

روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آنها در ترانزیستور و همچنین ضریب تقویت به عواملی چون درجه حرارت، فرکانس و غیر خطی بودن المان‌ها بستگی دارد. منظور از غیر خطی بودن، این است که نسبت تغییرات جریان‌ها و ولتاژها تابع یک معادله خطی ریاضی نیست. معمولاً از طریق ریاضی به سادگی نمی‌توان مقادیر را به دست آورد. بنابراین، از منحنی‌هایی که بیان‌کننده روابط بین جریان‌ها و ولتاژها است، استفاده می‌شود. این منحنی‌ها عبارت‌اند از:

(الف) منحنی مشخصه ورودی (ب) منحنی مشخصه انتقالی (پ) منحنی مشخصه خروجی در ادامه بحث، درباره هر یک از سه منحنی ذکر شده توضیحاتی خواهیم داد. البته این منحنی‌ها برای آرایش امیتر مشترک ترسیم شده‌اند.

■ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور یا منحنی بیس امیتر

شکل منحنی مشخصه: در شکل ۱ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور AC 127 در حالت امیتر مشترک نشان داده شده است. این ترانزیستور از جنس ژرمانیم است و به همین دلیل، جریان بیس نسبتاً زیادی دارد. منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور، بیان‌کننده مقدار جریان ورودی بر حسب ولتاژ ورودی است. چون مدار ورودی به یک دیود شباهت دارد، منحنی مشخصه آن نیز شبیه منحنی مشخصه ولت - آمپر دیود معمولی است.

اطلاعات قابل استخراج از منحنی مشخصه ورودی

از منحنی مشخصه ورودی اطلاعات زیر را می‌توان استخراج نمود.

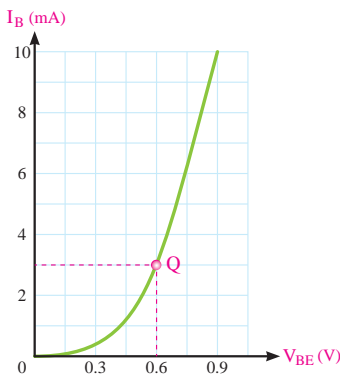
(الف) نقطه کار ورودی: به ازای یک V_{CE} معین بامعلوم بودن هر یک از کمیت‌های V_{BE} یا I_B از روی منحنی، نقطه کار ورودی مشخص می‌شود.

مثال ۱: در شکل ۶۵ به ازای ولتاژ $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$ مختصات نقطه کار ورودی را مشخص کنید.

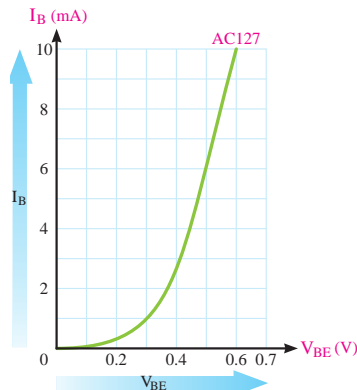
حل: اگر مطابق شکل ۲ از نقطه $V_{BE} = 0.6 \text{ V}$ خطی بر محور V_{BE} عمود کنیم، منحنی را در نقطه Q قطع می‌کند، از نقطه Q خطی بر محور I_B عمود می‌کنیم، محل تلاقی این خط با محور I_B مقدار I_B را در نقطه کار مشخص می‌کند.

$$V_{BE} = 0.6 \text{ V}$$

$$I_B = 3 \text{ mA}$$



شکل ۲



شکل ۱

ب) **مقاومت دینامیک دیود بیس آمیتر:** اگر سیگنالی متناوب به بیس ترانزیستور اعمال کنیم، تغییر دامنه این سیگنال موجب آن می‌شود که افت پتانسیل دو سر پیوند بیس - آمیتر، حول نقطه کار Q قدری تغییر کند. میزان این تغییرات در مقایسه با ولتاژ بایاس V_{BEQ} خیلی کم است؛ مثلاً اگر $V_{BEQ} = 0.7$ ولت فرض شود، ممکن است این تغییرات بین دو مقدار 0.69 و 0.71 ولت در نوسان باشد. تغییرات V_{BE} باعث تغییرات جریان بیس ترانزیستور خواهد شد. طبق تعریف، مقاومت دینامیکی دیود بیس آمیتر با نسبت تغییرات ولتاژ بیس آمیتر به تغییرات جریان بیس ترانزیستور برابر است. مقاومت دینامیکی دیود بیس آمیتر را با r_{π} نشان می‌دهند.

$$r_{\pi} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

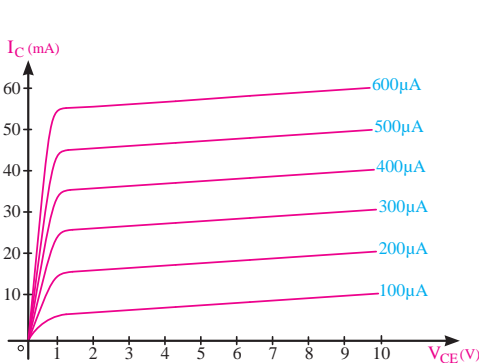
■ منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور

منحنی مشخصه انتقالی، رابطه بین جریان ورودی و جریان خروجی ترانزیستور را به‌ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می‌دهد. در شکل ۳ منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور 107 BC را به‌ازای $V_{CE} = 5$ V مشاهده می‌کنید. از منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور می‌توان β_{DC} و β_{ac} یا h_{fe} را به‌دست آورد.

