محمد اعرابیان

جزوه درس الکترونیک کاربردی

جلسه شانزدهم

برای جزئیات بیشتر **اسکن کنید**

نسخه ۱.۱ | تهیه شده در بهمن ۱۴۰۰

تمامی حقوق این جزوه برای **محمد اعرابیان** محفوظ است.

فیدبک:

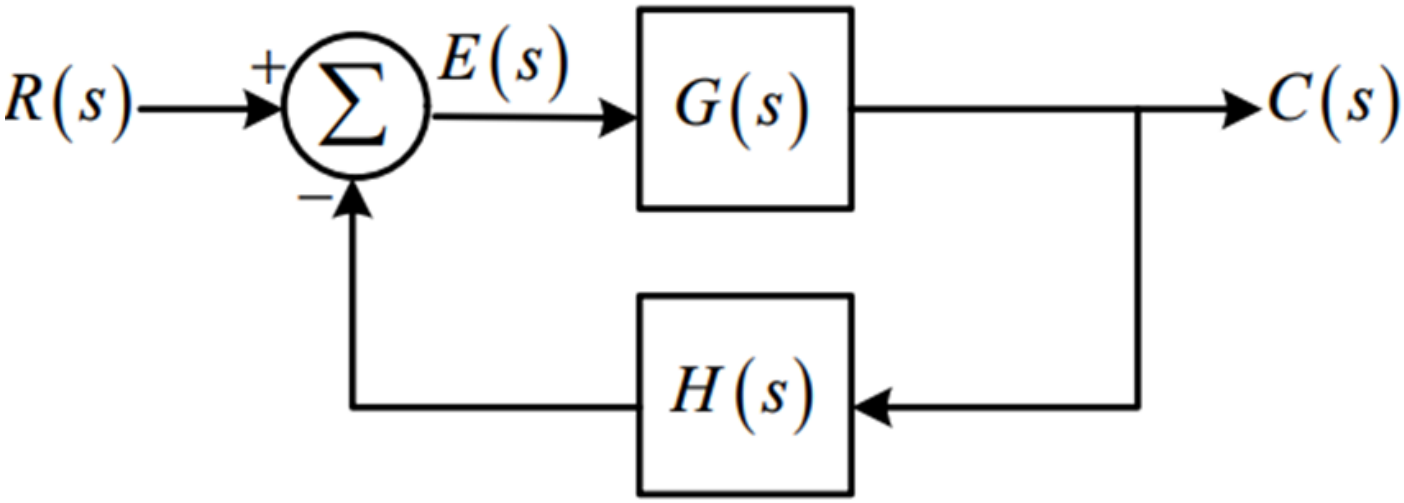
تقویت کننده های با فیدبک منفی

از آنجا که در اثر کاربردها به یک بهره ثابت نیاز میباشد، با استفاده از فیدبک منفی عالوه بر تثبیت بهره مدار میتوان میزان اغتشاش و اعوجاج تقویتکننده را کاهش داده و همچنین امپدانسهای ورودی و خروجی را تنظیم نمود. البته باید توجه داشت که به کار بردن فیدبک منفی باعث کاهش بهره تقویتکننده خواهد شد.

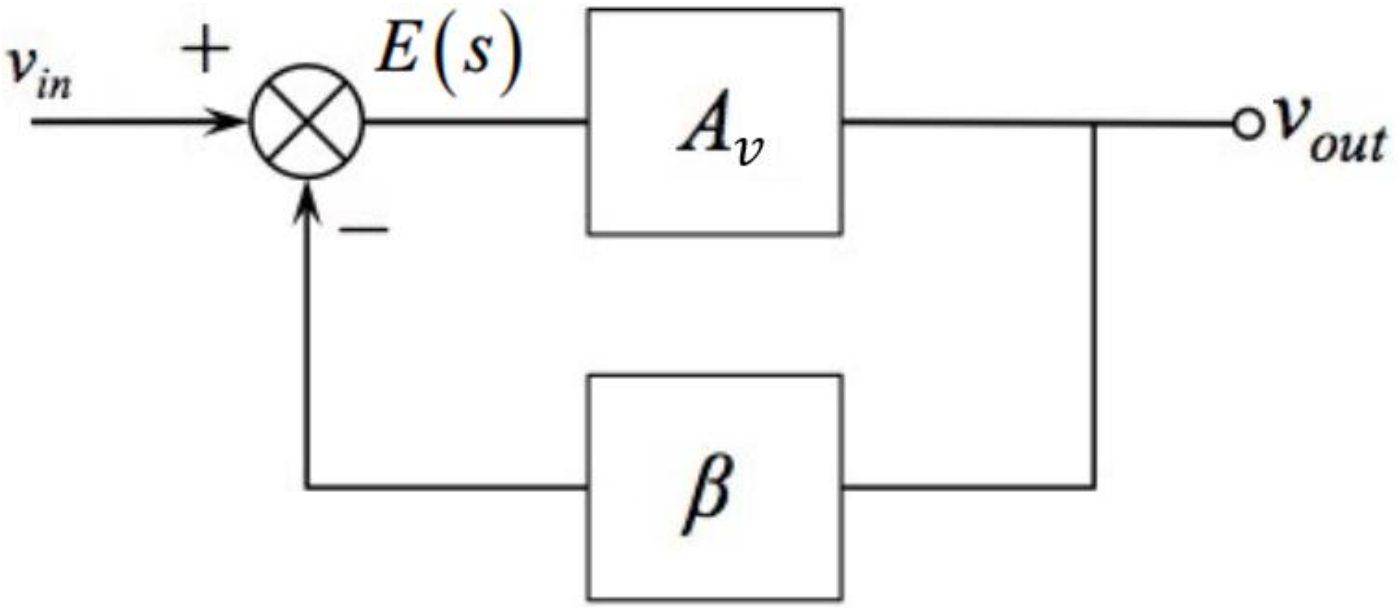
منظور از فیدبک، گرفتن درصدی از سیگنال خروجی و جمع کردن با سیگنال تقویتکننده میباشد، چنانچه نمونه گرفته شده از سیگنال خروجی با فاز مخالف با سیگنال ورودی جمع گردد، فیدبک منفی است، و اگر نمونه گرفته شده از سیگنال خروجی به صورت همفاز با سیگنال ورودی تقویت کننده جمع گردد، فیدبک مثبت خواهد بود، در اینجا فیدبک منفی موردنظر است.

ساختار کلی تقویت کننده های با فیدبک منفی

شکل زیر به صورتی که در درس کنترل خطی نمایش می‌دهیم می‌باشد.



در درس الکترونیک کاربردی برای بهتر درک کردن این موضوع از ساختار زیر استفاده می‌کنیم.



$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$$

$$v_{out} = E(s)A_v$$

$$E(s) = v_{in} - (v_{out}\beta)$$

$$v_{out} = \left(v_{in} - (v_{out}\beta)\right) A_v$$

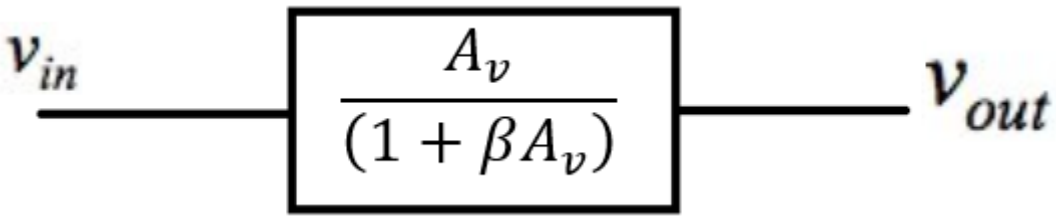
$$v_{out} = v_{in}A_v - v_{out}\beta A_v$$

$$v_{out} + v_{out}\beta A_v = v_{in}A_v$$

$$v_{out}(1 + \beta A_v) = v_{in}A_v$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{A_v}{(1 + \beta A_v)}$$

شرط منفی بودن فیدبک این است که حاصل ضرب βA_v مثبت باشد. باتوجه به اینکه برای فیدبک منفی $\beta A_v > 0$ است، بهره تقویت کننده با فیدبک همواره از بهره تقویت کننده اصلی کمتر خواهد بود، به عبارت دیگر به کار بردن فیدبک منفی باعث کاهش بهره تقویت کننده می‌گردد، چنانچه $\beta A_v \gg 1$ باشد $A_v = \frac{1}{\beta}$ حساسیت بهره فقط به β است.



مقدار A_v بهره حلقه باز تقویت کننده (بدون فیدبک)، $(1+\beta A_v)$ یا ضریب حساسیت گویند. A_v برای درک بهتره شما استفاده شده، زیرا ما برای مدارت الکترونیکی چهار نود فیدبک به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

۱ -فیدبک ولتاژ - سری: برای تقویت کننده‌های ولتاژی $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{A_v}{1+\beta A_v}$

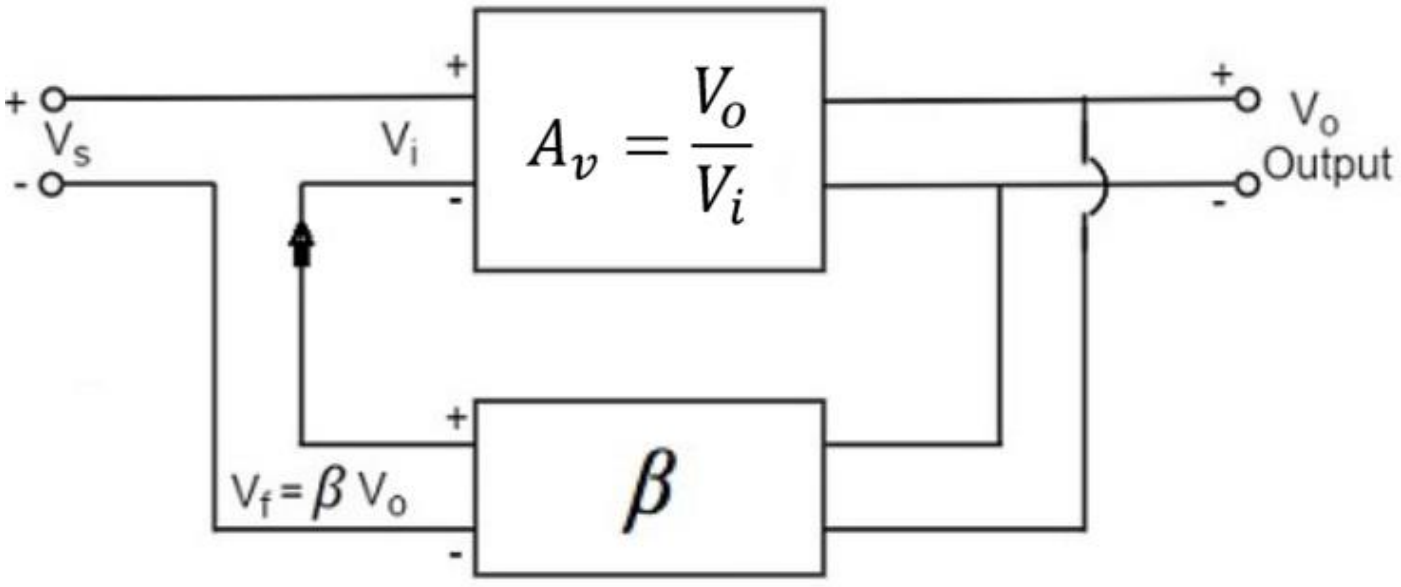
۲ -فیدبک جریان - موازی: برای تقویت کننده‌های جریان $A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{A_i}{1+\beta A_i}$

۳ -فیدبک ولتاژ - موازی: برای تقویت کننده‌های مقاومت انتقالی $R_{in} = \frac{V_o}{i_{in}} = \frac{R_{in}}{1+\beta R_{in}}$

۴ -فیدبک جریان - سری: برای تقویت کننده‌های هدایت انتقالی $g_m = \frac{i_o}{V_{in}} = \frac{g_m}{1+\beta g_m}$

