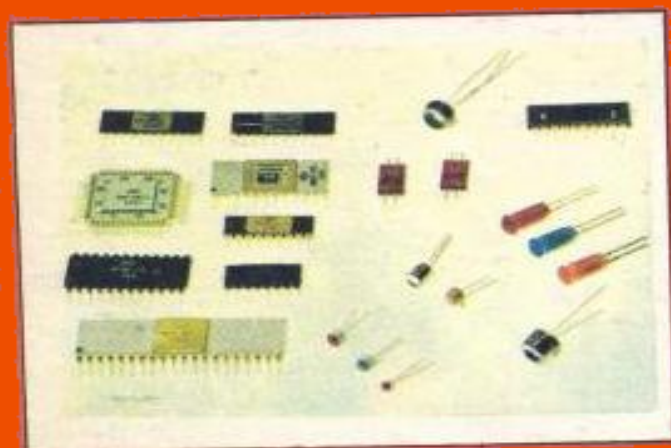
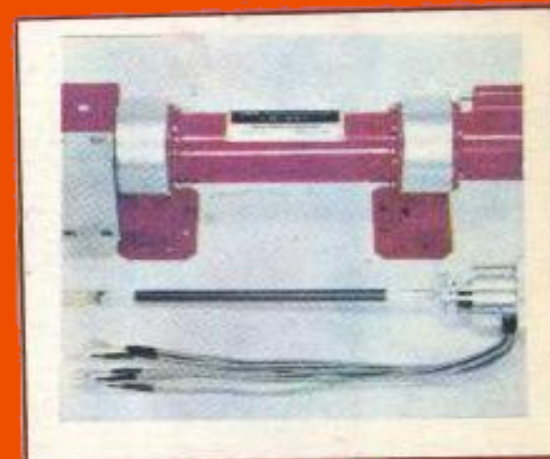


الکترونیک برای رادیو آماتورها

سری کتابهای آتش الکترونیک



ترجمه و تدوین: مهندس غلامحسین ابراهیمی



جلد دوم
لاپها و نیمه
هادیجیت



با انضمام تبدیل گرام و ضبط
به فرستنده
فرستنده ساده
رادیوی دو ترازیستودی
تکه کوماند



تبدیل کننده ولتاژ ۱۲ ولت به ۲۲۰ ولت برق شهر

فهرست مطالب

۴۵	تقویت قدرت	۳	مقدمه پیش گفتار
۴۶	انواع ترانزیستورها	۴	فهرست مطالب
۴۸	مشخصات ترانزیستور	۵	لامپهای خلاء و اصول . . .
۵۱	تقویت کنند ههای ترانزیستور	۷	یادگیری یکسوسازی
۵۴	کوپلاژ و تطبیق امپدانس	۸	تقویت کنند ههای لامپی
۵۶	گرایش و پاید ارکردن آن	۹	بایاس یا گرایش
۶۰	پاید اری فرکانس	۱۰	مد ارهای خروجی . . .
۶۳	ترانزیستور اثر میدانی	۱۲	تقویت کنند ههای قدرت
۶۸	مد ارهای یکپارچه	۱۳	پوش پول
۷۳	دسته ترانزیستور	۱۴	تقویت کنند ههای کلاس B
۷۵	مد ارهای یکپارچه دیجیتال	۱۶	فید بک
۷۶	نشانه های منطقی	۱۹	لامپهای با شبکه پرده ای
۷۷	آی - سی های دیجیتال	۲۳	پنند
۸۱	خانواده آی - سی های . . .	۲۴	امپدانسهای خروجی و . . .
۸۶	ترانزیستورهای تک اتصالی	۲۵	انواع دیگر تقویت کنند هها
۸۷	تقویت کنند ههای عملیاتی	۲۹	نوسان سازها
۹۳	رادیو ترانزیستوری	۳۱	مشخصات نوسان سازها
۹۴	تله کوماند	۳۲	لامپهای مایکروویو
۹۵	تبدیل گرام به فرستنده	۳۵	نیمه هادیها
۹۵	فرستنده ساده	۳۷	دیودهای نیمه هادی
۹۶	چشمک زن ساده	۳۸	دیودهای زنر
۹۷	تبدیل ۱۲ ولت به ۲۲۰ ولت	۴۴	ترانزیستورها

سازمان انتشاراتی دانش به سرپرستی مهندس غلامحسین اویسی و فرامرز علیزاده آمادگی خود را جهت ارائه خدمات زیر با اطلاع علاقمندان الکترونیک میسراند :

— پاسخگویی به پرسشهای الکترونیک — بازاء هر پرسش ۵۰ ریال تمبر باطل نشده ارسال دارید ، در غیر این صورت از پاسخگویی به پرسشهای شما معذوریم .

— ارسال نقشه های مدارهای الکترونیک — در این مورد ابتدا نام و مشخصات نقشه مورد نظرتان را همراه با ۲۰ ریال تمبر باطل نشده برای ما بفرستید تا ما شرایط ارسال نقشه را در صورت موجود بودن با اطلاعتان برسانیم .

فصل سوم لامپ‌های خلاء و اصول کار آنها

Vacuum-Tube Principles

CURRENT IN A VACUUM - جریان در یک لامپ

تفاوت اصلی بین یک لامپ خلاء و دیگر وسایل الکتریکی در اینست که جریان در خلاء جاری می‌گردد نه در هادی (رسانا). جاری شدن جریان در خلاء وقتی امکان دارد که الکترون آزاد - یعنی الکترونی که تحت کشش اتم نیستند - در خلاء وجود داشته باشد. الکترونهای آزاد در یک فضای تخلیه شده (خلاء) بطرف شیئی که بار مثبت دارد جذب میشوند. حرکت الکترونهای آزاد در اثر جاذبه و دافعه این اشیاء بار دار شده سبب ایجاد الکترون می‌گردد.

عملی‌ترین روش برای انتشار تعداد کافی الکترون در خلاء انتشار ترمیونیکی Thermionic Emission می‌باشد.

Thermionic Emission - انتشار ترمیونیکی

هرگاه یک قطعه فلز در خلاء حرارت داده شود الکترونهای مجاور سطح باندازه کافی انرژی بدست خواهند آورد تا به فضا پرتاب شوند و خود را از جاذبه اتمهای سطح فلز خارج کنند. هر چه درجه حرارت بالاتر برود تعداد الکترونهای پرتاب شده به خارج بیشتر خواهد بود. نام فلز منتشر کننده الکترون کاتد Cathode می‌باشد.

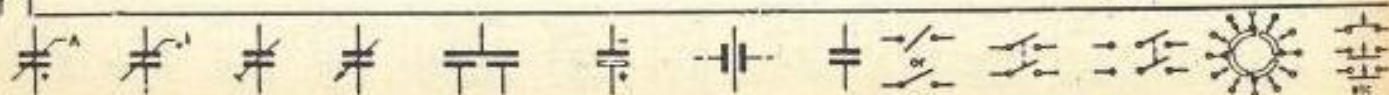
اگر کاتد تنها چیز موجود در خلاء باشد، تقریباً تمامی الکترونهایی که از آنان ساطع می‌شود در مجاورت خودش باقی می‌ماند و یک ابری را در اطراف کاتد بوجود می‌آورند باقی ماندن الکترونها در فضای اطراف کاتد بدین دلیل است که نیروی کششی بر آنها وجود ندارد این الکترونها یک مجتمع بارهای فضایی در اطراف کاتد ایجاد می‌کنند. این بار فضایی آن الکترونهایی که در نزدیکی کاتد هستند دفع می‌کند و سبب میشوند آنها به کاتد رجعت کنند.

حال فرض کنید که یک رسانای دیگری در خلاء وارد شود ولی آنرا به هیچ چیز دیگری در داخل لامپ وصل نمی‌کنیم. اگر به این رسانای دوم بار الکتریکی مثبت داده شود (با وصل یک منبع ولتاژ بین آن و کاتد) الکترونهایی که توسط کاتد ساطع میگردند توسط آن جذب خواهد شد (شکل ۱-۳). در شکل ۱-۳ این منبع ولتاژ باتری B می‌باشد از یک باتری دیگر A برای گرم کردن کاتد استفاده شده است.

این صفحه که از نظر الکتریکی با مثبت دارد معمولاً بشکل یک استوانه می‌باشد که حول کاتد قرار گرفته است و آنند Anode یا صفحه plate نامیده میشود. آنند یا صفحه (پلیت) یک الکتروود دیگر لامپ می‌باشد. لامپ نشان داده شده در شکل ۱-۳ یک لامپ دو الکتروودی two electrode یا دو الکترود می‌باشد یک الکتروود بنام کاتد و دیگری آنند است. چون الکترونها بار الکتریکی دارند توسط صفحه یا آنند جذب میشوند و این هنگامی عملی خواهد شد که آنند نسبت به کاتد مثبت باشد. اگر به آنند بار منفی داده شود الکترونها را بطرف کاتد باز خواهد کرداند و هیچ جریانی حاصل نخواهد شد. بنا بر این لامپ خلاء فقط می‌تواند جریان را در یک جهت هدایت نماید.

Cathodes - کاتدها

قبل از اینکه الکترونها بتوانند منتشر شوند کاتد باید تا درجه حرارت زیادی گرم شوند. هیچ لازم نیست که کاتد را مستقیماً گرم نور بلکه می‌توان آنرا غیر مستقیم و توسط گرم کننده دیگری آنرا گرم کرد. چنین کاتدی را گرم شده بطور غیر مستقیم Indirectly heated نامند در حالیکه به کاتدی که بطور مستقیم گرم می‌شود کاتد گرم شده بطور مستقیم directly heated یا فیلمان filament گویند.



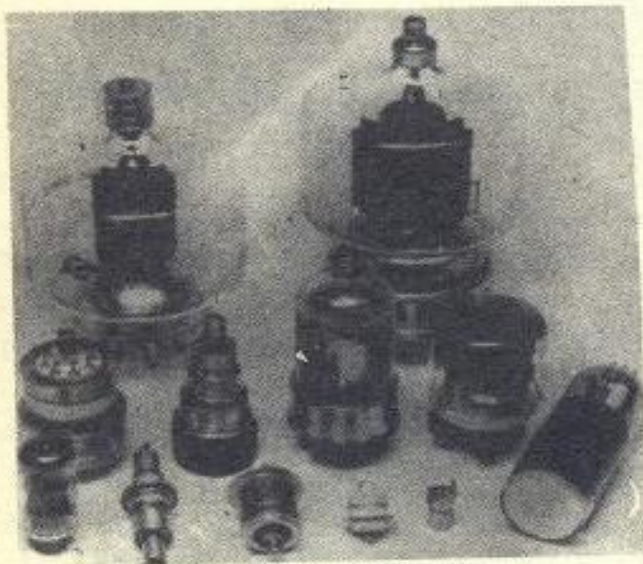
شکل ۲-۳ هر دو نوع کاتدها را نشان میدهد. چنانچه کاتد از مواد بخصوصی ساخته شود میتوان در درجه حرارت‌های پائین الکترون زیادی انتشار داد. یکی از این مواد تنگستن توریت است *Thoriated tungsten* می‌باشد. تنگستن توریت عبارتست از تنگستنی که در توریم حل شده است. کاتد آغشته به اکسید می‌تواند بازده بیشتری داشته باشد.

اگر چه کاتد آغشته به اکسید *oxide-coated* بالاترین بازده را دارد، این کاتد را معمولاً در لامپی بکار می‌برند که آند آن با ولتاژ کم کار می‌کند. بنا بر این از این نوع کاتد را در لامپهای گیرنده‌ها و همچنین در انواع لامپهای کوچک فرستنده‌ها استفاده میشود. فیلمان توریت در دیگر انواع لامپها یعنی آنهایی که با ولتاژ بالا کار می‌کنند مورد استفاده دارد.

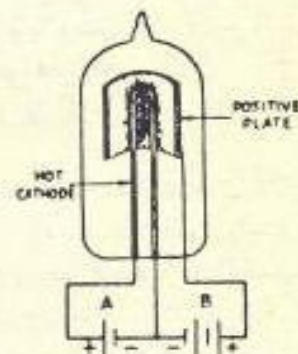
جریان صفحه (پلیت) - Plate Current

اگر ولتاژ صفحه لامپ مقدار مثبت و کم باشد بتعداد الکترونهايي که به آن میرسد ناچیز خواهد بود زیرا بار فضایی اطراف کاتد نمی‌گذارد الکترونهايي که به کاتد نزدیکتر هستند به صفحه برسند. هر چه ولتاژ صفحه بیشتر گردد. تعداد الکترونهايي دریافت شده توسط آند (صفحه) بشدت افزایش می‌یابد. یعنی جریان صفحه *plate current* با افزایش ولتاژ صفحه زیاد می‌گردد.

شکل ۳-۳ منحنی تغییرات جریان صفحه را بر حسب ولتاژ صفحه برای یک لامپ دو المانی یا دو قطبی یا دیود *diode* نشان میدهد. برای رسم چنین منحنی مدار شکل ۳-۳ را ترتیب میدهند که ولتاژ صفحه را تغییر داده و با میلی آمپری که در مدار صفحه است جریان گذرنده از آنرا اندازه گیری میشود. اگر ولتاژ صفحه صفر باشد جریان آن نیز صفر خواهد بود و با افزایش ولتاژ صفحه جریان آنهم زیاد میشود تا هنگامیکه منحنی به نقطه اشباع *saturation point* میرسد. این نقطه جایی است که بار مثبت روی صفحه بر فضای بار اطراف آن فائق می‌آید و تقریباً تمامی الکترونها جنب می‌گردند. در ولتاژهای بالاتر جریان در مقدار ثابتی باقی میماند. حاصلضرب جریان صفحه در ولتاژ نوسر آن توان ورودی *input power* لامپ می‌باشد. در یک مدار شبیه شکل ۳-۳ تمامی این توان برای گرم کردن صفحه مصرف می‌شود. اگر توان ورودی زیاد باشد، درجه حرارت صفحه ممکن است به مقدار خیلی زیادی برسد که در اینحال صفحه قرمز یا حتی ممکن است به درجه حرارت سفید برسد. حرارت صفحه به حباب لامپ میرسد و سپس از حباب به محیط اطراف لامپ تشعشع می‌شود.



لامپهای فرستنده و گیرنده



شکل ۳-۱ - هدایت توسط انتشار ترمیونیک در یک لامپ الکترون منتشر نماید. باتری دیگری هم برای مثبت کردن صفحه نسبت به کاتد وجود دارد.

شکل ۲-۳ - انواع فرمهای کاتد ها - کاتد مستقیم گرم شونده یا فیلمان (شکل A و B و C) (A) در لامپهای کوچک گیرنده، (B) در لامپهای فرستنده و گیرنده، (C) در لامپهای فرستنده استفاده میشوند

دو نوع دیگر کاتدهایی هستند که غیر مستقیم گرم میشوند.

RECTIFICATION

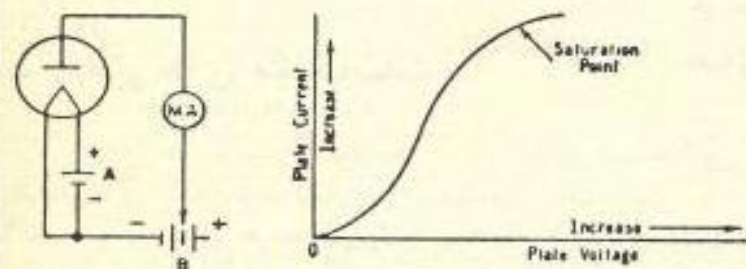
یکسو سازی

چون جریان در یک لامپ فقط در یک جهت می تواند جاری شود لامپ دیود را می تواند جریان متناوب را به جریان مستقیم تبدیل نماید. جریان فقط در مواقعی می تواند جاری شود که آند نسبت به کاتد مثبت باشد. در وقتی که صفحه منفی است هیچ جریانی جاری نخواهد شد.

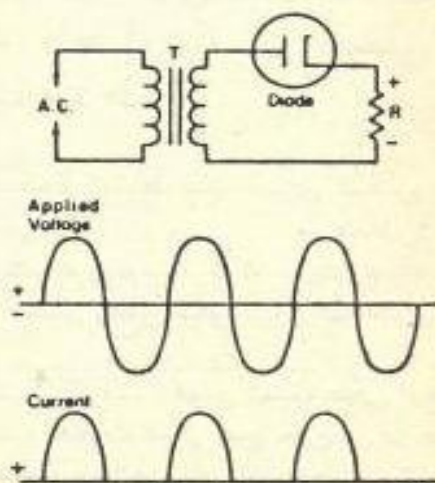
شکل ۴-۳ یک مدار نمونه را نشان میدهد، جریان متناوب موجود در ثانویه ترانسفورمر i به لامپ دیود که بطور سری با مقاومت بار قرار گرفته اعمال می گردد. ولتاژ در ثانویه ترانسفورمر بالا و پائین میرود و تنها وقتی جریان از مقاومت بار Load Resistor عبور می کند که صفحه نسبت به کاتد مثبت باشد - یعنی دو نیم سیکلی که سر بالای ترانسفورمر مثبت است. در نیم سیکل منفی یک وقفه ای در جریان وجود دارد. جریان متناوب یکسو کننده عبارتست از یک جریان مستقیم منقطع.

مقاومت بار R معروف یک مداری است که با جریان متناوب یکسو شده کار می کند. همه لامپها یک بار را تغذیه می کنند که در اینحال لامپ همانند یک ترانسفورمر یا ژنراتور است. مداری که برای لامپ باری آماده نسازد همانند یک اتصال کوتاه short-circuit خواهد بود، در اینحال این مدار هیچ کاربردی نخواهد داشت و تنها نتیجه ای که این مدار خواهد داشت تولید حرارت در ترانسفورمر می باشد.

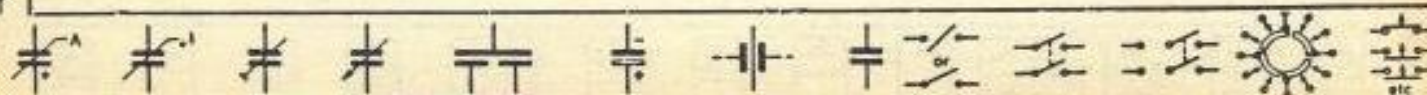
توانی که توسط لامپ به بار تحویل داده میشود برای منظور خاصی بکار میرود. برای اینکه بیشتر توان حاصل از توان به مصرف برسد باید افت ولتاژ دو سر بار بیشتر از افت ولتاژ دو سر دیود باشد. چنانچه دیود شبیه شکل ۴-۳ در مدار قرار گیرد پلاریته جریان در بار همانگونه است که در شکل نشان داده شده، اگر دیود در مدار معکوس گردد پلاریته ولتاژ در بار نیز عوض خواهد شد.



شکل ۳-۳ - لامپ دوآلمانی یا دیود به همراه مشخصه اش.



شکل ۴-۳ - نمایش یکسو سازی دیود.



تقویت کننده‌های لامپی VACUUM-TUBE AMPLIFIERS

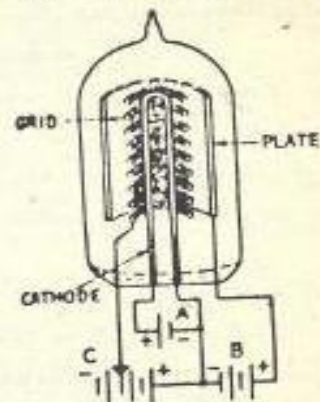
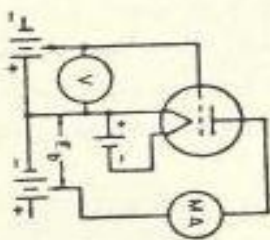
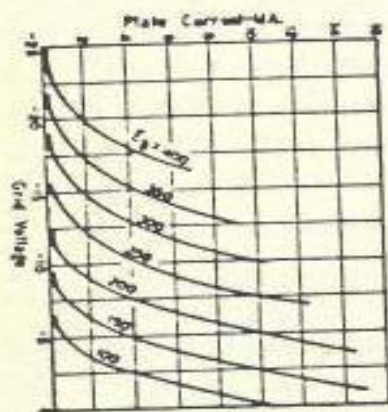
TRIODES

تریود (لامپ سه قطبی) -

شبکه کنترل - Grid Control

اگر یک المان سوم بین کاتد و صفحه قرار گیرد (شکل ۵-۳) میتوان از آن برای کنترل بار قصائی استفاده نمود. به این المان سوم شبکه کنترل یا شبکه گفته میشود. اگر به شبکه مثبت به کاتد ولتاژ مثبت داده شود، این بار مثبت بار قصائی منفی را رو به خنثی شدن خواهد برد. نتیجه این خواهد بود که بازای هر مقدار ولتاژ که به صفحه داده شود میتوان با تغییر ولتاژ شبکه تعداد الکترونها را که به صفحه میرسد کنترل نموده از طرف دیگر اگر شبکه نسبت به کاتد منفی گردد بار منفی روی شبکه (۱-۲-۱) به بار قصائی اضافه خواهد شد. این به تعداد الکترونها که بازای یک مقدار مشخص ولتاژ صفحه به صفحه میرسد اضافه خواهد کرد.

شبکه بدین خاطر به لامپ اضافه میشود که بار قصائی را کنترل نماید و هیچ الکترونی جذب خودش نخواهد شد، بدین علت آنرا بقرم حلقه سیمی یا مارپیچی ساخته میشود. در اینصورت الکترونها میتوانند از قصاهای از شبکه عبور کرده و به صفحه برسند.



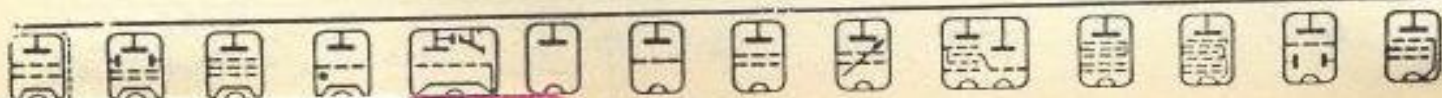
شکل ۵-۳ - منحنی‌های مشخصه لامپ تریود با مداری که این منحنی - هارا بدست میدهد.

شکل ۵-۳ - ساختمان لامپ تریود

منحنی‌های مشخصات - Characteristic Curves

برای هر لامپ بخصوصی، اثر ولتاژ شبکه روی جریان صفحه توسط یک سری منحنی بنام منحنی‌های مشخصات نشان داده میشود. یک سری منحنی‌ها در شکل ۶-۳ آمده است. برای هر مقدار ولتاژ صفحه یک مقدار ولتاژ منفی برای شبکه وجود دارد که جریان صفحه را به صفر میرساند، یعنی برای به صفر رساندن جریان صفحه یک مقدار ولتاژ منفی برای صفحه وجود دارد.

با اعمال ولتاژهای متفاوت منفی و مثبت به شبکه منحنی‌ها حاصل می‌گردند. قوتی شبکه منفی است، الکترونها را از خود میراند و در نتیجه هیچ الکترونی به آن نمیرسد، بعبارت دیگر هیچ جریانی در مدار شبکه جریان نخواهد یافت. وقتی شبکه مثبت باشد، الکترونها را جذب می‌کند و جریانی (جریان شبکه) در مدار جاری میشود که همزمان با آن جریانی در صفحه مثبت نیز بوجود خواهد آمد. هرگاه جریان در شبکه وجود داشته باشد تلف توان نیز در مدار شبکه وجود خواهد داشت ولی تا هنگامیکه شبکه منفی باشد هیچ توانی مصرف نمیشود.



- واقع است که شبکه می تواند بعنوان یک شیر مقدار جریان صفحه را کنترل نماید . در واقع شبکه اثر خیلی بزرگتری بر جریان صفحه دارد تا ولتاژ صفحه . یک تغییر جزئی در ولتاژ شبکه اثری معادل یک تغییر زیاد ولتاژ صفحه دارد .
- این موضوع امکان تقویت Amplification به لامپ سه قطبی میدهد . کاربردهای زیادی که برای یک لامپ سه قطبی حاصل شده ناشی از همین عمل تقویت لامپ می باشد . تقویت شده خروجی ناشی از خود لامپ نیست بلکه از منبع ولتاژی است که بین صفحه و کاتد متصل شده است . یک لامپ وسیله ای است که قدرت این منبع را کنترل می کند و آنرا بفرم بلخواه در می آورد .
- برای استفاده از قدرت کنترل شده یک بار در مدار صفحه یا خروجی output باید وصل گردد ، همانند حالتی که برای لامپ دیود بود . بار می تواند یک مقاومت یا بطور کلی یک امپدانس باشد . لغت «امپدانس» اغلب بکار میرند حتی وقتی که بار مقاومتی خالص باشد .

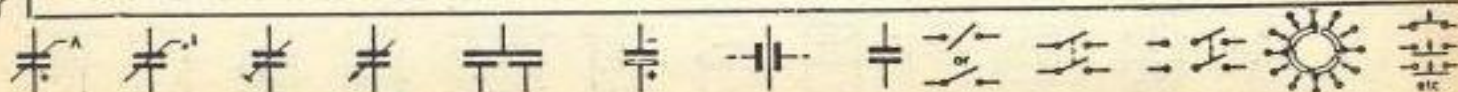
— مشخصات لامپ — Tube Characteristics

- ساختمان فیزیکی تریود اثر شبکه و صفحه را در کنترل جریان صفحه مشخص می کند . با نزدیکتر کردن شبکه به کاتد یا با تغییر ساختمان شبکه میتوان کنترل شبکه را افزایش داد .
- مقدار مقاومت صفحه یک لامپ plate resistance عبارتست از مقاومت جریان متناوب مسیر از کاتد به صفحه . برای یک مقدار معین ولتاژ شبکه میتوان مقاومت صفحه را پیدا کرد ، بدین ترتیب که یک تغییر جزئی در ولتاژ صفحه ایجاد کرد و تغییر جریان صفحه را اندازه گیری می کند ، از تقسیم این دو کمیت طبق قانون اهم مقدار مقاومت صفحه حاصل می شود . مثلاً اگر تغییر یک ولت در ولتاژ صفحه سبب تغییر یک صدم میلی آمپر 0.1 mA در جریان صفحه گردد ، مقاومت صفحه برابر ۱۰۰ کیلو اهم خواهد بود .
- ضریب تقویت $\text{amplification factor}$ یک لامپ ، که معمولاً با حرف یونانی μ (میو) نشان داده میشود ، چنین تعریف میشود نسبت تغییر ولتاژ صفحه به تغییر ولتاژ شبکه ، بفرض آنکه تغییر جریان در هر دو یکی باشد . برای مثال ، اگر یک افزایش ولتاژ ۱۰ ولت در ولتاژ صفحه سبب افزایش جریان ۱ میلی آمپر در جریان صفحه شود و افزایش ولتاژ ۱/۰ ولت منفی در ولتاژ شبکه جهت برگرداندن جریان صفحه به مقدار اولیه اش لازم باشد ضریب تقویت تریود ۱۰۰ خواهد بود . ضریب تقویت لامپهای تریود حدود ۳ تا ۱۰۰ می باشد . لامپهای با ضریب تقویت بیش از ۳۰ به لامپهای با ضریب تقویت زیاد ، بین ۸ تا ۳۰ به لامپهای با ضریب تقویت متوسط ، و کمتر از ۸ به لامپهای با ضریب تقویت کم معروفند . داشتن ضریب تقویت یک تریود برای محاسبه بهره طبقات لازم است .
- پارامتری که در یک لامپ مهم است کندوکتانس متقابل mutual نیز نامیده میشود و با نشانه نمایش داده میشود . این پارامتر عبارتست از نسبت تغییر جریان صفحه به تغییر در ولتاژ شبکه که آن تغییر را سبب می گردد .
- ع این پارامتر را میتوان از تقسیم ضریب تقویت به مقاومت صفحه بدست آورده چون واحد کندوکتانس عکس مقدار مقاومت یعنی مهم (mho) می باشد ، واحد کندوکتانس انتقالی نیز همان مهم است .
- مقادیر عملی برای کندوکتانس انتقالی خیلی کوچک است و حدود میکرو مهم micromho می باشد . انواع لامپها دارای ترانس کندوکتانس هائی از چند صد تا چند هزار می باشند . هرچه ترانس کندوکتانس بیشتر باشد مقدار تقویت بیشتر خواهد بود .

تقویت —

AMPLIFICATION

- مشخص کردن لامپ توسط یک نوع منحنی بنام منحنی دینامیکی $\text{dynamic characteristic}$ بخوبی انجام می گیرد . چنین منحنی هائی با مداری که آنها را نتیجه میدهد در شکل ۷-۳ نشان داده شده است . برای بدست آوردن این منحنی ها مقدار ولتاژ صفحه ثابت نگه داشته میشود (در مقدار ولتاژ کار) و تفاوت



این منحنی‌ها و منحنی‌هایی شکل ۶-۳ اینست که یک مقاومت بعنوان بار بطور سری با صفحه لامپ در شکل ۷-۳ قرار گرفته است. بنابراین شکل ۷-۳ نشان میدهد که چطور جریان صفحه بر حسب ولتاژ شبکه در حالتیکه جریان از یک بار می‌گذرد و کار مفیدی انجام می‌گیرد تغییر می‌کند.

هر کدام از منحنی‌های شکل ۷-۳ برای یک مقدار مقاومت بار می‌باشد. وقتی مقاومت بار کوچک است (مثلاً ۵ کیلو اهم) تغییر صفحه با تغییر ولتاژ شبکه نسبتاً سریع تغییر می‌کند. چنانچه مقدار بار زیاد باشد (مثلاً ۱۰۰ کیلو اهم) تغییر جریان صفحه بازای همان تغییرات ولتاژ شبکه در مدار قبلی نسبتاً آهسته است و همچنین منحنی بسمت خط راست تمایل پیدا خواهد نمود.

شکل ۸-۳ همان مدار ۷-۳ است منحنی یک منبع سیگنال متناوب در مدار شبکه نیز قرار گرفته است. ولتاژ شبکه در مقدار ۵ ولت ثابت شده است و چنانچه از منحنی دیده می‌شود جریان صفحه بازای این مقدار ولتاژ صفحه برابر ۲ میلی‌آمپر است. چنانکه مشاهده میشود مقاومت بار مدار ۵۰ کیلو اهم می‌باشد و منحنی فوق برای این مقدار مقاومت بار رسم شده است.

هنگامیکه جریان متناوب در مدار وجود ندارد، افت ولتاژ در مقاومت بار برابر خواهد بود با:

$$\text{ولت} \quad 100 = 0.002 \times 50000$$

که بدین ترتیب ۳۰۰ ولت بین صفحه و کاتد باقی میماند.

وقتی یک سیگنال سینوسی با دامنه‌ای برابر ۲ ولت به مدار شبکه اعمال میشود (ولتاژ گرایش یا بایاس همانست که در مدار نشان داده شده) ولتاژ لحظه‌ای در شبکه بین ۳- ولت (برای لحظه‌ای که سیگنال در ماکزیمم مثبت خود است) و ۷- ولت (برای لحظه‌ای که سیگنال متناوب در ماکزیمم منفی خود می‌باشد) نوسان خواهد کرد. حداکثر جریان صفحه در لحظه‌ای است که ولتاژ شبکه ۳- می‌باشد. همچنانکه از منحنی معلوم است در این لحظه جریان ۲/۶۵ میلی‌آمپر است.

حداقل جریان صفحه در لحظه‌ای است که ولتاژ شبکه ۷- ولت می‌باشد که مقدارش نیز برابر ۱/۳۵ میلی‌آمپر (AM) است. بازای مقادیر مختلف ولتاژ شبکه بین دو مقدار فوق جریان صفحه نیز مقادیر بین دو مقدار فوق را اختیار خواهد نمود.

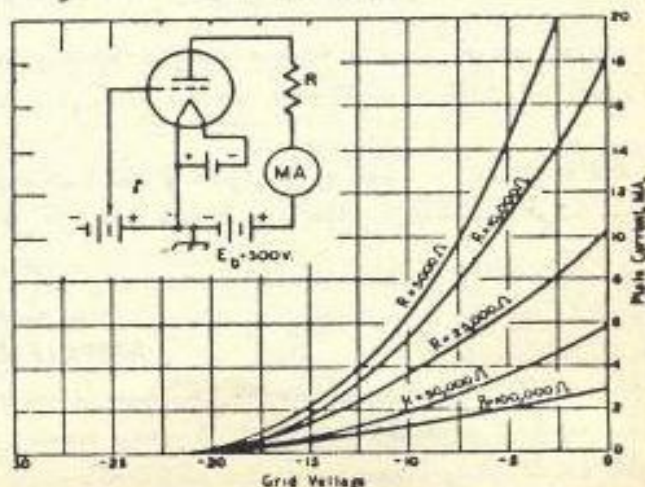
ولتاژ لحظه‌ای بین صفحه و کاتد لامپ نیز در شکل ۸-۳ آمده است. وقتی جریان صفحه حداکثر مقدارش را دارد، افت ولتاژ لحظه‌ای در مقاومت RP برابر است با:

$$\text{ولت} \quad 132.5 = 0.00265 \times 50000$$

و در حالتیکه جریان صفحه کمترین مقدار خود را دارد افت ولتاژ لحظه‌ای مقاومت بار برابر خواهد بود با:

$$\text{ولت} \quad 67.5 = 0.00135 \times 50000$$

ولتاژ واقعی بین صفحه و کاتد برابر است با اختلاف بین پتانسیل تغذیه صفحه، یعنی ۳۰۰ ولت، و افت ولتاژ در مقاومت بار. بنابراین اختلاف ولتاژ بین صفحه - کاتد برابر ۱۶۷/۵ ولت است در حداکثر مقدار جریان صفحه و برابر ۲۳۲/۵ ولت است در حداقل مقدار جریان صفحه.



شکل ۷-۳ - مشخصات دینامیکی یک تریود کوچک برای بارهای مختلف.

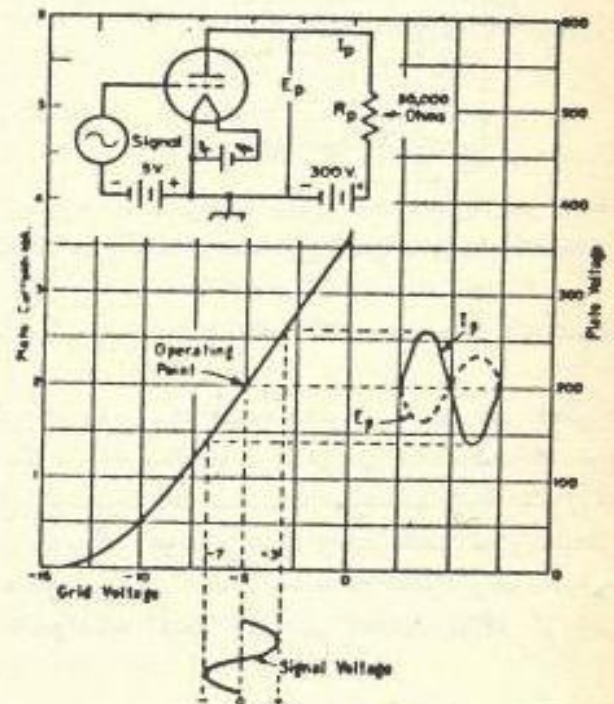
این ولتاژ متغیر یک ولتاژ متناوب (ac) می‌باشد که روی یک ولتاژ ثابت (پتانسیل کاتد - صفحه) ۲۰۰ ولت سوار شده است. ماکزیمم peak value این ولتاژ متناوب (ولتاژ خروجی = output voltage) برابر است با تفاضل بین ماکزیمم ما می‌نیم ولتاژ صفحه - کاتد و مقدار ولتاژ در حالت بدون سیگنال یعنی ۲۰۰ ولت. در مدار فوق این تفاضل برابر است با:

$$\text{ولت} \quad 232/5 - 200 = 32/5$$

$$\text{ولت} \quad 200 - 167/5 = 32/5$$

چون سیگنال ولتاژ شبکه دارای ماکزیممی برابر ۲ ولت است. نسبت تقویت ولتاژ $\text{voltage amplification ratio}$ این تقویت کننده برابر $32/5$ یا $16/25$ است. یعنی

ولتاژ خروجی حدوداً ۱۶ برابر ولتاژ ورودی است.



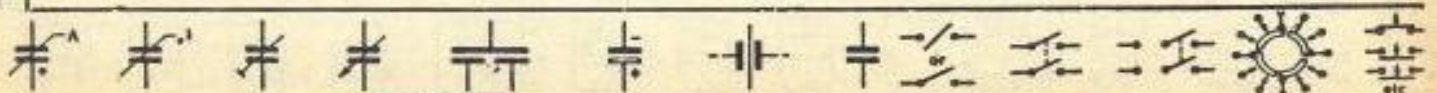
شکل ۸ - ۳ - عمل تقویت توسط لامپ تریود.

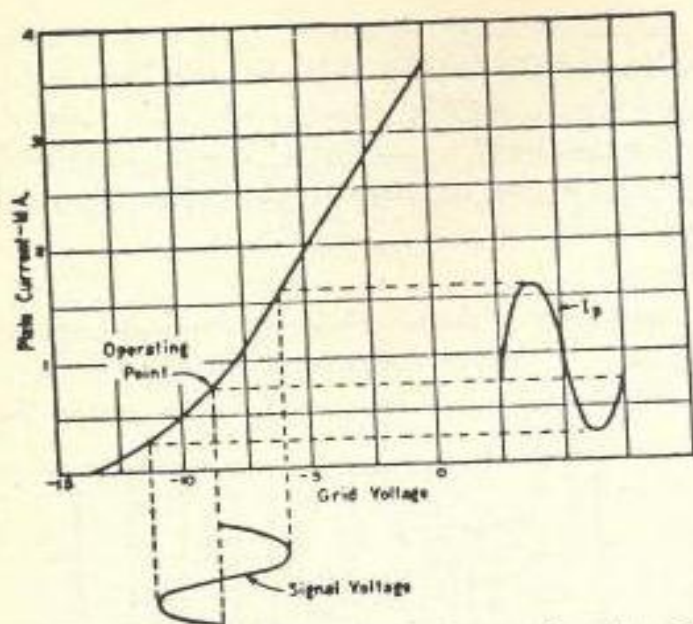
همچنانکه در شکل ۸ - ۳ نشان داده شد. مؤلفه متناوب ولتاژ صفحه (نسبت به حالت بدون سیگنال) در هنگامیکه ولتاژ شبکه در جهت مثبت میرود در جهت منفی نوسان خواهد نمود و بر عکس. این بدان معناست که مؤلفه متناوب ولتاژ صفحه (یعنی سیگنال تقویت شده) نسبت به سیگنال روی شبکه 180° درجه اختلاف فاز دارند. بعبارت دیگر سیگنال خروجی و ورودی 180° درجه نسبت به هم اختلاف فاز دارند.

- بایاس یا گرایش Bias

ولتاژ ثابت منفی شبکه (که گرایش شبکه نامیده میشود) برای منظور مهمی است (شکل ۸ - ۳) یک منظور مهم از عمل تقویت اینست که فرم موج خروجی بهمان صورت سیگنال ورودی (اعمال شده به شبکه) باشد. برای رسیدن به این منظور روی قسمت مستقیم منحنی لامپ باید یک نقطه بنام نقطه کار (Operation point) در نظر گرفت. منحنی باید در دو طرف نقطه کار تا حتی امکان مستقیم باشد. چنانچه سیگنال اعمال شده به شبکه در یک ناحیه غیر مستقیم منحنی نوسان داشته باشد سبب خواهد شد که شکل موج جریان صفحه (IP) به همان فرم سیگنال ورودی نباشد (به شکل ۹ - ۳ توجه کنید). در چنین حالتی گویند شکل موج معوج یا دیستورته distorted شده است.

لایل دیگر بر استفاده از ولتاژ منفی گرایش شبکه اینست که هر سیگنالی تا هنگامیکه ماکزیمم





شکل ۹-۲- اعوجاج هارمونیک که
در اثر انتخاب نقطه کار نامناسب
حاصل میشود. مشاهده میشود که
در سیگنال خروجی نیم سیکل پائینی
شبهه نیم سیکل بالایی نیست.

مثبت‌اش از این ولتاژ منفی ثابت روی شبکه روی شبکه تجاوز نکند. موجب جاری شدن جریان در شبکه نگردد. وقتی جریانی وجود نداشته باشد طبعاً قدرتی مصرف نمی‌گردد و بنابراین لامپ بدون اینکه توانی از منبع تغذیه بگیرد عمل تقویت را انجام خواهد داد.

بهر حال اگر پیک (ماکزیمم) مثبت سیگنال از مقدار گرایش منفی تجاوز کند، در مدتی که شبکه مثبت است جریان در مدار شبکه جاری خواهد شد.

اعوجاج (دیس‌تورشن) شکل موج خروجی که در اثر کار روی یک قسمت غیر مستقیم (غیر خطی) = non linear منحنی لامپ حاصل میشود سبب میگردد که یک موج سینوسی ساده به یک موج مختلط (کمپلکس) تبدیل شود. همچنانکه در قسمتهای قبلی توضیح داده شد یک موج مختلط را میتوان به یک فرکانس اصلی و یک سر هارمونیک تجزیه نمود. بعبارت دیگر اعوجاج منتج از غیر خطی بودن منحنی سبب تولید فرکانسهای هارمونیک یعنی فرکانسهای که در سیگنال اعمال شده به شبکه وجود ندارد می‌گردد در اکثر تقویت کننده‌ها اعوجاج هارمونیک ناخواسته است ولی در بعضی مواقع از این هارمونیکهای تولید شده استفاده می‌شود.

مدارهای خروجی تقویت کننده صوتی - Audio Amplifier Output Circuits

خروجی مفید یک تقویت کننده لامپی مؤلفه متناوب جریان یا ولتاژ صفحه می‌باشد و مؤلفه مستقیم یا آن مورد نیاز نیست بلکه این مؤلفه برای کار لامپ لازم است و چنانچه به طبقات بعدی اعمال گردد باعث اشکالاتی در کار آن طبقات می‌گردد. مدارهای طبقات آخر (خروجی) لامپی طوری ترتیب داده میشوند که مؤلفه متناوب (ac) به بار منتقل گردد و جلوی مؤلفه مستقیم سد شود.

در فرکانسهای صوتی سه نوع کوپلاژ معمول است که عبارتند از کوپلاژ مقاومتی (resistance coupling)، کوپلاژ اмпیدانسی (Impedance Coupling) و کوپلاژ یاترانسفورمر (Transformer Coupling). این سه نوع کوپلاژ در شکل ۱۰-۳ نشان داده شده است. در هر سه حالت خروجی به شبکه مدار تقویت کننده لامپی بعدی کوپله شده است، ولی در هر حال میتوان همین کوپلاژها را برای کوپلاژ به مدارهایی بغیر از لامپ نیز استفاده کرد.

در مدارهایی بطریق مقاومتی کوپله میشوند، ولتاژ متناوب بوجود آمده در دوسر مقاومت صفحه (یعنی ولتاژی که بین صفحه و کاتد لامپ وجود دارد) به یک مقاومت دیگری، R_g ، از طریق یک خازن بنام خازن کوپلاژ (Coupling Capacitor) اعمال می‌شود. این خازن جلوی ولتاژ مستقیم روی صفحه اولین لامپ را سد می‌کند (در اصطلاح می‌گویند بلوکه می‌کند) Blocked و نمی‌گذارد به شبکه

لامپ بعدی اعمال گردد. لامپ بعدی دارای گرایش منفی در شبکه می باشد. هیچ جریانی در مدار شبکه لامپ دوم، B ، وجود ندارد و بالطبع در مقاومت R_g هیچ افت ولتاژی نخواهیم داشت، به عبارت دیگر تمامی ولتاژ باتری (گرایش) به شبکه لامپ B اعمال می شود.

