

مشخصات ویژه تقویت کننده‌های ترانزیستوری

زمان اجرا: ۲۰ ساعت آموزشی

هدف کلی: بررسی انواع بایاس تقویت کننده‌ها و مقایسه سه نوع آرایش تقویت کننده ترانزیستوری

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

- ۶- انواع تقویت کننده‌ها را از نظر مشخصات ویژه با یک دیگر مقایسه نماید.
- ۷- فیدبک را تعریف کند.
- ۸- فیدبک منفی و اثر آن بر مشخصات تقویت کننده را شرح دهد.
- ۹- بوت استراپ را شرح دهد.
- ۱۰- تأثیر بوت استراپ کردن مقاومت را در خنثی‌سازی مقاومت‌های بایاس شرح دهد.
- ۱۱- بهره را در تقویت کننده‌های ترانزیستوری بر حسب دسی‌بل محاسبه کند.
- ۱۲- به سؤال‌های الگوی پرسش پاسخ دهد.

- ۱- انواع روش‌های تغذیه ترانزیستور (بایاس) را تجزیه و تحلیل کند.
- ۲- تأثیر تغییر مقاومت‌های بایاس را روی نقطه کار ترانزیستور شرح دهد.
- ۳- تقویت کننده‌های امیترمشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک و کاربرد آن‌ها را شرح دهد.
- ۴- تقویت کننده ترانزیستوری را از نظر سیگنال AC تجزیه و تحلیل کند.
- ۵- مشخصات ویژه تقویت کننده (بهره ولتاژ، بهره جریان، R_0 ، R_i و ...) را نام ببرد.

پیش‌گفتار

امپدانس ورودی با استفاده از روش بوت استراپ مورد بررسی قرار می‌دهیم. چگونگی استفاده از فیدبک منفی به منظور جبران حرارتی (جلوگیری از ازدیاد حرارت) ترانزیستور از دیگر نکات مورد بحث در این فصل خواهد بود.

۱-۲- روش‌های مختلف تغذیه ترانزیستور

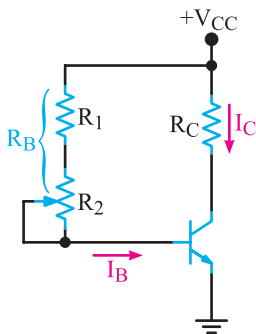
برای آن‌که ترانزیستور به عنوان تقویت کننده درست عمل کند و در سیگنال ورودی اعوجاج به وجود نیارد، باید به طور صحیح تغذیه شود. تغذیه ناکافی و نیز تغذیه بیش از حد، ممکن است

برای بررسی یک تقویت کننده ترانزیستوری ابتدا باید ترانزیستور را بایاس کرد، یعنی دیود بیس امیتر را در بایاس موافق و دیود کلکتور بیس را در بایاس مخالف قرار داد. ترانزیستور به عنوان تقویت کننده می‌تواند یکی از سه آرایش امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک را داشته باشد. مقادیر امپدانس ورودی، امپدانس خروجی، بهره ولتاژ و بهره جریان ترانزیستور در آرایش‌های مختلف با یک دیگر متفاوت است. در این فصل علاوه بر موارد گفته شده، اثر مقاومت‌های تأمین بایاس را بر

در این معادله مقدار V_{CC} ثابت و مقدار V_{BE} تقریباً ثابت است، بنابراین در صورتی که بپذیریم V_{BE} تقریباً ثابت است، می‌توانیم بگوییم که تنها عامل تعیین‌کننده جریان بیس مقدار مقاومت R_B است و با انتخاب یک مقدار معین برای R_B ، مقدار جریان بیس با تقریب قابل قبول تعریف می‌شود. در این مدار مقدار جریانی که از کلکتور ترانزیستور می‌گذرد برابر است با

$$I_C = \beta I_B \quad \text{معادله (۲-۲)}$$

با توجه به معادله (۲-۲)، مقدار جریان I_C به مقدار βI_B ترانزیستور بستگی دارد. چون مقدار β برای ترانزیستورهای مختلف (حتی از یک نوع) تغییر می‌کند، در صورت تعویض ترانزیستور نقطه کار مدار نیز تغییر خواهد کرد. برای ثابت نگه داشتن نقطه کار ترانزیستور، پتانسیومتر R_P را مطابق شکل ۲-۲ با R_1 سری می‌کنیم. حال اگر نقطه کار ترانزیستور در صورت فرسودگی یا تعویض ترانزیستور تغییر کند، می‌توانیم با تنظیم پتانسیومتر R_P مقدار جریان I_B را به حالت اولیه برگردانیم.



شکل ۲-۲- تصحیح نقطه کار به کمک پتانسیومتر R_P

۲-۱-۲- تغذیه خودکار (Automatic Bias) :

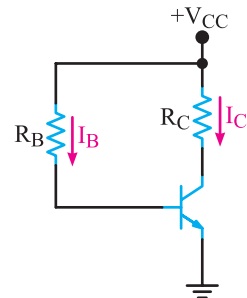
مدار شکل ۲-۱ نقطه کار تا حد زیادی به مقدار β ی ترانزیستور وابسته است و با تغییر β ، نقطه کار جابجا می‌شود. برای این که مدار فوق در برابر تغییرات β ثبات بیش‌تری داشته باشد، می‌توانیم به جای آن که تغذیه بیس ترانزیستور را مستقیماً از V_{CC} تأمین کنیم، طبق شکل ۲-۳ ولتاژ تغذیه بیس را از کلکتور ترانزیستور دریافت نماییم. به این ترتیب، با افزایش مقدار جریان I_C ، ولتاژ کلکتور کاهش می‌یابد. با کاهش ولتاژ کلکتور، ولتاژ بیس کم

در سیگنال خروجی تغییر شکل (اعوجاج) به وجود آورد. به علاوه، تغذیه بیش از حد موجب اتلاف توان می‌شود و بازده (Efficiency) تقویت‌کننده را پایین می‌آورد. تغذیه ترانزیستور را با جریان مستقیم بایاسینگ (Biasing) می‌گویند. بایاسینگ، ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC در یک وضعیت ثابت قرار می‌دهد، به این وضعیت ثابت حالت آرامش یا سکون (Quiescent Point) یا نقطه کار ترانزیستور می‌گویند. یک ترانزیستور باید طوری بایاس شود که همواره پیوند بیس امیتر آن در گرایش مستقیم (Forward Bias) و پیوند کلکتور بیس آن در گرایش معکوس (Reverse Bias) قرار گیرد. در این شرایط است که از ترانزیستور می‌توانیم به‌عنوان تقویت‌کننده، رگولاتور و ... استفاده نماییم.

نکته مهم : فقط در بعضی کاربردهای ویژه است که ترانزیستور به‌عنوان یک کلید ایده‌آل در دو حالت اشباع و قطع عمل می‌کند. در حالت اشباع، پیوند کلکتور بیس در گرایش مستقیم قرار می‌گیرد.

بایاس ترانزیستور، جهت تأمین نقطه کار مناسب با یکی از سه روش زیر انجام می‌گیرد.

۱-۱-۲- تغذیه ثابت (Fixed Bias) : در این نوع بایاس که مدار آن در شکل ۲-۱ نشان داده شده است، مقدار جریان بیس یعنی I_B همواره ثابت باقی می‌ماند.



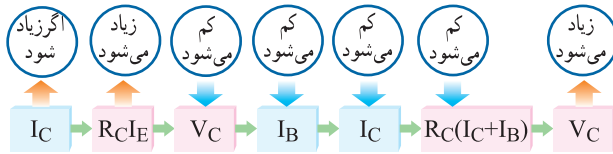
شکل ۲-۱- بایاس ثابت

در صورتی که در شکل ۲-۱ معادله KVL را در حلقه ورودی بنویسیم، مقدار جریانی که از بیس ترانزیستور می‌گذرد از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad \text{معادله (۲-۱)}$$

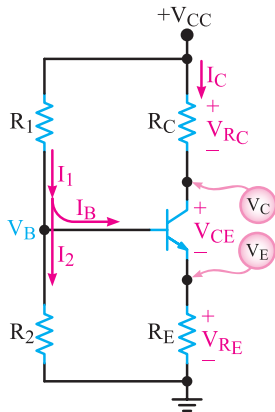
افزایش ولتاژ نقطه C، ولتاژ دوسر مقاومت R_B و V_{BE} را افزایش می‌دهد. با افزایش V_{BE} مقدار جریان I_B زیاد می‌شود.

این نوع تغذیه را که به طور خودکار ولتاژ روی کلکتور ترانزیستور کنترل می‌شود، تغذیه خودکار می‌نامند. به علت آن که تغذیه بیس از کلکتور ترانزیستور گرفته می‌شود تغذیه کلکتور بیس نیز نام‌گذاری شده است. می‌توان چرخه کنترل تغییرات جریان I_C و اثر آن روی I_B را به صورت زیر خلاصه کرد.



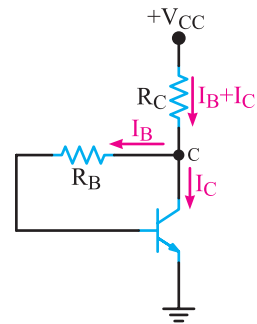
۲-۱-۳- بایاس با مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی (Voltage divider Bias) یا تغذیه سرخود (Self Bias):

مواردی که حتی تغییرات جزئی V_{CC} و V_{CE} نیز بر عملکرد مدار اثر نامطلوب می‌گذارد، می‌توان از مدار شکل ۲-۴ استفاده کرد. در این مدار نقطه کار ترانزیستور در حد قابل قبول تثبیت شده است و در شرایط خاص تا حدودی مستقل از β ی ترانزیستور است. در این مدار مقاومت‌های تقسیم‌کننده ولتاژ R_1 و R_2 ولتاژ تغذیه بیس ترانزیستور را تأمین می‌کند. برای آن که V_B تقریباً ثابت بماند، باید مقدار جریان I_B ، در مقایسه با مقدار جریان I_1 ، قابل چشم‌پوشی باشد. برای تحقق این امر، باید مقاومت تقسیم‌کننده ولتاژ R_2 خیلی کوچک‌تر از مقاومت ورودی ترانزیستور (مقاومت استاتیکی، از پایه بیس ترانزیستور نسبت به شاسی) انتخاب شود.

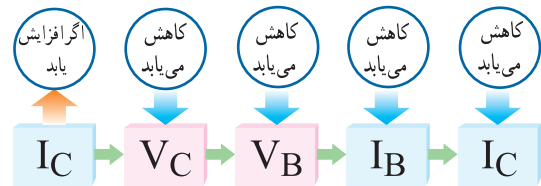


شکل ۲-۴- تغذیه سرخود

می‌شود و جریان بیس را کاهش می‌دهد. بنابراین هرگونه تغییر در I_C ، اثر معکوس روی جریان I_B می‌گذارد.



شکل ۲-۳- بایاس خودکار



تغییرات I_C اثر معکوس روی I_B دارد

برای درک بهتر موضوع، معادله حلقه خروجی را با توجه به شکل ۲-۳ می‌نویسیم و ولتاژ کلکتور ترانزیستور یعنی ولتاژ نقطه C را به دست می‌آوریم.

$$\text{معادله (۲-۳)}$$

$$V_{CC} = V_{RC} + V_C \Rightarrow V_C = V_{CC} - V_{RC}$$

$$V_C = V_{CE} = V_{CC} - (I_B + I_C)R_C$$

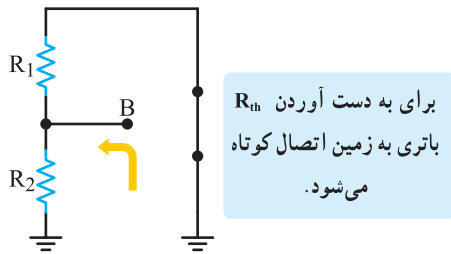
بر اساس معادله ۲-۳ با افزایش مقدار جریان I_C ، افت ولتاژ دو سر مقاومت R_C یعنی $(I_B + I_C)R_C$ بیش‌تر می‌شود و ولتاژ نقطه C کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل نقطه C موجب کاهش اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R_B می‌شود و این امر مقدار جریان I_B را کاهش می‌دهد زیرا:

$$\text{پس می‌توانیم بنویسیم: } V_{RB} = V_C - V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{RB}}{R_B} = \frac{V_C - V_{BE}}{R_B}$$

بنابراین، مدار به گونه‌ای عمل می‌کند که با کم شدن مقدار I_B ، از مقدار جریان I_C کاسته می‌شود، زیرا $I_C = \beta I_B$ است. این کاهش جریان افت ولتاژ دو سر مقاومت R_C را نسبت به حالت فرضی اولیه کم‌تر می‌کند و ولتاژ نقطه C را دوباره بالا می‌برد.

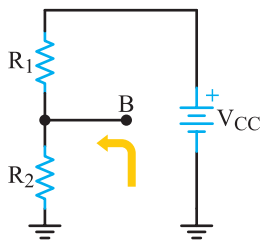
بنابراین با توجه به شکل ۲-۶ مقاومت معادل تونن (R_{th}) از موازی شدن دو مقاومت R_1 و R_2 به دست می‌آید.



شکل ۲-۶ مدار معادل برای محاسبه R_{th}

$$R_{th} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

با قرار دادن باتری V_{CC} در مدار مطابق شکل ۲-۷ ولتاژ معادل تونن (V_{th}) را به دست می‌آوریم.

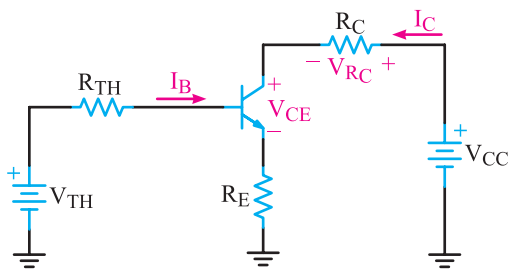


شکل ۲-۷ مدار معادل برای دست آوردن V_{th}

مقدار ولتاژ معادل تونن، افت ولتاژ دوسر مقاومت R_2 است، پس می‌توانیم بنویسیم.

$$V_{th} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

با توجه به محاسبات انجام شده، مدار معادل تونن بایاس سرخود به صورت مدار شکل ۲-۸ به دست می‌آید.



شکل ۲-۸ مدار تغذیه سرخود با جایگزینی مدار معادل تونن در ورودی

در عمل معمولاً مقدار I_C را ۵ تا ۱۰ برابر I_B در نظر می‌گیرند. در این شرایط با توجه به کوچک بودن I_B در مقایسه با I_C ، عملاً (با تقریب قابل قبول) می‌توان معادله V_B را از تقسیم ولتاژ V_{CC} بین دو مقاومت R_1 و R_2 به دست آورد.

$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

می‌دانیم V_E برابر است با

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

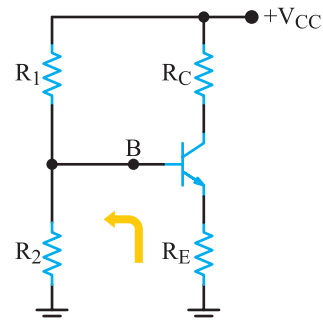
از طرفی جریانی که از پایه امیتر ترانزیستور خارج می‌شود

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

چون I_B خیلی کوچک‌تر از I_C است با تقریب قابل قبول می‌توان نوشت $I_C = I_E$. با توجه به کم بودن جریان I_B در مقایسه با I_E و I_C ملاحظه می‌شود که مقدار جریان I_C بیش‌تر به V_{CC} و مقاومت‌های مدار وابسته است و تقریباً به β ی ترانزیستور وابستگی ندارد. در صورتی که شرایط تقریب قابل قبول حاکم باشد، با تعویض ترانزیستور تغییرات جریان I_C و V_{CE} قابل توجه نخواهد بود و به راحتی می‌توان از این تغییرات صرف‌نظر کرد.

۲-۲ مدار معادل تونن بایاس سرخود

برای تشریح نقش R_1 و R_2 و بررسی نحوه ایجاد پایداری حرارتی در مدار، ابتدا معادل تونن ورودی مدار را با توجه به تقریب‌های قابل قبول از نقطه B در مدار شکل ۲-۵ به دست می‌آوریم.



شکل ۲-۵ مدار بایاس سرخود

در این حالت مجموعه ترانزیستور، مقاومت R_E و مقاومت

R_C به عنوان بار فرض می‌شود.

در مدار معادل تونن، باتری مربوط به ولتاژ معادل تونن (V_{th})، بایاس دیود بیس امیتر را بر عهده دارد.

R_E جهت پایداری حرارتی در مدار به کار می‌رود که در مورد نقش آن توضیح داده خواهد شد. برای افزایش پایداری حرارتی در مدار فوق، باید مقاومت R_E در مقایسه با مقدار R_{th} نسبتاً زیاد انتخاب شود. از طرفی افزایش مقدار مقاومت R_E بهره‌ر ولتاژ مدار را به شدت پایین می‌آورد. هم‌چنین کاهش مقدار مقاومت R_{th} ، امپدانس ورودی مدار را کاهش می‌دهد. کاهش امپدانس ورودی موجب اتلاف زیاد توان DC در مدار و پایین آمدن بازده آن می‌شود.

