محمد اعرابیان

جزوه درس الکترونیک کاربردی

جلسه یازدهم

برای جزئیات بیشتر **اسکن کنید**

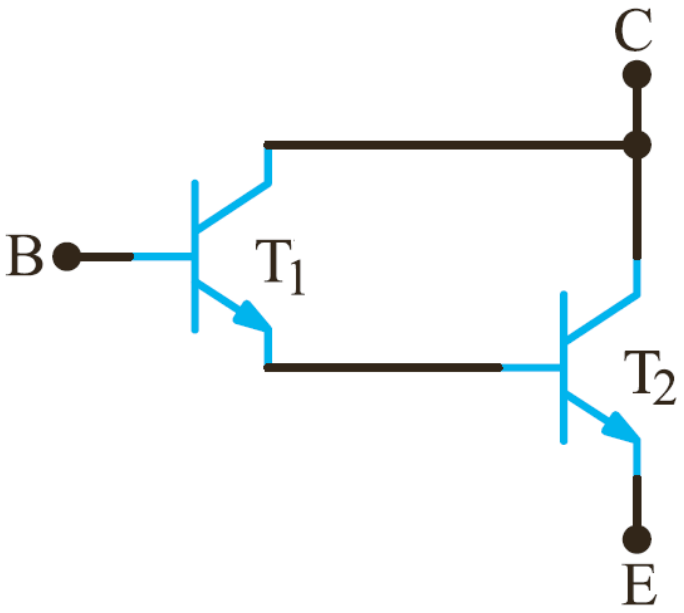
نسخه ۱.۱ | تهیه شده در بهمن ۱۴۰۰

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

افزایش امپدانس ورودی :

امپدانس ورودی را افزایش می‌دهیم تا امپدانس منبع (یا امپدانس تونن معادل طبقه قبلی) را بتوان صرف نظر نمود. از مهمترین روش‌هامی‌توان به مدار دارلینگتون اشاره کرد.

مدار دارلینگتون Darlington



$$I_B = I_{B_1}$$

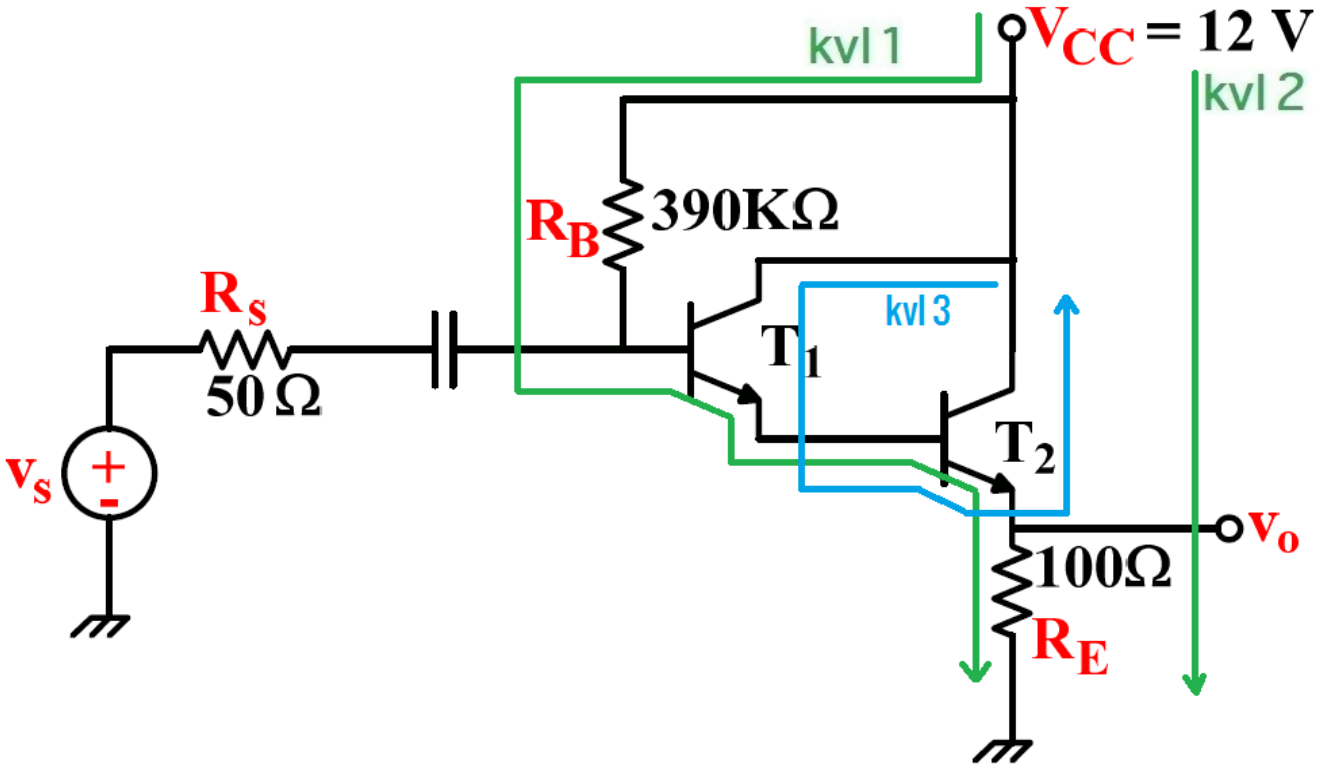
$$I_C = I_{C_1} + I_{C_2}$$

$$I_C = I_{C_1} + \beta_2 I_{B_2} = I_{C_1} + \beta_2 I_{E_1}$$

$$I_C = \beta_1 I_{B_1} + \beta_2(\beta_1 + 1) I_{B_1}$$

$$\beta = \beta_1 + \beta_2(\beta_1 + 1) \approx \beta_1 \beta_2$$

مثال: مدار زیر را تحلیل کنید.محل نقطه کار ، خط بار AC ، شیب خط بار، مقاومت ورودی، مقاومت خروجی، تحلیل AC در شرایط $\beta_1 = h_{fe_1} = 100$ و $\beta_2 = h_{fe_2} = 50$ و $V_{BE_1} = 0.6\ v$ و $V_{BE_2} = 0.7\ v$ و $\eta V_T = 50mV$ بدست آورید.



تحلیل DC:

$$kvl1: -V_{CC} + R_B(I_{B_1}) + V_{BE_1} + V_{BE_2} + R_E(I_{E_2}) = 0$$

$$\Longrightarrow kvl1: -V_{CC} + R_B\left(\frac{I_{C_2}}{\beta_2\beta_1}\right) + V_{BE_1} + V_{BE_2} + R_E(I_{C_2}) = 0$$

$$\Longrightarrow kvl1: -12 + 390k\left(\frac{I_{C_2}}{50 \times 100}\right) + 0.6 + 0.7 + 100\Omega(I_{C_2}) = 0$$

$$\Longrightarrow I_{C_2} = \frac{12 - 0.6 - 0.7}{78 + 100\Omega} = 60mA \Longrightarrow I_{C_1} = \frac{I_{C_2}}{\beta_2} = \frac{60mA}{50} = 1.2mA$$