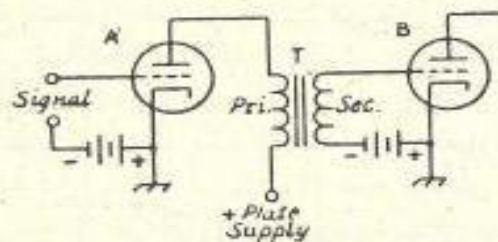
مقاومت شبکه، R_g ، $grid\ resistor$ معمولاً مقداری نسبتاً زیاد دارد (حدود 0.5 تا 2 مگا اهم). راکتانس خازن کوپلاژ C_c در مقایسه با مقاومت شبکه بایستی باندازه کافی کوچک باشد تا افت ولتاژ متناوب در خازن C_c در پائین ترین فرکانس مورد تقویت قابل صرف نظر باشد. اگر R_g حداقل 0.5 مگا اهم باشد یک خازن $1/1$ میکرو فاراد برای فرکانسهای صوتی کافی خواهد بود. از نظر جریان متناوب، چنانچه افت ولتاژ در خازن کوپلاژ قابل اغماض نمی باشد میتوان مقاومت صفحه r_p و مقاومت شبکه R_g را بطور موازی با هم در نظر گرفت ولی از نظر جریان مستقیم این دو مقاومت جدا از هم می باشند. مقاومت معادل دو مقاومت فوق بصورت یک بار برای لامپ خواهد بود. چنانچه مقاومت r_p تا حد امکان بزرگ باشد (که معمولاً همین هم هست) اثر آن بر بار حداقل ممکن میرسد بطوریکه میتوان فقط r_p را بعنوان بار در نظر گرفت.

در کوپلاژ بطریق امپدانسی بجای مقاومت در کوپلاژ قبلی یک اندوکتانس زیاد (چند صد هانری) بعنوان مقاومت صفحه در مدار می گیرد. مزیت استفاده از یک سیم پیچ نسبت به مقاومت اینست که سیم پیچ در فرکانسهای صوتی مقداری بیشتر دارد. بدین ترتیب با این سیم پیچ امپدانس بار برای جریان متناوب زیاد بوده و بالطبع لازم نیست ولتاژ منبع تغذیه زیاد باشد.

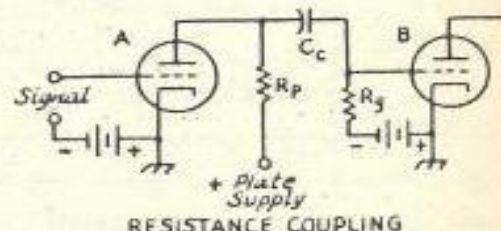
در تقویت کننده های با کوپلاژ ترانسفورمری، کوپلاژ دو طبقه توسط ترانسفورماتور صورت می گیرد بطوریکه اولیه ترانس به مدار صفحه لامپ و ثانویه آن به یک بار (در مدار شکل ۱۰ - ۳ بار ترانس یک تقویت کننده است) متصل می گردد. چون در ترانسفورمرها هیچ ارتباط مستقیمی بین دو سیم پیچ وجود ندارد، پس ولتاژ صفحه لامپ از شبکه لامپ 11 ایزوله می باشد. کوپلاژ ترانسفورمری همان مزیت کوپلاژ امپدانسی را در مورد تلفات ولتاژ 10% حاصل از منبع صفحه قرار دارد. همچنین، اگر تعداد بورهای ثانویه بیشتر از اولیه باشد، ولتاژ خروجی به نسبت دورها افزایش می یابد.

کوپلاژ مقاومتی ساده، ارزان است و در تمام باند فرکانسی مقدار تقویت یکسان می باشد. کوپلاژ امپدانسی در شرایط یکسان با کوپلاژ مقاومتی (لامپ، منبع تغذیه) مقدار بیشتری بهره نسبت به کوپلاژ مقاومتی میدهد. ولی این نوع کوپلاژ در یک باند فرکانسی پاسخ مناسبی نمیدهد و همیشه در یک باند فرکانسی یک ماکزیمم بهره وجود خواهد داشت، بعبارت دیگر در نوع کوپلاژ مقدار بهره در یک باند فرکانسی یکنواخت نمی باشد.

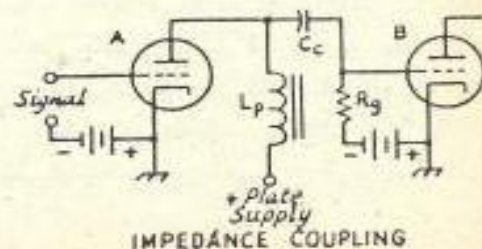
در کوپلاژ ترانسفورمری خوب، بهره در یک باند فرکانسی مثلاً باند صوتی ثابت می ماند. از طرف دیگر کوپلاژ ترانسفورماتوری در تقویت کننده های ولتاژ برای ضریب تقویت های حدود 20 و کمتر ایده آل



TRANSFORMER COUPLING

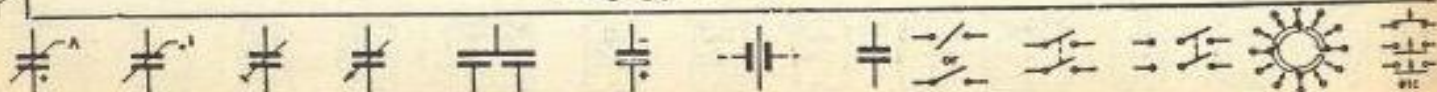


RESISTANCE COUPLING



IMPEDANCE COUPLING

شکل ۱۰ - ۳ - سه نوع کوپلاژ که در فرکانسهای رادیویی معمول است. اینها عبارتند از: کوپلاژ مقاومتی، کوپلاژ امپدانسی و کوپلاژ ترانسفورمری.



است و این بدان دلیل است که اندوکتانس سیم پیچ اولیه یک ترانسفورمر عملی نمی تواند باندازه کافی بزرگ باشد تا بتواند با لامپ که مقاومت صفحه اش بالاست کار کند.

Class A Amplifiers

- تقویت کننده های کلاس A

تقویت کننده ای که در آن بهره ولتاژ در درجه اول اهمیت قرار دارد تقویت کننده ولتاژ Voltage Amplifier نامیده میشود. بهره ولتاژ یک تقویت را میتوان ماکزیمم کرد و آن بشرطی است که مقاومت یا امپدانس بار در مقایسه با مقاومت صفحه تا حد امکان زیاد باشد. در چنین حالتی قسمت اعظم ولتاژ تولید شد، در دو سر بار ظاهر می گردد یعنی افت ولتاژ در مدار حداقل خواهد بود.

تقویت کننده های ولتاژ در یک گروه خاص بنام تقویت کننده های کلاس Class A Amplifiers جای می گیرند. یک تقویت کننده کلاس A آنست که طوری عمل می کند که شکل موج ولتاژ خروجی درست شبیه سیگنال ولتاژ اعمال شده به شبکه (سیگنال ورودی) می باشد. اگر یک تقویت کننده کلاس A طوری گرایش داده شود که شبکه اش همیشه دارای ولتاژ منفی باشد حتی در صورتیکه بزرگترین سیگنال ممکن به شبکه اش اعمال گردد، بنام تقویت کننده کلاس A نامیده میشود.

تقویت کننده های ولتاژ همیشه از نوع تقویت کننده های کلاس A می باشند.

Power Amplifier

- تقویت کننده های قدرت

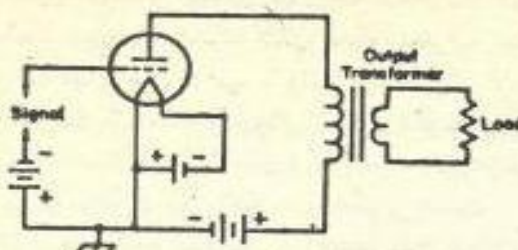
منظور اصلی از عمل تقویت آنست که سیگنال تقویت شده بتواند کار انجام دهد. برای مثال، یک تقویت کننده صوتی معمولاً یک بلندگو را بکار می اندازد و این بلندگو بنوبه خود تولید امواج صوتی می کند. هرچه مقدار قدرت صوتی اعمال شده به بلندگو بیشتر باشد صدای تولید شده توسط آن بلندتر خواهد بود.

شکل ۱۱-۳ یک تقویت کننده قدرت (power Amplifier) را نشان میدهد. این مدار یک تقویت کننده با کوپلاژ ترانسفورمری است که ثانویه ترانس به بلندگو متصل شده است. اگر چه بار متصل شده به ترانس یک مقاومت است ولی این بار می تواند هر وسیله دیگری مثل بلندگو باشد که قدرت را به کار مفیدی تبدیل نماید. هر لامپ قدرتی برای اینکه عمل خود را بخوبی انجام دهد باید، بار معینی به آن بسته شود که مقدار آن حدود چند هزار اهم است.

مقدار مقاومت بار واقعی بندرت همان مقدار صحیح مقاومت برای تطبیق (matching) این مقدار مقاومت است و بنابراین نسبت دورهای ترانسفورمر را طوری انتخاب می کنند تا مقاومت را به اولیه منعکس نماید. ترانسفورمر بکار رفته بسته به اینکه مقاومت واقعی بیشتر یا کمتر از باری که لامپ لازم دارد باشد ممکن است افزایش Step-up و یا کاهش Step-down باشد.

نسبت تقویت قدرت یک تقویت کننده عبارتست از نسبت قدرت خروجی بدست آمده از مدار صفحه لامپ به قدرت مصرف شده از منبع جریان متناوب توسط مدار شبکه در تقویت کننده های کلاس A. هیچ تلفاتی در مدار شبکه وجود ندارد و بنابراین چنین تقویت کننده ای دارای نسبت تقویت قدرت بینهایت زیاد است. در هر حال یک تقویت کننده کلاس A کاملاً می تواند با جریانی که حداقل در یک قسمت از سیکل در مدار شبکه جاری می گردد کار کند. در چنین حالتی قدرت در مدار شبکه مصرف می گردد و نسبت تقویت قدرت بینهایت نیست. لامپی که بدین صورت کار می کند بنام تقویت کننده کلاس A2 شناخته شده است. برای راندن (drive) یک تقویت کننده کلاس A2 به یک تقویت کننده احتیاج است، زیرا یک تقویت کننده ولتاژ نمی تواند بدون اعوجاج فرم موج قدرت تحویل دهد.

پارامتر دیگری که در رابطه با تقویت کننده های تقویت از آن نامبرده می شود «حساسیت قدرت»



شکل ۱۱-۳- مدار ساده یک تقویت کننده قدرت .

power sensitivity می باشد. این پارامتر برای یک تقویت کننده کلاس A عبارتست از نسبت قدرت خروجی به ولتاژ سیگنال ورودی که سبب آن قدرت می گردد. این پارامتر را میتوان چنین تعریف کرد: نسبت قدرت خروجی (صفحه) به قدرت ورودی (شبکه). مقدار توانی که از مدار صفحه لامپ گرفته میشود همیشه بیشتر از مقدار قدرتی است که مصرف می گردد. همانگونه که قبلاً توضیح داده شد، مقدار اختلاف بین قدرت ورودی و خروجی بصورت حرارت در صفحه تلف می گردد. نسبت توان مفید خروجی به ورودی dc صفحه یازده صفحه plate efficiency نامیده میشود. هرچه بازده صفحه بیشتر باشد مقدار توانی که میتوان از لامپ گرفت بیشتر می باشد.

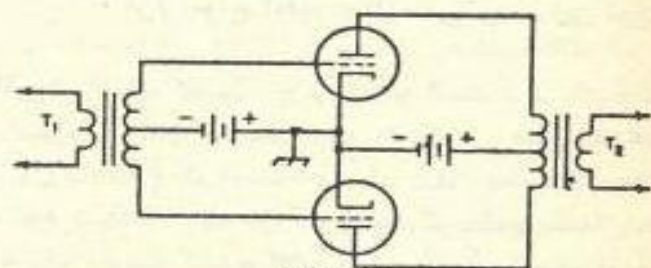
Parallel and Push-Pull

- مدار پوش - پول (کنش - واکنش) و موازی -

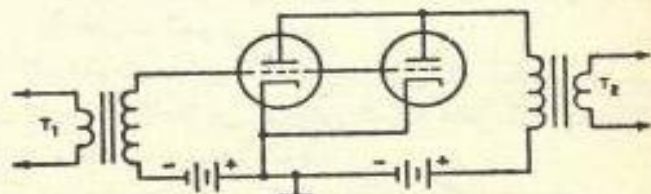
وقتی به قدرت خروجی بیشتر از قدرت یک لامپ احتیاج است دو یا تعداد بیشتری لامپ را بطور موازی (parallel) قرار داده میشوند. در این حالت، المانهای مشابه همه لامپها به هم بسته میشوند. این روش در شکل ۱۲-۳ در مورد یک تقویت کننده با کوپلاژ ترانسفورمری نشان داده شده است. قدرت خروجی به تعداد لامپهای بکار رفته بستگی دارد و در ضمن سیگنال اعمال شده به شبکههای لامپها (ولتاژ تحریک) برای همه لامپها یکسان است. قدرتی که برای یک تعداد لامپها که بطور موازی بسته شده اند لازم است بستگی به تعداد لامپها دارد.

با اتصال دو لامپ بطریق پوش - پول (push-pull) میتوان قدرت خروجی را افزایش داد. در این حالت شبکهها و صفحههای دو لامپ به دو انتهای یک مدار متعادل وصل می گردند (شکل ۱۲-۳). در اینجا یک نکته را تذکر میدهم و آن اینست که دو انتهای سیمپیچ ثانویه یک ترانسفورمر نسبت به سر وسط آن در فاز متقابل هم هستند. با توجه به نکته فوق و با توجه به شکل ۱۲-۳ مدار پوش - پول ملاحظه میشود که سیگنال اعمال شده به دو شبکه (دو انتهای ترانسفورمر) در هر لحظه نسبت

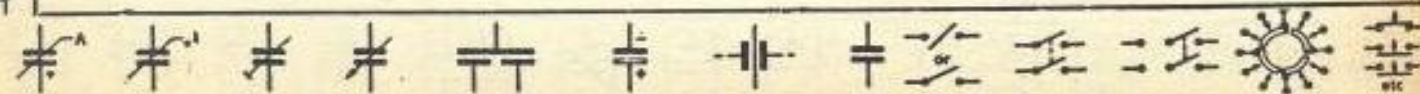
کننده موازی و پوش - پول .
۱۲-۳- مدارهای تقویت



PUSH-PULL



PARALLEL



به کاتد لامپها در فاز متقابل (پلاریته مخالف) هم هستند. بنابراین در همان لحظه‌ای که شبکه یک لامپ بطرف مثبت می‌رود، شبکه لامپ دیگر بطرف منفی می‌رود. بدین ترتیب در یک تقویت کننده پوش - پول ولتاژها و المانهای یک لامپ با ولتاژ و المانهای لامپ دیگر در فاز متقابل هستند.

در تقویت کننده‌های پوش - پول اعوجاج حاصل از هارمونیک‌های زوج (نوم، چهارم و ...) در مدار صفحه وجود ندارد. این بدان معناست که در مقایسه دو مدار موازی پوش - پول با یک قدرت ورودی اعوجاج مدار پوش - پول کمتر از دیگری است.

ولتاژ تحریک اندازه‌گیری شده بین دو شبکه بایستی دو برابر ولتاژ تحریک مورد نیاز یک لامپ باشد. اگر شبکه‌ها توان مصرف کنند، قدرت راندن driving تقویت کننده پوش - پول دو برابر قدرتی است که برای تقویت یک لامپی مصرف می‌شود.

تقویت کننده‌های آبشاری - Cascade Amplifiers

میتوان خروجی تقویت شده در یک تقویت کننده را میتوان به ورودی یک تقویت کننده دیگر داد و باز خروجی این تقویت کننده دوم را بعنوان ورودی برای یک تقویت کننده سوم استفاده کرد و همینطور برای بعدیها. هر تقویت کننده یک طبقه (Stage) نامیده میشود و فرم بهم بستن طبقات یعنی پشت سر هم بستن آنها بنام بهم بستن بطریقه آبشاری (Cascade) می‌باشد.

تقویت کننده‌های کلاس B - Class B Amplifiers

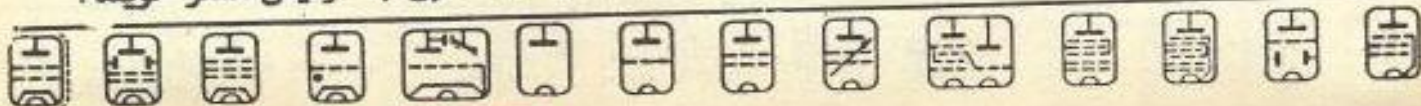
شکل ۱۳ - ۳ مداری را نشان میدهد که در آن دو لامپ بفرم پوش - پول بهم بسته شده‌اند. اگر گرایش شبکه طوری باشد (در حالت بدون سیگنال) که در وقتی که جریان صفحه قطع می‌باشد سیگنال بتواند سبب تولید جریانی در هر لامپ گردد و این فقط وقتی باشد که سیگنال مثبت نسبت به کاتد به آن لامپ اعمال گردد. چون سیگنال اعمال شده به دو شبکه لامپها توسط مدار متعادل صورت می‌گیرد، سیگنال روی شبکه‌ها دو لامپ همیشه در پلاریته مخالف یکدیگر می‌باشند و بالطبع جریان صفحه در هر لحظه فقط در یک لامپ جاری میشود.

منحنی‌های شکل ۱۳ - ۳ عمل چنین تقویت کننده‌ای را نشان میدهد. جریان صفحه لامپ B و plate current و جریان صفحه لامپ A در منحنی دوم رسم نوشته شده است. این دو جریان در دو جهت مخالف هم هستند. بنابراین هر نیمه اولیه ترانسفورمر خروجی متناوباً یک نیم سیکل ولتاژ ثانویه القاء می‌کند. در ثانویه ترانسفورمر T2، فرم امواج اولیه دوباره می‌گردد. این نوع عمل بنام تقویت در کلاس B نامیده میشود.

بازده تقویت کننده کلاس B نسبت به تقویت کننده کلاس A بیشتر است. جریان مستقیم صفحه یک تقویت کننده کلاس B متناسب است با ولتاژ سیگنال روی شبکه‌ها، بطوریکه قدرت ورودی برای سیگنالهای کوچک (small signals) کم است. قدرت dc صفحه که به یک تقویت کننده کلاس A اعمال شده برای همه نوع سیگنال (چه بزرگ و چه کوچک) یکسان است بنابراین ماکزیمم ورودی dc صفحه که می‌توان به یک تقویت کننده کلاس A اعمال کرد معادل است یا تلفات مجاز صفحه لامپ یا لامپها. تقویت کننده دو لامپی کلاس B میتواند حدوداً ۱۲ برابر قدرت صوتی حاصل از یک تقویت کننده دو لامپی کلاس A قدرت تحویل میدهد.

یک تقویت کننده کلاس B معمولاً در حداکثر قدرت ممکن کار میکند. این کار احتیاج به جریان صفحه زیاد دارد و برای نیل به آنها ولتاژ سیگنال بایستی کاملاً بر گرایش شبکه فائق آید (حداقل بر قسمتی از یک سیکل) بطوریکه جریان در شبکه جاری و قدرت مصرف شود.

برای کلاس B لامپهای بخصوصی طرح گردیده است که می‌توانند بدون گرایش ثابت یا نوع دیگر گرایش شبکه zero-bias tube کار کنند که به آنها لامپی با گرایش صفر گویند.



ضریب تقویت خیلی بالاست بطوریکه جریان صفحه در عدم وجود سیگنال ناچیز است. بواسطه اینکه گرایش ثابتی وجود ندارد، با اعمال سیگنال شبکهها بفوریت شروع به کشیدن جریان می کنند بطوریکه جریان شبکه بطور پیوسته در یک سیکل ادامه می یابد.

تقویت کننده های کلاس B در فرکانسهای رادیویی بنام تقویت کننده های خطی Linear Amplifiers مشهورند. زیرا آنها طوری تنظیم می شوند که در آنها قدرت خروجی متناسب با مجذور ولتاژ تحریک RF خواهد بود. با اینکار میتوان سیگنال فرکانس رادیویی مدوله شده را میتوان بدون اعوجاج تقویت نمود. در این نوع طرز عمل به پوش - پول احتیاجی نیست و یک لامپ تنها بخوبی میتواند انجام وظیفه نماید.

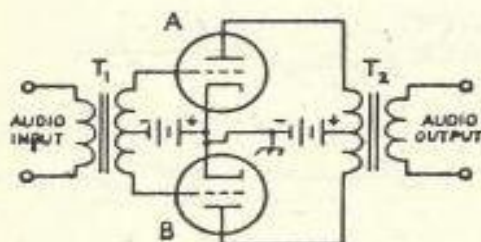
تقویت کننده های کلاس AB - Class AB Amplifiers

تقویت کننده صوتی کلاس AB عبارتست از یک تقویت کننده پوش - پول با گرایشی بالاتر از حد معمول برای یک تقویت کننده کلاس A، ولی کمتر از گرایش قطع cut-off که برای کلاس A احتیاج است. در سیگنالهای با دامنه کوچک این لامپها همانند یک تقویت کننده کلاس کار می کنند، و مقدار جریان صفحه در صورت وجود یا عدم سیگنال یکی است. در سیگنالهای با دامنه زیادتیر، جریان صفحه یک لامپ در طول قسمتی از سیکل منفی سیگنال اعمال شده به شبکه اش قطع است و جریان صفحه لامپ دیگر همراه با سیگنال بالا می رود.

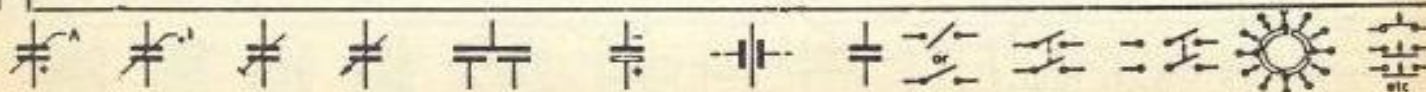
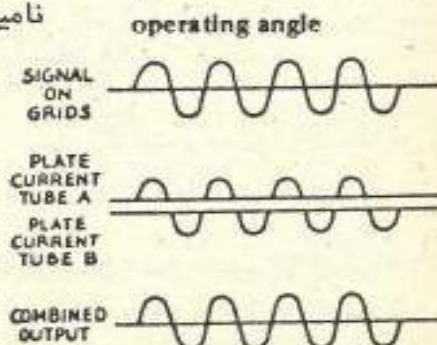
در یک تقویت کننده کلاس AB که بطور دقیق طراحی شده باشد مقدار اعوجاج در حد یک تقویت کننده کلاس A کم است ولی بازده و توان خروجی آن بطور قابل ملاحظه ای بیشتر از یک تقویت کننده کلاس A می باشد. یک تقویت کننده کلاس AB می تواند با یا بدون تحریک شبکهها در ناحیه مثبت کار کند. یک تقویت کننده کلاس AB1 آنست که هیچگاه شبکهها نسبت به کاتد مثبت نخواهد بود، بنابراین هیچ توان تحریک احتیاج ندارد. تقویت کننده کلاس AB2 آنست که جریان شبکه در یک قسمتی از سیکل جاری می گردد (وقتی سیگنال اعمال شده دامنه اش زیاد باشد)، این تقویت کننده احتیاج به مقدار کمی قدرت تحریک دارند. تقویت کننده کلاس AB2 قدرت بیشتری تحویل میدهد (با استفاده از لامپهای یکسان) ولی تقویت کننده کلاس AB1 مشکل طرح یک محرک (درایور) که بدون اعوجاج قدرت تحویل بدهد ندارد.

زاویه عمل - Operating Angle

با مطالعه بیشتر در مدار شکل ۱۳ - ۳ ملاحظه می شود که هر کدام از دو لامپ فقط در یک نیم سیکل سیگنال ac فعال و در نیم سیکل دیگر بی کار هستند. راحتتر است که مدت زمانی که جریان صفحه جاری می گردد بر حسب درجه بیان گردد. بنابراین در شکل ۱۳ - ۳ باندازه یک نیم سیکل یعنی ۱۸۰ درجه فعال هستند. این تعداد درجه که جریان صفحه در مدار جاری است به زاویه عمل نامیده میشود.



شکل ۱۳ - ۳ - عمل تقویت در کلاس B



با توجه به مطالب گفته شده در بالا میتوان گفت که تقویت کننده کلاس A زاویه عملش ۳۶۰ درجه است زیرا در تمام طول یک سیکل جریان صفحه در مدار وجود دارد. در کلاس AB زاویه عمل بین ۱۸۰ و ۳۶۰ درجه است (در هر لامپ) که مقدار دقیق آن بستگی شرایط بخصوصی است که انتخاب می گردد. هر چه مقدار گرایش منفی شبکه بیشتر باشد زاویه عمل کوچکتر می گردد.

زاویه عمل کوچکتر از ۱۸۰ درجه مشخص کننده مقدار قابل ملاحظه اعوجاج می باشد، زیرا برای لامپ هیچ راهی برای تولید دوباره حتی یک نیم سیکل سیگنال روی شبکه اش وجود ندارد. با بکار بردن دو لامپ بصورت پوش - پول push-pull همانند شکل ۱۳ - ۳ دو نیم سیکل دیستورته (معوج) حاصل می گردد. بنابراین در مواقعی که خروجی بدون اعوجاج لازم است نمیتوان از زاویه عمل کمتر از ۱۸۰ درجه استفاده نمود.

تقویت کننده های کلاس C - Class C Amplifiers

در تقویت کننده های قدرت فرکانس رادیویی اعوجاج شکل موج RF اهمیت ندارد. بدایلی که در بخشهای بعدی خواهد آمد، یک تقویت کننده فرکانس رادیویی بایستی با مدارهای تنظیم شده Tuned Circuits همراه باشد و قابلیت انتخاب چنین مدارهایی هارمونیک های حاصل از اعوجاج را فیلتر (حذف) می کنند.

بنابراین یک تقویت کننده فرکانس رادیویی قدرت میتواند با زاویه عملی کمتر از ۱۸۰ درجه بکار رود. این نوع تقویت کننده در کلاس C کار می کند. مزیت این نوع تقویت کننده اینست که بازده صفحه افزایش می یابد، زیرا تلف در نفحه متناسب است با مدت زمانی که جریان صفحه برقرار است و این زمان با کاهش زاویه عمل کم میشود.

مناسب ترین مقدار برای مقاومت بار بسته به نوع لامپ میتواند حدود ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ اهم باشد. برای تبدیل مقاومت بار واقعی به مقدار مورد نیاز لامپ میتوان از مدارهای تبدیل امپدانس که قبلا از آنها یاد شد استفاده نمود.

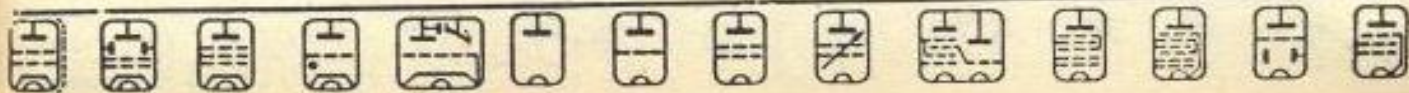
شبکه بنحو احسن به ناحیه مثبت رانده میشود، بطوریکه جریان شبکه برقرار شده و قدرت در مدار شبکه مصرف می گردد. هر چه زاویه عمل کوچکتر باشد ولتاژ تحریک بیشتر و قدرت تحریک شبکه زیادتیری لازم است. بهترین صورت ممکن بین قدرت تحریک، بازده صفحه، قدرت خروجی معمولا وقتی نتیجه میشود که حداقل ولتاژ صفحه (در ماکزیمم سیکل تحریک، در حالیکه جریان صفحه به بیشترین مقدار خود میرسد) برابر با ماکزیمم مثبت ولتاژ شبکه باشد. تحت این شرایط زاویه عمل معمولا بین ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه است و بازده صفحه ۶۰ تا ۸۰ درصد خواهد بود. چنانچه قدرت تحریک و گرایش شبکه بیشتر اگر میتوان بازده بیشتری نیز گرفت.

با تنظیم و طرح دقیق میتوان تقویت کننده کلاس C را وادار کرد که طوری عمل کند که قدرت ورودی و خروجی متناسب با مجذور ولتاژ اعمال شده به صفحه باشد. وقتی تقویت کننده ای برای رادیو تلفنی و نوع plate modulated باشد، مطلب فوق باید مد نظر قرار گیرد. این موضوع در قسمت مدولاسیون دامنه نیز اشاره شد.

فیدبک (FEEDBACK) یا تغذیه برگشت

میتوان قسمتی از انرژی تقویت شده را از مدار صفحه تقویت کننده گرفت و به مدار شبکه آن وارد کرد. وقتی چنین کاری انجام شود گوینده در تقویت کننده تغذیه برگشت Feedback وجود دارد.

هرگاه ولتاژی که به مدار شبکه اعمال میشود ۱۸۰ درجه با سیگنال ولتاژ اعمال شده (ورودی) اختلاف فاز داشته باشد نوع فیدبک را منفی negative گوینو. بعبارت دیگر ولتاژ برگشت شده از سیگنال ورودی کسر شده و تفاضل آنها به مدار اعمال می گردد.



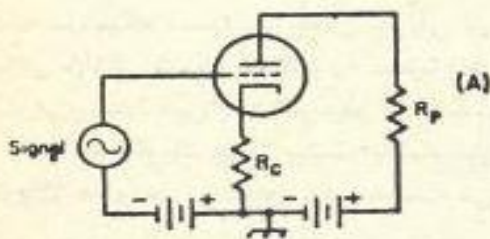
اگر ولتاژ برگشت شده با سیگنال اعمال شده به مدار شبکه هم فاز inphase باشد فیدبک را مثبت (positive) یا ريجنراتيو regenerative گویند. فیدبک منفی را degenerative نیز می گویند.

- فیدبک منفی Negative Feedback

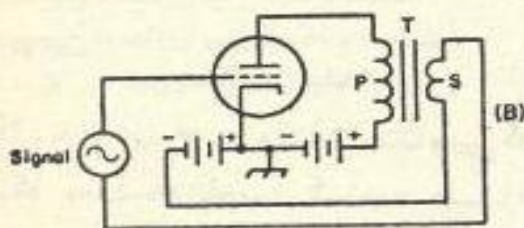
در فیدبک منفی ولتاژی که برگشت داده میشود با ولتاژ ورودی مخالفت می کند. با این عمل دامنه ولتاژی که بین شبکه و کاتد اعمال میشود کاهش می یابد و بالطبع با فیدبک منفی از مقدار تقویت ولتاژ کاسته میشود. یعنی برای رسیدن به همان ولتاژ خروجی احتیاج به ولتاژ تحریک بیشتری است. هر چه مقدار فیدبک منفی بیشتر گردد استقلال عمل تقویت نیز بیشتر می گردد و دیگر به مشخصات لامپ و شرایط مدار بستگی نخواهد داشت. فیدبک منفی باعث یکنواخت شدن پاسخ فرکانسی می گردد، یعنی مقدار تقویت در تمام باند فرکانسی تقویت کننده یکسان می شود. در چنین موقعی گویند پاسخ فرکانسی مدار فلت (Flat) است.

همچنین هر اعوجاجی که در مدار تولید میشود رو به کاهش میرود. بنابراین فیدبک منفی باعث میشود که تقویت کننده عاری از اعوجاج شود. این مزایا وقتی قابل اهمیت هستند که بهره ولتاژ تقویت یابنده کافی باشد.

در مدار نشان داده شده در شکل ۱۴-۳ (بالائی) مقاومت RC بطور سری با مقاومت عادی صفحه قرار گرفته (RP) و بنابراین جزئی از بار لامپ محسوب می گردد. بدین ترتیب قسمتی از ولتاژ خروجی در دو سر RC ظاهر میشود. RC همچنین بطور سری با مدار شبکه قرار گرفته و بالطبع این مقدار ولتاژ که در دو سر آن ظاهر میشود سری با ولتاژ ورودی (سیگنال) قرار می گیرد ولتاژ خروجی دو سر RC با سیگنال ورودی در فاز مخالف باشد که بدین ترتیب ولتاژ متناوب مؤثر بین شبکه و کاتد معادل است با تفاضل بین این دو ولتاژ. مداری که در شکل ۱۴-۳ (پائین) مشاهده میشود می تواند هم فیدبک مثبت و یا منفی داشته باشد. ثانویه ترانسفورمر به مدار شبکه متصل است و مقداری از ولتاژ خروجی را به شبکه میدهد. با معکوس کردن دو سر سیم پیچ ثانویه ترانس (به هر دو را با هم و در یک زمان) فاز ولتاژ اعمال شده به شبکه معکوس می گردد، بدین ترتیب میتوان هم فیزیک منفی و هم فیدبک مثبت در مدار ایجاد نمود.

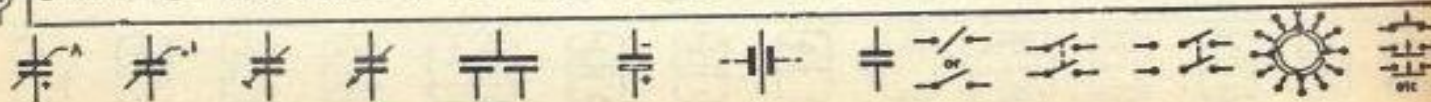


شکل ۱۴-۳ - مدارهای ساده برای ایجاد فیدبک.



- فیدبک مثبت Positive Feedback

فیدبک مثبت مقدار تقویت را افزایش میدهد زیرا ولتاژ برگشتی به ولتاژ ورودی (اصلی) به مدار



افزافه می گردد و نتیجه آن خواهد شد که ولتاژ مؤثر به مدار بیشتر از ولتاژ سیگنال می باشد و بالطبع ولتاژ خروجی نیز افزایش خواهد یافت. فیدبک مثبت باعث می گردد که مقدار تقویت در یک فرکانس خاص (این فرکانس بستگی به فرم مدار دارد) بیشترین مقدار را داشته باشد و مقدار اعوجاج هارمونیک نیز بیشتر گردد. اگر مقدار کافی انرژی برگشت داده شود باعث خواهد شد که مدار به نوسان *oscillation* بیفتد، که در این حالت انرژی تولید شده در یک فرکانس جمع می گردد. در چنین حالتی تمامی سیگنال روی شبکه از مدار صفحه خواهد بود یعنی مدار دیگر به ورودی خارجی احتیاجی ندارد زیرا هر کجروی (عدم تنظیم) در جریان صفحه (که همیشه این کجروی وجود دارد) تقویت شده و امکان نوسان فراهم می گردد.

فیدبک مثبت کاربردهائی دارد از جمله در نوسان سازها و برای تقویت یک فرکانس خاص *selective amplification* چه در فرکانسهای رادیویی چه در فرکانسهای صوتی. همیشه فیدبک مثبت را، در غیر از نوسان سازها، در حدی نزدیک شروع به نوسان مدار نگه میدارند.

– خازنهای داخلی لامپها (بین الکترودی).

INTERELECTRODE CAPACITANCES

هر دو المان در یک لامپ یک خازن مسطح تشکیل میدهد. در یک لامپ سه قطبی سه خازن از نوع فوق وجود دارد. این سه خازن عبارتند از خازن بین شبکه – کاتد، شبکه – صفحه، صفحه – کاتد. مقدار این خازنها خیلی کوچک می باشد و حداکثر چند پیکوفاراد است ولی اغلب اثر محسوسی روی عمل یک تقویت کننده دارند.

– خازن ورودی –

Input Capacitance

قبلا اشاره شد که در مورد یک تقویت کننده لامپی که دارای بار مقاومتی است، ولتاژ متناوب صفحه با ولتاژ متناوب شبکه ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد (کاتد لامپ مینا گرفته میشود). این دو ولتاژ هم فاز با هم در مدار از صفحه به شبکه جریان می یابد (شکل ۱۵ – ۳). این بدان معناست که مجموع این دو ولتاژ بین شبکه و صفحه یعنی بین خازن شبکه – صفحه لامپ واقع می گردد.

در نتیجه یک جریان خازنی که دامنه اش متناسب با مجموع ولتاژهای صفحه و شبکه و خازن صفحه – شبکه است در مدار جریان می یابد. منبع سیگنال ورودی بایستی این مقدار جریان و بعلاوه جریان خازنی شبکه – کاتد را محور نماید. بنابراین منبع سیگنال خازنی که بزرگتر از خازن شبکه کاتد است می بینید. این بنام اثر میلر *Miller Effect* مشهور است.

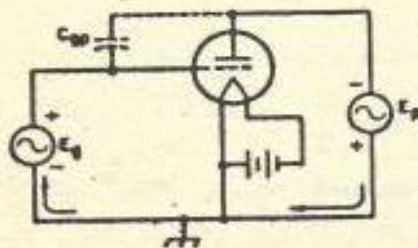
هر چه تقویت ولتاژ بیشتر باشد خازن ورودی مؤثر بزرگتر می گردد. خازن ورودی یک تقویت کننده با کوپلاژ مقاومتی از فرمول زیر بدست می آید.

$$C_{input} = C_{gk} + C_{gp} (A + 1)$$

C_{gk} = خازن بین کاتد و شبکه.

C_{gp} = خازن بین شبکه و صفحه.

A = ضریب تقویت ولتاژ.



شکل ۱۵ – ۳ – ولتاژ متناوبی که بین شبکه و صفحه تقویت کننده ظاهر میشود برابر است با مجموع سیگنال ولتاژ (ورودی) و ولتاژ خروجی است. بهاریمت نشان داده شده لحظه ای است.

وقتی ضریب تقویت ولتاژ بزرگ باشد، بدون توجه به مقدار خازنهای داخلی لامپ، مقدار خازن ورودی می‌تواند بزرگ و حدود چند صد پیکوفاراد باشد.

Output Capacitance

- خازن خروجی -

مؤلفه اصلی در مقدار خازن خروجی یک تقویت کننده لامپی عبارتست از مقدار واقعی خازن صفحه به کاتد لامپ. خازن خروجی معمولاً در تقویت کننده‌های صوتی مد نظر قرار نمی‌گیرد ولی در فرکانسهای رادیویی قابل توجه میشوند.

Tube Capacitance at RF

ظرفیت خازنی لامپ در فرکانسهای رادیویی -

در فرکانسهای رادیویی راکتانس خازنهای داخلی لامپ به مقدار خیلی کوچک میرسند بعنوان مثال یک تقویت کننده با کوپلاژ مقاومتی در فرکانس رادیویی دارای تقویت کم می‌باشد زیرا راکتانس خازنهای داخلی لامپ آنقدر کوچک است که عملاً ورودی و خروجی را اتصال کوتاه short-circuit می‌کنند و لامپ دیگر قادر به عمل تقویت نخواهد بود. راه غلبه بر این مشکل استفاده از مدارهای تنظیم شده tuned برای شبکه و صفحه می‌باشد، که بدینترتیب خازنهای لامپ جزئی از خازنهای مدار تنظیم شده می‌گردد. با این روش مدار می‌تواند امپدانس مقاومتی زیاد که برای عمل تقویت قانع کننده باشد داشته باشد.

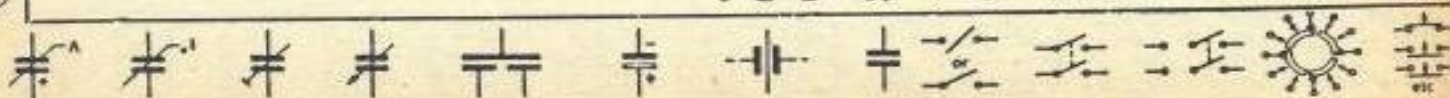
مقدار خازن بین شبکه و صفحه در فرکانسهای رادیویی قابل اهمیت می‌شود زیرا بخاطر اینکه راکتانس آن در این فرکانسها ناچیز است می‌تواند مسیری برای تغذیه برگشت انرژی از صفحه به شبکه ایجاد نماید. بدینترتیب ممکن است این مقدار انرژی برگشتی دارای دامنه کافی و فاز صحیح باشد تا بتواند مدار را به نوسان بیاورد که در اینصورت مدار بعنوان یک تقویت کننده کارائی نخواهد داشت. مدارهای خنثی کننده بخصوصی برای جلوگیری از اعمال فیدبک، برای مصارف فوق، وجود دارد ولی بطور کلی آنها در گیرنده‌های رادیویی استفاده عملی و قانع کننده‌ای ندارند، البته در فرستنده‌ها از آنها استفاده می‌شود.

* لامپهای با شبکه پرده‌ای *

SCREEN-GRID TUBES

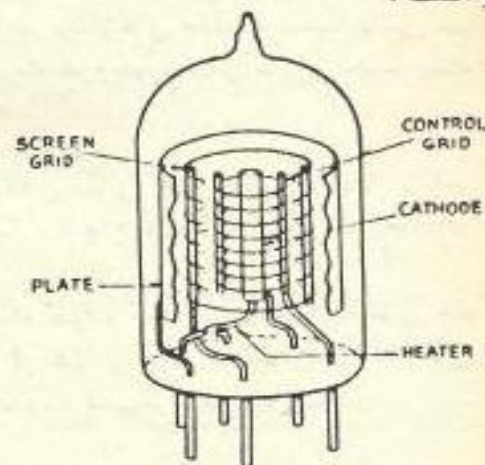
چنانچه بین شبکه کنترل و صفحه یک شبکه دیگری قرار داده شود (شکل ۱۶ - ۳) مقدار خازن شبکه - صفحه کاهش خواهد یافت. شبکه دوم بنام شبکه پرده‌ای screen-grid نامیده میشود و مانند یک حفاظ (شیلد) الکتروستاتیک عمل می‌کند و از کوپلاژ خازنی بین شبکه کنترل و صفحه جلوگیری می‌کند. این شبکه دوم بفرم یک شبکه یا توری ساخته میشود بطوریکه الکترونها می‌توانند از آن عبور کنند.

بواسطه شیلد شبکه پرده‌ای، صفحه مثبت شده نمی‌تواند الکترونها را از کاتد (همانطور که در یک تریود می‌باشد) جذب کند. برای رساندن الکترون به صفحه بایستی ولتاژ مثبت به شبکه پرده‌ای (نسبت به کاتد) وصل نمود. در اینحالت پرده بیشتر از آنچه که صفحه در یک لامپ تریود الکترون می‌گیرد، الکترون جذب می‌کند. الکترونها در راه رسیدن به شبکه پرده‌ای آنچنان سرعتی کسب می‌کنند که اکثر آنها از شبکه سیمی (پرده‌ای) گذشته و به صفحه plate میرسند. کسر معینی از این الکترونها باعث جاری شدن جریان در مدار شبکه پرده‌ای می‌گردد.



برای اینکه یک شیلد خوب داشته باشیم باید شبکه پرده‌ای (سیم‌ی) توسط یک مدار که دارای امپدانس پائینی است (در فرکانس کار) به کاتد متصل گردد. در اینجا یک خازن بایپاس دارای راکتانس کمتر از چند صد اهم بین شبکه پرده‌ای و کاتد قرار داده میشود.

لامپی که شامل چهار المان کاتد، شبکه، شبکه پرده‌ای و صفحه بنام تترود یا لامپ چهار قطبی مشهور است.



Pentodes

- پنتد -

شکل ۱۶-۳- ساختمان یک لامپ تترود.

وقتی یک الکترون مسافر که سرعت قابل ملاحظه‌ای دارد به صفحه لامپ برخورد می‌کند برای دیگر الکترونها را که از صفحه به فضای لامپ تراوش می‌شوند مزاحمت ایجاد میکنند. این موضوع بنام انتشار ثانوی نامیده می‌شود.

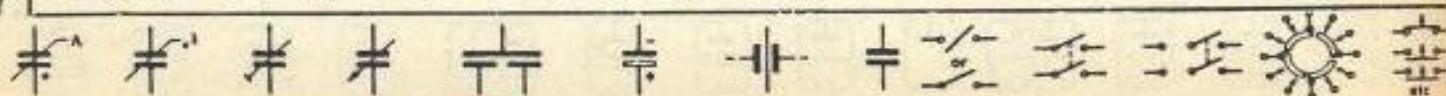
در یک تریود (لامپ سه قطبی) شبکه منفی الکترونها حاصل از انتشار ثانوی را دفع کرده و آنها را بداخل صفحه برمی‌گرداند که بدینترتیب هیچ تلاطمی بوجود نمی‌آید. در لامپ با شبکه پرده‌ای پرده که دارای بار مثبت است الکترونها ثانوی را جذب می‌کند و در نتیجه یک جریان معکوس Reverse بین پرده و صفحه برقرار میشود.

برای رفع مشکل انتشار ثانوی Secondary emission در لامپ یک شبکه سومی بنام شبکه حذف کننده suppressor grid بین شبکه پرده‌ای و صفحه قرار داده میشود. این شبکه همانند یک حفاظ (شیلد) بین شبکه پرده‌ای و صفحه عمل می‌کند بطوریکه الکترونها ثانوی دیگر نمیتوانند توسط شبکه پرده‌ای جذب گردند. بدینترتیب این الکترونها بدون اینکه خللی در مقدار جریان عادی صفحه ایجاد کنند دوباره جذب صفحه می‌گردند.