بنابراین در تعیین مقدار R_E باید یک حد متعادلی رعایت شود. برای محاسبه مقدار R_E می‌توانیم بنویسیم:

$$V_E = V_B - V_{BE} = I_E R_E$$

$$R_E = \frac{V_B - V_{BE}}{I_E}$$

افت ولتاژ V_E در مقایسه با تغییرات احتمالی V_{BE} باید آن قدر بزرگ باشد که نتواند I_E را تحت تأثیر نوسانات ناخواسته V_{BE} در اثر حرارت قرار دهد.

از سه نوع بایاس گفته شده، تغذیه سرخود مناسب‌ترین نوع آن است، زیرا با انتخاب مناسب مقادیر مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_E می‌توان به درجه پایداری حرارتی مورد نیاز رسید.

نکته مهم: محاسبات دقیق مربوط به R_E ، R_C ، R_1 و R_2 با در نظر گرفتن I_B قابل اجرا است. یادآور می‌شود که محاسبات تقریبی ذکر شده که بر مبنای حذف I_B صورت گرفته است، در سطح هنرستان قابل قبول و از نظر عملی قابل اجرا می‌باشد.

۲-۳- تأثیر تغییر مقاومت‌های بایاس روی ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور

در این مرحله، تأثیر تغییر مقاومت‌های بایاس را روی ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۱-۲-۳- تغییرات R_{B1} : با افزایش مقدار R_{B1} افت ولتاژ دوسر R_{B2} یعنی V_B کاهش می‌یابد. با استفاده از رابطه V_B

چگونگی کاهش ولتاژ V_B اثبات می‌شود.

$$V_B = \frac{V_{CC} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

اگر R_{B1} افزایش یابد، مخرج کسر زیاد می‌شود و V_B را کم می‌کند.

کاهش V_B سبب کاهش I_B و به تبع آن I_E و I_C و در نهایت کاهش V_E می‌شود. رابطه I_E و V_E نیز این تغییرات را نشان می‌دهد.

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

با کاهش V_B ، V_E کاهش می‌یابد.

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

کاهش V_E سبب کاهش I_E و I_C می‌شود.

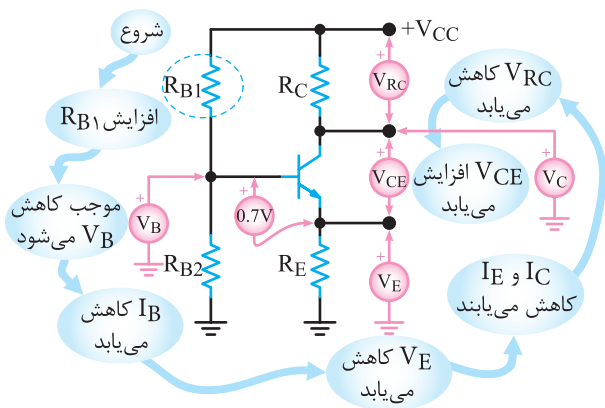
با کاهش I_C ، افت ولتاژ در دوسر مقاومت R_C کم می‌شود و ولتاژ کلکتور ترانزیستور را افزایش می‌دهد.

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

با کاهش $R_C I_C$ مقدار V_C زیاد می‌شود.

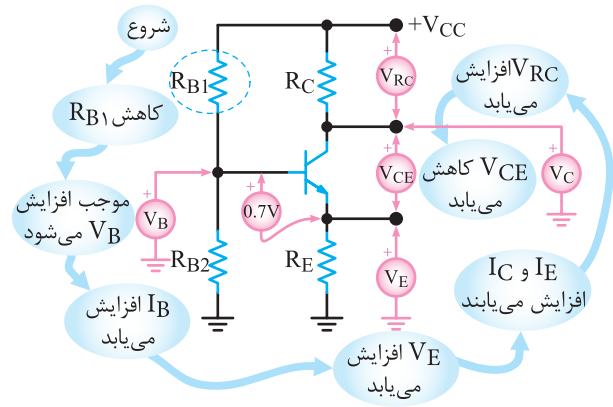
کاهش I_C سبب کاهش افت پتانسیل $R_C I_C$ می‌شود.

مراحل چگونگی افزایش R_{B1} روی شکل ۹-۲ نشان داده شده است.



شکل ۹-۲ اثر افزایش R_{B1} روی نقطه کار

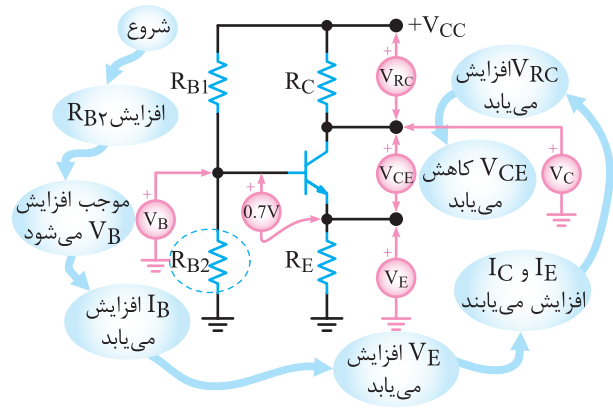
در صورتی که R_{B1} کاهش یابد روند این تغییرات به طور معکوس انجام می شود. مراحل تأثیر کاهش R_{B1} روی نقطه کار ترانزیستور در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است.



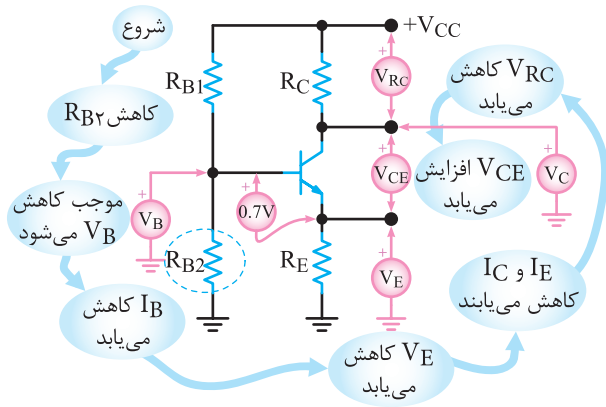
شکل ۲-۱۰ اثر کاهش R_{B1} روی نقطه کار ترانزیستور

پتانسیل دوسر آن یعنی V_B افزایش می یابد. افزایش V_B سبب افزایش V_E و I_B می شود. افزایش V_E ، I_E و I_C را زیاد می کند. با افزایش I_C ، افت پتانسیل دوسر مقاومت R_C افزایش می یابد و پتانسیل کلکتور ترانزیستور را کاهش می دهد. با کاهش R_{B2} روند تغییرات گفته شده معکوس می شود.

مراحل تأثیر تغییر R_{B2} روی نقطه کار ترانزیستور در شکل های ۲-۱۱ و ۲-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۱ اثر افزایش R_{B2} روی نقطه کار



شکل ۲-۱۲ اثر کاهش R_{B2} روی نقطه کار

۲-۳-۳ تغییرات R_C : افزایش مقدار R_C بر V_B

اثر نمی گذارد، زیرا طبق معادله $V_B = \frac{V_{CC}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$ مقدار V_B به R_C بستگی ندارد.

چون V_B تغییر نمی کند، در مقدار V_E نیز تغییری حاصل نمی شود. در نتیجه مقدار جریان I_E و همین طور مقدار I_C تقریباً تغییر نمی کند. چون R_C زیاد شده است، افت پتانسیل دوسر آن یعنی V_{CE} کاهش می یابد و موجب کاهش V_C می شود. زیرا

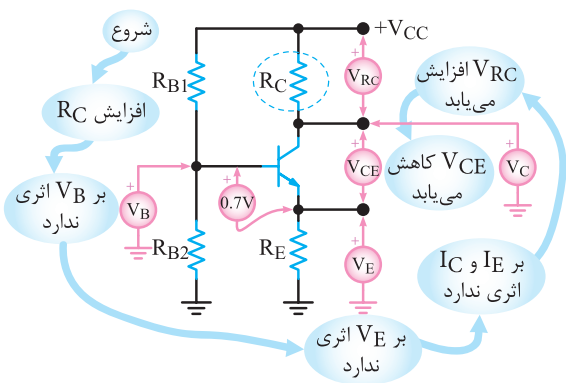
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

با توجه به تقریب های در نظر گرفته شده تقریباً ثابت است

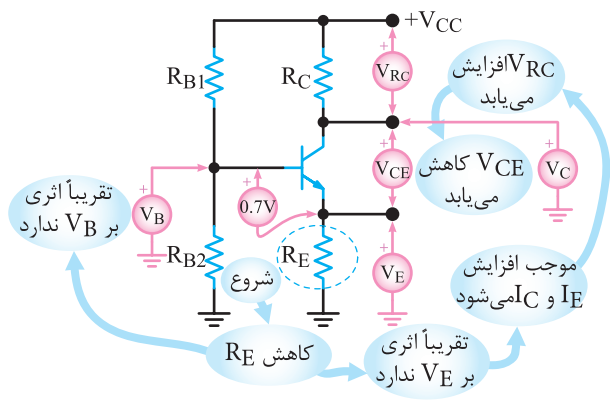
افزایش R_C موجب افزایش $R_C I_C$ می شود ثابت است

V_C کاهش می یابد

در شکل ۲-۱۳ روند تأثیر افزایش R_C روی نقطه کار ترانزیستور نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۳ اثر افزایش R_C روی نقطه کار ترانزیستور

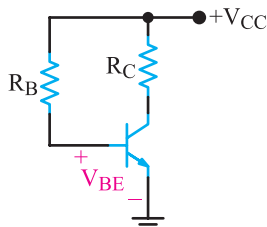


شکل ۲-۱۶- تأثیر کاهش R_E بر نقطه کار ترانزیستور

۲-۴- الگوی پرسش صحیح یا غلط

۲-۴-۱- در شکل ۲-۱۷، $I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$ است.

صحيح □ غلط □

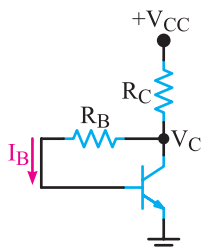


شکل ۲-۱۷

کامل کردنی

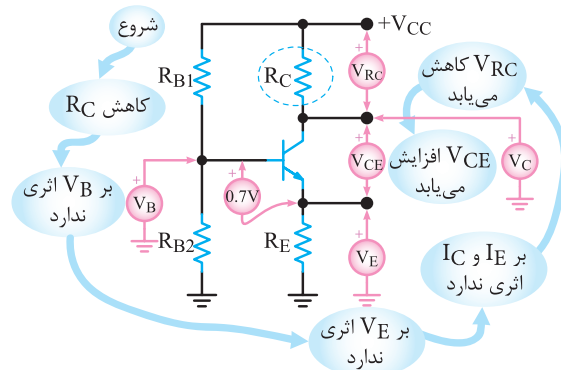
۲-۴-۲- در مدار شکل ۲-۱۸ اگر جریان I_B افزایش

یابد، V_C می یابد.



شکل ۲-۱۸

در صورتی که R_C کاهش یابد، افت پتانسیل دوسر این مقاومت کاهش می یابد و سبب افزایش V_C می شود. روند تأثیر کاهش R_C را در روی نقطه کار ترانزیستور در شکل ۲-۱۴ مشاهده می کنید.

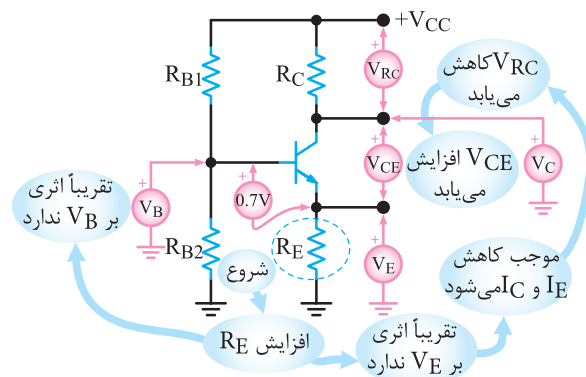


شکل ۲-۱۴- اثر کاهش R_C روی نقطه کار ترانزیستور

۲-۳-۴- تغییرات R_E : با توجه به معادلات

$$V_B = \frac{V_{CC} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \text{ و } V_E = V_B - V_{BE} \text{ و تقریب های در نظر گرفته}$$

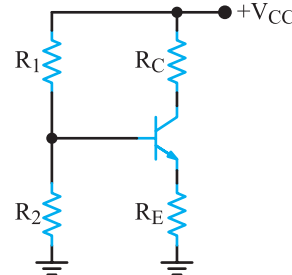
شده، مشاهده می شود که این دو معادله به R_E بستگی ندارند. لذا تغییر R_E تقریباً تأثیری بر V_B و V_E ندارد و V_B و V_E تقریباً ثابت خواهند ماند. چون V_E تقریباً ثابت می ماند، با افزایش R_E مقدار I_E کاهش و با کاهش R_E مقدار I_E افزایش می یابد. افزایش یا کاهش I_E سبب افزایش یا کاهش I_C می شود. افت ولتاژ دوسر مقاومت R_C با افزایش I_C زیاد و با کاهش I_C کم می شود و ولتاژ کلکتور ترانزیستور را کاهش یا افزایش می دهد. روند تأثیر تغییرات R_E روی نقطه کار ترانزیستور در شکل های ۲-۱۵ و ۲-۱۶ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۵- تأثیر افزایش R_E بر نقطه کار ترانزیستور

چهارگزینه‌ای

۲-۴-۳ در تقویت‌کننده شکل ۲-۱۹ اگر R_C را زیاد کنیم و سایر کمیت‌های مدار ثابت باشند چه تغییری در مدار رخ می‌دهد؟



شکل ۲-۱۹

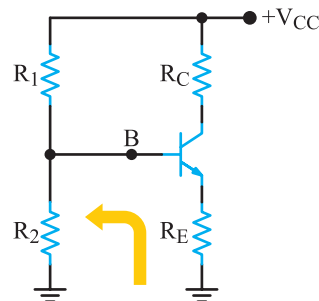
- ۱- مقدار I_C زیاد می‌شود.
- ۲- V_C زیاد می‌شود.
- ۳- V_E کم می‌شود.
- ۴- V_{CE} کم می‌شود.

تشریحی

۲-۴-۴ در مدار بایاس اتوماتیک اگر V_C (ولتاژ کلکتور) در اثر افزایش I_C ، کاهش یابد چگونه مدار به طور خودکار ولتاژ نقطه C (کلکتور) را تثبیت می‌کند؟ شرح دهید.

۲-۴-۵ مدار معادل تونن تقویت‌کننده بایاس سرخود

شکل ۲-۲۰ را از نقطه B رسم کنید و نحوه محاسبه V_{th} و R_{th} را شرح دهید.

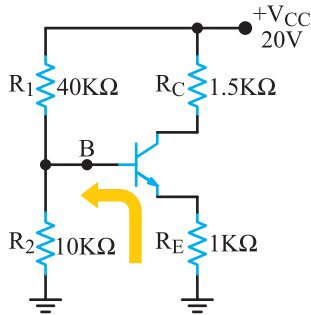


شکل ۲-۲۰

۲-۴-۶ تأثیر کاهش R_E را بر روی ولتاژ پایه‌ها و جریان پایه‌های یک مدار بایاس سرخود (با فرض ثابت بودن سایر کمیت‌ها) شرح دهید.

محاسباتی

۲-۴-۷ V_{th} و R_{th} مدار شکل ۲-۲۱ را از نقطه B محاسبه کنید.



شکل ۲-۲۱

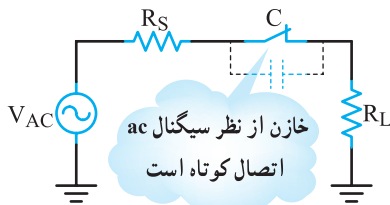
۲-۵ رفتار قطعات مدار تقویت‌کننده در سیگنال AC و DC

برای این که ترانزیستور به عنوان تقویت‌کننده عمل کند، پس از آن که ترانزیستور را در نقطه کار مناسب (Q) بایاس نمودیم، یک سیگنال ac با دامنه کم (Small Signal) را به ورودی ترانزیستور اعمال می‌کنیم. سیگنال ac با توجه به تغییراتی که دارد روی نقطه کار DC ترانزیستور اثر می‌گذارد. این تغییرات نقطه کار باعث تغییرات زیاد در جریان I_C می‌شود و در نهایت سیگنال را در خروجی ترانزیستور تقویت می‌کند. نحوه تقویت سیگنال ac در مبحث ۱-۱ توضیح داده شده است.

در این مبحث به بررسی رفتار قطعات مدار تقویت‌کننده در سیگنال AC و DC می‌پردازیم.