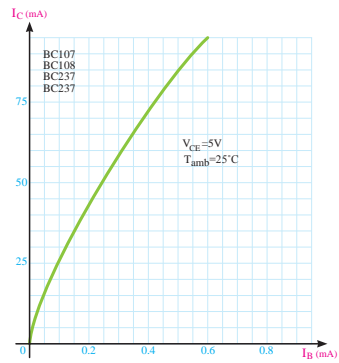
$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} \Big|_{V_{CE}} \text{ ثابت} \Rightarrow \beta_{ac} = h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \Big|_{V_{CE}} \text{ ثابت}$$

■ منحنی‌های مشخصه خروجی ترانزیستور

منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور، رابطه بین جریان و ولتاژ خروجی را به‌ازای جریان ورودی معین نشان می‌دهد. اگر تقویت‌کننده آمیتر مشترک باشد، جریان ورودی I_B ، جریان خروجی I_C و ولتاژ خروجی V_{CE} خواهد بود تقریباً همه کارخانه‌های سازنده ترانزیستور این منحنی را در حالت آمیتر مشترک ارائه می‌دهند. شکل ۴ منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور را به‌ازای جریان I_B ‌های مختلف و ثابت نشان می‌دهد.



شکل ۴



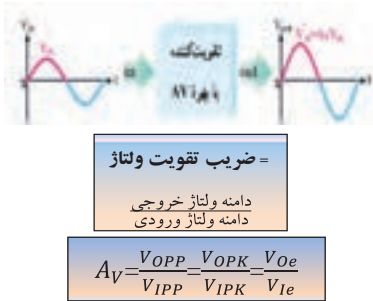
شکل ۳

چون برای تغییر شکل موج و تبدیل آن به موج مربعی می توان از تقویت کننده با ضریب تقویت زیاد استفاده نمود، برای آشنایی با ضریب تقویت به شرح مختصر آن می پردازیم. مدارهای تقویت کننده و مطالب مربوط به آن در سال های بعد به تفصیل شرح داده خواهد شد.

هرگاه سیگنالی مثلاً سینوسی را به مداری بدهیم که دامنه ولتاژ و یا جریان را افزایش دهد به این مدار تقویت کننده گویند. مدار تقویت کننده شامل قطعات مختلف مانند مقاومت، سیم پیچ،

دیود، ترانزیستور و سایر قطعات الکترونیکی و منبع تغذیه است. قطعات در مدار تقویت کننده ممکن است به صورت مجزا یا به صورت مجتمع (آی سی) باشد. در شکل ۵ تقویت کننده را به صورت بلوک دیاگرام و شکل موج ورودی و خروجی آن را مشاهده می کنید.

هرگاه دامنه ولتاژ خروجی را به دامنه ولتاژ ورودی تقسیم کنیم، میزان بهره ولتاژ (ضریب تقویت) به دست می آید. A_V اول کلمات Amplification Of Voltage به معنی تقویت ولتاژ است.



شکل ۵

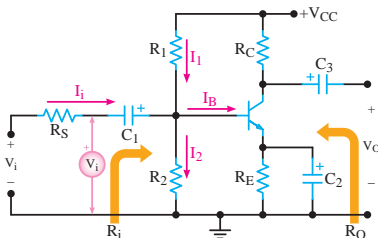
اطلاعات قابل استخراج از منحنی های مشخصه خروجی:

- از منحنی های مشخصه خروجی ترانزیستور اطلاعات زیر را می توان استخراج نمود.
- الف) نقطه کار
- ب) جریان نشتی
- پ) بهره جریان
- ت) امپدانس (مقاومت) خروجی ترانزیستور

تقویت کننده ترانزیستوری

■ تقویت کننده امیتر مشترک (CE)

تقویت کننده امیتر مشترک، بیشترین کاربرد در انواع تقویت کننده ها را دارد. تقویت کننده امیتر مشترک علاوه بر تقویت جریان، تقویت ولتاژ را نیز انجام می دهد و به همین دلیل، در بسیاری از موارد، نسبت به تقویت کننده های دیگر برتری دارد. در مدار شکل ۶ یک تقویت کننده امیتر مشترک با بایاس سرخود را مشاهده می کنید.