این لامپ پنج الکترونی (۵ قطبی = ۵ المانی) بنام پنتود pentode نامیده می‌گردد.

اگر چه شبکه پرده‌ای چه در لامپ تترود و چه در پنتود بطور قابل توجه از تأثیر صفحه بر جریان صفحه میکاهد ولی با این وجود هنوز شبکه کنترل میتواند جریان صفحه را همانند یک لامپ تریود تحت کنترل داشته باشد. بنابراین ترانس کندوکتانس شبکه - صفحه (یا کندوکتانس متقابل) یک لامپ تترود یا پنتود دارای همان مقداری است که یک لامپ تریود با همان ساختمان دارد. از طرف دیگر چون تغییر در ولتاژ صفحه اثر خیلی کمی روی جریان صفحه دارد میتوان گفت هم ضریب تقویت و هم مقاومت صفحه یک پنتود یا یک تترود مقدار خیلی زیادی دارد. ضریب تقویت لامپهای کوچک پنتود در گیرنده‌های ۱۰۰۰ ببالا می‌باشد در حالیکه مقاومت صفحه آنها از ۰/۵ تا یک مگا اهم و بیشتر می‌باشد. بواسطه مقاومت صفحه خیلی زیاد یک لامپ پنتود، مقدار تقویت واقعی که میتوان از آن گرفت خیلی کمتر از مقدار تئوری آن است. بهره ولتاژ یک صفحه پنتود معمولاً حدود ۵۰ تا ۲۰۰ می‌باشد.

مقدار خازن شبکه - صفحه در لامپهای شبکه پرده‌ای در عمل حدود کسری از یک پیکوفاراد



می‌باشد. این مقدار خازن آنقدر کوچک است که نمی‌تواند افزایش قابل محسوسی در مقدار خازن ورودی سبب گردد و بنابراین مقدار خازن ورودی یک لامپ شبکه پرده‌ای معادل است با مقدار خازن بین پرده و صفحه آن لامپ.

از لامپهای پنتود و تترود علاوه بر تقویت فرکانسهای رادیویی برای تقویت کننده‌های فرکانس صوتی نیز بکار می‌روند. لامپهایی که برای تقویت فرکانسهای صوتی استفاده میشوند، وظیفه اصلی‌شان عبارتست از شتاب دادن به الکترونها، بطوریکه بتوان از آنها در ولتاژهای صفحه نسبتاً پائین جریانهای صفحه زیاد کشید. چنین لامپهایی در مقایسه با تریودهای با قدرت خروجی یک ن دارای حساسیت قدرت نسبتاً زیاد هستند ولی اعوجاج هارمونیک آنها کمی بیشتر است.

لامپهای متمرکز کننده (Beam Tubes)

یک لامپ تترود متمرکز کننده عبارتست از یک لامپ شبکه پرده‌ای چهار قطبی (چهار الکترودی) که ساختمان آن طوری است که الکترونها در آن بصورت یک شعاع متمرکز می‌گردد (همانند شعاع الکترونی در لامپهای اشعه کاتودی اسیلوسکپ).

این لامپها را طوری طرح می‌کنند که بدون احتیاج به شبکه حذف کننده از انتشار ثانوی جلوگیری میشود. ساختمان شعاع الکترونی Beam این امکان را فراهم می‌آورد که بتوان با ولتاژهای نسبتاً کم صفحه جریانهای زیاد از صفحه گرفت و همچنین حساسیت قدرت لامپ را افزایش داد.

لامپهای با μ متغیر - Variable- μ Tubes

وقتی گرایش صفحه منفی‌تر و ولتاژهای دیگر الکترونها ثابت نگه داشته شود، کندوکناس متقابل μ لامپ کاهش می‌یابد. چون کندوکناس متقابل لامپ مقدار تقویت را تحت کنترل دارد، بنا بر این میتوان با تنظیم گرایش شبکه بهره تقویت را کنترل کرد. این روش کنترل بهره gain عموماً در تقویت کنندههایی که برای گیرندهها طرح می‌گردند استفاده میشود.

لامپهای معمولی دارای خاصیتی است که بنام مشخصه sharp cutoff شناخته شده است. کندوکناس متقابل با سرعت یکنواخت همزمان با افزایش گرایش منفی کاهش می‌یابد. مقدار ولتاژ سیگنالی که چنین لامپی میتواند بدون تولید اعوجاج تحویل دهد برای مواظبت از سیگنالهای خیلی قوی کافی نیست. برای رفع این مشکل بعضی از لامپها را با مشخصه تا متغیر می‌رسانند. یعنی ضریب تقویت با افزایش گرایش شبکه کاهش می‌یابد. لامپ با μ متغیر میتواند سیگنال بزرگتری نسبت به نوع sharp-cutoff تحویل دهد.

امپدانسهای خروجی و ورودی

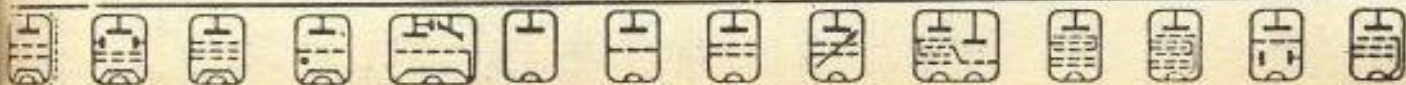
INPUT AND OUTPUT IMPEDANCES

امپدانس ورودی یک تقویت کننده لامپی عبارتست از امپدانسی که منبع سیگنال می‌بیند وقتی که به دو سر ورودی تقویت کننده وصل شود. در تقویت کنندههایی که قبلاً تشریح گردید، امپدانس ورودی امپدانسی که بین شبکه و کاتد لامپ اندازه گیری میشود وقتی که ولتاژهای کار به لامپ اعمال می‌گردد. در فرکانسهای صوتی امپدانس ورودی یک تقویت کننده کلاس A در تمام مواقع عبارتست از امپدانس ورودی طبقه. در بعضی از مواقع امپدانس ورودی دارای یک مؤلفه مقاومتی هم می‌باشد که دارای مقدار متوسطی است برابر $\frac{1}{2} E_b$ که در آن E_b مقدار مؤثر ولتاژ تریاک و I_b قدرت مصرفی در شبکه لامپ می‌باشد. مقدار مقاومت معمولاً در طول یک سیکل جریان متناوب تغییر می‌کند زیرا جریان شبکه ممکن است فقط در طول قسمتی از سیکل جاری گردد و نیز مشخصه ولتاژ شبکه جریان شبکه بندرت خطی است.

ce

امپدانس خروجی (output Impedance) تقویت کننده‌های از این نوع ترکیب دو المان بطور موازی است یکی مقاومت صفحه لامپ و دیگری خازن خروجی.

در فرکانسهای رادیویی وقتی مدارهای تنظیم شده بکار رفته است امپدانسهای خروجی و ورودی معمولاً مقاومتی خالص هستند و هر مؤلفه راکتیو توسط مدارهای تنظیم شده حذف می‌گردند Tuned out زیرا این مدارها در فرکانسهای تشدید تنظیم گردیده‌اند.



انواع دیگر تقویت کننده‌ها

OTHER TYPES OF AMPLIFIERS

در تقویت کننده‌هایی که بحث کردید سیگنال ورودی بین شبکه و کاتد لامپ اعمال می‌گردد و خروجی از صفحه و کاتد گرفته می‌شود. یعنی کاتد بین خروجی و ورودی تقویت کننده مشترک است. بطور کلی میتوان از هر کدام از سه الکتروود لامپ بعنوان الکتروود مشترک استفاده کرد. با این عمل دو نوع تقویت کننده دیگر نیز حاصل می‌گردد یکی از اینها تقویت کننده شبکه مشترک *grounded-grid amplifier* دیگری بنام کاتد فالوئر یا دنبال کننده کاتد *cathode follower* این دو مدار بفرم ساده شده‌ای در شکل ۱۷-۳ آمده است. در این دو مدار مقاومت R نماینده باری است که به تقویت کننده متصل است. بار واقعی می‌تواند بصورت یک کوپلاژ مقاومتی - خازنی، یا کوپلاژ ترانسفورمری یا یک مدار تنظیم شده (در فرکانسهای رادیویی) و نظایر اینها باشد. همچنین در هر دو مدار فرض میشود با تریه‌ای که برای تامین گرایش شبکه و صفحه بکار می‌روند بدون مقاومت داخلی باشند یا مقاومت داخلی آنها در کار مدارها تأثیری نداشته باشند.

تقویت کننده شبکه مشترک - *Grounded-Grid Amplifier*

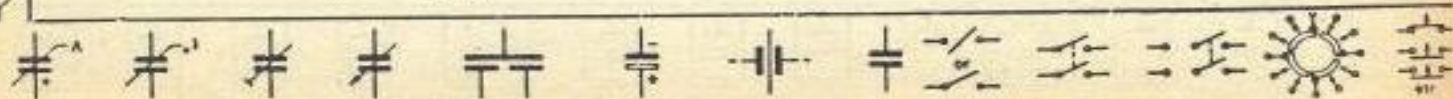
در تقویت کننده شبکه مشترک همانطور که از ناعش پیداست الکتروود شبکه بین ورودی و خروجی مشترک است یعنی ورودی بین کاتد و شبکه اعمال میشود و خروجی بین صفحه و شبکه گرفته میشود. مؤلفه متناوب جریان صفحه باید از منبع سیگنال بگذرد تا به کاتد برسد. منبع سیگنال از طریق مقاومت صفحه به کاتد لامپ با بار سری شده است. بدینترتیب مقداری از توان در بار توسط منبع سیگنال ذخیره میشود. در فرستنده‌ها این مقدار قدرت در حدود ۱۰ درصد کل قدرت خروجی است. امپدانس ورودی یک تقویت کننده شبکه مشترک شامل یک خازن بطور موازی با یک مقاومت معادل. مقاومت معادل نماینده قدرتی است که توسط منبع تحریک شبکه به بار تحویل داده میشود. این مقاومت حدود چند صد اهم می‌باشد. امپدانس خروجی معادل است با مقاومت صفحه لامپ بشرطی که از خازن داخلی لامپ صرفنظر گردد.

این مقدار برابر همانست که در تقویت کننده کاتد مشترک محاسبه شد. تقویت کننده شبکه مشترک در فرکانسهای خیلی بالا و خیلی خیلی بالا *VHF * UHF* در جاهائیکه تقویت کننده‌های معمولی بطور صحیح کار نمی‌کنند بکار می‌رود. یک تقویت کننده فرکانس رادیویی که با لامپ سه قطبی ساخته میشود می‌توان بدون فیدبکی باشد که سبب نوسان می‌گردد. در اینجا شبکه بعنوان یک محافظ (شیلد) بین کاتد و صفحه عمل می‌کند و بدینترتیب ظرفیت خازنی بین صفحه - کاتد به مقدار خیلی پائینی نزول می‌کند.

کاتد فالوئر (دنباله رو کاتد) *Cathode Follower*

در کاتد فالوئر صفحه لامپ بین ورودی و خروجی مشترک است یعنی سیگنال ورودی بین شبکه و صفحه اعمال میشود و خروجی بین کاتد و صفحه گرفته میشود (از مقاومت داخلی باتریها صرفنظر میگردد). در این مدار عمل تقویت ولتاژ انجام نمی‌گیرد و در اصطلاح گویند این مدار ((دجنتیو)) *degenerative* می‌باشد یعنی تمامی ولتاژ خروجی با فاز مخالف با سیگنال ورودی به مدار ورودی برگشت داده میشود. سیگنال ورودی بایستی بزرگتر از ولتاژ خروجی باشد زیرا در کاتد فالوئر مقداری تلف ولتاژ وجود دارد اگر چه بهره توان آن در شرایط مساوی معادل مدارهای دیگر است. یک مشخصه مهم مدار کاتد فالوئر کم بودن امپدانس خروجی آنست که توسط فرمول زیر (با صرفنظر از خازنهای داخلی لامپ) بدست می‌آید:

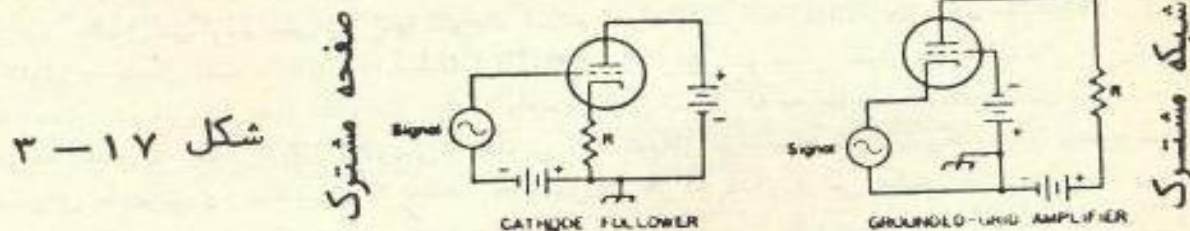
$$Z_{out} = \frac{r_p}{1 + \mu}$$



r_p = مقاومت صفحه .

μ = ضریب تقویت .

در تقویت کننده‌هایی که برای یک باند وسیع فرکانسی wide band طرح میشوند، پائین بودن امپدانس خروجی مشخصه‌ای پر ارزش است. بعلاوه خازن ورودی کسری است از خازن شبکه به کاتد لامپ که این نیز عاملی است مهم در تقویت کننده‌های باند وسیع. کاتد فالوئر را میتوان بعنوان یک مبدل امپدانس کاهش دهنده بکار برد زیرا امپدانس ورودی آن بالا و امپدانس خروجیش پائین است.



مدارهای کاتد و گرایش شبکه CATHODE CIRCUITS AND GRID BIAS

اکثر وسایلی که رادیو آماتورها استفاده می‌کنند توسط برق شهر (متناوب) کار می‌کنند. صفحه و شبکه به برق مستقیم احتیاج دارند و بنا بر این برق متناوب شهر باید یکسو و فیلتر گردد تا هیچ مؤلفه ac روی آن وجود نداشته باشد (pure dc). با این وجود بواسطه آنکه فیلمان و گرم کننده‌ها (heater) احتیاج به جریان نسبتاً زیادی دارند. عملاً استفاده از یکسو کننده‌ها (رکتیفایر) برای اینکار غیر ممکن است.

Filament Hum

هم فیلمان -

از نقطه نظر خاصیت گرمایی جریان متناوب با جریان مستقیم در یک طبقه‌اند ولی جریان متناوب یک عیب بزرگ دارد و آن تولید هم (hum) است.

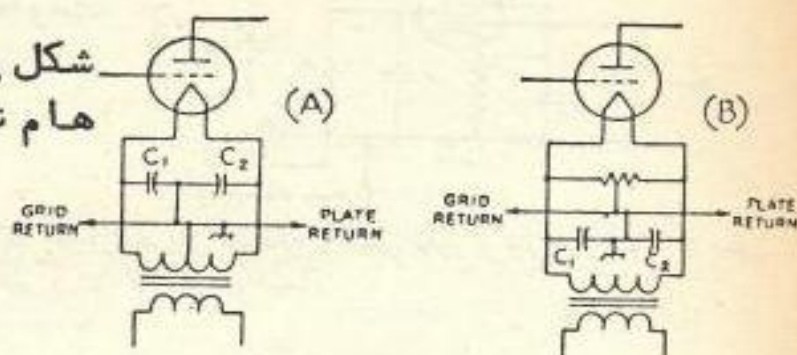
در فیلمانها کاتدهایی که مستقیماً گرم میشوند **directly heated** هم مشکلاتی ایجاد می‌کند زیرا این کاتدها ارتباط مستقیمی دارد بین منبع گرمایی و بقیه مدار. با بکار بردن هر کدام از مدارهای شکل ۳-۱۸ میتوان هم را حداقل رسانید. در هر دو حالت مدارهای برگشت شبکه و صفحه **grid- and plate-return circuits** به نقطه وسط الکتریکی ترانس (center tap) تغذیه وصل میشوند. شبکه و صفحه لامپ در شکل رها شده است، ولتاژ و جریان در یکطرف فیلمان با ولتاژ و جریان طرف دیگر آن متعادل و مخالف است. تعادل (بالانس) هیچگاه کامل نیست و بالطبع فیلمان کاملاً بدون هم نمی‌باشد. بهمین دلیل فیلمانهایی که مستقیماً گرم میشوند اکثراً در لامپهای قدرت استفاده میشوند زیرا در این لامپها هم در مقایسه با مقدار قدرت خروجی خیلی ناچیز است.

در مورد کاتدهایی که غیر مستقیم گرم میشوند مشکل اصلی میدان مغناطیسی است که توسط گرم کننده (heater) ایجاد میشود. همچنین گاهی‌گاهی بین گرم کننده و کاتد نشستی وجود دارد و این موضوع اجازه رسیدن مقدار کوچکی ولتاژ متناوب به شبکه میدهد. اگر هم بوجود آید میتوان با زمین کردن یکطرف تغذیه گرم کننده مقدار آنرا کاهش داد، اگر چه معمولاً میتوان تغذیه گرم کننده را از نوع با سر وسط انتخاب نمود و سر وسط به زمین وصل کرد و بدینترتیب مقدار هم کاهش بیشتری خواهد یافت و نتیجه بهتری عاید میشود (شکل ۳-۱۸).

گرایش کاتد - Cathode Bias

در تقویت‌های ساده شده‌ای که در این بخش بحث شد برای گرایش شبکه از باتری استفاده شده است. در وسایلی که با برق شهر کار میکنند برای گرایش شبکه برای لامپهایی که در کلاس A کار میکنند از یک مدار بخصوص استفاده می‌شود.

شکل ۱۸ - ۳ - روشهایی برای کاهش هم تولید شده توسط فیلمان .



در روش گرایش کاتد یک مقاومت بنام مقاومت کاتد cathode resistor بطور سری با کاتد قرار داده میشود (شکل ۱۹-۳) جهت جریان صفحه چنان است که آن سر مقاومت ۱۲ که نزدیکتر به کاتد است مثبت است. افت ولتاژ دو سر ۱۲ سبب ولتاژ منفی روی شبکه می گردد. این گرایش منفی از جریان مستقیم صفحه حاصل می شود.

اگر مؤلفه جریان متناوب صفحه از ۱۲ جاری شود (وقتی لامپ تقویت می کند) افت ولتاژی که توسط جریان متناوب حاصل میشود ((جنگرتیو)) می باشد (به شباهت بین این مدار و مدار شکل ۱۴-۳ توجه کنید) بعبارت دیگر وجود این مقاومت در جریان متناوب سبب افت بهره می گردد. برای رفع این مشکل یک خازن در دو سر این مقاومت قرار داده میشود تا درجریانهای متناوب این مقاومت حذف (بایپاس) گردد. این خازن در مقایسه با مقاومت ۱۲ دارای راکتانس کمی است. مقدار مقاومت ۱۲ بستگی به نوع لامپ و نوع عمل می تواند حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ اهم باشد. برای یک بایپاس کردن خوب در فرکانسهای پائین صوتی مقدار باید ۱۰ تا ۵۰ میکرو فاراد باشد (شیمیایی). در فرکانسهای رادیویی برای مقادیر حدود ۱۰۰ پیکو تا ۱/۱۰ میکرو فاراد خواهد بود. هر چه فرکانس بیشتر باشد مقدار خازن کوچکتر خواهد شد. در فرکانسهای ۳ تا ۳۰ مگا هرتز خازن یک صدم میکرو فاراد مناسب است. مقدار مقاومت کاتد را برای یک تقویت کننده با مقاومت ۱۲ قابل صرف نظر در مدار صفحه اش (کوپلاژ امپدانس یا ترانسفورمری) می توان بسادگی با دانستن شرایط کار لامپ محاسبه کرد. مقدار جریان گرایش شبکه و صفحه همیشه توسط سازنده لامپ در کاتالوگها مشخص می شود. با دانستن این مقادیر. مقاومت مورد نیاز توسط قانون اهم پیدا می گردد.

مثال:

با استفاده از کاتالوگ لامپها پیدا شده که لامپی باید دارای ۸ ولت گرایش منفی باشد و در این گرایش جریان صفحه ۱۲ میلی آمپر (۰/۰۱۲ آمپر) می باشد.

مقدار مقاومت مورد نیاز کاتد برابر است با:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{8}{0.012} = 667 \text{ ohms} \text{ اهم}$$

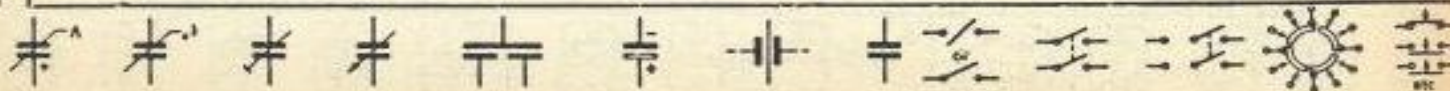
نزدیکترین مقدار مقاومت استاندارد به مقدار فوق ۶۸۰ اهم است که کافی نیز هست. قدرت مقاومت چنین است:

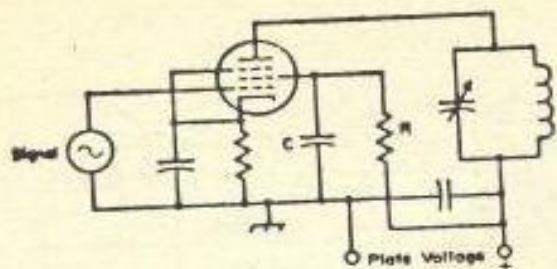
$$P = EI = 8 \times 0.012 = 0.096 \text{ watt}$$

یعنی یک مقاومت ۶۸۰ اهم ۱/۴ یا ۱/۲ وات مناسب است. جریانی که از می گذرد تمامی جریان کاتد است. در یک تقویت کننده معمولی با لامپ تریود این جریان برابر جریان صفحه می باشد ولی در یک لامپ شبکه پردهای جریان کاتد برابر مجموع جریانهای شبکه و صفحه است. بنا بر این وقتی میخواهید مقاومت کاتد را حساب کنید این دو جریان باید بهم اضافه کردند (در مورد لامپ شبکه پردهای).

مثال:

در یک گیرنده یک لامپ نپتود برای گرایش شبکه به ۳ ولت منفی احتیاج دارد. در این مقدار





شکل ۱۹ - ۳ - گرایش کاتد . مقاومت
موجود در کاتد توسط خازن حذف
(بایپاس) میشود .

گرایش ولتاژهای پیشنهادی برای صفحه و شبکه مقدار جریان صفحه ۹ میلی آمپر و جریان شبکه ۲ میلی آمپر می باشد . بنا بر این جریان کاتد ۱۱ میلی آمپر (۰/۰۱۱ آمپر) است .
در این حالت مقاومت مورد نیاز برابر خواهد بود با

$$R = \frac{E}{I} = \frac{2}{0.011} = 272 \text{ ohms}$$

که یک مقاومت ۲۷۰ اهمی با توان

$$P = EI = 2 \times 0.011 = .022 \text{ watt}$$

۱ وات کافی است .

گرایش دادن به کاتد با قرار دادن یک مقاومت در آن cathode-resistor یک حالت تنظیم اتوماتیک گرایش به آن میدهد ، زیرا اگر مشخصات از حالت معمولی اش (در کاتالوگ) کمی تغییر مکان بدهد (این تغییر مکان مشخصات در اثر حرارت در عمل رخ میدهد) در صورتیکه جریان صفحه کلی بالا برود گرایش افزایش می یابد و اگر جریان صفحه کمی پائین بیاید گرایش نیز کاهش می یابد ، این روش گرایش بنام گرایش سر خود self-bias یا تنظیم سر خود self-regulation نامیده میشود . بدین ترتیب مقدار جریان صفحه در یک حد مطلوب نگه داشته میشود .

در مورد تقویت کننده کوپلاژ مقاومتی دیگر نمیتوان مقاومت کاتد را از روش فوق محاسبه نمود زیرا جریان صفحه در این نوع تقویت کننده معمولاً خیلی کمتر از مقدار داده شده در جدول لامپ می باشد . بهر حال در فصل تقویت کننده های صوتی اطلاعاتی در باره لامپهای معمولی که در تقویت کننده های ، کوپلاژ مقاومتی بکار میروند و همچنین مقادیری بجای مقاومت کاتدی داده میشود .

گرایش « پتانسیل اتصالی » "Contact Potential" Bias

در غیاب هر ولتاژ منفی روی شبکه یک لامپ ، تعدادی از الکترونها در میان بار فضایی لامپ دارای آنچنان سرعتی هستند که به شبکه برسند . در نتیجه این تعداد الکترونها سبب ایجاد جریان کوچکی در مدار خارجی بین کاتد و شبکه میشود که مقدار آن حدود میکرو آمپر می باشد . چنانچه این مقدار جریان از مقاومتی با مقدار زیاد - حدود یک مگا اهم - بگذرد افت ولتاژ در این مقاومت حدود یک ولت خواهد بود که میتوان از آن برای گرایش منفی شبکه استفاده نمود . گرایشی که بدین ترتیب تهیه میگردد بنام گرایش پتانسیل اتصالی Contact-potential bias گویند . از گرایش پتانسیل اتصالی در مدارهایی که با سیگنال با دامنه کوچک کار می کنند ، استفاده می گردد (دامنه کمتر از یک ولت) زیرا با این عمل مقاومت و خازن بایپاس و حذف می گردد .

این روش اصولاً در تقویت کننده های صوتی با کوپلاژ مقاومتی و سیگنال با دامنه پائین بکار می رود . این مقاومت گرایش بین شبکه و کاتد قرار می گیرد و بایستی از منبع سیگنال توسط یک خازن بکوله کننده ایزوله شود .

تغذیه پرده لامپ - Screen Supply

در مدارهای عملی که در آنها لامپهای تترود و نپتود بکار رفته ولتاژ پرده screen معمولاً توسط یک مقاومت از تغذیه صفحه گرفته میشود . یک مدار معمولی برای یک تقویت کننده فرکانس رادیویی در

شکل (۲۰-۳) نشان داده شده است. مقاومت R بنام مقاومت افت پرده screen dropping resistor و خازن بایپاس پرده screen bypass capacitor.

نامیده میشود. در نتیجه عبور جریان از مقاومت افت ولتاژی در آن ایجاد می شود که سبب کاهش ولتاژ تغذیه صفحه می گردد و آن به مقداری میرسد که مناسب برای تغذیه پرده لامپ میشود. وقتی ولتاژ تغذیه صفحه و جریان پرده لامپ مشخص باشد مقدار R را میتوان از قانون اهم بدست آورد.

مثال:

یک نپتود گیرنده دارای جریان پرده ۲ میلی آمپر (۰/۰۰۲ آمپر) (در کاتالوگ) در شرایط کار طبیعی می باشد. ولتاژ پرده ۱۰۰ ولت و تغذیه صفحه ۲۵۰ ولت است. برای قرار دادن ۱۰۰ ولت روی پرده افت ولتاژ دو سر R بایستی معادل اختلاف بین ولتاژ تغذیه صفحه و ولتاژ پرده گردد یعنی:

$$\text{ولت } 250 - 100 = 150$$

$$R = \frac{E}{I} = \frac{150}{.002} = 75,000 \text{ ohms اهم}$$

در نتیجه:

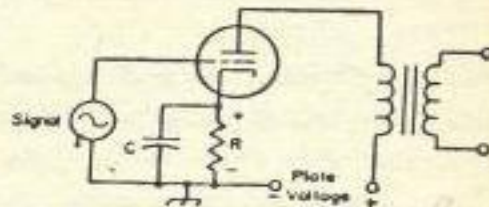
قدرت مقاومت برابر خواهد بود با:

$$P = EI = 150 \times .002 = 0.3 \text{ watt وات}$$

یعنی یک مقاومت ۱ وات کافی است.

راکتانس خازن بایپاس C بایستی در مقایسه با امپدانس کاتد به پرده کوچک باشد. در کار بردهای فرکانس رادیویی خازنی حدود ۰/۰۱ میکرو فاراد زیاد می باشد. در بعضی از مدارهای لامپی ولتاژ پرده توسط یک تقسیم کننده ولتاژ که به دو سر منبع تغذیه وصل شده بدست می آید. طرح تقسیم کننده ولتاژ در جای دیگری بحث میشود.

شکل ۲۰-۳- یک تقویت کننده فرکانس رادیویی. راکتانس خازن بایپاس باید بقدر کافی کوچک باشد



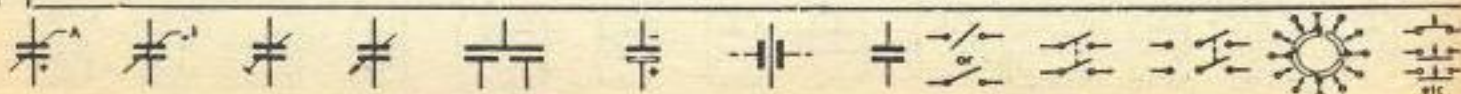
نوسان سازها (اسیلاتورها)

OSCILLATORS

قبلا ذکر گردید که چنانچه در یک تقویت کننده مقدار فید بک مثبت باندازه کافی باشد می تواند آنرا به نوسان بیاندازد و خود نوسانی بوجود آید. وقتی یک تقویت کننده طوری ترتیب داده شود که این شرایط ایجاد گردد مدار بنام نوسان ساز یا اسیلاتور نامیده می شود.

نوسانها معمولا فقط در یک فرکانس اتفاق می افتند و فرکانس بلخواه را میتوان با یک مدار تشدید که در آن فرکانس تنظیم شده باشد انتخاب نمود برای مثال، در شکل ۲۱-۳ (بالا) مدار ۱ برای فرکانس نوسان بلخواه تنظیم گردیده است. کاتد لامپ به وسط سیم پیچ ۱ و شبکه و صفحه آن به دو انتهای ۱ متصل شده است. وقتی جریان فرکانس رادیویی در مدار تنظیم شده جاری میشود، افت ولتاژی در دو سر ۱ بوجود می آید که نسبت مستقیم با تعداد دورهای سیم پیچ دارد. بنا بر این سر وسط سیم پیچ که به کاتد متصل است نسبت به دو انتهای سیم پیچ در پتانسیل وسط آهنیست. جریان تقویت شده در مدار صفحه، که در قسمت پائین سیم پیچ جاری میشود هم فاز است با جریانی که قبلا در مدار وجود داشته است و بنا بر این به فید بک مثبت کمک میشود.

مقدار فید بک بستگی به محل سر وسط سیم پیچ دارد. اگر این سر خیلی نزدیک به سر بالایی سیم پیچ (متصل به شبکه) باشد افت ولتاژ بین شبکه و کاتد آنقدر کم است که نمیتواند مقدار لازم فید بک جهت ایجاد نوسان را بدهد و اگر خیلی نزدیک به سر پائینی سیم پیچ (متصل به صفحه) باشد امپدانس



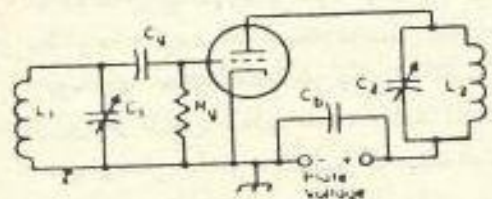
بین کاتد و صفحه آنقدر کوچک خواهد بود که تقویت خوبی نخواهیم داشت. حداکثر فید بک وقتی بدست میاید که سر میانی سیم پیچ در حدود وسط سیم پیچ قرار گیرد.

مدار شکل ۳-۲۱ (بالایی) نوع تغذیه موازی parallel-feed است و C_b خازن بلوکه کننده می باشد. مقدار L زیاد مهم نیست و راکتانس آن می تواند حدود چند صد اهم در فرکانس کار باشد. خازن C_g بنام خازن شبکه (grid capacitor) نامیده میشود. این خازن و مقاومت R_g (grid leak) برای دادن گرایش به شبکه لامپ هستند. در اکثر مدارهای نوسان ساز خود لامپ گرایش خود را تامین می کند. در مدتی که شبکه نسبت به کاتد مثبت می باشد الکترون جذب آن میشود. این الکترونها از سیم پیچ L نمی توانند عبور کنند و به کاتد برمی گردند زیرا L جریان مستقیم را عبور نمی دهد. در اثر عبور این الکترونی از R_g ولتاژی در دو سر آن افت می کند و بنا بر این یک گرایش منفی روی شبکه بوجود می آید. مقدار این گرایش (افت ولتاژ) طبق قانون اهم برابر است با حاصلضرب جریان شبکه در مقاومت R_g مقدار R_g بستگی به نوع لامپ بکار رفته و نوع استفاده ای که از اسیلاتور گرفته میشود دارد. مقدار این مقاومت از چند تا چند صد کیلو اهم می باشد. مقدار خازن C_g باید خیلی زیاد باشد تا در فرکانس کار دارای راکتانس کمی باشد.

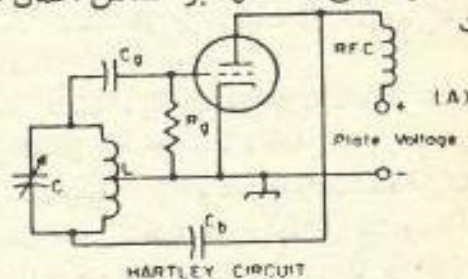
مدار نشان داده شده در شکل ۳-۲۱ (پائینی) برای فیدبک از افت ولتاژ دو سر دو خازن که بطور هستند استفاده شده است. بغیر از این نکته نحوه عمل این مدار شبیه مدار قبلی است که شرح داده شد. مقدار فید بک را میتوان با تغییر راکتانس خازنهای ۱ و ۲ تغییر داد (یعنی با تغییر نسبت مقدار این خازنها).

نوع دیگر اسیلاتور بنام مدار ((صفحه تنظیم شده شبکه تنظیم شده)) tuned-plate tuned-grid در شکل ۳-۲۲ آمده است. مدارهای تشدید (رزونانس) حدوداً در یک فرکانس تنظیم شده اند. دو که یکی از آنها بین صفحه و کاتد و یکی دیگر بین شبکه و کاتد متصل شده اند. دو سیم پیچ ۱ و ۲ از نظر مغناطیسی هیچ ارتباطی با هم ندارند. فید بک از طریق خازن صفحه - شبکه لامپ صورت می گیرد و هنگامیکه مدار صفحه C_2-L_2 در فرکانسی بالاتر از مدار شبکه L_1-L_1 قرار بگیرد فاز فید بک در آن مقداری خواهد بود که موجب نوسان گردد. مقدار فید بک را با تغییر هر کدام از خازنهای مدارهای تشدید تنظیم نمود. فرکانس نوسان توسط آن مدار تشدید بدست میاید که دارای بیشتری است. وظایف خازن شبکه C_g و مقاومت شبکه (grid leak) همانست که در مدارهای قبلی گفته شد. در این حالت راحت است که از روش تغذیه سری (series feed) برای مدار صفحه استفاده گردد، C_b خازن بایپاس است که جریان فرکانس رادیویی را در حوالی تغذیه صفحه هدایت می کند.

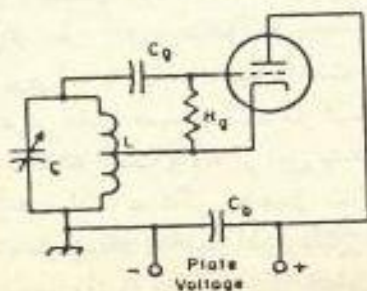
مدارهای اسیلاتور زیاد هستند که انواع دیگر آنها را در بخش های بعدی خواهید دید ولی در هر حال اصول کلی همه آنها بر اساس اعمال فید بک مثبت به مقدار (با دامنه کافی) و فاز صحیح به ورودی است.



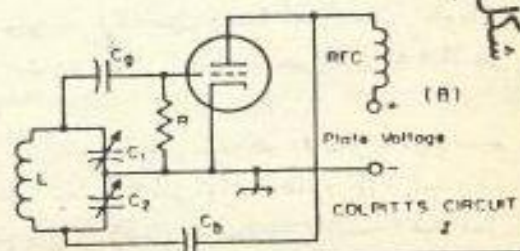
شکل ۳-۲۲



شکل ۳-۲۱



شکل ۳-۲۳



مشخصات اسیلاتورها - Oscillator Operating Characteristics

وقتی یک اسیلاتور به باری وصل می گردد و به آن قدرت تحویل میدهد، تنظیم فید بک بستگی به چگونگی بار گذاری اسیلاتور دارد یعنی اینکه چقدر قدرت از اسیلاتور گرفته میشود. اگر فید بک بمقدار زیاد نباشد - تحریک شبکه *grid excitation* خیلی کوچک باشد - یک افزایش کوچک در مقدار بار می تواند مدار را از نوسان باز دارد. از طرف دیگر، فید بک زیاده از حد مقدار جریان شبکه را بطور پیوسته افزایش خواهد داد که نتیجه این خواهد بود که تلف توان در مدار شبکه بیشتر از مقدار مورد نیاز باشد. چون اسیلاتور خودش این توان شبکه را تامین می کند این افزایش فید بک با دو کلی مدار را پائین می آورد زیرا آن مقدار توان که در مدار شبکه مصرف میشود بعنوان خروجی مفید در دسترس نمی باشد.

یکی از مهمترین موارد که در طرح اسیلاتورها مورد توجه قرار میگیرد پایداری فرکانس *frequency stability* است. عوامل مهم که باعث تغییر در فرکانس میشوند عبارتند از: (۱) درجه حرارت، (۲) ولتاژ صفحه، (۳) بار گذاری، (۴) تغییرات مکانیکی در المانهای مدار.

تغییرات درجه حرارت سبب می گردد که المانهای لامپ بمقدار کمی تغییر وضعیت بدهند که بالطبع این تغییر وضعیت سبب تغییر مقدار خازنهای داخلی لامپ می شود. چون این خازنها در فرکانس نوسان مؤثر هستند و جزئی از مدار تنظیم شده می باشند. تغییر اینها بنوبه خود سبب تغییر فرکانس اسیلاتور می گردد. تغییرات درجه حرارت در سیم پیچ یا خازن تنظیم سبب تغییر اندکی اندوکتانس یا کاپا سیتانس می شود که این نیز بنوبه خود موجب تغییر فرکانس اسیلاتور خواهد شد آنجاست این تغییرات در عمل نسبتاً کم می باشد و تغییر فرکانس در اثر این موارد در ردیف *drift* نامیده میشود.

تغییر در ولتاژ صفحه معمولاً سبب تغییر کوچکی در فرکانس میشود که بنام ناپایداری دینامیکی *dynamic instability* نامیده میشود. ناپایداری دینامیکی را میتوان با بکار بردن مدارهای

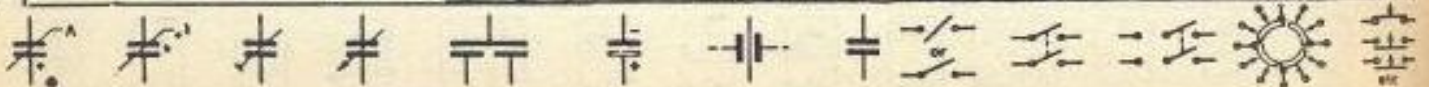
تنظیم شده Q بالا کاهش داد. انرژی که برای تغذیه تلفات شبکه از مدار گرفته میشود، بهمانگونه که انرژی به بار داده میشود، نماینده یک افزایش در مقاومت مؤثر مدار تنظیم شده می باشد و بالطبع مقدار Q آن پائین می آید. بنا بر این برای بهترین پایداری بایستی کوپلاژ بین مدارهای تنظیم شده و لامپ و بار تا حد امکان ضعیف باشند. نباید انتظار داشت که اسیلاتور توان به یک مدار خارجی تحویل دهد و برای بالا بردن مقاومت شبکه و صفحه از دیدگاه مدار تنظیم شده، مقاومت شبکه مقداری زیاد انتخاب می شود. کوپلاژ ضعیف به چندین روش مختلف ممکن است مثلاً یکی این است که سر سوم مدار تشدید را بطرف صفحه و شبکه نزدیک نمود. این کار در مدار کولپیتس *colpitts* که بطور گسترده ای در اسیلاتورهای فرکانس متغیر بکار میرود انجام می گیرد. این مدار از نوع تنظیم شده سری *series tuned* می باشد و در بخش های آینده از آن سخن خواهد رفت. یک روش دیگر کوچک کردن نسبت L/C تا حد امکان است البته در اینحال باید نوسان مدار را ثابت نگه داشت نظیر شکلهای ۳-۲۱ و ۳-۲۲. یک راه دیگر نیز استفاده از ولتاژ و جریان صفحه در حد زیاد می باشد.

بطور کلی وقتی پایداری دینامیکی ما کزیم مقدار خود را دارد که فید بک در حداقل مقداری باشد که تولید نوسان می کند. استفاده از لامپی که کندوکتانس انتقالی آن زیاد است به پایداری مدار کمک می کند زیرا هر چه کندوکتانس انتقالی بیشتر باشد مقدار کوپلاژ بین مدار تنظیم شده لامپ ضعیف تر و فید بک مورد نیاز کمتر خواهد بود.

تغییرات بار دارای همان اثراتی است که تغییرات ولتاژ صفحه دارد. تغییر درجه حرارت در بار باعث *drift* دریافت میشود.

تغییرات مکانیکی معمولاً در اثر ارتعاشات حاصل می گردد و این باعث تغییراتی در مقدار سیم پیچ (اندوکتانس) یا مقدار خازن (کاپاسیتانس) میشود و این نیز بنوبه خود سبب زیاد و کم شدن *wobble* فرکانس اسیلاتور می گردد.

ب حداقل رساندن تغییرات فرکانس دارای روشهایی است که در بخش های بعدی مطالعه خواهد شد.



زمین - Ground Point

در شکل‌های ۳-۲۲ و ۳-۲۱ مدارهای اسیلاتور نشان داده شده‌اند که در آنها کاتد لامپ به زمین متصل شده است. اتصال کاتد لامپ به زمین در مدارهای فرکانس رادیویی کار اساسی نیست بلکه در بسیاری از حالات ترجیح دارد که نقاط دیگری از مدار به زمین متصل گردد زمین در مدارهای فرکانس رادیویی (RF Ground) در هر نقطه‌ای از مدار امکان دارد منتها باید پیش بینی‌های لازم را در مورد تغذیه المانهای لامپ در نظر گرفته میشود.

شکل ۳-۲۳ یک اسیلاتور هارتلی Hartley را نشان میدهد (در این اسیلاتور فید بک از راه تقسیم ولتاژ سلفی صورت می‌گیرد) که در آن صفحه لامپ زمین شده است. از نظر فرکانس رادیویی کاتد و شبکه زمین نشده‌اند که در اصطلاح گویند این نقاط بالای زمین (above ground) قرار گرفته‌اند یک مزیت این مدار اینست که بدنه خازن تنظیم کننده می‌تواند زمین گردد.

مدار کولپیتس (شکل ۳-۲۱ پائینی) را نیز می‌توان در حالت صفحه زمین شده و کاتد بالای زمین بکار برد، فقط لازم است که کاتد را از طریق یک چوک فرکانس رادیویی (RFC) از نظر RF جدا نموده.

در هر کدام از مدارهای اسیلاتور میتوان از نپتود و تترود نیز استفاده نمود. در اینحالت میتوان شبکه پرده‌ای این لامپها را بعنوان آند در اسیلاتور هارتلی یا کولپیتس استفاده نمود. معمولا در اینجا مدار در حالت آند مشترک بکار میرود و مدار صفحه لامپ برای دومین هارمونیک فرکانس اسیلاتور تنظیم می‌گردد.

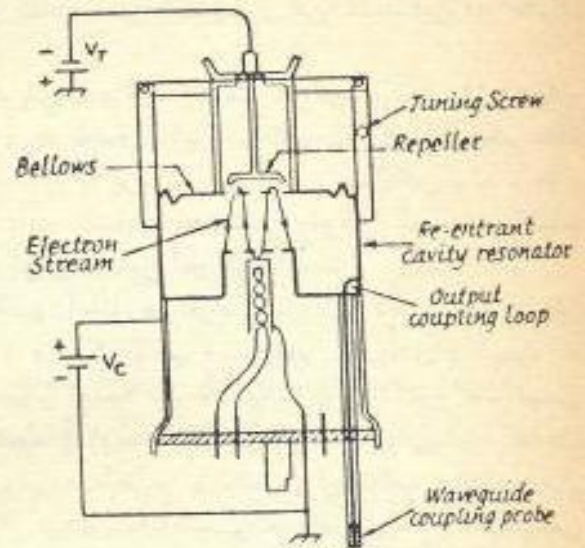
لامپهای مایکروویو

VHF AND MICROWAVE TUBES

تا اینجا در مورد لامپها فرض بر این بوده است مدت زمانی که طول میکشد تا اکثر الکترونهای کاتد به صفحه برسند در نحوه کار لامپ تأثیر نداشته باشد. این مدت زمان که زمان انتقالی نام دارد با افزایش فرکانس بینهایت اهمیت پیدا می‌کند. زمان انتقال بستگی به ولتاژ بین کاتد و صفحه و فضای بین آنها دارد. هر چه ولتاژ بیشتر و فاصله کمتر باشد زمان انتقال کوچکتر خواهد بود. بهمین دلیل است که در لامپهایی که در VHF کار می‌کنند فضای بین خازنهای داخلی لامپ خیلی کوچک است. از طرف دیگر وقتی فاصله بین الکترونهای لامپ کوچک شود قدرت تحویلی لامپ نیز کاهش می‌یابد بنا بر این یک حد بالایی وجود دارد که از آن بی‌بعد دیگر لامپ نمیتواند کار کند.