فیدبک ولتاژ - سری: برای تقویت کننده‌های ولتاژی A_v

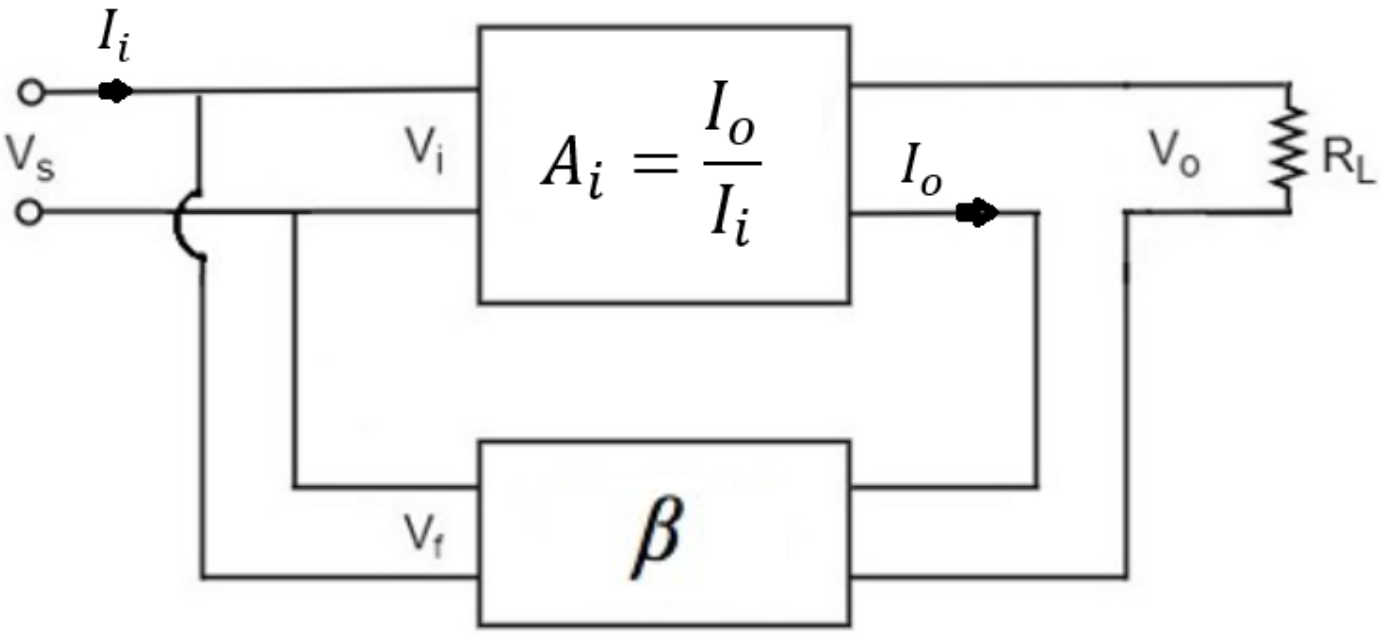
برای داشتن فیدبک از ورودی به خروجی باید از ولتاژ خروجی نمونه برداری شده و سیگنال حاصل با فاز مخالف با ولتاژ ورودی جمع گردد. که در آن فیدبک به صورت موازی با مدار خروجی و به صورت سری با مدار و ورودی قرار گرفته است. از آنجا که مدار فیدبک با خروجی موازی شده، مقاومت خروجی تقویت کننده را کاهش می‌دهد و چون با مدار ورودی سری شده است، مقاومت ورودی را افزایش می‌دهد.



یادآوری می‌گردد که در فیدبک منفی، فرض بر این است که تنها مسیر مستقیم از ورودی به خروجی فقط از طریق تقویت کننده اصلی است. و همچنین تنها مسیر مستقیم از خروجی به ورودی فقط از طریق شبکه فیدبک می‌باشد، از طرفی شبکه فیدبک معمولا از عناصر غیرفعال تشکیل می‌گردد.

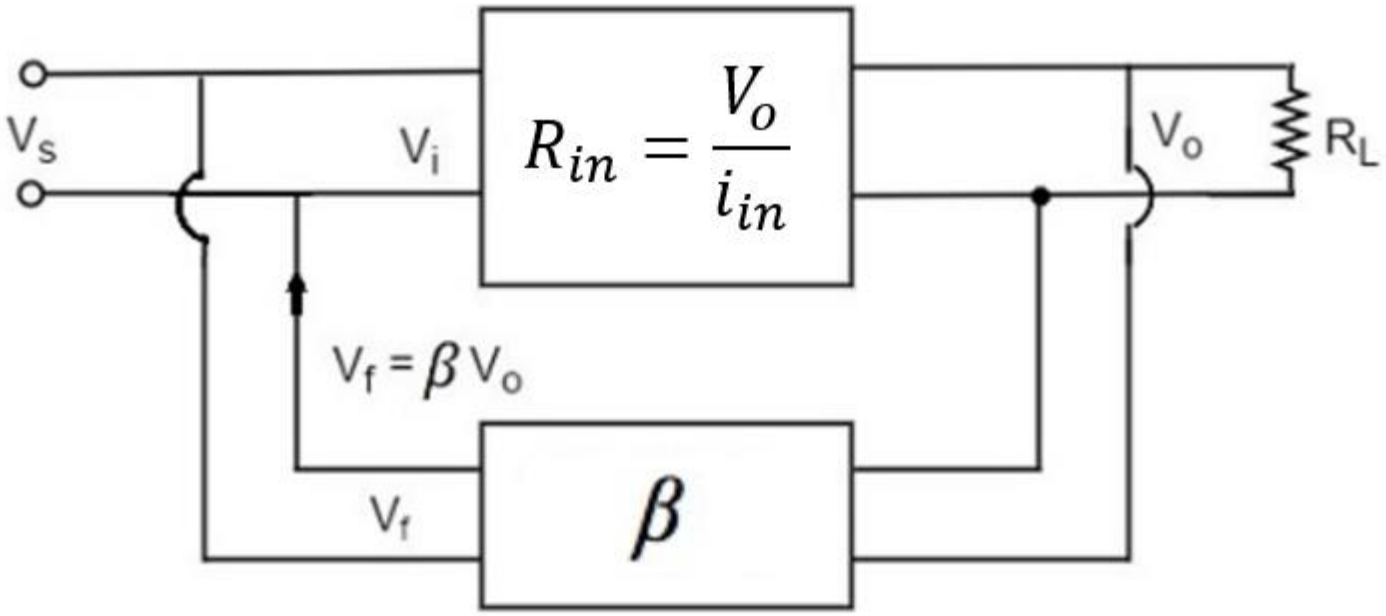
فیدبک جریان موازی: برای تقویت کننده‌های جریان A_I

مدار شکل زیر ساختار فیدبک جریان موازی برای تقویت کننده جریان را نشان می‌دهد که در آن شبکه فیدبک به صورت سری با مدار خروجی و به صورت موازی با مدار ورودی قرار گرفته است. به این ترتیب سیگنال فیدبک یعنی جریان متناسب با سیگنال خروجی ایجاد و از سیگنال جریان ورودی کاسته می‌شود، چون شبکه فیدبک با مدار خروجی تقویت کننده سری و با مدار ورودی آن موازی است، بنابراین موجب افزایش مقاومت خروجی و کاهش مقاومت ورودی تقویت کننده می‌شود.



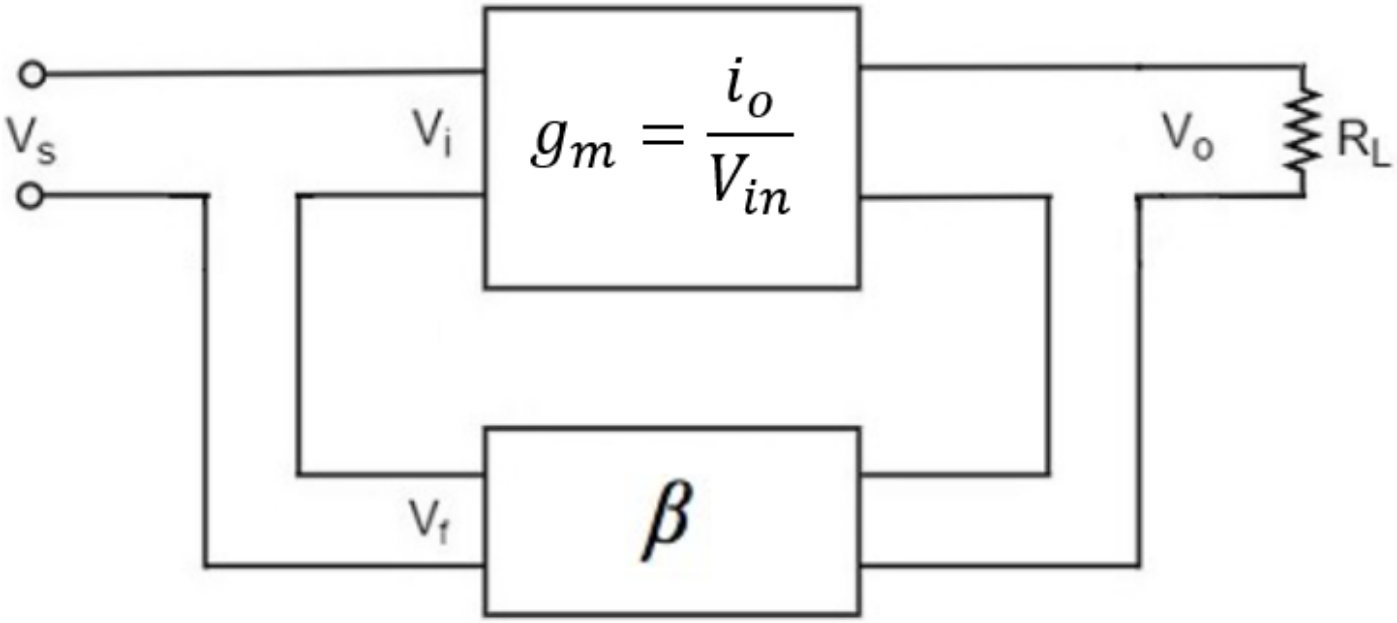
فیدبک ولتاژ – موازی: برای تقویت کننده‌های مقاومت انتقالی

در شکل زیر ساختار فیدبک ولتاژ – موازی مداری تقویت کننده مقاومت انتقالی نشان داده شده است. شبکه فیدبک با مدار های ورودی و خروجی تقویت کننده اصلی موازی شده و به این ترتیب جریان فیدبک متناسب با ولتاژ خروجی (ولتاژ خروجی را به جریان تبدیل کرد) از جریان ورودی کاسته می‌شود و همین موجب کاهش مقاومت های ورودی و خروجی می گردد.



فیدبک جریان – سری: برای تقویت کننده‌های هدایت انتقالی

در این حالت جریان خروجی به ولتاژ تبدیل می‌شود و این ولتاژ از ولتاژ ورودی کم می‌شود.



تقویت کننده های قدرت

همه تقویت‌کننده‌هایی را که تاکنون بررسی کرده‌ایم.در اصل تقویت کننده توان هستند. زیرا آنها، ولتاژ، جریان یا هر دو را تقویت می‌کنند. در واقع تقویت ولتاژ یا جریان همان تقویت توان است. ولی منظور ما از تقویت کننده توان یا تقویت کننده تقویت کننده‌ای است که بتواند توان قابل ملاحظه‌ای را ه بار منتقل کند. چنانچه قدرت خروجی تقویت کننده‌ای بیشتر از چند ده میلی وات باشد، آن را تقویت کننده توان می‌نامند. قویت کننده‌های قدرت برای انتقال حداکثر توان باید دارای ولتاژ و جریان خروجی با دامنه زیاد باشند. لذا تقویت کننده‌های قدرت در رده قویت کننده های سیگنال بزرگ Large Signal به شمار می‌آیند. از آنجا که در این حالت تغییرات جریان کلکتور در مقایسه با جریان نقطه کار نسبتا زیاد است، مشخصات ترانزیستور تقویت کننده قدرت، مانند β و gm با جریان خروجی تغییر می‌کنند.

