

### 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 استرپ را شرح دهد.
- ۱۰- تأثیر بوت استرپ 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 امیتر مشترک، 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،  $R_o$ ،  $R_i$  و ...) را نام ببرد.

#### پیش‌گفتار

امپدانس ورودی با استفاده از روش بوت استرپ 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

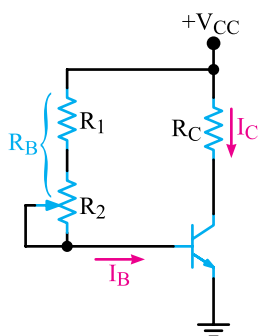
برای آن‌که ترانزیستور به عنوان تقویت کننده درست عمل کند و در سیگنال ورودی اعوجاج به وجود نیارد، باید به طور صحیح تغذیه شود. تغذیه ناکافی و نیز تغذیه بیش از حد، ممکن است

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 معادله (۲-۲)

$$I_C = \beta I_B$$

با توجه به معادله (۲-۲)، مقدار جریان  $I_C$  به مقدار  $\beta$ ی ترانزیستور بستگی دارد. چون مقدار  $\beta$  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): در

مدار شکل ۲-۱ نقطه کار تا حد زیادی به مقدار  $\beta$ ی ترانزیستور وابسته است و با تغییر  $\beta$ ، نقطه کار جابجا می‌شود. برای این که مدار فوق در برابر تغییرات  $\beta$  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

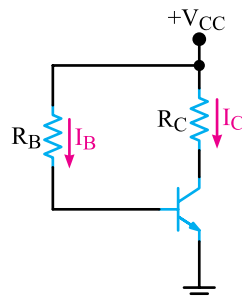
در سیگنال خروجی تغییر شکل (اعوجاج) به وجود آورد. به علاوه، تغذیه بیش از حد موجب اتلاف توان می‌شود و بازده (Efficiency) تقویت‌کننده را پایین می‌آورد. تغذیه ترانزیستور را با جریان مستقیم بایاسینگ (Biasing) می‌گویند. بایاسینگ، ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC در یک وضعیت ثابت قرار می‌دهد، به این وضعیت ثابت 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 به عنوان تقویت‌کننده، رگولاتور و ... استفاده نماییم.

**نکته مهم:** فقط در بعضی کاربردهای ویژه است که ترانزیستور به عنوان 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.

## ۲-۱-۱- 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.



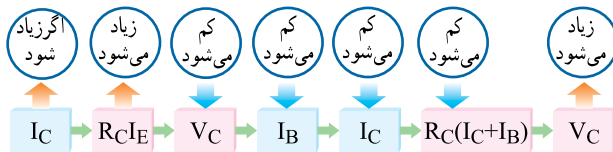
شکل ۲-۱- بایاس ثابت

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.

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

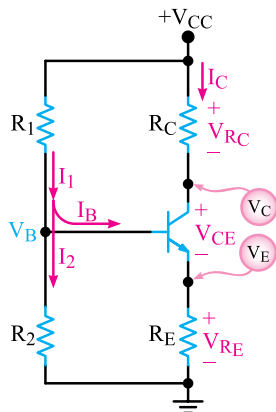
افزایش ولتاژ نقطه C، ولتاژ دوسر مقاومت  $R_B$  و  $V_{BE}$  را افزایش می‌دهد. با افزایش  $V_{BE}$  مقدار جریان  $I_B$  زیاد می‌شود.

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.



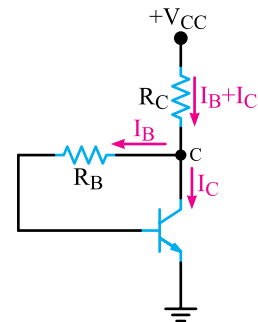
### ۲-۱-۳- بایاس با مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی

(Voltage divider Bias) یا تغذیه سرخود (Self Bias): در مواردی که حتی تغییرات جزئی  $V_{CE}$  و  $V_{CC}$  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  $\beta$  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.

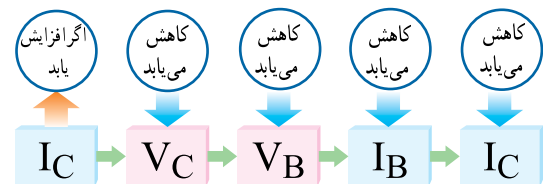


شکل ۲-۴- تغذیه سرخود

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.

معادله (۲-۳)

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

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

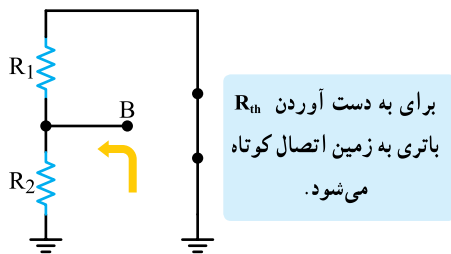
بر اساس معادله ۲-۳ با افزایش مقدار جریان  $I_C$ ، افت ولتاژ دو سر مقاومت  $R_C$  یعنی  $(I_B + I_C)R_C$  بیش‌تر می‌شود و ولتاژ نقطه C کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل نقطه C موجب کاهش اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت  $R_B$  می‌شود و این امر مقدار جریان  $I_B$  را کاهش می‌دهد زیرا:

پس می‌توانیم بنویسیم:

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

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.

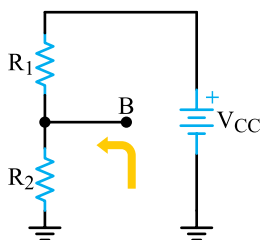
بنابراین با توجه به شکل ۲-۶ مقاومت معادل تونن ( $R_{th}$ ) از موازی شدن دو مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  به دست می‌آید.



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.

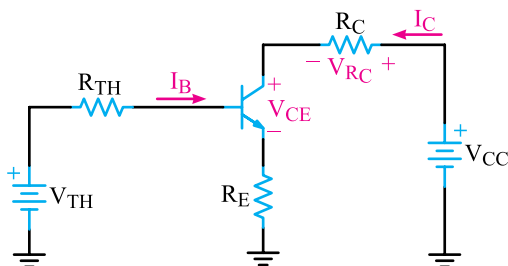


شکل ۲-۷ مدار معادل برای به دست آوردن  $V_{th}$

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  $I_B$  را ۵ تا ۱۰ برابر  $I_B$  در نظر می‌گیرند. در این شرایط با توجه به کوچک بودن  $I_B$  در مقایسه با  $I_E$ ، 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

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

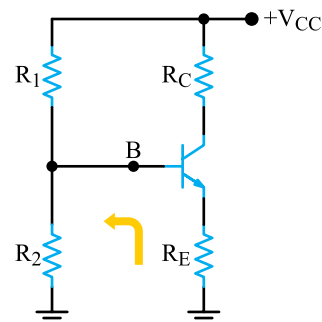
از طرفی جریانی که از پایه آمیتر ترانزیستور خارج می‌شود

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

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  $\beta$  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.



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.

$$V_E = V_B - V_{BE} \quad \text{ثابت}$$

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.

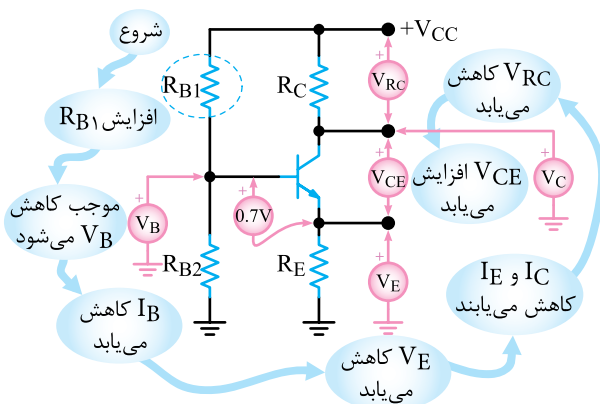
با کاهش  $I_C$ ، افت ولتاژ در دوسر مقاومت  $R_C$  کم می‌شود و ولتاژ کلکتور ترانزیستور را افزایش می‌دهد.

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

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 ۲-۹ نشان داده شده است.



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

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  $R_E$  بهره 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  $R_E$ ،  $R_1$  و  $R_2$  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.

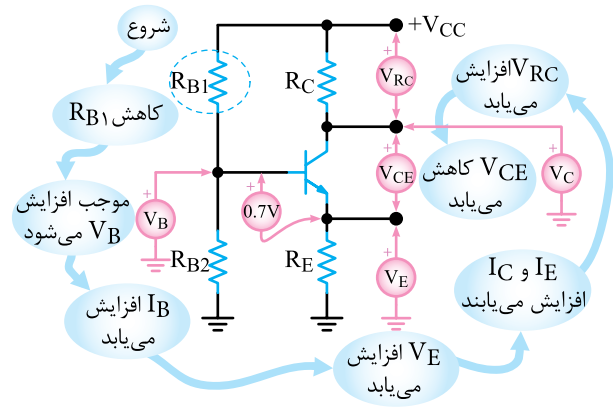
## ۲-۳-۲ تأثیر تغییر مقاومت‌های بایاس روی ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور

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

### ۲-۳-۱ تغییرات $R_{B1}$ : با افزایش مقدار $R_{B1}$ افت

ولتاژ دوسر  $R_{B2}$  یعنی  $V_B$  کاهش می‌یابد. با استفاده از رابطه  $V_B$

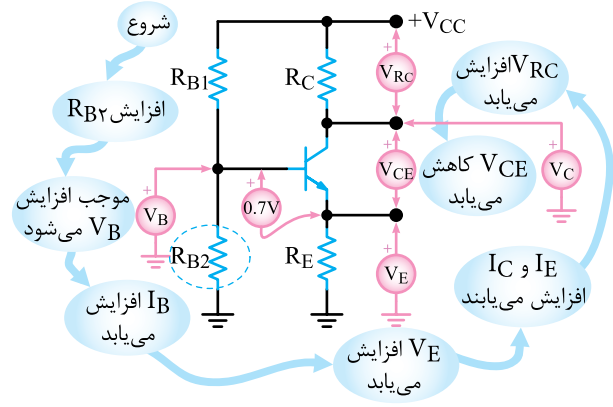
در صورتی که  $R_{B1}$  کاهش یابد روند این تغییرات به طور معکوس انجام می شود. مراحل تأثیر کاهش  $R_{B1}$  روی نقطه کار ترانزیستور در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده است.