۲-۵-۱ عکس‌العمل خازن در مدار: با توجه

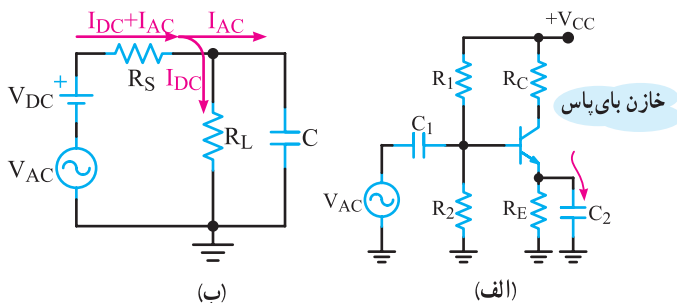
به رابطه مقاومت خازنی یعنی $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ، مشاهده می‌شود در جریان DC چون $f = 0$ است مقدار X_C برابر با بی‌نهایت می‌شود و خازن به صورت مدار باز عمل می‌کند. رابطه نشان می‌دهد که مقاومت خازنی با فرکانس (f) و ظرفیت خازن (C) نسبت عکس دارد. لذا در هنگام تزریق سیگنال ac به مدار، اگر فرکانس زیاد باشد با انتخاب ظرفیت مناسب، مقدار X_C بسیار کم می‌شود، به طوری که در حالتی می‌توان آن را تقریباً



شکل ۲-۲۴- معادل خازن در سیگنال AC

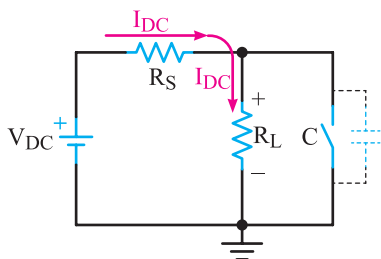
برای هنرجویان علاقه‌مند: تحقیق کنید که برای پذیرفتن حالت اتصال کوتاه خازن در جریان متناوب، چه رابطه‌ای باید بین مقادیر R_S ، R_L و X_C برقرار باشد.

ب) خازن بای پاس: شکل ۲-۲۵- الف و ب خازن بای پاس را در یک تقویت کننده بایاس سرخود و یک مدار ساده نشان می دهد.



شکل ۲-۲۵- مدار ساده با خازن بای پاس

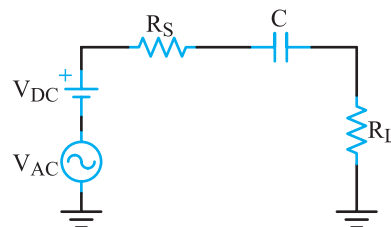
بر خلاف خازن کوپلاژ که با بار سری است، خازن بای پاس به صورت موازی با بار قرار می گیرد. نقش خازن در این مدار ساده، جلوگیری از عبور سیگنال متناوب از R_L و هدایت آن از طریق خازن به زمین است. در این مدار نیز از نظر DC خازن مانند کلید باز عمل می کند. بنابراین ولتاژ DC دوسر R_L ثابت باقی می ماند. شکل ۲-۲۶ رفتار خازن را در مقابل سیگنال DC نشان می دهد.



شکل ۲-۲۶- خازن بای پاس در مقابل سیگنال DC

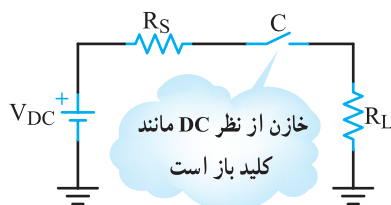
اتصال کوتاه در نظر گرفت. با توجه به این موضوع، خازن در مدارهای تقویت کننده به دو صورت کوپلاژ و بای پاس مورد استفاده قرار می گیرد.

الف) خازن کوپلاژ: خازن کوپلاژ، خازنی است که سیگنال ac را از مداری به مدار دیگر منتقل می کند و مانع عبور سیگنال DC می شود. شکل ۲-۲۲ خازن کوپلاژ را در مداری ساده نشان می دهد. این خازن با مولد سیگنال متناوب و بار R_L به صورت سری قرار گرفته است.



شکل ۲-۲۲- مدار ساده با خازن کوپلاژ

می دانیم خازن در سیگنال DC به صورت مدار باز عمل می کند. در فرکانس های پایین نیز خازن تقریباً رفتاری مشابه مدار باز دارد و نمی تواند تمام سیگنال متناوب را به بار انتقال دهد. شکل ۲-۲۳ رفتار خازن را در برابر سیگنال DC نشان می دهد.

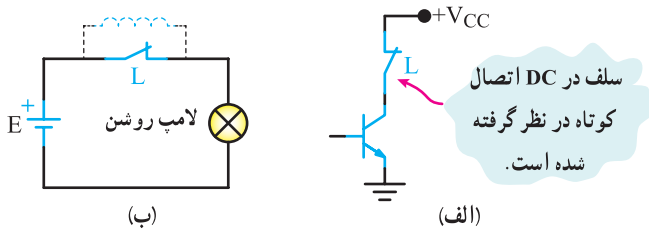


شکل ۲-۲۳- خازن در برابر سیگنال DC

برای آن که خازن کوپلاژ بتواند قسمت اعظم سیگنال متناوب (ac) را به بار R_L انتقال دهد، باید در پایین ترین فرکانس سیگنال ac تقریباً به صورت اتصال کوتاه عمل کند. بدیهی است هر قدر فرکانس بالاتر می رود، مقدار مقاومت خازنی کم تر و خازن به حالت اتصال کوتاه کامل نزدیک تر می شود.

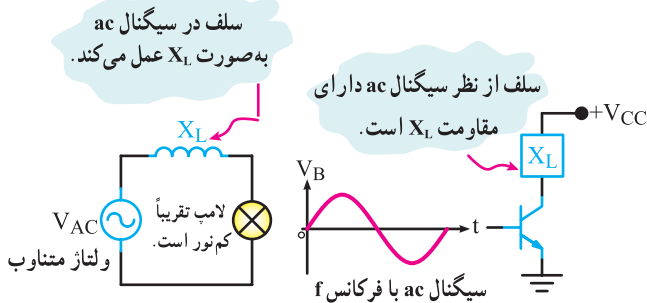
شکل ۲-۲۴ خازن را در مقابل سیگنال ac به صورت کلید بسته (تقریباً اتصال کوتاه) نشان می دهد.

در جریان مستقیم (DC) سلف به صورت اتصال کوتاه عمل می‌کند و مدار معادل آن به صورت شکل ۲-۲۹ درمی‌آید.



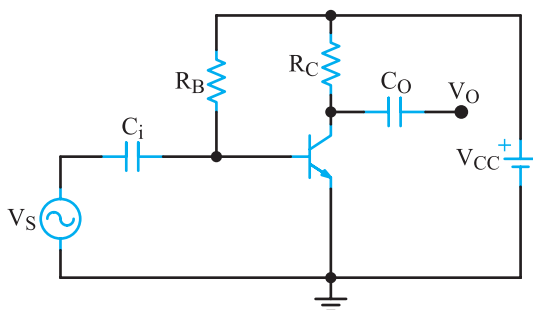
شکل ۲-۲۹- معادل سلف در DC

در سیگنال متناوب سلف دارای مقاومت سلفی X_L است. شکل ۲-۳۰ سلف را به صورت مقاومت معادل در سیگنال ac نشان می‌دهد.



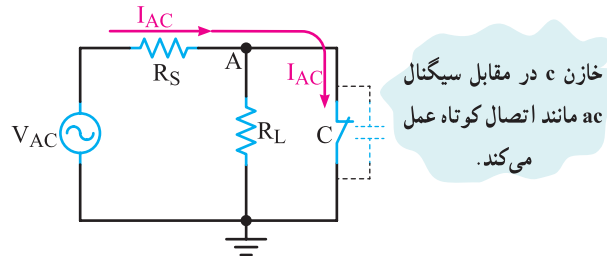
شکل ۲-۳۰- معادل سلف در سیگنال ac

۲-۵-۳- عکس‌العمل باتری در مدار: اگر باتری را ایده‌آل در نظر بگیریم و از مقاومت داخلی آن صرف‌نظر کنیم، از نظر DC به عنوان یک منبع ولتاژ ایده‌آل، با ولتاژی برابر با V ولت DC، مدار را تغذیه می‌کند. از طرفی می‌دانیم در داخل باتری یک خازن با ظرفیت بالا وجود دارد، این خازن در سیگنال ac به صورت اتصال کوتاه درمی‌آید و اصطلاحاً می‌گویند باتری «زمین ac» (ac Ground) شده است. به شکل ۲-۳۱ توجه کنید.



شکل ۲-۳۱- مدار تقویت‌کننده

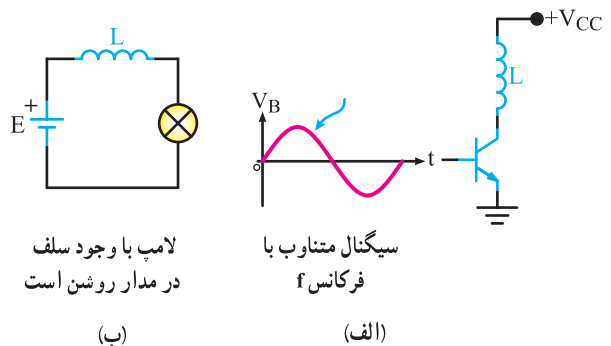
در سیگنال ac، ظرفیت خازن C باید طوری محاسبه شود که در حداقل فرکانس کار به صورت اتصال کوتاه عمل کند، در نتیجه نقطه A از نظر سیگنال ac مطابق شکل ۲-۲۷ به زمین اتصال کوتاه می‌شود. در این حالت گوییم برای نقطه A زمین ac (ac Ground) ایجاد شده است.



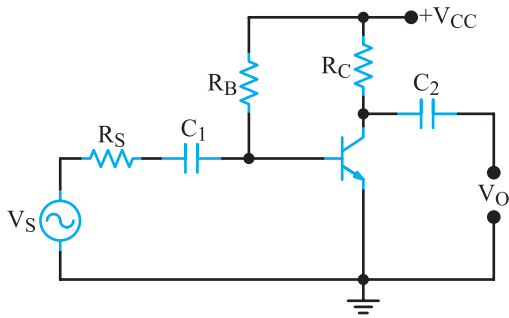
شکل ۲-۲۷- خازن C در مقابل ac مانند اتصال کوتاه عمل می‌کند.

۲-۵-۲- عکس‌العمل سیم‌پیچ در مدار: رابطه مقاومت القایی (مقاومت سیم‌پیچ - Reactance) با فرکانس به صورت $X_L = 2\pi fL$ است. اگر از مقاومت اهمی سیم به کار برده شده برای سیم‌پیچ صرف‌نظر کنیم، مقاومت سیم‌پیچ در مقابل سیگنال DC ($f=0$) برابر صفر است یعنی سیم‌پیچ در مقابل سیگنال DC به صورت اتصال کوتاه عمل می‌کند. از طرفی سیم‌پیچ در مقابل سیگنال متناوب (ac) با فرکانس f ، دارای مقاومتی برابر با X_L است. با توجه به رابطه X_L هر قدر فرکانس سیگنال متناوب بیشتر باشد، X_L نیز بزرگ‌تر می‌شود. شکل ۲-۲۸ الف، بخشی از یک تقویت‌کننده را نشان می‌دهد که سلف با کلکتور ترانزیستور سری شده است.

شکل ۲-۲۸ ب یک لامپ را نشان می‌دهد که با سلف به صورت سری قرار دارد و در حالت DC روشن است.



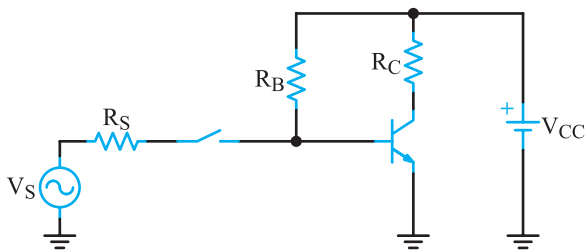
شکل ۲-۲۸



شکل ۲-۳۴

پاسخ: الف) مدار ساده معادل DC:

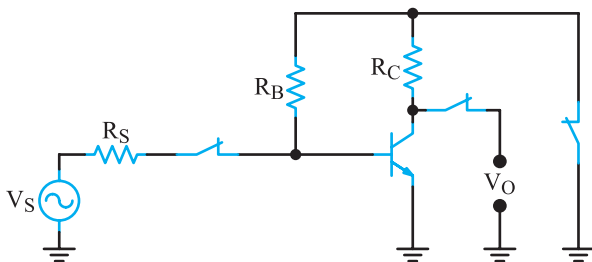
در سیگنال DC، خازن‌های مدار به صورت کلید باز هستند و باتری در جای خود قرار دارد. لذا مطابق شکل ۲-۳۵ منبع سیگنال متناوب از مدار قطع می‌گردد.



شکل ۲-۳۵ مدار معادل DC مثال ۲-۱

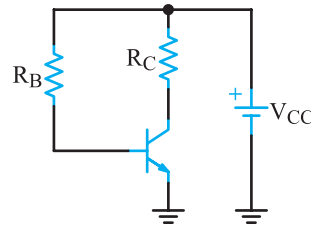
ب) مدار ساده معادل ac:

در سیگنال متناوب خازن‌ها در مدار تقریباً به صورت اتصال کوتاه هستند و باتری نیز به دلیل داشتن خازن داخلی به زمین الکتریکی اتصال دارد. شکل ۲-۳۶ مدار معادل ac ساده را نشان می‌دهد.



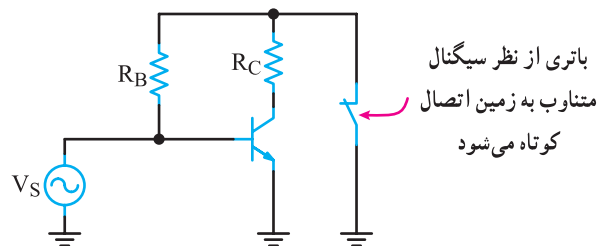
شکل ۲-۳۶ مدار ساده معادل ac مثال ۲-۱

در سیگنال DC، خازن‌های مدار به صورت باز عمل می‌کنند و باتری تغذیه DC مدار بیس و کلکتور ترانزیستور (نقطه کار) را به عهده دارد. شکل ۲-۳۲ معادل DC مدار را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۲ در شرایط DC خازن‌های مدار اتصال باز هستند.

در سیگنال متناوب در صورت برقراری شرایط (فرکانس مناسب) خازن‌ها تقریباً اتصال کوتاه می‌شوند. باتری نیز به دلیل داشتن خازن داخلی تقریباً اتصال کوتاه خواهد شد. شکل ۲-۳۳ مدار معادل تقویت کننده را در سیگنال متناوب نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳۳ مدار معادل در سیگنال متناوب

پس باید برای تعیین مدل ساده DC و ac یک مدار به نکات زیر توجه کنید:

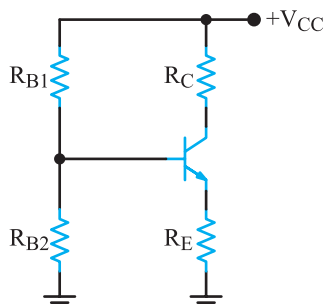
- خازن در مدار DC به صورت باز و در مدار ac در صورت برقرار بودن شرایط، اتصال کوتاه در نظر گرفته می‌شود.
- سلف در مدار DC به صورت اتصال کوتاه و در مدار ac دارای مقاومت سلفی X_L است.
- باتری در شرایط DC تغییری نمی‌کند، ولی در شرایط ac به صورت اتصال کوتاه دیده می‌شود.

مثال ۲-۱-۲ در شکل ۲-۳۴ مطلوب است:

الف) رسم مدار معادل DC (ساده)،

ب) رسم مدار معادل ac (ساده)

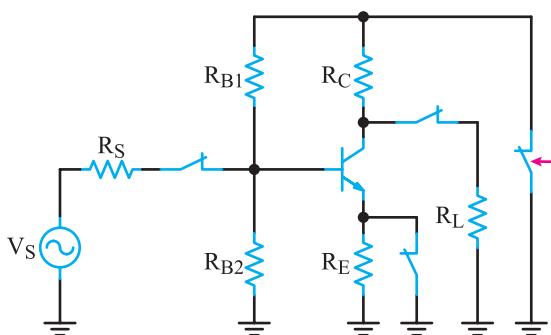
همان طور که مشاهده می‌شود در مدار معادل DC، مقاومت بار، منبع سیگنال ac و R_S عملاً از مدار حذف می‌شوند و مدار به صورت شکل ۲-۴ در می‌آید.



شکل ۲-۴ مدار ساده معادل DC مثال ۲-۲

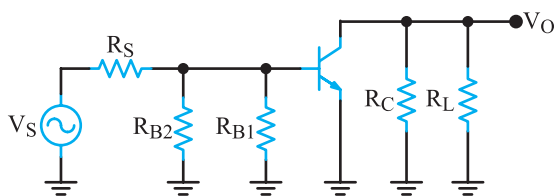
ب) مدار ساده معادل ac :

در مدار معادل ac ساده، خازن‌ها تقریباً به صورت اتصال کوتاه هستند و باتری نیز از طریق خازن داخلی باتری به زمین اتصال کوتاه می‌شود. مدار شکل ۲-۴۱ مدار ساده معادل ac را نشان می‌دهد.



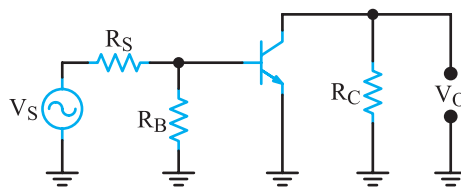
شکل ۲-۴۱ مدار معادل ac شکل ۲-۳۸

معادل ac مدار را می‌توان به صورت شکل ۲-۴۲ نیز ترسیم نمود.