برای استفاده در فرکانسهای خیلی بالا و مایکروویو لامپهای ویژه‌ای ساخته شده‌است که در آنها مشکل زمان انتقالی بر طرف شده است. مدولاسیون سرعت Velocity modulation یک ستونی از الکترون یکی از راههایی است که در مورد مشکل زمان انتقال در این لامپها بکار میرود. یکی از لامپهای مایکروویو کلاسیسترون klystron می‌باشد که در آن از مدولاسیون سرعت استفاده شده است. با اعمال یک ولتاژ کوچک در دو طرف شکاف یک محفظه رزونانس میشود می‌تواند به یک ستون الکترونی در میدان الکتریکی حاصل شتاب دهد یا از سرعت آنها بکاهد. در ابتدا تمامی الکترونهای دارای سرعت برابر و بالطبع جریان یکنواخت می‌باشد. بعد از اینکه تغییرات سرعت روی ستون الکترونی اثر می‌کند تا مدتی باز جریان یکنواخت باقی می‌ماند ولی پس از آن الکترونهایی که شتاب دار شده‌اند توسط الکترونهایی که در نبودن میدان حرکت کندتری دارند گرفته میشوند. این الکترونها همچنین توسط الکترونهایی که از شکاف محفظه گذشته‌اند ولی تاخیر دارند گرفته میشوند نتیجه این خواهد بود که جریان از یک سری پالس تشکیل شده است و در تمام مدت یکنواخت نیست. اگر شعاع الکترونی از یک محفظه دیگری بگذرد، جریانی در دیوارهای این محفظه القا میشود و نیز یک میدان الکتریکی در دهانه محفظه بوجود می‌آید. چنانچه فاز میدان الکتریکی صحیح باشد، پالسهای الکترونی (توبه‌های

شکل ۲۴ - ۳ - نمایشی از کلايسترون
رفلکس . فرکانس محفظه توسط تغییر
فضای بین شبکه ها تغییر داده میشود .

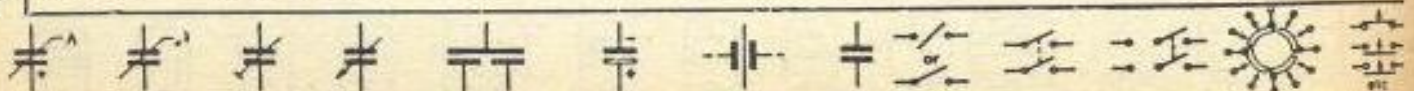


الکترونی) که از میان دهانه محفظه می گذرند تاخیر می یابند و بدین ترتیب انرژی خود را به میدان الکتریکی میدهد . وقتی جهت میدان الکتریکی معکوس میگردد طبیعتا همان تعداد الکترون را شتاب میدهد و انرژی را باز می گرداند ولی تعداد الکترونهايي که در اینحال از دهانه محفظه می گذرند کمتر و انرژی داده شده نیز کمتر خواهد بود . بنا بر این یک جریان خالص انرژی از شعاع الکترونی به محفظه بر قرار است . اگر ولتاژ تولید شده در خروجی محفظه از ورودی آن بیشتر باشد عمل تقویت انجام گردیده (با فرض آنکه امپدانس دو محفظه برابر باشند) .

یک نوع کلايسترون که آماتورها از آن استفاده می کنند لامپ نوسان کننده کلايسترون رفلکس Reflexklystron میباشد . در این لامپ محفظه های ورودی و خروجی یکی می باشند . شعاع الکترونی با یکبار عبور از محفظه مدوله سرعت میشود و توسط المانی که دارای بار منفی است و دفع کنند Repeller نامیده میشود برگشت داده میشود در ضمن دومین بار عبور شعاع الکترونی از محفظه انباشته شده و مقداری انرژی به محفظه تحویل داده میشود . در این لحظه شعاع الکترونی توسط دیوارهای محفظه جذب شده و مدار کامل میشود . این مراحل در شکل ۲۴-۳ نشان داده شده است . از میان کلايسترونهای رفلکس نوع ۷۲۳ آن در اسلایتورهای گیرنده های رادار و همچنین توسط رادیو آماتورها برای مصارفی نظیر آن استفاده میشود . این لامپها را میتوان در فرستنده های وات پائین low power نیز بکار برد . بغیر از تغذیه گرم کننده heater این لامپ که معمولا ۶/۳ ولت می باشد دو منبع تغذیه دیگر لازم است که این دو منبع در شکل ۲۴-۳ نشان داده شده است V_c , V_r , V_c حدود ۳۰۰ ولت مستقیم و V_r از ۱۰۰ تا ۱۵۰ ولت مستقیم متغیر است . ضریب مرغوبیت در حالت بار داری Loaded Q یک کلايسترون رفلکس کم بوده و نوسانات بازای مقادیر مختلف V_r در فرکانسهای مختلف اتفاق می افتد . این یک مزیتی است برای این لامپ و هم مدولاسیون فرکانس و هم کنترل اتوماتیک فرکانس afe را با تغییرات در V_r به لامپ اعمال می کنند .

هر چه ولتاژ دفع کننده $repeller\ voltage = V_r$ منفی تر بشود بترتیب نوسانات بوجود می آید ، دامنه زیاد میشود ، و سپس افت می کند . این ماجرا چندین بار تکرار میشود و هر بار ما کمزیم دامنه توان خروجی کمتر می گردد . بهر حال باید فرکانسی که در سری نوسان می پوشاند تقریبا برابر است .

مدارهای عملی منبع تغذیه ، afc ، مدولاتور و اندازه گیری metering برای لامپهای کلايسترون ۷۲۳ و 2k26 در شکل ۲۵-۳ آمده است . یک نقض سیستم فوق آنست که پوسته کلايسترون در ولتاژ ۲۶۰ ولت قرار دارد . یک روش دیگر اینست که پوسته لامپ به زمین و کاتد به منفی



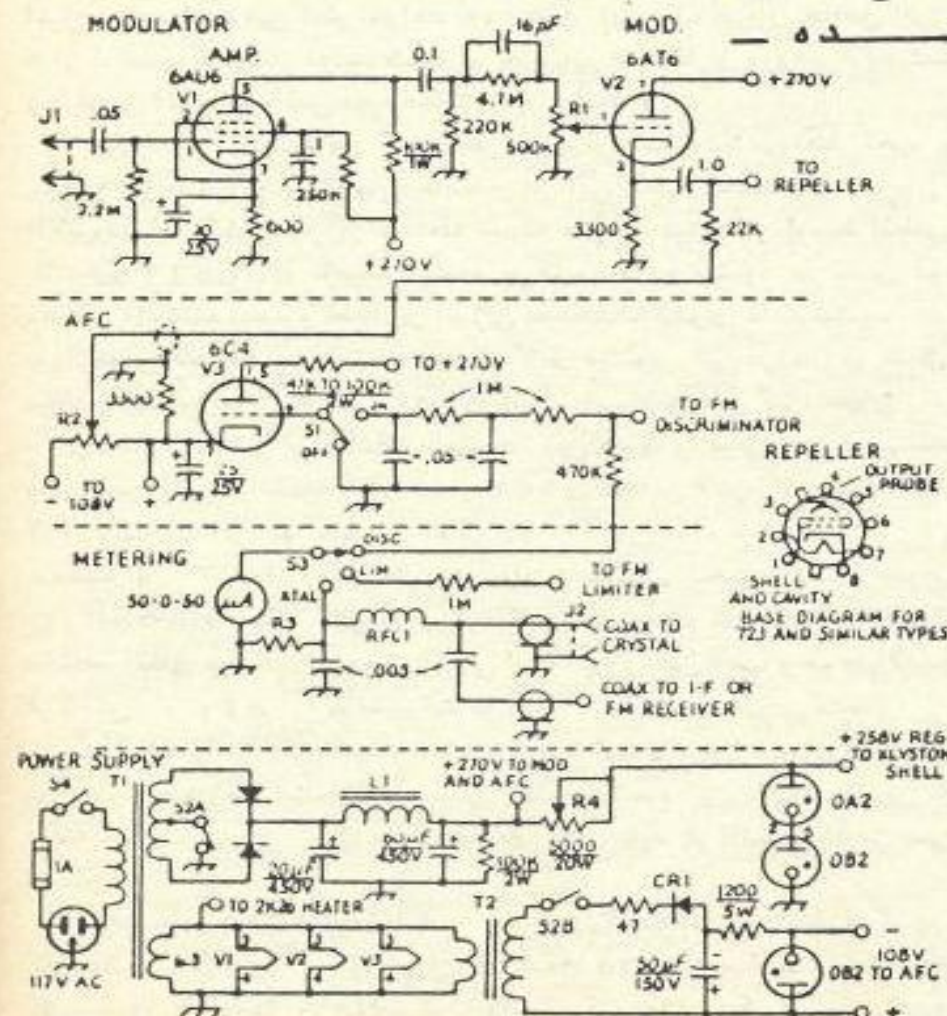
۲۶۰ ولت و دفع کننده را به ولتاژ $260 + V_r$ وصل گردد. برای دفع کننده repeller یک منبع تغذیه ۵۱۰ ولت احتیاج است، ولی بواسطه آنکه دفع کننده جریان ناچیزی می کشد این امر مشکل نخواهد بود.

در مورد لامپهای میکروویو یک نکته دیگر لازم به تذکر است و آن اینست که گرفتن توان از لامپهای میکروویو (کلاسترون) مشکلتر از گرفتن توان از لامپهای فرکانس پائین است. برای اینکار یک حلقه پیک آب در محفظه قرار داده میشود و آن به یک کواکسیال یا پروپ و یوگاید متصل می گردد. چون کلاسترونها و دیگر لامپهای میکروویو به تغییرات بار حساس هستند، نوعی تضعیف کننده attenuator یا ایزولاتور Isolator برای جلوگیری از این امر لازم است.

انواع دیگر لامپهای میکروویو که مورد استفاده رادیو آماتورها می باشد یکی لامپ موج مسافر traveling wave tube یا بطور اختصار (TWT) و دیگر لامپ اسیلاتور (BWO) است که مختصر شده ای است از backward wave oscillator (BWO). اینجا سرعت یک موج الکترو مغناطیسی کاهش داده شده و به پائین تر از سرعت نور رسانده میشود و توسط یک شعاع الکترونی آنرا تداخل میدهند. در دو لامپ فوق برای فوکاس کردن شعاع الکترونی از آهنربا (مگنت) استفاده میشود، حال آنکه برای لامپهای دیگری مثل مگنترون magnetron از میدان مغناطیسی همراه با میدان مغناطیسی برای اینکار استفاده میشود.

برای آگاهی بیشتر در مورد لامپهای میکروویو میتواند به پیوستهای این کتاب رجوع کنید.

شکل ۳-۳- مدار یک منبع تغذیه مقاومتها همه نیم وات میباشند. و واحد کنترل برای فرستنده گیرنده میکروویو آماتور

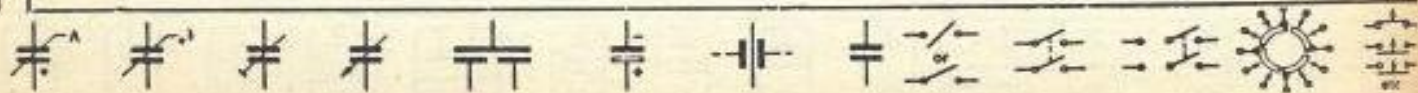


- CR1 - 1000 PHV, 1-A.
- F1 - 1-A fuse and holder.
- J1 - Shielded microphone jack.
- J2 - Coaxial chassis fitting.
- L1 - 10-H 110-mA choke (Stancor C-1001).
- R1 - 0.5-megohm potentiometer, audio taper.
- R2 - 0.2-megohm potentiometer, carbon, linear taper.
- R3 - Meter shunt; value to suit meter used, for 1-mA range.
- R4 - 5000 ohms, 20 watts, with slider.
- RFC1 - 15 turns No. 24 enamel on 1/2-inch form. (Any rf choke for 30 to 100 MHz is suitable.)
- S1 - Toggle switch.
- S2 - Toggle switch.
- S3 - Single-pole 3-position wafer switch.
- S4 - Toggle switch.
- T1 - 270-0-270 volts at 70 mA min., 5 volts, 3 A, 6.3 volts, 3.5 A (Stancor PC-8405).
- T2 - 6.3 volts, 1.2 A (Stancor P-6134).

Semiconductor Devices

فصل چهارم نیمه هادیها

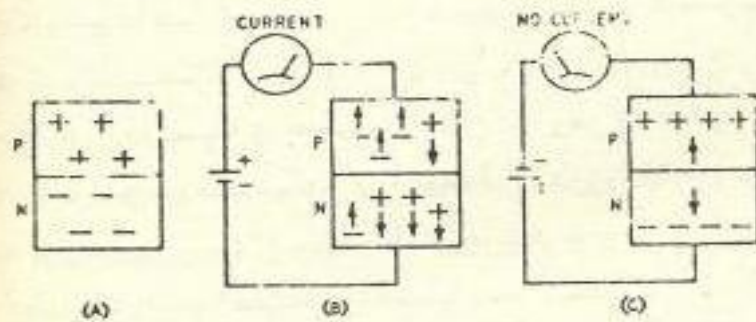
- گفته شد اجسام به سه دسته هادیها (رساناها) — عایقها (نارساناها) و نیمه هادیها تقسیم میشوند. نیمه هادیها موادی هستند که ضریب هدایت (Conductivity) بین هادیهای خوب (مثلاً مس) و عایقهای خوب (مثل کوارتز) قرار دارد. بعضی از این مواد (ژرمانیوم و سیلیکون) را میتوان پروراند و الکترونیک حالت جامد (Solid State) از آنها استفاده نمود. این مواد بخوبی میتوانند وظائف لامپهای ترم ایونیک را انجام دهند. اندازه کوچک، عمر زیاد و قدرت مصرفی کم این وسایل موجب شده که این وسایل کاربردهای فراوانی پیدا کنند.
- ضریب هدایت یک ماده متناسب با تعداد الکترونهاى آزاد در ماده می باشد. کریستالهای ژرمانیوم و سیلیکون خالص چند الکترون آزاد دارند. بهر حال چنانچه مقدار مناسب و کنترل شده ای از یک ماده دیگر بعنوان ناخالصی (مواد دیگری که ساختمان اتمی متفاوتی با اینها دارند مثل آرسینک و آنتیموان) به این مواد اضافه گردد، تعداد الکترونهاى آزاد آن و در نتیجه ضریب هدایت آن افزایش می یابد. بعضی دیگر از مواد هستند که چنانچه بعنوان ناخالصی از آنها استفاده گردد (مثل آلومینیوم، گالیوم و یا ایندیم) کمبود الکترون در ماده بوجود می آید و یا بعبارت دیگر میتوان گفت حفره (Hole) در آن حاصل میگردد (حفره بمعنی جای خالی الکترون می باشد).
- حفره های موجود در یک ماده همانند الکترونها ناقل جریان هستند و در نتیجه با افزایش تعداد حفره ها (مقدار ناخالصی) در یک نیمه هادی ضریب هدایت آن نیمه هادی نیز زیاد میشود. آن نیمه هادی که هدایتش در اثر وجود الکترون آزاد است نوع N (N type) و آنکه در اثر وجود حفره یا کمبود الکترون هدایت میکند نیمه هادی نوع P (P type) نامیده میشود.



هدایت در اثر حفره و الکترون

Electron and Hole Conduction

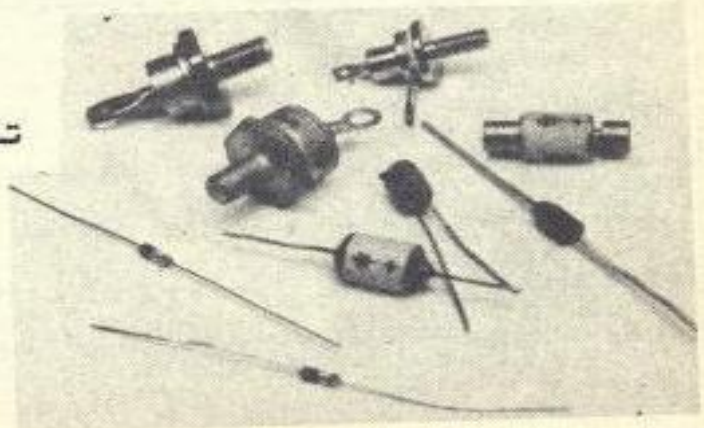
اگر یک قطعه نیمه هادی نوع P به یک قطعه نیمه هادی نوع N پیوند زده شود (شکل ۱-۴) و ولتاژی به دو انتهای آن اعمال گردد، دو حالت اتفاق خواهد افتاد. اگر باتری بهمانند شکل B بسته شود، یعنی قطب مثبت به نوع P و قطب منفی به نوع N، جریانی در مدار خارجی برقرار خواهد شد و از پیوند تا مرز اشتراک دو قطعه خواهد گذشت. نحوه برقراری این جریان چنین است: الکترونهای (در شکل با علامت منفی مشخص



شکل ۱-۴ - یک پیوند P-N و رفتار آن در هنگام هدایت و قطع

شده اند) موجود در قطعه N از پیوند گذشته و به قطعه P میرسند و سپس به قطب مثبت باتری جذب میشوند، همچنین حفره های (در شکل با علامت مثبت نشان داده شده اند) قطعه P در اثر جاذبه قطب منفی باتری از اتصال دو قطعه عبور نموده و جذب قطب منفی میگردند. بنابراین این جریان در اثر عبور الکترونها (در یک جهت) و حفره های (در جهت مخالف) در مدار برقرار میگردد.

اگر قطبین باتری (پلاریته باتری) معکوس گردد (شکل C) الکترونهای اضافی موجود در ماده N از محل اتصال (فصل مشترک) دو قطعه دور



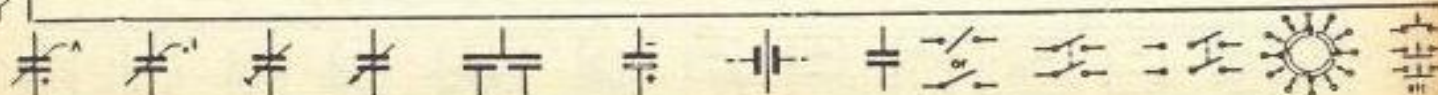
تعدادی از دیودهای ژرمانیوم و سیلیسیوم. آنهایی که بزرگترند برای آمپرهای بالاتر هستند.

- ① میشود و نیز حفره‌های موجود در ماده P توسط پتانسیل منفی باتری از محل اتصال دور می‌گردد. بدین ترتیب ناحیه اتصال (Junction Region) بدون حامل‌های جریان و بالطبع بدون هیچ قدرت هدایت، خواهد شد. عبارت دیگر یک ناحیه بدون بار در محل اتصال بوجود می‌آید که به آن ناحیه تخلیه (depletion) گفته میشود.
- ② با توجه به مطالب فوق میتوان گفت با اتصال یا پیوند یک قطعه نیمه هادی نوع P بیک قطعه نوع N یک رکتیفایر یا یکسو کننده بوجود می‌آید.
- ③ این دیود از نظر جریان معکوس با دیود لامپی متفاوت است. جریان معکوس دیود نیمه هادی هر چند خیلی کوچک است، ولی قابل اندازه گیری است.
- ④ جریان معکوس در اثر وجود حامل‌هایی از نوع مخالف آنچه که اصولاً " ماده را مشخص می‌سازد، میباشد.
- ⑤ اتصال باتری بفرم (B) بنام پلاریزاسیون مستقیم دیود و بفرم (C) بنام پلاریزاسیون معکوس (Reverse) گفته میشود. چنانچه گفته شد در پلاریزاسیون معکوس یک ناحیه بدون بار در محل اتصال بوجود می‌آید که این ناحیه درست شبیه یک خازن میباشد که در صفحه اش بفاصله خیلی کم قرار گرفته اند که عملاً " مقدارش خیلی بزرگ خواهد بود. وجود این خازن بالاترین فرکانسی را که خازن مورد استفاده قرار میگیرد، محدود می‌سازد.
- ⑥ تعداد الکترون‌ها و حفره‌های موجود در یک ماده بستگی به درجه حرارت دارد و چون مقدار هدایت یک ماده متناسب با تعداد الکترون‌ها و حفره‌ها است، بالطبع نیمه هادی آلمانی است بسیار حساس تر از یک دیود لامپی نسبت به درجه حرارت.
- ⑦ مقدار خازن محل اتصال را میتوان با کوچک کردن مساحت محل اتصال کاهش داد. برای اینکار از اتصال نقطه ای (Point Contact) استفاده میشود، بدین ترتیب که یک قطعه نوع N را بعنوان بدنه انتخاب کرده و یک قطعه کوچک نوع P را بر آن اتصال میدهند.

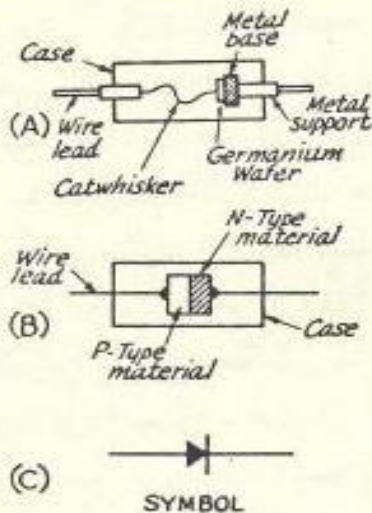
دیودهای نیمه هادی

SEMICONDUCTOR DIODES

- ① دیودهای اتصال نقطه ای و پیوندی (Junction) در بسیاری موارد بجای دیودهای لامپی (Tube Diodes) استفاده میشوند.
- ② ساختمان چنین دیودهایی در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.



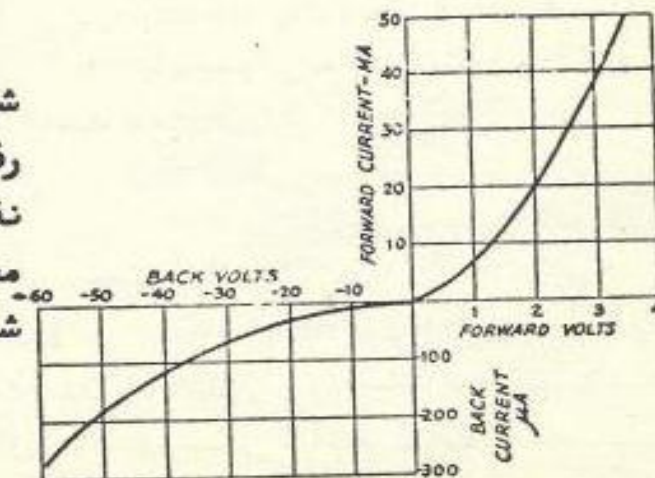
ژرمانیوم وسیلیکون از مواد ی هستند که بطور وسیع کاربرد دارند ، کاربرد سیلیکون بیشتر در دیود های مخلوط کننده (Mixer) ماکروویو . میباشد . در کاربرد های فرکانس رادیویی ، دیود نیمه هادی در مقایسه با دیود لامپی دارای مزایایی است : یکی اینکه خازن داخلی دیود های نیمه هادی خیلی کوچک (کمتر از یک پیکوفاراد) میباشد و دیگری اینکه این دیود ها احتیاج به گرم کننده ندارند ، در نتیجه توان مصرفی اینها خیلی کمتر میباشد .



شکل ۲-۴ - یک دیود اتصال نقطه ای (سبیل گره ای) ژرمانیوم (بالا) سیلیسیوم (وسط) - نشانه دیود (پائین) - این نشانه جهتی را که مقاومت کمتری دارد ، مشخص میکند .

مشخصه دیود ژرمانیوم جریان نسبتاً زیاد در قبال ولتاژ اعمالی کم در گرایش مستقیم و جریان کم در گرایش معکوس در رازای ولتاژ اعمالی زیاد میباشد . منحنی مشخصه یک دیود معمولی در شکل ۳-۴ آمده است . مقاومت دینامیکی دیود چه در جهت مستقیم ، چه در جهت معکوس توسط تغییر جریانی که در اثر ولتاژ اعمالی حاصل میشود محاسبه میگردد . برای ولتاژهای کوچک اعمالی ، مقاومت دینامیکی در گرایش مستقیم (مقاومت

شکل ۳-۴ - منحنی مشخصه (طرز رفتار) دیود ژرمانیوم اتصال نقطه ای . در دو جهت مستقیم و معکوس و مقیاس مختلف بکار برده شده است .



- ⊕ مستقیم (حدود ۲۰۰ اهم و کمتر می باشد . مقاومت معکوس (back resistance) بستگی به ولتاژ انتخاب شده مقدار برگشتی دارد . این مقاومت میتواند از حدود چند هزار اهم تا چندین مگا اهم داشته باشد . در کاربرد هایی نظیر میتر های فرکانس رادیویی مثل ولت متر ، موج سنج و غیره که در آنها مقدار بار ممکن است کوچک و ولتاژ اعمالی حدود چندین ولت باشد ، مقدار این مقاومتها به همراه ولتاژ اعمالی تغییر میکند .
 د یود های پیوندی

Junction Diodes

- ⊕ د یود های پیوندی (Junction diodes) از جنس سیلیکون و ریکسوکننده ها کاربرد فراوان دارند . بسته به طرح دیود ، این دیود ها قادرند جریان هایی تا ۴۰ و ۵۰ آمپرو ولتاژ های معکوس بیشتر از ۲۵۰۰ ولت را یکسو کنند . این دیود ها را میتوان بسته به مدار بطور موازی یا سری قرار داد ، که در این صورت قابلیت آنها افزایش خواهد یافت .
 ⊕ در مورد کاربرد دیود های سیلیکونی بایستی ملاحظاتی را مد نظر داشت ، مثلاً " در مورد حرارت ، اگرچه بسیاری از این دیود ها تا درجه حرارت هایی حدود ۱۵۰ درجه حرارت بخوبی کار میکنند . یک دیود پیوندی برای اینکه شروع بکار کند (برای غلبه بر پتانسیل اتصال) احتیاج به ولتاژی حدود ۴/۰ تا ۷/۰ ولت دارد .

اندازه گذاری

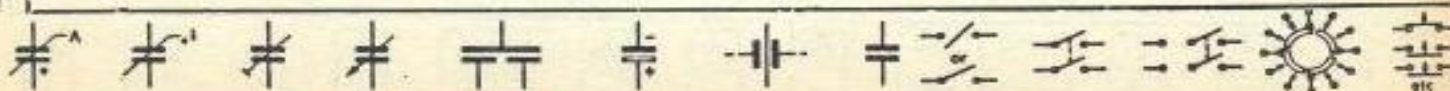
Ratings

- ⊕ دیود های نیمه هادی بر حسب حد اکثر ولتاژ معکوس Peak Inverse Voltage (PIV یا PRV) و حد اکثر جریان یکسو شده اندازه گذاری میشود . ولتاژ معکوس ولتاژی است که در جهت عکس (پلاریزاسیون معکوس) به دیود اعمال میگردد .
 ⊕ گاهی بعضی از انواع دیود ها را توسط جریان مستقیم و معکوس مشخص میکنند . حد اقل مقدار جریان مستقیم را معمولاً " برای یک ولت اعمال شده مشخص میکنند .

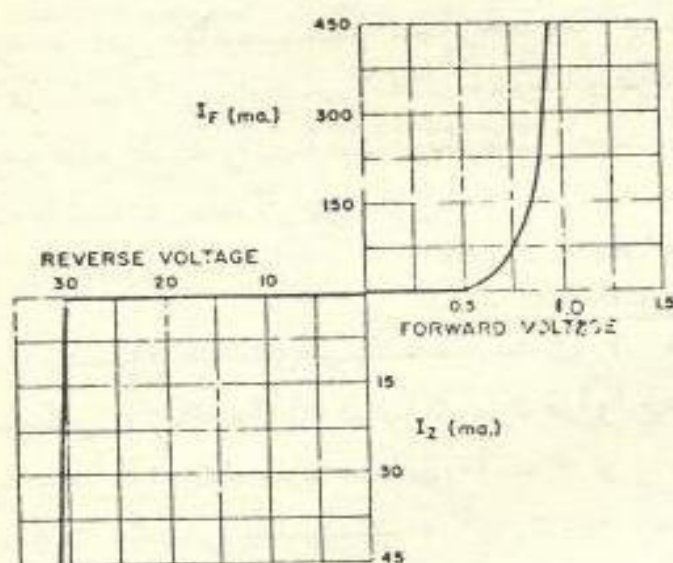
دیود های زنر

Zener Diodes

- ⊕ دیود های زنر (Zener diodes) نوع بخصوصی دیود سیلیکونی است که مشخصه ای شبیه شکل ۴-۴ دارند . همچنانکه از منحنی دیده میشود در گرایش معکوس ، منحنی می شکند یعنی از این ولتاژ به



بعد هر چه جریان بیشتر گردد ولتاژ ثابت میماند. این ولتاژ، ولتاژ شکست (break down) یا ولتاژ زنی نامیده میشود. بنابراین



شکل ۴-۴ - منحنی مشخصه دیود
زیر - در این مثال ولتاژ در جهت
معکوس در مقدار ۳۰ ولت ثابت
میماند به همین جهت دیود فوق به نام
دیود زیر ۳۰ ولت نامیده میشود.
این منحنی را با منحنی ۳-۴ مقایسه
کنید.

دیود زنی میتواند ولتاژ را ثابت نگه دارد که این اجازه میدهد که از دیود زنی بعنوان ولتاژ مرجع استفاده گردد.

ولتاژهای زنی از چند ولت تا چندین صد ولت و قدرتی از کسری از وات تا ۵۰ وات وجود دارند.

دیودهای زنی را میتوان بطور سری متصل کرد که در این صورت مزیت حرارتی نسبت به یک دیود بهتر و همچنین قدرت تحملی آنها بیشتر میگردد.

در شکل ۴-۵ کاربردهایی از دیود زنی داده شده است. این کاربردها از معمولی ترین مورد استفاده دیود زنیها میباشد. دیودهای زنی موارد استفادههای دیگری نیز دارند که نشان داده شده است. در (E) زنی گرایش یک ترانزیستور را تأمین کرده است.

دیودهای خازنی قابل تغییر با ولتاژ

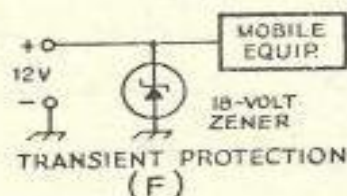
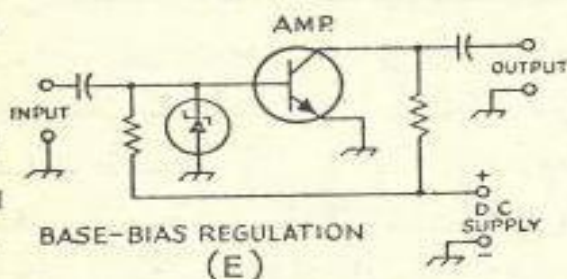
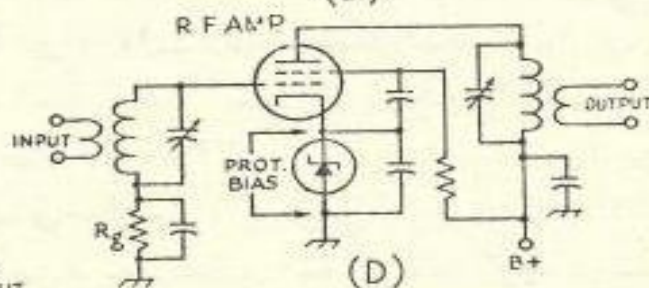
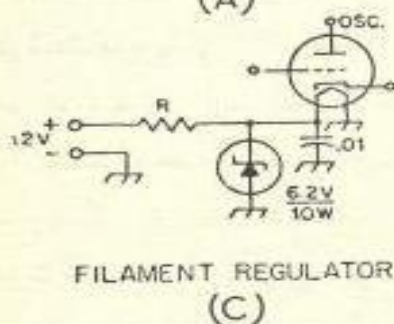
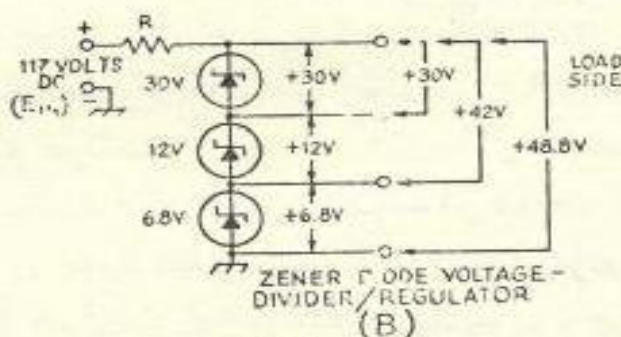
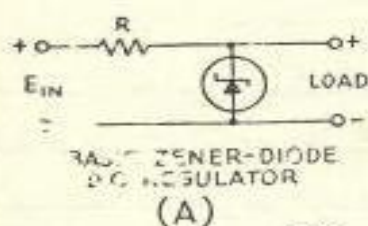
Voltage-Variable Capacitor Loads

خازنهای متغیر با ولتاژ، وریکاپها (Varicaps) یا وراکتورها (Varactors) دیودهای پیوندی هستند که همانند خازنها عمل میکنند و این در صورتی است که در جهت عکس گرایش باید. این دیودها مصارف فراوان دارند، زیرا مقدار کاپاسیتانس واقعی آن بستگی به مقدار ولتاژ مستقیم (dc bias Voltage) اعمال شده به آن دارد.

چنانچه ولتاژ گرایش اعمالی به یک دیود خازنی معمولی از صفر تا ۱۰۰ -

- ولت تغییر کند مقدار ظرفیت آن تا ۱۰ برابر افزایش خواهد یافت که مقدار جریان مصرفی آن حدود چند میکروآمپر میباشد.
- کاربردهای این دیود عبارتند از: مدارهای کنترل از راه دور (remote Control)، مدارهای تنظیم شده (tuned)، کنترل اتوماتیک فرکانس اسیلاتور محلی، مدولا تورهای فرکانس برای کمونیکاسیون و تنظیم سویچ (Sweep). نام دیگری برای دیودهای وری کاپ (Varicap = Variable Capacitor) وجود دارد و آن اپی کپ (Epicap) میباشد.

- د فرستنده هپا نیز این دیود بعنوان یک ضرب کننده فرکانس باراند مان بالا کاربرد دارد (frequency multiplier). در شکل ۴-۶ مدار و برابر کننده و سه برابر کننده فرکانس در A و B نشان داده شده است. در این مدارها فرکانس اصلی در حلقه ورودی (Input

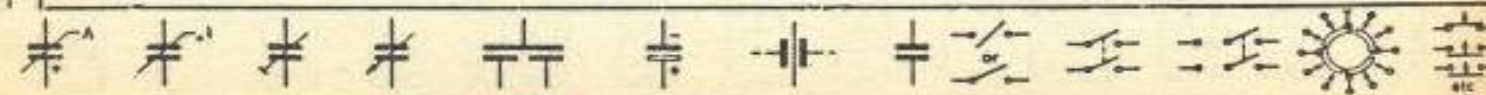


در مدار (D) یک زنرگرایش تقویت کننده قدرت

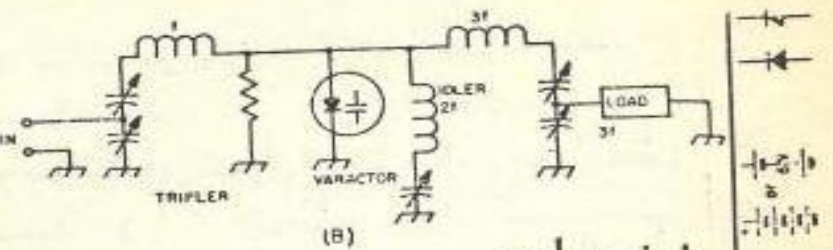
را تشکیل میدهد.

شکل ۴-۵ کاربردهای مختلفی از رگوله شده مختلفی حاصل شوند. در دیود زنر (A) - یک رگولا تور (C) فیلمان یک لامپ توسط یک ولتاژ ساده - در (B) چندین رگولا تور زنری تغذیه میشود تا بدین دیود زنر سری شده اند تا ولتاژهای وسیله پایدار اسیلاتور افزایش و

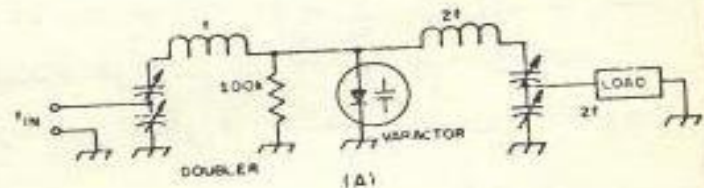
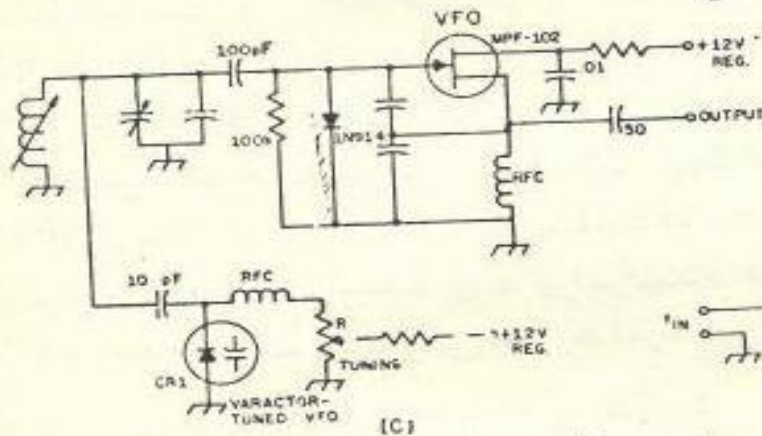
هم آن کاهش یابد.



شکل ۴-۶ - چند برابرکننده‌های
فرکانس با استفاده از وراکتور (A)
(B) و (C) در شکل (C) دیود
وراکتور برای تغییر دادن فرکانس یک
VFO بکاررفته است.



ظرفیت این
دیود با تغییر ولتاژ مستقیم اعمالی
به آن تغییر میکند.

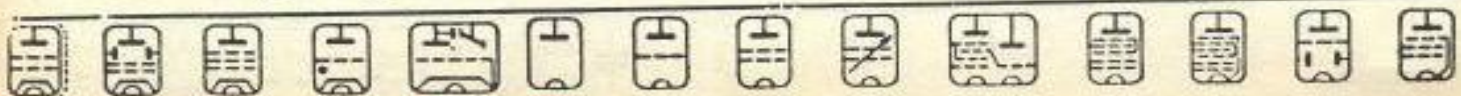


loop جاری میگردد. توسط وری کاپ هارمونیک‌های این فرکانس
تولید شده و سپس توسط یک فیلتر فرکانس دلخواه انتخاب شده و به بار
داده میشود. در مدار سه برابرکننده (B) یک مدار حذف کننده
هارمونیک دوم (Idler) مورد نیاز است که برای هارمونیک دوم
تنظیم گردیده است. در مورد مدار سه برابرکننده رسیدن به راندمان
۷۵ درصد و قدرتی حدود ۱۰ تا ۲۵ وات زیاد مشکل نیست.

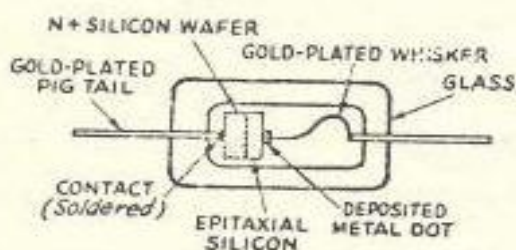
در شکل ۴-۶ - c نشان داده شده است که چطور یک دیود خازنی
متغیر با ولتاژ را میتوان برای تنظیم یک VFO بکاربرد. این دیودها را
میتوان همچنین برای تنظیم مدارهای فرکانس رادیویی (RF circuits)
بکاربرد. بواسطه اندازه کوچک این دیودها، اندازه مدارهای تنظیم
شده خیلی کوچک شده است. در هنگام طرح مدارهای تنظیم شده به
ضریب مرغوبیت (Q) این دیودها باید توجه داشت. دیودهای
ساخته شده توسط کارخانجات دارای ضریب مرغوبیت‌هایی بیش از ۲۰۰
در فرکانس ۵۰ مگاهرتز میباشند.

دیودهای با حامل داغ

دیودهای با حامل داغ (Hot carrier diode) یک
نیمه هادی فرکانس بالا و میکروویو میباشد که مشخصه هایش مابین مشخصه

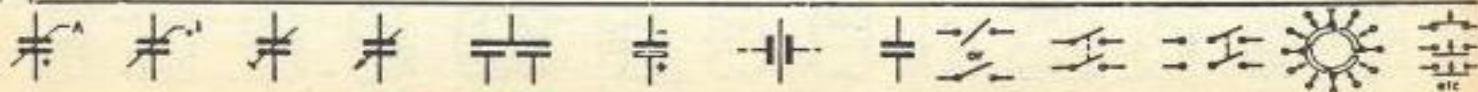
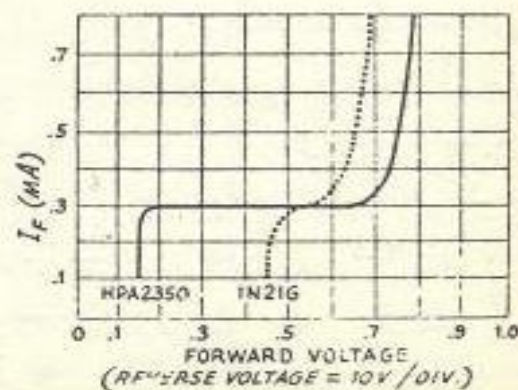


- های دیود پیوندی و دیود اتصال نقطه ای است . این دیود برای کلید زنی (Switching) با سرعت زیاد ایده ال است و همچنین در مدارهای مخلوط کننده (Mixer) ، آشکارسازها (Detector) و یکسو کننده ها (Rectifier) در فرکانسهای میکروویو از آنها استفاده میشود . در اصل این دیود یک یکسو کننده ترکیبی است از فلز و نیمه هادی . فلزاتی که در ترکیب این دیود بکار میروند ، پلاتینیوم ، نقره ، طلا یا پالادیوم میتوانند باشند . نیمه هادی این دیود سیلیکون است .
- دیود با حامل داغ از یک مانع شاتکی (Schottky) استفاده میکند در حالی که در دیود با اتصال نقطه ای (نام دیگر دیود سبیل گریه ای) از یک باریکه فلزی سبیل مانند استفاده میشود که این فلز سبیل مانند برای برقرار کردن اتصال با نیمه هادی میباشد . در این دیود یک سطح مسطح سبب ایجاد توزیع یکنواخت پتانسیل و جریان در محل اتصال میگردد . بدین ترتیب نتایجی ببارمی آید نظیر کاهش مقاومت سری ، قدرت تحویلی بیشتر ، نویز کمتر ، محافظت در مقابل پالسهای گذرا . شمایی از برش مقطع یک دیود با حامل داغ در شکل ۷-۴ نشان داده شده است . شکل ۸-۴ نموداری است از مقایسه دیود اتصال نقطه ای ، (Point Contact) و دیود با حامل داغ (Hot Carrier) . برای توضیح مفصل در این مورد رجوع کنید به یادداشت شماره ۹۰۷ کارخانه HP .
- (Hewlett Packard Application Note 907)



شکل ۷-۴ - مقطع یک دیود با حامل داغ .

شکل ۸-۴ - این منحنی ها مقایسه ای هستند بین مشخصات یک دیود اتصال نقطه ای (1N21G) و دیود با حامل داغ HPA2350 .