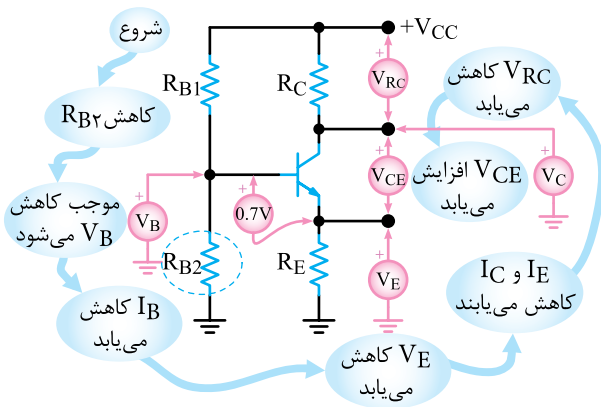
شکل ۲-۱۰ اثر کاهش  $R_{B1}$  روی نقطه کار ترانزیستور

۲-۳-۲ تغییرات  $R_{B2}$ : با افزایش مقدار  $R_{B2}$  افت 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  $V_B$  بر  $R_C$  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  $V_{CE}$  افزایش می یابد و موجب کاهش  $V_C$  می شود. زیرا

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

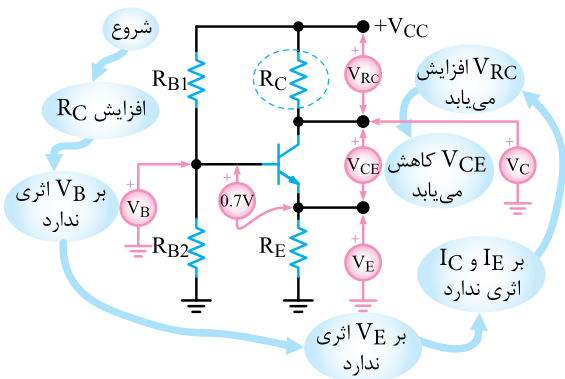
با توجه به تقریب های در نظر گرفته شده تقریباً ثابت است

افزایش  $R_C$  موجب افزایش  $R_C I_C$  می شود

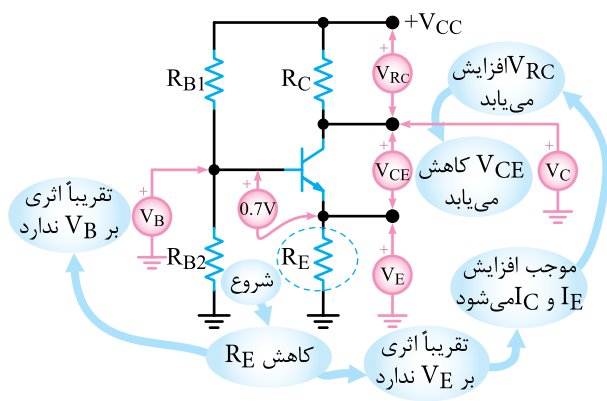
ثابت است

کاهش  $V_C$  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



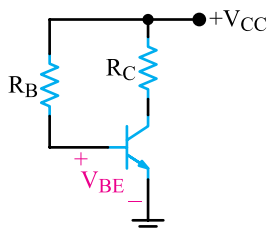
شکل ۲-۱۶- تأثیر کاهش  $R_E$  بر نقطه کار ترانزیستور

## ۲-۴- الگوی پرسش

صحیح یا غلط

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

□ صحیح □ غلط

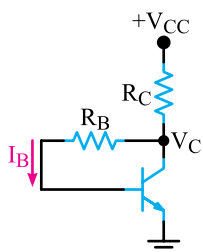


شکل ۲-۱۷

کامل کردنی

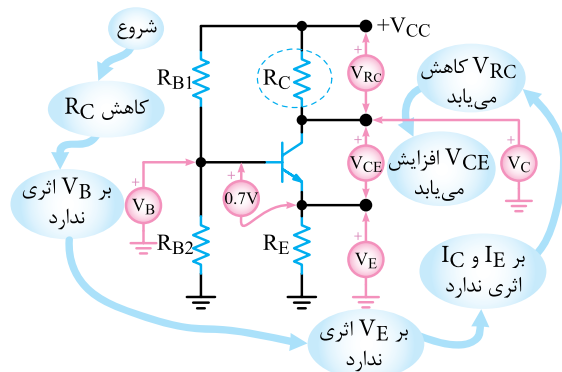
۲-۴-۲- در مدار شکل ۲-۱۸ اگر جریان  $I_B$  افزایش

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.

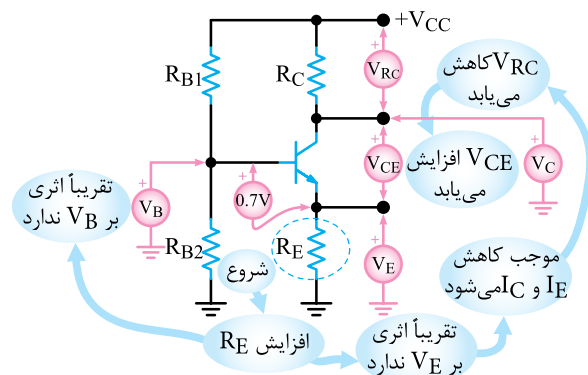


شکل ۲-۱۴- اثر کاهش  $R_C$  روی نقطه کار ترانزیستور

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

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

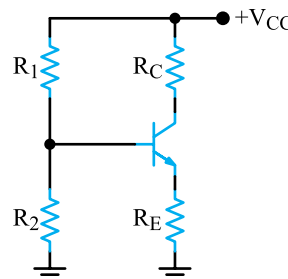
شده، مشاهده می شود که این دو معادله به  $R_E$  بستگی ندارند. لذا تغییر  $R_E$  تقریباً تأثیری بر  $V_B$  و  $V_E$  ندارد و  $V_B$  و  $V_E$  تقریباً ثابت خواهند ماند. چون  $V_E$  تقریباً ثابت می ماند، با افزایش  $R_E$  مقدار  $I_E$  کاهش و با کاهش  $R_E$  مقدار  $I_E$  افزایش می یابد. افزایش یا کاهش  $I_E$  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 تقویت کننده 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.

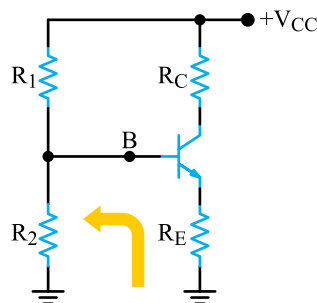
۴-  $V_{CE}$  کم می‌شود.

## 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 تقویت کننده بایاس سرخود

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

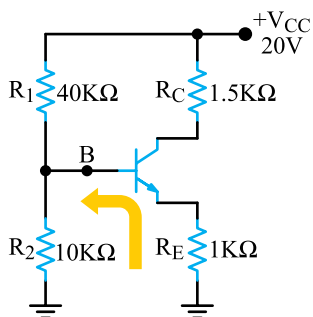


شکل ۲-۲۰

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 تقویت کننده در سیگنال

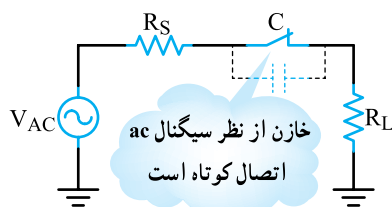
### AC و DC

برای این که ترانزیستور به عنوان تقویت کننده 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 تقویت کننده در سیگنال AC و DC می‌پردازیم.

### ۲-۵-۱ عکس العمل خازن در مدار: با توجه

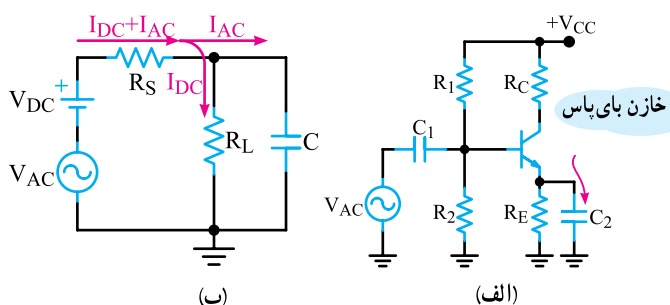
به رابطه مقاومت خازنی یعنی  $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ، مشاهده می‌شود در جریان DC چون  $\omega = 0$  است مقدار  $X_C$  برابر با بی نهایت می‌شود و خازن به صورت مدار باز عمل می‌کند. رابطه نشان می‌دهد که مقاومت خازنی با فرکانس (f) و ظرفیت خازن (C) نسبت عکس دارد. لذا در هنگام تزریق سیگنال ac به مدار، اگر 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

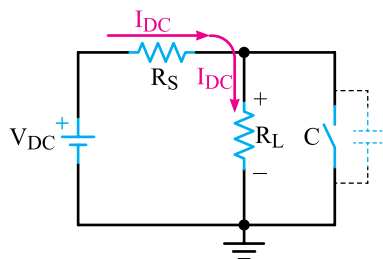
**برای هنرجویان علاقه‌مند:** تحقیق کنید که برای پذیرفتن حالت اتصال کوتاه خازن در جریان متناوب، چه رابطه‌ای باید بین مقادیر  $R_S$ ،  $R_L$  و  $X_C$  برقرار باشد.