شکل ۲-۴۲ مدار ساده معادل ac مثال ۲-۲

با توجه به شکل ۲-۳۶ مشاهده می‌شود که انتهای بالای R_B و R_C از طریق ظرفیت خازنی داخلی باتری به زمین متصل شده‌اند. لذا می‌توان مدار را به صورت شکل ۲-۳۷ ترسیم نمود.

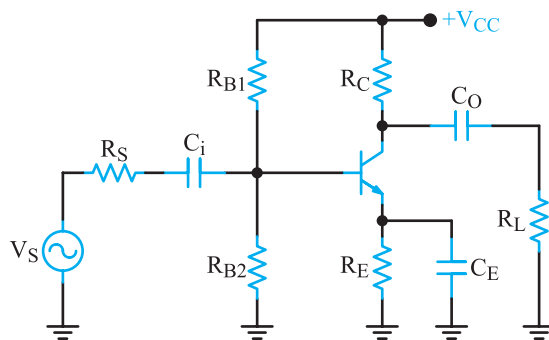


شکل ۲-۳۷ مدار ساده معادل ac مثال ۲-۱

مثال ۲-۲ با توجه به شکل ۲-۳۸ مطلوب است :

الف) رسم مدار ساده معادل DC

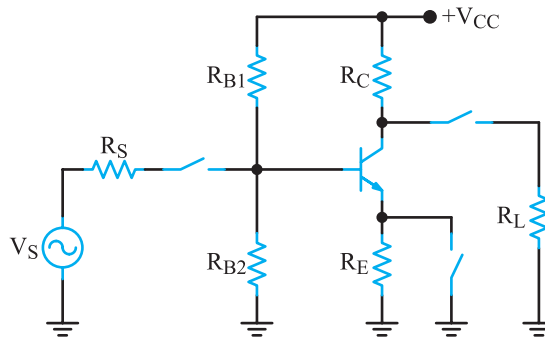
ب) رسم مدار ساده معادل ac



شکل ۲-۳۸

پاسخ : الف - مدار معادل ساده DC :

در مدار معادل DC، خازن‌ها باز هستند و باتری تغییر نمی‌کند و در جای خود قرار دارد. شکل ۲-۳۹ مدار معادل DC شکل ۲-۳۸ را نشان می‌دهد.

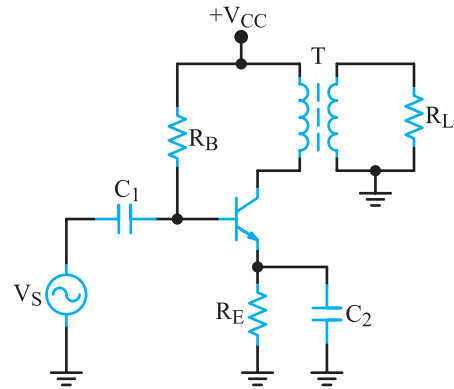


شکل ۲-۳۹ مدار ساده معادل DC مثال ۲-۲

مثال ۲-۳- با توجه به شکل ۲-۴۳ مطلوب است :

الف) رسم مدار ساده معادل DC

ب) رسم مدار ساده معادل ac

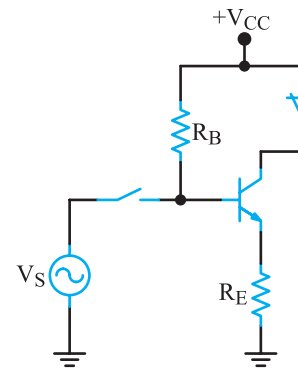


شکل ۲-۴۳

پاسخ : الف) مدار معادل DC :

در مدار معادل DC مطابق شکل ۲-۴۴ خازن‌های مدار

باز و سلف تقریباً اتصال کوتاه می‌شود.

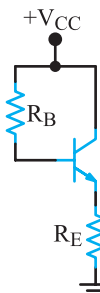


شکل ۲-۴۴ مدار معادل DC

با توجه به مدار معادل DC به دست آمده، منبع سیگنال V_S

و ثانویه ترانسفورماتور T و مقاومت بار R_L از مدار قطع می‌شوند

و مدار به صورت شکل ۲-۴۵ درمی‌آید.



شکل ۲-۴۵ مدار معادل DC

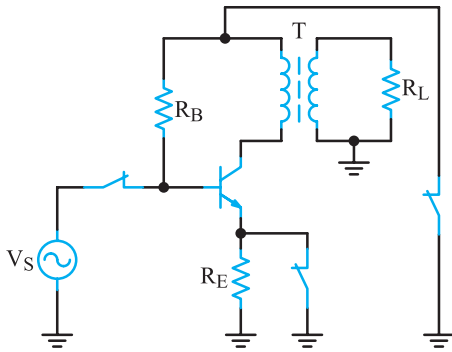
ب) مدار معادل ac :

در سیگنال ac خازن‌های مدار اتصال کوتاه می‌شوند و

سلف مقاومتی برابر با X_L دارد. باتری نیز از طریق خازن داخلی

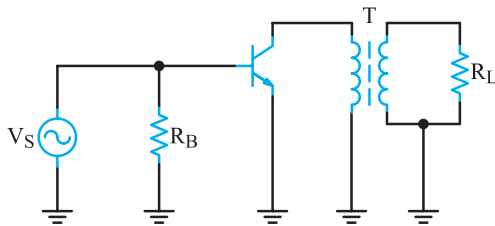
خود تقریباً به زمین اتصال کوتاه است. شکل ۲-۴۶ مدار معادل

ac را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴۶ مدار معادل ac

مدار را می‌توان به صورت شکل ۲-۴۷ نیز نشان داد.



شکل ۲-۴۷ معادل ساده ac

۲-۶ الگوی پرسش

کامل کردنی

۲-۶-۱ خازن در مقابل سیگنال DC دارای مقاومت

..... و سلف ایده‌آل دارای مقاومت است.

صحیح یا غلط

۲-۶-۲ خازن‌های بای‌پاس در مقابل سیگنال DC

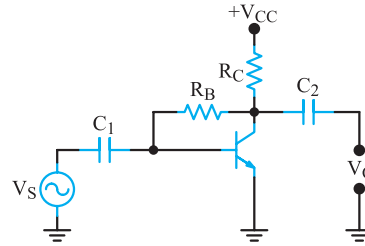
مانند یک کلید بسته و در مقابل سیگنال ac مانند یک کلید باز

عمل می‌کنند.

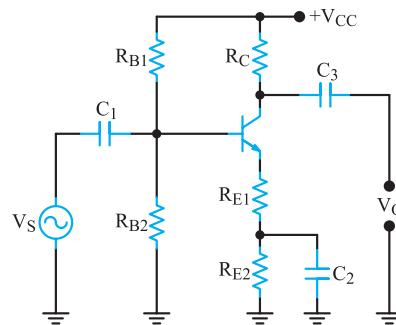
□ صحیح □ غلط

ترسیمی و تشریحی

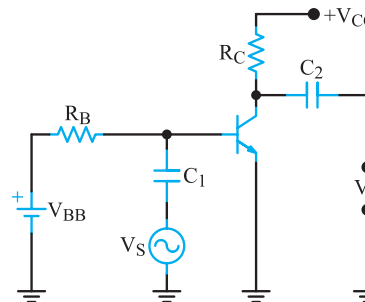
۲-۶-۳- معادل DC و ac هر یک از مدارهای شکل ۲-۴۸ و ۲-۴۹ و ۲-۵۰ و ۲-۵۱ را رسم کنید و نوع بایاس DC را نام ببرید.



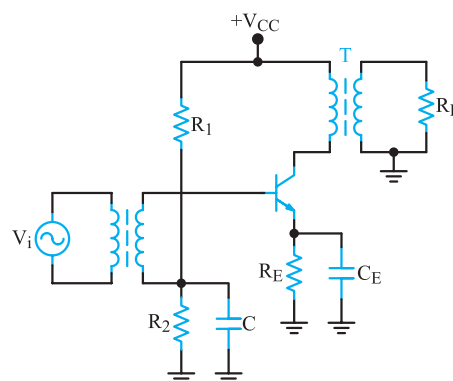
شکل ۲-۴۸



شکل ۲-۴۹



شکل ۲-۵۰



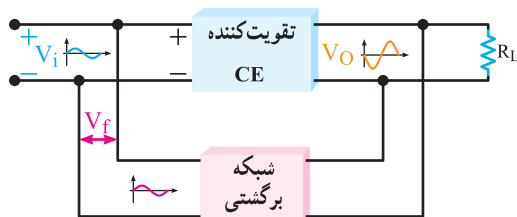
شکل ۲-۵۱

۲-۷- نقش فیدبک در تقویت کننده ترانزیستوری

وقتی تقویت کننده‌ای را در نقطه کار معینی طراحی می‌کنیم باید نقطه کار، ضریب تقویت، مقاومت ورودی و مقاومت خروجی و سایر مشخصات آن ثابت بماند و تغییر نکند. اگر مقدار هر یک از مقاومت‌های مدار یا مشخصات ترانزیستور تغییر کند یا ترانزیستور تعویض شود، چون مشخصات قطعه تغییر یافته با قطعه قبلی انطباق کامل ندارد، ممکن است نقطه کار، مشخصات ورودی و خروجی مدار را تغییر دهد. هم چنین عوامل دیگری نظیر حرارت و عوامل کنترل نشده محیط بر نقطه کار تأثیر می‌گذارند و مشخصات ورودی و خروجی مدار را تغییر می‌دهند که این تغییرات به طور طبیعی نامطلوب است. برای ثابت ماندن مشخصات تقویت کننده و تنظیم برخی مشخصات از عاملی به نام فیدبک (Feed back) یا بازخورد یا پس‌خوران استفاده می‌شود.

۲-۷-۱- تعریف فیدبک: فیدبک عبارت از انتقال

قسمتی از انرژی خروجی (ولتاژ یا جریان) به ورودی مدار است. به عبارت دیگر اگر قسمتی از انرژی خروجی مدار به ورودی آن انتقال داده شود، فیدبک ایجاد می‌شود. بلوک دیاگرام تقویت کننده با مدار فیدبک به صورت شکل ۲-۵۲ است.



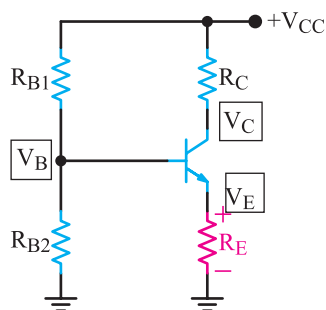
شکل ۲-۵۲- بلوک دیاگرام تقویت کننده با فیدبک

در شکل ۲-۵۲ شبکه فیدبک با خروجی مدار موازی شده است و کسری از ولتاژ خروجی مدار را به ورودی تقویت کننده برمی‌گرداند. ولتاژی که به ورودی تقویت کننده برمی‌گردد در هر لحظه با ولتاژ ورودی تقویت کننده جمع جبری می‌شود.

۲-۷-۲- انواع فیدبک: در نحوه انتقال انرژی از

خروجی تقویت کننده به ورودی آن دو نوع تقسیم بندی کلی ایجاد می‌شود.

الف- فیدبک مثبت: اگر ولتاژ برگشتی از خروجی با



شکل ۲-۵۵- تقویت کننده با فیدبک منفی توسط R_E

ولتاژ دوسر R_E همان ولتاژ فیدبک (V_f) است. وجود مقاومت R_E امپدانس ورودی تقویت کننده را افزایش می دهد و سبب کاهش بهره ولتاژ مدار می شود.

۲-۷-۴- چگونگی تثبیت نقطه کار توسط R_E :

می دانیم اگر نقطه کار تقویت کننده ترانزیستوری تغییر کند، منجر به تغییر سایر مشخصات تقویت کننده نیز می شود. افزایش حرارت و افزایش جریان نشستی از مواردی است که تغییر آن باعث جابه جایی نقطه کار می شود. به عنوان مثال اگر جریان نشستی زیاد شود، جریان I_C افزایش می یابد. از طرفی می دانیم I_C تقریباً برابر I_E است. لذا افزایش I_C ، جریان I_E را نیز زیاد می کند. با زیاد شدن I_E ولتاژ

دوسر R_E نیز زیاد می شود. زیرا داریم $V_E = R_E I_E$

از سوی دیگر مقدار V_{BE} از رابطه $V_{BE} = V_B - V_E$

به دست می آید.

مقدار V_B تقریباً ثابت است و از رابطه زیر به دست

$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

می آید:

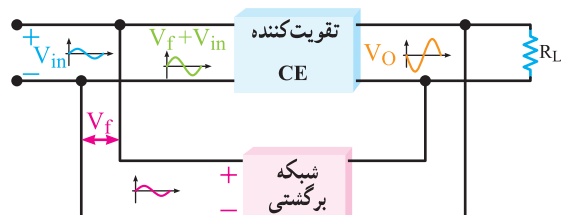
در رابطه V_{BE} ، چون V_B ثابت است و V_E زیاد شده است

بنابراین V_{BE} کم می شود. کم شدن V_{BE} ، مقدار I_B را کاهش می دهد و هدایت ترانزیستور را کم می کند. کم شدن I_B در نهایت موجب کاهش I_C و حرارت و جریان نشستی می شود.

به این ترتیب نقطه کار ترانزیستور به نقطه تعریف شده

اولیه خود برمی گردد. این تغییرات را می توان به صورت زیر نشان داد.

ولتاژ ورودی تقویت کننده کاملاً هم فاز باشد، فیدبک مثبت رخ می دهد. در این حالت چون دو ولتاژ با هم هم فاز است، ولتاژ ورودی تقویت کننده افزایش می یابد. افزایش ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی تقویت کننده را نیز افزایش می دهد، این نوع فیدبک را که منجر به افزایش دامنه ولتاژ خروجی تقویت کننده می شود، فیدبک مثبت می گویند. شکل ۲-۵۳ بلوک دیاگرام فیدبک مثبت را نشان می دهد.



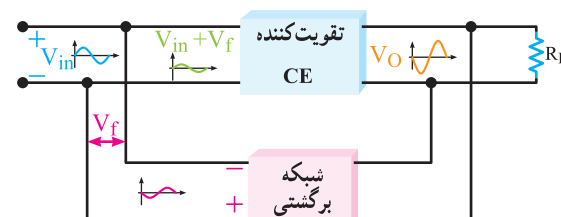
شکل ۲-۵۳- بلوک دیاگرام تقویت کننده با فیدبک مثبت

فیدبک مثبت مدار تقویت کننده را ناپایدار می کند و در

صورت وجود شرایط، آن را به نوسان می اندازد.

ب- فیدبک منفی: اگر ولتاژ برگشتی مدار با ولتاژ

ورودی تقویت کننده هم فاز نباشد و با آن 180° اختلاف فاز داشته باشد فیدبک منفی به وجود می آید. در این حالت ولتاژ فیدبک، به دلیل 180° اختلاف فاز، ولتاژ ورودی تقویت کننده را کاهش می دهد و باعث کم شدن ولتاژ خروجی می شود. این نوع فیدبک را فیدبک منفی می گویند. برای پایداری تقویت کننده ها از فیدبک منفی استفاده می کنند. شکل ۲-۵۴ بلوک دیاگرام تقویت کننده با فیدبک منفی را نشان می دهد.



شکل ۲-۵۴- بلوک دیاگرام تقویت کننده با فیدبک منفی

۲-۷-۳- نقش R_E به عنوان عامل فیدبک منفی در:

شکل ۲-۵۵ یک تقویت کننده با فیدبک منفی نشان داده شده است.

۱-۸-۲- تعیین مقدار ظرفیت خازن بای پاس :

آن که خازن بای پاس بتواند در مقابل سیگنال ac به صورت اتصال کوتاه عمل کند، باید ظرفیت آن را بزرگ انتخاب کنند. برای تعیین مقدار ظرفیت خازن ابتدا رابطه مقدار مقاومت آن را در مقابل ac (X_C) برای کمترین فرکانس ورودی می نویسند :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_{\min} C}$$

سپس X_C را برابر $\frac{R_E}{10}$ قرار می دهند.

$$X_C = \frac{R_E}{10} = \frac{1}{2\pi f_{\min} C}$$

سپس مقدار C را محاسبه می کنند.

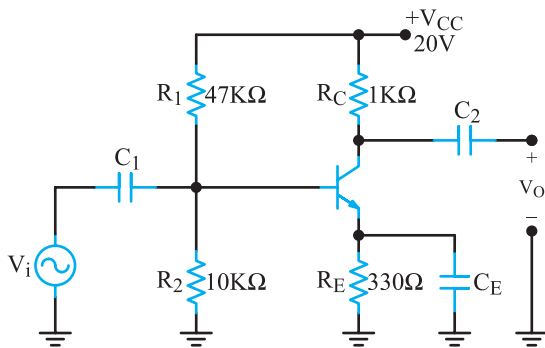
مقدار ظرفیت خازنی که باید در مدار قرار بگیرد باید مساوی یا بزرگتر از عدد به دست آمده انتخاب شود. به عبارت دیگر لازم است همواره رابطه :

$$X_C \leq \frac{R_E}{10}$$

یا $\frac{1}{2\pi f_{\min} C} \leq \frac{R_E}{10}$ برقرار باشد.