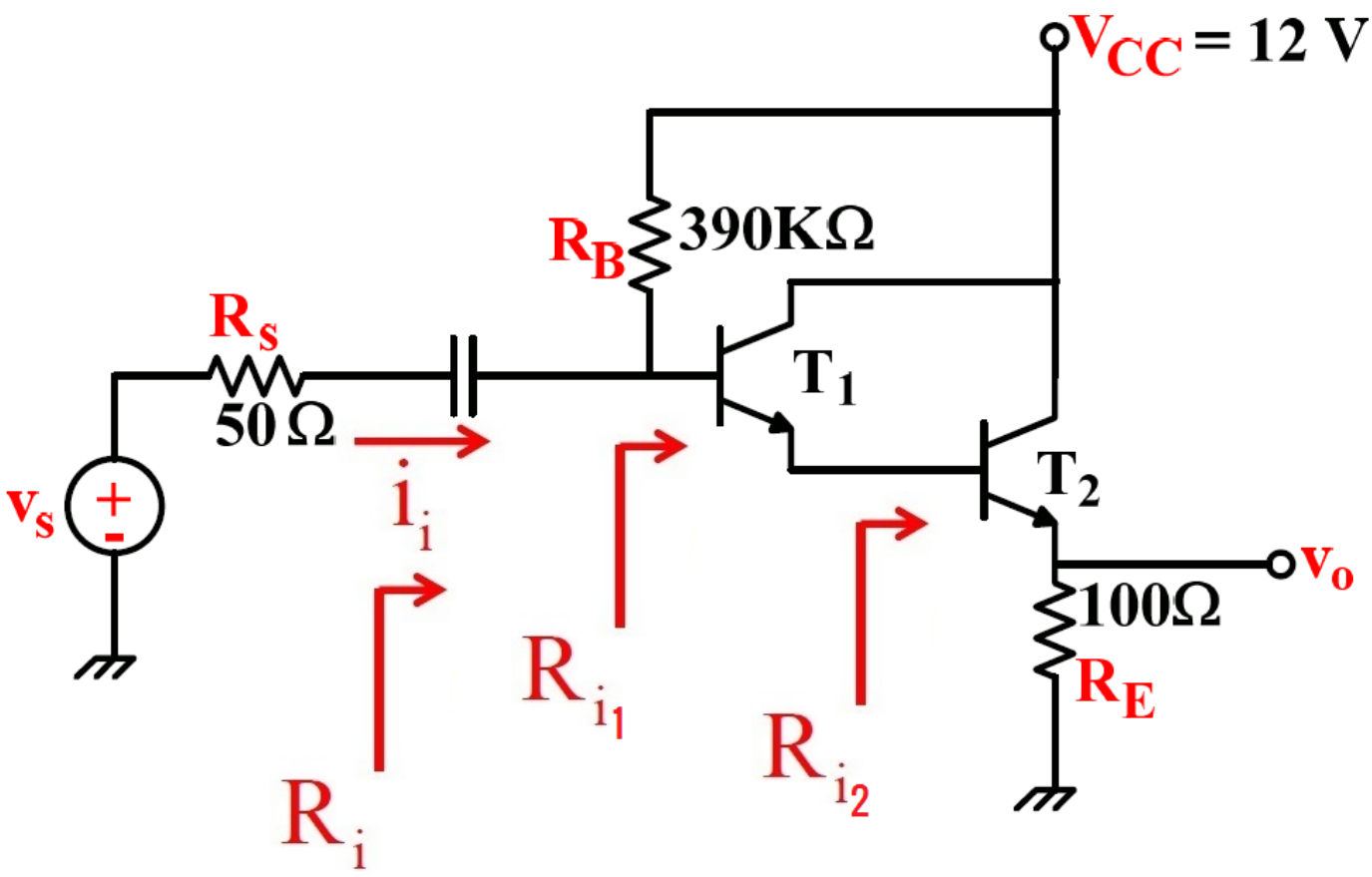
$$\text{kvl2}: -V_{CC} + V_{CE_2} + R_E(I_{E_2}) = 0 \Longrightarrow -12 + V_{CE_2} + 0.1k(60mA) = 0$$

$$V_{CE_2} = 12v - 6v = 6v$$

$$\text{kvl3}: +V_{CE_1} + V_{BE_2} - V_{CE_2} = 0 \Longrightarrow V_{CE_1} = -V_{BE_2} + V_{CE_2}$$

$$V_{CE_1} = -0.7 + 6 = 5.3v$$

تحلیل AC:



$$h_{ie_1} = \frac{\eta V_T \beta_1}{I_{C_1}} = \frac{50mV \times 100}{1.2mA} = 4166\Omega = 4.166\text{k}\Omega$$

$$h_{ie_2} = \frac{\eta V_T \beta_2}{I_{C_2}} = \frac{50mV \times 50}{60mA} = 41.66\Omega$$

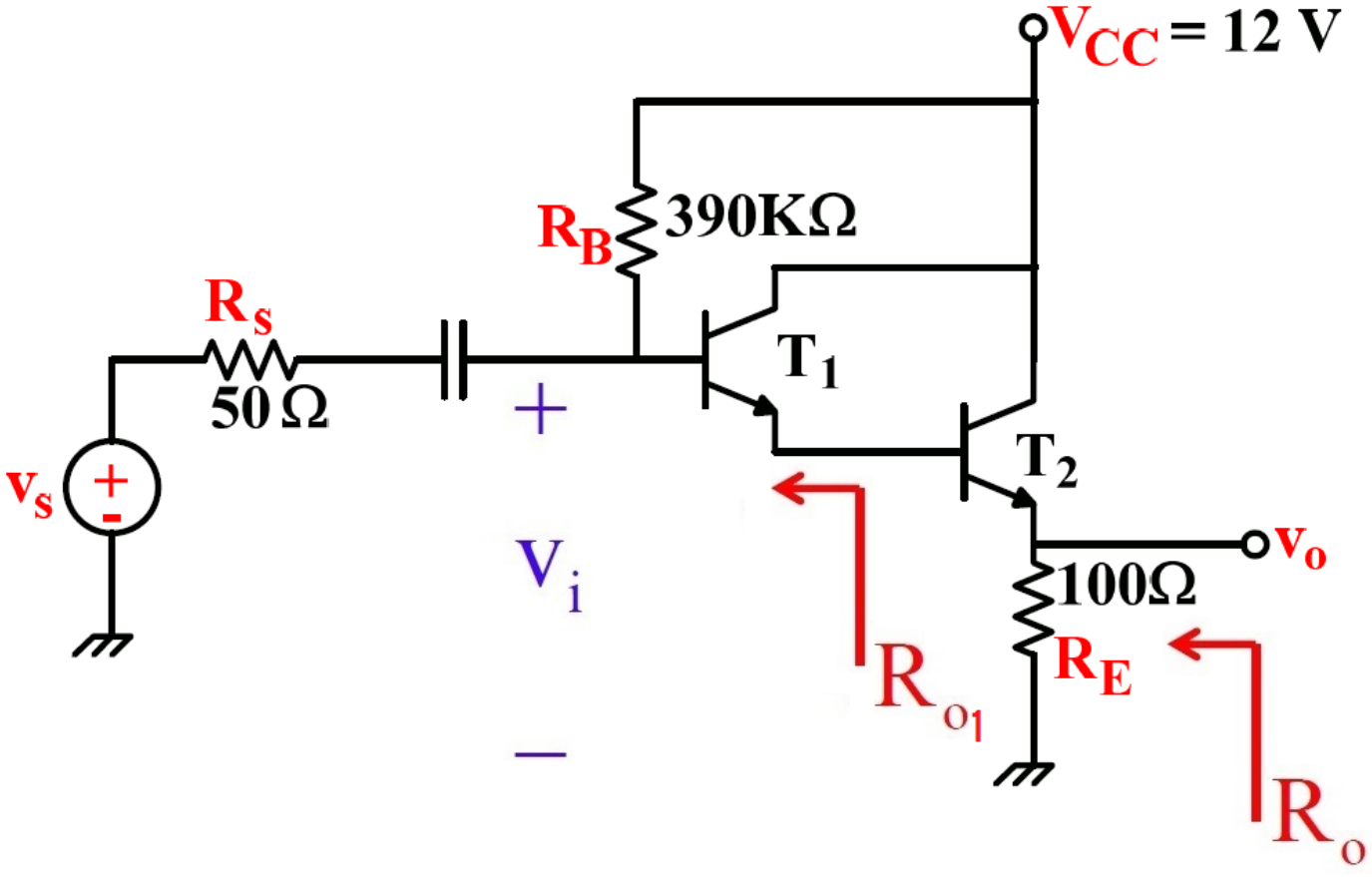
$$R_{i_2} = h_{ie_2} + \left(1 + h_{fe_2}\right) R_E = 41.66 + (51)100 = 5141\Omega = 5.141\text{k}\Omega$$