د یودهای PIN

PIN Diodes

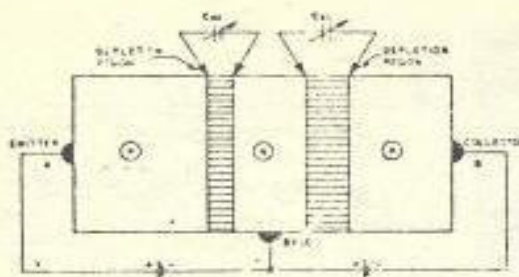
نوع دیگری از دیودها، دیود پین (Pin diode) میباشد. میتوان دیود را به یک مقاومت متغیر تشبیه نمود تا یک دیود. در فرکانسهای که این دیود مورد استفاده دارد (فرکانسهای خیلی بالا) این دیود نه میتواند سیگنال اعمالی را یکسو نماید نه هارمونیکهای آنرا ایجاد کند. مقاومت آنرا میتوان با یک سیگنال فرکانس پائین یا جریان مستقیم (dc) کنترل نمود. چنانچه به این دیود سیگنال فرکانس بالا اعمال شود، این دیود همانند یک مقاومت ثابت رفتار میکند. مقاومت دینامیکی یک دیود پینی معمولاً "بیشتر از ۱۰ کیلو اهم و مقدار کاپاسیتانس آن خیلی کوچک میباشد. دیودهای پینی را بعنوان مقاومتهای متغیر سری یا موازی در خطوط انتقال مایکروویو و همچنین در گیرندههای FM، VHF و UHF بعنوان دیودهای کنترل اتوماتیک بهره AGC (Automatic Gain Control) در رابطه با سیگنال ورودی بکار میرود.

TRANSISTORS

ترانزیستورها

شکل ۹-۴ یکساند ویجی است از دو لایه نوع P و یک لایه نوع N در بین آنها. میتوان آنرا بصورت دو دیود PN پشت به پشت در نظر گرفت. چنانچه به لایه P طرف چپ ولتاژ (گرایش) مثبت اعمال گردد، حفرهها از طرف راست به چپ و الکترونهای از چپ بر است (از ماده N) حرکت میکنند و در نتیجه جریان جاری میشود. بعضی از حفرههایی (hole) که به ماده N میروند با الکترونهای ترکیب شده و خنثی میشوند ولی تعدادی از آنها به حرکت خود ادامه میدهند و از اتصال گذشته به لایه سمت راست پیوند میبرند.

اگر ترکیب PN سمت راست گرایش منفی داده شود (همچونکه نشان داده شده) هیچ جریانی در این مدار برقرار نخواهد بود. در اینحال در محل پیوند الکترونهای اضافی وجود دارد که بطرف نقطه A و حفرههای اضافی نیز هست که بطرف نقطه B حرکت میکنند. بنابراین هر چند که این قسمت ساندد ویجی طوری گرایش یافته که از برقرار شدن جریان (هدایت) جلوگیری میشود ولی باز جریانی جاری میگردد. بیشتر جریان بین A و B میباشد و نمیتواند از طریق اتصال مشترک (متصل به N) از ساندد ویجی



شکل ۹-۴ — پیوندهای یکتا ترانزیستور خازنهای نشان داده شده بین پیوندها با سیگنال ورودی تغییر میکند.

خارج گردد.

ترکیب نیمه هادیها به فرم فوق بنام ترانزیستور (Transistor) نامیده میشود و سه قسمت آن بنام امیتر یا پخش کننده (Emitter) بیس یا پایه (Base) و کلکتور یا جمع کننده (Collector) نام دارند. دامنه جریان کلکتور دامنه جریان امیتر بستگی دارد، یعنی جریان کلکتور توسط جریان امیتر کنترل میگردد.

در حوالی هر اتصال (پیوند) P-N ناحیه ای وجود دارد که به آن ناحیه تخلیه (Depletion) یا انتقال (Transition) گفته میشود. مشخصات این ناحیه شبیه یک لایه دی الکتریک (عایق) است و ضخامت آن بستگی به ولتاژ کار دارد. نیمه هادی و طرف ناحیه تخلیه همانند صفحات خازن خواهند بود. مقدار ظرفیت بین پایه و امیتر با C_{be} و بین پایه و کلکتور با C_{bc} نشان داده میشود (شکل ۹-۴). تغییرات سیگنال و ولتاژ کار سبب تغییر غیر خطی در مقدار ظرفیت این خازنها میگردد. در هنگام طرح بعضی از مدارهای الکترونیکی بایستی به این خازنها توجه داشت. یک مقاومت نیز وجود دارد و آن مقاومت پایه — امیتر (r_b) میباشد. ظرفیت پیوند و مقاومت r_b حد فرکانس بالا (بالا ترین فرکانسی که ترانزیستور کار میکند) یک ترانزیستور را مشخص میسازد. این مقاومت و خازن یک مدار RC تشکیل میدهند که ثابت زمانی آن مقدار فرکانس بالا را تعیین میکند.

تقویت قدرت Power Amplification

چون کلکتور بطور معکوس گرایش داده میشود، مقدار مقاومت کلکتور پایه زیاد میباشد. از طرف دیگر جریان کلکتور و امیتر تقریباً برابر است. به این ترتیب میتوان گفت قدرت در مدار کلکتور بزرگتر است، از قدرت در مدار امیتر، زیرا چنانکه میدانید $P = I^2 R$ ، بنابراین چنانچه جریانها برابر باشد آن قدرتی بیشتر است که مقاومتش بیشتر باشد. در عمل مقاومت امیتر حدود چند صد اهم در حالی که مقاومت کلکتور صدها یا هزارها برابر





مجموعه ای از انواع
ترانزیستورهای دوقطبی
ویک قطبی (رفت) به
انواع فرمهای ظاهری
توجه کنید .

بیشتر از آنست . بدین ترتیب بهره قدرتهایی حدود ۲۰ تا ۴۰ دسی بل
یا حتی بیشتر امکان پذیر است .

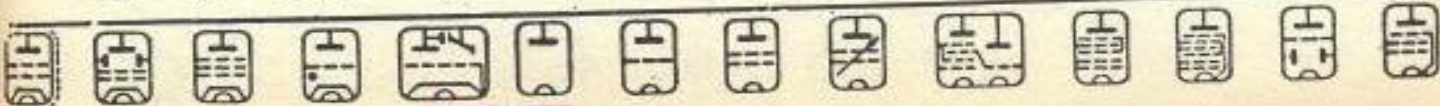
انواع ترانزیستورها

Type

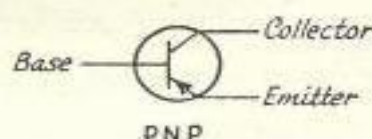
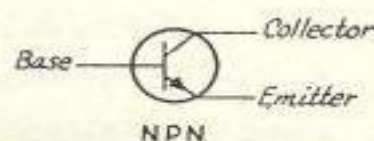
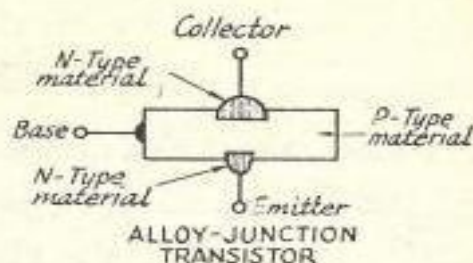
ترانزیستورها میتوانند یکی از دو نوع نشان داده شده در شکل ۱۰-۴
باشند ، یعنی NPN یا PNP .

دو حرف اول NPN و PNP مشخص کننده پلاریته ولتاژ اعمال
شده به امیتر و کلکتور در شرایط کار عادی است . مثلاً "در یک ترانزیستور
PNP ، امیتر نسبت به کلکتور پایه مثبت میباشد و کلکتور نسبت به امیتر
وپایه منفی است .

کارخانجات سازنده ترانزیستور پیوسته در پی آنند که کیفیت ترانزیستور
هارا بهبود بخشند . قابلیت اعتماد بیشتر ، قدرت بیشتر ، فرکانس کار
بالا تر ، مشخصه یکنواخت از جمله پارامترهایی است که برای ترانزیستورها
مهم هستند . پیشرفتهای اخیر همگی در ترانزیستوری جمع شده اند بنام
Overlay Transistor که دارای چندین امیتر هستند که همگی
آنها در یک پوشش قرار گرفته اند . در این ترانزیستورها مقاومت پایه -
امیتر کم شده است . همچنین ثابت زمانی ورودی که توسط مقاومت rb
و خازن اتصال مشخص میشود کاهش یافته است . ترانزیستور Overlay
در فرکانسهای خیلی بالا (VHF) و مافوق بالا (UHF) کاربرد
دارد ، همچنین میتواند در فرکانسهای بالا ترا یک گیگاهرتز و قدرتهای بالا
کار کند . این ترانزیستورها در برابر کنند هها (doublers) و
سه برابر کنند ههای فرکانس (Triplers) بکار میروند و قادرند



شکل ۱۰-۴ - پیوندهای یک ترانزیستور و نشانه های آن . تعدادی از ترانزیستورهای رایج بازار - دو قطبی و یک قطبی (فت) - توجه کنید که ظاهر ترانزیستورها شکلهای مختلفی دارند .



بهره قدرت مناسبی در مدار داشته باشند .

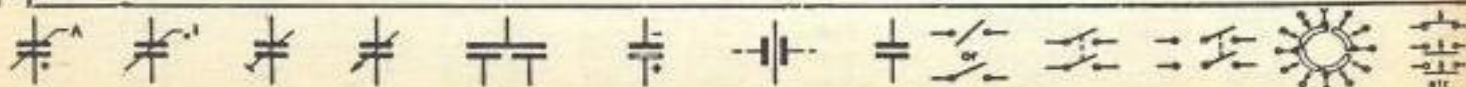
یک ترانزیستور چند امیتری (multi-emitter) دیگر که در فرکانسهای از HF گرفته تا UHF کاربرد دارد و رادیو آماتورها علاقه خاصی به آن دارند بنام BET یا ترانزیستور امیتر متعادل

(Balanced-Emitter Transistor)

یا ترانزیستور بالاست (Ballasted Transistor) میباشد . محفظه این ترانزیستور شامل چندین تریود نیمه هادی میباشد که پایه ها و کلکتورهایشان بطور موازی بهم بسته شده اند . تمامی امیترها به یک مقاومت که در داخل بدنه ترانزیستور قرار داده شده (معمولاً " یک اهم است) بسته شده اند (built-in resistor) . این مقاومت برای محدود کردن جریان و همچنین یک ضریب اطمینان در مواقع بارگذاری بیش از حد (Overload) و یا شرایط عدم انطباق (mismatch) میباشد . چون تمامی امیترها به یک نقطه اتصال یافته اند ، بنابراین مقاومت امیتر به مقدار کسری از اهم خواهد رسید . (چنانچه مقاومت مقدار قابل ملاحظه ای داشته باشد بهره مدار کاهش خواهد یافت .)

اکثر ترانزیستورها از نوع ترانزیستورهای پیوندی هستند . انواع مختلف نامهای گوناگونی دارند از جمله Junction Alloy ، Mesa

(mesa) و پلانر (Planar) . اگرچه مشخصات این ترانزیستورها مختصری بایکدیگر متفاوتند ولی اساساً از یک خانواده هستند و بطور ساده خواص فیزیکی و تکنیکهای ساخت مختلف در آنها وجود دارد .



مشخصات ترانزیستور

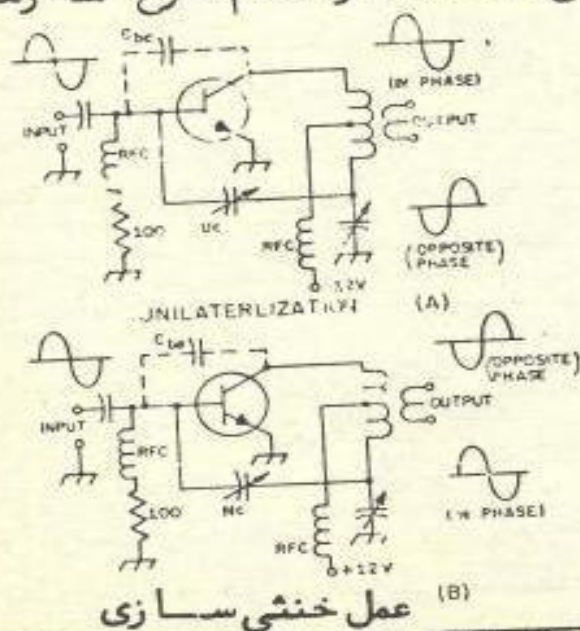
Transistor Characteristics

یک مشخصه مهم در یک ترانزیستور بتا (Beta) ، B ، یا ضریب تقویت جریان (Current Amplification Factor) است که گاهی به h_{FE} (نسبت انتقالی جریان پیشرو استاتیکی) یا h_{fe} (نسبت انتقالی جریان پیشرو در حالت سیگنال کوچک) نمایش داده میشود. هر دو نشانه مربوط به آرایش امیتر مشترک (Grounded - emitter) میباشد. بتا (Beta) عبارتست از نسبت جریان کلکتور به جریان پایه. بنابراین چنانچه جریان پایه یک میلی آمپر و جریان کلکتور ۱۰۰ میلی آمپر (100mA) باشد، بتا برابر ۱۰۰ خواهد بود. بتاهای معمولی برای ترانزیستورهای پیوندی از ۱۰ تا چندین صد میباشد.

آلفا (Alpha) در مورد ترانزیستور عبارتست از نسبت جریان امیتر به جریان کلکتور. نشانه های h_{FB} (نسبت انتقالی جریان پیشرو در حالت استاتیک) و h_{fb} (نسبت انتقالی جریان پیشرو در حالت سیگنال کوچک) معمولاً برای این نسبت در مورد آرایش پایه مشترک (Common base) استفاده میشود. هرچه جریان پایه کوچکتر باشد مقدار جریان کلکتور و امیتر بهم نزدیکتر و مقدار آلفا به واحد نزدیکتر میگردد. مقدار آلفا برای یک ترانزیستور پیوندی حدود ۰/۹۲ تا ۰/۹۸ می باشد.

ترانزیستورها دارای مشخصه فرکانسی است که در هنگام طرح مدارها

شکل ۱۱-۴ اثرات زمان گذرا (در رابطه با خازن کلکتور-پایه) میتواند سبب فید بک مثبت گردد (A). معمولاً "سیگنال موجود در کلکتور ترانزیستور با سیگنال پایه در فاز مخالف همدیگرند. فید بک مثبت را میتوان با استفاده از (Unilateralization) تصحیح کرد، یعنی با اعمال مقدار مساوی از سیگنال فاز مخالف به پایه از طریق U_c .



عمل خنثی سازی

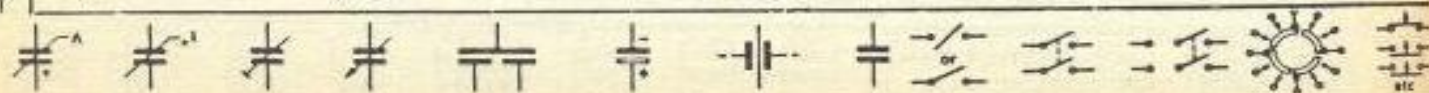
مهم می باشد . شاخه f_T (اف - تی) بنام حاصلضرب پهنای باند در بهره (Gain Bandwidth Product) برای آرایش امیتر مشترک ترانزیستور می باشد . این فرکانسی است که بهره ترانزیستور در آن برابر واحد میگردد . لفظ آلفای قطع (alpha cutoff) معمولاً برای بیان فرکانس حد بالائی ترانزیستور بکار میرود و این مربوط به آرایش امیتر مشترک می باشد . آلفای قطع نقطه ای است که بهره در فرکانس یک کیلو هرتز برابر 70.7 / خواهد بود .

عامل دیگری که فرکانس حد بالایی ترانزیستور را محدود میسازد زمان گذرا (Transit Time) می باشد . این مدت زمانی که احتیاج است تا جریان از امیتر به کلکتور نیمه هادی جاری گردد . هرچه مقدار ماده پایه ضخیم تر باشد زمان گذرا طولانی تر خواهد بود . بنابراین هر چه پایه ضخیم تر باشد مقدار تغییر فاز سیگنال گذرنده از ترانزیستور بیشتر خواهد شد . در فرکانسهای حوالی f_T و آلفای قطع مقداری تغییر فاز حاصل خواهد شد ، این مقدار میتواند 180 درجه باشد . این موضوع مبحثی را پیش میکشد بنام تغذیه برگشت مثبت یا فید بک مثبت (back - Positive Feed) زیرا مقدار خازن داخلی ، C_{bc} ، (شکل ۱۱-۴) مقداری از سیگنال هم فاز کلکتور را به پایه ترانزیستور برگشت میدهد . فید بک مثبت سبب ناپایداری و نوسان میگردد و در اکثر حالات فید بک مثبت ، مدارهای تنظیم شده (Tuned) ورودی و خروجی یک تقویت کننده RF در مقدار مشخصی قفل میکند ، بطوریکه تقریباً تنظیم آنها دقیقاً غیر ممکن می باشد . با استفاده از یک مدار خنثی کننده بنام " یک جانبی کننده " (Unilateralization) تصحیح نمود . در این حالت شرایط فید بک از بین میرود ، بعبارت دیگر این مدار شرایط ایجاد فید بک را خنثی میکند . این مدار شامل یک عنصر مقاومتی و یک عنصر خازنی وجود دارد که بدین ترتیب میتوان یک مدار را از دو جانبی (Bilateral) به یک جانبی (Unilateral) تبدیل کرد . از طرف دیگر فید بک منفی که توسط خازن C_{bc} ایجاد میشود ، نیز میتوان تصحیح نمود . مثالهایی از هر دو روش در شکل ۱۱-۴ داده شده است .

منحنی های مشخصه

Characteristic Curves

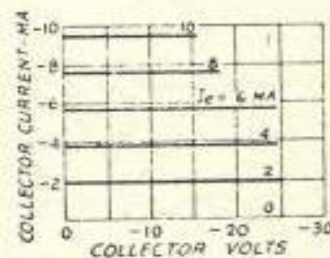
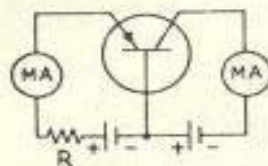
مشخصات کار ترانزیستور را میتوان توسط یک سری منحنی (Curve)



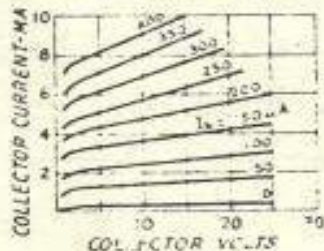
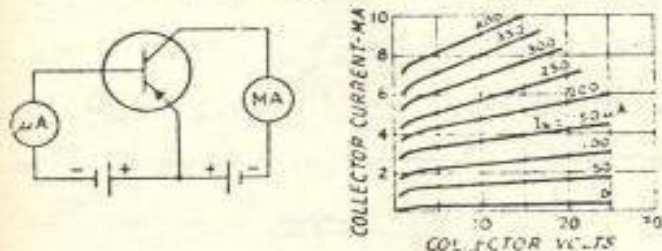
نشان داد که به آنها منحنی های مشخصه ترانزیستور گویند . یکی از این منحنی ها در شکل ۴-۱۲ آمده است . این منحنی نشان می دهد که چطور جریان کلکتور بر حسب ولتاژ کلکتور تغییر میکند (در حالیکه جریان امیتر ثابت است) . عملاً "جریان کلکتور کاملاً" به جریان امیتر بستگی دارد و از ولتاژ کلکتور مستقل است . فاصله بین منحنی ها که نماینده مقادیر مساوی جریان امیتری باشد کاملاً "یکنواخت" است و مشخص میکند که در حدود خروجی بدون اعوجاج خواهد بود .

یک نوع منحنی مشخصه دیگر به همراه مدار که این منحنی ها را نتیجه می دهد در شکل ۴-۱۳ آمده است . این منحنی ها

شکل ۴-۱۲ - منحنی های نمایش تغییرات جریان کلکتور بر حسب ولتاژ کلکتور یک ترانزیستور پیوندی برای جریان های مختلف امیتر و مداری که این منحنی ها را بدست می دهد .



شکل ۴-۱۳ - منحنی نمایش تغییرات جریان کلکتور بر حسب ولتاژ کلکتور برای جریان های مختلف پایه ترانزیستور .



ترانزیستور را انتخاب نماید .

مقدار تلفات کلکتور میتواند برای یک طراح بی تجربه مشکل ایجاد کند .

روشهایی وجود دارد که میتوان درجه حرارت کار ترانزیستورهای قدرت

(Power) را کاهش داد و این معمولاً " احتیاج به این دارد که یک

ماده هدایت کننده حرارت (Thermal - Conducting) روی

بدنه ترانزیستور سوار گردد ، به این فلز هدایت کننده حرارت هیت سینک

(Heat Sink) یا رادیاتور گویند . PT نشانه تلفات کلی و

TC نماینده درجه حرارت بدنه ترانزیستور میباشد .

برای انتقال حرارت بین ترانزیستور و رادیاتور میتوان روغن گریس استفاده

نمود . اطلاعات دیگری نیز در این رابطه در جلد های بعدی این سری کتابها

داده خواهد شد .

حرارت بیش از حد میتواند باعث شرایطی گردد بنام (Thermal

Runaway -) . هرچه ترانزیستور داغ تر شود ، مقاومت

داخلی آن کاهش می یابد که در نتیجه آن افزایشی در جریان کلکتور به امیترو

امیتر به پایه حاصل میشود . در اثر افزایش این جریان تلفات بالا رفته و

مقاومت داخلی ترانزیستور بیشتر کاهش می یابد . این اثرات جمععی

میباشد ، یعنی رویهم افزوده میشوند و بطور ناگهانی ترانزیستور از بین

خواهد رفت (میسوزد) . با توجه به مطالب گفته شده ، دیده میشود که

استفاده از رادیاتور در صورت امکان امری است مهم .

TRANSISTOR AMPLIFIERS

تقویت کننده های ترانزیستوری

تقویت کنند ه های ترانزیستوری به سه نوع تقسیم میشوند : پایه مشترک

(Common - base) ، امیتر مشترک (Common -

emitter) و کلکتور مشترک (Common - Collector)

این سه نوع مدار در شکل ۱-۴ نشان داده شده اند . این سه نوع مدار

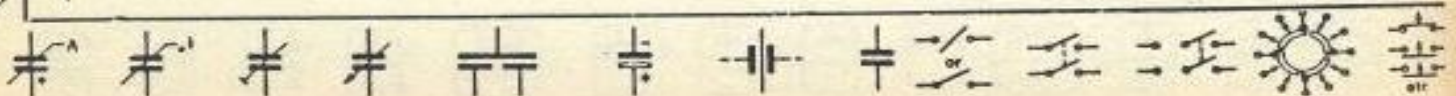
ترانزیستوری بترتیب معاد لند با مدارهای لامپی شبکه مشترک (grid -

Grounded) ، کاتد مشترک (Grounded - cathode)

و کاتد فالوور (Cathode - follower) .

پارامترهای مهم ترانزیستوری در این سه مدار عبارتند از : نسبت انتقال

جریان اتصال کوتاه (Short-Circuit Current transfer ratio)



فرکانس قطع (Cut-off frequency) و امیدانس ورودی و خروجی (Input / output Impedance) . نسبت انتقال جریان اتصال کوتاه عبارتست از نسبت یک تغییر کوچک در جریان خروجی به تغییر در جریان ورودی (که سبب جریان خروجی است) در حالیکه خروجی اتصال کوتاه میباشد . فرکانس قطع در فصل قبل توضیح داده شد . امیدانس ورودی یا خروجی چنین تعریف میشوند : امیدانسی که منبع سیگنال مدار می بیند امیدانس ورودی و امیدانسی که بار می بیند امیدانس خروجی میباشد که معادل با مقاومت صفحه در لامپ خلاء میباشد .

مدار پایه مشترک

Common-Base Circuit

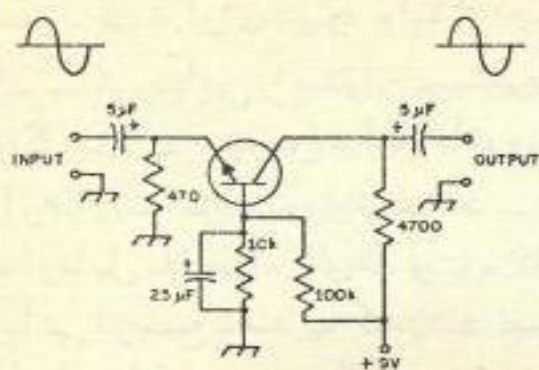
در یک مدار پایه مشترک امیدانس ورودی برابر $\frac{25}{I_e}$ میباشد که I_e جریان آمیتربرحسب میلی آمپر است . بنابراین مدار ورودی تقویت کننده پایه مشترک بایستی برای امیدانس کم طرح گردد . امیدانس بار این تقویت کننده ، R_L ، میتواند از چند هزار اهم تا ۱۰۰ کیلو اهم باشد . در این مدار فاز جریان خروجی (کلکتور) همانند با فاز جریان ورودی (امیتر) میباشد . قسمت هایی از جریان ها که از مقاومت پایه میگذرد با اهم همفاز هستند ، بطوریکه مدار بسمت رجنریتو (Regenerative) خواهد رفت و چنانچه ضریب تقویت بزرگتر از واحد باشد ، مدار به نوسان خواهد افتاد .

مدار امیتر مشترک

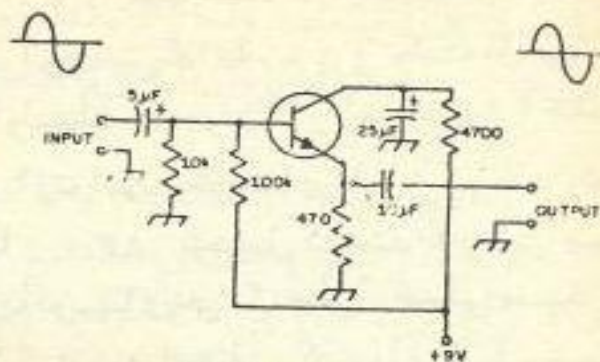
Common-Emitter Circuit

مدار امیتر مشترک که در شکل ۱۴-۴ نشان داده شده منطبق با مدار تقویت کننده کاتد مشترک لامپی است . همچنانکه از منحنی های شکل ۱۳-۴ مشخص است در این مدار جریان پایه کوچک و امیدانس ورودی نسبتاً بالا و حد و حد بین کیلو اهم بطور متوسط است . مقاومت کلکتور حدود چند ده کیلو اهم است که این بستگی به امیدانس منبع سیگنال دارد . مدار امیتر مشترک دارای فرکانس قطعی کمتر از مدار پایه مشترک میباشد . این مدار بالاترین بهره قدرت را بین سه نوع آرایش فوق دارد .

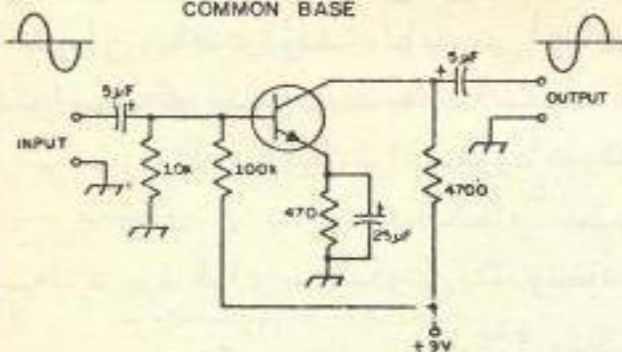
در این مدار فاز جریان خروجی (کلکتور) مخالف است با فاز جریان ورودی (پایه) میباشد بطوریکه فیدبک از طریق مقاومت امیتر منفی است و تقویت کننده پایدار میباشد .



COMMON BASE



COMMON COLLECTOR



COMMON EMITTER

شکل ۱۴-۴ - آرایشهای مختلف
ترانزیستورها - مقادیر داده شده در
این مدارها جهت فرکانسهای صوتی
است .

مدار کلکتور مشترک

Common-Collector Circuit

آرایش کلکتور مشترک معادل مدار لامپی کاتد فالور میباشد . این تقویت کننده دارای امپدانس ورودی زیاد و خروجی کم است . امپدانس خروجی برابر است با حاصل ضرب امپدانس منبع سیگنال ورودی در $(1 - \alpha)$. مقاومت ورودی بستگی به مقاومت بار دارد و تقریباً " معادل است با مقاومت بار تقسیم بر $(1 - \alpha)$. این موضوع که مقاومت ورودی مستقیماً با مقاومت بار رابطه دارد نقضی است بر این مدار ، زیرا ممکن است مقدار بار با فرکانس منبع سیگنال تغییر کند که در این صورت مقاومت ورودی نیز متغیر خواهد بود .

نسبت انتقال جریان این مدار برابر است با :

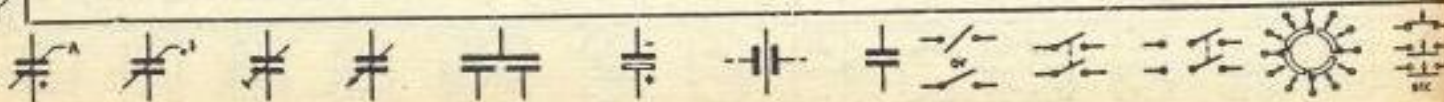
$$\frac{1}{1 - \alpha}$$

فرکانس قطع این مدار برابر فرکانس قطع مدار امیتر مشترک میباشد . جریان های ورودی و خروجی در این مدار همافزا هستند .

۳-۲-۴ مدارهای عملی با توضیح مفصل

PRACTICAL CIRCUIT DETAILS

ترانزیستورهای دوقطبی (معمولی) مختص به مدارهای ولتاژ کم (Low - Voltage) نیست . بسیاری از ترانزیستورهای جدید



هستند که دارای بهره ولتاژی حدود ۱۴۰۰ میباشند. چنانچه ترانزیستورهای را میتوان مستقیماً در مدارهایی که با ۱۱۰ ولت کار میکنند نیز بکاربرد. به همین دلیل باتری‌ها تنها وسیله‌ای برای کار انداختن مدارهای ترانزیستوری نیستند. بسیاری از ترانزیستورهای ولتاژ کم قادرند مقدار قابل ملاحظه‌ای قدرت RF یا AF تحویل دهند و بنابراین جریانی از منبع تغذیه کشیده میشود. باتریهای خشک عملاً خیلی بندرت در مدارهای این نوع بکار میروند. معمولاً در مدارهایی که برای کار احتیاج به جریان زیاد دارند، بایستی از باتریهای سلولی (تیر) استفاده شود و یا بهتر است که منبع تغذیه با استفاده از برق شهر برای آن در نظر گرفته شود. در این مورد باید از یک ترانسفورماتور کاهنده برای پائین آوردن ولتاژ برق شهر (۲۲۰ ولت) به حدود لخواه بهره گرفت و سپس ولتاژ ثانویه ترانس را توسط دیودهای سیلیکونی یکسو نمود.

کوپلاژ و تطبیق امپدانس

Coupling and Impedance Matching

ترانزیستورهای دوقطبی برعکس لامپها وقتی بعنوان تقویت کننده استفاده میشوند دارای امپدانس ورودی و خروجی کم هستند. ترانزیستورهای اثر میدانی (فت) استثناء هستند، یعنی امپدانس ورودی آنها همانند لامپهای تریود میباشد. بنابراین برای مدارهای ترانزیستوری (دوقطبی) باید مدارهای تطبیق دهنده امپدانس در نظر گرفته شود. به همین دلیل روشهایی برای تطبیق امپدانس وجود دارد که هم بازده انتقال قدرت زیاد و هم پایداری را قابل قبول میکند. بیشتر مدارهای سلف و خازن (LC) که در تقویت کنندهای تنظیم شده استفاده میشوند فرمهای استاندارد دارند. امپدانس کم ترانزیستورهای دوقطبی از این حقیقت ناشی میشود که این ترانزیستورها جریان را بیشتر از ولتاژ تقویت میکنند. هرچه قدرت ورودی و خروجی تقویت کننده بیشتر باشد مسئله تطبیق امپدانس مشکل تر شده و احتیاج به تکنیکهای تطبیق امپدانس بخصوصی میباشد. چنانچه ورودی تقویت کننده ای با دامن کم باشد دیگر مسئله تطبیق امپدانس آنچنان جدی نبوده و با مدارهای معمولی RC میتوان مسئله کوپلاژ را برای اکثر فرکانسهای صوتی (وگاهی رادیویی) حل نمود.

در هنگام طرح یک مدار تطبیق دهنده امپدانس (برای انتقال قدرت ماکزیمم) مسأله‌ای که باید در نظر گرفته شود مقدار قدرت خروجی طبقه

میباشد . طراح باید ولتاژ کار کلکتور (کلکتور به امیتر) را نیز بداند .

از این مقدار امید انس بار کلکتور را از فرمول زیر محاسبه میکند :

$$R_L = \frac{V_{CC}^2}{2P_o}$$

R_L = امید انس بار کلکتور در حالت تشدید .

V_{CC} = ولتاژ کار (جریان مستقیم) — کلکتور به امیتر .

P_o = قدرت خروجی دلخواه (بر حسب وات) .

مثال :

یک طبقه تقویت کننده باید ۱۰ وات قدرت به بار تحویل دهد . ولتاژ

کلکتور به امیتر (دی — سی) برابر ۱۳/۶ ولت است . در اینحال مقاومت بار برابر است با :

$$\text{اهم} = \frac{13/6 \times 13/6}{2 \times 10} = \frac{184/96}{20} = 9/248$$

تقویت کننده ای که ۲۵ وات خروجی دارد چنانچه منبع تغذیه آن ۱۲

ولت باشد مقاومت بار خیلی کوچک یعنی برابر ۲/۸۸ اهم خواهد شد .

چون این مقدار مقاومت بار خیلی کوچک است بایستی بایک مبدل آنرا به مقدار زیادتری تبدیل نمود . برای اینکار احتیاج به یک مدار LC استاندارد

است که بتواند این مقدار را به یک مقدار معمولی مثلا " ۵۰ اهم تبدیل کند که

این ۵۰ اهم مقاومت یک آنتن میتواند باشد . این مساله وقتی مشکل میشود که

بخواهیم یک درایور (محرک) قدرت را به پایه یک طبقه تقویت کننده قدرت

تطبیق دهیم . در چنین حالتی خیلی اتفاق می افتد که لازم است امید انسی

برابر ۱۸ اهم (امید انس کلکتور) را به امید انس ۳ اهمی (امید انس پایه)

یا چیزی مشابه این منطبق (match) کرد .

دو مدار معمولی در شکل ۱۵ — ۴ آمده است . اطلاعات اضافی دیگری

در بخش های دیگر این کتاب خواهد آمد . برای مطالعات بیشتر در اینمورد

میتوانید به کتاب :

Matching Network Design with Computer Solution

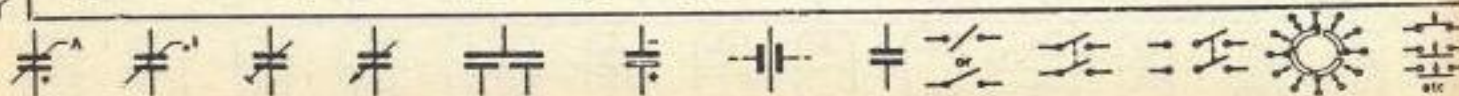
از کمپانی موتورولا رجوع نمایید .

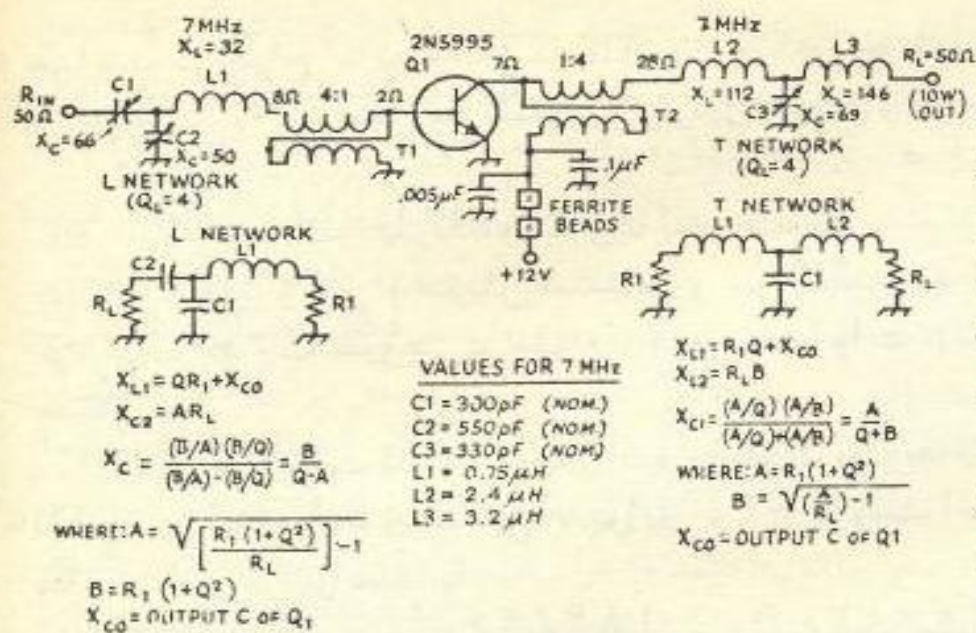
ترانسفورمرهای تروئیدی باند وسیع (broad band) و

بالن ها (balun) معمولاً " برای تطبیق امید انس بکار میروند . این

ترانس ها همراه با مدارهای تنظیم شده استفاده میشوند . مدارهای

تشدید برای این اضافه میشوند که سلکتیویته مورد نیاز حاصل شود تا بدین





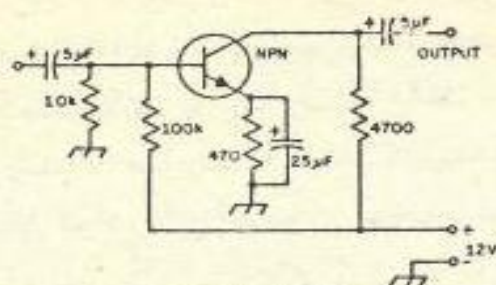
شکل ۱۵-۴ - یک مثال عملی برای تصویر کردن اشکالاتی که در هنگام طرح تقویت کننده‌های قدرت با آنها مواجه خواهید شد. ترانسفورمرهای T1 و T2 برای تطبیق امپدانس هستند این ترانسفورمرها تروئیدی اند.

صورت شکل موجهای خروجی تقویت کننده تمیز باشند. در عمل حد بالا برای QL (ضریب کیفیت در حالت بار) یک شبکه معمولاً ۵ گرفته میشود، ولی بعضی از مهندسين طراح حرفه ای مقادیر بالاتر از ۵ را ترجیح میدهند. مشخص شده که هرچه QL بیشتر باشد، مدارناپادارتر خواهد شد. پیشنهاد شده که رادیو آماتورهای برای QL مدار خود مقداری حدود ۳ تا ۵ انتخاب نمایند. مقدار کمتر از ۳ مثلاً ۱ نیز برای بعضی از مدارها مخصوصاً در فیلترهای پائین گذر که بطور فراوان در خروجیهای ۵ اهم تقویت کنندرها استفاده میشوند مناسب می باشد.

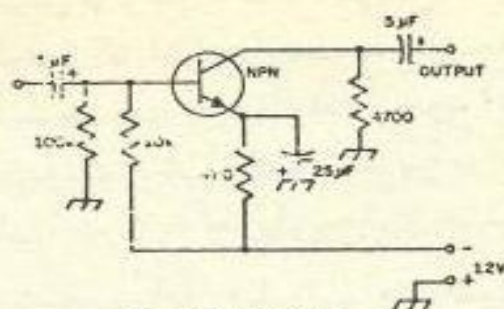
گرایش و پایداری کردن آن

Bias and Bias Stabilization

برای اینکه ترانزیستور بتواند جریان قابل ملاحظه ای را هدایت کند باید در جهت مستقیم گرایش داده شود (بایاس شود). در مورد ترانزیستور NPN کلکتور و پایه نسبت به امیتر بایستی مثبت باشند. همچنین در مورد ترانزیستور PNP، پایه و کلکتور نسبت به امیتر باید منفی باشند. گرایش دلخواه توسط ولتاژ کلکتور به امیتر و امیتر به پایه تامین میگردد. این ولتاژهای بایاس (گرایش) باعث ایجاد دوجریان یکی جریان امیتر به کلکتور و یکی جریان امیتر به پایه میشوند. هر دو ترانزیستور، چه NPN و چه PNP میتوانند با منبع تغذیه زمین مثبت یا منفی طبق آنچه در شکل ۱۶-۴ آمده است بکار روند. در این دو مدار گرایش مستقیم در هر لحظه بطور صحیح اعمال میگردد. هرچه گرایش مستقیم کمتر باشد مقدار جریان



NEGATIVE GROUND

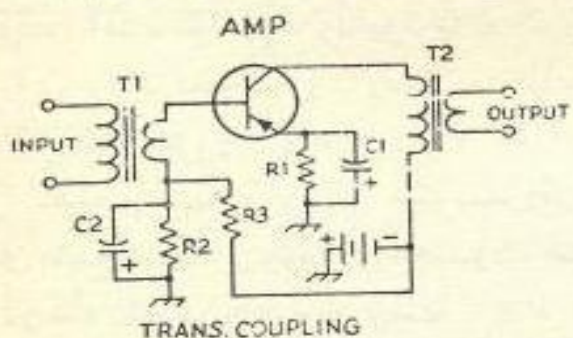


POSITIVE GROUND

شکل ۱۶-۴ - مثالی برای نشان دادن اینکه چطور یلار بته منبع تغذیه

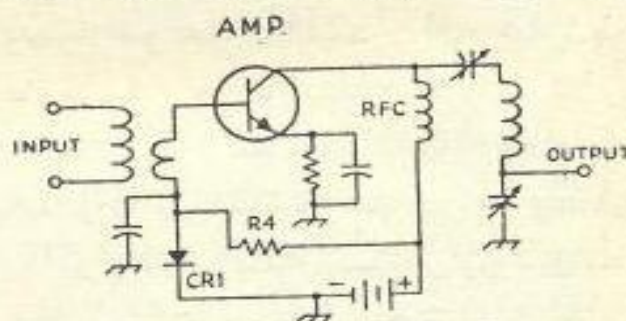
کلکتور کمتر خواهد بود. همچنانکه گرایش مستقیم بالا میرود، جریان کلکتور نیز افزایش یافته و درجه حرارت اتصال نیز بالا میرود. اگر این گرایش بطور پیوسته بالا برود لحظه ای میرسد که جریان کلکتور ترانزیستور بیش از حد میشود (بارگذاری بیش از حد میگردد) و ترانزیستور میسوزد. این شرط بنام فرار حرارتی (Thermal runaway) نامیده میشود که در

قسمتهای قبل بحث شد. برای جلوگیری از صدمه رسیدن به ترانزیستور بایستی تدابیری در جهت پایداری گرایش در مدار بکاربرد. بعضی از تکنیک



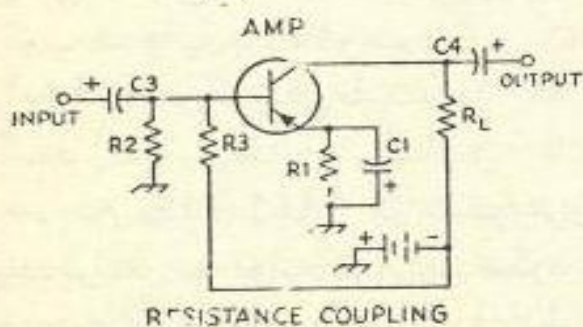
TRANS. COUPLING

(A)



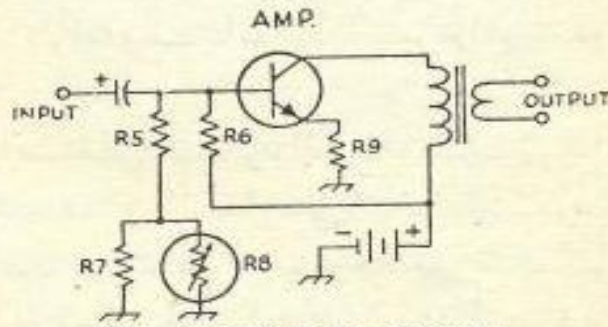
DIODE BIAS STABILIZATION

(C)



RESISTANCE COUPLING

(B)

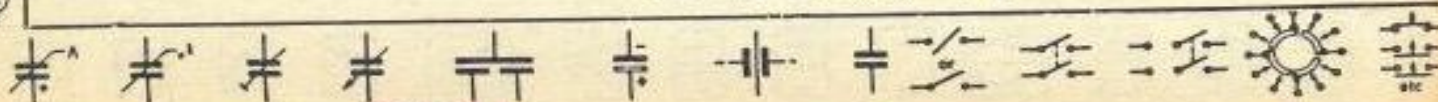


THERMISTOR BIAS STABILIZATION

(D)

شکل ۱۷-۴ - مثالهایی از روشهای

پایدار کردن گرایش.

