدار مجتمع را درست می‌کنند، می‌بینند که به آسانی یك ترانزیستور یا یـك دیود می‌سازند، ساختن یك مقاومت به‌آسانی آنها نیست به‌ویژه اگـر مقدارش زیـاد باشد و بخواهند آنـرا مخصوصاً دقیق بسازند. بنابـراین در یـك شمای مـدار مجتمع، اگـر بتوانند بجای یـك مقاومت سه ترانزیستور و دو دیود بگذارند برد با آنهاست. اینکار مـوجب می‌شود کـه اجباراً روش ساخت مدارها طوری بـاشد که بنظر شما (دست‌کم در ابتدا) عجیب بیاید.

از ایـن مطلب گذشته از لامپ چـه می‌گـوئید؟ صادقانه بگوئید شماهم همانطور کـه بعضی‌ها گفته‌اند «هرچیزی‌که دربارهٔ لامپ‌ها می‌دانستید فراموش کنید تا ترانزیستور را بفهمید» همین‌کار راکـرده‌اید؟ نه، اینطور نیست؛ بنابراین زیر تأثیرکسی قرار نگیرید. وانگهی خاطرنشان می‌کنم که یکی از آخرین واردشدگان به‌قلمروی نیمه‌هادیها یعنی ترانزیستور با اثر میدان، به‌اندازه‌ای شبیه به‌لامپ‌های رادیوئی است، که برای کسانی مثل شماکه لامپ‌ها را تا حدودی بکار برده‌اند، کاربرد این ترانزیستورها آسانتر است تـا برای جوانترها.

نگذاریدکه پیشرفت‌های فن و بخصوص تکنولوژی شمارا خیره ویا اینکه نومیدکند. برای شروع، کتاب کوچکی دربارهٔ مدارهای مجتمع‌خطی بخوانید (بدون شك کمتر ازجا درخواهید رفت). خواهیددیدکه چگونه وضعیت روانی‌سازندگان(ترانزیستور هرچه‌که‌بخواهید، مقاومت نه چندان زیاد، به‌ویژه خازن بهیچوجه، مگر در موقعی‌که خودداری از کاربرد آنها ممکن نباشد) آنها را به‌شماهائی کشانده‌است‌که دست‌کم برای‌کسانی که نخستین‌بار آنهارا می‌بینید، شگفت‌آور است (اما باور کنیدکه خیلی زود به‌آن عادت می‌کنید.)

وقتی این‌کتاب‌کوچك‌را خواندید (وچند دفترچهٔ سازندگان را هم دیدید) چند مدار مجتمع قیاسی، یك تقویت‌کنندهٔ دیفرانسیل، یك مقایسه‌کننده، یك تغذیهٔ ثابت برای خودتان بخرید وچند ساعتی باآنهاسرگرم شوید. خواهید دید که چه زود با آنها آشنا می‌شوید.

آنوقت کتاب دیگری، که چندان مبهم‌نباشد، دربارهٔ مدارهای منطقی مجتمع بخوانید. درآن باترانزیستور-هائی‌که چند ارسال‌کننده دارند آشنائی پیدا می‌کنید که راه‌حل ساده‌ای برای‌افزایش تعدادنقطه‌هائی هستند که به‌وسیلهٔ آنها ازیك اتصالی پایه—ارسال‌کننده می‌شود جریان‌گرفت. ببینیدکه‌یك مدار «و کامل‌شده» (یا «نه و» که حالا بیشتر میل دارند «در نانده» بگویند) چگونه ساخته شده است. بازهم چند مدار مجتمع، این بار منطقی، بخرید و با آنها سرگرم شوید. یك قپان با دو «در نانده» بسازید وکوشش‌کنید چند دستگاه را که درکتابچه‌های راهنمای سازندگان مدارهای مجتمع منطقی‌شکل آنها بطور جعبه‌ای‌کشیده شده، بسازید. از نظر من، پانزده روز لازم است تا دوباره همه چیز بنظر شما «بسیار ساده» شود.