$$R_{i_1} = h_{ie_1} + \left(1 + h_{fe_1}\right) R_{i_2} = 4.166k + (101)5.141\text{k}\Omega = 523.407\text{k}\Omega$$

$$R_i = R_B \| R_{i_1} = \frac{390k \times 523.407k}{390k + 523.407k} = 223.45k\Omega$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_{e_2}}{i_i} = \frac{i_{e_2}}{i_{b_2}} \times \frac{i_{e_1}}{i_{b_1}} \times \frac{i_{b_1}}{i_i} = \left(1 + h_{fe_2}\right) \times \left(1 + h_{fe_1}\right) \times \frac{R_B}{R_B + R_{i_1}}$$

$$\Longrightarrow (1 + 50) \times (1 + 100) \times \frac{390k}{390k + 523.407k} = 2199.3 \approx 2200$$



$$R_{o_1} = \frac{R_s \| R_B + h_{ie_1}}{\left(1 + h_{fe_1}\right)} = \frac{50 \| 390k + 4.166\text{k}\Omega}{(101)} = 41.58\Omega$$

تقسیم بر $\left(1 + h_{fe_1}\right)$ به دلیل نگاه کردن از امیتر می‌باشد.

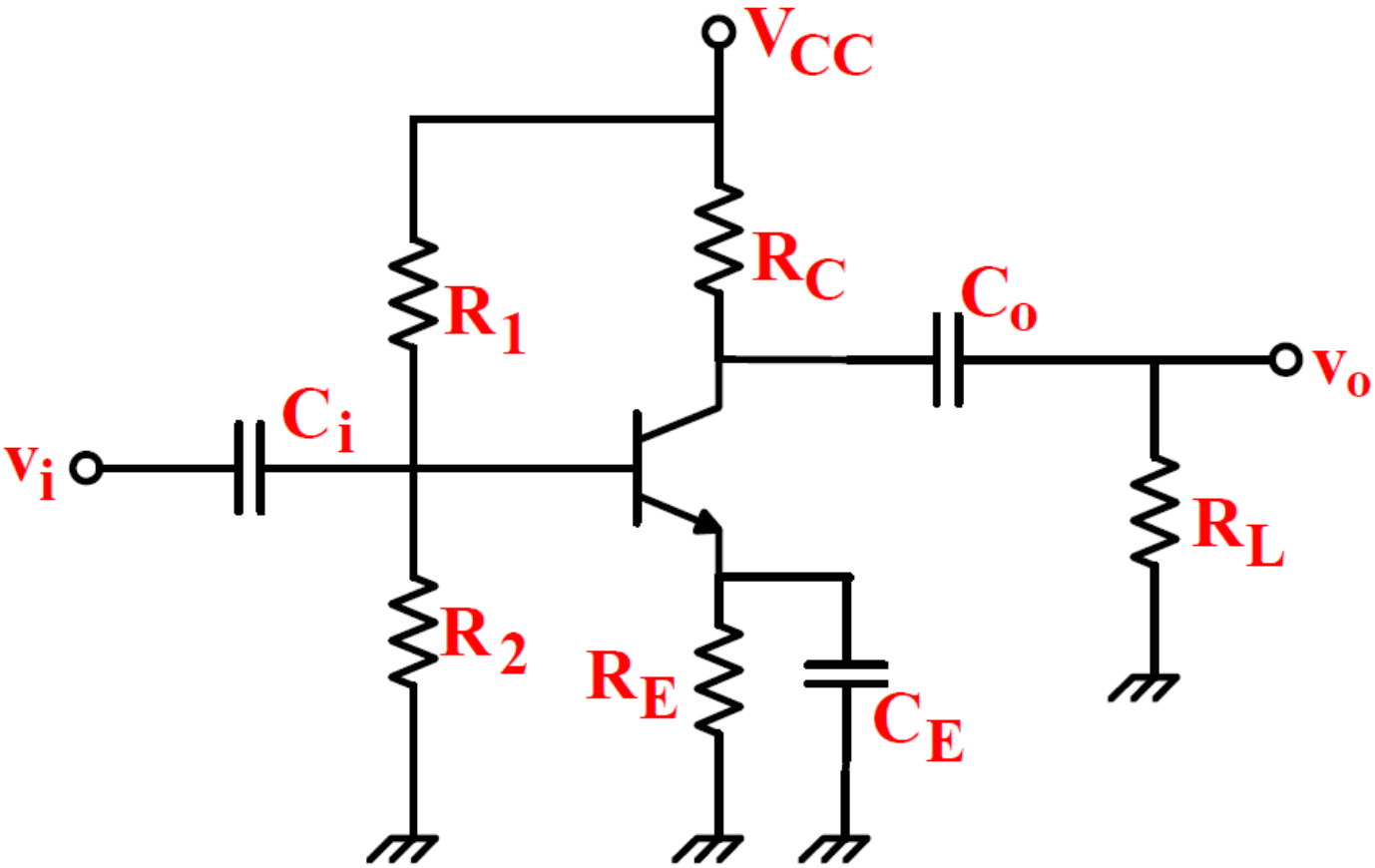
$$R_o = \frac{R_{o_1} + h_{ie_2}}{\left(1 + h_{fe_2}\right)} \| R_E = \frac{41.58 + 41.66\Omega}{(51)} \| 100\Omega = 1.63 \| 100\Omega = 1.61\Omega$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E i_o}{R_i i_i} = \frac{R_E}{R_i} \times A_i = \frac{100}{223.45k\Omega} \times 2200 = 0.984$$

مثال: الف) یك تقویت کننده CE طراحی کنید که در آن مشخصات ذیل برقرار باشد. همچنین ماکزیمم نوسان قرینه را نیز داشته باشیم.

ب) پس از طراحی مدار با استفاده از عناصر استاندارد ، مدار را تحلیل کنید.