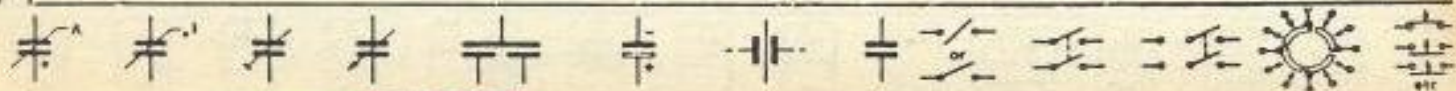


های عملی در مورد باید ارساختن گرایش در شکل ۱۷-۴ آمده است. در A و B مقاومت $R1$ بطور سری با آمیتر قرار گرفته که این مقاومت به پایداری جریان آمیتر کمک میکند. مقاومت $R1$ باید نسبت به مقاومت دیود آمیتر- پایه بزرگ باشد. مقاومت آمیتر- پایه همچنانکه قبلاً گفته شد برابر است با ۲۵ تقسیم بر جریان آمیتر (بر حسب میلی آمپر). جریان جاری شده در $R1$ دارای جهتی است که گرایش آمیتر نسبت پایه منفی خواهد بود (ترانزیستور PNP فرض شده)، گرایش پایه - آمیتر کمی بیشتر از افت ولتاژ در $R1$ بایستی باشد. برای اینکه ترانزیستور در نقطه کار صحیح خود قرار بگیرد بایستی ولتاژ پایه توسط تقسیم کننده ولتاژ (Voltage divider - $R2R3$) تنظیم گردد. با این تقسیم کننده، ولتاژ پایه در حدی قرار میگیرد که ترانزیستور در نقطه کار خود خواهد بود (در حالت بدون سیگنال).

در مدار کوپلاژ ترانسفورمری (Transformer - coupled) جریان سیگنال ورودی در مقاومت های $R1$ و $R2$ جاری میشود و چنانچه این مقاومتها توسط خازنهای $C1$ و $C2$ حذف (bypass) نشوند افت توانی در دیود پایه - آمیتر وجود خواهد داشت. این خازنها دارای راکتانس کم (در مقایسه با مقدار مقاومتها) می باشند. در مدار کوپلاژ مقاومتی (resistance - coupled) مقاومت $R2$ هم یک جزء تقسیم کننده ولتاژ میباشد و گرایش پایه را تامین میکند و هم جزئی از بار برای منبع سیگنال ورودی محسوب میشود. اگر از طرف منبع سیگنال ورودی به مدار نگاه شود، دو مقاومت $R2$ و $R3$ موازی هم قرار گرفته اند و بنابراین قسمتی از مقاومت بار ورودی است. خازن $C3$ بایستی در مقایسه با ترکیب توازی دو مقاومت $R2R3$ و مقاومت پایه - آمیتر ترانزیستور دارای راکتانس کوچکی باشد.

امپدانس بار مدار راکتانس $C4$ را مشخص میسازد. مقاومت بار خروجی در حالت کوپلاژ ترانسفورمری عبارتست از آن مقاومتی که از طرف ثانویه ترانس به اولیه منعکس میگردد که مقدار صحیح آن با توجه به منحنی مشخصات و نوع کار (کلاس A یا B) محاسبه میگردد. مقدار مقاومت بار در حالت کوپلاژ مقاومتی عبارتست از آن مقدار مقاومتی که اجازه حداکثر نوسان (Swing) ولتاژ متناوب را در مدار کلکتور اجازه میدهد. البته این مقدار نوسان باید بدون اعوجاج باشد، زیرا این نوع تقویت -

- کنند هم‌اکنون "در کلاس A" کار میکنند .
- جریان‌های ترانزیستور نسبت به تغییرات درجه حرارت حساس می‌باشند
- بطوریکه وقتی درجه حرارت تغییر میکند نقطه کار ترانزیستور نیز تغییر
- مینماید . تغییر نقطه کار در اثر افزایش درجه حرارت در جهتی است که
- فرار حرارتی افزایش می‌یابد . افزایش حرارت بستگی به مقدار تلف شده
- در ترانزیستور دارد ، بنابراین بایستی توجه داشت که تلفات داخلی تا حد
- امکان کم باشد ، بعبارت دیگر ورودی مستقیم (dc Input) در پائین
- ترین مقداری که امکان کار کردن درخواه ترانزیستور را میدهد نگه داشت و
- نباید این مقدار از حد مجاز برای یک ترانزیستور بخصوص تجاوز کند .
- عاملی که تأثیر بسزایی در تغییر نقطه کار ترانزیستور دارد ، جریان نشتی
- کلکتور به پایه (که معمولاً به I_{co} نشان داده میشود) می‌باشد .
- یعنی جریانی که در حالت آمیتر باز از کلکتور به پایه جاری میگردد . این
- جریان که بسیار حساس به حرارت است ، باعث افزایش جریان آمیتر میگردد
- بطوریکه این افزایش جریان خیلی سریع تر از افزایش خود I_{co} میباشد . بنا
- براین تغییر نقطه کار در جهت افزایش جریان کلکتور عمل میکند . در مدارهای
- شکل ۱۷-۴ باید ار کردن گرایش را میتوان با بزرگ کردن هر چه بیشتر مقاومت
- R_1 و کوچک کردن R_2 و R_3 تا حد امکان بهبود بخشید .
- برای بالا بردن پایداری گرایش معمولاً "المانهایی در مدار (شبکه)
- گرایش (bias network) بکار میرود . در چنین مدارهایی
- ترمیستورها (Thermistors) و دیودها ارجح هستند . مثالهایی
- از هر دو اینها در شکل ۱۷-۴ (C و D) آمده است . ترمیستور-
- ها مقاومت‌های حساس به درجه حرارت هستند که برای جبران (ترمیم)
- افزایش سریع جریان کلکتور استفاده میشود . وقتی درجه حرارت در آن
- قسمت مدار افزایش یابد ، مقاومت ترمیستور کاهش می‌یابد ، که این کاهش
- بنوبه خود سبب کاهش ولتاژ (گرایش) آمیتر به پایه میگردد . وقتی جریان
- در اثر حرارت کم میشود ، این مقاومت سبب میگردد که جریان کلکتور ثابت
- بماند یعنی کاهش ترمیستور خود سبب افزایش جریان کلکتور میشود که این
- افزایش کاهش جریان در اثر حرارت را جبران میکند ، بدین ترتیب گرایش
- پایدار میگردد .
- مقاومت‌های R_5 و R_7 در شکل D انتخاب شده اند تا در یک
- فاصله حرارتی مدار را تا حد امکان پایداری نمایند .



یک روش بهتر برای پایداری کردن گرایش در شکل C نشان داده شده است. در این مثال یک دیود بین پایه ترانزیستور و زمین قرار داده شده، این دیود بجای مقاومتی است که در شکل‌های A و B بکار رفته است. این دیود گرایش مستقیم پایه را در حد ثابتی نگه میدارد و جریان کلکتور ترانزیستور را در حالت بدون سیگنال تنظیم میکند. همچنین جریان گرایش این دیود متناسب با ولتاژ منبع تغذیه تغییر میکند که بدین ترتیب جریان کلکتور ترانزیستور را در مقدار ثابت حالت بدون سیگنال نگه میدارد. اگر دیود طوری نزدیک ترانزیستور نصب گردد (چسبیده به شاسی نزدیک رادیاتور ترانزیستور) که حرارت دفع شده از ترانزیستور را حس کند، این دیود حافظی خواهد بود در مقابل تغییرات گرایش ترانزیستور در مقابل تغییرات درجه حرارت. وقتی حرارت دیود اضافه میشود جریان گرایش آن نیز افزایش می‌یابد و بنا بر این ولتاژ گرایش آن کمتر میگردد. معمولاً "از روش پایداری کردن گرایش بطریقه دیود (شکل C) وقتی استفاده میشود که تقویت کننده در کلاس B کار کند. چنانچه ترانزیستور از جنس ژرمانیوم باشد روش پایداری کردن گرایش بطریق دیود تغییرات جریان کلکتور را تا حد یک پنجم مقدار می‌کند که در روش پایداری کردن گرایش بطریقه ترمیستور (شکل D) بدست می‌آید کاهش میدهد. این مقدار کاهش در مورد ترانزیستور سیلیکونی به حدود یک پانزدهم مقدار گرایش حالت ترمیستوری میرسد.

پایداری فرکانس

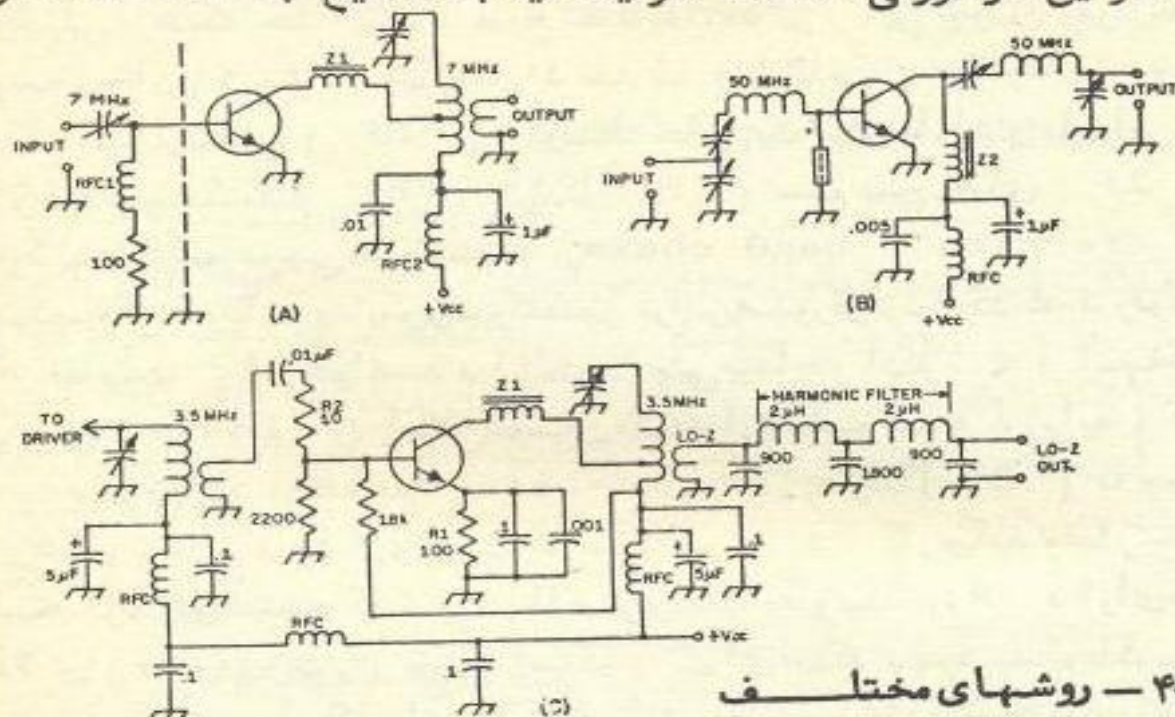
Frequency Stability

نوسانات مزاحم (پارازیت) مشکلی است برای مدارهای ترانزیستوری. چنانچه دامنه این پارازیت ها بقدر کافی باشد، میتواند سبب فرار حرارتی (Thermal runaway) گردد و بالطبع ترانزیستور نابود

شود. فرکانس این نوسانات میتواند هر فرکانسی از صفر گرفته تا فرکانس قطع ترانزیستور داشته باشد. اغلب چنانچه شکل موجها را با اسیلوسکوپ نگاه نکنید متوجه این پارازیت ها نخواهید شد. این پارازیت ها علاوه بر اینکه از نظر دامنه خطر برای ترانزیستور دارند بلکه نوسانات آن سبب اعوجاج (دیستورسیون) و تشعشعات ناخواسته میگردد. در یک فرستنده آماتوری این موضوع میتواند سبب تداخل در دیگر فرستنده ها شود.

ترانزیستوری که برای کاربرد فرکانسهای بالا انتخاب میشود (f_T این ترانزیستور پنج برابر فرکانس کاری باشد) با آسانی میتواند در بالای فرکانس

کارنوسان کند و این در صورتی است که شرایط فید بک صحیح باشد. در



شکل ۱۸-۴ - روشهای مختلف
پایدار کردن مدارها.

فرکانسهای خیلی بالا (VHF) و فرکانسهای مافوق بالا (UHF) تغییر فزوارد عمل میشود و این شرط میتواند باعث فید بک مثبت و بالطبع ناپایداری مدار گردد. در این فرکانسهای بالا توصیه میشود که از چوک فرکانس رادیویی (RFC) و خازنهای کوپلاژ تا حد امکان استفاده نشود. خازنها میتوانند سبب تغییر فاز شوند. همچنین چوکهای فرکانس رادیویی میتوانند باعث درد سر گردند (مگر آنهایی که دارای ضریب مرغوبیت کم هستند). چند روش مختلف برای تثبیت پایداری مدارها در شکل ۱۸-۴ آمده است. در " A " ضریب کیفیت RFC1 توسط مقاومت ۱۰ اهم که با آن سری شده پائین آورده شده است. راه دیگر برای پائین آوردن ضریب کیفیت RFC1 موازی کردن یک مقاومت با آن است. میتوان با قراردادن یک یا چند دانه فریت در داخل سیم پیچ فرکانس رادیویی مقدار ضریب کیفیت آنرا کاهش داد. این روش در مثالهایی ترجیح داده میشود که برای تامین گرایش پایه یک مقاومت کم اهم لازم است مثل یک طبقه کلاس C. چوک پارازیت Z1 شامل سه دانه فریت است که روی یک تکه سیم قرار گرفته اند. این چوک تا حد امکان نزدیک کلکتور ترانزیستور نصب میگردد. این چوک (ضریب کیفیت کم) از ناپایداری

فرکانسهای خیلی زیاد و مافوق زیاد جلوگیری میکند . RFC2 عبارتست از جزئی از شبکه جدا کننده منبع تغذیه از مدار . این چوک در فرکانس کار توسط خازن ۰.۱ / . میکروفاراد حذف (بایپاس) میشود . همچنین در فرکانسهای پائین (LF) توسط خازن یک میکروفارادی بایپاس میگردد . در یک تقویت کننده VHF (شکل B) سیم پیچ های Z1 و Z2 چوکهای دانه فریتی هستند (ferrite - bead choke) . این چوکهای یکی در پایه و دیگری در کلکتور ترانزیستور قرار دارند که در فرکانسهای کار مقاومت زیاد خواهند داشت ، ولی بخاطر آنکه Q آنها کوچک است (Low - Q) امکان نوسان یک مدار تنظیم شده در پایه و کلکتور (tuned-base tuned-collector) (در شکل B) ناچیز است . در شکل C ، مداری است که در کلاس A کار میکند و عبارتست از یک طبقه از یک فرستنده که در آنها امیتر توسط مقاومت R1 دارای پتانسیلی بالاتر از صفر (زمین) شده است . برای اینکه بهره مدار ما کمزیم شود این مقاومت توسط یک خازن بایپاس میشود . دو خازن موجود در امیتر برای آن است که این مقاومت را در فرکانسهای خیلی زیاد و فرکانس کار مدار حذف کنند . چنانچه امیتر در فرکانسهای پائین بایپاس نشود ، این طبقه در این فرکانس ناتوان (رجریتیو) خواهد بود . این کار امکان نوسان مدار را در فرکانسهای پائین کم میکند . منبع تغذیه توسط چوکی در فرکانسهای پائین و فرکانس کار بایپاس میگردد ، بدین ترتیب از بوجود آمدن فید بک بین طبقات در امتداد خط تغذیه جلوگیری میشود . Z1 عبارتست از یک چوک پارازیت دانه فریتی در فرکانسهای خیلی زیاد و مافوق زیاد . مقاومت R2 (۱۰ اهمی) نیز به حذف پارازیت در فرکانسهای خیلی زیاد کمک میکند . امیتر ترانزیستور بایستی در هر سه مدار تا حد امکان کوتاه باشد تا پایداری آنها شدت یابد تا بدین وسیله از تضعیف شدن مدار در فرکانس کار جلوگیری گردد . توصیه میشود که برای جلوگیری از کوپلاژ ناخواسته بین پایه کلکتور مدارهای تنظیم شده ، ورودی و خروجی تقویت کننده فرکانس رادیویی شیلده گردند . در فرکانسهایی که استفاده از تروئیدها مناسب هستند ، میتوان شیلدها را حذف کرد و این در صورتی است که در مدارهای تنظیم شده از سیم پیچ های تروئیدی استفاده گردد . ترانسفورمرها و اندوکتورهای تروئیدی مناسب هستند ، میتوان شیلدها را حذف کرد و این در صورتی است که در مدارهای تنظیم شده از سیم پیچ های تروئیدی استفاده گردد . ترانسفورمر

هاواند وکتورهای تروئیدی دارای خواص خود حفاظتی هستند ، بعبارت دیگر این ها خودشان خود را حفاظت (شیلده) میکنند و بدین ترتیب برای طراح مفید هستند .

۴-۲-۴ ترانزیستور اثر میدانی

FIELD-EFFECT TRANSISTORS

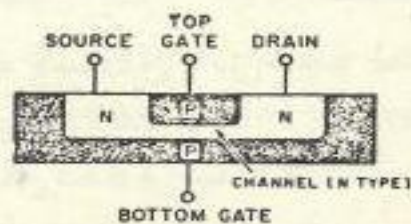
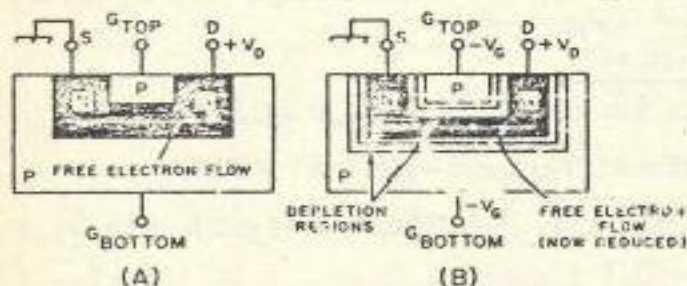
در اینجا یک ترانزیستور دیگرا معرفی می کنیم که نامش ترانزیستور اثر میدانی یا فِت (FET) میباشد . این ترانزیستور نسبت به ترانزیستور دوقطبی مزایایی دارند از جمله دارای امپدانس ورودی زیاد می باشد . این ترانزیستور که یک قطبی نیز نامیده میشود دارای کاربردهای فراوانی است و مشخصه اش بسیار نزدیک به مشخصه لامپ های خلا میباشد .

فِت پیوندی

The Junction FET

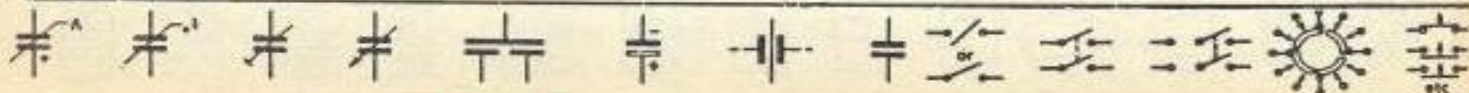
ترانزیستورهای اثر میدانی (فِت) به دو گروه تقسیم میشوند : فِت های پیوندی (Junction FETs) و موس فِت ها (MOSFETs) . ساختمان فِت پیوندی یا جی فِت (JFET) در شکل ۴-۱۹ نشان داده شده است .

دلیل نامگذاری پایه های این ترانزیستور بعداً گفته خواهد شد . برای اینکه این ترانزیستور آماده کار شود (گرایش ترانزیستور) بایستی جریانی بین سورس یا چشمه (Source) و درین یا گذر (drain) جاری گردد . این جریان توسط الکترونهای آزاد برقرار میشود ، زیرا کانال این نیمه هادی از نوع N میباشد ، بنابراین یک ولتاژ مثبت به درین (گذر) اعمال میشود . این ولتاژ مثبت الکترونهای آزاد را جذب کرده و جریان جاری میشود (شکل ۴-۲۰) . مرحله بعدی این است که ولتاژی



شکل ۴-۲۰ - عمل یک جی فِت تحت

شکل ۴-۱۹ - ترانزیستور اثر میدانی . اعمال گرایش بآن .



با پلاریته نشان داده شده در شکل ۲۰-۴ به گیت یاد روازه (gate) اعمال شود . همانطوریکه ملاحظه می کنید گرایش درین نسبت به گیت و سورس نسبت به گیت معکوس (reverse - biase) میباشد . این گرایش معکوس سبب بوجود آمدن یک ناحیه تخلیه میشود که در شکل نشان داده شده است . این ناحیه تخلیه قسمتی از کانال (Channel) را میگیرد و مسیر عبور جریان تنگ تر میشود و با لطف مقاومت در مقابل عبور جریان بیشتر میگردد و جریان عبوری بین درین و سورس کاهش می یابد ، چنانچه ولتاژ زیادی به گیت اعمال گردد نواحی تخلیه به یکدیگر می پیوندند و پینچ - آف (Pinch off) اتفاق می افتد که در اینحال آشکاراست که جریان به حدود صفر میرسد . چون بایک ولتاژ نسبتاً کم در گیت میتوان جریان بزرگی در جهت سورس - درین جاری نمود ، میتوان گفت که یک فست مانند یک تقویت کننده عمل میکند . در یک جی فِت (JFET) هیچگاه نباید گیت در جهت مستقیم گرایش داده شود ، زیرا اگر چنین شود جریان سورس - درین (Source - drain) از طریق دیود پیوندی گیت که در جهت مستقیم گرایش یافته ، بر میگردد .

مقاومت بین گیت و باقی این وسیله خیلی بالاست و این بدین خاطر است که گیت همیشه در جهت معکوس گرایش دارد و بنا بر این مقاومت ورودی جی فِت خیلی زیاد میباشد . ترمینال سورس (چشمه) سرچشمه حاملهای جریان است که این حاملها توسط ترمینال درین (گذر) به بیرون مدار کشیده میشود . ترمینال گیت (دروازه) با باز بسته شدن مقدار جریان کانال را کنترل می کند . بنا بر این نحوه عمل یک فِت (FET) شبیه به عمل یک لامپ خلاء با آمپدانس شبکه (ورودی) زیاد میباشد . با مقایسه جی فِت با یک لامپ خلاء مشاهده میشود که سورس در مقابل کاتد ، گیت در مقابل شبکه و درین در مقابل صفحه میباشد .

موس فِت ها

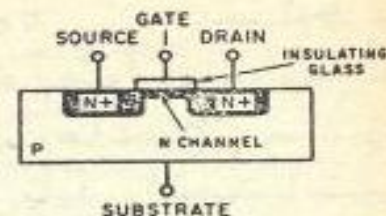
MOSFETs

یک خانواده بزرگ دیگر از فِت ها ، فِتی است که گیت آن عایق شده است (Insulated-gate FET) که بآن موس فِت (MOSFET) نیز گفته میشود که شماتیک آن در شکل ۲۱-۴ نشان داده شده است . موس فِت از اول کلمات زیر گرفته شده است :

Metal Oxide Semiconductor FET

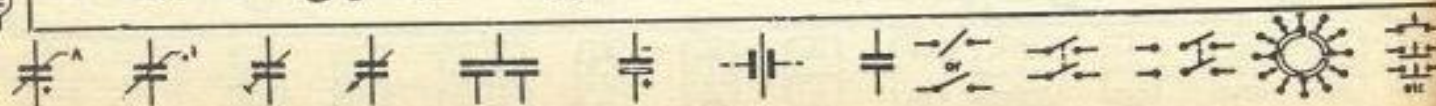
برای اینکه این ترانزیستور به نقطه کار آورده شود (آماده کار شود) یک

شکل ۲۱-۴ - ترانزیستور اثر میدانی گیت عایق شده .



ولتاژ مثبت به درین اعمال میشود . Substrate و سورس به هم وصل شده و به زمین میروند ، بالنتیجه الکترونهای کانال بسمت درین مثبت جذب میشوند . برای آنکه این جریان درین - سورس تثبیت گردد ، ولتاژی به ترمینال گیت اعمال میشود . ترمینال گیت از باقی قسمت‌ها توسط لایه نازکی از یکدیگر الکتریک (عایق) عایق شده است ، بطوریکه این اتصال پیوند P-N بین گیت و دیگر قسمت‌ها نمی باشد ، و این وجه تسمیه گیت عایق شده می باشد .

وقتی یک ولتاژ منفی به گیت اعمال شود ، حفره‌ها (بارهای مثبت) از سابسטרیت (Substrate) نوع p بطرف گیت جذب شده و کانال هادی تنگ تر میشود - بدین ترتیب جریان سورس - درین کاهش می یابد . چنانچه به گیت ولتاژ مثبت اعمال شود حفره‌های موجود در سابسטרیت از یکدیگر گردور میشوند و کانال گشاد تر شده و باطبیع جریان سورس - درین افزایش می یابد . موس فت خیلی انعطاف پذیر است زیرا به گیت آن هم ولتاژ منفی و هم مثبت میتوان وصل نمود . بواسطه آنکه گیت و سایر قسمت‌ها توسط عایقی از یکدیگر جدا شده اند ، مقاومت بین این دو بی نهایت زیاد است . بنابراین مقاومت ورودی موس فت بی نهایت زیاد میشود . درحقیقت چون نشت عبوری از ماده عایق معمولاً " خیلی کوچکتر از مقدار عبوری از پیوند P-N (که در گرایش معکوس است) جی فت میباشد ، مقاومت ورودی موس فت خیلی بزرگتر از مقاومت ورودی جی فت (JFET) خواهد بود . مقاومت ورودی در موس فت در حد ویک - میلیون مگا اهم میباشد در صورتیکه این مقاومت در جی فت از چند مگا اهم تا هزار مگا اهم است . موس فت ها هم یکگیتی (Single-gate) و هم دوگیتی (dual gate) میباشند . موس فت دوگیتی دارای یک گیت معمولی (Gate 1) و یک گیت کنترل (Control gate) ، G2 میباشد ، با تغییر مقدار گرایش روی گیت دوم (Gate 2) میتوان مقاومت دینامیکی این فت را کنترل نمود . موس فت های دوگیتی کاربرد های فراوانی دارند از جمله در تقویت کننده های IF و RF یا agc ، بعنوان تضعیف -



کنند ههای متغیر (Variable attenuators) ، مخلوط —
 کنند هها و آشکار سازهای ضربی . در موس فیت هایی که بعنوان مخلوط —
 کننده (Mixer) استفاده میشوند عایق گیت هان سبتا " قسوی
 میباشد . بدین طریق تشعشعات اسیلاتور کاهش می یابد . اد میتانس
 انتقالی یا ترانس اد میتانس (transadmittance)
 (کند وکتانس انتقالی یا g_m) موس فیت های جدید خیلی زیاد و د رحد و د
 ۱۸۰۰۰ می باشد ، بدین ترتیب این نوع موس فیت ها مناسب برای فرکانس —
 های مافوق زیاد (UHF) می باشند و د راین فرکانسها با بازده عالی
 کار میکنند .

منحنی های مشخصه

Characteristic Curves

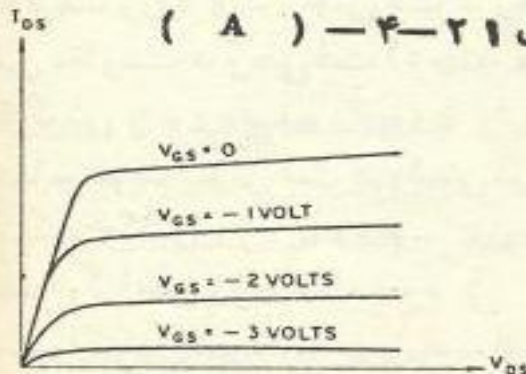
منحنی های مشخصه فیت ها در شکل ۲۱-۴ (A و B) آمده
 است . در این منحنی ها تغییرات جریان درین — سورس بر حسب تغییرات
 ولتاژ درین — سورس برای ولتاژهای گیت مختلف رسم شده است .

طبقه بندیها

Classifications

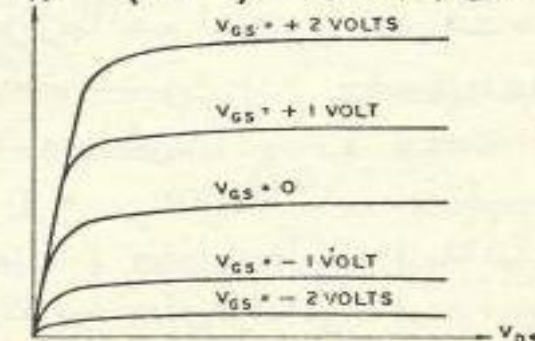
ترانزیستورهای اثر میدانی در کاربرد های مداری به دو گروه اصلی تقسیم
 میشوند : یکی Enhancement Mode (مد تشدید)
 و دیگری Depletion Mode (مد تخلیه ای) . فیت های گروه
 مد تشدید ی آنها بی هستند که طوری ساخته شده اند که کانال ندارند .
 اینها در مواقعی بکار میروند که فقط وقتی ولتاژ گیت اعمال میشود کانال
 بوجود می آید . آی جی فیت ها (IGFET) در این گروه قرار
 دارند ، زیرا هر دو نوع پلاریته را میتوان به گیت اعمال کرد بدون اینکه گیت
 در جهت مستقیم بایاس شود و هدایت کند .

شکل ۲۱-۴ (A) — I_{DS}



— منحنی های مشخصه جی فیت

شکل ۲۱-۴ (B) — I_{DS}



— منحنی های مشخصه موس فیت

- مد تخلیه ای همانست که در قبلا" توسط شکل‌های ۱۹-۴ و ۲۱-۴ نشان داده شد ، همانطوریکه گفته شد در این حالت کانال بدون اعمال ولتاژ گیت وجود دارد . در مورد جی‌فِت (JFET) میتوان با اعمال ولتاژ به گیت کانال بوجود آورد و با تغییر این ولتاژ قطر کانال و بالنتیجه مقدار جریان را کنترل نمود . در مورد موس‌فِت (MOSFET) میتوان ولتاژی با هردو نوع پلاریته (مثبت و منفی) به گیت اعمال نمود ، بطوریکه میشود هم آنرا تخلیه (جریان کاهش) نمود و هم تشدید کرد (جریان افزایش یابد) . بطور خلاصه ، فِت تخلیه ای آنست که کانال داشته باشد و بالطبع بازای ولتاژ صفر د رگیت جریان وجود دارد . فتهای گروه تشدید ی (Enhancement) آنهایی هستند که کانال ندارند و به ازای ولتاژ صفر د رگیت جریانی نیز وجود نخواهد داشت .

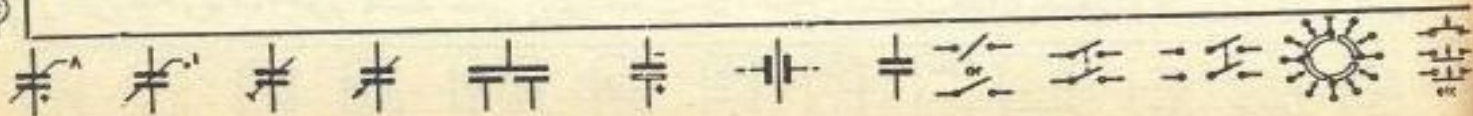
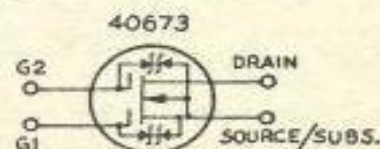
فِت‌هایی که گیت آنها حفاظت شده است

Gate-Protected FETs

- اکثر جی‌فِت‌ها قادرند در مقابل ولتاژ گیت - سورس تا حدود ۸۰ ولت (پیک توپیک) ایستادگی کنند بدون اینکه به اتصال آنها آسیبی برسد . در مورد آی-جی‌فِت‌ها (IGFET) ، چنانچه پایه‌هایشان توسط ماده پلاستیکی بهم اتصال یابند یا بایک انگشت لمس شوند صدمه می‌بینند . صدمه بدین صورت است که عایق بین گیت یا گیت‌ها و دی‌گرمالمانهای داخلی صدمه می‌بینند و سوراخ میشود . فِت‌های سری MFE 3006 و 3N140 از این میان جزء آنهایی هستند که سادگی آسیب می‌بینند .

- موس‌فِت‌های گیت حفاظت شده (Gate-Protected MOSFET) فراوان یافت میشوند و گیت‌هایشان قادرند در مقابل ولتاژهایی تا حدود ۱۰ ولت (Peak-Peak) ایستادگی کنند (ولتاژ گیت - سورس) . دیودهای زنر داخلی این موس‌فِت‌ها زشت به هم اتصال دارند و بین یک گیت و سورس سابلستریت (Source / Subs.) قرار گرفته اند . فِت‌های سری ۴۰۶۷۳ و 3N200 آنهایی هستند که در داخلشان دیودهای زنر (Zener) قرار دارد . موس‌فِت‌های دیوگیتی

شکل ۲۲-۴ - نمایش شماتیک یک موس‌فِت گیت حفاظت شده .



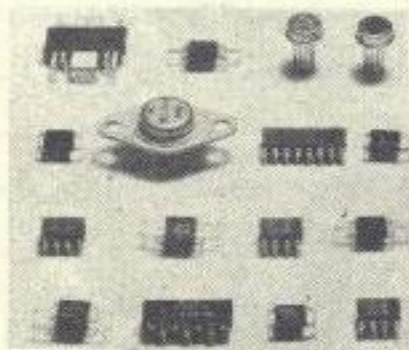
(دو آل گیت) که گیت شان حفاظت شده میباشد، میتوانند به جای فت های یک گیتی استفاده شوند به شرط آنکه دو گیت آنها بطور موازی بهم متصل شوند. یک موس فت گیت حفاظت شده در شکل ۲۲-۴ نشان داده شده است.

مدارهای یکپارچه

INTEGRATED CIRCUITS

همانگونه که از نام مدارهای مجتمع پیداست این مدارها تعداد زیادی المان در یک مساحت کوچک توسط سازنده جمع شده و برای مصرف بخصوصی سیم بندی شده اند. این المانها روی یک تکه نیمه هادی بعنوان پایه قرار داده میشوند. المانهای مختلف در آی-سی (IC) عبارتند از: ترانزیستورهای دوقطبی، موس فت ها، دیودها، مقاومتها و خازنها. اغلب در یک آی-سی تعداد ده یا بیشتر ترانزیستور وجود دارد که برای گرایش آنها مقاومتهایی قرار داده شده است. معمولاً وقتی از آی-سی صحبت میروند منظور یکی از چهار نوع زیرند:

تقویت کنند ههای دیفرانسیل یا تفاوت (Differential Amplifiers)
تقویت کنند ههای عملیاتی یا اپراسیونل (Operational Amplifiers)
دسته ترانزیستور یادیود (Diode or Transistor Arrays)
آی-سی های لاجیکی (Logics ICs).



— مجموعه ای از آی-سی های مختلف با شکلهای ظاهری گوناگون

ساختمان آی-سی ها

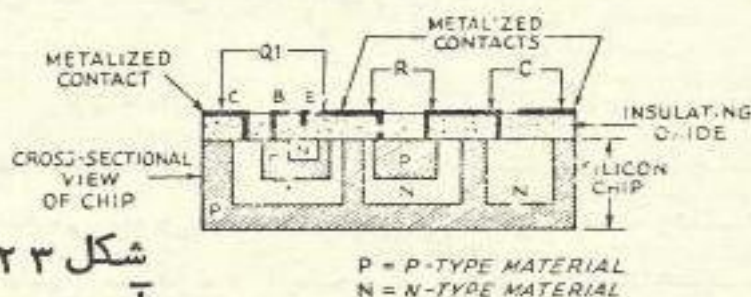
IC Structures

کلیه المانهای یک آی-سی روی یک تکه نیمه هادی قرار میگیرند. به این تکه نیمه هادی که پایه گفته میشود و میتواند سیلیکون نوع N یا P باشد چیپ (Chip) نیز اطلاق میشود. ناخالصیهاد راین چیپ تزریق میگردند، عمق نفوذ این ناخالصیهابستگی به حرارت نفوذ (Diffusion) و زمان دارد. فرم هندسی روی چیپ با اعمال تکنیکهای فتوشیمی و اعمال یک

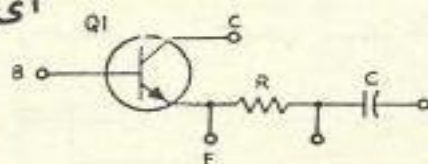
- پوشش عایق کننده مشخص میگردد . پس از اعمال یک پوشش اکسیدی روی چیپ
قسمتهایی از آن را سوراخ می کنند تا محل خروج پایه ها بین قطعات آی - سی
وجود آید . وقتی خازنهای روی چیپ تشکیل شدند ، این اکسید مانند یک
ماده دی الکتریک رفتار میکنند . در شکل ۲۳ - ۴ یک المان تشکیل شده روی
آی - سی و شکل اصلی آنها نشان داده شده است . بدنه اکثر آی - سی ها
نوع TO-5 یا نوع مسطح را دارند . تعداد پایه های آی - سی ها از
۱۲ پایه به بالا میباشد . انواع آی - سی های تقویت کننده

Types of IC Amplifiers

- بعضی از آی - سی ها تقویت کننده دیفرانسیل (تفاوت) بعضی دیگر
تقویت کننده عملیاتی (آپراسیونل) هستند . یک تقویت کننده دیفرانسیل
در اصول از یک زوج ترانزیستور تشکیل شده و دو ورودی شبیه بهم دارد .
با اعمال دو سیگنال بدو ورودی تقویت کننده به تفاوت دو سیگنال ورودی
پاسخ میدهد یعنی تقویت شده تفاضل دو ولتاژ یا جریان ورودی در خروجی
ظاهر میگردد . در ضمن این عمل ولتاژها یا جریانهای مشابه هم حذف

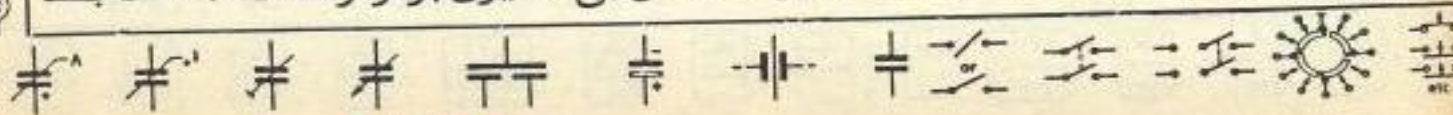


شکل ۲۳ - ۴ - نمایش شماتیکی یک
آی - سی ساده مدار آن .

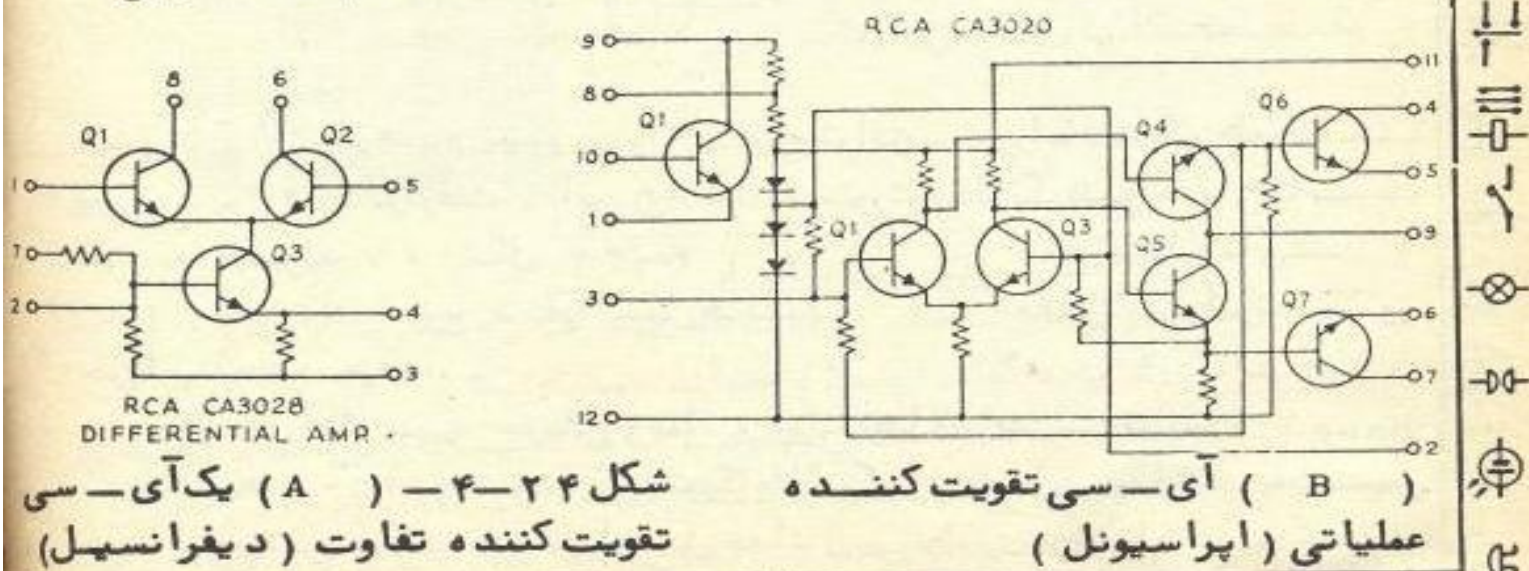


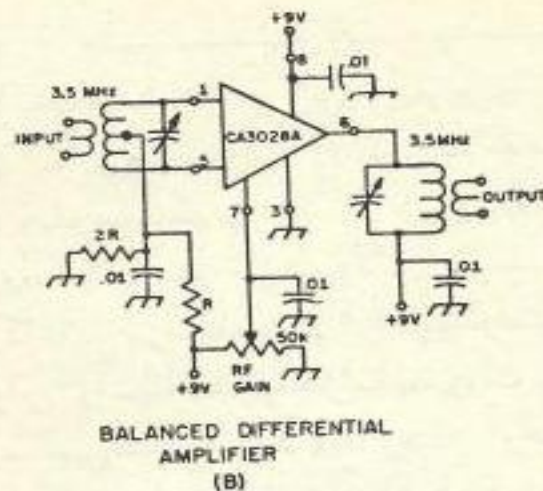
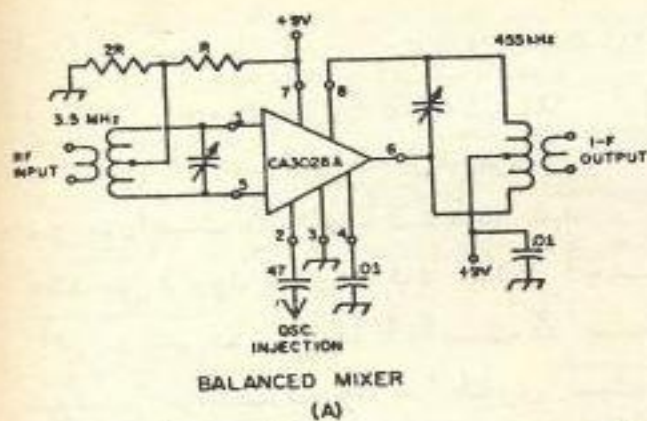
- میشوند . از نظر هم بهتر میتوان یک زوج ترانزیستور را مانند یک طبقه
پوش - پول در نظر گرفت . این زوج ترانزیستور توسط یک منبع جریان ثابت
تغذیه میشوند . در شکل ۲۴ - ۴ (A) Q_3 منبع جریان ثابت و
 Q_1 و Q_2 زوج دیفرانسیل هستند . Q_3 معمولاً ترانزیستور
جریان نامیده میشود .