مثال ۲-۴- در تقویت کننده شکل ۲-۵۷ اگر فرکانس

سیگنال متناوب ورودی از 500 هرتز تا 7 کیلوهرتز تغییر کند، ظرفیت خازن C_E را چقدر انتخاب کنیم تا R_E در مقابل سیگنال ac به درستی بای پاس شود؟

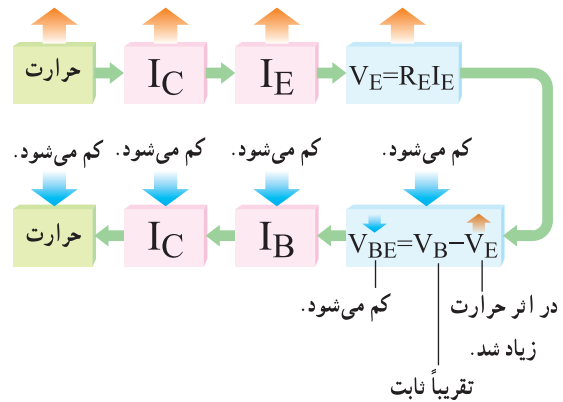


شکل ۲-۵۷

پاسخ : $f_{\min} = 500 \text{ HZ}$

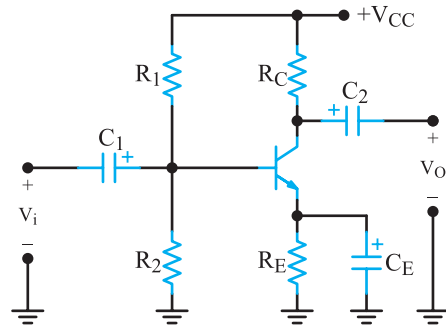
$f_{\max} = 7 \text{ KHZ}$

زیاد می شود. زیاد می شود. زیاد می شود. زیاد می شود.



۱-۸-۲- اصلاح بهره ولتاژ در هنگام تزریق سیگنال متناوب

همان طوری که ملاحظه شد R_E باعث پایداری نقطه کار مدار می شود. بنابراین برای پایداری نقطه کار وجود R_E در مدار ضروری و اجتناب ناپذیر است. از طرفی وجود R_E باعث ایجاد فیدبک منفی در مدار می شود و بهره ولتاژ مدار را به شدت کاهش می دهد، زیرا ولتاژ ac که در دوسر R_E افت نموده است، مانند ولتاژ DC به مدار برگشت داده می شود. برای خنثی سازی اثر R_E در مقابل سیگنال ac خازنی را مطابق شکل ۲-۵۶ به دوسر متصل می کنند. این خازن یک خازن بای پاس است که هنگام عبور سیگنال AC به صورت اتصال کوتاه عمل می کند و اثر مقاومت R_E را از بین می برد و مانع فیدبک منفی می شود.



شکل ۲-۵۶ R_E با خازن بای پاس

به این ترتیب با بای پاس شدن مقاومت R_E فیدبک ac حذف می شود و بهره ولتاژ تقویت کننده به شدت افزایش می یابد. با اتصال کوتاه شدن مقاومت R_E در مقابل ac، امپدانس ورودی تقویت کننده کاهش می یابد.

۱) فیدبک منفی ac ایجاد می‌شود و امپدانس ورودی کم می‌شود.

۲) فیدبک مثبت ac ایجاد می‌شود و بهره و ولتاژ زیاد می‌شود.

۳) فیدبک منفی ac ایجاد می‌شود و بهره و ولتاژ کم می‌شود.

۴) فیدبک مثبت ac ایجاد می‌شود و امپدانس ورودی زیاد می‌شود.

صحیح یا غلط

۳-۹-۲- مقدار ظرفیت خازن بای پاس از رابطهٔ $\frac{1}{2\pi f_{\max} C} = \frac{R_E}{10^\circ}$ به دست می‌آید.

صحیح غلط

تشریحی

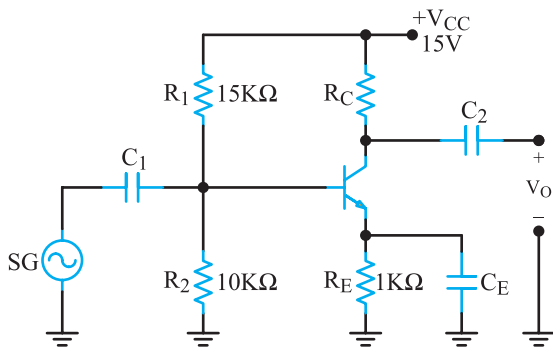
۴-۹-۲- فیدبک را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
 ۵-۹-۲- در تقویت کننده‌ها از چه نوع فیدبکی استفاده می‌کنند؟ دلیل آن را توضیح دهید.

۶-۹-۲- نقش R_E را به عنوان فیدبک منفی در یک تقویت کنندهٔ بایاس سرخود شرح دهید.

۷-۹-۲- چگونه از ایجاد فیدبک منفی ac توسط R_E جلوگیری به عمل می‌آورند؟ شرح دهید.

محاسباتی

۸-۹-۲- اگر فرکانس ورودی تقویت کنندهٔ شکل ۲-۵۹ از 10^5 هرتز تا ۱۵ کیلوهرتز تغییر کند حداقل ظرفیت خازن بای پاس (C_E) را محاسبه کنید.



شکل ۲-۵۹

محاسبهٔ مقاومت خازن: $X_C = \frac{1}{2\pi f_{\min} C}$

محاسبهٔ C_E : $X_C = \frac{R_E}{10^\circ} = \frac{33\Omega}{10^\circ} = 33\Omega$

$$\frac{1}{2\pi f_{\min} C_E} = \frac{R_E}{10^\circ} = 33\Omega$$

$$C_E = \frac{1}{2\pi(50^\circ)(33)} F$$

$$C_E = 9 / 65 \mu F \approx 1 \mu F$$

خازن مناسب خازنی است که مقدار آن برابر با $1 \mu F$ یا بزرگ‌تر باشد.

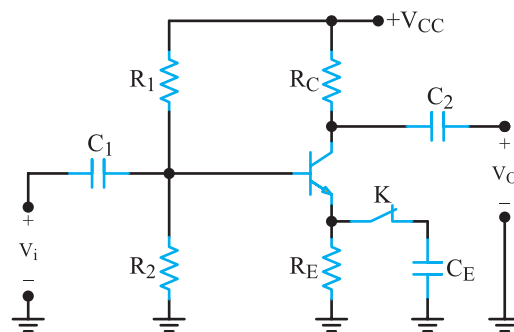
توجه: پس از محاسبهٔ مقدار ظرفیت خازن باید به مقدار ولتاژ کار خازن (WV) نیز توجه نمایید. زیرا در صورتی که ولتاژ کار خازن کم‌تر از مقدار ولتاژ داده شده به دوسر آن در مدار باشد، خازن آسیب خواهد دید.

۲-۹- الگوی پرسش کامل کردنی

۱-۹-۲- در تقویت کننده‌ها معمولاً نوع فیدبک است.

چهار گزینه‌ای

۲-۹-۲- در مدار شکل ۲-۵۸ با قطع کلید K کدام گزینه صحیح است؟



شکل ۲-۵۸

۱-۲- تحلیل تقویت‌کننده امیتر مشترک (CE)

قبل توضیح داده شده است. نکته‌ای که در این جا برای محاسبه مقاومت های فوق باید در نظر گرفت توجه به نقطه کار DC و مفروضاتی است که معمولاً برای تقویت‌کننده‌های امیتر مشترک در نظر می‌گیرند.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_V = \Delta I_B \\ R_E = \frac{R_C}{\beta} \\ V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2} \end{array} \right. \quad \text{این مفروضات عبارتند از:}$$

با معلوم بودن مختصات نقطه کار و با توجه به مفروضات فوق، می‌توان مقاومت‌های بایاس را محاسبه نمود. از بیان مثالی در این مورد صرف نظر می‌شود و از این پس از مدار بایاس سرخود با مقاومت‌های بایاس معلوم برای تجزیه و تحلیل استفاده خواهیم کرد.

۱-۲- بهره جریان: در تقویت‌کننده امیتر مشترک جریان ورودی، جریان بیس و جریان خروجی در حالت بی‌باری، جریان کلکتور است. همان‌طور که قبلاً گفته شد، جریان کلکتور، چندین برابر جریان بیس است؛ بنابراین، مدار امیتر مشترک، جریان را تقویت می‌کند. نسبت جریان خروجی به جریان ورودی را بهره جریان می‌گویند و آن را با حرف A_i نشان می‌دهند.

$$A_i = \frac{I_O}{I_i} \approx \frac{I_C}{I_B} = \beta$$

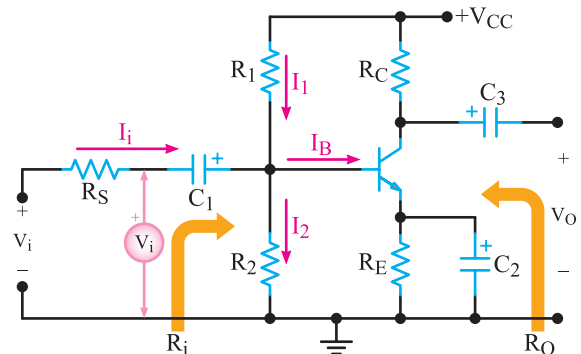
حرف β را برای بهره جریان DC به کار می‌برند. در جریان متناوب، برای به دست آوردن بهره جریان از پارامتر دیگری به نام h_{fe} استفاده می‌شود که مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$A_i = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = h_{fe}$$

در بسیاری موارد مقدار h_{fe} تقریباً با مقدار β برابر می‌شود. β تابعی از جریان، درجه حرارت و مقدار ولتاژ V_{CE} است. کارخانه‌های سازنده، تغییرات h_{fe} را برحسب I_C در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌دهند. شکل ۲-۶۱ منحنی تغییرات h_{fe} را برحسب I_C برای مقادیر $V_{CE} = 10V$ در درجه حرارت‌های $1^\circ C$ و $25^\circ C$ و $65^\circ C$ برای ترانزیستور ۲N۲۲۱ نشان

تقویت‌کننده امیتر مشترک، بیش‌ترین کاربرد در انواع تقویت‌کننده‌ها را دارد. تقویت‌کننده امیتر مشترک علاوه بر تقویت جریان، تقویت ولتاژ را نیز انجام می‌دهد و به همین دلیل، در بسیاری از موارد، نسبت به تقویت‌کننده‌های دیگر برتری دارد.

در مدار شکل ۲-۶۰ یک تقویت‌کننده امیتر مشترک با بایاس سرخود را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۶۰ یک تقویت‌کننده امیتر مشترک

همان‌طور که ملاحظه می‌شود برای جلوگیری از افت ولتاژ متناوب در دوسر مقاومت R_E ، دوسر مقاومت را توسط خازن C_E که خازن بای‌پاس نامیده می‌شود، اتصال کوتاه می‌کنند. خازن‌های C_1 و C_3 خازن‌های کوپلاژ هستند. این خازن‌ها مانع ورود سیگنال DC از یک طبقه به طبقه دیگر می‌شوند. مجموعه مقاومت‌های R_1 ، R_2 ، R_E ، R_C ترانزیستور را در نقطه کار DC مورد نظر قرار می‌دهند. مقاومت R_1 و R_2 بایاس بیس را تأمین می‌کنند. مقاومت R_E علاوه بر تثبیت ترانزیستور در مقابل حرارت، در تعیین نقطه کار DC نیز دخالت دارد. مقاومت R_C نیز ضمن دخالت داشتن در تنظیم نقطه کار، به عنوان مقاومت بار کلکتور عمل نموده و جریان کلکتور را محدود می‌کند.

مقاومت R_S کنترل‌کننده جریان ورودی است. مقاومت‌های ورودی و خروجی، روی شکل ۲-۶۰ کاملاً مشخص شده است.

۱-۱-۲- محاسبه مقاومت‌های R_1 ، R_2 ، R_C ، R_E

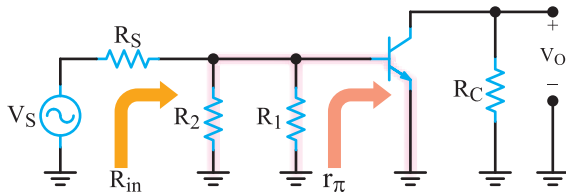
R_2 : درباره محاسبه مقاومت‌های بایاس ترانزیستور در مباحث

۱۸° درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند؛ زیرا با افزایش ولتاژ ورودی، جریان خروجی افزایش می‌یابد و مقدار V_{CE} را که همان ولتاژ خروجی است کاهش می‌دهد. عکس این روند نیز صادق است؛ یعنی، با کاهش ولتاژ ورودی ولتاژ خروجی افزایش می‌یابد.

۵-۱۰-۲- مقاومت ورودی: برای تعیین مقاومت ورودی، باید مقادیر جریان و ولتاژ ورودی را داشته باشیم. با توجه به شکل ۶-۲، جریان ورودی I_i و ولتاژ ورودی V_i است. مقاومت ورودی، از تقسیم ولتاژ ورودی به جریان ورودی به دست می‌آید.

$$R_i = \frac{V_i}{I_i}$$

به مدار ساده معادل ac تقویت کننده شکل ۶۲-۲ توجه کنید.

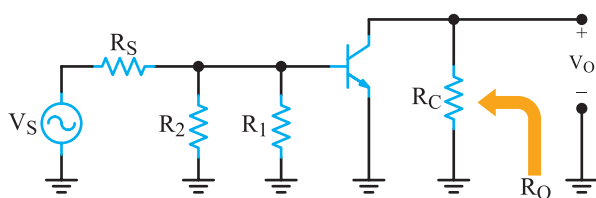


شکل ۶۲-۲ مدار ساده معادل ac تقویت کننده امیتر مشترک

مقاومت ورودی از سه مقاومت موازی R_1 ، R_2 و R_E و مقاومت ترانزیستور (r_{π}) تشکیل می‌شود. در صورتی که مقاومت معادل R_1 و R_2 در مقایسه با r_{π} زیاد باشد مقاومت ورودی به سوی مقاومت r_{π} (مقاومت دیود بیس امیتر) که مقدار آن کوچک است، میل می‌کند.

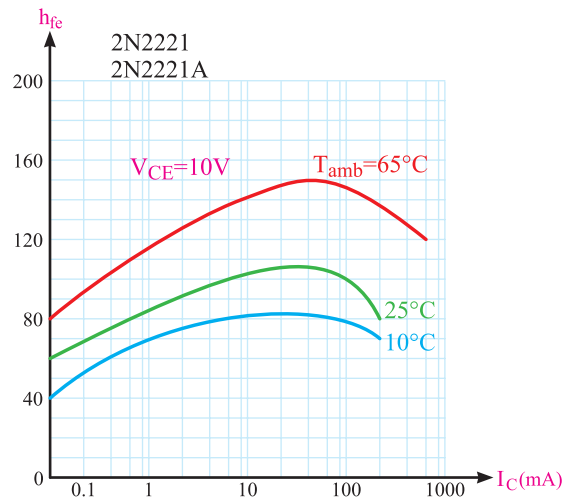
$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{\pi}$$

۶-۱۰-۲- مقاومت خروجی: به مدار ساده معادل ac تقویت کننده امیتر مشترک، از خروجی توجه کنید (شکل ۶۳-۲).



شکل ۶۳-۲ مدار ساده معادل ac تقویت کننده

می‌دهد. در برگه‌های اطلاعات معمولاً مقدار β را با نام h_{fe} در جریان DC نیز می‌شناسند.



شکل ۶۱-۲ منحنی تغییرات h_{fe} بر حسب I_C در سه درجه حرارت

همان‌طور که در منحنی شکل ۶۱-۲ مشاهده می‌شود در یک درجه حرارت معین با افزایش مقدار جریان I_C ، مقدار h_{fe} افزایش می‌یابد تا به یک مقدار ماکزیمم می‌رسد. سپس مقدار h_{fe} با افزایش I_C شروع به کاهش می‌نماید، به عنوان مثال در درجه حرارت محیط که مقدار آن ۲۵ درجه سانتی‌گراد است، در جریان $I_C = 1\text{mA}$ مقدار $h_{fe} = 84$ و در $I_C = 3\text{mA}$ مقدار $h_{fe} = 108$ و در $I_C = 10\text{mA}$ مقدار h_{fe} تقریباً ۱۰۰ است.

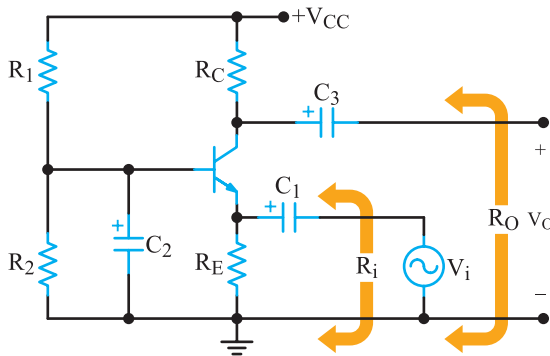
۳-۱۰-۲- بهره ولتاژ: اگر به ورودی تقویت کننده امیتر مشترک ولتاژ متناوبی اعمال کنیم با توجه به محدودیت V_{BE} تغییرات ولتاژ ورودی یعنی تغییرات ولتاژ بیس امیتر محدود و با دامنه کم است. اما ولتاژ متناوب خروجی که همان تغییرات ولتاژ کلکتور امیتر است، دامنه زیادی دارد. لذا تقویت کننده امیتر مشترک ولتاژ را نیز تقویت می‌کند و بهره ولتاژ آن زیاد است.