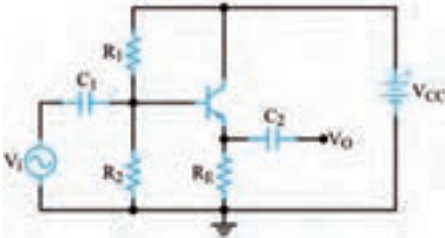
شکل ۶

■ تقویت‌کننده بیس مشترک (CB)

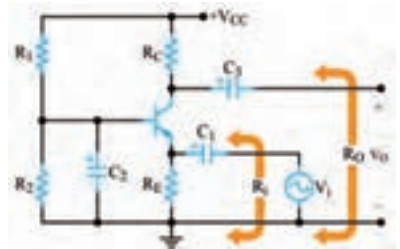
در تقویت‌کننده بیس مشترک، ورودی مدار، آمیتر بیس و خروجی آن کلکتور بیس است. شکل ۷ یک تقویت‌کننده بیس مشترک با تغذیه سرخود را نشان می‌دهد.

■ تقویت‌کننده کلکتور مشترک (CC)

اگر ورودی مدار تقویت‌کننده‌ای «بیس - کلکتور» و خروجی آن «امیتر - کلکتور» باشد. تقویت‌کننده در حالت کلکتور مشترک کار می‌کند. شکل ۸ یک تقویت‌کننده CC با تغذیه سرخود را نشان می‌دهد.



شکل ۸



شکل ۷

■ مقایسه سه نوع آرایش تقویت‌کننده‌ها از نظر مشخصات

همان طوری که در مباحث قبلی مشاهده کردید، سه نوع آرایش تقویت‌کننده‌ها (CB, CE, و CC) از نظر میزان بهره ولتاژ و جریان و مقاومت‌های ورودی و خروجی کاملاً باهم متفاوت هستند. همچنین بهره توان این تقویت‌کننده‌ها که از رابطه $A_P = A_V \times A_I$ محاسبه می‌شود نیز باهم متفاوت است. تقویت‌کننده آمیتر مشترک به علت داشتن بهره ولتاژ و بهره جریان نسبتاً زیاد بهره توان بسیار زیادی دارد به همین دلیل کاربرد آن در مدارهای مختلف الکترونیکی بسیار زیاد است. در جدول ۱ مشخصات این سه نوع آرایش را برای یک نوع ترانزیستور که از نظر بایاس تا حد امکان باهم تشابه دارند، مشاهده می‌کنید.

جدول ۱

کلکتور مشترک (CC)	بیس مشترک (CB)	امیتر مشترک (CE)	
زیاد	کم و کوچک‌تر از واحد	متوسط	بهره جریان
کم و کوچک‌تر از واحد	زیاد	متوسط	بهره ولتاژ
زیاد و تقریباً برابر بهره جریان	زیاد و تقریباً برابر بهره ولتاژ	خیلی زیاد	بهره توان
زیاد	کم	متوسط	مقاومت ورودی
کم	زیاد	متوسط	مقاومت خروجی
0°	0°	180°	اختلاف فاز

■ بهره تقویت کننده بر حسب دسی بل (Decibel)

به شکل ۹ که بلوک دیاگرام یک تقویت کننده است توجه کنید. در این شکل توان داده شده به یک تقویت کننده را برابر P_{in} و توانی را که از آن گرفته می شود برابر P_{out} فرض می کنیم، طبق تعریف ده برابر لگاریتم اعشاری نسبت $\frac{P_{OUT}}{P_{IN}}$ تقویت کننده را ضریب تقویت توان بر حسب دسی بل می نامیم. این موضوع با رابطه لگاریتمی مقابل بیان می شود.

$$A_P(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$



شکل ۹

مثال ۲: در صورتی که توان وارد شده به شبکه شکل ۷۲ برابر یک وات و توان دریافتی از آن مساوی ۲ وات باشد، بهره قدرت این تقویت کننده چند دسی بل می شود؟
پاسخ: ابتدا A_P را محاسبه می کنیم. مرتبه $A_P = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{2}{1} = 2$
 مقدار A_P را در رابطه لگاریتمی دسی بل قرار می دهیم.

$$A_{P(\text{db})} = 10 \log \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = 10 \log 2$$

$\text{Log} 2 = 0.30103$ است که برای سادگی محاسبات آن را برابر 0.3 در نظر می گیریم و مقدار $A_{P(\text{db})} = 10 \times 0.3 = 3$ را بر حسب دسی بل محاسبه می کنیم.

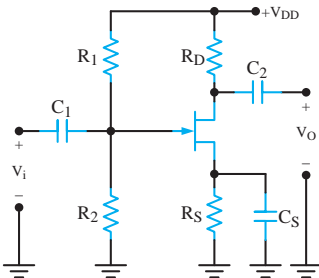
FET

■ تقویت کننده های سیگنال کوچک FET

یکی از کاربردهای مهم قطعات FET، ساخت مدارهای تقویت کننده ولتاژ است. از یک FET ممکن است به صورت سورس مشترک، گیت مشترک یا درین مشترک استفاده کنیم. هر یک از این سه آرایش، مشابه ترانزیستور BJT مشخصات ورودی و خروجی خاصی دارد.