**ب) خازن بای‌پاس:** شکل ۲-۲۵- الف و ب خازن بای‌پاس را در یک تقویت کننده بایاس سرخود و یک مدار ساده نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۵- مدار ساده با خازن بای‌پاس

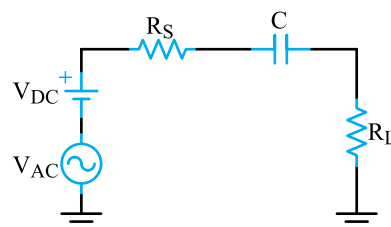
بر خلاف خازن کوپلاژ که با بار سری است، خازن بای‌پاس به صورت موازی با بار قرار می‌گیرد. نقش خازن در این مدار ساده، جلوگیری از عبور سیگنال متناوب از  $R_L$  و هدایت آن از طریق خازن به زمین است. در این مدار نیز از نظر DC خازن مانند کلید باز عمل می‌کند. بنابراین ولتاژ DC دوسر  $R_L$  ثابت باقی می‌ماند. شکل ۲-۲۶ رفتار خازن را در مقابل سیگنال DC نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۶- خازن بای‌پاس در مقابل سیگنال DC

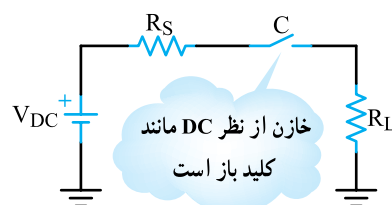
اتصال کوتاه در نظر گرفت. با توجه به این موضوع، خازن در مدارهای تقویت کننده به دو صورت کوپلاژ و بای‌پاس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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



شکل ۲-۲۲- مدار ساده با خازن کوپلاژ

می‌دانیم خازن در سیگنال DC به صورت مدار باز عمل می‌کند. در فرکانس‌های پایین نیز خازن تقریباً رفتاری مشابه مدار باز دارد و نمی‌تواند تمام سیگنال متناوب را به بار انتقال دهد. شکل ۲-۲۳ رفتار خازن را در برابر سیگنال DC نشان می‌دهد.

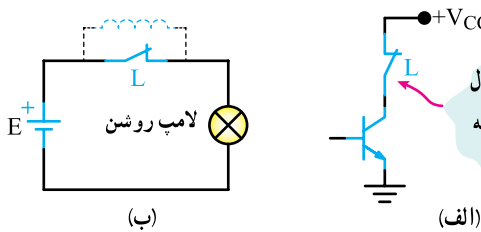


شکل ۲-۲۳- خازن در برابر سیگنال DC

برای آن که خازن کوپلاژ بتواند قسمت اعظم سیگنال متناوب (ac) را به بار  $R_L$  انتقال دهد، باید در پایین‌ترین فرکانس سیگنال ac تقریباً به صورت اتصال کوتاه عمل کند. بدیهی است هر قدر فرکانس بالاتر می‌رود، مقدار مقاومت خازنی کم‌تر و خازن به حالت اتصال کوتاه کامل نزدیک‌تر می‌شود.

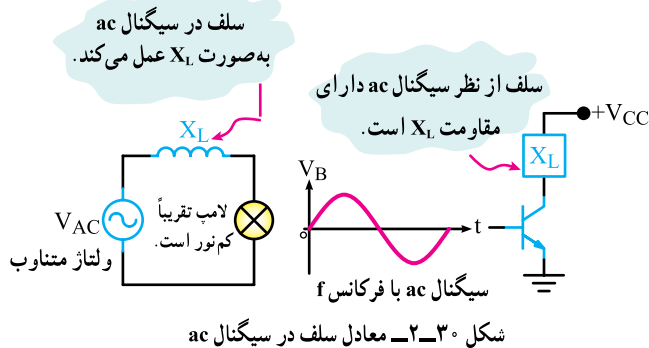
شکل ۲-۲۴ خازن را در مقابل سیگنال ac به صورت کلید بسته (تقریباً اتصال کوتاه) نشان می‌دهد.

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



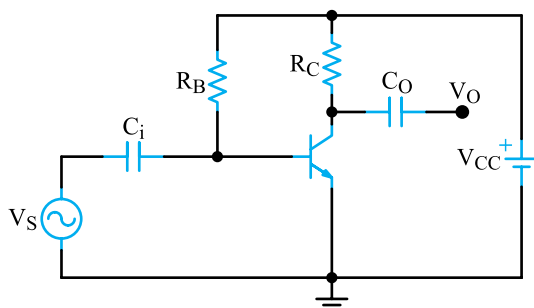
شکل ۲-۲۹- معادل سلف در DC

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



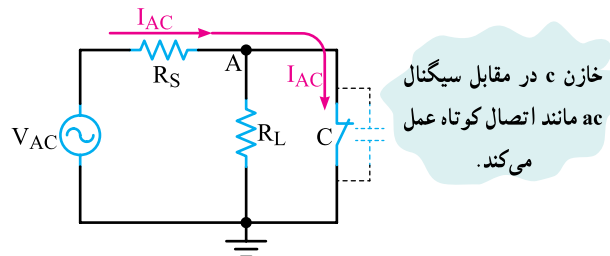
شکل ۲-۳۰- معادل سلف در سیگنال ac

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.

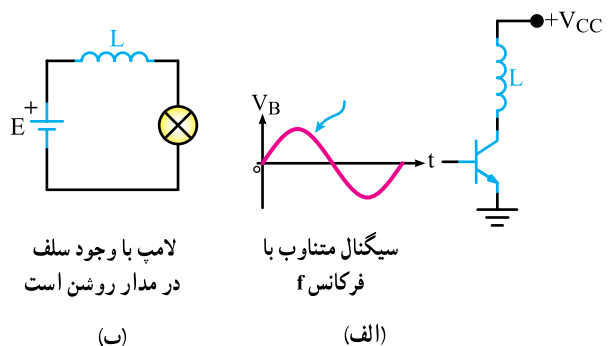


شکل ۲-۲۷- خازن  $C$  در مقابل ac مانند اتصال کوتاه عمل می‌کند.

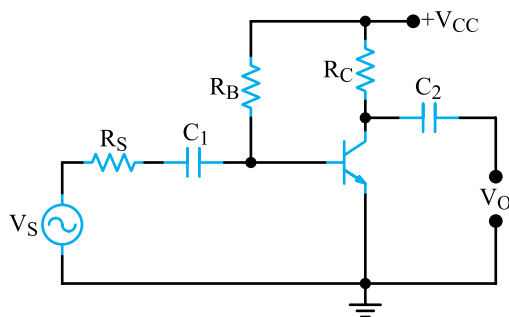
## ۲-۵-۲- عکس‌العمل سیم‌پیچ در مدار: رابطه

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 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.



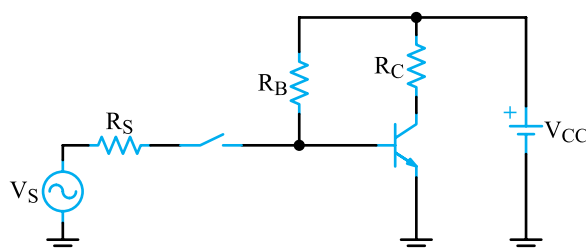
شکل ۲-۲۸



شکل ۲-۳۴

پاسخ : الف) مدار ساده‌معادل DC :

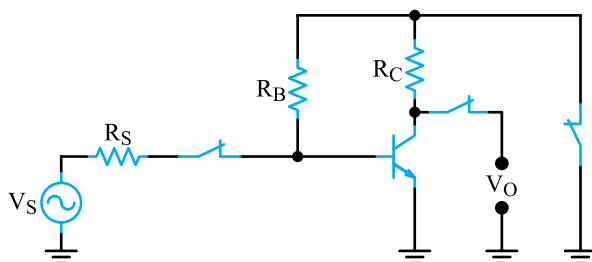
در سیگنال DC، خازن‌های مدار به صورت کلید باز هستند و باتری در جای خود قرار دارد. لذا مطابق شکل ۲-۳۵ منبع سیگنال متناوب از مدار قطع می‌گردد.



شکل ۲-۳۵ مدار معادل DC مثال ۲-۱

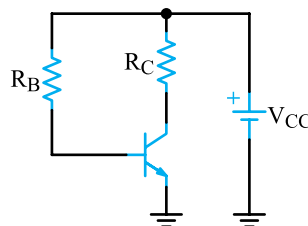
ب) مدار ساده‌معادل ac :

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.



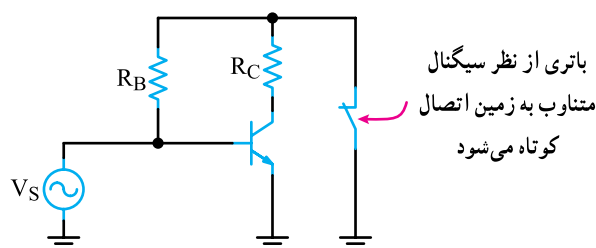
شکل ۲-۳۶ مدار ساده‌معادل ac مثال ۲-۱

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 تقویت‌کننده 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 :

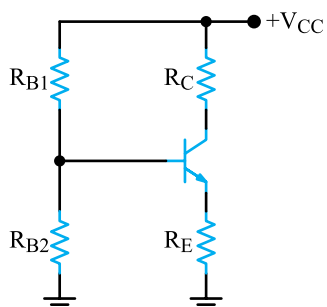
- خازن در مدار DC به صورت باز و در مدار ac در صورت برقرار بودن شرایط، اتصال کوتاه در نظر گرفته می‌شود.
- سلف در مدار DC به صورت اتصال کوتاه و در مدار ac دارای مقاومت سلفی  $X_L$  است.
- باتری در شرایط DC تغییری نمی‌کند، ولی در شرایط ac به صورت اتصال کوتاه دیده می‌شود.