معمولا در طبقات قدرت تغییر شکل (اعوجاج) در شکل موج زیاد و قابل ملاحظه است، لذا بایدبا به کارگیری روش‌های مختلف این تغییر شکل موج را به حداقل کاهش داد. تقویت کننده‌های قدرت معمول در طبقه انتهایی یک دستگاه تقویت کننده‌ی صوتی قرار می‌گیرد، بهره تقویت ولتاژ این تقویت کننده‌ها در حدود واحد (یک) و بهره جریان آن‌ها زیاد است.

مشخصات عمومی تقویت کننده‌های قدرت:

به طورخلاصه تقویت کننده‌های قدرت بایددارای مشخصات عمومی به شرح زیر باشند:

الف) تغییر شکل موج یا اعوجاج کم

ب) امپدانس خروجی کم

پ) بهره جریان زیاد

ت) راندمان بالا

ث) مشخصه فرکانسی خوب

بازده تقویت کننده Efficiency

تقویت کننده از نسبت توان AC منتقل شده به بار به کل توان DC گرفته شده از منبع تغذیه بهدست میآید. معمولا بازده را برحسب درصدبیان میکنند و آن را با η نشان میدهند.

پخش گرمای ایجادشده در تقویت کننده

چون حرارت ایجاد شده در پیوند ترانزیستورهای قدرت زیاد است، باید با نصب آنها روی صفحات فلزی گرماگیر heat sink که ساختمانی رادیاتور مانند دارند، گرمای ایجاد شده را به خارج منتقل کنند. در تقویت کنندههای پرقدرت اگر از گرماگیر مناسب استفاده نشود، ترانزیستورها به سرعت صدمه میبینند و می سوزند. حرارت ایجاد شده درپیوند، متناسب با توان تلف شده در ترانزیستور است. توان تقریبی تلف شده در یک ترانزیستور امیتر مشترک از رابطه زیر به دست میآید.

$$P_C = V_{CE} \cdot I_C$$

در هیچ شرایطی نباید مقدار P_C از حداکثر توان مجاز ترانزیستور تجاوز کند. حداکثر توان مجاز که توسط کارخانه سازنده ترانزیستور تعیین میشود را با نماد $P_{C_{max}}$ نشان میدهند. میتوانیم معادله P_C را در تلفات ماکزیمم به صورت زیر بنویسیم

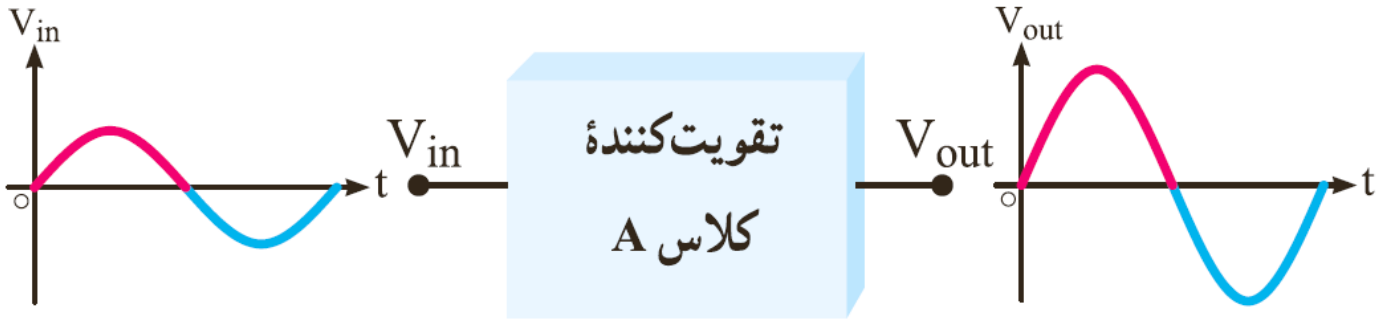
$$P_{C_{max}} = V_{CE} \cdot I_C \quad \text{یک مقدار ثابت}$$

با توجه به معادله فوق چون $P_{C_{max}}$ ثابت است باید به این مسئله توجه کرد که اگر V_{CE} افزایش یابد، حداکثر مقدار I_C کاهش مییابد و برعکس، با افزایش I_C از حداکثر مقدار مجاز V_{CE} کاسته میشود. هرقدر از تلفات ترانزیستور کاسته شود، بازده آن افزایش مییابد. برای کاهش تلفات ترانزیستور، باید جریان حالت سکون ن، یعنی جریانی که در غیاب سیگنال ورودی از آن میگذرد را کم کنیم. باکاهش زمان روشن بودن ترانزیستور نیز تلفات آن کاهش مییابد.

تقویت کننده کلاس A:

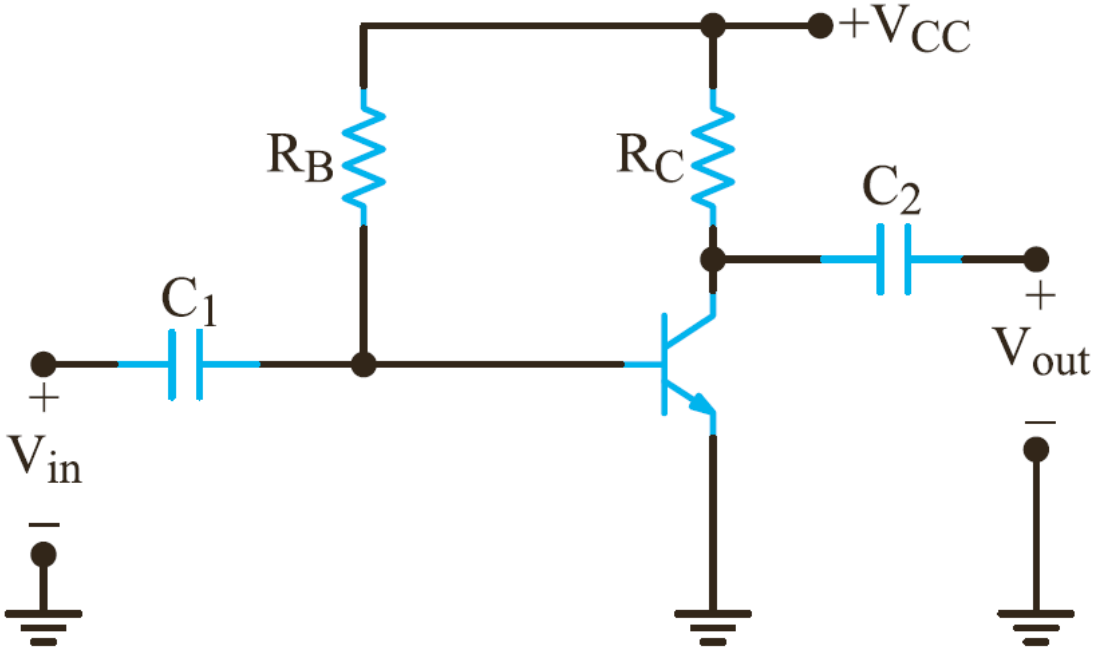
برحسب این که یک تقویت کننده در چه کسری از یک پریود کامل (T) سیگنال AC ورودی فعال باشد، آن را در یکی از رده‌های (کلاس‌های) A، AB، B یا C جای می‌دهند.

به تقویت کننده‌هایی که تمام موج ورودی را به طور کامل عبور می‌دهند تقویت کننده‌های کلاس A می‌گویند. یک تقویت کننده‌ی کلاس A همواره در ناحیه فعال کار می‌کند. معمولا همه تقویت کننده‌های صوتی در کلاسA کار می‌کنند. مگر در مواردی خاص که از این تقویت کننده استفاده نمی‌شود.در بلوک دیاگرام یک تقویت کننده‌ی کلاس A و شکل موج ورودی و خروجی نشان داده شده است.



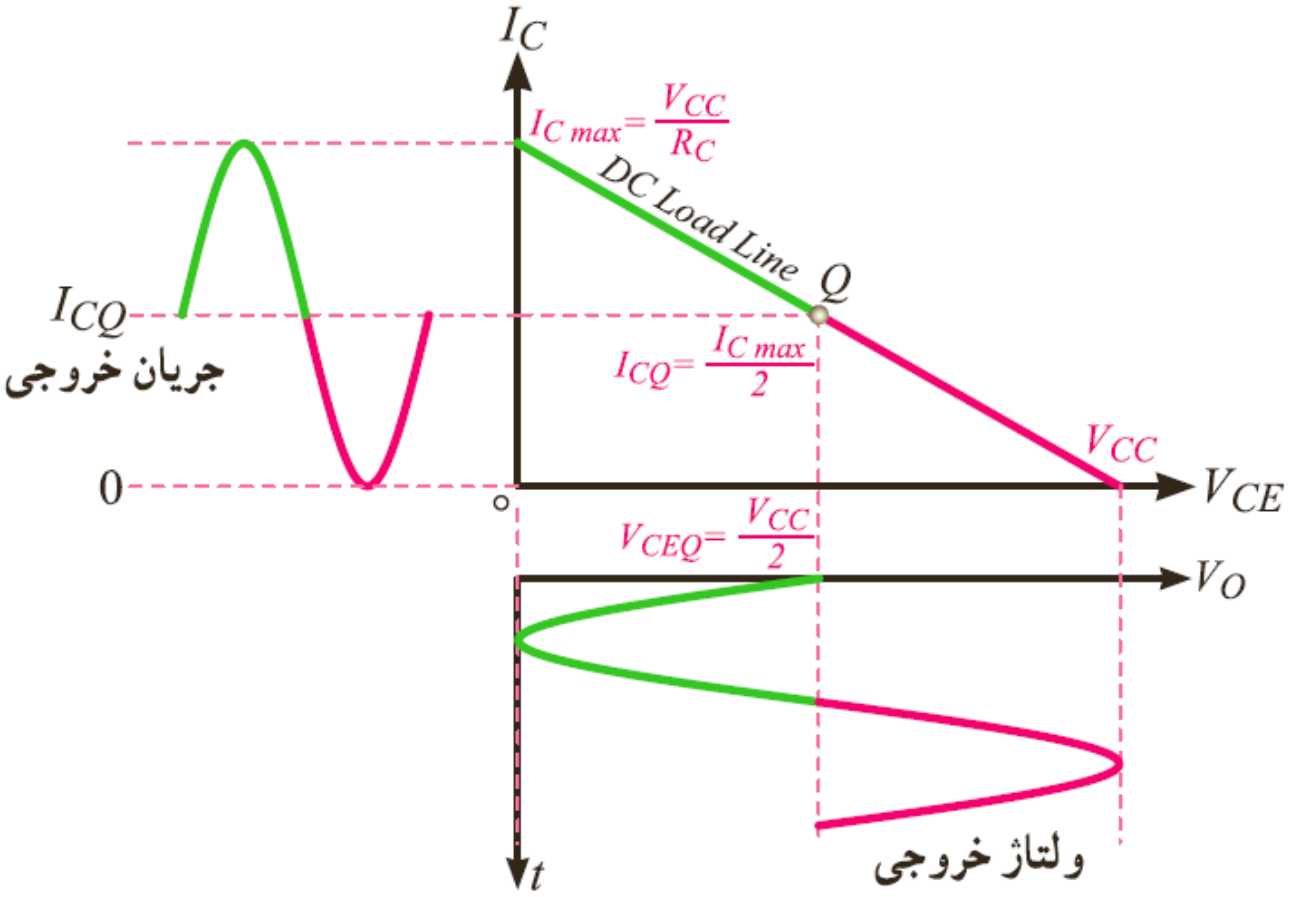
موج ورودی و خروجی تقویت‌کنندهٔ کلاس A

و در شکل زیر یک تقویت کننده کلاس A نشان داده شده است.