■ مدار تقویت کننده سورس مشترک (Common source=CS)

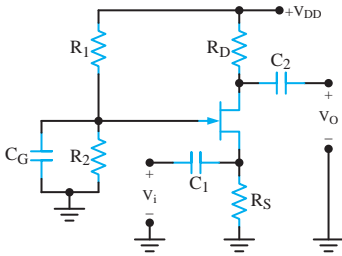
در شکل ۱۰ تقویت کننده سورس مشترک با ترانزیستور JFET کانال n را مشاهده می کنید.



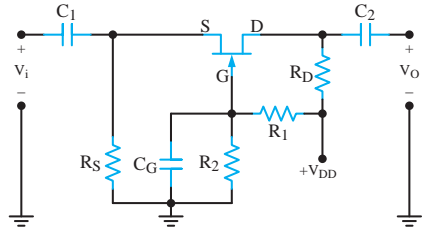
شکل ۱۰

■ تقویت کننده گیت مشترک (Common gate=CG)

تقویت کننده گیت مشترک مشخصاتی مشابه تقویت کننده BJT بیس مشترک دارد. در شکل ۱۱ مدار یک تقویت کننده گیت مشترک را مشاهده می کنید. برای آنکه از این شکل درک بهتری داشته باشید، آن را به صورت شکل ۱۲ دوباره رسم کرده ایم. دقت کنید که محل هیچ کدام از اجزای مدار و یا جای ورودی و خروجی آن در این شکل تغییر نکرده است.



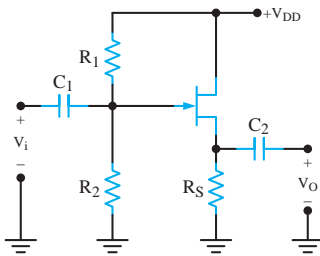
شکل ۱۲



شکل ۱۱

■ تقویت کننده درین مشترک یا سورس پیرو (Common Drain=CD)

در شکل ۱۳ یک تقویت کننده درین مشترک BJT دیده می شود. این مدار با مدار تقویت کننده درین مشترک کلکتور مشترک مشابهت زیادی دارد. در این مدار، پایه درین در مقابل سیگنال ac زمین می شود. سیگنال ورودی به پایه گیت اعمال می شود و خروجی مدار از پایه سورس گرفته می شود.



شکل ۱۳

مقایسه تقویت کننده های BJT با تقویت کننده های FET

ترانزیستور، هر آرایشی که داشته باشد، عمل تقویت را انجام می دهد. هر یک از آرایش های ترانزیستور در مدار، مشخصات ورودی و خروجی ویژه ای را ایجاد می کند. آرایش CE مناسب ترین ترکیب است؛ زیرا بیشترین بهره ولتاژ و جریان را دارد و در نهایت قدرت بیشتری را فراهم می سازد. آرایش CB به علت داشتن مقاومت ورودی خیلی کم و مقاومت خروجی زیاد برای ایجاد تطبیق امپدانس بین یک مولد سیگنال با مقاومت داخلی کم و یک بار بزرگ مناسب است. این آرایش به دلیل داشتن پاسخ فرکانسی وسیع، در فرکانس های بالا نیز کاربرد دارد. آرایش CC به علت دارا بودن مقاومت خروجی خیلی کم اغلب به عنوان یک بافر (جداگر) برای تطبیق دادن بارهای کوچک در مدار استفاده می شود. ضمن اینکه مدار جریان را نیز تقویت می کند. طبقه نهایی تقویت کننده های صوتی را که باید بلندگوهای با امپدانس کم را تغذیه کند، به صورت کلکتور مشترک می بندند.

ترانزیستورهای اثر میدان نیز مشابهت زیادی با آرایش های BJT دارند. با این تفاوت که مقاومت

ورودی FET بسیار بیشتر از مقاومت ورودی BJT است. به طور کلی از نظر آرایش، مدارهای BJT با FET به صورت زیر مقایسه می‌شوند.
 الف) آرایش CS مشخصاتی مانند آرایش CE دارد.
 ب) مشخصات آرایش CG مانند آرایش CB است.
 پ) آرایش CD مشخصاتی مانند آرایش CC دارد.

بررسی پروژه‌ها

■ تقویت‌کننده ۱۰ وات

سیگنال خروجی میکروفون‌ها بسیار ضعیف هستند. چنانچه آنها را مستقیم به آمپلی‌فایر وصل کنید سطح سیگنال خروجی بسیار کم خواهد بود. به طوری که ممکن است صدا به خوبی شنیده نشود. به همین دلیل باید قبل از اتصال میکروفون به تقویت‌کننده، کمی سطح سیگنال آن را توسط مدار پری آمپلی‌فایر تقویت کرده و سپس برای تقویت نهایی به مدار تقویت‌کننده اصلی متصل نمود. هنگام اتصال میکروفون به میکروکنترلر نیز باید از پری آمپلی‌فایر استفاده کرد. با توجه به اینکه خروجی میکروفون‌ها بسیار ضعیف بوده و سیگنال تولید شده توسط آن به طور مستقیم توسط ورودی میکروکنترلر تشخیص داده نمی‌شود باید آن را ابتدا توسط پری آمپلی‌فایر تقویت کرده و سپس به ورودی میکروکنترلر متصل نمود.