۴-۱۰-۲- اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی: جریان ورودی و جریان خروجی در تقویت کننده امیتر مشترک، هم‌فازند، زیرا با افزایش جریان بیس (جریان ورودی)، جریان کلکتور (جریان خروجی) نیز افزایش می‌یابد. اما در تقویت کننده امیتر مشترک ولتاژ ورودی و خروجی به اندازه

$$R_O = \frac{V_{O_{NL}} - V_{O_{FL}}}{V_{O_{FL}}} \times R_L$$

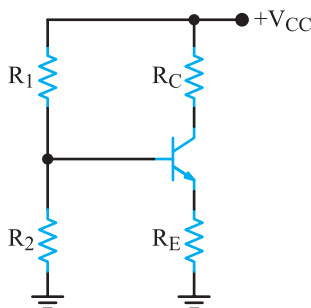
۱۱-۲- بررسی تقویت کننده بیس مشترک (CB)

در تقویت کننده بیس مشترک، ورودی مدار، امیتر بیس و خروجی آن کلکتور بیس است. شکل ۲-۶۵ یک تقویت کننده بیس مشترک با تغذیه سرخود را نشان می دهد.



شکل ۲-۶۵ یک تقویت کننده بیس مشترک

اگر به مدار ساده معادل DC و ac در شکل های ۲-۶۶ و ۲-۶۷ توجه کنیم، بایاس DC این مدار کاملاً مشابه مدار آرایش امیتر مشترک است و محاسبه مقاومت های بایاس، با توجه به نقطه کار DC و مفروضاتی که برای مدار امیتر مشترک در نظر گرفته شده است، صورت می پذیرد. سیگنال ac از مسیرخازن کوپلاژ C_۱ به امیتر داده می شود، خروجی نیز از طریق خازن کوپلاژ C_۲ از کلکتور گرفته می شود و بیس نیز از طریق خازن C_۲ به زمین اتصال کوتاه است. به عبارت دیگر سیگنال ac ورودی به امیتر بیس ترانزیستور داده می شود و سیگنال خروجی از کلکتور بیس ترانزیستور دریافت می گردد.



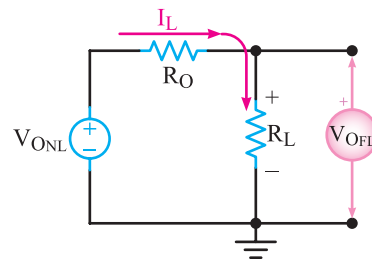
شکل ۲-۶۶ مدار ساده معادل DC تقویت کننده بیس مشترک

همان طور که مشاهده می شود مقاومت خروجی از موازی شدن دو مقاومت RC و مقاومت داخلی کلکتور امیتر ترانزیستور به دست می آید.

چون دیود کلکتور بیس در بایاس مخالف قرار دارد. بنابراین مقاومتی که از کلکتور امیتر دیده می شود بسیار بزرگ است. هنگامی که مقاومت بسیار بزرگ کلکتور امیتر با RC (بار موازی می شود مقاومت معادل (مقاومت خروجی) به سمت مقاومت RC (بار) میل خواهد کرد. مقدار مقاومت RC در مقایسه با مقاومت کلکتور امیتر در حد متوسط قرار دارد. مقاومت خروجی را با RO نمایش می دهند.

اندازه گیری عملی مقاومت خروجی: برای اندازه گیری عملی RO باید یک بار ولتاژ خروجی را بدون بار RL و بار دیگر با بار RL اندازه بگیریم و سپس مقاومت خروجی را با روش زیر محاسبه نماییم.

ولتاژ خروجی در حالت بدون بار (No load) V_{O_{NL}} را و ولتاژ خروجی در حالت باردار (حالت طبیعی کار دستگاه) را V_{O_{FL}} (Full load) می نامند. برای محاسبه RO ابتدا مدار معادل تونن خروجی تقویت کننده را مانند شکل ۲-۶۴ رسم می کنیم.



شکل ۲-۶۴ مدار معادل تونن تقویت کننده

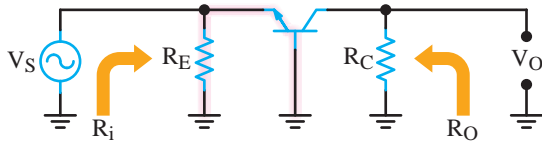
می خواهیم مقدار RO را با توجه به مقدار ولتاژ خروجی در حالت بی باری و بارداری به دست آوریم.

از تقسیم ولتاژ V_{O_{NL}} بین RO و RL استفاده می کنیم.

$$V_{O_{NL}} = R_O I_L + V_{O_{FL}}$$

$$R_O = \frac{V_{O_{NL}} - V_{O_{FL}}}{I_L}$$

$$R_O = \frac{V_{O_{NL}} - V_{O_{FL}}}{\frac{V_{O_{FL}}}{R_L}}$$



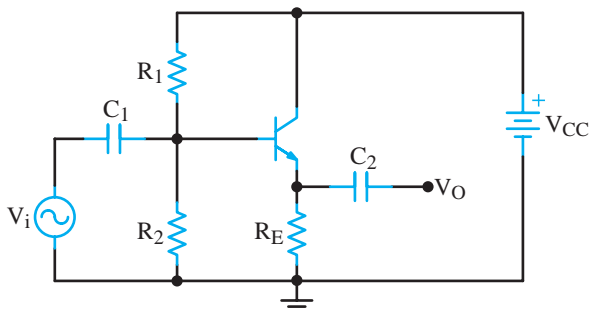
شکل ۶۸-۲- مدل بیس مشترک و مقاومت ورودی آن از نگاه امیتر بیس

مقدار مقاومت R_E و مقدار مقاومت دیود بیس امیتر که در ولتاژ موافق قرار دارد (r_e) کم است، مقدار مقاومت ورودی مدار بیس مشترک در مقایسه با مدار امیتر مشترک کوچک تر است. مقدار مقاومت ورودی از رابطه زیر قابل محاسبه است.

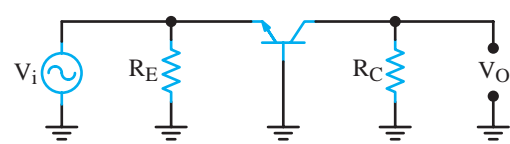
$$R_i = R_E \parallel r_e = R_E \parallel \frac{r_{\pi}}{\beta}$$

۲-۱۱-۵- مقاومت خروجی: با توجه به شکل ۶۸-۲ که مدار ساده معادل ac تقویت کننده بیس مشترک است، مقاومت خروجی (R_o) از درگاه خروجی یعنی از کلکتور بیس محاسبه می شود. چون دیود کلکتور-بیس در بایاس مخالف قرار دارد. مقدار مقاومتی که از درگاه کلکتور بیس دیده می شود، بسیار بزرگ است از طرفی چون مقاومت R_C با مقاومت کلکتور بیس موازی می شود، مقاومت معادل آن دو به سمت مقاومت R_C میل می کند. محاسبه عملی R_o شبیه محاسبه عملی مقاومت R_o در مدار امیتر مشترک است.

۲-۱۲- بررسی تقویت کننده کلکتور مشترک (CC) اگر ورودی مدار تقویت کننده ای بیس-کلکتور و خروجی آن امیتر-کلکتور باشد. تقویت کننده در حالت کلکتور مشترک کار می کند. شکل ۶۹-۲ یک تقویت کننده CC با تغذیه سرخود را نشان می دهد.



شکل ۶۹-۲- یک تقویت کننده کلکتور مشترک



شکل ۶۷-۲- مدار ساده معادل ac تقویت کننده بیس مشترک

۲-۱۱-۱- بهره جریان: جریان ورودی، جریان امیتر (I_E) و جریان خروجی در حالت بی باری، جریان کلکتور (I_C) است. می دانیم بین جریان های امیتر، کلکتور و بیس رابطه زیر برقرار است:

$$I_E = I_C + I_B$$

طبق این رابطه، جریان خروجی (I_C) همیشه از جریان ورودی (I_E)، کوچک تر است و از طرفی بهره جریان از تقسیم جریان خروجی به جریان ورودی، طبق رابطه زیر به دست می آید.

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_C}{I_E} = \alpha$$

بنابراین، در تقویت کننده بیس مشترک، تقویت جریان وجود ندارد. به تعبیر دیگر، ضریب تقویت جریان در تقویت کننده بیس مشترک کوچک تر از (۱) است.

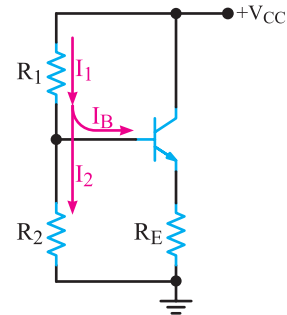
۲-۱۱-۲- تقویت ولتاژ: در تقویت کننده بیس مشترک ضریب تقویت ولتاژ زیاد است؛ زیرا تقریباً تمام جریان ورودی (I_E) به خروجی (I_C) می رسد. این جریان، پس از گذشتن از مقاومت R_C (بار)، ولتاژ نسبتاً بزرگی را در مقایسه با ولتاژ ورودی در دوسر بار ایجاد می کند. بنابراین، در این مدار ضریب بهره ولتاژ خیلی بزرگ تر از (۱) است و از رابطه زیر به دست می آید.

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

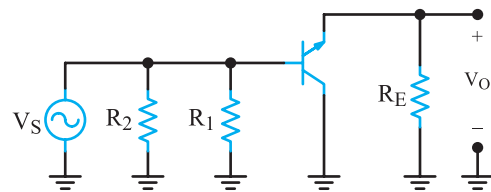
۲-۱۱-۳- اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی: در تقویت کننده بیس مشترک جریان ورودی با جریان خروجی و همچنین ولتاژ ورودی و خروجی هم فاز هستند.

۲-۱۱-۴- مقاومت ورودی: همان طوری که در شکل ۶۸-۲ مشاهده می شود، مقاومت ورودی (R_i) از مجموعه موازی مقاومت های R_E و مقاومت دیود بیس امیتر به دست می آید.

مدار معادل ساده DC و ac تقویت کننده کلکتور مشترک در شکل های ۲-۷۰ و ۲-۷۱ نشان داده شده است.



شکل ۲-۷۰- مدل ساده DC تقویت کننده



شکل ۲-۷۱- مدل ساده ac تقویت کننده CC

همان طور که ملاحظه می شود در مدار ساده ac تقویت کننده کلکتور مشترک، سیگنال ورودی بین بیس و کلکتور و سیگنال خروجی بین امیتر و کلکتور قرار دارد. به عبارت دیگر پایه کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است. مقدار مقاومت های بایاس تقویت کننده کلکتور مشترک را با مفروضات خاص کلکتور مشترک که معمولاً $I_C = I_B$ است، محاسبه می کنند. چون جریان I_C بسیار کم است، مقدار مقاومت های بایاس R_1 و R_2 نسبتاً زیاد به دست می آیند، از این رو مقاومت ورودی تقویت کننده CC افزایش می یابد و در مقایسه با تقویت کننده های CE و CB بیش تر است.

چون مقاومت R_C وجود ندارد در شرایط ac سیگنال متناوب ورودی عیناً به پایه های «بیس کلکتور» اتصال می یابد و سیگنال متناوب خروجی از پایه های «امیتر کلکتور» دریافت می شود.

۲-۱۲-۱- بهره جریان : در مدار کلکتور مشترک، جریان ورودی، جریان بیس و جریان خروجی، جریان امیتر است از طرفی چون جریان امیتر خیلی بیش تر از جریان بیس است، این مدار ضریب تقویت جریان زیادی دارد. بهره جریان مدار کلکتور مشترک از نسبت جریان امیتر به جریان بیس به دست می آید و

مقدار آن برابر است با :

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_E}{I_B} = 1 + \beta = \gamma$$

γ بهره جریان DC مدار کلکتور مشترک در حالت بی باری نامیده می شود.

۲-۱۲-۲- بهره ولتاژ : با مراجعه به شکل ۲-۶۹ و ۲-۷۱ مشاهده می شود که ولتاژ خروجی برابر با تغییرات ولتاژ «امیتر کلکتور» (V_{EC}) و ولتاژ ورودی برابر با تغییرات ولتاژ «بیس کلکتور» (V_{BC}) است. با توجه به حلقه خروجی، مقدار ولتاژ خروجی از رابطه زیر به دست می آید :

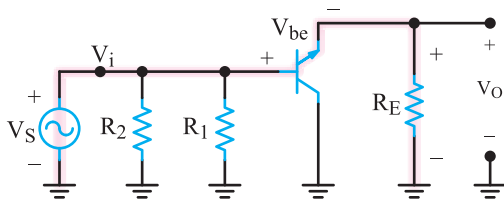
$$V_{EC} = V_{EB} + V_{BC}$$

در صورتی که مقدار V_{EB} را که برابر با V_{BE} با علامت مخالف است، در نظر بگیریم رابطه زیر به دست می آید :

$$V_{BC} = V_{EC} - V_{EB} = V_{EC} + V_{BE}$$



با مقایسه دو رابطه فوق مشاهده می شود که تغییرات V_{BC} همواره بیش تر از تغییرات V_{EC} است. بنابراین در مدار CC مقدار AV کم تر از (۱) می باشد. به شیوه دیگری نیز می توان اثبات نمود که در آرایش کلکتور مشترک بهره ولتاژ کوچکتر از واحد است. به مدار ساده معادل AC تقویت کننده کلکتور مشترک در شکل ۲-۷۲ توجه کنید.



شکل ۲-۷۲- معادل AC تقویت کننده CC

با نوشتن معادله KVL در مسیر مشخص شده می توان نوشت :

$$-V_i + V_{be} + V_o = 0$$

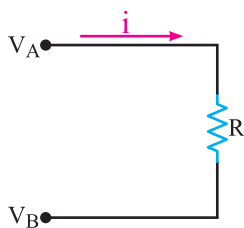
$$V_i = V_{be} + V_o$$

مشاهده می شود سیگنال ورودی به اندازه V_{be} (تغییرات ac سیگنال بیس امیتر) از V_o بیشتر است لذا :

r_{π} مقاومت دینامیکی دیود بیس امیتر از نگاه بیس و r_e مقاومت دینامیکی دیود امیتر بیس از نگاه امیتر است.

۲-۱۳-۲ انجام بعضی اصلاحات در مدار تقویت کننده CC

۲-۱۳-۱ خنثی کردن اثر مقاومت‌های بایاس با خازن بوت استرپ (Boot strap): چون مقاومت‌های تقسیم کننده ولتاژ R_1 و R_2 با مقاومت ورودی ترانزیستور یعنی مقاومتی که از بیس کلکتور دیده می‌شود موازی است، مقاومت ورودی ترانزیستور کاهش می‌یابد. برای خنثی کردن اثرگذاری مقاومت‌های بایاس R_1 و R_2 بر مقاومت ورودی ترانزیستور از روشی به نام بوت استرپ کردن استفاده می‌کنند. به عنوان مثال مقاومت شکل ۲-۷۴ را در نظر بگیرید.



شکل ۲-۷۴- مقاومت R و پتانسیل دوسر آن

مقدار جریانی که از انتهای سر A وارد آن می‌شود طبق قانون اهم برابر است با:

$$i = \frac{V_A - V_B}{R}$$

در صورتی که دو سر این مقاومت کاملاً هم پتانسیل، یعنی $V_A = V_B$ باشد، هیچ جریانی از مقاومت R نخواهد گذشت. به عبارت دیگر، مقاومت R در مسیر سیگنال به صورت مدار باز ظاهر می‌شود و مقدار آن به سمت بینهایت ($R \rightarrow \infty$) میل می‌کند. از این خاصیت که بوت استرپ کردن مقاومت نام دارد، برای افزایش مقدار مقاومت ورودی تقویت کننده‌ها در برابر سیگنال ac استفاده می‌کنند. در شکل ۲-۷۵ یک طبقه تقویت کننده کلکتور مشترک را مشاهده می‌کنید. در این تقویت کننده به منظور افزایش مقاومت ورودی R_{in} بوت استرپ شده است.

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_o + V_{be}}$$

بنابراین در مدار کلکتور مشترک مقدار A_V کوچک‌تر از واحد به دست می‌آید.

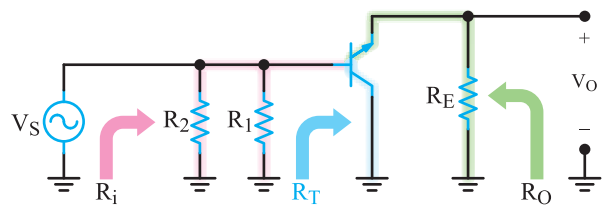
۲-۱۲-۳ اختلاف فاز بین سیگنال‌های ورودی و خروجی: در مدار کلکتور مشترک، ولتاژ خروجی تابعی از ولتاژ ورودی است؛ بنابراین، در این آرایش بین ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی اختلاف فازی وجود ندارد. همچنین، اختلاف فاز بین جریان‌های ورودی و خروجی صفر است.