مدار تقویت‌کنندهٔ کلاس A

برای آنکه در خروجی حداکثر دامنه‌ی ولتاژ و حداکثر دامنه‌ی جریان را داشته باشیم، باید ترانزیستور را طوری بایاس کنیم که جریان حالت سکون آن برابر با نصف مقدار ماکزیمم $I_{C_Q} = \frac{1}{2} I_{C_{max}}$ و ولتاژ حالت سکون آن نیز نصف مقدار ماکزیمم $V_{CE_Q} = \frac{1}{2} V_{CC}$ شود. با توجه به شرایط بیان شده، در صورت اعمال سیگنال متناوب به تقویت کننده‌ی کلاس A، اگر از $V_{CE(sat)}$ صرف نظر کنیم، حداکثر تغییرات جریان کلکتور و حداکثر تغییرات ولتاژ کلکتور امیتر به صورت زیر در می‌آیند. (در بخش تقویت کننده های امیتر مشترک گفته شده بود)



محاسبه راندمان تقویت کننده‌ی کلاس A

برای محاسبه راندمان، باید توان DC گرفته شده از منبع تغذیه و توان AC منتقل شده به بار را محاسبه کنیم. مقدار متوسط توانی که تقویت کننده از منبع تغذیه می‌گیرد برابر است با : $P_{DC} = V_{CC} I_S$ که $I_S = I_{B_Q} + I_{C_Q}$ است. بجای I_S مساوی آن را در رابطه قرار می‌دهیم.

$$P_{DC} = V_{CC}\left(I_{B_Q} + I_{C_Q}\right) \Longrightarrow P_{DC} = V_{CC} I_{B_Q} + V_{CC} I_{C_Q}$$

چون I_{B_Q} خیلی کوچکتر از I_{C_Q} است لذا می‌توانیم از توان تلف شده $V_{CC}I_{B_Q}$ صرف نظر کنیم بنابراین رابطه به صورت زیر در می‌آید.

$$\Longrightarrow P_{DC} = V_{CC} \cdot I_{C_Q}$$

مقدار I_{C_Q}، میانگین تغییرات جریان کلکتور و برابر با $\frac{I_{C_{max}}}{2}$ است. با توجه به خط بار، به جای $I_{C_{max}}$ مقدار $\frac{V_{CC}}{R_C}$ را قرار می‌دهیم و I_{C_Q} را بدست می‌آوریم.

$$I_{C_Q} = \frac{I_{C_{max}}}{2} = \frac{\frac{V_{CC}}{R_C}}{2} = \frac{V_{CC}}{2R_C}$$

در رابطه توان P_{DC} مقدار I_{C_Q} را جایگزین می‌کنیم (دیگر نیاز به محاسبه نقطه کار نیست)

$$P_{DC} = V_{CC} \times \frac{V_{CC}}{2R_C} = \frac{{V_{CC}}^2}{2R_C}$$

که مقدار توان DC در یافتی از منبع می‌باشد.

توان AC منتقل شده به بار از حاصل ضرب جریان موثر خروجی در ولتاژ موثر خروجی به دست می‌آید.

$$P_L = (I_{L_{rms}})(V_{L_{rms}})$$

نقطه کار ترانزیستور درست در وسط بار DC تنظیم شده است. مقدار پیک تاپیک ولتاژ AC برابر با V_{CC} و دامنه پیک برابر با $V_m = \frac{V_{CC}}{2}$ می‌شودو همچنین حداکثر دامنه AC برابر با $\frac{I_{C_{max}}}{2}$ است. به جای $I_{C_{max}}$ مقدار معادل آن یعنی $\frac{V_{CC}}{R_C}$ را قرار می‌دهیم و I_m را بدست می‌آوریم.

$$I_m = \frac{I_{C_{max}}}{2} = \frac{\frac{V_{CC}}{R_C}}{2} = \frac{V_{CC}}{2R_C}$$

می‌دانیم $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ است پس می‌توانیم بنویسیم:

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{V_{CC}}{2}\right) = \frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}}$$

برای محاسبه I_{rms} نیز به همین ترتیب عمل می‌کنیم.

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{V_{CC}}{2R_C}\right) = \frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}R_C}$$

مقادیر V_{rms} و I_{rms} را در رابطه توان می‌گذاریم و P_L را محاسبه می کنیم.

$$P_L = I_{rms}V_{rms} = \frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}R_C} \times \frac{V_{CC}}{2\sqrt{2}} \Longrightarrow P_L = \frac{V_{CC}^2}{8R_C}$$

با جایگزینی مقادیر P_L و P_{DC} در رابطه بازده مقدار η را محاسبه می‌کنیم.

$$\eta = \frac{P_L}{P_{DC}} \times 100 \Longrightarrow \eta = \frac{\frac{V_{CC}^2}{8R_C}}{\frac{V_{CC}{}^2}{2R_C}} \times 100 = 25\%$$

ضریب شایستگی:

برای تقویت کننده‌های قدرت، ضریب شایستگی به صورت نسبت حداکثر توان تلف شده در ترانزیستور به حداکثر توان AC انتقالی به بار تعریف می‌شود. برای تقویت کننده امیتر مشترک حداکثر توان تلف شده که در ترانزیستور به صورت گرما تلف می‌شود برابر است با :

$$P_C = V_{CE} \cdot I_{C_Q} \Longrightarrow P_{C_{max}} = \frac{V_{CC}}{2} \times \frac{V_{CC}}{2R_C} = \frac{V_{CC}^2}{4R_C}$$

با توجه به اینکه توان ماکزیمم AC انتقالی به بار برابر است با:

$$P_{L(AC)max} = \frac{V_{CC}^2}{8R_C}$$

ضریب شایستگی را براساس مقادیر بالا محاسبه می‌کنیم.

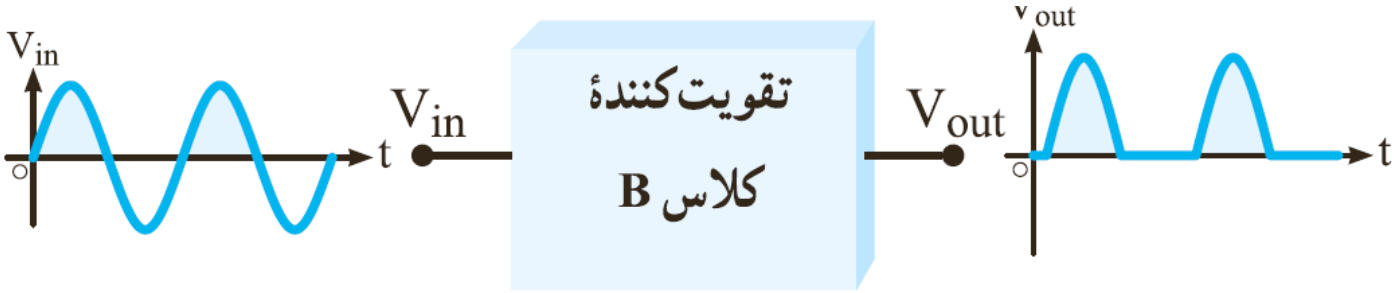
$$\frac{P_{C_{max}}}{P_{L(AC)max}} = \frac{\frac{V_{CC}^2}{4R_C}}{\frac{V_{CC}^2}{8R_C}} = 2$$

عدد شایستگی نشان می‌دهد که تلفات حرارتی ترانزیستور دو برابر توان منتقل شده به بار است، مثلا به ازای یک وات توان منتقل شده به بار، دو وات قدرت در ترانزیستور تلف می‌شود.

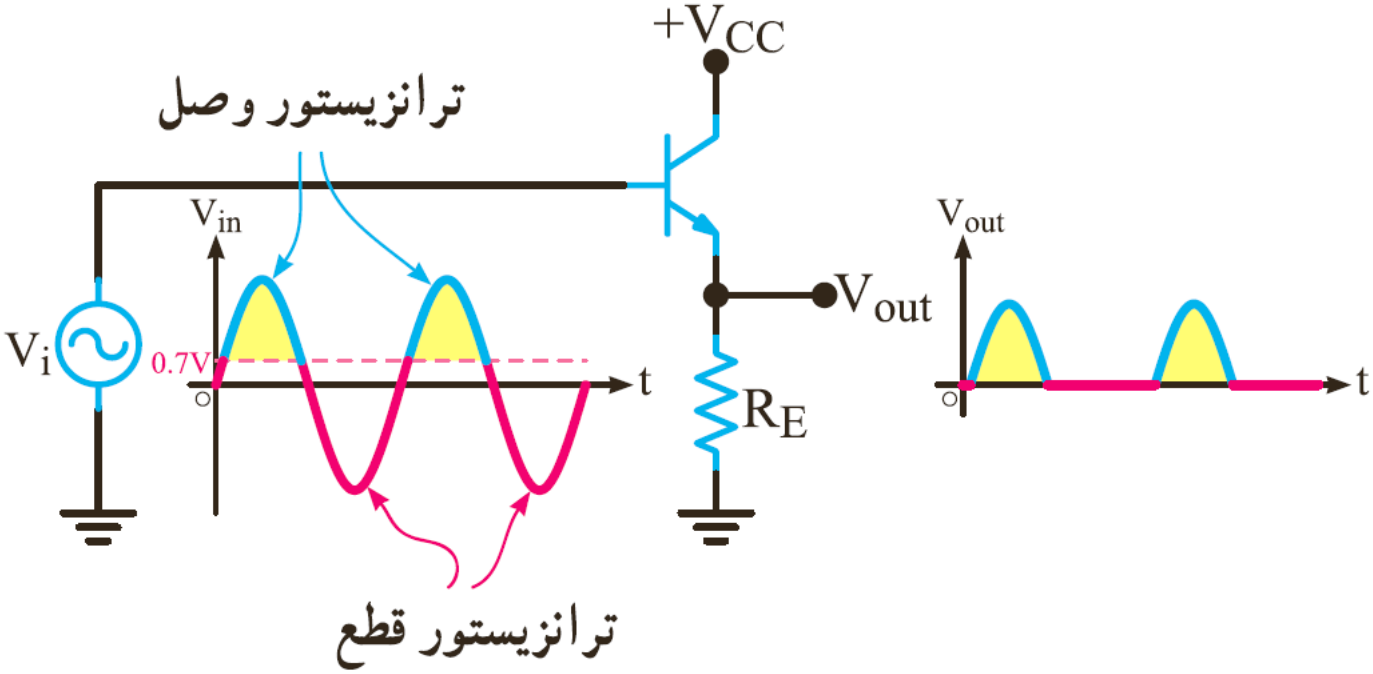
توجه داشته باشید که ترانزیستور نباید وارد منطقه اشباع یا قطع شود. به همین دلیل، باید دامنه ولتاژ کمی کمتر از $\frac{V_{CC}}{2}$ و دامنه نوسانات جریان نیز $\frac{I_{C_{max}}}{2}$ باشد. در صورتی که محاسبات بالا را برای تقویت کننده های بیس مشترک و کلکتور مشترک در کلاس A تکرار کنیم، به نتایج بدست آمده برای حالت امیتر مشترک می‌رسیم . همچنین می‌توان نشان داد که اگر تقویت کننده در کلاس A در حالت کلکتور مشترک به کار رود، نسبت به دو حالت دیگر، دارای اعوجاج بسیار کم‌تر در خروجی خواهد بود.

تقویت کننده کلاس B

بازده تقویت کننده کلاس B، ۷۸/۵ درصد است. ترانزیستور فقط برای نیمی از یک سیگنال ورودی هدایت می‌کند و پایه بیس هم بایاس نمی‌شود.