■ بلوک دیاگرام آی - سی TDA۲۰۰۳

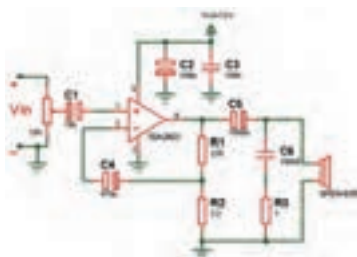
شکل ۱۴ بلوک دیاگرام آی - سی TDA۲۰۰۳ را نشان می‌دهد. نقش پایه‌های این مدار به شرح زیر است.

پایه‌های ۱ و ۲: ورودی

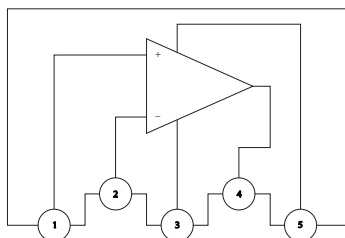
پایه ۴: خروجی

پایه‌های ۳ و ۵: تغذیه

در نقشه شماتیک مدار تقویت‌کننده، ولومی برای کنترل شدت صوت قرار داده نشده است. به این دلیل که قرار است در ادامه خروجی بُرد پخش Mp۳ مستقیماً به ورودی این مدار متصل گردد. اگر برای مصارفی استفاده می‌کنید که به ولوم نیاز دارد، کافی است به صورت شکل ۱۵ مدار را به کار ببرید. در این مدار با تنظیم ولوم می‌توانید شدت صدای خروجی را کنترل نمایید. ولوم دارای سه پایه است. سیگنال ورودی به یکی از پایه‌های ثابت داده می‌شود و پایه ثابت دیگر به زمین مدار متصل می‌گردد. حال می‌توانید از پایه متغیر (پایه وسط) سیگنال قابل کنترل را دریافت کنید. از این روش برای ورودی تقویت‌کننده‌های صوتی دیگر نیز می‌توانید استفاده نمایید.



شکل ۱۵- مدار تقویت‌کننده با ولوم کنترل شدت صوت

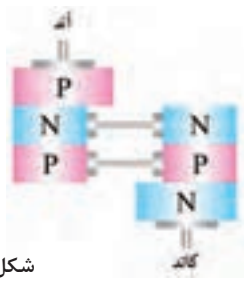


شکل ۱۴- بلوک دیاگرام آی سی TDA۲۰۰۳

■ مدار معادل دیود چهار لایه

می توان دیود چهار لایه را به صورت شکل ۱۶ برش داد و آن را به دو بخش مطابق شکل ۸۶ تقسیم نمود. همان طور که در شکل ۱۷ مشاهده می شود نیمه سمت چپ معادل یک ترانزیستور PNP و نیمه سمت راست یک ترانزیستور NPN است. لذا طبق شکل ۱۸ دیود شاکلی از دو ترانزیستور PNP و NPN تشکیل می شود. این دو ترانزیستور به یکدیگر کوپلاژ مستقیم شده اند. این مجموعه به قفل ترانزیستوری (Latch) معروف است.

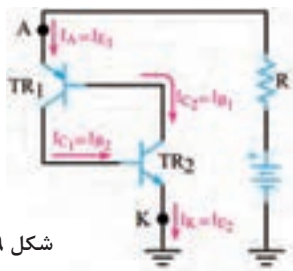
همان طور که در شکل ۱۹ مشاهده می کنید، کلکتور TR_1 به بیس TR_2 و کلکتور TR_2 به بیس TR_1 اتصال دارد. این نوع اتصال باعث فیدبک مثبت می شود و می تواند شرایطی را به وجود آورد تا عمل قفل شدن ترانزیستوری انجام پذیرد. در این حالت هر تغییری در جریان در هر نقطه ای از حلقه فیدبک، تقویت می شود و پس از تقویت با همان فاز به نقطه شروع برمی گردد. به شکل ۸۸ توجه کنید.



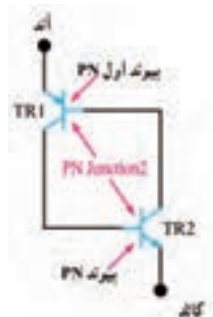
شکل ۱۷



شکل ۱۶



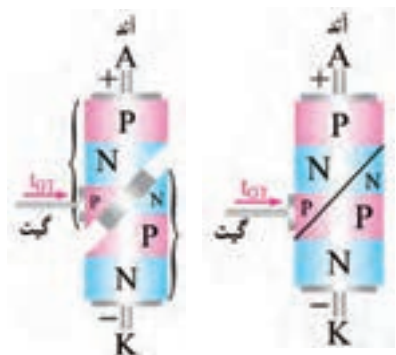
شکل ۱۹



شکل ۱۸

مثلاً اگر جریان بیس TR_2 افزایش یابد، جریان کلکتور TR_2 افزایش می یابد و منجر به جاری شدن جریان بیشتری در بیس TR_1 می شود و در ادامه جریان کلکتور TR_1 بیشتری را ایجاد می کند. در نتیجه، بیس TR_2 با شدت بیشتری راه اندازی می شود. این روند یعنی بالا رفتن جریان ها ادامه می یابد تا این که هر دو ترانزیستور به اشباع می رسند. در این حالت دیود چهار لایه قفل می شود و طبق شکل الف - ۲۰ مانند یک کلید بسته یا وصل عمل می کند.