مثال ۲-۱ در شکل ۲-۳۴ مطلوب است :

الف) رسم مدار معادل DC (ساده)،

ب) رسم مدار معادل ac (ساده)

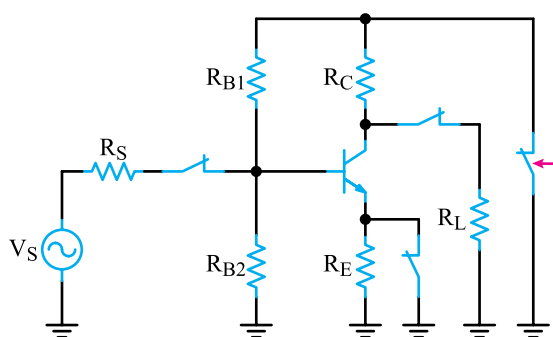
همان طور که مشاهده می‌شود در مدار معادل DC، مقاومت بار، منبع سیگنال ac و  $R_S$  عملاً از مدار حذف می‌شوند و مدار به صورت شکل ۲-۴۰ درمی‌آید.



شکل ۲-۴۰ مدار ساده معادل DC مثال ۲-۲

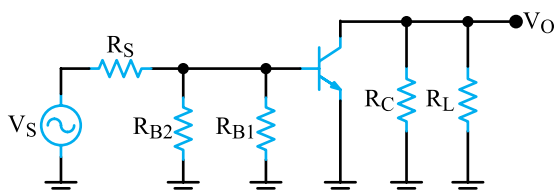
(ب) مدار ساده معادل ac :

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.



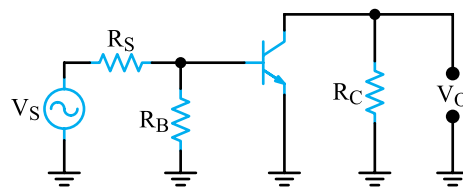
شکل ۲-۴۱ مدار معادل ac شکل ۲-۳۸

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 بالایی  $R_B$  و  $R_C$  از طریق ظرفیت خازنی داخلی باتری به زمین متصل شده‌اند. لذا می‌توان مدار را به صورت شکل ۲-۳۷ ترسیم نمود.

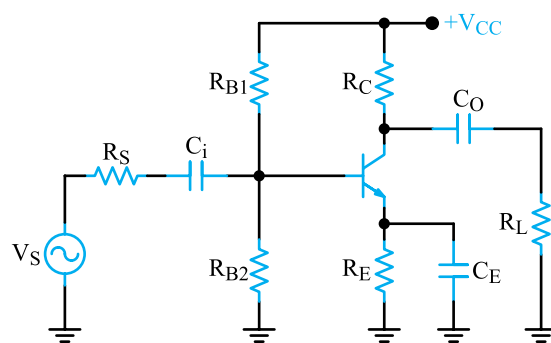


شکل ۲-۳۷ مدار ساده معادل ac مثال ۲-۱

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

(الف) رسم مدار ساده معادل DC

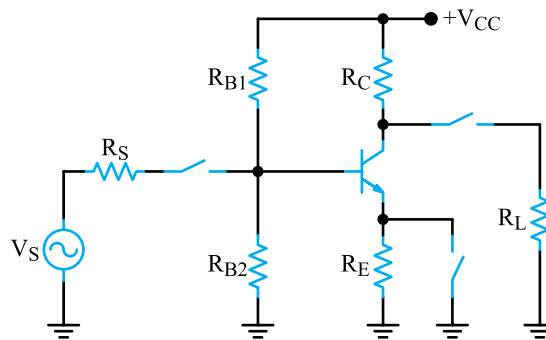
(ب) رسم مدار ساده معادل ac



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.



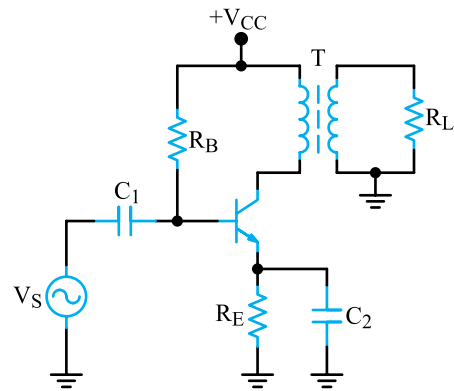
شکل ۲-۳۹ مدار ساده معادل DC مثال ۲-۲



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

الف) رسم مدار ساده معادل DC

ب) رسم مدار ساده معادل ac

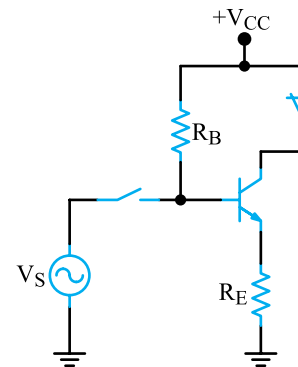


شکل ۲-۴۳

پاسخ : الف) مدار معادل DC :

در مدار معادل DC مطابق شکل ۲-۴۴ خازن های مدار

باز و سلف تقریباً اتصال کوتاه می شود.

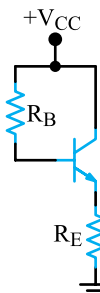


شکل ۲-۴۴ مدار معادل DC

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 می شوند

و مدار به صورت شکل ۲-۴۵ در می آید.



شکل ۲-۴۵ مدار معادل DC

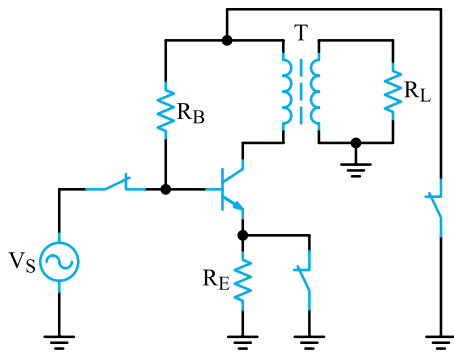
ب) مدار معادل ac :

در سیگنال ac خازن های مدار اتصال کوتاه می شوند و

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

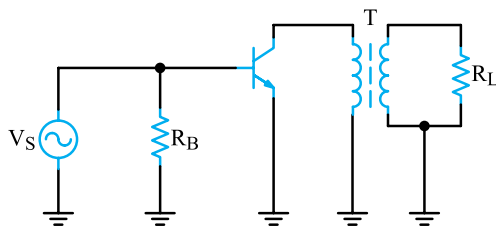
خود تقریباً به زمین اتصال کوتاه است. شکل ۲-۴۶ مدار معادل

ac را نشان می دهد.



شکل ۲-۴۶ مدار معادل ac

مدار را می توان 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 ایده آل دارای مقاومت ..... است.

صحیح یا غلط

۲-۶-۲ خازن های بای پاس در مقابل سیگنال DC

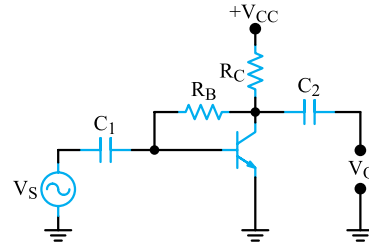
مانند یک کلید بسته و در مقابل سیگنال ac مانند یک کلید باز

عمل می کنند.

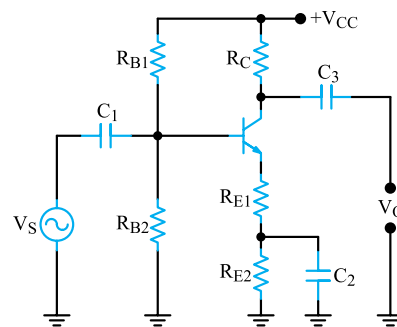
□ غلط □ صحیح

## ترسیمی و تشریحی

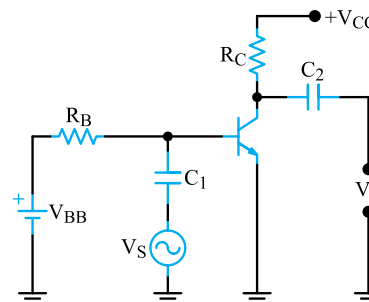
۲-۶-۳- معادل DC و ac هر یک از مدارهای شکل ۲-۴۸ و ۲-۴۹ و ۲-۵۰ و ۲-۵۱ را رسم کنید و نوع بایاس DC را نام ببرید.



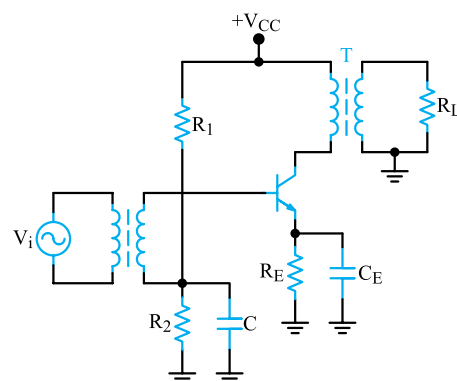
شکل ۲-۴۸



شکل ۲-۴۹



شکل ۲-۵۰

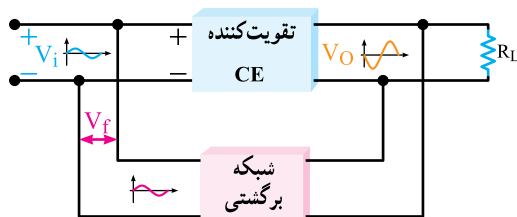


شکل ۲-۵۱

## 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.

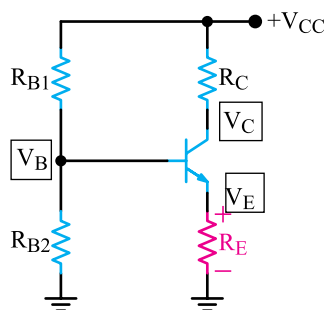


شکل ۲-۵۲- بلوک دیاگرام تقویت کننده با فیدبک

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 تقسیم‌بندی 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 نشتی از مواردی است که تغییر آن باعث جابه جایی نقطه کار می شود. به عنوان مثال اگر جریان نشتی 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.