از یادداشت‌هائی صحبت کردیدکه در جریان گفتگوهایمان دربارهٔ الکترونیك برداشته بودید. یك نسخه از آنرا خودم نگه داشته بودم. بنابراین دوباره آنهارا خواندم واین احساس دلپذیر بمن دست دادکه چیزهائی است نسبتاً تازه. برای‌اطمینان شما چندمطلب را اضافه‌کردم‌که آنرا در نسخه‌ای‌که در دست دارید، درهمان محلی‌که اگرگفتگوهایمان به‌تازگی گذشته بود قرارمی‌دادید، گذاشته‌ام.

از «دوباره در جریان‌بودن» صحبت می‌کنید. من این اصطلاح را دوست ندارم؛ بهتر است ازه‌آموزش همیشگی» صحبت کنید. کاملاً باور کرده‌ام برخلاف چیزی‌که دراثر نومیدی نوشته‌اید، وجود مجله‌های‌فنی راکه در دسترس شما قرار گرفته است، کاملاً ندیده نگرفته‌اید. چه خواسته باشید یا نخواسته‌باشید، مجموعهٔ شناسائی‌های خودتان را کامل‌کرده‌اید.

درواقع همکار جوان شما، موقعیت بسیار عالی برای شماست که معلومات خودتان را مرورکنید. فقط به‌او بگوئیدکه‌کار را با یاددادن مدارهای اساسی به او آغاز خواهیدکرد؛ دربارهٔ جذب‌کننده‌ها برایش‌صحبت کنید (از زمان گفتگوی ما تاکنون چندان تغییر نکرده‌اند). پس ازگذشت این مدت، برعقدهٔ خودتان (همانطورکه روان‌شناسان می‌گویند) نسبت به‌مدارهای مجتمع غلبه‌کرده‌اید. و وقتی دربارهٔ آن صحبت‌خواهید کرد می‌دانیددرون‌جعبه‌چیست، واین‌چیزی است‌که‌بشما کمك می‌کندخصوصیات‌آنهارا بهتر بفهمید. اگرکسی به این مدارها به‌عنوان عنصرهای ترکیب‌شونده نگاه‌کند و نخواهد حتی از دورهم بداندکه‌چگونه ساخته‌شده‌اند، در کاربرد همان اشتباه را مرتکب خواهد شدکه تمام‌کسانی که می‌خواستند ترانزیستور را بکار ببرند بی‌آنکه یك‌کلمه نارسا دربارهٔ آنچه در سیلیسیوم یا ژرمانیوم می‌گذرد بدانند، مرتکب شدند.

یاالله آقای مبتدی کمی جرأت داشته باشید! یك روز بعد از ظهر برای نوشتن چند مطلب اضافی که برایتان می‌فرستم وقت‌صرف‌کردم و به‌این ترتیب‌گمان نمی‌کنم خواندن آنها بیشتراز آن وقتتان را بگیرد. می‌دانید از چه‌چیز بیشتراز همه می‌ترسم؟ از این می‌ترسم درمدت یك‌ماه به‌این نتیجه برسیدکه الکترونیك پس ازگفتگوئی‌که با هم کرده‌ایم تقریباً تغییری نکرده است. این‌حرف‌گزافه‌گوئی بسیارخطرناکی است، چون شما را به‌جائی می‌کشاند که موقعیت‌های واردشدن در پیشرفت‌های تازه‌را ندیده بگیرید. اما این مطلب باز هم ارزنده‌تر از پیشروی در جهت مخالف است‌که وقتی نامه‌را به‌من نوشتید درآن افتاده بودید.

خوب، پس تمام‌اینها، تمام‌این‌مطالب تازه... بسیار ساده است (درآخر فوراً بایدبگویم باوجود این چیز-هائی‌هست‌که‌باید‌گفت «بینهایت پیچیده» است. همانطور که یکنفرکه می‌شناختمش می‌گفت).

ارادتمند شما

مهندس

از این مجموعه منتشر شده است:

رادیو؟... بسیار ساده است!
ا. اسبرگ- ترجمهٔ رضا سیدحسینی- اصغر آزوین

تلویزیون؟... بسیار ساده است!
ا. اسبرگ- ترجمهٔ اصغر آزوین

ترانزیستور؟... بسیار ساده‌است!
ا. اسبرگ- ترجمهٔ اصغر آزوین

۷۰ دستگاه الکترونی

شرح کامل طرز کار وساختن ۷۰ دستگاه الکترونی که درخانه، اتومبیل، مؤسسات، صنعت، بازی نور و صدا وبالاخره‌اسباب بازی‌کودکان‌کاربرد دارند.