حال اگر عاملی باعث کاهش جریان بیس TR_2 شود، جریان کلکتور TR_2 کاهش می‌یابد و جریان بیس TR_1 را کم می‌کند. کاهش جریان بیس TR_1 جریان کلکتور کمتری را به وجود می‌آورد و در ادامه، جریان بیس TR_2 را به مقدار بیشتری کاهش می‌دهد. این عمل ادامه می‌یابد تا اینکه هر دو ترانزیستور به حالت قطع می‌روند. در این شرایط دیود شاکلی مجدداً قفل شده و طبق شکل ب-۲۰ شبیه به یک کلید باز (قطع) عمل می‌کند.



شکل ۲۲

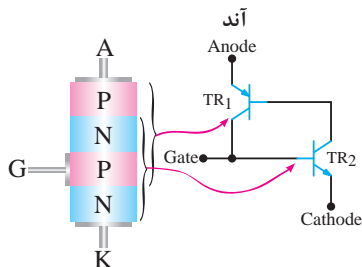
شکل ۲۱



شکل ۲۰

■ مدار معادل SCR و عملکرد آن (SCR Equivalent Circuit)

برای درک بهتر عملکرد SCR می‌توان ساختمان کریستالی آن را مطابق شکل ۲۱، برش داد و آن را به دو نیمه جداگانه مانند شکل ۲۲ تقسیم نمود. مانند شکل ۲۳ یک نیمه از SCR معادل یک ترانزیستور PNP و نیمه دیگر آن معادل یک ترانزیستور NPN است که کلکتور و بیس آنها بهم کوپلاژ مستقیم شده‌اند.



شکل ۲۳

■ روشن کردن SCR

هم‌زمان یک سیگنال راه‌انداز به پایه گیت آن اعمال کنیم. به منظور تشریح کار SCR چندحالت را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

حالت اول: جریان و ولتاژ گیت صفر است: در این حالت جریان بیس TR_2 مساوی صفر و جریان IC_1 تقریباً معادل IC_0 می‌شود. از طرفی چون جریان IC_0 بسیار ناچیز است، نمی‌تواند ترانزیستور TR_1 را روشن کند. در این شرایط هر دو ترانزیستور در حالت خاموش باقی می‌مانند و طبق شکل ۲۴ بین آند و کاتد امپدانس بالایی قرار می‌گیرد که به معنای باز بودن مدار است.

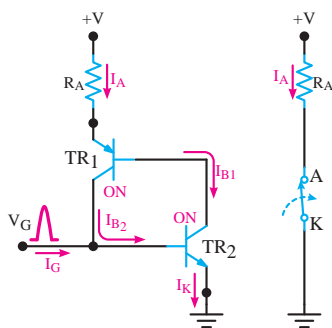
حالت دوم: اعمال پالس مثبت به گیت: هرگاه یک پالس مثبت V_G را به گیت اعمال کنیم و دامنه V_G را به اندازه کافی بزرگ انتخاب نماییم به طوری که بتواند TR_2 را روشن کند، شرایط زیر رخ می دهد.

الف) با اعمال V_G مقدار جریان بیس ترانزیستور TR_2 یعنی I_{B2} افزایش می یابد. (ب) با زیاد شدن I_{B2} مقدار I_{C2} زیاد می شود.

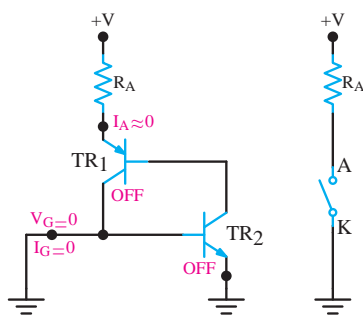
پ) چون $I_{C2} = I_{B1}$ است، با افزایش I_{C2} مقدار I_{B1} زیاد می شود.

ت) با زیاد شدن I_{B1} مقدار جریان I_{C1} افزایش می یابد.

ث) چون $I_{C1} = I_{B2}$ است با زیاد شدن I_{C1} مقدار I_{B2} مجدداً زیاد می شود و دوره عملیات تکرار می گردد. در شکل الف - ۲۵ هدایت ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 در شکل ب - ۲۵ مدار معادل آن به صورت یک کلید بسته، نشان داده شده است.