- بواسطه آنکه بهره جریان (بتا) ولتاژهای پایه - امیتر (base - emitter)
دو ترانزیستور کاملاً یکسان و مشابه میباشد بین
ورودیهای تقویت کننده دیفرانسیل تعادل بی نظیری برقرار است . تشابه

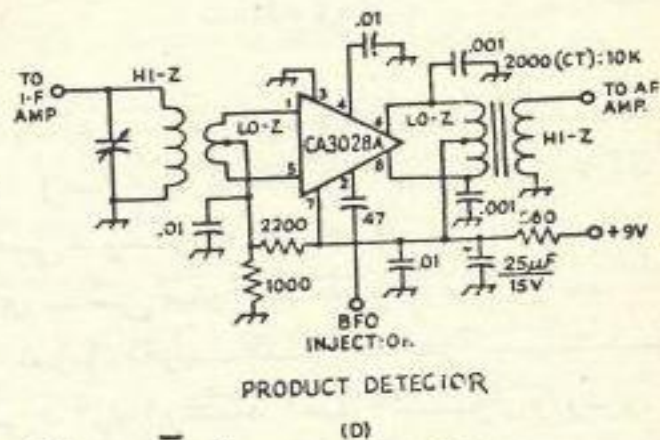
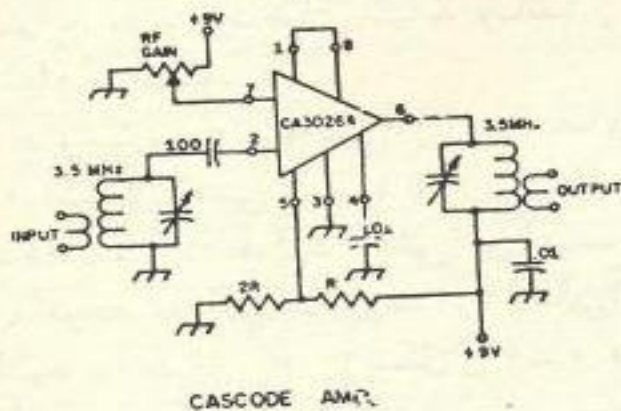


و تطابق دوترانزیستور از این جابجاست می آید که دوترانزیستور پهلوی همروزی یک چپ سیلیکونی تشکیل شده اند. ساختن دوترانزیستور بطور مجزا با این مقدار تطابق غیر ممکن است. آی - سی های دیفرانسیل برای تقویت کننده های خطی از dc تا VHF مناسب هستند، همچنین مصارف دیگری نیز دارند از جمله در مدارهای محدود کننده (Limiter)، آشکار سازهای ضربی (Product detectors)، مخلوط کننده ها (Mixers)، مدولاتورهای دامنه (Amplitude Modulators)، تقویت کننده های فرکانس رادیویی و فرکانس واسط (IF/RF Amplifiers) و حتی در کاربردهای تولید سیگنال یا سیگنال ژنراتور. اگرچه این آی - سی ها برای این هستند که از آنها بعنوان تقویت کننده دیفرانسیل استفاده شود، ولی با این وجود این آی - سی ها در مدارهای دیگر نیز بکار میروند. آی - سی های تقویت کننده عملیاتی در حقیقت تقویت کننده های dc (direct coupled) با بهره زیاد هستند که دارای فیدبک هستند و بدین ترتیب مشخصات پاسخی آنها کنترل میشود. این آی - سی ها شامل تقویت کننده های آشکاری هستند که در شکل ۲۴-۴ (A) نشان داده شده است. یک طبقه خروجی از دوترانزیستور Q6-Q7 در دنبال آنها آمده است. شکل ۲۴-۴ (B). اگرچه آی - سی های عملیاتی تحت شرایط مدار باز (Open-Loop) یعنی بدون فیدبک بخوبی میتوانند کار کنند ولی معمولاً در آنها از فیدبک منفی استفاده میشود. تقویت کننده های عملیاتی کاربرد های فراوانی دارند، از جمله در تقویت کننده های صوتی،





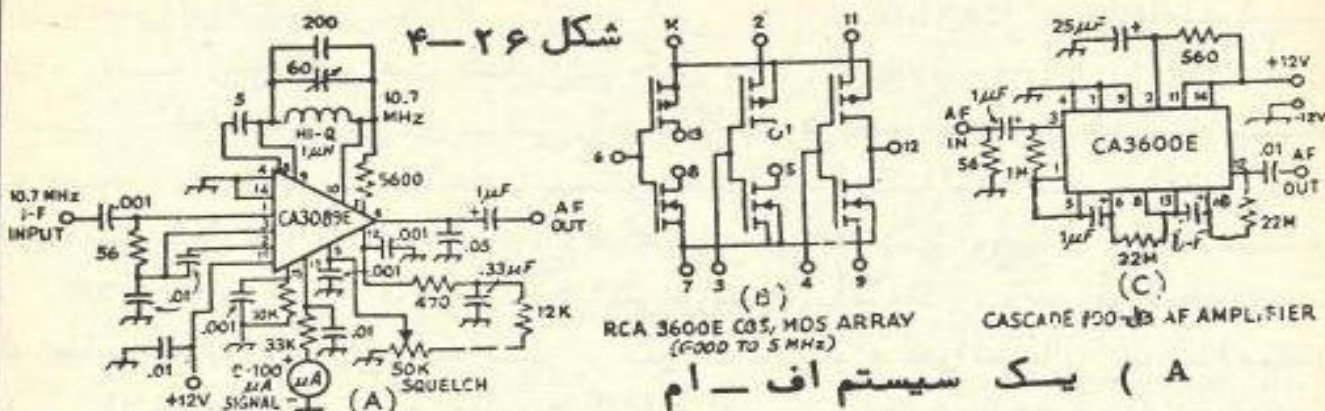
شکل ۲۵-۴ - چند کاربرد از تقویت
کننده‌های تفاوت .



CA3089E برای آی-اف (فرکانس واسطه) اف-ام یعنی
۱۰/۷ مگاهرتز (10.7 MHz) طرح شده و به یک مدار تنظیم
شده در خارج احتیاج دارد. این چیپ شامل یک تقویت کننده IF،
آشکارساز (Quadrature detector)، کنترل اتوماتیک
فرکانس (AFC)، پری‌آمپلیفایر صوتی، کنترل اتوماتیک بهره
(AGC) و یک مدار تنظیم میتر (Tuning-meter Circuit)
می‌باشد. چنانچه ورودی در حدود ۱۲ میکروولت باشد، به مقدار ۳
دسی‌بل تضعیف میکند (-3dB). وقتی از یک چنین مداری استفاده
میکنید فقط کافی است همراه آن یک کنورتور برای دریافت فرکانس دلخواه،
یک تقویت کننده صوتی، یک منبع تغذیه به علاوه بلندگو، کنترل سطح صدا
(Level Control) و میتر بکاربرد.

برای گیرنده آی-ام (AM) دو عدد آی-سی طرح گردیده که
پیچیدگی آی-سی CA3089E را دارد که در شکل ۲۶-۴ موصو

است. این دو عبارتند از CA3088E و CA3123E.



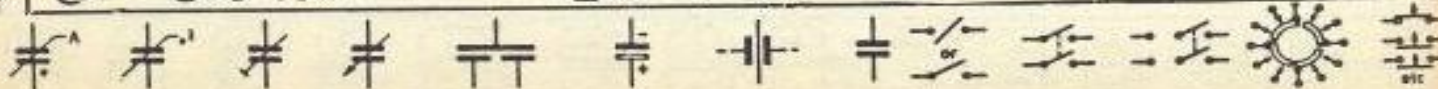
برای اطلاع از مشخصات این آی - سی ها به کاتالوگ آنها رجوع کنید . هر دو این آی - سی ها در گیرنده های مخابراتی مورد استفاده دارند که رادیو آماتور ها نیز میتوانند از آنها در گیرنده های پرتابل (قابل حمل) خود استفاده کنند .

ترانزیستور

TRANSISTOR ARRAYS

یکی دیگر از آی - سی هایی که مورد استفاده فراوان دارند ، آی - سی هایی هستند که شامل چندین دیود (IC_s - diode) و یا چندین ترانزیستور (IC_s - Transistor) میباشند . ممکن است چندین موسفت (MOSFET) در یک آی - سی گنجانده شده باشند . در اکثر این آی - سی ها ترانزیستورها را به تنهایی میتوان مورد استفاده قرار داد . کسانی که میخواهند یک گیرنده جمع و جور یا به اصطلاح کمپاکت (Compact) بسازند ، میتوانند از یکی از این آی - سی ها استفاده کنند . آی - سی CA3049 شامل دو تقویت کننده دیفرانسیل RF/IF مستقل از هم میباشد که f_T آنها $1/3$ گیگاهرتز است . این آی - سی برای کاربردهای نظیر مخلوط - کنند های بالانس شده $\times 2$ و بل ، آشکارسازها و مدولاورها مناسب است . یک آی - سی مفید دیگر CA3018A می باشد . آی - سی CA3045 برای آماتور ها جالب است . بواسطه آنکه مشخصات ترانزیستورهای هر آی - سی خیلی بهم نزدیک میباشد یا در اصطلاح μ ج هستند (Matched) این آی - سی ها کاربردهای فراوانی پیدا کرده اند . شکل ۲۷-۴ داخل دو آی - سی اخیرا نشان میدهد .

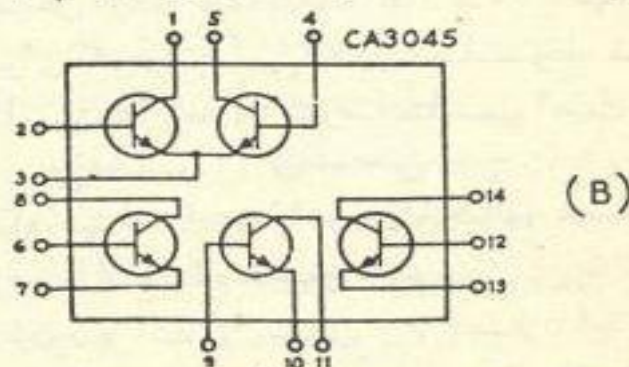
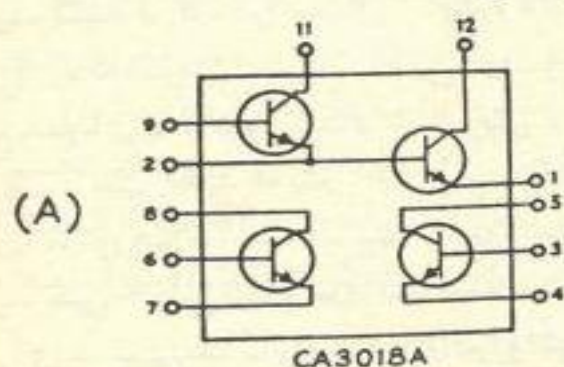
آی - سی های COS/MOS یا Complementary - Symmetry Metal Oxide Silicon " اخیرا " شهرت بسزایی یافته اند . یکی از این نوع



آی-سی ها از کمپانی RCA آی-سی CA3600E می باشد که شامل سه زوج موسفت متقارن - مکمل (Complementary-Symmetry) است. المانهای این آی-سی را جداگانه و یا بطور آبشاری مطابق شکل ۲۶-۴ بکاربرد. اطلاعات بیشتر را میتوانید از کاتالوگ شماره ۱۹۶ آر-سی-۱ (RCA File No. 619) بدست آورید. المانهای CA3600E دارای امپدانس ورودی زیاد و قدرت مصرفی کم هستند که مناسبند برای پری آمپلیفایر، تقویت کننده دیفرانسیل آپ-امپ (Op-AMP)، مقایسه کننده (Comparator)، تایمر (Timer)، مخلوط کننده یا میکسر، چاپر (Chopper) یا اسیلاتورها. (چاپر به معنی خرد کننده میباشد که یکی از کاربردهای آن در تبدیل کننده DC به AC است.)

یکی از آی-سی ها جالب و مفید در مورد دسته ترانزیستورها CA3102E می باشد. این آی-سی دو زوج دیفرانسیل و دو منبع جریان دارد. این آی-سی برای کاربردهایی نظیر مخلوط کننده های دابل بالانس شده، مدولاورها و آشکارسازهای ضربی ایده آل می باشند. همچنین این آی-سی برای مصارف زیر نیز مناسبند.

تقویت کننده های فرکانس خیلی بالا (VHF Amplifiers)، مخلوط کننده های فرکانس خیلی بالا (VHF Mixers)، تقویت کننده های فرکانس میانی، آشکارسازهای سنکرو. از نظر داخلی این آی-سی شبیه CA3049T می باشد، منتها یک اتصال سابلستریت مستقل دارد که دو تقویت کننده دیفرانسیل را از هم جدا میسازد.



شکل ۲۷-۴ - دسته ترانزیستور یک دسته ترانزیستورها برای فرکانسهای زوج از ترانزیستورها به صوت دارلینگتون بسته شده اند. این

در مدارهای محاسباتی، شمارش، حافظه ها و نشانده (Display) نیز استفاده کرد.

کار این مدارها بر اساس ریاضیات دودویی (مبنای دو) یا باینری (Binary) استوار است. در مبنای دو دو عدد صفر و یک وجود دارد که رجوع می کنند به دو ولتاژ مشخص. تقریباً همیشه صفر به معنی ولتاژ حدود زمین و یک ولتاژی است که توسط سازنده آی-سی تعیین می گردد. نکته ای که باید توجه داده شود منطق مثبت (Positive Logic) و منطق منفی (Negative Logic) می باشد. در منطق مثبت یک مثبت تراز صفر است اگرچه ممکن است هر دو این ولتاژها منفی باشند. در منطق منفی موضوع برعکس است. بجای صفر و یک کلمات دیگر هم استفاده میشود از جمله: بالا (High)، پایین (Low)، بله (Yes)، نه (No).

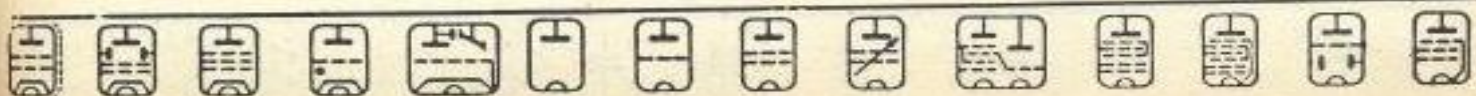
در بعضی کاربردهای عملی مثل شمارش الکترونیکی و سیستم های نشان-دهنده لازم میشود که اطلاعات باینری به معادل اعشاری شان تبدیل شوند. برای انجام این اعمال مدارهای یکپارچه ویژه ای وجود دارد که جزء آی-سی های دیجیتال بحساب می آیند.

نشانه های منطقی

با تکنولوژی جدیدی که بنام مدارهای میکرو (Microcircuit) معروف است میتوان صد ها المان را در یک چیپ قرار داد و بسته بندی نمود. قبلاً با نمادهای ترانزیستور، مقاومت، دیود و سیم پیچ آشنا شده اید چند نماد که در مدارهای لاجیکی از آنها استفاده میشود در شکل ۲۸-۴ آورده شده است. A یک معکوس کننده، B گیت آند (AND gate)، C گیت اور (OR Gate) و D فلیپ فلاپ میباشد.

علاوه بر اینها با اضافه کردن یک دایره کوچک به خروجی دگیت نامبرده مانند این است که خروجی گیت معکوس شده است، بنابراین E نماد یک گیت آند به همراه معکوس کننده است که به آن نند (NAND) گویند. F یک گیت اور به همراه یک معکوس کننده می باشد که به نور (NOR) معروف است. G نماد یک اسکلوسیو اور (Exclusive OR) می باشد. در مورد این گیت ها بعداً توضیح مفصل داده خواهد شد.

گاهی اوقات نمادهای لاجیکی را با مربعهایی نشان میدهند که در اینحال در داخل مربع حروفی گذاشته میشود که نوع آنرا مشخص میکند مثلاً:



FF = Flip - Flop = فلیپ فلاپ
 FL = Flip - flop Latch = فلیپ فلاپ لچ
 SS = Single Shote = منو استابل
 ST = Schmitt trigger = اش میت تریگر

Types of Digital ICs

انواع آی-سی های دیجیتال

آی-سی های دیجیتال اعمال گوناگونی انجام می دهند ، این اعمال را میتوان به چند دسته تقسیم بندی کرد :

دسته اول - گیت ها (Gates) ، معکوس کنند هها (Inver-tors) ، فلیپ فلاپها (Flip flops) ، درایورها (Drivers) و بافرها (Buffers) .

دسته دوم - جمع کنند هها (Adders) ، تفریق کنند هها (Subtractors) ، رجیسترها (Registers) و حافظه ها (Memories) .

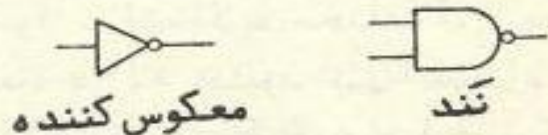
دسته سوم - آی-سی های اعمال ویژه نظیر دیکودرها (Decoders) و کنورتورها (Convertors) .

بعضی از این آی-سی ها مثل آی-سی های معروف عبارتند از معکوس کنند هها ، گیت ها و فلیپ فلاپها که در زیر شرح آنها می پردازیم :
 معکوس کنند هها یا اینورترها

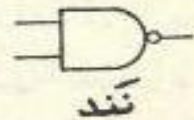
Inverters

یک آی-سی تنها ممکن است چندین عمل انجام دهد و این اعمال میتوانند مستقل از همدیگر باشند . یکی از این نوع آی-سی ها MC789P ساخت کمپانی موتورولا می باشد که شامل شش معکوس کننده (hex -)

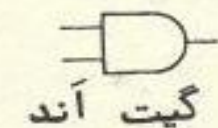
شکل ۲۸-۴ - نشانه های نمایش گیت های منطقی



معکوس کننده



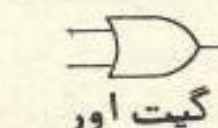
و



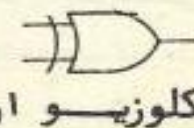
گیت آند



نور



گیت اور



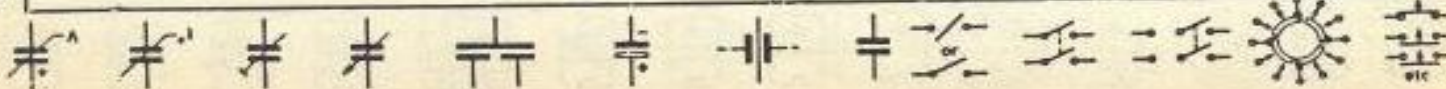
اکسلوزیو اور



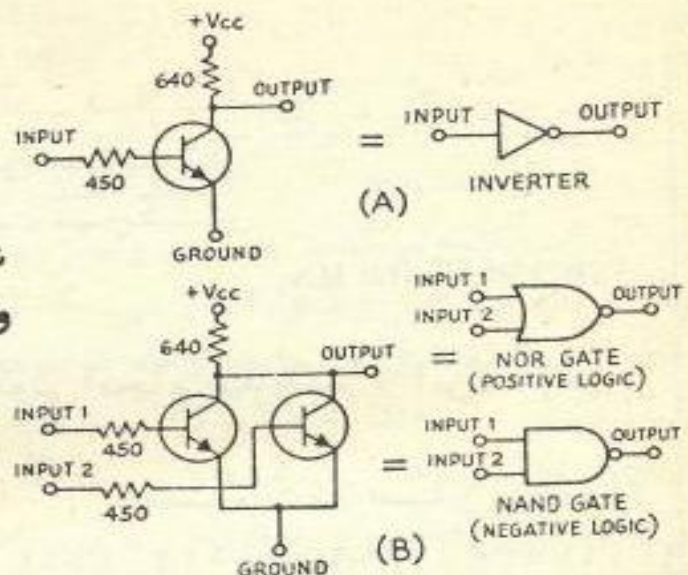
فلیپ فلاپ



فلیپ فلاپ J-K



شکل ۲۹-۴ - مدارهای دیجیتالی ونشانه های معادل آنها .

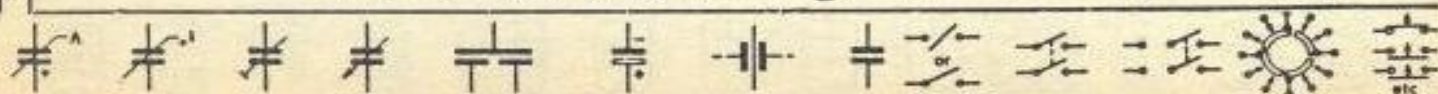


(A) inverter است . مدار یک معکوس کننده در شکل ۲۹-۴ (A) آمده است . در عمل ۳ تا ۶ / ۳ ولت بین V_{cc} و زمین اعمال میگردد . در منطق مثبت ولتاژ کمتر از ۶ / ۰ برای این بعنوان صفر منطقی و ولتاژ بالا تر از ۸ / ۰ در حکم یک منطقی میباشد . چنانچه به ورودی صفر منطقی اعمال گردد ترانزیستور در حوالی قطع (Cut off) خواهد بود و ولتاژ خروجی آن حدود ولتاژ منبع تغذیه (V_{cc}) یعنی یک منطقی میباشد . اگر به ورودی یک منطقی اعمال گردد ترانزیستور به ناحیه اشباع خود میرود و ولتاژ خروجی به حدود پتانسیل زمین یعنی صفر منطقی میرسد . بنابراین مشاهده میکنند که اگر به ورودی صفر منطقی اعمال کنید خروجی یک منطقی و چنانچه ورودی یک منطقی باشد خروجی آن صفر منطقی خواهد بود یعنی خروجی همیشه مخالف ورودی می باشد . به این گاهی اوقات گیت منفی یا نات (Not Gate) گویند ، زیرا ورودی و خروجی منطقی آن یکسان نیستند . در همه نمادهای لاجیکی اتصالات منبع تغذیه (V_{cc}) و زمین دانسته شده فرض میشود و نشان داده نمیشود . اتصالات مختلف آی - سی ها را میتوان از کاتالوگی که از طرف سازنده داده میشود پیدا نمود . در حالتی که یک آی - سی شامل چندین گیت است ، تمامی این گیت ها دارای یک V_{cc} و یک زمین هستند گیت ها

Gates

یک آی - سی دیگر که چندین وظیفه مستقل را بعهده میگیرد MC724P (موتورولا) می باشد که شامل چهار گیت دو ورودی است (Quad 2-Input gate) . مدار یکی از گیت ها و نماد آن در شکل

- ۲۹-۴ آمده است . شبیه MC789P تغذیه ۳ تا ۶ / ۳ ولت
- برای آن استفاده میشود . در منطق مثبت صفر به منزله پتانسیل کمتر از ۶ / ۰ ولت و یک منطقی به منزله پتانسیل بیشتر از ۸ / ۰ ولت میباشد . همانگونه که از مدار شکل ۲۹-۴ مشهود است هر کدام از خروجی‌ها ترانزیستور دارای یک ورودی در پایه اشان می‌باشند و در کلکتور مشترکند . با اعمال یک منطقی به هر کدام از ورودی‌ها ترانزیستور مربوطه به ناحیه اشباع میرود و نیز وجود صفر منطقی در ورودی آنها را به ناحیه قطع می‌برد . بنابراین یک منطقی در ورودی ۱ یا ورودی ۲ سبب ایجاد صفر منطقی در خروجی میگردد . عملیات (منفی کردن) را معمولا " با گذاشتن یک خط تیره بنام (بار) (bar) در بالای آن عدد یا حرف بیان میشود . مثلا " $\bar{A}$ " بمعنی منفی A است و A بار گفته میشود . $\bar{A}$ نیز بمعنی منفی یک یا صفر میباشد . عمل مدارهای لاجیکی را میتوان با روابطی بیان کرد . این روابط و معادلات به جبر بول (Boolean Algebra) معروف است که بصورت ریاضیات باینری می‌باشد . این روابط و معادلات را نباید با معادلات جبری که معمولا " با آنها سروکار دارید اشتباه کنید . معادله لاجیکی برای بیان طرز عمل مدار شکل ۲۹-۴ (B) چنین است ، $1 + 1 = 1$ علامت + بمعنی " یا " (OR) می‌باشد . معنای عبارت فوق این است که یک در ورودی ۱ یا در ورودی ۲ خروجی منفی یک منطقی خواهد داد (1 - Not) . این معادل یک گیت OR معکوس یا گیت NOR (NOT OR) می‌باشد . اگر مدار شکل ۲۹-۴ (B) با منطق منفی استفاده شود ، نحوه عمل مدار همان است که گفته شد فقط تعریف عبارات تغییر می‌یابند . در این حال یک منطقی برابر ولتاژی کمتر از ۶ / ۰ ولت و صفر منطقی معادل ولتاژ بیشتر از ۸ / ۰ می‌باشد . اگر به هر دو ورودی یک منطقی اعمال شود هر دو ترانزیستور به حالت قطع می‌روند . در نتیجه خروجی حدود ولتاژ تغذیه ($+V_{cc}$) که همان صفر منطقی است ، خواهد بود . معادله این عمل چنین است : $1 \cdot 1 = 1 = 0$ علامت نقطه " و " یا AND معنی میدهد . در این روش یعنی با منطق منفی مدار فوق یک گیت آند (AND) معکوس یا آند NAND (NOT - AND) می‌باشند . اغلب به این گیت ها NAND / NOR گویند که بسته به نوع منطق هر دو عمل را انجام میدهد .



فیلیپ فلاپها

Flip-Flops

یک آی - سی معروف دیگر از کارخانه موتورولا MC780P میباشد که شامل چهار فیلیپ فلاپ ، یک معکوس کننده و یک گیت د وورودی میباشد که روی هم طوری سیم بندی شده اند که عمل تقسیم برده را انجام میدهد . به این آی - سی شمارنده د هدهی بالا رونده (Decode Up-Counter) گویند .

بازای هر ۱۰ پالس که به ورودی این آی - سی اعمال گردد یک پالس در خروجی ظاهر میشود . خروجیهای میانی هم وجود دارند (بصورت باینری) که میتوان شماره پالسهای ورودی را تحت نظر داشت . این خروجیها که به BCD یا اعشاری کد شده بصورت باینری (Binary-Coded Decimal) معروفند ، بعد از دیکود (Decode) شدن روی صفحه ای به نمایش درمی آیند .

عبارت " یکپارچه سازی مقیاس متوسط " یا MSI (Medium Scale Integration -) به آی - سی هایی نظیر آی - سی فوق اطلاق میگردد . آی - سی های MSI معمولاً " بیشتر از ۱۵ گیت در یک چیپ دارند . نوع دیگر آی - سی ها LSI یا یکپارچه سازی مقیاس بزرگ (Large-Scale Integration) است که شامل بیش از ۱۰۰۰ گیت روی یک چیپ می باشد . وقتی این عبارات به آی - سی اطلاق میگردد منظور بیان پیچیدگی مدار آن می باشد .

فیلیپ فلاپ وسیله ای است دارای دو خروجی مکمل هم بصورت صفر و یک . یکی از خروجیها Q یا خروجی ست (Set) و دیگری $\bar{Q}$ (کیو بار) یا ریست (Reset) می باشد . وقتی $Q=1$ و $\bar{Q}=0$ باشد گویند فیلیپ فلاپ ست یا در حالت یک (1 State) می باشد در حالیکه اگر معکوس حالت فوق باشد گویند فیلیپ فلاپ در حالت صفر یا ریست (Reset) قرار دارد . فیلیپ فلاپها انواع مختلف دارند که ساده ترین آنها فیلیپ فلاپ RS (Reset-Set Flip Flop) می باشد . خروجیهای این فیلیپ فلاپ به همراه تغییر ورودیهایش تغییر میکنند . نوع دیگر فیلیپ فلاپ نوع T (Toggle Flip Flop) می باشد که حالتش در زمانیکه پالس T یا پالس ساعت (Clock - Pluse) اعمال میشود ، تغییر میکند . فیلیپ فلاپ T نوع خاصی

است از فلیپ فلاپ J-K که شرح آن خواهد آمد. نوع دیگر فلیپ فلاپ D است که شبیه یک حافظه عمل میکند. وقتی پالس ساعتی به ورودی ساعت این فلیپ فلاپ وارد شود آنچه که در ورودی اش میباشد به خروجی Q منتقل میگردد و در اینحال باقی می ماند تا آنکه ورودی تغییر کرده و یک پالس ساعت هم به آن وارد شود.

فلیپ فلاپ JK در واقع یک فلیپ فلاپ RS زمانی است و میتوان از آن بعنوان حافظه استفاده نمود. معمولاً ورودی J به ورودی ست یا S و ورودی K به Clear یا C (C Input) موسوم است. ورودی ساعت T نامیده میشود (مثل نوع T). یک ورودی دیگر نیز دارد که میتوان با آن ورودیهای فلیپ فلاپ را به صفر (Clear) پاک نمود که به آن direct-Clear یا CD میگویند. نشانه لاجیکی یک فلیپ فلاپ JK در شکل ۲۸-۴ (H) آمده است. یک فلیپ فلاپ ساده JK شامل ۱۳ یا ۱۴ ترانزیستور و ۱۶ یا ۱۸ مقاومت است.

اصولاً "فلیپ فلاپها دو نوع ورودی دارند یکی dc که حساس به مقدار ورودی اند و دیگری ac که حساس به تغییر هستند (transistion Sensitive).

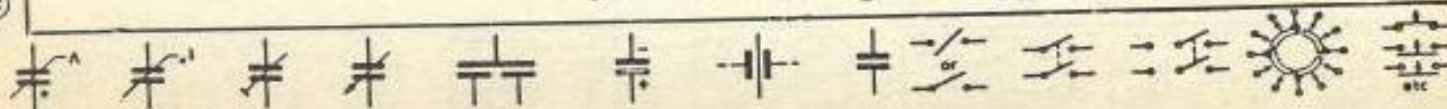
اعمال ac به این نوع فلیپ فلاپها از راه خازنی صورت نمیگیرد بلکه کوپلاژ خازنی برای فلیپ فلاپهای اولیه بود که با المانهای مجزا ساخته میشدند. در مدارهای یکپارچه از این راه استفاده نمیکردند. در ساختمان یک فلیپ فلاپ نوع ac از اصول Master-Slave (آقا - برده) استفاده میشود. در اینجا عمل یک فلیپ فلاپ که Master (اصلی) می باشد سبب تحریک فلیپ فلاپ دیگر (Slave) میگردد که در نتیجه تغییری در خروجی حاصل میشود.

خانواده آی سی های دیجیتال

DIGITAL-LOGIC IC FAMILIES

آی سی های دیجیتال به هفت دسته یا خانواده تقسیم میشوند. هر خانواده مزایایی و نواقصی دارد. هر کدام موارد استفادههایی دارند. نکته مهم این است که هر خانواده با اعضای دیگر خانواده خودش در مدار بکار میرود. در زیر به بیان این خانواده ها می پردازیم:

۱ - منطق ترانزیستور - مقاومت (RTL)



RTL یا منطق مقاومت - ترانزیستور جزء اولین آی-سی‌های - دیجیتالی هستند (Resistor- Transistor Logic). همانطور که از نامش پیداست شامل مقاومت و ترانزیستور هستند. مدارهای شکل ۲۹-۴ از این نوعند. مزایای RTL عبارتند از اقتصاد بودن، راحت بودن طرح سیستم با آنها، زیاد بودن حاصل ضرب سرعت در قدرت (Power - Speed Product). معایب اینها عبارتند از: حساس بودن به نویز، پائین بودن فن اوت (fan-out). فن اوت تعداد بارهایی را که میتوان به خروجی اضافه نمود مشخص میکند. خانواده RTL به تغذیه حدود ۳ تا ۳/۶ ولت احتیاج دارد.

۲- منطق دیود - ترانزیستور (DTL)

آی-سی‌های DTL (Diode - Transistor Logic) شامل دیود، مقاومت و ترانزیستور هستند. آی-سی‌های DTL احتیاج به منابع ولتاژ منفی و مثبت دارند. اعضای خانواده DTL منحصر به گیت‌ها هستند. مزایای این آی-سی‌ها عبارتند از: قدرت تلفاتی کم، سازگاری با آی-سی‌های TTL، قیمت کم، راحتی استفاده از آنها در طرح سیستم‌ها، راحتی تطبیق آنها با سایر قسمت‌های مدار و فن اوت (fan-out) نسبتاً زیاد.

معایب DTL عبارتند از: اثر نویز بر آنها، تغییر سریع ولتاژ ترشولد در اثر حرارت، سرعت کم.

DTL‌ها احتیاج به منبع تغذیه ۵ ولت دارند.

۳- منطق ترشولد بالا (HTL)

اثر نویز بر آی-سی‌های HTL (High-Thresholds Logic) کم است. فرم مداری این آی-سی‌ها شبیه DTL می‌باشد، با این تفاوت که در اینجا دیودهای زنر در ورودیها بکار میروند. این آی-سی‌ها دارای قدرت تلفاتی زیاد هستند و احتیاج به منبع تغذیه بالا تر دارند.

مزایای این آی-سی‌ها: مقاوم بودن در برابر اثرات نویز، پایدار بودن عمل آن در یک محدوده وسیع از درجه حرارت، قابلیت تطبیق با دیگر اجزاء سیستم، خطی بودن.

معایب آنها: قیمت زیاد نسبت به سایرین و قدرت تلف زیاد. HTL احتیاج به منبع تغذیه ۵ ولت دارند.

۴- منطق ترانزیستور- ترانزیستور (TTL)

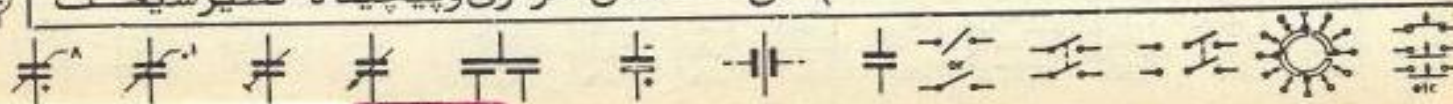
- ⊕ مشخصات TTL (Transistor-Transistor Logic) شبیه
- ⊕ به DTL می باشد که دارای سرعت زیاد هستند . این آی-سی ها برای
- ⊗ بارهای خازنی بسیار مناسب است ، زیرا امپدانس خروجی آنها در هر دو
- ⊗ حالت کم می باشد . آی-سی های TTL به دو دسته تقسیم میشوند -
- ⊗ سرعت متوسط و سرعت زیاد - برای افزایش سرعت تکنیک های بخصوصی
- ⊗ توسط سازندگان بکارگرفته میشود از جمله اضافه کردن ناخالصی طلاویا
- ⊗ استفاده از دیود های سرعت زیاد شاتکی (High - Speed -
- ⊕ Schottky -) . مزیت دیگر آی-سی های TTL سازگاری آنها
- ⊕ با سایر خانواده آی-سی ها است . معایب این آی-سی ها عبارتست از :
- ⊕ دقت زیاد در موقع کار کردن با آنها ، احتیاج به خازن های اضافی برای بایپاس
- ⊗ کردن بخاطر سوچ کردن ولتاژ های گذرا . خانواده TTL احتیاج به
- ⊗ منبع ۵ ولت دارند .

۵- منطق امیترهای کوپله شده - Emitter-Coupled Logic (ECL)

- ⊕ ECL دارای بالاترین سرعت در بین آی-سی های دیجیتال
- ⊕ هستند . گاهی اوقات این ها به منطق
- ⊕ Current - mode نامیده میشوند . این خانواده از دیگر خانواده ها متفاوت می باشد و بیشتر
- ⊕ نزدیک به وسایل خطی هستند . در این حالت ترانزیستورها به ناحیه
- ⊕ اشباع نمیروند و دامنه منطقی کاهش می یابد . بخاطر تغییرات کم دامنه
- ⊕ ولتاژها در این منطق و استفاده از ترانزیستورها غیر اشباعی سرعت خیلی
- ⊕ زیاد بدست آمده است . مدار داخلی ECL شبیه به تقویت کننده
- ⊕ دیفرانسیل می باشد . خروجی ها بصورت امیتر فالور است به همین جهت
- ⊕ امپدانس خروجی کم و در نتیجه فن اوت fan - out زیاد است و
- ⊕ مناسبند برای راندن خطوط انتقال . ۵ اهمی . معایب این آی-سی ها
- ⊕ عبارتند از : قدرت تلفی زیاد ، اثر نویز بر آنها ، احتیاج به مدار واسطه
- ⊕ برای تطبیق آن با سایر قسمت ها ، مناسب نبودن بارهای خازنی برای آنها .
- ⊕ ECL احتیاج به تغذیه ۵/۲ ولتی دارند .

نیمه هادی اکسید فلزی - (MOS)

- ⊕ وسایل نوع موس دیجیتال (Metal-Oxide Semiconductor)
- ⊕ بتازگی کاربردهای زیادی پیدا کرده اند مخصوصاً نوع P کانال یا
- ⊕ پی - موس (P-MOS) آن . اعمال تکراری و پیچیده نظیر شیف



رجیستر و حافظه ی ظرفیت زیاد عملی شده اند . امید انس ورودی این وسایل خازنی می باشد . این وسایل دارای فن آوت زیاد هستند ولی سرعت آنها قابل توجه نیست . تکنولوژی پی - موس (P - MOS) سبب شده که هزینه حافظه های طولانی و شیفتر رجیستر پائین بیاید زیرا اعمال بسیار زیادی را میتوان در یک چیپ جای داد .

این نوع آی - سی ها را باید خیلی بدقت و با ملاحظه بدست گرفت زیرا الکتریسیته ساکن زیاد میتواند باعث از بین رفتن اکسید گیت باریک گردد ، حتی اگر دیود محافظ نیز در داخلش در نظر گرفته شده باشد . (عیب این نوع آی - سی ها) این نوع آی - سی ها به دو منبع تغذیه احتیاج دارند . نوع پی - موس به تغذیه ۱۳ - و ۲۷ - ولت محتاج است .

نیمه هادی اکسید فلزی مکمل - (CMOS)

تکنولوژی Complementary Metal - Oxide Semiconductor
سبب شده که بتوان نوع کانال p و کانال N را روی یک سابستریست سیلیکونی قرارداد . هر دو نوع از enhancement - mode

می باشد یعنی ولتاژ گیت بایستی در جهتی که سبب هادی شدن میگردد افزایش یابد . در یک لحظه فقط یکی از دو نوع روشن میشود . تلفات در اثر سوچ شدن المانهای فعال و شارژ و دشارژ شدن خازنها میباشد .

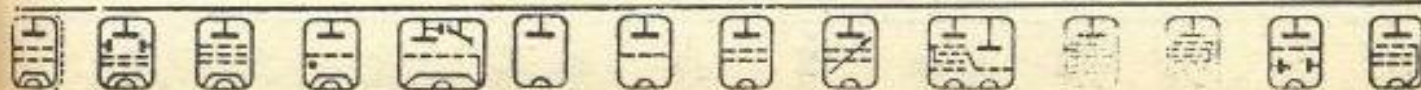
مزایا عبارتست از : قدرت تلفی کم ، اثر نویز اندک ، تغییرات زیاد منبع تغذیه فن آوت زیاد ، قابلیت کار در یک محدوده وسیع حرارتی .

معایب عبارتست از : قابلیت تطابق محدود و بخاطر بالا بودن امید انس خروجی و قیمت زیاد . خانواده سی - موس (C - MOS) به تغذیه ۱/۵ تا ۱۶ ولت احتیاج دارند .

گروههای خانواده آی - سی ها

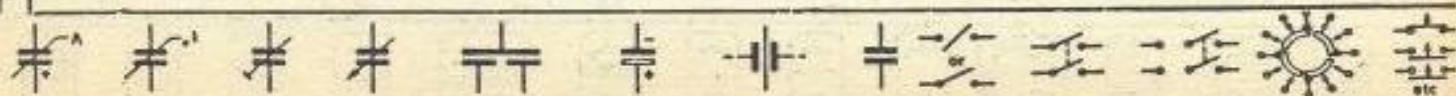
خانواده های آی - سی های دیجیتال - لاجیک چندین گروهند . این آی - سی ها دارای سرعت های متوسط ، سرعت زیاد (High Speed) و قدرت مصرفی کم هستند . در نامگذاری خانواده TTL در جلوی شماره آی - سی یک حرف الفباء آورده میشود . حروفی که در جلوی اعداد آورده میشوند اینها هستند :

S - شاتکی - سرعت زیاد
H - سرعت متوسط
L - قدرت کم



- در خانواده ECL نامگذاریها چنین ساده نمی باشد . سازندگان ECL آی-سی های خود را با مقدار زمان تأخیر انتشار مشخص میکنند . مثلاً "موتورولا یک گروه آی-سی با کد MECL دارد که ۸ نانوثانیه (ns - 8) تأخیر انتشار دارد . گروه دیگری که MECL II هستند ۴ نانوثانیه و MECL 10,000 ، ۲ نانوثانیه و MECL III ۱/۱ نانوثانیه تأخیر دارند . آی-سی های دیجیتال ویژه

- علاوه بر آی-سی های دیجیتال که نامبرده شده آی-سی های ویژه ای هم هستند که وظایف بخصوصی انجام میدهند . مثلاً آی-سی U6B95H9059 X کمپانی فرچایلد (fairchild) یک تقسیم کننده بر ۱۰ (divided-by-10) می باشد که تا ۳۲۰- مگاهرتز کار میکند . این آی-سی طوری طرح گردیده که با سیگنالهای دامنه پائین (حدود ۱۰۰ میلی ولت) در ۱۵۰ مگاهرتز کار کند . یک گروه آی-سی های موس (MOS) هستند که برای حافظه استفاده میشوند . برای ذخیره کردن اطلاعات در این حافظه ها دستوراتی رعایت میگردد که بآنها برنامه ریزی (Programming) گفته میشود . بعضی از حافظه ها را فقط یکبار میتوان برنامه ریزی کرد ، این آی-سی ها ROM گفته میشوند (Read- Only Memory) . رام ها (RAMs) بایستی به ترتیب خوانده شوند . یک گروه دیگر وجود دارد که RAM (Read - Access Memory) خوانده میشوند . هم ROM و هم RAM را طوری می سازند که بشود آنها را دوباره برنامه ریزی نمود ، (Reprogrammable) . در این نوع حافظه ها اطلاعات ذخیره شده در آنها را میشود به دلخواه تغییر داد . این مدل حافظه ها PROM و PRAM می باشند . یک عده آی-سی دیگر وجود دارد که برای تولید و تبدیل اطلاعات استفاده میشوند . مثلاً یک آی-سی هست که میتوان آنرا طوری برنامه ریزی نمود که بشود یک کد RTTY پنج لوللی (level) را به کد هشت لوللی ASCII تبدیل نمود . کمپانی ناسیونال یک آی-سی ساخته که میتواند یک کد هشت لوللی ۵۶ کاراکتری (56-Character level - 8 -) تولید کند . آی-سی های دیگری نیز هستند که



میتوانند حروف و اعداد تولید کنند که روی صفحه اسیلوگراف نیز به نمایش درآید.

انواع دیگر نیم هادیها ترانزیستورهای تک اتصال

ترانزیستورهای یونی جانکشن (Unijunction Transistors) یا یو جی تی (UJT) کاربردهایی دارند نظیر ژنراتور دنداناره ای، ژنراتور موج مربعی و تایمرها.

برای ساختن این ترانزیستور بزرگ میله سیلیکونی نوع N اتصالهای اهمی برقرار میکنند. یکی از این اتصالها پایه شماره یک (B1) و دیگری پایه شماره دو (B2) می باشد. بین این دو اتصال، اتصال سومی نیز قرار میدهند که آمیتر می باشد. در ضمن کار عادی ترانزیستور B1 زمین میشود و یک گرایش مثبت به B2 اعمال میگردد. وقتی آمیتر گرایش مستقیم پیدا میکند، جریان آمیتر جاری میشود و ترانزیستور هدایت خواهد کرد. نشانه (UJT) در شکل ۳-۴ (C) آمده است. در این شکل یک کاربرد از UJT داده شده است.

یکسو کننده های کنترل شده

یکسو کننده کنترل شده سیلیکونی (Silicon Controlled Rectifier) در واقع یک دیود چهار لایه سه الکترودی میباشد (PNPN یا NPNP).

نام دیگر این یکسو کننده کنترل شده (SCR) تریستور میباشد. سه الکترود تریستور (Thyristor) عبارتست از آنود، کاتد و گیت (شکل ۳-۴ B).

تفاوت تریستور با دیود معمولی در این است که تریستور فقط هنگامی هدایت میکند که جریان گیت از مقدار مشخصی تجاوز نماید. هر چه جریان گیت بیشتر گردد ولتاژ break over مستقیم کاهش می یابد. یکبار که یکسو کننده در جهت مستقیم هدایت کند، جریان گیت دیگر کنترلی بر یکسو کننده ندارد، و یکسو کننده مثل یک دیود رفتار میکند. یکسو کننده در حالت هدایت می ماند تا وقتی که ولتاژ از مقدار معینی کمتر شود.