$A_V = -100\ ,\ R_i \geq 2k\Omega\ ,\ R_L = 4.7k\Omega\ ,\ \eta V_T = 50mV\ ,\ V_{BE} = 0.7\ v\ ,\ \beta = h_{fe} = 100$



$$R_i = R_1 \| R_2 \| h_{ie} \approx h_{ie}$$

مقاومت h_{ie} را کمی بیشتر از مقاومت ورودی در نظر می‌گیریم. $h_{ie} = 2.5k\Omega$

$$A_V = -100 = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(-h_{fe} i_b)(R_C \parallel R_L)}{h_{ie} i_b} = \frac{-h_{fe}(R_C \parallel R_L)}{h_{ie}}$$

$$A_V = -100 = \frac{-100(2.5k)}{2.5k} = -100$$

پس:

$$R_C \| R_L = 2.5k \Longrightarrow \frac{R_C \times 4.7k}{R_C + 4.7k} = 2.5k \rightarrow 2.5k(R_C + 4.7k) = R_C \times 4.7k$$

$$\Longrightarrow 2.5kR_C + 11.75M = 4.7kR_C \rightarrow 11.75M = 4.7kR_C - 2.5kR_C$$

$$\Longrightarrow R_C = \frac{11.75M\Omega}{2.2k} = 5.34k\Omega$$

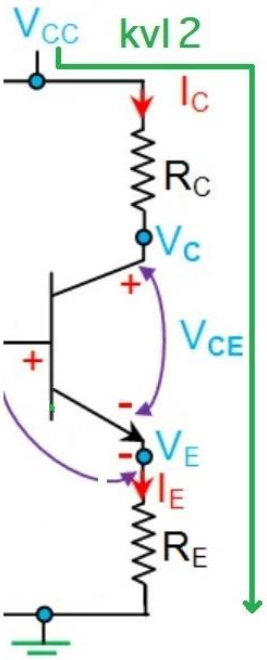
$$h_{ie} = 2.5k\Omega = \frac{\eta V_T \beta}{I_C} \Rightarrow \frac{50mV \times 100}{I_C} = 2.5k\Omega$$

$$\Rightarrow 2.5k\Omega \times I_C = 50mV \times 100 \rightarrow I_C = \frac{50mV \times 100}{2.5k\Omega} = 2mA$$

برای اینکه ماکزیمم نوسان قرینه را داشته باشیم ، بایستی نقطه کار وسط خط بار AC باشد. (حذف R_E با خازن)

$$V_{CE} = (R_C \| R_L) i_c = 2.5k\Omega \times 2mA = 5v$$

کافی است ولتاژ منبع تغذیه بیش از ۲ برابر V_{CE} باشد.



$$V_{CC} = 20v$$

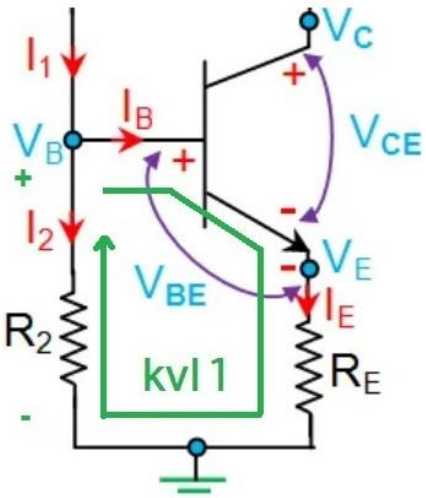
$$I_C = \beta I_B \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2mA}{100} = 20\mu A$$

$$I_E = (1+\beta) I_B = (101)20\mu A = 2.02mA \Rightarrow I_C \approx I_E$$

$$\text{kvl2}: -V_{CC} + R_C(I_C) + V_{CE} + R_E(I_E) = 0$$

$$\Rightarrow: -20 + 5.34k(2mA) + 5 + R_E(2mA) = 0$$

$$\Rightarrow (2mA)R_E = 20 - 10.68 - 5 \Rightarrow R_E = \frac{20 - 15.68}{2mA} = 2.16k\Omega$$



$$V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow kvl1: -V_B + V_{BE} + R_E(I_E) = 0$$

$$\Rightarrow V_B = 0.7 + 2.16k\Omega(2mA) = 5.02v$$

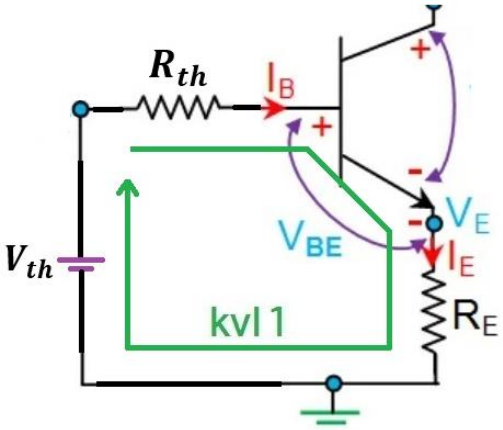
$$1) \Rightarrow 5.02 = \frac{20 \times R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow \frac{5.02}{20} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.25$$

$$R_{th} \leq \frac{\beta_{min} \times R_E}{10} \rightarrow R_{th} \leq \frac{90 \times R_E}{10} \rightarrow R_{th} = 9R_E$$

$$2) \Rightarrow R_{th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = 9R_E = 9 \times 2.16k\Omega = 19.44\text{k}\Omega$$

$$\begin{cases} \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.25 \rightarrow 0.25(R_1 + R_2) = R_2 \rightarrow 0.25R_1 = 0.75R_2 \xrightarrow{\times 4} R_1 = 3R_2 \\ \dfrac{3R_2 \times R_2}{3R_2 + R_2} = 19.44\text{k}\Omega \rightarrow 4R_2 19.44\text{k} = 3R_2^2 \rightarrow 19.44\text{k} = \dfrac{3R_2^2}{4R_2} \rightarrow 19.44\text{k} = \dfrac{3}{4}R_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{19.44\text{k}}{0.75} = 25.92k\Omega \,, R_1 = 3R_2 = 3 \times 25.92k = 77.76k\Omega$$



$$V_{th} = V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \times 25.92k}{77.76k + 25.92k} = 5V$$

$$R_{th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{77.76k \times 25.92k}{77.76k + 25.92k} = 19.44k\Omega$$

$$\Longrightarrow kvl1: -V_{th} + R_{th}(I_B) + V_{BE} + R_E(I_E) = 0$$

$$\Longrightarrow kvl1: -V_{th} + R_{th}(I_B) + V_{BE} + R_E(1+\beta)I_B = 0$$

$$\Longrightarrow kvl1: -5 + 19.44k(I_B) + 0.7 + 2.16k(1+100)I_B = 0$$

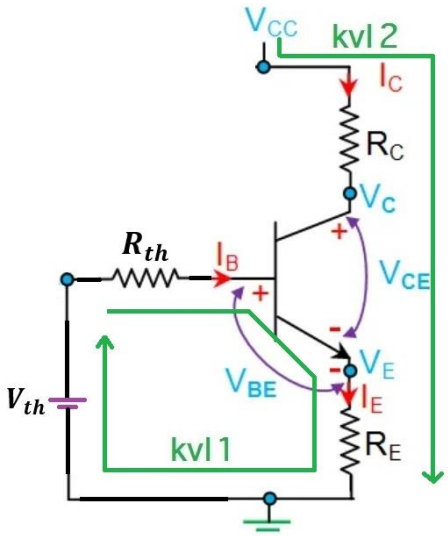
$$\Longrightarrow I_B = \frac{5 - 0.7}{19.44k + 2.16k(1+100)} = 18\mu A$$

تقریبا قابل قبول است.

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie} = 19.44k \parallel h_{ie} = 19.44k \parallel 2.5k\Omega$$

$$\Longrightarrow R_i = \frac{19.44k \times 2.5k}{19.44k \times 2.5k} = 2.215k\Omega$$

تقریبا قابل قبول است.