شکل ۲۵



شکل ۲۴

حالت سوم: قطع پالس تحریک (تریگر V_G): با قطع پالس تحریک (تریگر V_G) همچنان در ناحیه فعال باقی می ماند و آند و کاتد آن مانند یک کلید بسته عمل می کند.

مزایای دیگر رله جامد

از دیگر مزایای رله های جامد می توان به موارد زیر اشاره کرد:
 قطع و وصل رله های جامد بسیار سریع تر از رله های الکترومکانیکی و کنتاکتورها بوده و زمان سوئیچینگ آنها، در حد میکروثانیه یا میلی ثانیه است.
 چون در زمان قطع و وصل جرقه ایجاد نمی کنند، برای مکان هایی که گازها و مواد قابل اشتعال و انفجار وجود دارد، مناسب است.
 به دلیل نداشتن قطعات متحرک در برابر لرزش و ضربه مقاوم تر از رله های الکترومکانیکی هستند. اندازه کوچک تری دارند.

■ انواع رله های جامد از نظر نوع ولتاژ فرمان و سوئیچ:

۱ رله با ولتاژ کنترل DC و خروجی DC

۲ رله با ولتاژ کنترل DC و خروجی AC

۳ رله با ولتاژ کنترل AC و خروجی DC

۴ رله با ولتاژ کنترل AC و خروجی AC

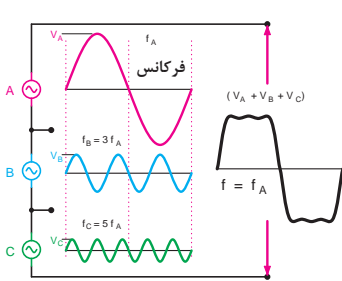
همچنین رله های جامد به صورت تک فاز و سه فاز نیز تولید می شوند.

هارمونیک‌های یک موج

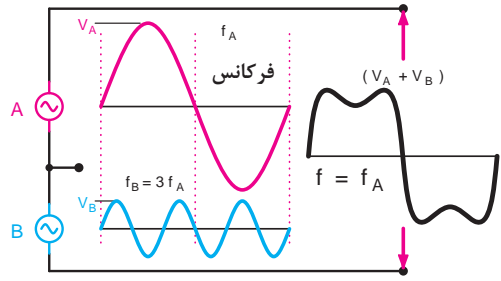
مضرب‌های فرد و زوج از فرکانس اصلی را در اصطلاح هارمونیک (Harmonic) می‌نامند. هر موج غیر سینوسی از ترکیب تعدادی موج سینوسی به‌وجود می‌آید. این امواج توسط دستگاه مخصوص (دستگاه طیف‌نما) از یکدیگر قابل تفکیک هستند. اگر فرکانس اصلی یک موج غیر سینوسی را f_A در نظر بگیریم، هارمونیک‌ها به ترتیب $f_A, 2f_A, 3f_A, 4f_A$ و سایر ضرایب فرد و زوج هستند. هر قدر شماره هارمونیک افزایش می‌یابد، مقدار دامنه آن کم می‌شود.

■ هارمونیک‌های موج مربعی متقارن

هر موج مربعی متقارن فقط دارای هارمونیک‌های فرد است. یعنی اگر موج اصلی دارای فرکانس f_A باشد، هارمونیک‌ها دارای فرکانس $f_A, 3f_A, 5f_A$ و سایر ضرایب فرد هستند. مثلاً اگر فرکانس اصلی برابر 1MHz باشد هارمونیک‌ها دارای فرکانس $1\text{MHz}, 3\text{MHz}, 5\text{MHz}$... است. در شکل ۲۶ ترکیب هارمونیک اول و سوم از موج مربعی نشان داده شده است. در شکل ۲۷ ترکیب هارمونیک اول، سوم و پنجم از موج مربعی رسم شده است. مشاهده می‌کنید در این حالت موج حاصل از هارمونیک‌ها به موج مربعی نزدیک‌تر است.



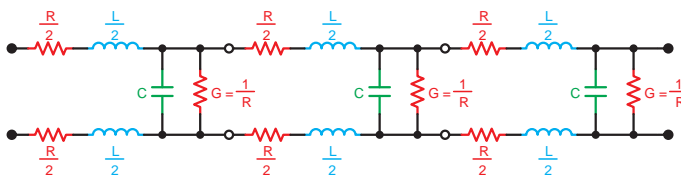
شکل ۲۷



شکل ۲۶

مدار معادل واقعی خط انتقال

مدار معادل خط انتقال بر مبنای واحد طول سنجیده می‌شود. بر خلاف سیم معمولی، مدار معادل این خطوط از مجموعه R و L به‌طور سری و C و G به‌طور موازی مانند شکل ۲۸ تشکیل شده است.