بلوک دیاگرام تقویت‌کنندهٔ کلاس B و شکل موج ورودی و خروجی

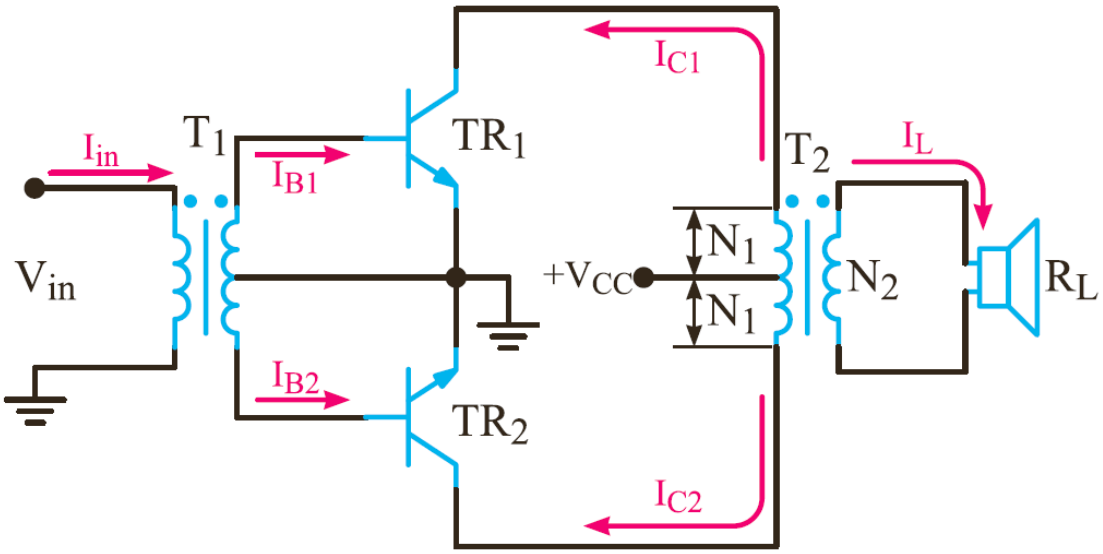


با اعمال سیگنال متناوب به ورودی تقویت کننده، ترانزیستور از ناحیه قطع خارج می‌شود و در ناحیه خطی (فعال) کار می‌کند.

برای داشتن یک شکل موج کامل در خروجی تقویت کننده کلاس B باید از دو ترانزیستور استفاده کنیم. به چنین مداری (پوش پول) Push Pull می‌گویند.

تقویت کننده پوش پول ترانسفورماتوری

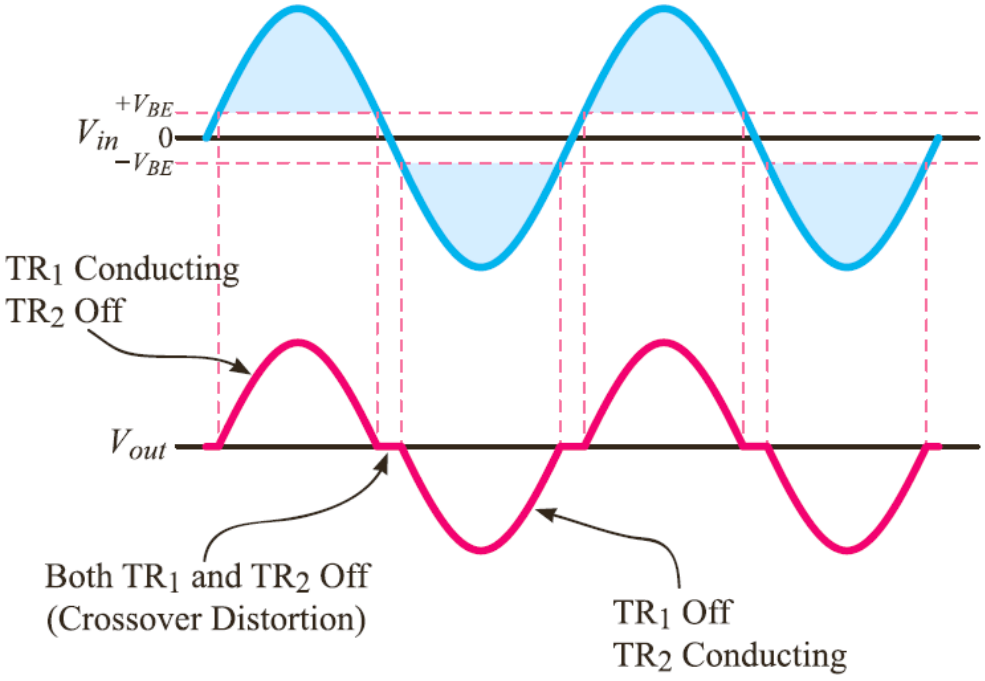
در نیم سیکل مثبت ترانزیستور NPN در ناحیه فعال قرار می‌گیرد و در نیم سیکل منفی ترانزیستور PNP در ناحیه فعال قرار خواهد گرفت.

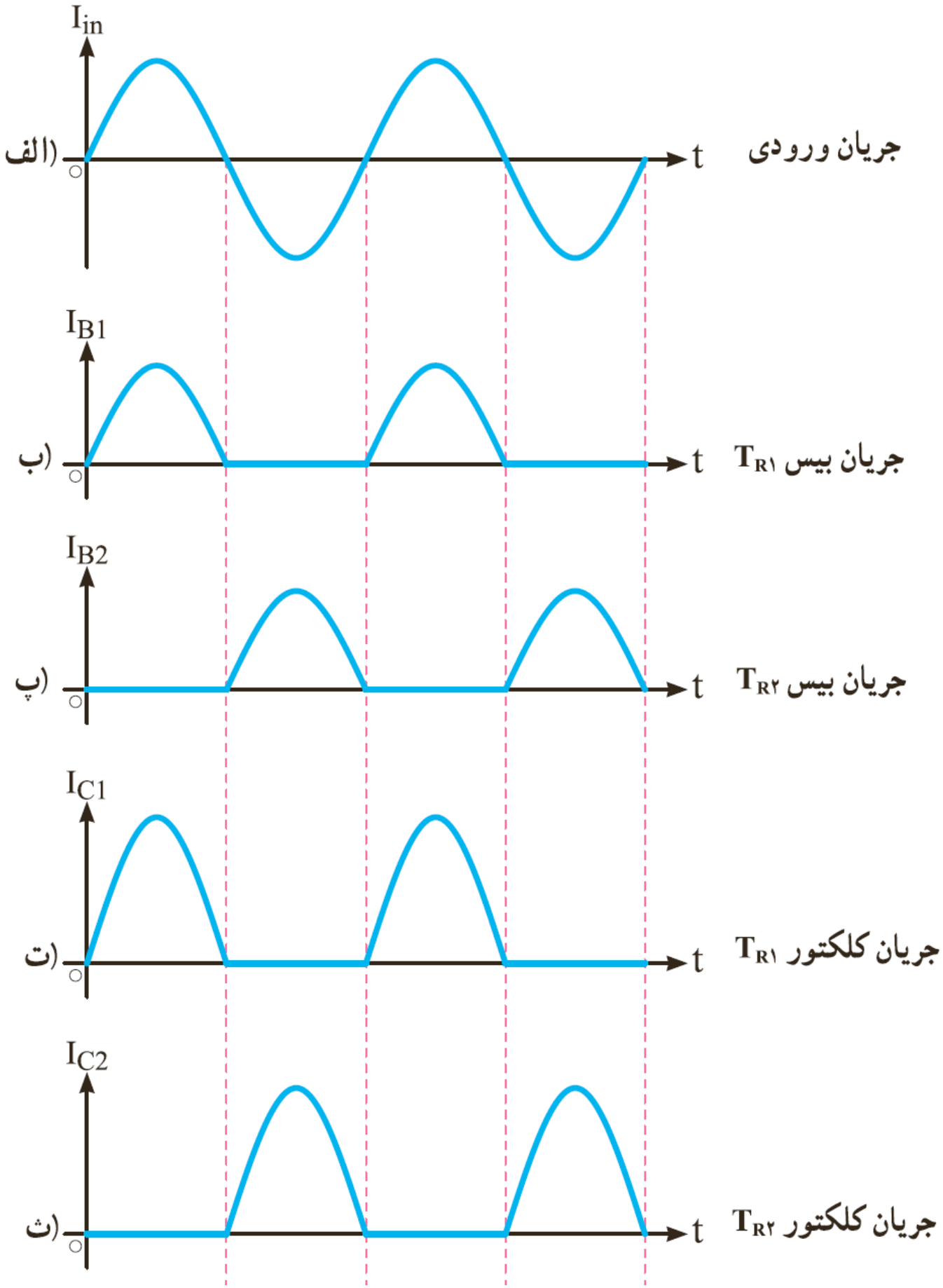


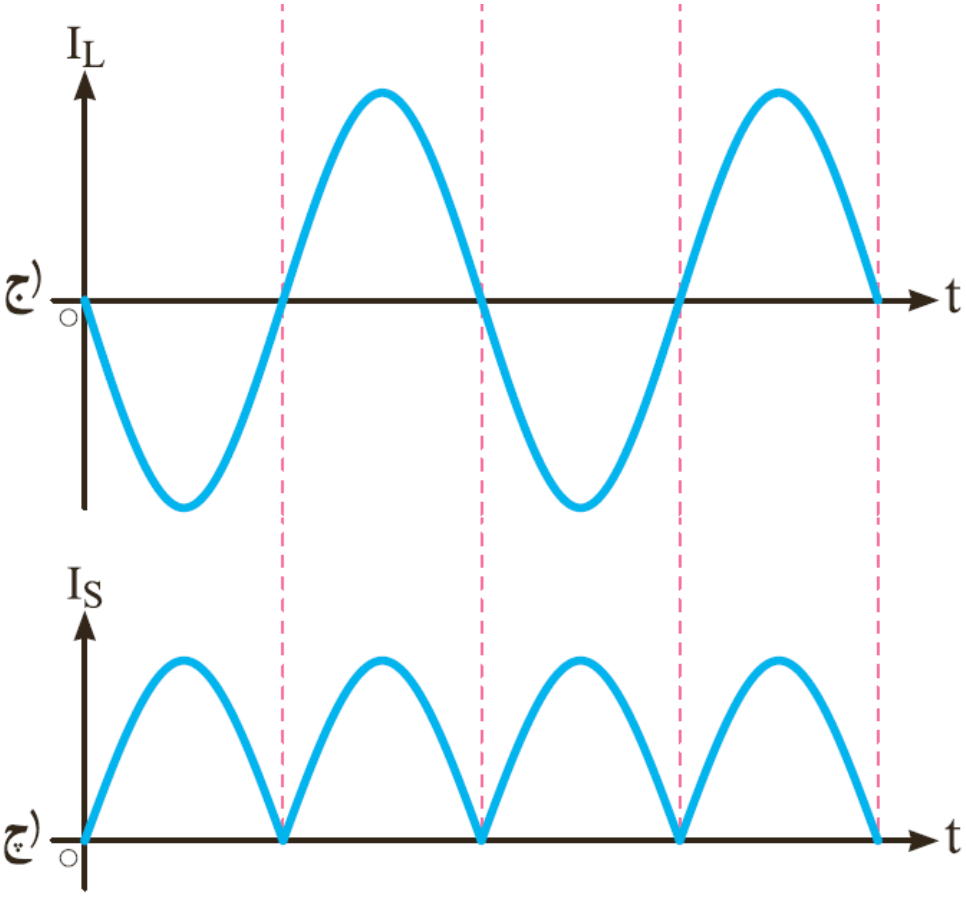
مدار تقویت‌کنندهٔ پوش پول کلاس B با کوپلاژ ترانسفورماتوری

ترانسفورماتور T_1 با ایجاد دوسیگنال هم دامنه و با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه سیگنال را برای بیس ترانزیستور های Q_1 و Q_2 ارسال می‌کند.

اشکالات مدار داشتن اعوجاج تقاطعی و به نوسان افتادن مدار می‌باشد.