مقادیر استاندارد :

$$R_1 = 82k\Omega\,, R_2 = 27k\Omega\,, R_E = 2.2k\Omega\,, R_C = 5.6k\Omega$$

$$V_{th} = V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \times 27k}{82k + 27k} = 4.95V$$

$$R_{th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{82k \times 27k}{82k + 27k} = 20.31k\Omega$$

$$\Longrightarrow kvl1: -V_{th} + R_{th}(I_B) + V_{BE} + R_E(I_E) = 0$$

$$\Longrightarrow kvl1: -V_{th} + R_{th}(I_B) + V_{BE} + R_E(1+\beta)I_B = 0$$

$$\Longrightarrow kvl1: -4.95 + 20.31k(I_B) + 0.7 + 2.2k(1+100)I_B = 0$$

$$\Longrightarrow I_B = \frac{4.95 - 0.7}{20.31k + 2.2k(1+100)} = 17.52\mu A$$

$$\Longrightarrow I_E = (1+\beta)I_B = (101)17.52\mu A = 1.77mA$$

$$\Longrightarrow I_C = (\beta)I_B = 100 \times 17.52\mu A = 1.752mA$$

$$\text{kvl2}: -V_{CC} + R_C(I_C) + V_{CE} + R_E(I_E) = 0$$
$$\Longrightarrow: -20 + 5.6k(1.752mA) + V_{CE} + 2.2k(1.77mA) = 0$$
$$\Longrightarrow V_{CE} = 20 - 9.811 - 3.894 = 6.295v$$

تحلیل AC:

$$h_{ie} = \frac{\eta V_T \beta}{I_C} \Longrightarrow \frac{50mV \times 100}{1.752mA} = 2.853k\Omega$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(-h_{fe} i_b)(R_C \parallel R_L)}{h_{ie} i_b} = \frac{-h_{fe}(R_C \parallel R_L)}{h_{ie}} = \frac{-100(R_C \parallel R_L)}{2.853k}$$

$$\Longrightarrow (R_C \parallel R_L) = \frac{5.6k \times 4.7k}{5.6k \times 4.7k} = 2.555k\Omega$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-100 \times 2.555k\Omega}{2.853k} = -89.55$$

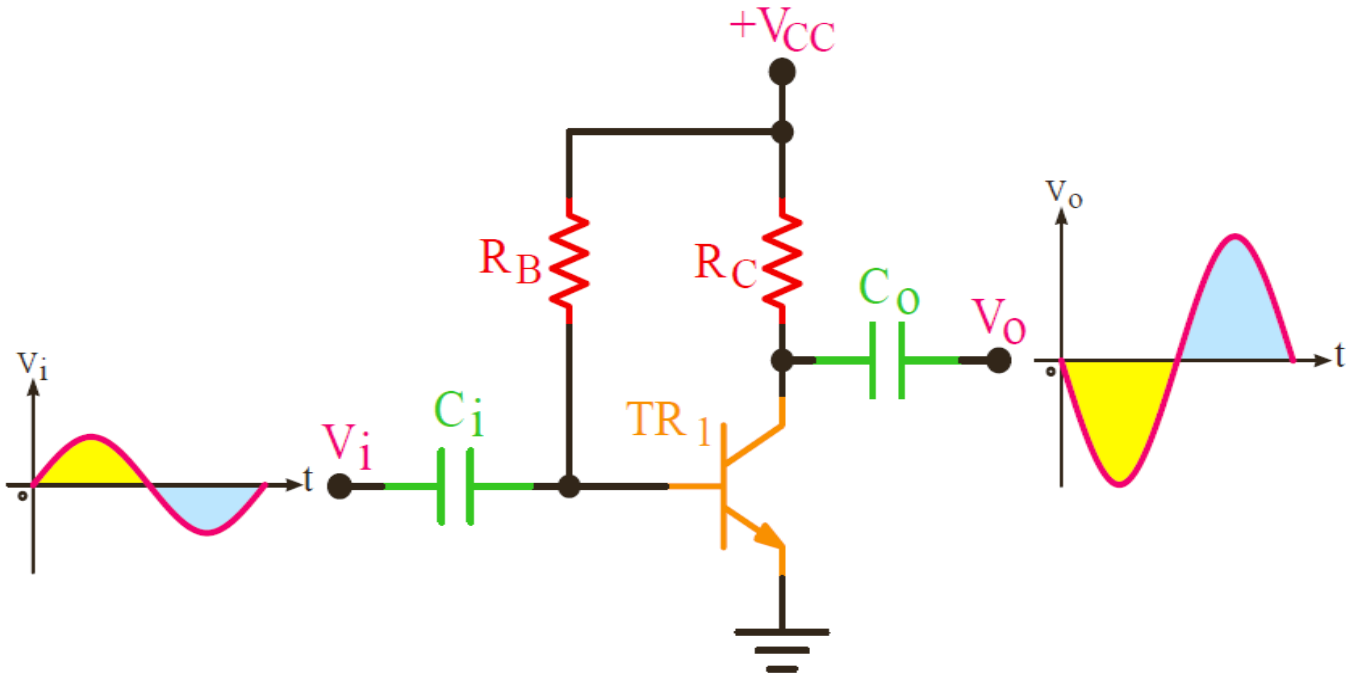
$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{ie} \Longrightarrow R_{th} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{82k \times 27k}{82k + 27k} = 20.31k\Omega$$

$$\Longrightarrow R_i = 20.31k \parallel 2.853k = \frac{20.31k \times 2.853k}{20.31k + 2.853k} = 2.501k\Omega$$

$$V_o = (R_C \parallel R_L) i_C = V_P = 2.555k\Omega \times 1.752mA = 4.478v$$

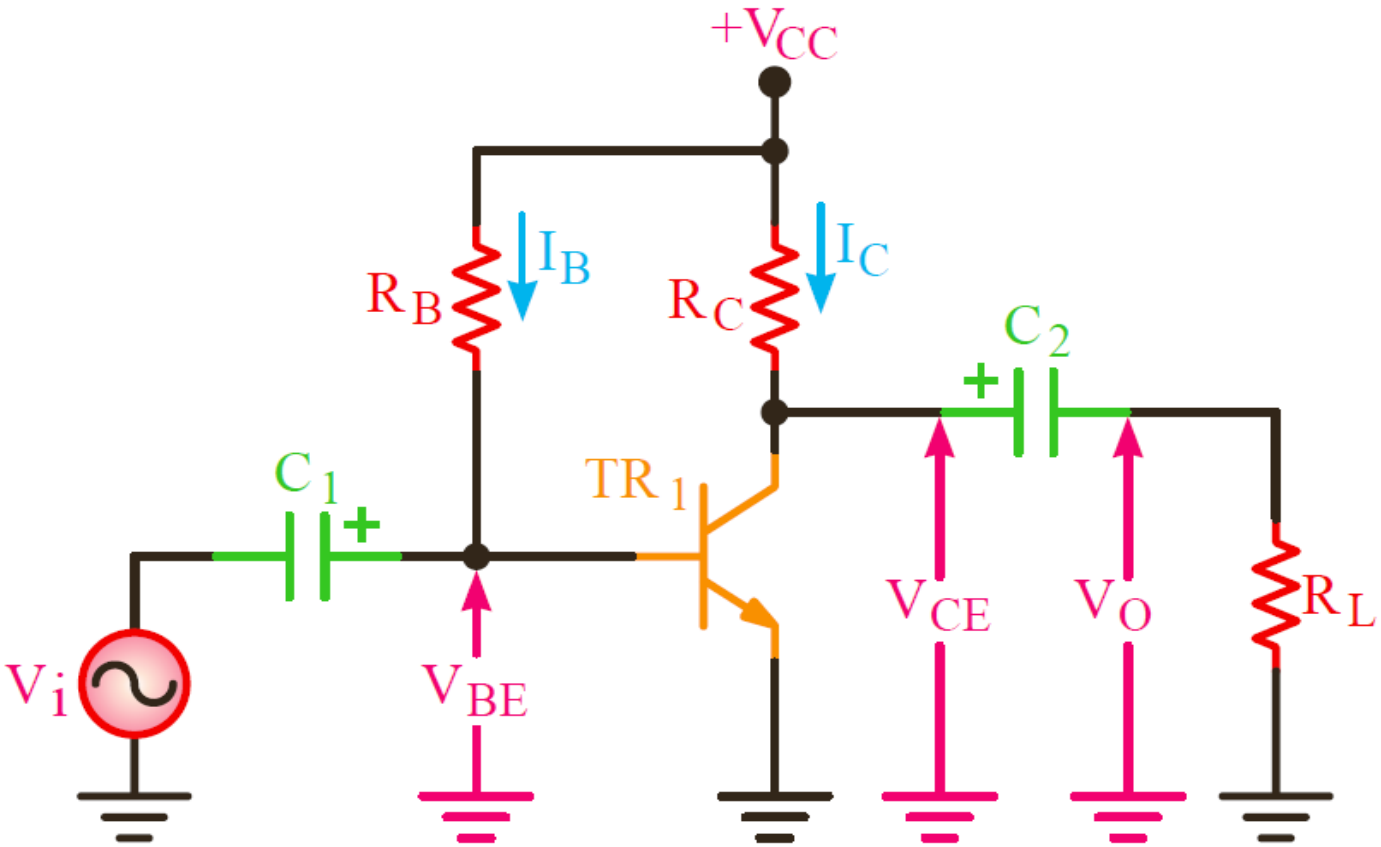
$$\Longrightarrow V_{P-P} = 4.478v \times 2 = 8.95v$$