شکل ۲۸

امپدانس مشخصه خط انتقال

امپدانس مشخصه خط انتقال، در تمام نقاط طول خط تقریباً ثابت است و مقدار تقریبی آن از

$$\text{رابطه } Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ به دست می آید.}$$

$$Z_0 = \text{امپدانس مشخصه خط انتقال}$$

$$L = \text{اندوکتانس سری در واحد طول بر حسب هانری}$$

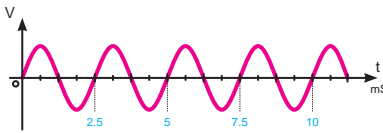
$$C = \text{ظرفیت خازنی بین دو سیم در واحد طول بر حسب فاراد}$$

مثال: امپدانس مشخصه خط انتقال ایده آل را در حالتی که $L = 0.2 \mu\text{H}$ و $C = 40 \text{ PF}$ (در واحد طول) است، محاسبه کنید.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \rightarrow Z_0 = \sqrt{\frac{0.2 \times 10^{-6}}{40 \times 10^{-12}}} = 70.7 \Omega$$

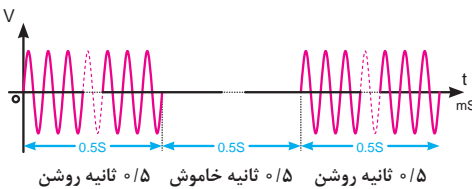
حل:

شکل انواع سیگنال های ارسالی از مرکز تلفن



شکل ۲۹ - بوق آزاد با زمان تناوب $2.5/2$ تا $2.5/8$ میلی ثانیه

■ **بوق آزاد:** این سیگنال دارای فرکانسی در حدود 350 تا 440 هرتز است و پس از برداشتن گوشی از طرف مرکزتلفن به طور ممتد، ارسال می شود، شکل ۲۹.



شکل ۳۰ - مشخصات سیگنال اشغال خط

■ **بوق اشغال تلفن و اشغال خط شهری:** این سیگنال دارای فرکانسی در حدود 480 تا 620 هرتز است و حدود $0.5/5$ ثانیه روشن و $0.5/5$ ثانیه خاموش است، شکل ۳۰.



شکل ۳۱ - مشخصات سیگنال بازتاب زنگ

■ **سیگنال بازتاب زنگ:** این سیگنال دارای فرکانسی در حدود 440 تا 480 هرتز است (مشابه بوق آزاد) و حدود 2 ثانیه روشن و 4 ثانیه خاموش است. فرکانس و زمان روشن و خاموش بودن این سیگنال در سیستم های مختلف، فرق می کند، شکل ۳۱.

■ در مدارهای قطع و وصل الکترونیکی از تراشه CD4013 نیز استفاده می‌شود. هر زمان که کلید فشار داده شود پایه شماره ۱ این تراشه تغییر وضعیت می‌دهد. چون این خروجی دارای جریان ضعیفی است، از یک ترانزیستور برای تقویت جریان استفاده شده‌است. این ترانزیستور جریان لازم برای راه‌اندازی رله را فراهم می‌کند. قطع و وصل رله می‌تواند سبب قطع و وصل وسایل دلخواه شما شود. البته در این حالت باید به جریان مجاز کنتاکت‌های رله دقت نمایید.

■ قسمتی از برگه اطلاعاتی ماژول SR501:

Specification:

- Voltage: 5V - 20V
- Power Consumption: 65mA
- TTL output: 3.3V, 0V
- Delay time: 0.2 sec
- Trigger methods: L - disable repeat trigger, H enable repeat trigger
- Sensing range: less than 120 degree, Within 7 meters
- Temperature: -15 ~ +70
- Dimension: 32*24 mm, distance between screw 28mm, M2, Lens dimension in diameter: 23mm

Application

Automatically sensing light for Floor, bathroom, basement, porch, warehouse, Garage, etc, ventilator, alarm, etc.

● قسمتی دیگر از برگه اطلاعاتی ماژول SR501: (نحوه کالیبره کردن ماژول)

Instructions



Induction module needs a minute or so to initialize. During initializing time, it will output 0-3 times. One minute later it comes into standby. Keep the surface of the lens from close lighting source and wind, which will introduce interference.

■ پایه شماره ۴ آی - سی ۵۵۵ زمانی که به زمین متصل باشد، خروجی ۵۵۵ غیرفعال و چنانچه این پایه به مثبت وصل شود خروجی فعال خواهد شد. در این مدار پایه مذکور توسط یک مقاومت ۱۰ کیلو اهم به زمین متصل شده است (به این مقاومت پایین کش یا Pull_Down می‌گویند) و آی - سی غیرفعال است.

■ حال اگر به هر دلیل این پایه به ولتاژ مثبت متصل شود خروجی فعال می‌شود. در این مدار از ماژول PIR استفاده شده است. اما شما می‌توانید هر مدل ماژولی که با حس کردن یک کمیت، خروجی «یک» تولید می‌کند را به این پایه وصل کنید. به عنوان مثال می‌توان با اتصال یک ماژول تشخیص گاز، این مدار را به «مدار هشداردهنده گاز» تبدیل کرد.

■ دو مدل از این ماژول‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- ماژول گاز

شکل	نام ماژول (سنسور)
	MQ6 حساس به گازهای LPG, Propane, iso, butane
	MQ2 حساس به کلیه گازهای مشتعل و دود