I_{in}
الف)
t
جریان ورودی
I_{B1}
ب)
t
جریان بیس T_{R1}
I_{B2}
پ)
t
جریان بیس T_{R2}
I_{C1}
ت)
t
جریان کلکتور T_{R1}
I_{C2}
ث)
t
جریان کلکتور T_{R2}



توان گرفته شده از منبع

$$P_{DC} = V_m \times \frac{2I_m}{\pi}$$

توان منتقل شده به بار:

$$P_L = \frac{1}{2} V_m \times I_m$$

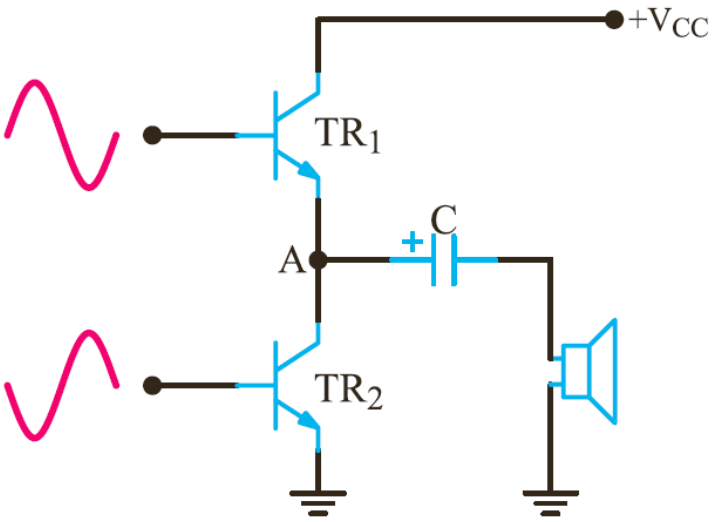
حداکثر راندمان در شرایطی بدست می‌آید که $V_m = V_{CC}$ شود

$$\eta = \frac{P_L}{P_{DC}} \times 100 \Longrightarrow \eta = \frac{V_{CC} \times \frac{2I_m}{\pi}}{\frac{1}{2} V_{CC} \times I_m} \times 100 = \frac{\pi}{4} \times 100 = 78.5\%$$

در تقویت کننده پوش پول حداکثر توان تلف شده در هر ترانزیستور $P_{C_{max}} = 0.2P_L$ بدست می‌آید.

تقویت کننده پوش پول بدون ترانسفورماتور:

خازن C توسط ترانزیستور Q_1 به اندازه $\frac{V_{CC}}{2}$ شارژ می‌شود.یعنی $A_v = \frac{V_{CC}}{2}$

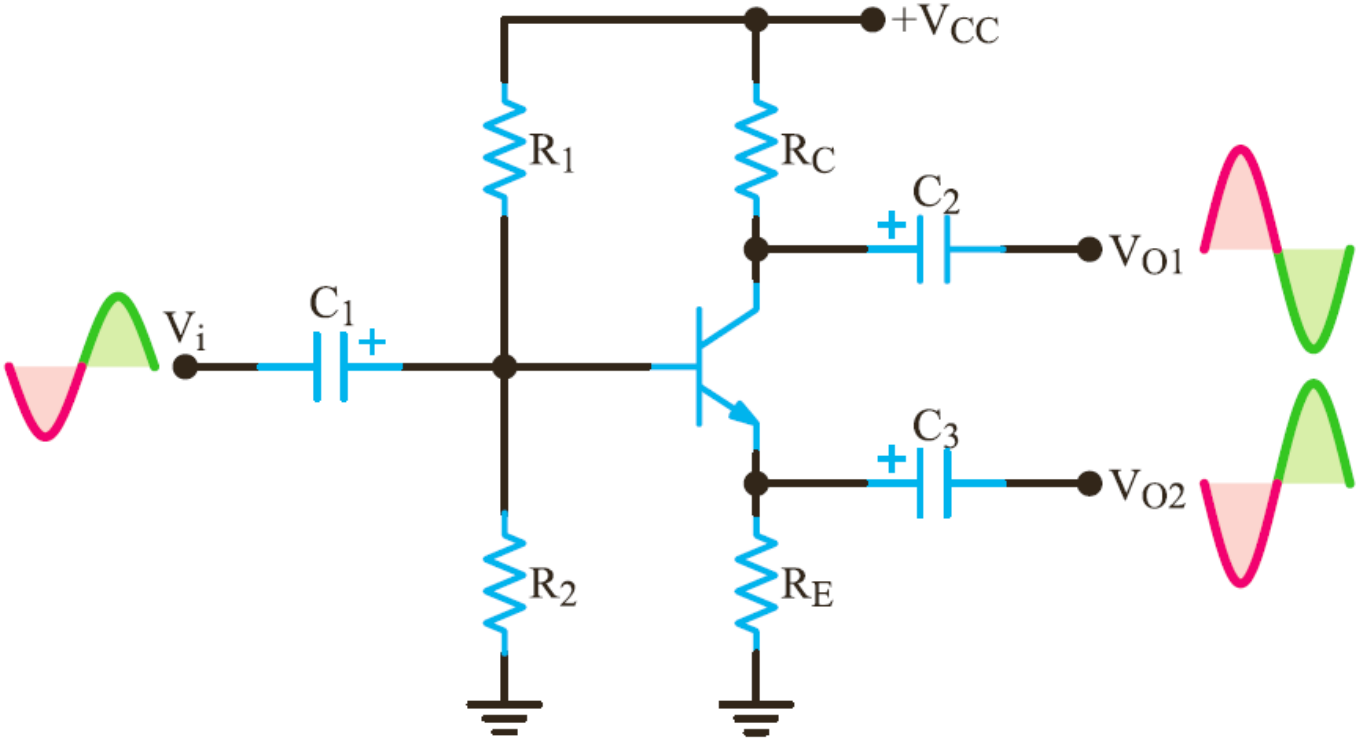


اشکالات مدار:

داشتن اعوجاج تقاطعی

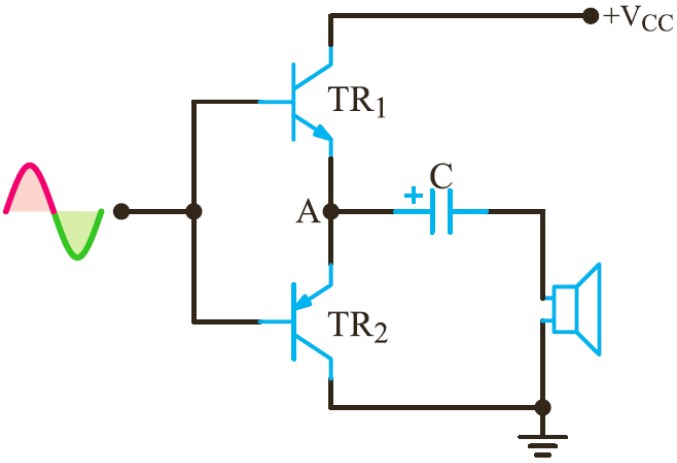
عدم تقارن دو نیم سیکل خروجی

مدار جداکننده فاز:

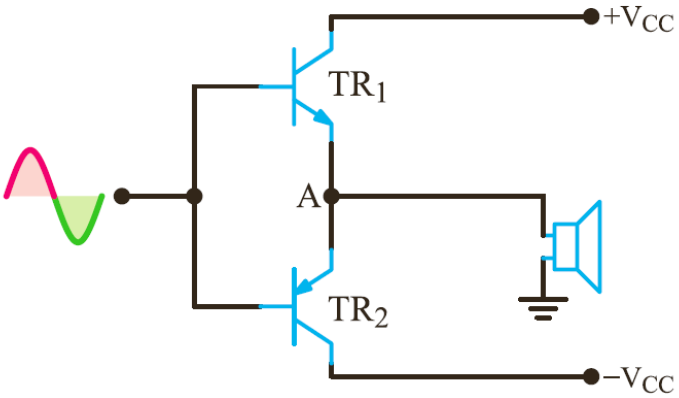


در این مدار R_E با R_C برابر است و $A_v = 1$ می‌باشد.

تقویت کننده پوش پول با ترانزیستورهای مکمل (کامپلی منتاری)



تقویت‌کننده با منبع تغذیهٔ ساده



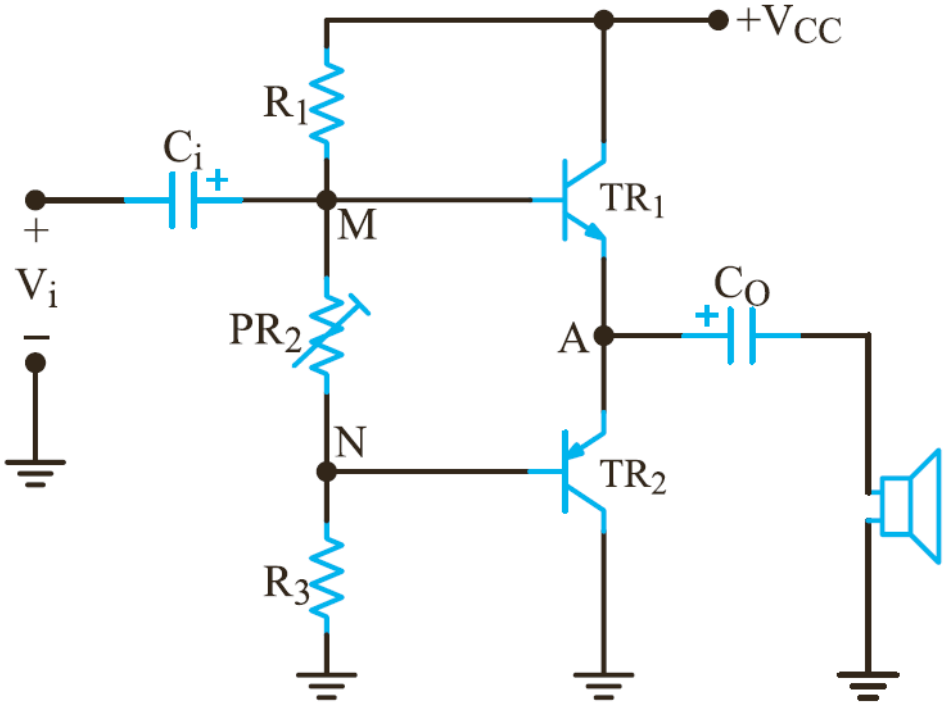
تقویت‌کننده با منبع تغذیهٔ متقارن

که مشاهده می‌کنید هر دو ترانزیستور کلکتور مشترک هستند.

روش قرار دادن ترانزیستور در آستانه هدایت، تقویت کننده کلاس AB

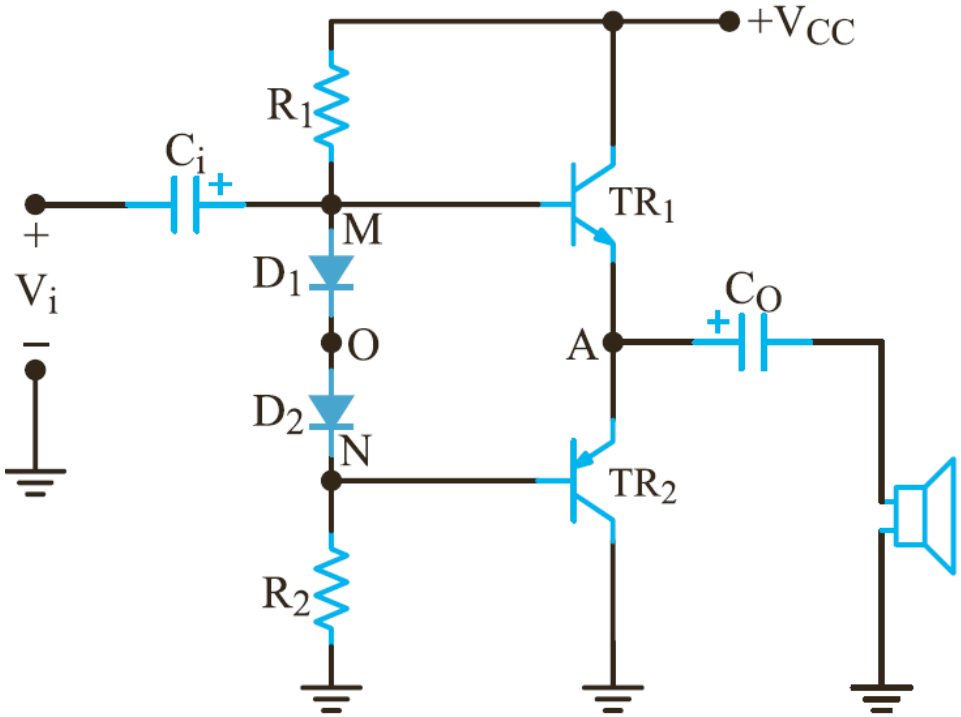
برای این کار باید ولتاژ شکست دیود بیس امیتر (V_{BE}) را برای هر دو ترانزیستور فراهم کنیم که اگر این ولتاژ رابرای هر ترانزیستور ۰/۶ در نظر بگیریم برای این که هر دو ترانزیستور در آستانه هدایت قرار بگیرند باید ولتاژ ۱/۲ ولت را برای آنها آماده کنیم این کار با تقسیم ولتاژ صورت می‌گیرد.