تقویت کنندگی ترانزیستور امیتر مشترک CE

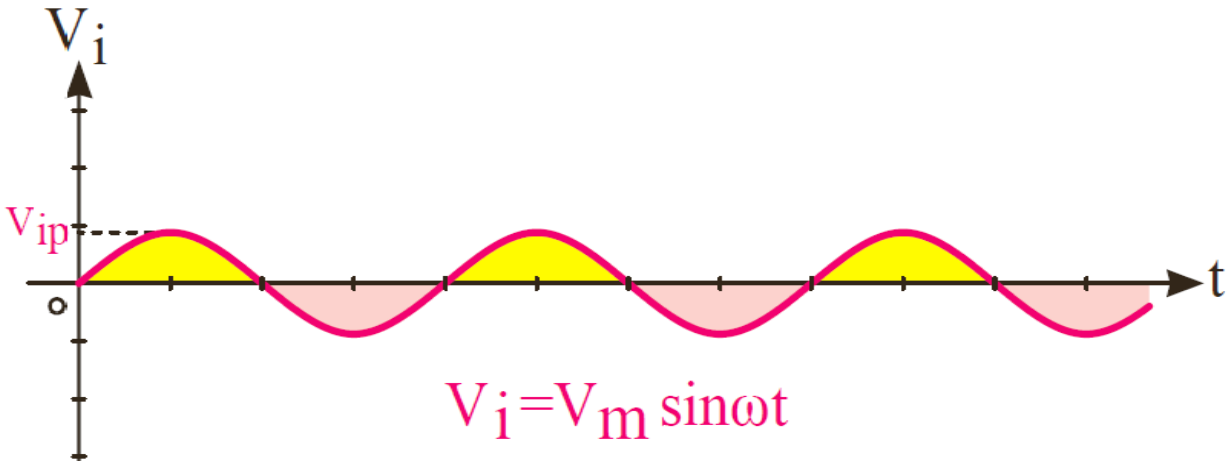


خازن ها برای کوپلاژ ورودی و خروجی استفاده شده اند.

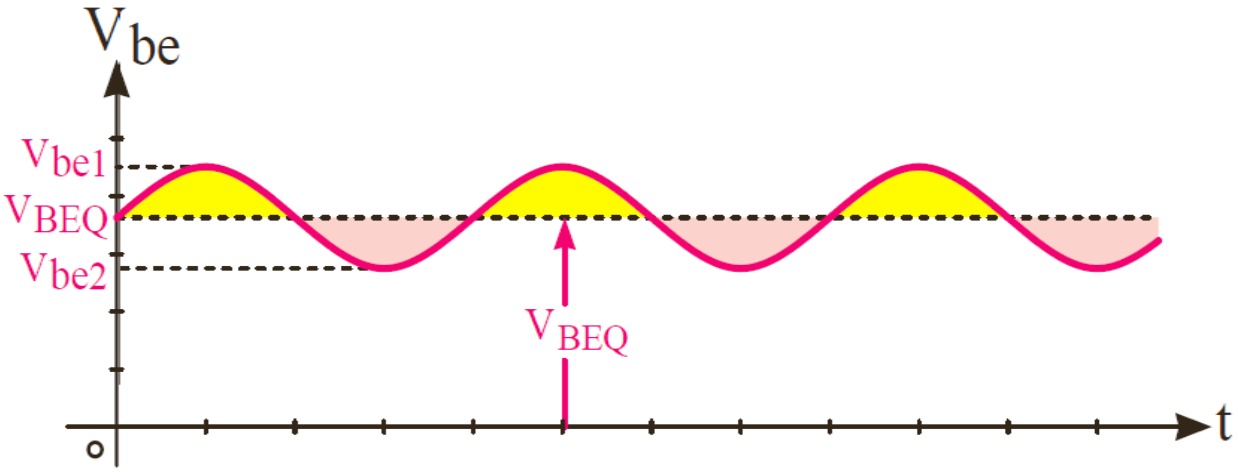
یعنی اجازه ورود سیگنال dc در ورودی را نمی‌دهند و اجازه خروج ولتاژ dc در خروجی را نمی‌دهند.



شکل موج سیگنال ورودی، این سیگنال به ورودی تقویت کننده، یعنی بیس امیتر اعمال می‌شود.

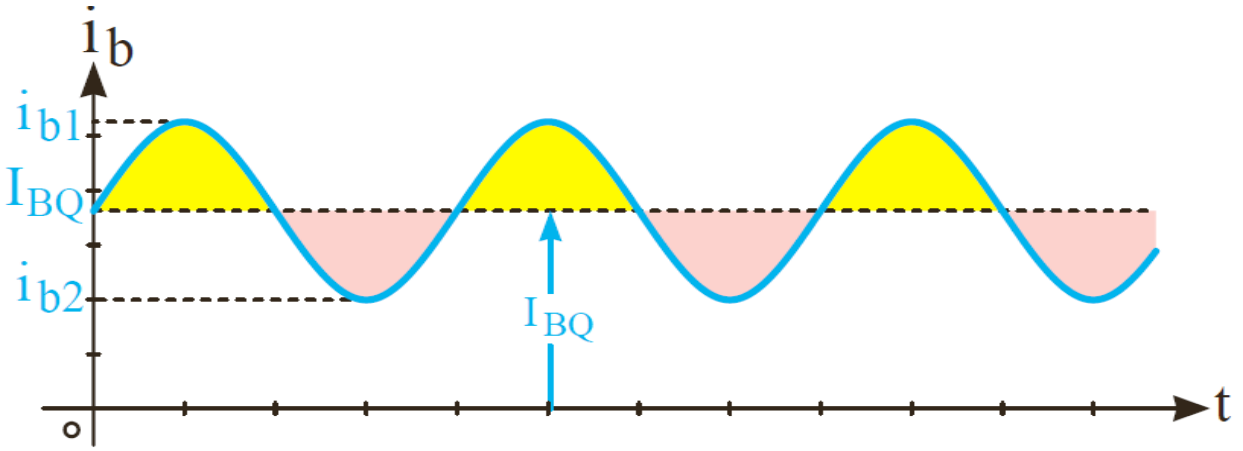


سیگنال AC ورودی سوار DC نقطه کار V_{BE} می‌شود.