SCR کاربرد های فراوانی دارد مخصوصاً در کنترل کننده های قدرت

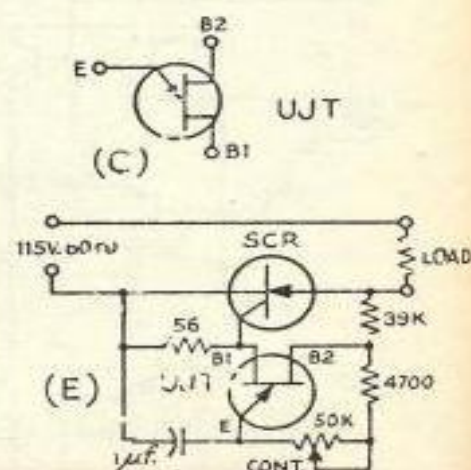
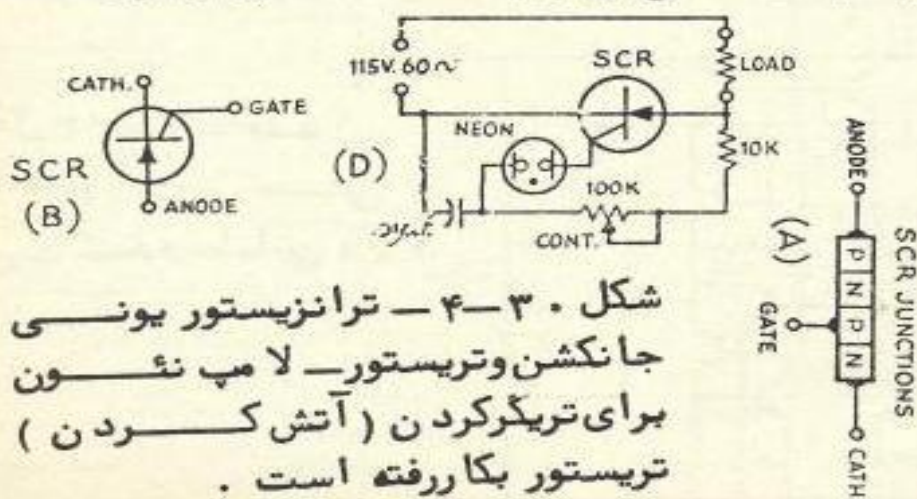
ود رمد ارهای تا آخرین زمانی . ترستورها را انواع و اقسام قد رتها و ولتاژها در دسترس هستند .

تریاک

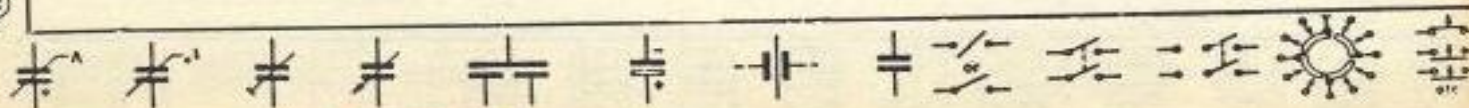
تریاک (Triac) شبیه ترستور سه الکترود دارد . ترمینال اصلی (NO.1) ، ترمینال دیگر شماره دو (NO.2) و گیت . رفتار تریاک ها شبیه ترستورهاست ولی برای هر دو نوع پلاریته ولتاژ بکار میرود . در واقع تریاک ها ترستورهای دو طرفه می باشند . همانطور که ذکر شد ترستور فقط در یک نیم سیکل موج سینوسی هدایت می کند . وقتی ترستور را برای کنترل سرعت موتور بکار میبرود ، نمیتوان موتور را به سرعت کامل اش آورد . ولی تریاک میتواند روی هر دو نیم سیکل ها تریگر کرد . بنابراین تریاکها بر ترستورها ترجیح دارند . میتوان تریاکها را بصورت دو ترستور موازی و در جهت مخالف هم در نظر گرفت ، شبیه شکل ۳۱-۴ . یک مثال از کنترل سرعت موتور با استفاده از تریاک در بخشهای بعدی داده خواهد شد .

تقویت کننده های عملیاتی

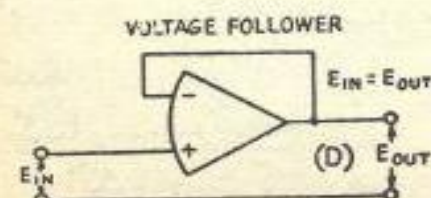
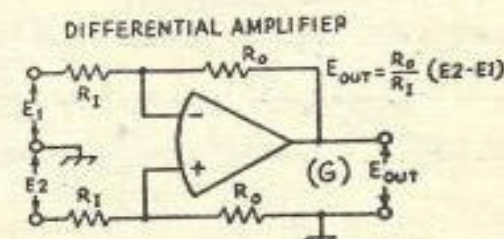
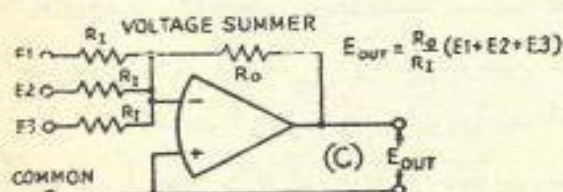
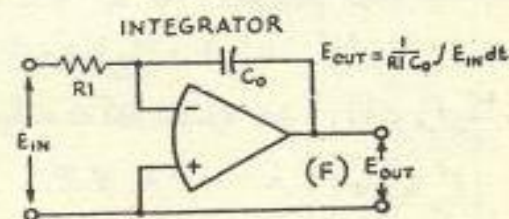
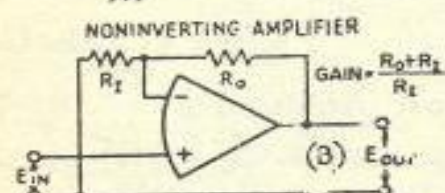
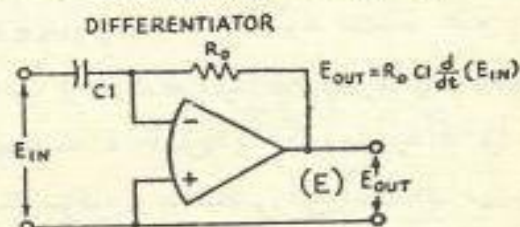
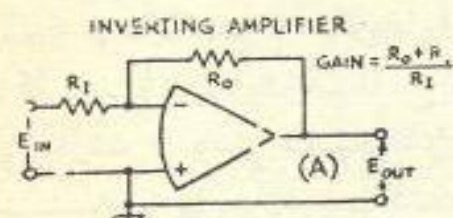
کامپیوترهای آنالوگ از تقویت کننده هایی استفاده میکنند که به تقویت کننده های عملیاتی یا اپراسیونل (Operational Amp.) معروف هستند و به اختصار آپ - امپ (OP. AMP) خوانده میشوند . تقویت کننده های عملیاتی را بالا امپ و یا با ترانزیستور میتوان ساخت ، ولی جدیداً مدارهای یکپارچه یا آی - سی آن تهیه شده است و در بازارها



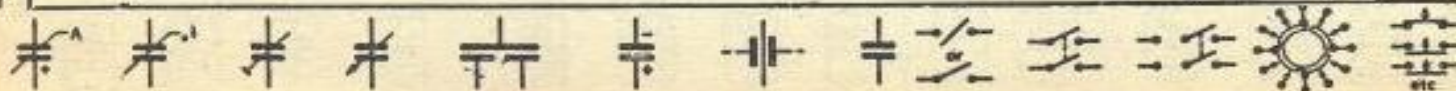
شکل ۳۰-۴ - ترانزیستور یونی جانکشن و ترستور - لا امپ نئون برای تریگر کردن (آتش کردن) ترستور بکار رفته است .



- سی ها در اینحال صفر نمی باشد ، یعنی وقتی هر دو ورودی به پتانسیل صفر وصل گردد خروجی صفر نخواهد بود . مقدار ولتاژی که در اینحال در خروجی ظاهر میشود به آفست (Offset) موسوم است . همیشه باتد ابیری این ولتاژ را صفر میکنند و بعد از آپ - امپ استفاده می نمایند . برای صفر کردن مقدار آفست باید جریانی به ترانزیستورهای ورودی اعمال نمود اتصالات آفست برای ۷۴۱ در شکل مشخص شده است . آپ - امپ ها در بسته بندیهای مختلف ساخته میشوند . در بسیاری از کاربردها به سه آپ - امپ استفاده نمیشود . در مورد آپ - امپ ها شبیه شکل های ۳۴ - ۴ (A و B) فید بک یا تغذیه برگشت بکار می رود . با اضافه کردن یک تقسیم کننده مقاومتی $R_1 - R_0$ به آپ - امپ مقداری از ولتاژ خروجی به ورودی منفی اعمال میگردد و چون این ولتاژ با ولتاژ ورودی در فاز مخالف است به آن تغذیه برگشت منفی گویند . بهره مدار در اینحال برابر است با مجموع R_0 و R_1 تقسیم بر R_1 . یعنی میتوان با انتخاب مقادیر برای R_0 و R_1 هر بهره ای که میخواهید از تقویت کننده بگیرید . باروشی مشابه میتوان فید بک را از راه ورودی مثبت اعمال کرد (شکل ۳۳ - ۴ - B) مدار جمع کننده شکل ۳۳ - ۴ (C) (Voltage Summer)



شکل ۳۳ - ۴ - مدارهای اساسی آپ - امپ .



خروجی تولید می کند بر ابرمجموع تمامی ولتاژهای ورودی ضربدر بهره تقویت کننده عملیاتی. این مدار را معمولاً "بصورت مخلوط کننده صوتی (Audio Mixer) بکار می رود. شکل (D) یک دنبال کننده ولتاژ (Voltage Follower) را نشان می دهد. باری که در خروجی این مدار قرار دارد جریان زیادی میکشد در حالیکه تقریباً هیچ جریانی ورودی نمی کشد. تقریباً ولتاژ خروجی تغییرات ولتاژ ورودی را دنبال می کند. مدار (E) یک مشتق گیر (Differentiator) میباشد و خروجی اش متناسب است با نرخ تغییرات ولتاژ ورودی. مدار شکل (F) یک انتگرال گیر (Integrator) است یعنی خروجی اش متوسط تغییرات ورودی در یک پریود زمانی است. یک تقویت کننده دیفرانسیل نیز در شکل (G) آمده است.

پای داری

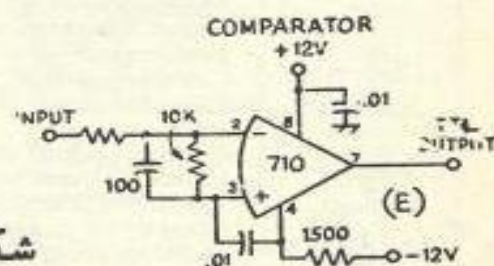
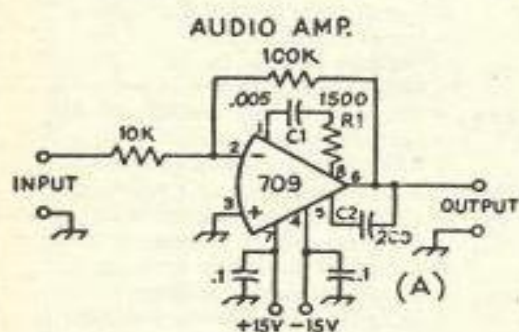
Stability

بخاطر آنکه آپ - امپ ها دارای بهره بالا و پاسخ فرکانسی صفر تا چندین مگاهرتز هستند، امکان نوسان یا اسیلاسیون وجود دارد. در مدارهای آپ - امپ ورودی بایستی کاملاً "از خروجی ایزوله گردد. تا حد امکان باید سیم های ورودی کوتاه باشند. سیم های منبع تغذیه باید با خازنهای یکد هم تایکصد م میکرو فاراد با بایپاس (Bypass) گردند. هرچه فرکانس بالا می رود طبقاتی که در آنها آپ - امپ وجود دارد تغییر فاز بوجود می آورند. وقتی تغییر فاز به ۱۸۰ درجه برسد، قبل از آنکه بهره به واحد تنزول یابد تقویت کننده ناپایدار خواهد بود. بعضی از آپ - امپ ها نظیر ۷۰۹ (A709) شکل ۳-۴ به مدار ترمیم کننده (Compensation network) احتیاج دارند. این مدار ترمیم کننده یک مقاومت به همراه یک خازن می باشد که بهره مدار را در فرکانس های بالا کاهش می دهد. بعضی دیگر نظیر ۷۴۱ (A741) احتیاج به مدار خارجی ترمیم کننده ندارند بلکه مدار داخلی ترمیم کننده دارند. مدار ترمیم برای پایداری به آپ - امپ اضافه میشود. (در مورد آپ - امپ ۷۴۱ قبلاً کتابی به نام "طرح مدارهای الکترونیک با آی - سی ها" چاپ و منتشر گردیده که علاقمندان میتوانند به آن رجوع کنند.)

کاربردها

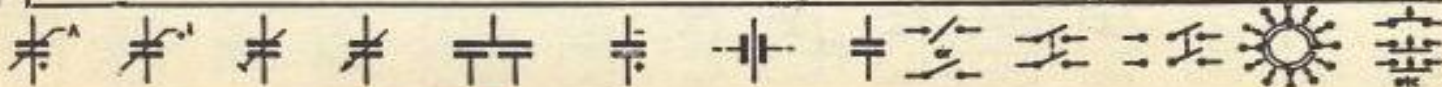
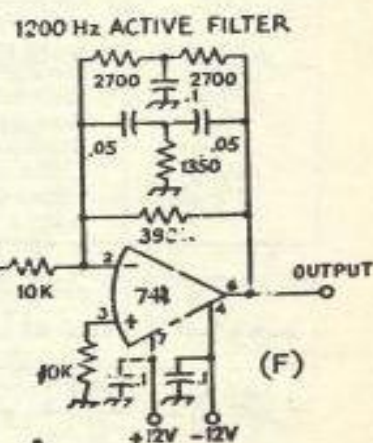
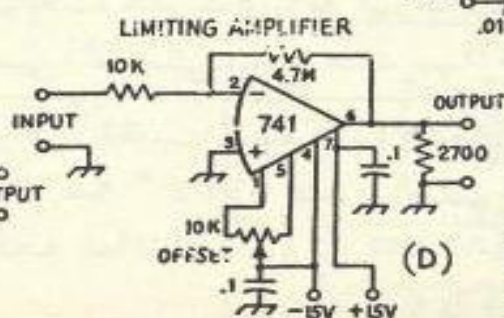
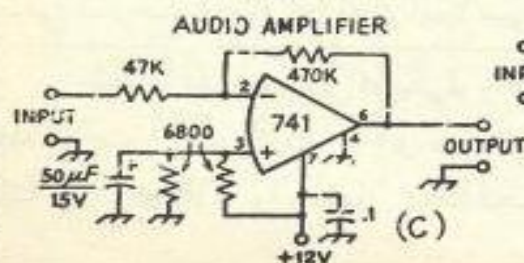
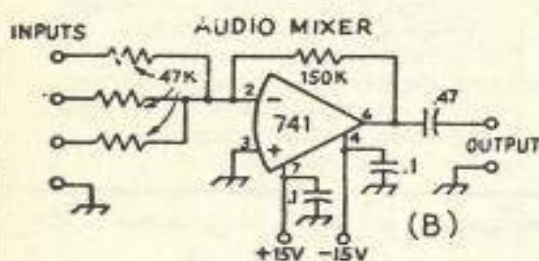
اکثر تقویت کننده های عملیاتی یکپارچه به منبع تغذیه های ۵ + تا

- ۱۵+ و ۵- تا ۱۵- احتیاج دارند. درشکلهای ۳-۴ مدارهای عملی با استفاده از تقویت کنندههای عملیاتی آورده شده است. در شکل ۳-۴ به ترتیب مدارهای تقویت کننده صوتی (Audio Amp.) مخلوط کننده صوتی (Audio Mixer) تقویت کننده صوتی (Audio - Amplifier) تقویت کننده محدود کننده (Limiting - Amplifier) مقایسه کننده (Comparator) و فیلتر فعال یا اکتیو (Active Filter) نشان داده شده اند. در شکل D کنترل آفست به مدار اضافه گردیده است. مقایسه کننده برای مشخص کردن اختلاف یک ولتاژ منبأ (مرجع) و یک ولتاژ ورودی بکار میرود. خروجی مقایسه کننده بین دو حد یعنی ماکزیمم مثبت و ماکزیمم منفی نوسان می کند. بعضی از آپ-امپ ها برای مقایسه کننده های ایده آل اند، اینها اغلب بعنوان واسطه (Interface) بین مدارهای دیجیتال و آنالوگ استفاده میشوند. فیلتر نشان داده شده در شکل دارای Q (ضریب کیفیت) کم بوده و برای گیرنده CW مناسب است. بهره این فیلتر در فرکانس تشدید (رزونانس) حدود ۴۰ می باشد.



شکل ۳-۴

کاربردهای تقویت کننده عملیاتی ۷۴۱



لیست نشانه‌های نیم‌هادی‌ها بکار میرود

ترانزیستورها

C_{ibo}	- Input capacitance, open circuit (common base)
C_{ieo}	- Input capacitance, open circuit (common emitter)
C_{obo}	- Output capacitance, open circuit (common base)
C_{oeo}	- Output capacitance, open circuit (common emitter)
f_c	- Cutoff frequency
f_T	- Gain-bandwidth product (frequency at which small-signal forward current-transfer ratio, common emitter, is unity, or 1)
g_{me}	- Small-signal transconductance (common emitter)
h_{FB}	- Static forward-current transfer ratio (common base)
h_{fb}	- Small-signal forward-current transfer ratio, short circuit (common base)
h_{FE}	- Static forward-current transfer ratio (common emitter)
h_{fe}	- Small-signal forward-current transfer ratio, short circuit (common emitter)
h_{IE}	- Static input resistance (common emitter)
h_{ie}	- Small-signal input impedance, short circuit (common emitter)
I_b	- Base current
I_c	- Collector current
I_{CBO}	- Collector-cutoff current, emitter open
I_{CEO}	- Collector-cutoff current, base open
I_E	- Emitter current
MAG	- Maximum available amplifier gain
P_{CE}	- Total dc or average power input to collector (common emitter)
P_{OE}	- Large-signal output power (common emitter)
R_L	- Load resistance
R_s	- Source resistance
V_{BB}	- Base-supply voltage
V_{BC}	- Base-to-collector voltage
V_{BE}	- Base-to-emitter voltage
V_{CB}	- Collector-to-base voltage
V_{CBO}	- Collector-to-base voltage (emitter open)

V_{CC}	- Collector-supply voltage
V_{CE}	- Collector-to-emitter voltage
V_{CEO}	- Collector-to-emitter voltage (base open)
$V_{CE(sat)}$	- Collector-to-emitter saturation voltage
V_{EB}	- Emitter-to-base voltage
V_{EBO}	- Emitter-to-base voltage (collector open)
V_{EE}	- Emitter-supply voltage
Y_{fe}	- Forward transconductance
Y_{ie}	- Input Admittance
Y_{oe}	- Output Admittance

نشانه‌های ترانزیستور اثر میدانی

A	- Voltage amplification
C_c	- Intrinsic channel capacitance
C_{ds}	- Drain-to-source capacitance (includes approximately 1-pF drain-to-case and interlead capacitance)
C_{gd}	- Gate-to-drain capacitance (includes 0.1-pF interlead capacitance)
C_{gs}	- Gate-to-source interlead and case capacitance
C_{iss}	- Small-signal input capacitance, short circuit
C_{rss}	- Small-signal reverse transfer capacitance, short circuit
g_{fs}	- Forward transconductance
g_{is}	- Input conductance
g_{os}	- Output conductance
I_D	- Dc drain current
$I_{DS(OFF)}$	- Drain-to-source OFF current
I_{GSS}	- Gate leakage current
r_c	- Effective gate series resistance
$r_{DS(ON)}$	- Drain-to-source ON resistance
r_{gd}	- Gate-to-drain leakage resistance
r_{gs}	- Gate-to-source leakage resistance
V_{DB}	- Drain-to-substrate voltage
V_{DS}	- Drain-to-source voltage
V_{GB}	- Dc gate-to-substrate voltage
V_{GB}	- Peak gate-to-substrate voltage
V_{GS}	- Dc gate-to-source voltage
V_{GS}	- Peak gate-to-source voltage
$V_{GS(OFF)}$	- Gate-to-source cutoff voltage
Y_{fs}	- Forward transadmittance $= g_{fs}$
Y_{os}	- Output admittance
Y_L	- Load admittance

در جلد بعدی در نظر است مباحث جدیدی را که در چاپ ۱۹۸۱ کتاب اصلی در خصوص قوانین اساسی الکتریکی و نیم‌هادهای اضافه شده، بیاوریم.

اطلاعات اضافی دیگری باره تقویت‌کننده‌های عملیاتی در کتاب "طرح مدارات الکترونیک با آی-سی‌ها" داده شده است. توصیه می‌شود که کتاب نامبرده را حتماً مطالعه نمائید.

مدارهای عملی

در خاتمه چند مدار عملی بچاپ میرسد تا با ساخت آنها تمرینی در مهاجرت مختلف کتاب کرده باشید.

رادپو ترا ریستوری

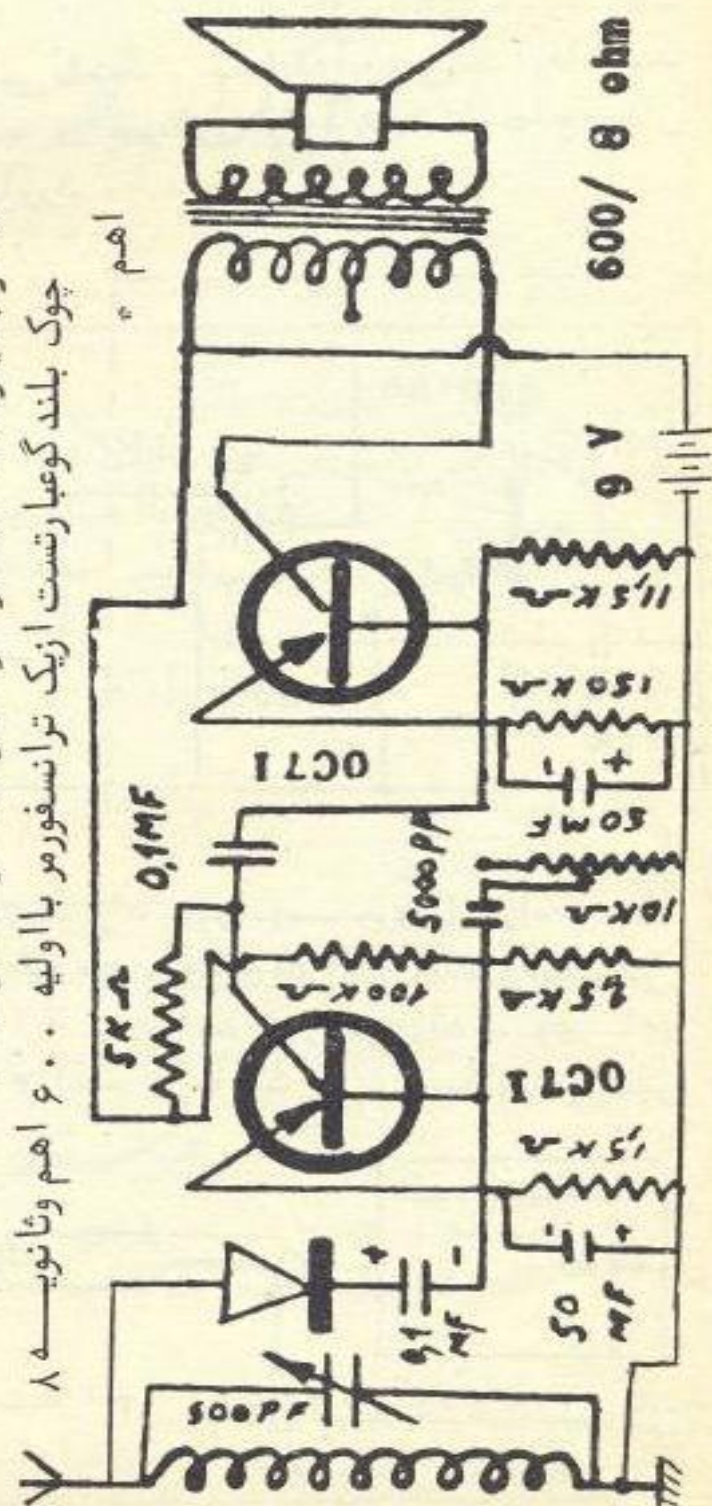
دیباگرامی که مشاهده میکنید یک رادیو ۲ ترانزیستوری است. در این رادیو هر چه آنتن بلند تر باشد بهتر است و رادیو قاذره اخذ فرستند همای بیشتر مخصوصاً در شب خواهد بود.

د رابتنه اباى بوبىن راى يوراتهيه كنيد . بوبىن اىن راى و را مى توانيد
براى هر موجى بپيچيد كه ماى راىنجا بوبىن را براى موج متوسط شرح ميدهيم .
روى هسته ذغالى موجود در راى يوهاى تراىزىستورى موج متوسط ۱۰۰ -

د وړازسيم روپوش د ارد که چند رشته د رد اخل آن وجود د ارد (سيم مخصوص ابريشمی) بپيچيد . یک سرآن به آنتن وسرد يگرش به زمين وصل ميگردد . موازي اين سيم پيچ یک خازن ۵۰۰ پيکوفارادي متغير متصل ميگردد .

مطابق مداری که داده شده اجزاء را بهم مربوط کنید . طرز کار را بن مداری ساده است و خود میتوانید آنرا آنالیز کنید .

چوک بلند گوعبارتست ازیک ترانسفورمر با اولیه ۶۰۰ اهم وثانویه ۸

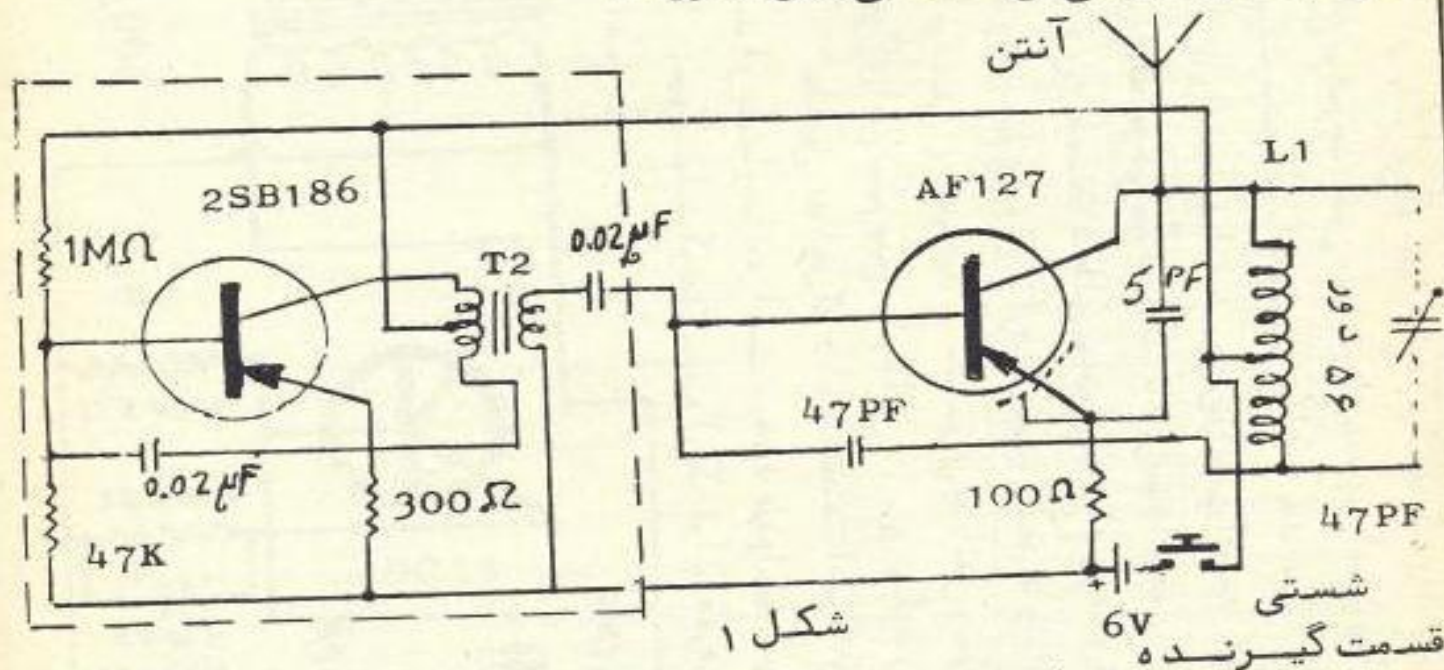


تکه کوماند

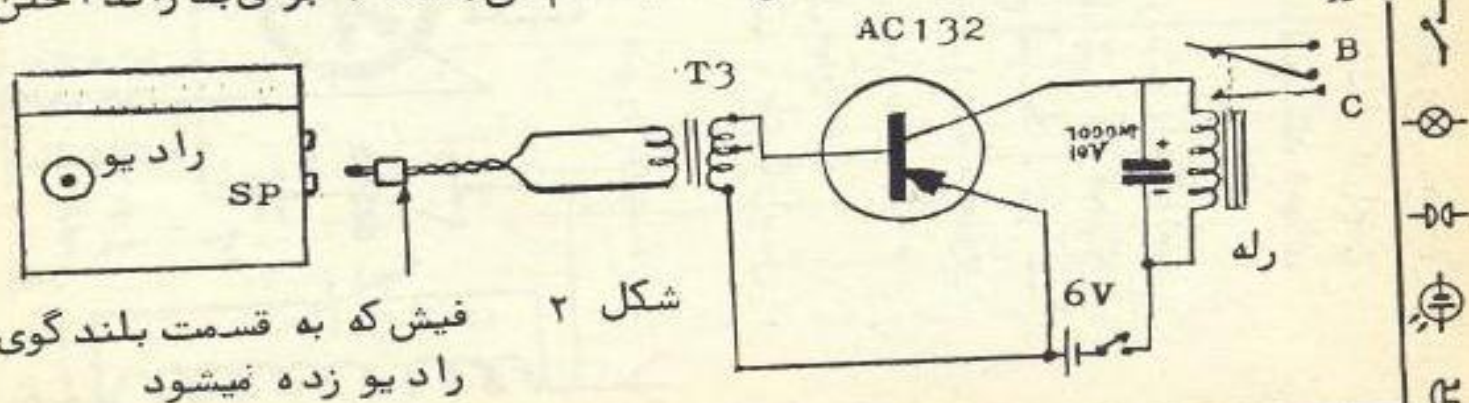
قسمت فرستنده

فرستنده روی ۱۰ مگاهرتز (موج کوتاه ۳۰ متر) کار میکند . سیم پیچ L1 عبارتست از ۵۶ دورسیم ۳۰ / ۰ . روی استوانه ای مقوایی و تو خالی بقطر ۱۰ میلی متر که از دور ۲۸ (وسط سیم پیچ) یک پریز گرفته شده است .

آنتن دستگاه میتواند از نوع تلسکوپی باشد . بخاطر آن این مدار فاقد کریستال است باید آنرا در داخل جعبه ی غیر فلزی قرار دهید تا امواج بدن در فرکانس خروجی آن اختلالی پیش نیارد .



گیرنده مدار فوق از یک رادیو ترانزیستوری به همراه یک مدار ساده تشکیل شده است . فیش قسمت ورودی مدار به خروجی بلندگوی رادیو وصل میشود . T2 و T3 ترانس د رایور رادیوهای ترانزیستوری هستند . رله از نوع ۳۰۰ اهم می باشد . برای بکار انداختن

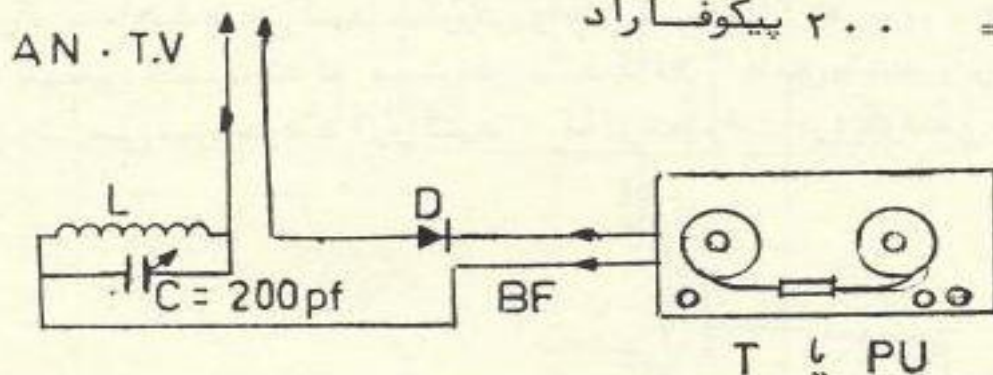


فیش که به قسمت بلندگوی رادیو زده میشود

- د دستگاه باید قبلاً " رادیو را روی ۳۰ متر تنظیم کنید و سپس کلید فرستنده را بزنید . جایی که سوت فرستنده بیشتر بود انتخاب کرده و کلید S1 قسمت فرمان را وصل کنید . حال وقتی که کلید فرستنده را وصل کنید سوت تبدیل به سیگنال الکتریکی شده و پس از رسیدن آن به ترانزیستور AC132 رله بسته شده و عملی انجام میگیرد .

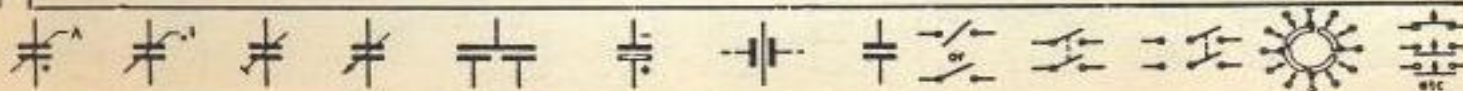
تبدیل گرام و تقویت کننده به فرستنده

- با این مدار میتوان گرام - ضبط صوت و تقویت کننده خود را به فرستنده تبدیل کنید . دو سیم ورودی به بلند گود دستگاه را باز کنید ، سیم یکی را به یک دیود معمولی D واز دیود به یک سیم آنتن تلویزیون (۳۰۰ - اهم) ببرید . سیم دیگر ورودی به بلند گوبه یک مدار تشدید موازی وصل شده از طرف دیگر به سیم دیگر آنتن تلویزیون میرود .
- سیم پیچ L بوبین موج متوسط رادیو ترانزیستوری با فریست است . صدای این فرستنده را روی موج متوسط خواهید شنید .
- D = 0A79 یا 0A80 یا هر دیود معمولی دیگر .
- C1 = ۲۰۰ پیکوفاراد



فرستنده ساده

- هر فرستنده از سه قسمت : نوسان ساز ، قسمت BF و مدولاتور تشکیل میشود . در این فرستنده یک لامپ 6AQ5 کار هر سه قسمت را انجام میدهد .
- مدار هماهنگی از بوبین L1 - L2 و خازن متغیر CV تشکیل شده است (خازن متغیر را از رادیوهای برقی کهنه بردارید) CV فرکانس



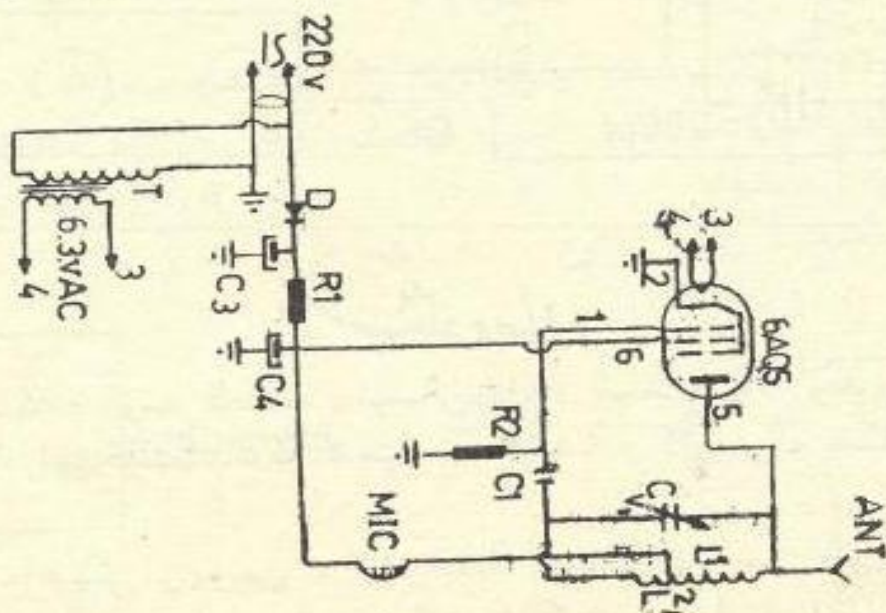
فرستنده را روی موج متوسط تغییرمیدهد .

جریان یکسوشده از میکروفن کریستالی عبور کرده و به محل اتصال $L1$ و $L2$ میرود و پس از عبور از $L1$ آند لامپ را تغذیه میکند . سردیگر بوبین توسط خازن عدسی $C1$ (47 پیکوفاراد) به شبکه فرمان لامپ وصل شده است و شبکه توسط مقاومت 20 کیلو اهم $R2$ (نیم وات) به شاسی رفته است . صفحه لامپ (پایه 6) از طریق خازن 50 میکروفاراد به زمین میرود .

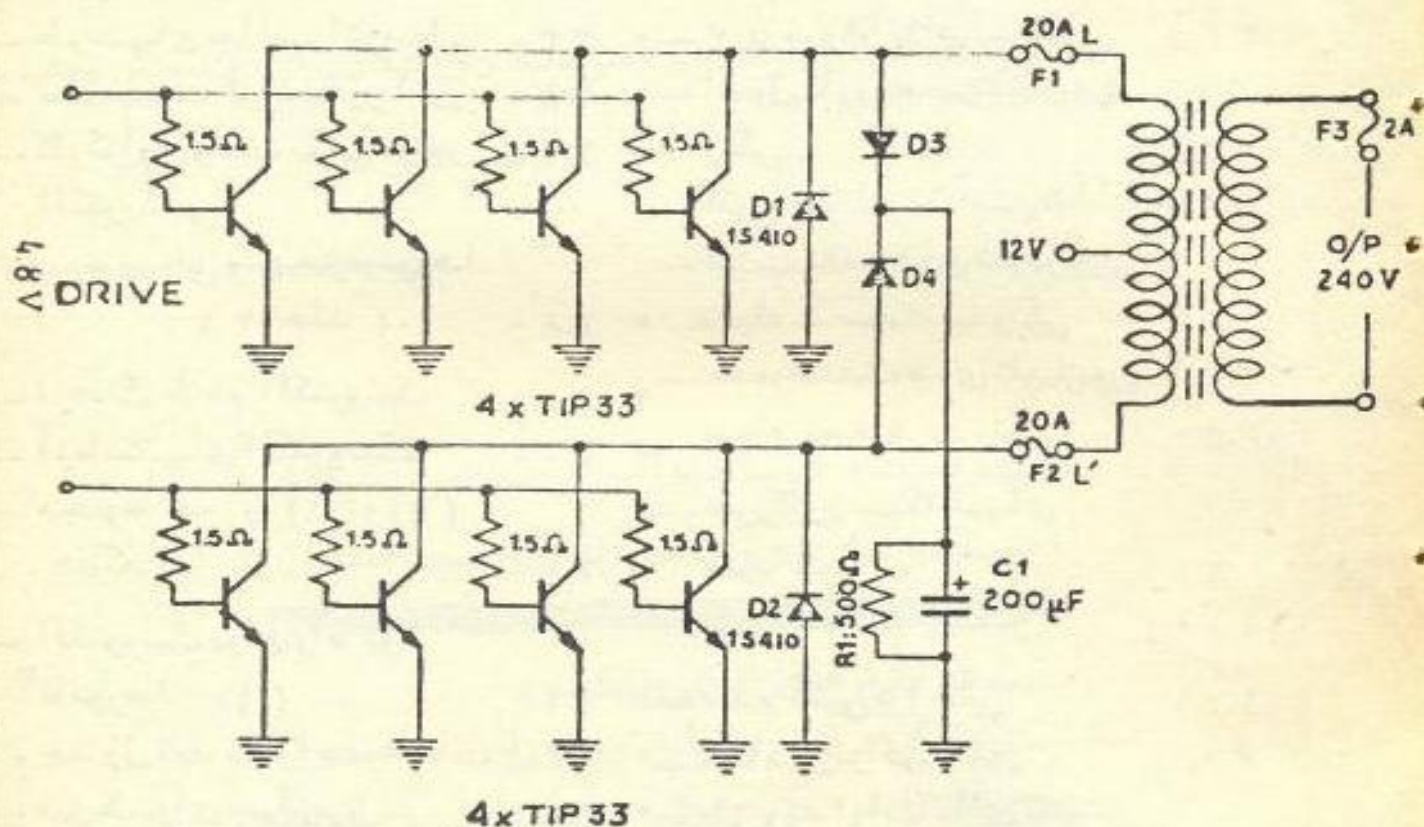
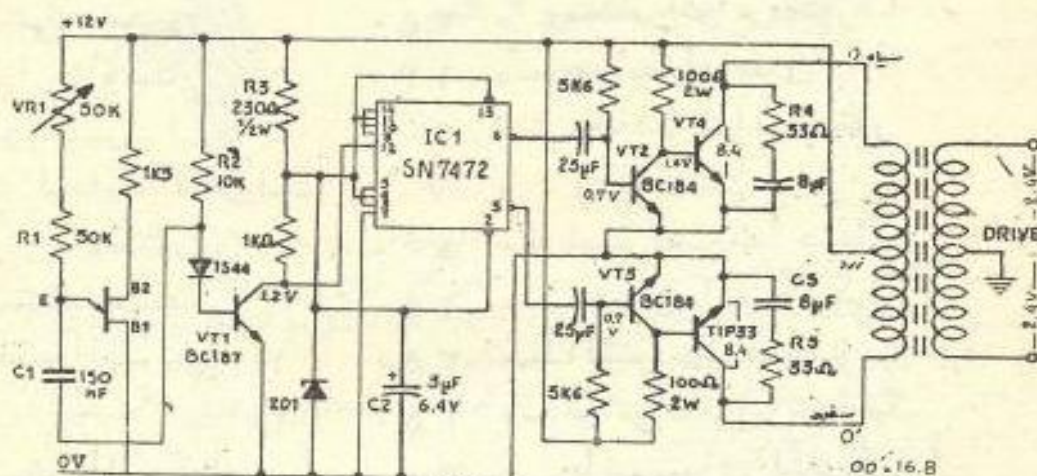
جریان برق شهر توسط یک ترانسفورماتور زنگ اخبار به $3/6$ ولت متناوب تبدیل شده و در عین حال توسط دیود D یکسوشده و با خازن (50 میکروفاراد 350 ولت) تصفیه میگردد . $3/6$ ولت متناوب به فیلمان لامپ وصل میشود (پایه های 3 و 4 لامپ) . نوع دیود مهم نیست فقط باید حدود 10 میلی آمپری باشد . مقاومت $R1$ برابر 2 کیلو اهم 3 وات میباشد . برای بوبین $L1$ 100 دور و برای $L2$ 20 دور از سیم $15/0$ روی یک لوله استوانه بقطر 15 میلی متر پهلوی هم پیچیده شود .

توجه

همانطور که مشاهده می کنید میکروفن و آنتن مستقیماً به برق 220 ولت وصل شده ، به همین جهت بدنه میکروفن باید کاملاً عایق باشد و از دست زدن به آنتن و شاسی نیز خودداری کنید ، تا از خطرات برق گرفتگی در امان باشید .



تبدیل کننده ۱۲ ولت مستقیم به ۲۲۰ ولت



یک مدار صد درصد عملی که خواستاران بسیاری دارد ، مدار تبدیل ولتاژ مستقیم ۱۲ ولت (باتری اتومبیل) به برق ۲۲۰ ولت است . در اینجا فقط نقشه مدار را چاپ می‌رسانیم و توضیحات کامل بطور مفصل در کتاب مجموعه مدار خواهد آمد .