۲-۱۲-۴ مقاومت ورودی: با توجه به شکل ۲-۷۳ که مدل ساده ac تقویت کننده است مشاهده می‌شود که از درگاه ورودی، مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_T با هم موازی هستند. مقدار مقاومت ورودی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel R_T$$

R_T مقاومت دیود بیس کلکتور است که در ولتاژ مخالف قرار دارد و در مقایسه با مقاومت معادل R_1 و R_2 قابل توجه و بزرگ است لذا مقاومت ورودی به سمت مقاومت معادل R_1 میل می‌کند.

$$R_i \approx R_1 \parallel R_2$$



شکل ۲-۷۳- مدار ساده معادل ac تقویت کننده

۲-۱۲-۵ مقاومت خروجی: مقاومت خروجی تقویت کننده کلکتور مشترک از موازی شدن مقاومت R_E با مقاومت امیتر کلکتور ترانزیستور به دست می‌آید. این مقاومت از R_E کوچک‌تر است. با تقریبی قابل قبول می‌توان R_O را از رابطه زیر به دست آورد:

$$R_O = R_E \parallel r_e$$

$$r_e = \frac{r_{\pi}}{\beta}$$

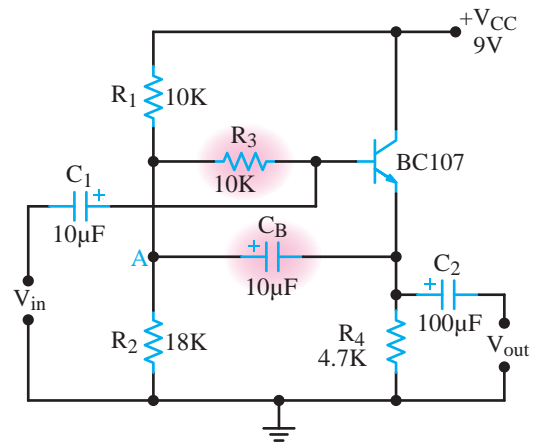
مقدار مقاومت بوت استرپ به ضریب تقویت ولتاژ ترانزیستور بستگی دارد و مقدار آن ممکن است تا یک مگا اهم برسد. توجه داشته باشید که در این مدار از نوعی فیدبک مثبت استفاده شده است. به این ترتیب با بوت استرپ شدن R_p اثر مجموعه مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 تا حدودی خنثی شده و مقاومت ورودی به شدت افزایش می‌یابد.

۱۴-۲- مقایسه سه نوع آرایش تقویت‌کننده‌ها از نظر مشخصات

همان‌طوری که در مباحث قبلی مشاهده کردید، سه نوع آرایش تقویت‌کننده‌ها (CE ، CB 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 امیتر 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 ۱-۲ مشخصات این سه نوع آرایش را برای یک نوع ترانزیستور که از نظر بایاس تا حد امکان باهم تشابه دارند، آورده‌ایم.

نکته مهم: مقایسه مقادیر مربوط به مشخصه‌های

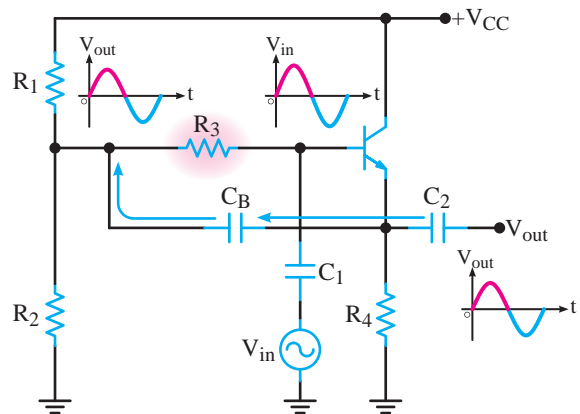
تقویت‌کننده‌ها در قالب واژه‌های کم، زیاد و متوسط برای یک ترانزیستور خاص و در شرایط بایاس مشابه (تا حد امکان) استفاده می‌شود. به عنوان مثال اگر مقاومت خروجی یک تقویت‌کننده امیتر مشترک برابر با $1\text{ k}\Omega$ باشد مقدار $1\text{ k}\Omega$ حد متوسط در نظر گرفته می‌شود و مقاومت خروجی تقویت‌کننده بیس مشترک اگر $1/5$ کیلو اهم باشد حد زیاد و مدار کلکتور مشترک اگر کم‌تر از $1\text{ k}\Omega$ باشد حد کم تعریف می‌شود.



شکل ۲-۷۵- خازن بوت استرپ‌کننده C_B

در این مدار، سیگنال ac موجود روی پیوند امیتر ترانزیستور با سیگنال ac ورودی هم‌فاز و تقریباً هم‌دامنه است. این سیگنال از طریق خازن C_B به یک انتهای مقاومت R_p برگردانده شده است. هم‌چنین سیگنال ورودی از خازن کوپلاژ C_1 به انتهای دیگر مقاومت R_p یعنی پایه بیس ترانزیستور می‌رسد. به این ترتیب دو انتهای مقاومت R_p همواره هم‌پتانسیل باقی می‌ماند. این موضوع باعث می‌شود که جریان ac ناچیزی از مقاومت R_p بگذرد. به عبارت دیگر، این مقاومت که در برابر جریان مستقیم مقداری برابر با $10\text{ k}\Omega$ دارد، در مقابل سیگنال ac مقاومت خیلی بیشتری از خود نشان می‌دهد.

شکل ۲-۷۶- مسیر برگشت سیگنال خروجی به یک انتهای مقاومت R_p و نحوه بوت استرپ شدن آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷۶- مسیر برگشت سیگنال خروجی به یک انتهای R_p

جدول ۱-۲

کلکتور مشترک (CC)	بیس مشترک (CB)	امیتر مشترک (CE)	
زیاد	کم و کوچک تراز واحد	متوسط	بهره جریان
کم و کوچک تراز 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
°	°	۱۸۰°	اختلاف فاز

ورودی زیاد و امپدانس خروجی کم است. از این تقویت کننده به عنوان تقویت کننده جریان در رگولاتورها و تقویت کننده انتهایی در طبقه تقویت صوتی استفاده می کنند. این تقویت کننده به علت دارا بودن امپدانس ورودی زیاد و امپدانس خروجی کم به عنوان تطبیق دهنده امپدانس به کار می رود و برای تطبیق امپدانس زیاد به امپدانس کم مورد استفاده قرار می گیرد.

۱۶-۲- بیان بهره یک تقویت کننده بر حسب دسی بل (Decibel)

تحول در عمل الکترونیک با ساخته شدن اولین دستگاه های تقویت صدا در نخستین سال های قرن بیستم آغاز شد. دورانی که همه فعالیت ها برای ساختن دستگاه های متمرکز شده بود که قادر به تقویت هر چه بیش تر صدا باشند و امکان برقراری ارتباط تلفنی بین فواصل طولانی تری را فراهم آورند.

در این تلاش، یک محقق آلمانی دریافت که میزان شنوایی گوش انسان با شدت صدا تناسب لگاریتمی دارد. به این معنا که اگر شدت صدایی ۱۰° یا ۱۰۰ برابر زیاد شود، میزان واکنش دستگاه شنوایی نسبت به آن فقط یک یا دو برابر افزایش می یابد. این ویژگی که یکی از ظرافت های آفرینش است به انسان توانایی تحمل صداهای فوق العاده شدید را می دهد. با توجه به حساسیت لگاریتمی گوش انسان در برابر شدت صدا، به منظور درک بهتر مفهوم تقویت کنندگی، تصمیم بر این گرفته شد که میزان تقویت کنندگی یک دستگاه تقویت کننده را به صورت لگاریتمی بیان کنند.

نکته مهم: مبنای تابع لگاریتمی مربوط به پاسخ دستگاه

شنوایی عددی غیر از (۱۰) است. در این مبحث مبنای (۱۰) فقط به عنوان مثال مطرح شده است.

به شکل ۲-۷۷ که بلوک دیاگرام یک تقویت کننده است

توجه کنید.

۱۵-۲- کاربرد آرایش های مختلف تقویت کننده

۱۵-۲-۱- کاربرد تقویت کننده امیتر مشترک:

تقویت کننده امیتر مشترک در مقایسه با سایر آرایش ها دارای امپدانس (مقاومت) ورودی و خروجی متوسطی است. این تقویت کننده هم جریان و هم ولتاژ را تقویت می کند. بنابراین از این مدار می توان در تقویت کننده های انتهایی، میانی و ابتدایی مدارهای الکترونیکی استفاده کرد. پهنای باند تقویت کننده امیتر مشترک نسبتاً خوب است. هم چنین بین ولتاژ ورودی و خروجی این نوع تقویت کننده ۱۸۰ درجه اختلاف فاز به وجود می آید.

۱۵-۲-۲- کاربرد تقویت کننده بیس مشترک:

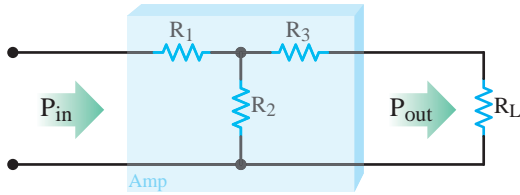
تقویت کننده بیس مشترک، یک تقویت کننده ولتاژ است و باند فرکانسی وسیع تری نسبت به تقویت کننده امیتر مشترک دارد. این تقویت کننده در مواردی به کار می رود که امپدانس ورودی کم مورد نیاز باشد. در این آرایش، ولتاژهای ورودی و خروجی هم فاز هستند.

۱۵-۲-۳- کاربرد تقویت کننده کلکتور مشترک:

این تقویت کننده دارای بهره ولتاژ کم، بهره جریان زیاد، امپدانس

برای شبکه‌های تضعیف می‌توان به جای ضریب تقویت، ضریب تضعیف را طبق رابطه زیر تعریف کرد.

$$\text{ضریب تضعیف} = \frac{\text{توان وارد شده به شبکه}}{\text{توان خارج شده از شبکه}} = \frac{P_{in}}{P_o}$$



شکل ۲-۲۸- شبکه تضعیف‌کننده مقارمتی

مقدار تضعیف برحسب دسی بل از رابطه زیر به دست

می‌آید:

$$A_p(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_{in}}{P_o}$$

مثال ۲-۶- اگر توان ورودی شبکه‌ای 10 W و توان خروجی آن 5 W باشد بهره توان برحسب مرتبه و برحسب dB به دست آورید. dB تضعیف چه قدر است؟

پاسخ: بهره توان را برحسب مرتبه به دست می‌آوریم.

$$\text{مرتبه} = \frac{A_p}{10} = \frac{5}{10} = \frac{1}{2}$$

مقدار بهره را برحسب dB (دسی بل) محاسبه می‌کنیم.

$$A_p(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_{in}}$$

$$A_p(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{1}{2}$$

در محاسبات لگاریتم می‌توانیم $\log \frac{A}{B}$ را به صورت زیر

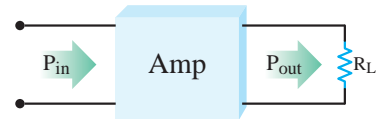
$$\log \frac{A}{B} = \log A - \log B \quad \text{بنویسیم.}$$

رابطه بهره توان را با استفاده از روش فوق ساده می‌کنیم.

$$A_p(\text{dB}) = 10 [\log 1 - \log 2]$$

$$A_p(\text{dB}) = 10 [0 - 0.3] = -3$$

مشاهده می‌شود در شبکه‌های تضعیف‌کننده بهره توان برحسب



شکل ۲-۲۷- بلوک دیگرام تقویت‌کننده

در این شکل توان داده شده به یک تقویت‌کننده را برابر P_{in} و توانی را که از آن گرفته می‌شود برابر P_{out} فرض می‌کنیم، طبق تعریف ده برابر لگاریتم اعشاری نسبت $\frac{P_{out}}{P_{in}}$ را ضریب تقویت برحسب دسی بل می‌نامیم. این موضوع با رابطه لگاریتمی زیر بیان می‌شود.

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

مثال ۲-۵: در صورتی که توان وارد شده به شبکه شکل

۲-۲۷ برابر یک وات و توان دریافتی از آن مساوی ۲ وات باشد،

بهره قدرت این تقویت‌کننده چند دسی بل می‌شود؟

پاسخ: ابتدا A_p را محاسبه می‌کنیم.

$$A_p = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{2\text{ W}}{1\text{ W}} = 2 \quad \text{مرتبه}$$

مقدار A_p را در رابطه لگاریتمی دسی بل قرار می‌دهیم.

$$A_p(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_{in}} = 10 \cdot \log A_p$$

$$A_p(\text{dB}) = 10 \cdot \log 2$$

$\log 2 = 0.30103$ است که برای سادگی محاسبات آن

را برابر با 0.3 در نظر می‌گیریم و مقدار A_p را برحسب دسی بل

محاسبه می‌کنیم.

$$A_p(\text{dB}) = 10 \times 0.3 = 3$$

۱-۱۶-۲ تضعیف برحسب دسی بل: در یک

شبکه تضعیف‌کننده مانند یک خط انتقال میزان توانی که از

درگاه خروجی دریافت می‌گردد، کم‌تر از میزان توانی است که از

درگاه ورودی وارد آن می‌شود. لذا در چنین شبکه‌ای بهره توان

کوچک‌تر از یک است و اگر آن را برحسب دسی بل بیان کنیم،

به صورت یک عدد منفی ظاهر می‌شود.

شکل ۲-۲۸ یک شبکه تضعیف‌کننده را نشان می‌دهد.

دسی بل، یک عدد منفی به دست می آید. به عنوان مثال ضریب بهره توان در این مثال ۳- دسی بل است.

$$A_p = -3 \text{ دسی بل}$$

برای حذف علامت منفی می توان تضعیف را بر حسب دسی بل به دست آورد. برای این منظور از رابطه زیر استفاده می کنیم.

$$A_p(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_{in}}{P_o} = 10 \log \frac{1}{5}$$

رابطه را ساده می کنیم

$$A_p(\text{dB}) = 10 \log 2 = 10 \log (2/1) = 3$$

$$A_p = 3 \text{ دسی بل تضعیف}$$

برای کسب مهارت لازم به حل چند مثال می پردازیم.

مثال ۷-۲: توان خروجی شبکه شکل ۷۹-۲ چند وات

است؟

$$A_p(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad \text{پاسخ:}$$



شکل ۷۹-۲

$$13 = 10 \log \frac{P_{out}}{0.1}$$

طرفین تساوی را به عدد ۱۰ تقسیم می کنیم:

$$1.3 = \log \frac{P_{out}}{0.1}$$

می دانیم $\log 10 = 1$ و $\log 2 = 0.3$ با استفاده از

$$\log A + \log B = \log A \times B$$

عبارت فوق را به صورت زیر ساده می کنیم:

$$\log \frac{P_{out}}{0.1} = 1.3 = 1 + 0.3 = \log 10 + \log 2$$

سپس مجموع لگاریتم ها را به لگاریتم حاصل ضرب تبدیل

می کنیم:

$$\log \frac{P_{out}}{0.1} = \log 10 \times 2 = \log 20$$

چون هر دو لگاریتم با هم برابر هستند پس اعداد آن نیز با هم برابر است و می توانیم بنویسیم:

$$\frac{P_{out}}{0.1} = 20 \Rightarrow P_{out} = 2W$$

مثال ۸-۲: می خواهیم یک وات قدرت تولید شده

توسط یک تقویت کننده را به کمک یک کابل به یک مصرف کننده برسانیم. اگر ضریب تضعیف کابل برابر ۲۷dB باشد، چه توانی به مصرف کننده می رسد؟

پاسخ: رابطه دسی بل تضعیف را می نویسیم:

$$\text{تضعیف dB} = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

مقادیر را جایگزین می کنیم:

$$27 = 10 \log \frac{1}{P_{out}} \Rightarrow \log \frac{1}{P_{out}} = 2.7$$

عدد ۲/۷ را به صورت ۰/۳ - ۳ می نویسیم و آن را تبدیل

به مجموع لگاریتم ها می کنیم.

$$\log \frac{1}{P_{out}} = 3 - 0.3 = \log 1000 - \log 2$$

چون $\log A - \log B = \log \frac{A}{B}$ است لذا:

$$\log \frac{1}{P_{out}} = \log \frac{1000}{2} = \log 500$$

چون لگاریتم ها با هم برابر است پس اعداد آن نیز با هم برابر

$$\frac{1}{P_{out}} = 500 \Rightarrow P_{out} = \frac{1}{500} W = 2mW \text{ است.}$$

مثال ۹-۲: توان خروجی تقویت کننده شکل ۸۰-۲

چند وات است؟



شکل ۸۰-۲

نکته مهم: هنگامی که دو دسی بل باهم جمع می شوند

ضریب بهره آن‌ها در هم ضرب خواهند شد.

$$10 \log a_1 + 10 \log a_2 = 10 \log a_1 \times a_2$$

$$\Downarrow \quad \Downarrow \quad \Downarrow$$

$$30 \text{ دسی بل} + 20 \text{ دسی بل} = 50 \text{ دسی بل}$$

$$\boxed{\text{معادل } 10000 \text{ مرتبه}} \times \boxed{\text{معادل } 100 \text{ مرتبه}} = \boxed{\text{معادل } 1000000 \text{ مرتبه}}$$

30 دسی بل به علاوه 20 دسی بل برابر 50 دسی بل می شود.

30 دسی بل معادل 1000 مرتبه و 20 دسی بل معادل 100 مرتبه تقویت

است بنابراین 50 دسی بل معادل 1000000 مرتبه تقویت است.