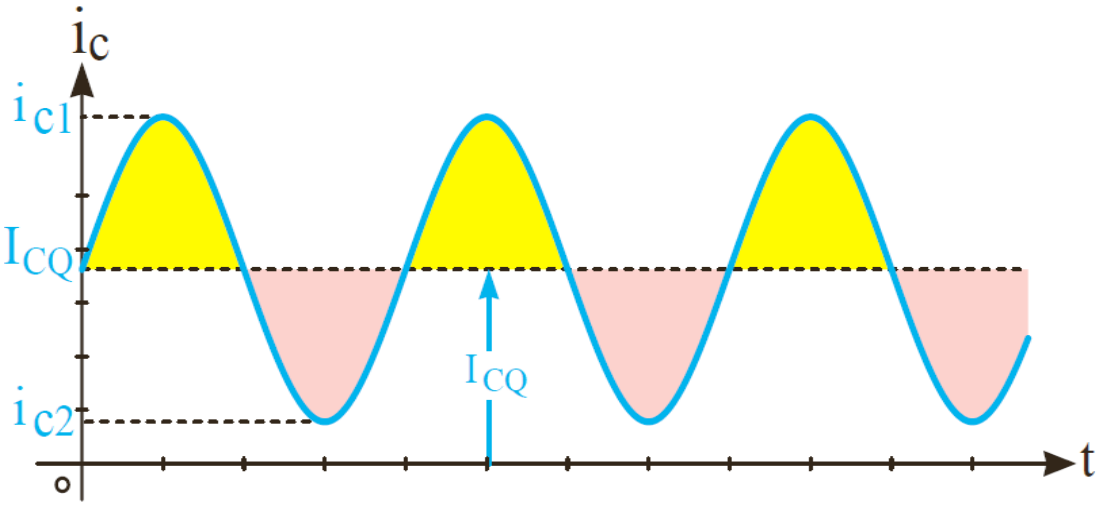
در نیم سیکل مثبت، سیگنال ورودی باعث افزایش V_{be} و در نیم سیکل منفی موجب کاهش آن می‌شود.

شکل موج جریان بیس، افزایش ولتاژ دو سر پیوند بیس امیتر موجب افزایش جریان بیس می‌شود و کاهش این ولتاژ، کاهش جریان بیس را به دنبال دارد.



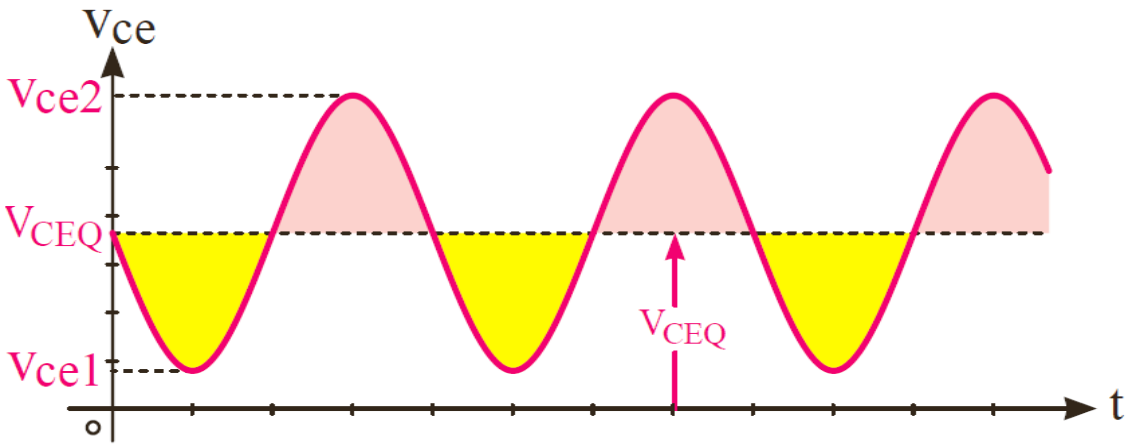
تغییرات I_B حول نقطه کار DC، I_{BQ} اتفاق می‌افتد.

با افزایش I_B جریان تغییرات I_C زیاد می‌شود و با کاهش I_B، I_C نیز کاهش می‌یابد.



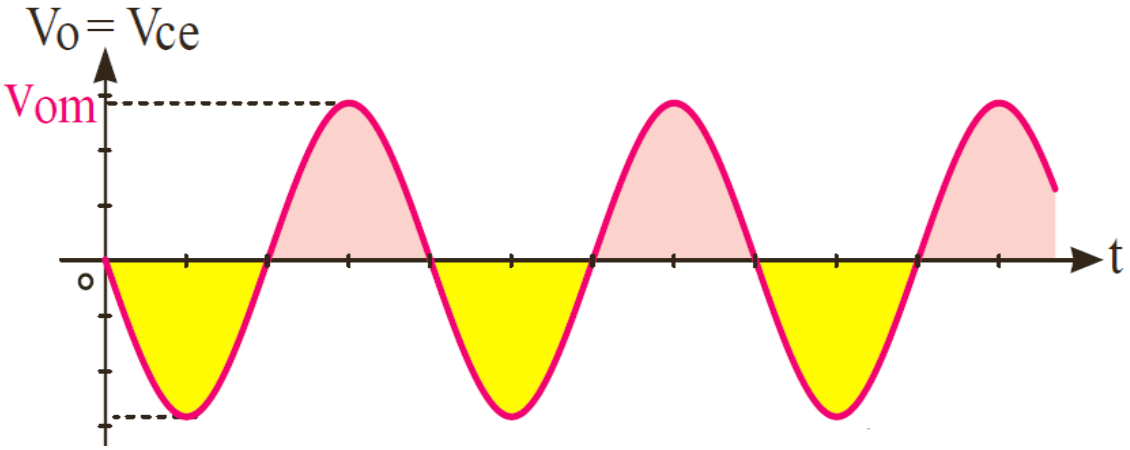
تغییرات I_C حول نقطه کار DC، I_{CQ} اتفاق می‌افتد.

با افزایش I_C، افت پتانسیل $R_C I_C$ زیاد و V_{CE} کم می‌شود. با کاهش I_C، افت پتانسیل $R_C I_C$ کم و V_{CE} زیاد می‌شود.



تغییر AC، حول نقطه‌ی کار V_{CEQ} اتفاق می‌افتد.

خازن C_2 مولفه DC سیگنال کلکتور را حذف می‌کند و فقط سیگنال AC به بار می‌رسد.



مشاهده می‌شود تغییرات سیگنال AC در دو سر بار نسبت به سیگنال ورودی بسیار بیشتر (تقویت) است.

ردیف	تعاریف	کلکتور مشترک	امیتر مشترک	بیس مشترک
۱	بهره جریان	متوسط	کم و کوچکتر از یک	زیاد
۲	بهره ولتاژ	متوسط	زیاد	کم و کوچکتر از یک
۳	بهره توان	خیلی زیاد	زیاد و تقریبا برابر با بهره ولتاژ	زیاد و تقریبا برابر با بهره جریان
٤	مقاومت ورودی	متوسط	کم	زیاد
۵	مقاومت خروجی	متوسط	زیاد	کم
٦	اختلاف فاز	180°	0°	0°

تقویت کننده بیس مشترک در ابتدا و کلکتور مشترک در انتهای تقویت کننده‌ی صوتی استفاده می‌شود.