الف) استفاده از مقاومت‌های تقسیم کننده ولتاژ

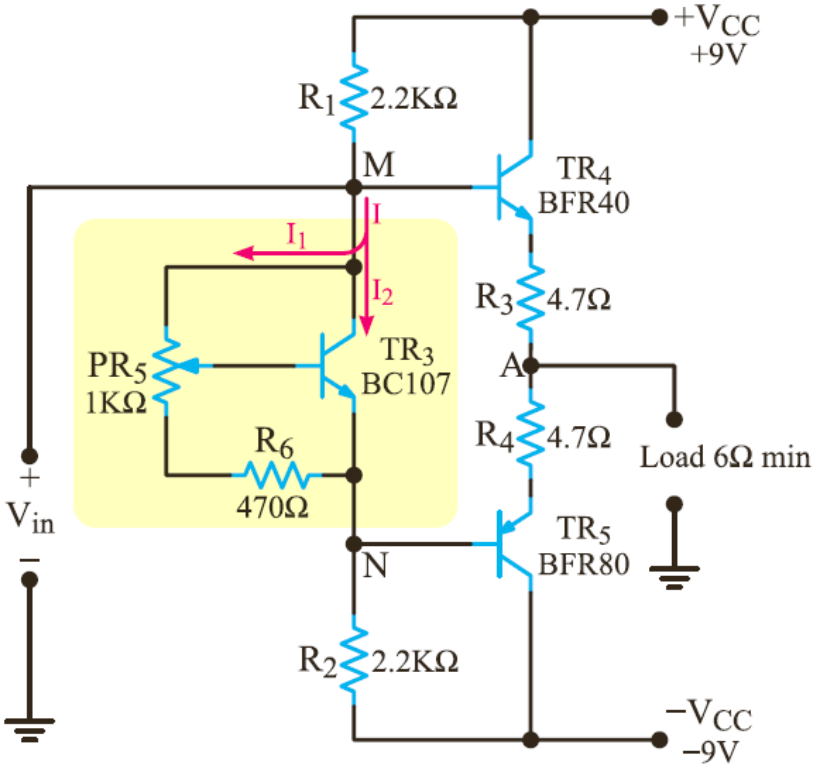


که با استفاده از مقاومت PR_2 ولتاژ نقطه M تا N را به ۱٫۲ ولت (آستانه هدایت) می‌رساند. ترانزیستور درست ۱۸۰ درجه (نیم سیکل کامل) از سیگنال ورودی را تقویت می‌کند. اگر ترانزیستور NPN باشد نیم سیکل مثبت و اگر PNP، نیم سسیکل منفی را تقویت می‌کند.

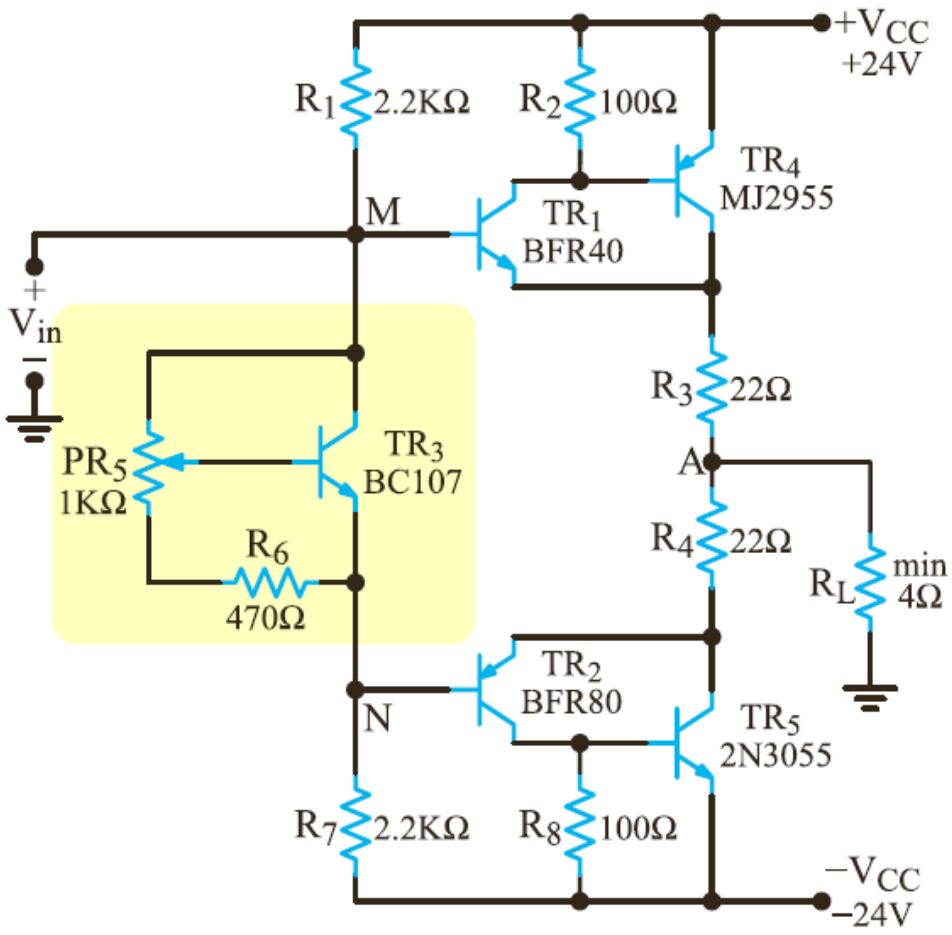
ب) استفاده از دیود



ج) استفاده از رگولاتور ولتآژ موازی

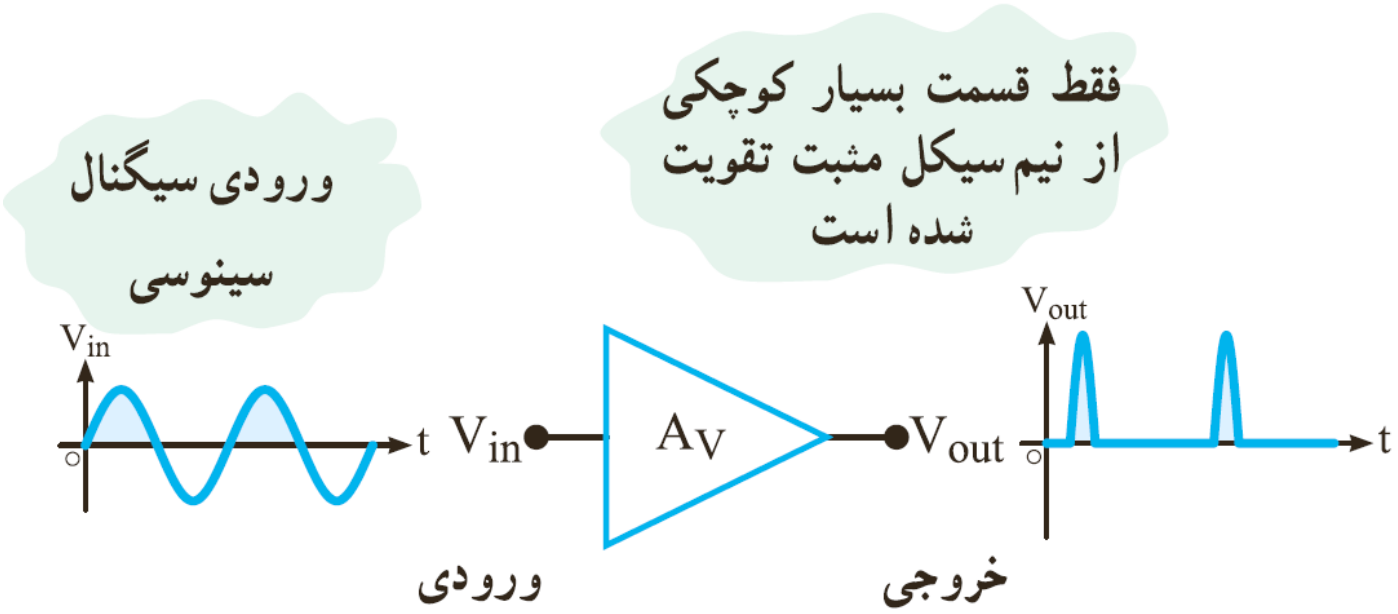


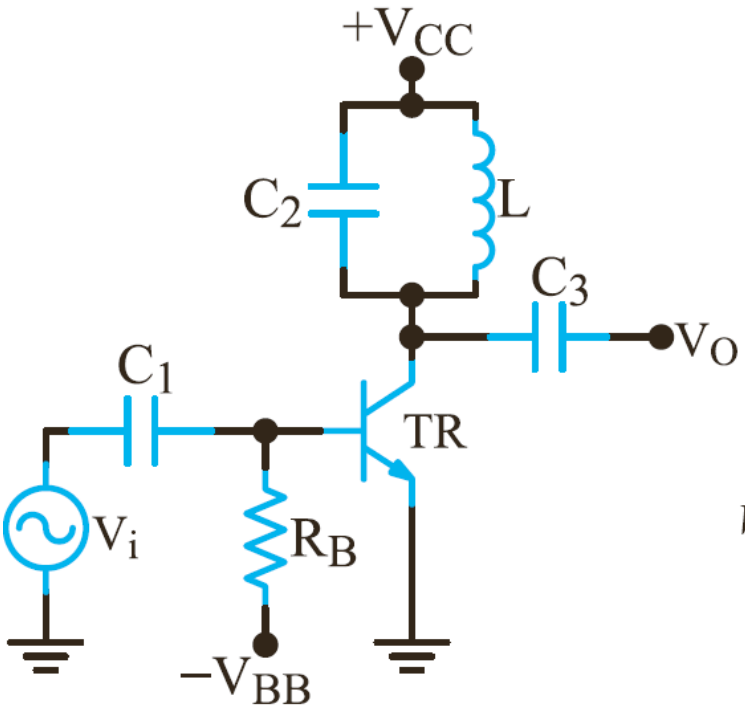
استفاده از زوج دالیگتون به جای هر ترانزیستور برای افزایش قدرت خروجی صورت می‌گیرد.

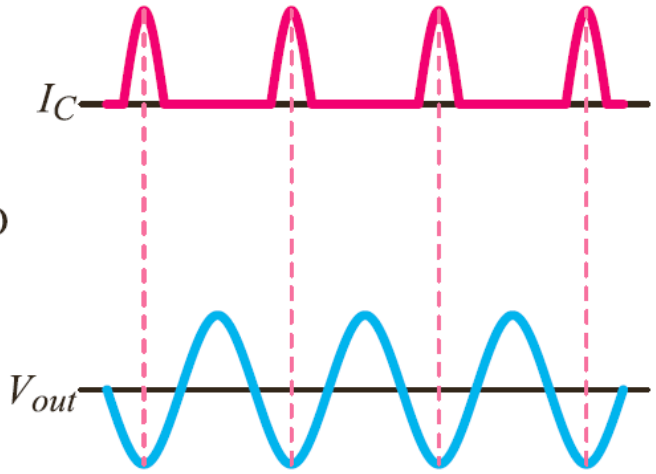


که با این کار برای اینکه همه ترانزیستور ها در آستانه هدایت باشند ولتاژ نقطه M تا N باید ۲/۴ ولت باشد.