پاسخ: ابتدا 36 را به صورت زیر می نویسیم:

$$36 = [(30) + 3] + 3$$

سی دسی بل معادل 1000 برابر و سه دسی بل معادل 2 برابر

است، پس می توانیم بنویسیم:

$$30 + 3 = 33$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$10000 \times 2 = 20000 \text{ برابر}$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$33 + 3 = 36 \text{ حال } 33 \text{ را با } 3 \text{ جمع می کنیم.}$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$20000 \times 2 = 40000 \text{ برابر}$$

به این ترتیب 36 دسی بل معادل 4000 برابر تقویت است.

توان خروجی را محاسبه می کنیم.

$$P_{out} = 10 \text{ mW} \times 4000$$

$$P_{out} = 40000 \text{ mW} = 40 \text{ W}$$

۲-۱۶-۲ محاسبه ضریب تقویت طبقات متوالی

برحسب dB: هرگاه چند طبقه تقویت کننده را مانند شکل ۸۲-۲

به صورت متوالی بسته شده باشند، ضریب قدرت کلی سیستم برابر

است با:



شکل ۸۲-۲ اتصال متوالی تقویت کننده‌ها

پاسخ: رابطه دسی بل را می نویسیم:

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

$$33 = 10 \log \frac{P_{out}}{150}$$

طرفین تساوی را به 10 تقسیم می کنیم:

$$3.3 = \log \frac{P_{out}}{150}$$

عدد 3.3 را به صورت 3 + 0.3 می نویسیم می دانیم $\log 2 = 0.3$

و $\log 10000 = 3$ است.

$$3 + 0.3 = \log \frac{P_{out}}{150}$$

اعداد را به صورت مجموع لگاریتم‌ها در می آوریم:

$$\log 10000 + \log 2 = \log \frac{P_{out}}{150}$$

مجموع لگاریتم‌ها را به لگاریتم حاصل ضرب تبدیل

$$\log(10000 \times 2) = \log \frac{P_{out}}{150}$$

می کنیم:

مقدار توان خروجی را محاسبه می کنیم:

$$20000 = \frac{P_{out}}{150} \Rightarrow P_{out} = 3000000 \text{ mW}$$

$$P_{out} = 3000 \text{ W}$$

حل مثال‌های فوق به گونه‌ای طراحی شده است که به توان

آن را به صورت مجموع یا تفاضل لگاریتم مضربی از ده یا عدد 2

درآورد اگر به خاطر بسپاریم که $\log 10^n = n$ است به آسانی درمی یابیم

که هر 3 دسی بل افزایش در ضریب قدرت معادل با دو برابر

شدن قدرت خروجی و هر 3 دسی بل کاهش در ضریب قدرت

به معنای نصف شدن قدرت خروجی شبکه است. بنابراین بدون

نیاز به محاسبه‌های طولانی، قادر به تعیین قدرت خروجی هر شبکه

خواهیم بود.

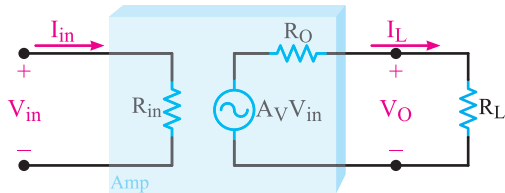
مثال 10-2: توان خروجی شبکه شکل 81-2 چند

وات است؟



شکل 81-2

بهره ولتاژ: هر تقویت کننده با ضریب بهره ولتاژ A_V را می توان از درگاه ورودی معادل R_{in} و از درگاه خروجی معادل یک منبع ولتاژ و یک مقاومت سری با منبع در نظر گرفت که همان معادل تونن است. در این مدارها بهره ولتاژ توان برحسب dB را می توان براساس ولتاژ ورودی و خروجی شبکه بیان نمود. شکل ۸۴-۲ مدل الکتریکی یک تقویت کننده را نشان می دهد.



شکل ۸۴-۲ مدل الکتریکی تقویت کننده

برای هنرجویان علاقه مند: توانی که وارد شبکه می شود، به افت پتانسیل V_{in} در دوسر مقاومت ورودی آن منجر می گردد؛ به طوری که:

$$P_{in} = V_{in} I_{in} = V_{in} \left(\frac{V_{in}}{R_{in}} \right) = \frac{V_{in}^2}{R_{in}}$$

هم چنین توانی که از شبکه دریافت می شود، در دوسر مقاومت بار اختلاف پتانسیل V_O را ایجاد می کند و می توان نوشت:

$$P_O = V_O \cdot I_L = V_O \left(\frac{V_O}{R_L} \right) = \frac{V_O^2}{R_L}$$

با جایگزین کردن جملات طرف راست معادله های فوق به جای P_{in} و P_O در معادله $A_P(dB) = 10 \log \frac{P_O}{P_{in}}$ نتیجه می شود:

$$A_P(dB) = 10 \log \frac{V_O^2 / R_L}{V_{in}^2 / R_{in}}$$

معادله را ساده می کنیم:

$$A_P(dB) = 10 \log \frac{R_{in}}{R_L} \left(\frac{V_O}{V_{in}} \right)^2$$

در صورتی که مقاومت بار و مقاومت ورودی شبکه با یک دیگر مساوی باشند، می توان معادله فوق را به شکل ساده تری بیان کرد. در این حالت خواهیم داشت.

$$A_P = \frac{P_O}{P_{in}} = \frac{P_{O(1)}}{P_{in(1)}} \times \frac{P_{O(2)}}{P_{in(2)}} \times \frac{P_{O(3)}}{P_{in(3)}} \times \dots \times \frac{P_{O(n)}}{P_{in(n)}}$$

$$A_P = A_{P_1} \times A_{P_2} \times A_{P_3} \times \dots \times A_{P_n}$$

توجه داشته باشید که $P_{O_1} = P_{in_2}$ و $P_{O_2} = P_{in_3}$ و ... است. لذا در معادله فوق، صورت هر کسر با مخرج کسر سمت راست آن برابر است. حال اگر جملات را با یکدیگر ساده کنیم، تنها جمله مخرج کسر اول و صورت کسر آخر باقی می ماند یعنی:

$$A_P = \frac{P_O}{P_{in}}$$

اگر بهره کل مدار را برحسب دسی بل بیان کنیم نتیجه

می شود:

$$10 \log A_P = 10 \log (A_{P_1} \times A_{P_2} \times \dots \times A_{P_n})$$

$$10 \log A_P = 10 \log A_{P_1} + 10 \log A_{P_2} + \dots + 10 \log A_{P_n}$$

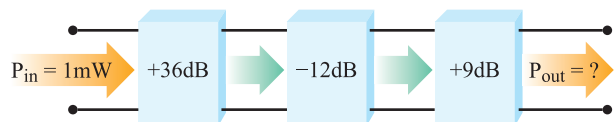
$$A_P(dB) = A_{P_1}(dB) + A_{P_2}(dB) + \dots + A_{P_n}(dB)$$

نکته مهم: در صورتی که ضریب تقویت توان هر طبقه برحسب دسی بل بیان شود ضریب تقویت توان کل برحسب دسی بل، از مجموع دسی بل های مربوط به هر طبقه به دست می آید.

مثال ۱۱-۲: قدرت خروجی شبکه شکل ۸۳-۲ را

به دست آورید.

پاسخ: $33 \text{ dB} = 36 - 12 + 9 = 33 \text{ dB}$ کلی شبکه



شکل ۸۳-۲

عدد 3 dB به منزله ضریب توانی برابر 1000 و 3 dB افزایش در آن (یعنی 33 dB) به معنی دو برابر شدن این ضریب توان یعنی 2000 است. لذا:

$$P_O = 1 \text{ mW} \times 2000 = 2000 \text{ mW} = 2 \text{ W}$$

۳-۱۶-۲ محاسبه ضریب تقویت توان برحسب



شکل ۸۵-۲- نمای بلوکی تقویت کننده

در عمل سیگنال ورودی تقویت کننده، ترکیب پیچیده‌ای از امواج با فرکانس‌های متفاوت دارد؛ مثلاً اگر شکل موج خروجی یک میکروفن را با دستگاه طیف‌نما تجزیه کنیم، امواجی با دامنه‌های متفاوت و فرکانس‌هایی از چند هرتز تا چند هزار هرتز مشاهده خواهیم کرد. طبیعتاً تقویت کننده نمی‌تواند همه این امواج را به یک نسبت تقویت کند؛ زیرا وجود خازن‌های پراکنده و در مواردی سلف، عکس‌العمل‌های متفاوتی را در فرکانس‌های مختلف سبب می‌شود.

تقویت متفاوت هر یک از این امواج طیف باعث می‌شود که شکل موج خروجی تقویت کننده با شکل موج ورودی آن تفاوت داشته باشد. این تغییر شکل موج را (که پدیده نامطلوب است) تغییر شکل در موج (اعوجاج Distortion) می‌نامیم. یک تقویت کننده ایده‌آل نباید در شکل موج تغییر شکل ایجاد کند. معمولاً تقویت کننده‌ها فرکانس‌های خیلی کم و هم‌چنین فرکانس‌های خیلی زیاد را به خوبی تقویت نمی‌کنند. در فرکانس‌های خیلی کم، عکس‌العمل زیاد خازن‌های سری مانع ایجاد می‌کند و در فرکانس‌های زیاد، عکس‌العمل کم خازن‌های موازی موجب اتصال کوتاه شدن مسیرها می‌شود.

نکته مهم :

برای ترسیم منحنی پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌ها معمولاً بیش‌ترین مقدار ضریب تقویت را برابر با صفر دسی‌بل در نظر می‌گیرند. مثلاً اگر تقویت کننده‌ای ۱۰۰۰ برابر تقویت کند و خروجی آن ۱۰ W باشد. حد ۱۰۰۰ برابر یعنی ۱۰ W را معادل صفر دسی‌بل در نظر می‌گیرند حال اگر تقویت مدار از ۱۰۰۰ برابر (۱۰ W) کم‌تر باشد آن را با دسی‌بل منفی نشان می‌دهند.

در شکل ۸۶-۲ منحنی پاسخ فرکانسی یک تقویت کننده رسم شده است. در این شکل بهره تقویت کننده، در حالت انتقال

$$A_P(\text{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{V_o}{V_{in}}\right)^2$$

با توجه به رابطه $\log A^n = n \log A$ نتیجه می‌شود :

$$A_P(\text{dB}) = 20 \cdot \log\left(\frac{V_o}{V_{in}}\right)$$

این رابطه مقدار دسی‌بل بهره توان را برحسب بهره ولتاژ نشان می‌دهد.

۴-۱۶-۲ محاسبه ضریب تقویت توان برحسب

بهره جریان

برای هنرجویان علاقه‌مند: با توجه به معادله

$$A_P(\text{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{P_o}{P_{in}}\right)$$

$$P_o = R_L I_L^2$$

هم‌چنین می‌توان به جای P_{in} مساوی آن $P_{in} = R_{in} I_{in}^2$ را

در معادله اصلی قرار داد.

$$A_P(\text{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{R_L I_L^2}{R_{in} I_{in}^2}\right)$$

در صورتی که $R_L = R_{in}$ باشد مقدار A_P از رابطه زیر

به دست می‌آید :

$$A_P(\text{dB}) = 10 \cdot \log\left(\frac{I_L^2}{I_{in}^2}\right)$$

بنابراین رابطه نهایی بهره توان برحسب بهره جریان

به صورت زیر است :

$$A_P(\text{dB}) = 20 \cdot \log\left(\frac{I_L}{I_{in}}\right)$$

۱۷-۲ پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌ها

اگر ولتاژ ورودی یک تقویت کننده را سیگنالی با فرکانس ثابت، به صورت $v_i = V_m \sin \omega t$ ، در نظر بگیریم با چنین فرضی، شکل ولتاژ ظاهر شده در خروجی آن نیز شبیه شکل موج ورودی و تنها با دامنه‌های متفاوت با آن است.

$$v_o = V'_m \sin \omega t$$

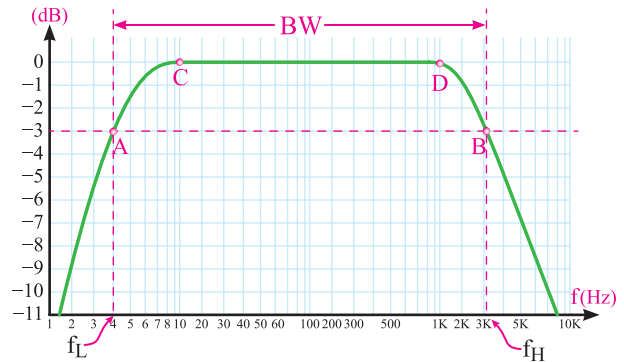
یعنی :

که در آن $V'_m = A_v V_m$ است. شکل ۸۵-۲ نمای بلوکی

تقویت کننده و ولتاژ ورودی و خروجی آن را نشان می‌دهد.

بدون تضعیف برابر با، (۱) فرض شده است. منحنی از دو ناحیه کاملاً متفاوت تشکیل می‌شود.

– ناحیه CD که کلیه فرکانس‌های واقع در این محدوده به یک نسبت تقویت می‌شوند. در نواحی سمت چپ نقطه C و سمت راست نقطه D میزان تقویت کاهش می‌یابد و سیر نزولی را طی می‌کند.



شکل ۸۶-۲- منحنی پاسخ فرکانسی یک تقویت‌کننده نمونه

۱-۱۷-۲- تعریف باند مفید و فرکانس قطع: محدوده‌ای از طیف فرکانس در تقویت‌کننده که در آن ضریب تقویت، تغییری محسوسی نمی‌کند را باند مفید فرکانس آن تقویت‌کننده می‌نامند. در شکل ۸۶-۲ این باند بین دو نقطه A و B واقع شده است. فرکانس متناظر با نقطه A را فرکانس قطع پایین و فرکانس متناظر با نقطه B را فرکانس قطع بالای تقویت‌کننده می‌گوییم.

طبق تعریف، فرکانس قطع به فرکانسی گفته می‌شود که در آن بهره توان تقویت‌کننده به نصف مقدار طبیعی خود کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر ۳dB افت می‌کند.

۱۸-۲- الگوی پرسش کامل کردنی

۱-۱۸-۲- تقویت‌کننده با آرایش دارای بهره ولتاژ زیاد و بهره جریان کم و کوچک‌تر از واحد است.

صحیح یا غلط

۲-۱۸-۲- در تقویت‌کننده آمپتر مشترک بین جریان ورودی (I_B) و جریان خروجی (I_C) اختلاف فاز وجود دارد.

□ صحیح □ غلط

پاسخ کوتاه

۳-۱۸-۲- در کدام یک از تقویت‌کننده‌های CB، CE و CC، امپدانس ورودی کم‌تر و پهنای باند وسیع‌تر (پاسخ فرکانسی مطلوب‌تر) است؟

چهارگزینه‌ای

۴-۱۸-۲- کدام رابطه فرمول محاسبه مقاومت خروجی یک تقویت‌کننده را به درستی بیان می‌کند؟

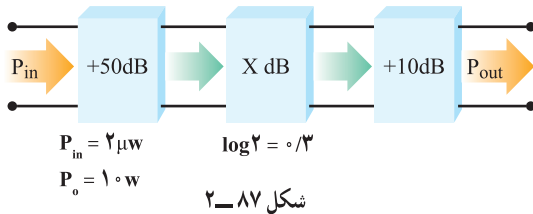
$$R_O = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}} \quad (۱)$$

$$R_O = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}} \times R_L \quad (۲)$$

$$R_O = \frac{V_{OFL} - V_{ONL}}{V_{OFL}} \times R_L \quad (۳)$$

$$R_O = \frac{V_{OFL} - V_{ONL}}{V_{ONL}} \quad (۴)$$

۵-۱۸-۲- با توجه به بلوک دیاگرام شکل ۸۷-۲ X برحسب دسی‌بل کدام است؟



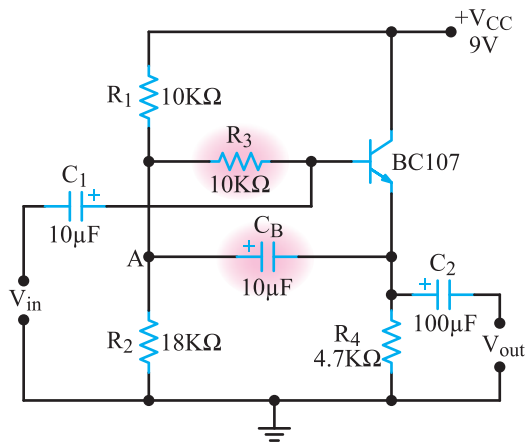
شکل ۸۷-۲

(۱) +۱۳dB

(۲) +۳dB

(۳) -۷dB

(۴) +۷dB



شکل ۲-۸۸

تشریحی

۶-۱۸-۲- مدار یک تقویت کننده کلکتور مشترک را به صورت بایاس سرخود رسم کنید و نحوه به دست آوردن مقاومت خروجی آن را با نوشتن فرمول شرح دهید.

۷-۱۸-۲- سه نوع تقویت کننده CE و CB و CC را از نظر مشخصات ویژه در جدولی باهم مقایسه کنید.

۸-۱۸-۲- در مدار شکل ۲-۸۸ چگونه مقاومت R_3 بوت استراپ شده است؟ شرح دهید. امپدانس ورودی مدار به سمت چه مقاومتی میل می کند؟