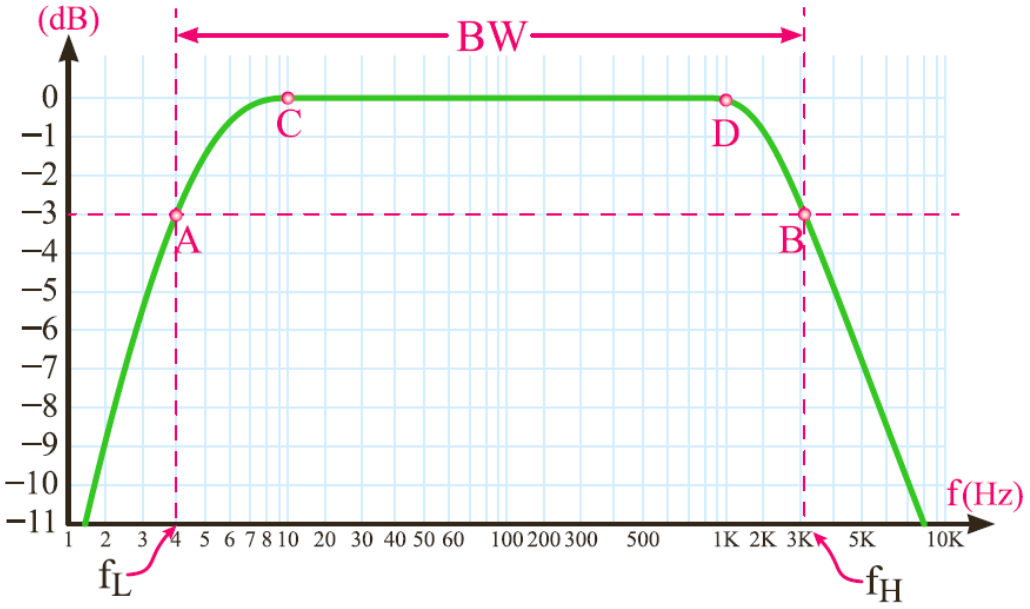
کلکتور مشترک در رگولاتورها و مواردی که نیاز به تطبیق امپدانس باشد به کار می‌رود.

مزیت تقویت کننده بیس مشترک نسبت به کلکتور مشترک دارا بودن پهنای باند فرکانسی پهن‌تر می‌باشد و نسبت به سایر آرایش‌ها مشخصه فرکانسی بهتری در فرکانس‌های بالا دارد.

پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌ها: معمولا تقویت کننده‌ها فرکانس‌های خیلی کم را به دلیل عکس‌العمل زیاد خازن‌های سری و فرکانس‌های زیاد را به دلیل عکس‌العمل کم خازن‌های موازی به خوبی تقویت نمی‌کند. باند مفید فرکانسی (BW) محدوده‌ای از طیف فرکانسی که در آن ضریب تقویت، تقویت کننده تغییر محسوسی نمی‌کند. $BW = F_L - F_H$

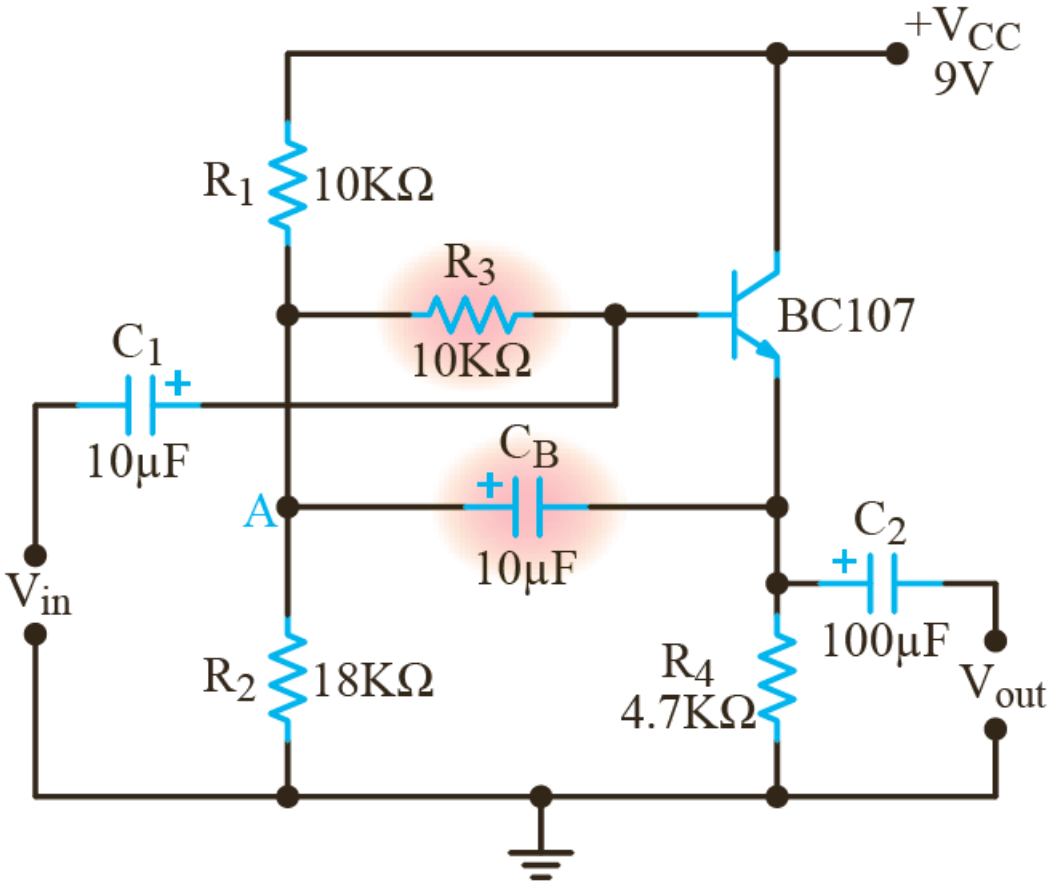
فرکانس حد (f_g): مقدار فرکانسی است که β به ازای آن به اندازه $\frac{1}{\sqrt{2}}$ یا $-3dB$ کمتر از فرکانس ۰ هرتز است.

فرکانس قطع (f_T): مقدار فرکانسی است که به ازای آن $\beta = 1$ می‌شود.



تقریبا از فرکانس حد به عنوان فرکانس قطع نیز استفاده می‌شود، زیرا بهره تقویت کننده به نصف مقدار خود کاهش یافته و $3dB$ افت کرده است.

بوت استراپ:



عملی برای خنثی کردن مقاومت‌های بایاسینگ R_1 و R_2 بر مقاومت ورودی می‌باشد.

استفاده از این خاصیت برای افزایش مقاومت ورودی تقویت کننده در برابر سیگنال AC است.

در عمل بوت استراپ از فیدبک مثبت استفاده می‌شود.

در مدار بالا خازن بوت استراپ کننده C_B موجب افزایش مقدار موثر R_3 در برابر سیگنال AC می‌شود.

مزیت تقویت کننده بوت استراپ شده عبارت است از:

الف) داشتن امپدانس ورودي زياد

ب) داشتن بهره جريان بيشتر

منابع:

۱- جزوه استاد دلیر روی‌فرد

پایان جلسه یازدهم

روزگار خوشی را برای شما آرزومندم.

محمد اعرابیان