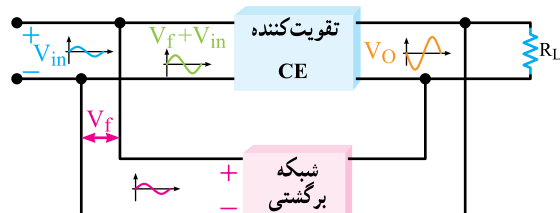
مقدار  $V_B$  تقریباً ثابت است و از رابطه زیر به دست

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

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 نشتی 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.

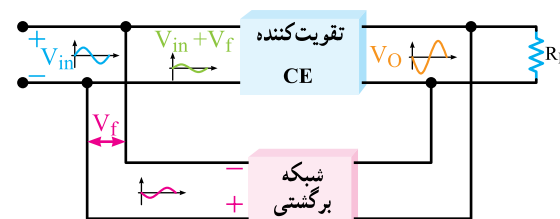
ولتاژ ورودی تقویت کننده کاملاً هم فاز باشد، فیدبک مثبت رخ می دهد. در این حالت چون دو ولتاژ با هم هم فاز است، ولتاژ ورودی تقویت کننده افزایش می یابد. افزایش ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی تقویت کننده را نیز افزایش می دهد، این نوع فیدبک را که منجر به افزایش دامنه ولتاژ خروجی تقویت کننده می شود، فیدبک مثبت می 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  $180^\circ$  اختلاف فاز داشته باشد فیدبک منفی به وجود می آید. در این حالت ولتاژ فیدبک، به دلیل  $180^\circ$  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.

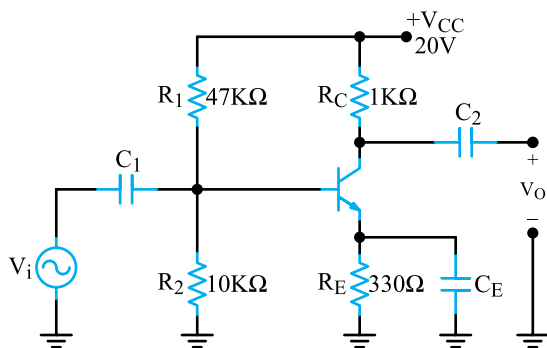
مقدار ظرفیت خازنی که باید در مدار قرار بگیرد باید مساوی یا بزرگتر از عدد به دست آمده انتخاب شود. به عبارت دیگر لازم است همواره رابطه :

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

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 ۵۰۰ هرتز تا ۷ کیلوهرتز تغییر کند، ظرفیت خازن  $C_E$  را چقدر انتخاب کنیم تا  $R_E$  در مقابل سیگنال ac به درستی بای پاس شود؟

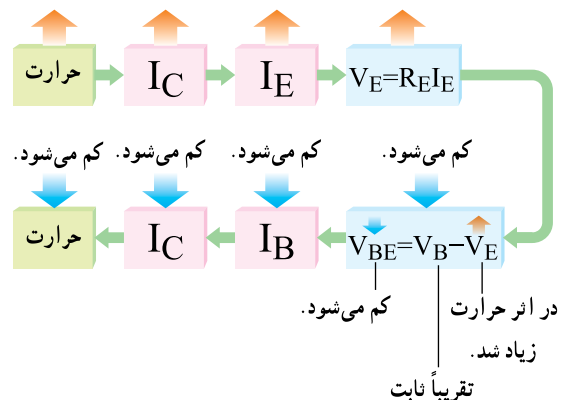


شکل ۲-۵۷

پاسخ :  $f_{\min} = 500 \text{ Hz}$

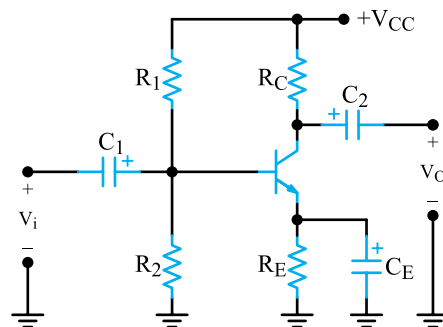
$f_{\max} = 7 \text{ KHz}$

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



### 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  $R_E$  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

۲-۹-۳ مقدار ظرفیت خازن بای پاس از رابطه  

$$\frac{1}{2\pi f_{\max} C} = \frac{R_E}{10}$$
 به دست می‌آید.

□ صحیح □ غلط

### تشریحی

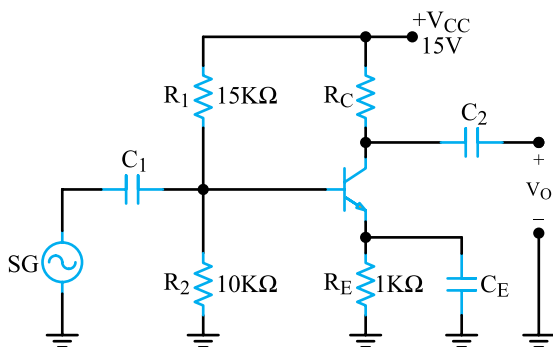
۲-۹-۴ فیدبک را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.  
 ۲-۹-۵ در تقویت کننده‌ها از چه نوع فیدبکی استفاده می‌کنند؟ دلیل آن را توضیح دهید.

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

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

### محاسباتی

۲-۹-۸ اگر فرکانس ورودی تقویت کننده شکل ۲-۵۹ از ۱۰۰ هرتز تا ۱۵ کیلوهرتز تغییر کند حداقل ظرفیت خازن بای پاس  $(C_E)$  را محاسبه کنید.



شکل ۲-۵۹

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

محاسبه مقاومت خازن:

$$X_C = \frac{R_E}{10} = \frac{33\Omega}{10} = 3.3\Omega$$

محاسبه  $C_E$ :

$$\frac{1}{2\pi f_{\min} C_E} = \frac{R_E}{10} = 3.3\Omega$$

$$C_E = \frac{1}{2\pi(50)(3.3)} F$$

$$C_E = 9.65\mu F \approx 10\mu F$$

خازن مناسب خازنی است که مقدار آن برابر با  $10\mu F$  یا بزرگ‌تر باشد.

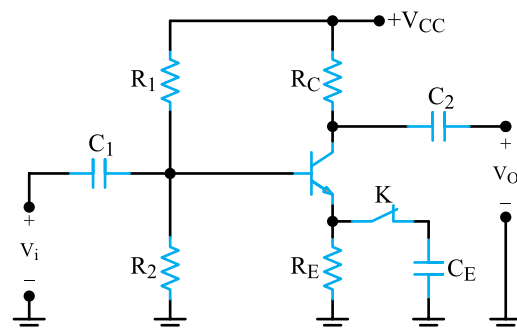
**توجه:** پس از محاسبه مقدار ظرفیت خازن باید به مقدار ولتاژ کار خازن (WV) نیز توجه نمایید. زیرا در صورتی که ولتاژ کار خازن کم‌تر از مقدار ولتاژ داده شده به دوسر آن در مدار باشد، خازن آسیب خواهد دید.

## ۲-۹ الگوی پرسش کامل کردنی

۲-۹-۱ 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 مقاومت‌های فوق باید در نظر گرفت توجه به نقطه کار DC و مفروضاتی است که معمولاً برای تقویت‌کننده‌های امیتر مشترک در نظر می‌گیرند.

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

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.

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

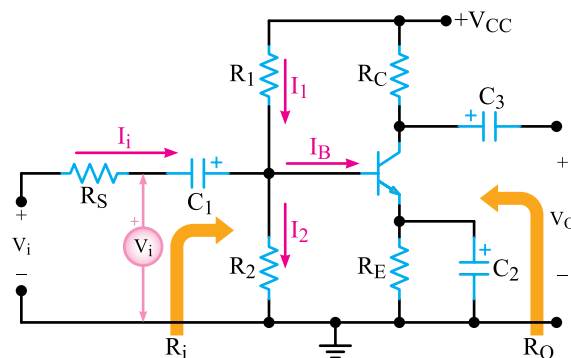
حرف  $\beta$  را برای بهره جریان DC به کار می‌برند. در جریان متناوب، برای به دست آوردن بهره جریان از پارامتر دیگری به نام  $h_{fe}$  استفاده می‌شود که مقدار آن از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

در بسیاری موارد مقدار  $h_{fe}$  تقریباً با مقدار  $\beta$  برابر می‌شود.  $\beta$  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

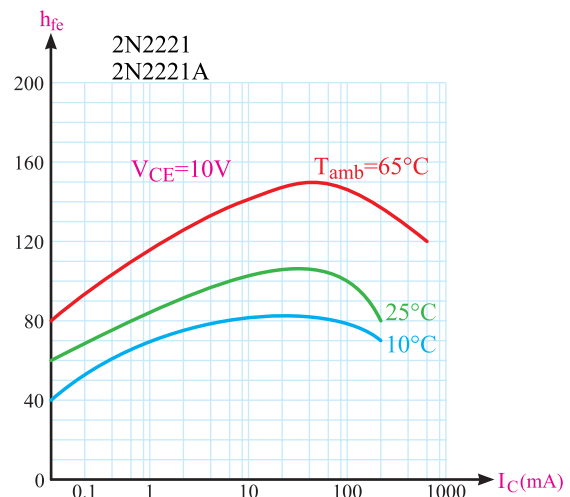
همان‌طور که ملاحظه می‌شود برای جلوگیری از افت ولتاژ متناوب در دوسر مقاومت  $R_E$ ، دوسر مقاومت را توسط خازن  $C_E$  که خازن بایاس نامیده می‌شود، اتصال کوتاه می‌کنند. خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  خازن‌های کوپلاژ هستند. این خازن‌ها مانع ورود سیگنال DC از یک طبقه به طبقه دیگر می‌شوند. مجموعه مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_E$  و  $R_C$  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.