تقویت کننده کلاس C





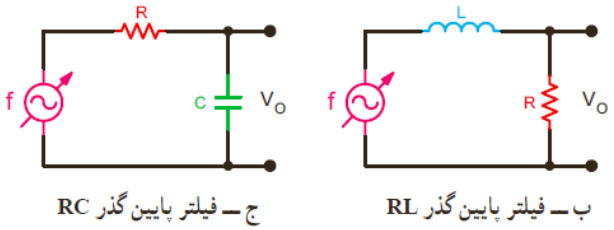


ترانزیستور در کم‌تر از نیم سیکل هدایت می‌کند. تلفت ترانزیستور از کلاس B کم‌تر و بازده مدار از هر دو کلاس A و B بیشتر است. بیشترین راندمان را در بین کلاس‌ها دارد و به همین صورت بیشترین اعوجاج را در بین کلاس‌ها دارد. در مدارات گیرنده وفرستنده رادیویی استفاده می‌شود. معمولا بایاسینگ بیس امیتر به طور معکوس می‌باشد. برای باز سازی سیگنال ورودی از مدار رزنانس LC با ضریب کیفیت زیاد استفاده می‌کنند.

منبع تغذیه	قطعه	معادل قطعه	مقاومت معادل	نمایش منحنی راکتانس سلفی راکتانس خازنی بر حسب فرکانس	جریان و ولتاژ در مدار
E f = 0	L		$F = 0$ $X_C = 2\pi fL$ $X_L = 0$ سلف تقریباً اتصال کوتاه مانند کلید بسته	X_L $X_L = 0$ f = 0 f	R V_O E f = 0 I L $V_O = 0$ V $I = \frac{E}{R}$ = بیشترین مقدار $V_O = 0$ V
E f	L	X_L	$X_L = 2\pi fL$	X_L X_{L_2} X_{L_1} f_1 f_2 f	R V_O E f I X_L I = متوسط $V_O = X_L I$
E f → ∞	L		$F = \infty$ $X_L = 2\pi fL$ $X_L \longrightarrow \infty$ سلف تقریباً مدار باز مانند کلید باز	X_L $X_L \to \infty$ $f \to \infty$ f	R V_O E I = 0 L $V_O = EV$ $f \to \infty$ I = 0 $V_O = EV$ بیشترین مقدار
E f = 0	C		$F = 0$ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ $X_C \longrightarrow \infty$ خازن تقریباً مدار باز مانند کلید باز	X_C $X_C \to \infty$ f = 0 f	R V_O E f = 0 I = 0 C $V_O = EV$ I = 0 $V_O = EV$ بیشترین مقدار
E f	C	X_C	$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$	X_C X_{C_1} X_{C_2} f_1 f_2 f	R V_O E f I X_C I = متوسط $V_O = X_C I$
E f → ∞	C		$F = \infty$ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ $X_C = 0$ خازن تقریباً اتصال کوتاه مانند کلید بسته	X_C $X_C = 0$ $f \to \infty$ f	R V_O E f → ∞ I C $V_O = 0$ V $I = \frac{E}{R}$ = بیشترین مقدار $V_O = 0$ V

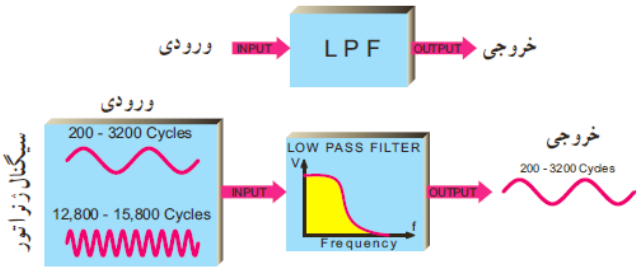
فرمول محاسبه فرکانس قطع فیلتر RC (L.P.F)

$$F_C = \frac{1}{2\pi RC}$$

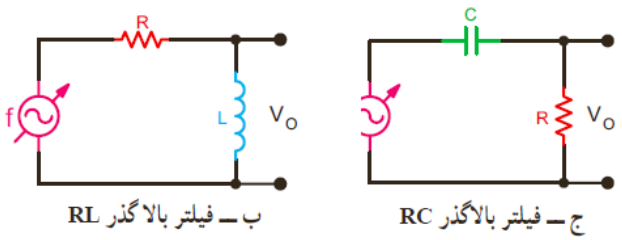


ب ــ فیلتر پایین گذر RL

ج ــ فیلتر پایین گذر RC



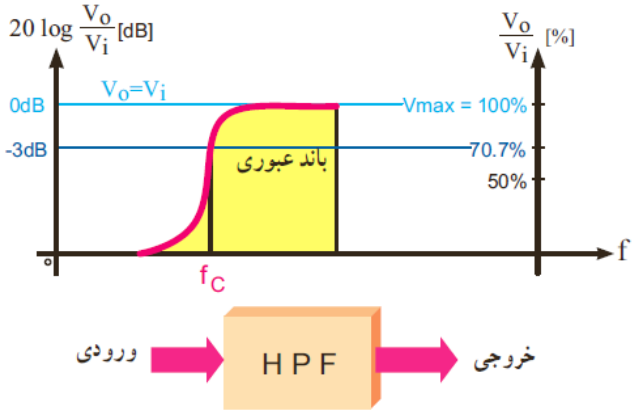
الف ــ پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر

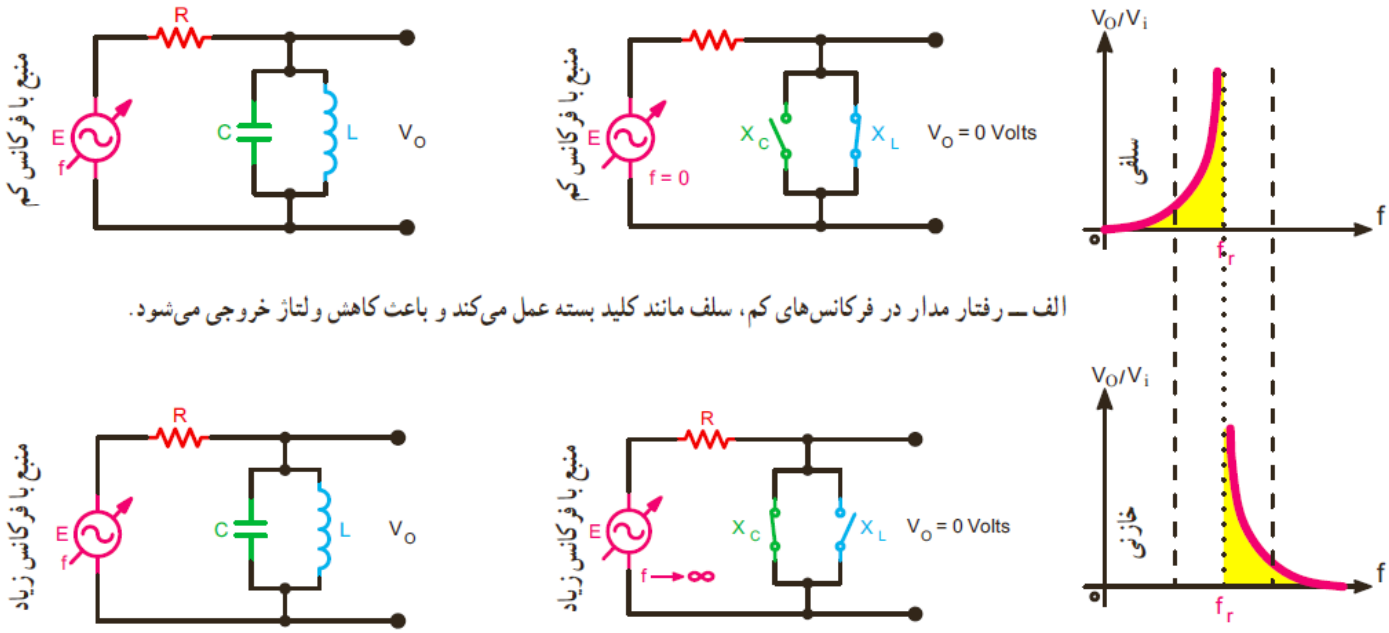


ب ــ فیلتر بالا گذر RL

ج ــ فیلتر بالاگذر RC

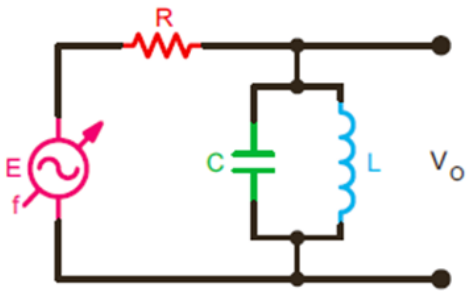
شکل ۱۷ــ۴ــ فیلترهای بالا گذر



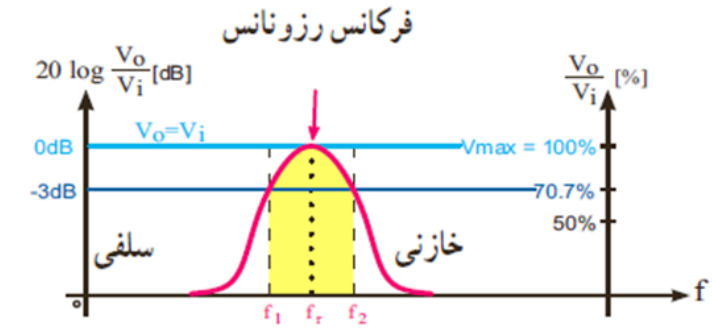


الف ــ رفتار مدار در فرکانس‌های کم، سلف مانند کلید بسته عمل می‌کند و باعث کاهش ولتاژ خروجی می‌شود.

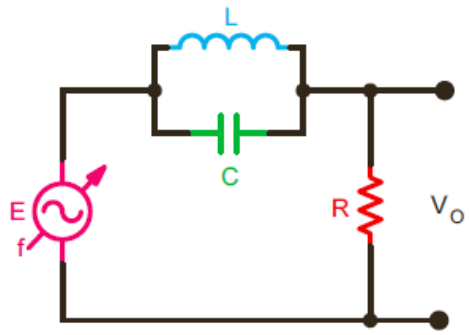
ب ــ رفتار مدار در فرکانس‌های زیاد، خازن مانند کلید بسته عمل می‌کند و باعث کاهش ولتاژ خروجی می‌شود.



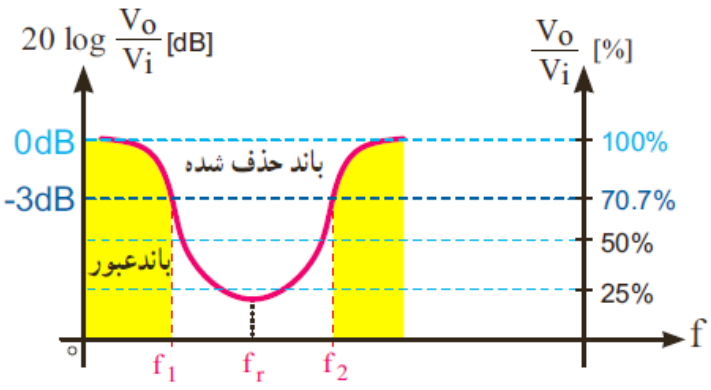
د ــ فیلتر میان گذر



ج ــ پاسخ فرکانسی



فیلتر حذف باند



پاسخ فرکانسی

پایان جلسه شانزدهم

روزگار خوشی را برای شما آرزومندم.

محمد اعرابیان