ر. بسون
ترجمهٔ اصغرآزوین

ترانزیستور در رادیو و تلویزیون

شرح‌کامل‌ساخت وطرزکار انواع‌ترانزیستور
و مشخصات و نوع کاربرد آن همراه با
۸۰۰ مدار که طرز سوارکردن آنها رانشان می‌دهد

ترانزیستور باپایهٔ نازك (سطح ـ سد)

هرچه پوشش پایهٔ ترانزیستور نازك‌تر باشد، فرکانس کاربرد آن بزرگتر است و مقاومت اهمی آن‌هم کمتراست. مقاومت ترانزیستور را بابکاربردن بلوری‌که شامل تعداد نسبتاً زیادی اتمهای خارجی‌است، می‌توان‌کاهش داد. ازسوی دیگر اگر کلفتی پوشش‌پایه کم‌باشد، الزاماً ظرفیت زیادی بین‌ارسال‌کننده وجمع‌کنندهٔ آن‌ایجاد خواهد شد، ظرفیتی که جز باکوچك کردن ابعاد این الکترودها نمی‌توان آنرا کاهش داد...

ترجمه و تدوین : مهندس اصغر آزوین

در همین مجموعه منتشرمی‌شود:

راهنمای عملی برای خواندن نقشه‌های الکترونیک

۵ ـ اجزاء غیرمؤثر: عناصر خود القاء شبکه‌ها

. . . . . .

اول ـ قرقره با عایق هوا که شامل هیچگونه هستهٔ مغناطیسی نیست. این قرقره‌ها ممکن است استوانه‌ای ودریك لایه باشند و یا از چند لایه که برروی هم قرار گرفته‌اند (لانه زنبوری) تشکیل شوند؛

. . . . . .

ترجمهٔ مهندس اصغرآزوین

تلویزیون رنگی؟... بسیار ساده است!

. . . . . .

مبتدی ـ علائم رنگ «سبز» را دوباره چگونه پیدا می کنند؟

مهندس ـ علائم (R—y)و(B—y) که‌آشکارسازی‌وبه‌طرزمعینی‌صاف‌شده‌اند، به‌قالب گذاشته می‌شوند. این «قالب» ازسه ترانزیستور TRوTVوTB تشکیل شده است، هریك از ترانزیستورها روی ارسال کنندهٔ خود، علائم y را از راه مقاومت‌هائی دریافت می کنند که مقدار این‌مقاومت‌ها طوری انتخاب شده‌است که‌در خروجی سطح‌علائم برابر باشد؛...

ترجمهٔ مهندس‌اصغر آزوین

الکترونیک..؟ بسیار ساده‌است!

بله! همانطور که عنوان کتاب تأیید می‌کند ، هیچ چیز ساده‌تر از الکترونیک و کاربردهای آن نیست : یک‌علامت به وسیله یک جذب کننده (گیرنده) ثبت می‌گـــردد ، سپس به روش دلخواه دگرگون می‌شود تا روی یک عنصـر فرمان اثر کند .

منابع این فن ، امکان تصور طبقه‌های گوناگون جذب کننده ، تبدیل کننده وفرمان‌را بوجودمی‌آورنـــد ، همین امکانات گوناگون است که موضوع مورد بحث در این کتاب می‌باشد .

برای اینکه تمام‌پدیده های وارد درکار را بهتـــر درک کنید ، نویسنده کهاستادانستیتوی‌عالی "الکترونیک دونور" در کشور فرانسه است ، روش روشن ،خوشایند و دقیق اثرهای مشهور ا ــ اسبرگ را در پیش گرفته است که گفتگوهای مهندس و مبتدی آن ، اکنون بـــه شهـــرت افسانه‌ای رسیده است .

این کتاب ، برتر از یک کتاب عـالـی ، آموزنده و پیشرواست ؛ به بسیاری از کارشناسان رادیووتلویزیون امکان خواهد داد که شناسائی‌خودرادرزمینهٔ الکترونیک صنعتی به روشی دلپذیر کاملتر کنند .

@Electronicall
کانال تلگرامی الکترونیک و الکتریکال