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

$R_2$ : درباره محاسبه مقاومت‌های بایاس ترانزیستور در مباحث

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



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

همان‌طور که در منحنی شکل ۲-۶۱ 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  $h_{fe} \approx 84$  و در  $I_C = 3\text{mA}$  مقدار  $h_{fe} \approx 108$  و در  $I_C = 10\text{mA}$  مقدار  $h_{fe}$  تقریباً ۱۰۰ است.

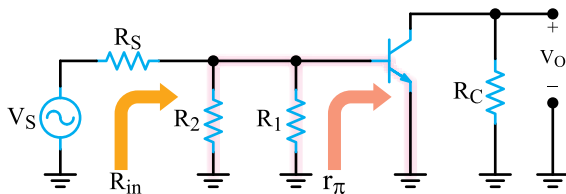
۳-۱۰-۲- بهره و ولتاژ: اگر به ورودی تقویت‌کننده آمپتر مشترک ولتاژ متناوبی اعمال کنیم با توجه به محدودیت  $V_{BE}$  تغییرات ولتاژ ورودی یعنی تغییرات ولتاژ بیس آمپتر محدود و با دامنه کم است. اما ولتاژ متناوب خروجی که همان تغییرات ولتاژ کلکتور آمپتر است، دامنه زیادی دارد. لذا تقویت‌کننده آمپتر مشترک ولتاژ 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 تقویت‌کننده آمپتر مشترک، هم‌فازند، زیرا با افزایش جریان بیس (جریان ورودی)، جریان کلکتور (جریان خروجی) نیز افزایش می‌یابد. اما در تقویت‌کننده آمپتر مشترک ولتاژ ورودی و خروجی به اندازه

۱۸۰ 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 ۲-۶۰ 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 تقویت‌کننده شکل ۲-۶۲ توجه کنید.

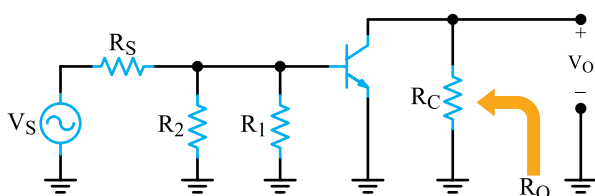


شکل ۲-۶۲- مدار ساده معادل ac تقویت‌کننده آمپتر مشترک

مقاومت ورودی از سه مقاومت موازی  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_E$  و مقاومت ترانزیستور ( $r_{\pi}$ ) تشکیل می‌شود. در صورتی که مقاومت معادل  $R_1$  و  $R_2$  در مقایسه با  $r_{\pi}$  زیاد باشد مقاومت ورودی به سوی مقاومت  $r_{\pi}$  (مقاومت دیود بیس آمپتر) 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 تقویت‌کننده آمپتر مشترک، از خروجی توجه کنید (شکل ۲-۶۳).

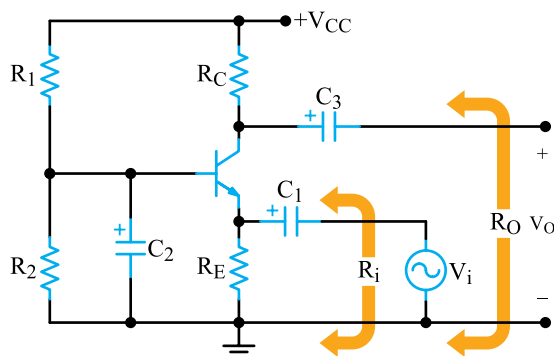


شکل ۲-۶۳- مدار ساده معادل ac تقویت‌کننده

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

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

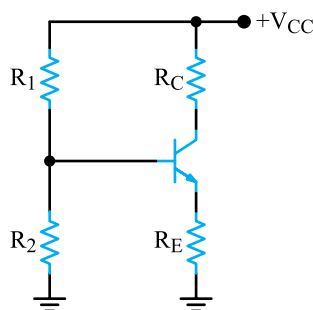
در تقویت کننده بیس مشترک، ورودی مدار، امیتر بیس و خروجی آن کلکتور بیس است. شکل ۶۵-۲ یک تقویت کننده بیس مشترک با تغذیه سرخود را نشان می دهد.



شکل ۶۵-۲ یک تقویت کننده بیس مشترک

اگر به مدار ساده معادل DC و ac در شکل های ۶۶-۲ و ۶۷-۲ 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 C1 به امیتر داده می شود، خروجی نیز از طریق خازن کوپلاژ C2 از کلکتور گرفته می شود و بیس نیز از طریق خازن C2 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.



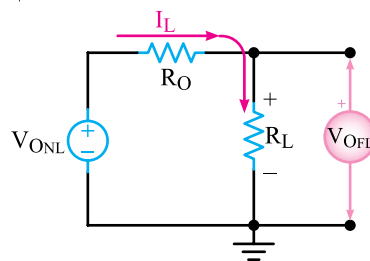
شکل ۶۶-۲ مدار ساده معادل DC تقویت کننده بیس مشترک

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 (RL) را VONL (No load) و ولتاژ خروجی در حالت باردار (حالت طبیعی کار دستگاه) را VOFL (Full load) می نامند. برای محاسبه RO ابتدا مدار معادل تونن خروجی تقویت کننده را مانند شکل ۶۴-۲ رسم می کنیم.



شکل ۶۴-۲ 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.

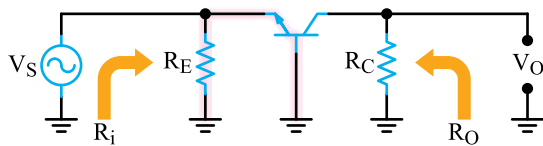
از تقسیم ولتاژ VONL بین RO و RL استفاده می کنیم.

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

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

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





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.

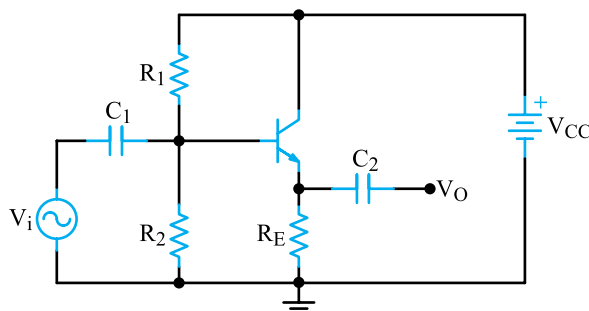
$$R_i = R_E \parallel r_e = R_E \parallel \frac{r_{\pi}}{\beta}$$

### ۵-۱۱-۲- مقاومت خروجی : با توجه به شکل

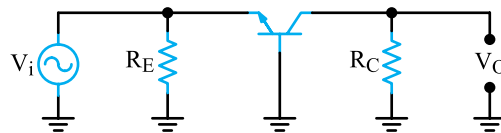
۶۸-۲ که مدار ساده معادل ac تقویت کننده بیس مشترک است، مقاومت خروجی ( $R_O$ ) از درگاه خروجی یعنی از کلکتور بیس محاسبه می شود. چون دیود کلکتور- بیس در بایاس مخالف قرار دارد. مقدار مقاومتی که از درگاه کلکتور بیس دیده می شود، بسیار بزرگ است از طرفی چون مقاومت  $R_C$  با مقاومت کلکتور بیس موازی می شود، مقاومت 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.

### ۱۲-۲- 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

### ۱-۱۱-۲- 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.

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

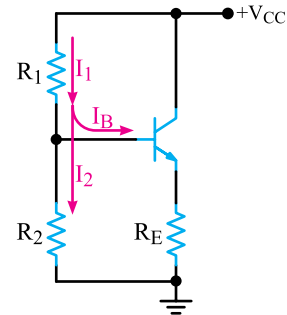
### ۳-۱۱-۲- اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و

خروجی : در تقویت کننده بیس مشترک جریان ورودی با جریان خروجی و همچنین ولتاژ ورودی و خروجی هم فاز هستند.

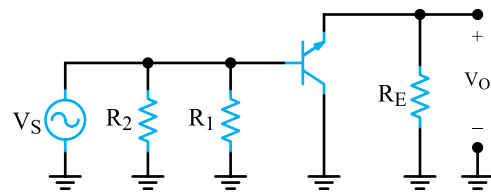
### ۴-۱۱-۲- مقاومت ورودی : همان طوری که

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  $I_E = I_B$  است، محاسبه می کنند. چون جریان  $I_E$  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 :

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

$\gamma$  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 :

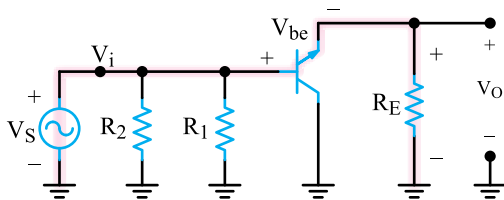
$$V_{EC} = V_{EB} + V_{BC}$$

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 :

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

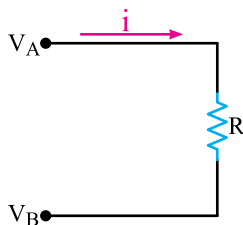
$$V_i = V_{be} + V_o$$

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

$r_{\pi}$  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 مقاومت های بایاس با خازن بوت استرپ (Boot strap) : چون مقاومت های تقسیم کننده ولتاژ  $R_1$  و  $R_2$  با مقاومت ورودی ترانزیستور یعنی مقاومتی که از بیس کلکتور دیده می شود موازی است، مقاومت ورودی ترانزیستور کاهش می یابد. برای خنثی کردن اثرگذاری مقاومت های بایاس  $R_1$  و  $R_2$  بر مقاومت ورودی ترانزیستور از روشی به نام بوت استرپ کردن استفاده می کنند. 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 می شود 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 می شود و مقدار آن به سمت بینهایت ( $R \rightarrow \infty$ ) میل می کند. از این خاصیت که بوت استرپ کردن مقاومت نام دارد، برای افزایش مقدار مقاومت ورودی تقویت کننده ها در برابر سیگنال ac استفاده می کنند. در شکل ۲-۷۵ یک طبقه تقویت کننده کلکتور مشترک را مشاهده می کنید. در این تقویت کننده به منظور افزایش مقاومت ورودی  $R_2$  بوت استرپ شده است.

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

بنابراین در مدار کلکتور مشترک مقدار  $A_V$  کوچک تر از واحد به دست می آید.

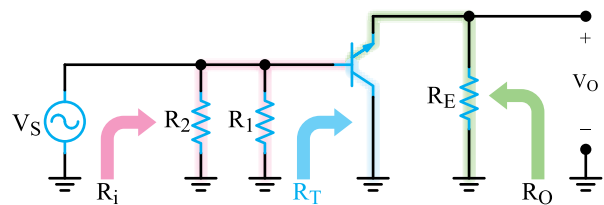
۲-۱۲-۳- اختلاف فاز بین سیگنال های ورودی و خروجی : در مدار کلکتور مشترک، ولتاژ خروجی تابعی از ولتاژ ورودی است؛ بنابراین، در این آرایش بین ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی اختلاف فازی وجود ندارد. همچنین، اختلاف فاز بین جریان های ورودی و خروجی صفر است.

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

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

$R_T$  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 می کند.

$$R_i \approx R_1 \parallel R_2$$



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 می آید. این مقاومت از  $R_E$  کوچک تر است. با تقریبی قابل قبول می توان  $R_O$  را از رابطه زیر به دست آورد :

$$R_O = R_E \parallel r_e$$

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

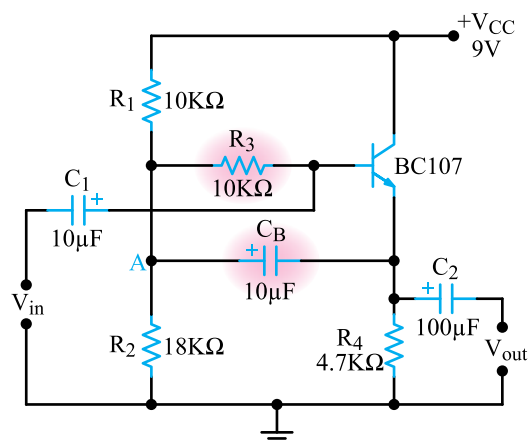
مقدار مقاومت بوت استرپ به ضریب تقویت ولتاژ ترانزیستور بستگی دارد و مقدار آن ممکن است تا یک مگا اهم برسد. توجه داشته باشید که در این مدار از نوعی فیدبک مثبت استفاده شده است. به این ترتیب با بوت استرپ شدن  $R_p$  اثر مجموعه مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  تا حدودی خنثی شده و مقاومت ورودی به شدت افزایش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

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

همان‌طوری که در مباحث قبلی مشاهده کردید، سه نوع آرایش تقویت‌کننده‌ها ( $CC$ ،  $CB$ ،  $CE$ ) از نظر میزان بهره ولتاژ و جریان و مقاومت‌های ورودی و خروجی کاملاً باهم متفاوت هستند. هم‌چنین بهره توان این تقویت‌کننده‌ها که از رابطه  $A_p = A_v \times A_i$  محاسبه می‌شود نیز باهم متفاوت است. تقویت‌کننده آمیتر مشترک به علت داشتن بهره ولتاژ و بهره جریان نسبتاً زیاد، بهره توان بسیار زیادی دارد به همین دلیل کاربرد آن در مدارهای مختلف الکترونیکی بسیار زیاد است. در جدول ۱-۲ 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

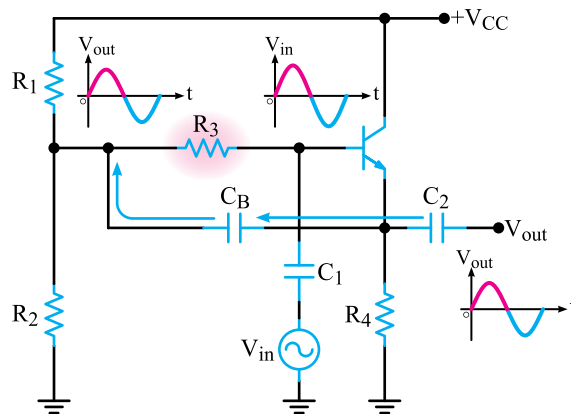
تقویت‌کننده‌ها در قالب واژه‌های کم، زیاد و متوسط برای یک ترانزیستور خاص و در شرایط بایاس مشابه (تأحد امکان) استفاده می‌شود. به عنوان مثال اگر مقاومت خروجی یک تقویت‌کننده آمیتر مشترک برابر با  $1\text{ k}\Omega$  باشد مقدار  $1\text{ k}\Omega$  حد متوسط در نظر گرفته می‌شود و مقاومت خروجی تقویت‌کننده بیس 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 کوپلر  $C_1$  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  $1\text{ k}\Omega$  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 ۲-۱

امیتر مشترک (CE)	بیس مشترک (CB)	کلکتور مشترک (CC)	
متوسط	کم و کوچک تر از واحد	زیاد	بهره جریان
متوسط	زیاد	کم و کوچک تر از واحد	بهره ولتاژ
خیلی زیاد	زیاد و تقریباً برابر بهره ولتاژ	زیاد و تقریباً برابر بهره جریان	بهره توان
متوسط	کم	زیاد	مقاومت ورودی
متوسط	زیاد	کم	مقاومت خروجی
$180^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ$	اختلاف فاز

ورودی زیاد و امپدانس خروجی کم است. از این تقویت کننده به عنوان تقویت کننده جریان در رگولاتورها و تقویت کننده انتهای 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.

## ۲-۱۶- 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 هایی 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  $10^\circ$  یا  $100^\circ$  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 صدا های فوق العاده شدید را می دهد. با توجه به حساسیت لگاریتمی گوش انسان در برابر شدت صدا، به منظور درک بهتر مفهوم تقویت کننده گی، تصمیم بر این گرفته شد که میزان تقویت کننده گی یک دستگاه تقویت کننده را به صورت لگاریتمی بیان کنند.

**نکته مهم:** مبنای تابع لگاریتمی مربوط به پاسخ دستگاه شنوایی عددی غیر از  $(10)$  است. در این مبحث مبنای  $(10)$  فقط به عنوان مثال مطرح شده است.

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

## ۲-۱۵- کاربرد آرایش های مختلف تقویت کننده

### ۲-۱۵-۱- 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 انتهای، میانی و ابتدایی مدار های الکترونیکی استفاده کرد. پهنای باند تقویت کننده امیتر مشترک نسبتاً خوب است. هم چنین بین ولتاژ ورودی و خروجی این نوع تقویت کننده  $180^\circ$  درجه اختلاف فاز به وجود می آید.

### ۲-۱۵-۲- کاربرد تقویت کننده بیس مشترک :

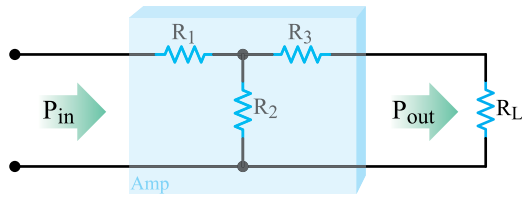
تقویت کننده بیس مشترک، یک تقویت کننده ولتاژ است و باند فرکانسی وسیع تری نسبت به تقویت کننده امیتر مشترک دارد. این تقویت کننده در مواردی به کار می رود که امپدانس ورودی کم مورد نیاز باشد. در این آرایش، ولتاژ های ورودی و خروجی هم فاز هستند.

### ۲-۱۵-۳- 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 ۲-۷۸ - شبکه تضعیف‌کننده مقاومتی

مقدار تضعیف برحسب دسی بل از رابطه زیر به دست

می‌آید:

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

مثال ۲-۶ - اگر توان ورودی شبکه‌ای ۱۰ W و توان

خروجی آن ۵ W باشد بهره توان برحسب مرتبه و برحسب dB را به دست آورید. dB تضعیف چه قدر است؟

پاسخ: بهره توان را برحسب مرتبه به دست می‌آوریم.

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

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

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

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

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

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

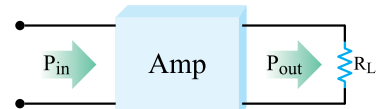
رابطه بهره توان را با استفاده از روش فوق ساده

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 ۲-۷۷ - 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

تقویت‌کننده برحسب دسی بل می‌نامیم. این موضوع با رابطه

لگاریتمی زیر بیان می‌شود.

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

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

۲-۷۷ 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.

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

مقدار  $A_p$  را در رابطه لگاریتمی دسی بل قرار می‌دهیم.

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

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

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

را برابر با ۰/۳ 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 ۲-۷۸ 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 برحسب 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

$$A_p(\text{dB}) = 10 \log 2 = 10 \log (1/0.5) = 3$$

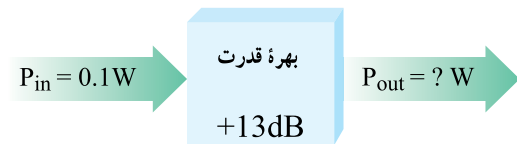
$$A_p = 3 \text{ دسی بل}$$

برای کسب مهارت لازم به حل چند مثال می پردازیم.

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

است؟

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



شکل ۲-۷۹

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

طرفین تساوی را به عدد ۱۰ تقسیم می کنیم:

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

می دانیم  $\log 10 = 1$  و  $\log 2 = 0.3$  است. 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 ۲-۸: 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.

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

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

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

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 ۲-۹: توان خروجی تقویت کننده شکل ۲-۸۰

چند وات است؟



شکل ۲-۸۰

پاسخ : رابطه دسی بل را می نویسیم :

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

اعداد را جایگزین می کنیم :

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

طرفین تساوی را به ۱۰ تقسیم می کنیم :

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

عدد ۳/۳ را به صورت ۰/۳ + ۳ می نویسیم می دانیم  $\log 2 = 0.3$

و  $\log 1000 = 3$  است.

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

اعداد را به صورت مجموع لگاریتم ها درمی آوریم :

$$\log 1000 + \log 2 = \log \frac{P_{\text{out}}}{150}$$

مجموع لگاریتم ها را به لگاریتم حاصل ضرب تبدیل

$$\log(1000 \times 2) = \log \frac{P_{\text{out}}}{150}$$

می کنیم :

مقدار توان خروجی را محاسبه می کنیم :

$$2000 = \frac{P_{\text{out}}}{150} \Rightarrow P_O = 300000 \text{ mW}$$

$$P_O = 300 \text{ W}$$

حل مثال های فوق به گونه ای طراحی شده است که به توان

آن را به صورت مجموع یا تفاضل لگاریتم مضربی از ده یا عدد ۲

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

که هر ۳ دسی بل افزایش در ضریب قدرت معادل با دو برابر

شدن قدرت خروجی و هر ۳ دسی بل کاهش در ضریب قدرت

به معنای نصف شدن قدرت خروجی شبکه است. بنابراین بدون

نیاز به محاسبه های طولانی، قادر به تعیین قدرت خروجی هر شبکه

خواهیم بود.

مثال ۱۰-۲ : توان خروجی شبکه شکل ۸۱-۲ چند

وات است؟

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

ضریب بهره توان آن ها در هم ضرب خواهند شد.

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

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

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

$$\boxed{\text{معادل } 1000000 \text{ مرتبه}} = \boxed{\text{معادل } 100 \text{ مرتبه}} \times \boxed{\text{معادل } 1000 \text{ مرتبه}}$$

۳۰ دسی بل به علاوه ۲۰ دسی بل برابر ۵۰ دسی بل می شود.

۳۰ دسی بل معادل ۱۰۰۰ مرتبه و ۲۰ دسی بل معادل ۱۰۰ مرتبه تقویت

است بنابراین ۵۰ دسی بل معادل ۱۰۰۰۰۰ مرتبه تقویت است.

پاسخ : ابتدا ۳۶ را به صورت زیر می نویسیم :

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

سی دسی بل معادل ۱۰۰۰ برابر و سه دسی بل معادل ۲ برابر

است، پس می توانیم بنویسیم :

$$30 + 3 = 33$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$1000 \times 2 = 2000 \text{ برابر}$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

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

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$2000 \times 2 = 4000 \text{ برابر}$$

به این ترتیب ۳۶ دسی بل معادل ۴۰۰۰ برابر تقویت است.

توان خروجی را محاسبه می کنیم.

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

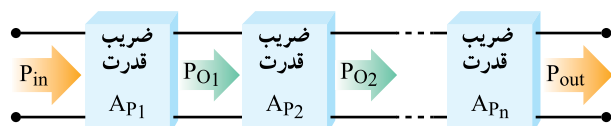
$$P_{\text{out}} = 40000 \text{ mW} = 40 \text{ W}$$

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 :



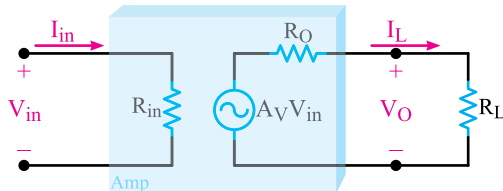
شکل ۸۲-۲ اتصال متوالی تقویت کننده ها



شکل ۸۱-۲



بهره و لتاز : هر تقویت کننده با ضریب بهره و لتاز  $A_V$  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 و لتاز توان بر حسب 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

$$P_O = V_O I_L = V_O \left( \frac{V_O}{R_L} \right) = \frac{V_O^2}{R_L} \quad \text{نوشت :}$$

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 بر حسب دسی بل بیان کنیم نتیجه

می شود :

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

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

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

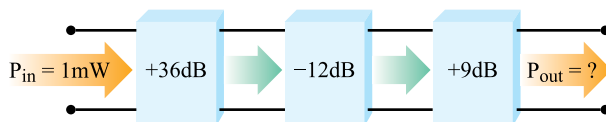
**نکته مهم :** در صورتی که ضریب تقویت توان هر طبقه

بر حسب دسی بل بیان شود ضریب تقویت توان کل بر حسب 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 :  $33dB = 36 - 12 + 9$  کلی شبکه



شکل ۸۳-۲

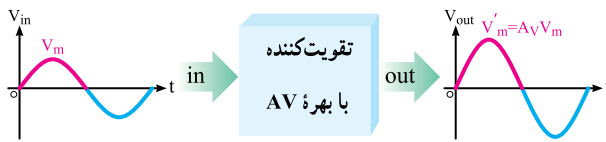
عدد  $3dB$  به منزله ضریب توانی برابر  $1000$  و  $3dB$

افزایش در آن (یعنی  $33dB$ ) به معنی دو برابر شدن این ضریب توان یعنی  $2000$  است.

لذا :

$$P_O = 1mW \times 2000 = 2000 mW = 2W$$

۳-۱۶-۲ محاسبه ضریب تقویت توان بر حسب



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 هریک 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 موج (اعوجاج Distortion) می‌نامیم. یک تقویت کننده ایده‌آل نباید در شکل موج تغییر شکل ایجاد کند. معمولاً تقویت کننده‌ها فرکانس‌های خیلی کم و هم چنین 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 دسی بل 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 دسی بل در نظر می‌گیرند حال اگر تقویت مدار از ۱۰۰۰ برابر (۱۰ W) کم‌تر باشد آن را با دسی بل 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:

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

این رابطه مقدار دسی بل 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

$$A_P(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_{in}} \quad \text{به جای } P_o \text{ می‌توان نوشت:}$$

$$P_o = R_L I_L^2$$

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

در معادله اصلی قرار داد.

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

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

به دست می‌آید:

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

بنابراین رابطه نهایی بهره توان برحسب بهره جریان

به صورت زیر است:

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

### 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 دامنه‌ای متفاوت با آن است.

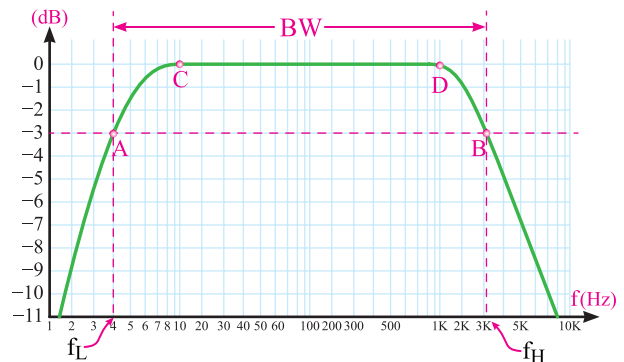
$$v_o = V'_m \sin \omega t \quad \text{یعنی:}$$

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، تغییر 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.

□ غلط □ صحیح

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؟

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

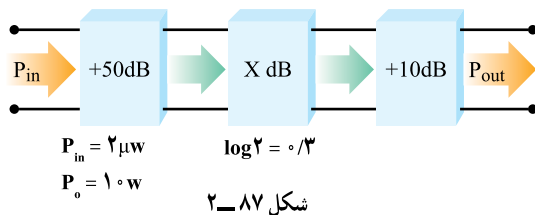
$$R_O = \frac{V_{ONL} - V_{OFL}}{V_{OFL}} \times R_L \quad (۲)$$

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

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

۵-۱۸-۲- با توجه به بلوک دیاگرام شکل ۸۷-۲ X

برحسب دسی‌بل کدام است؟



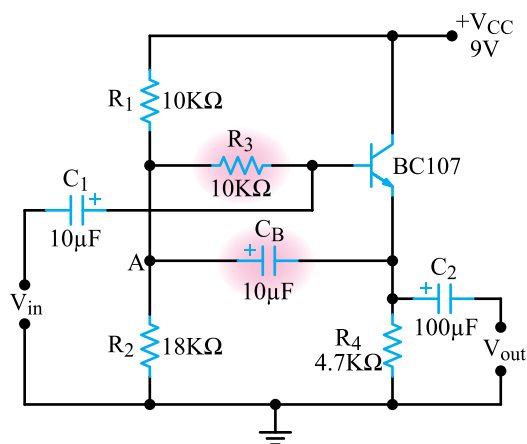
شکل ۸۷-۲

(۱) +۱۳dB

(۲) +۳dB

(۳) -۷dB

(۴) +۷dB



شکل ۸۸-۲

### 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 ۸۸-۲ چگونه مقاومت  $R_3$  بوت استرپ شده است؟ شرح دهید. امپدانس ورودی مدار به سمت چه مقاومتی میل می کند؟