

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عنوان درس : الکترونیک ۱

مدرس : دکتر مهرداد طهماسبی

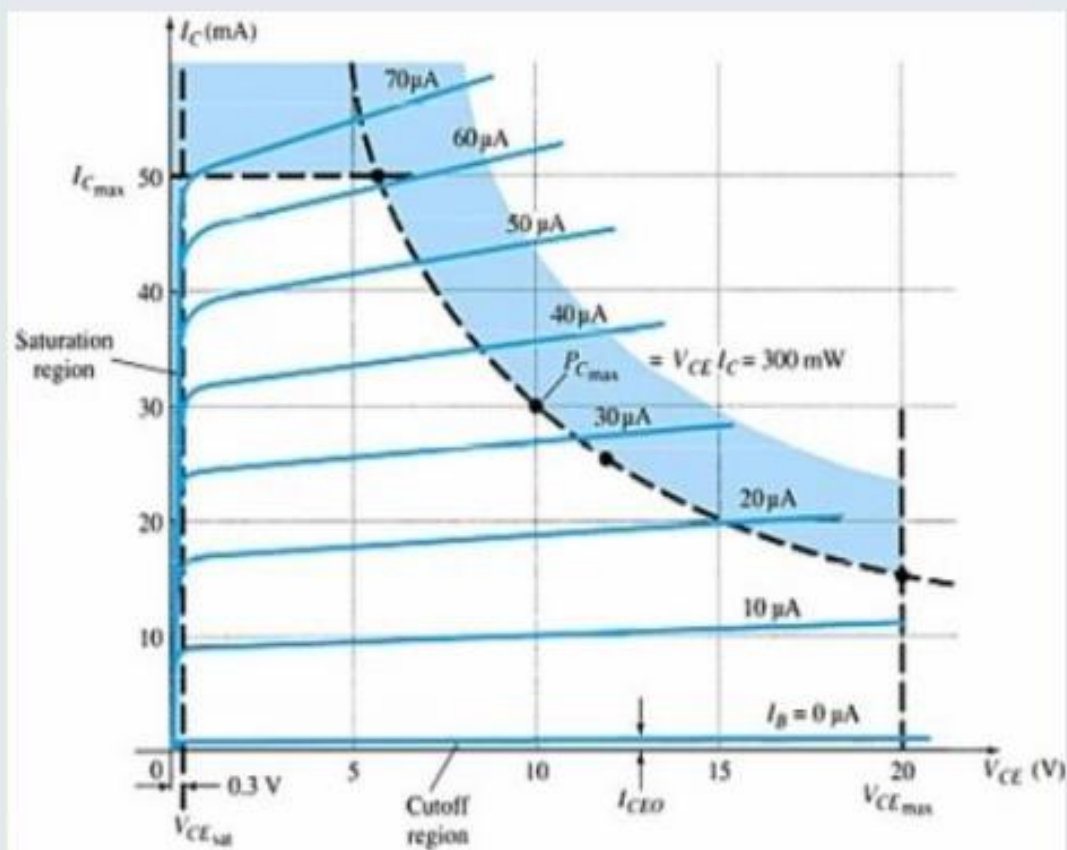
شیوه ارزیابی :

1. امتحان پایان ترم ۱۵ نمره
2. حل تمرین ۵ نمره

ارتباط با مدرس : IAU.TAHMASEBI@GMAIL.COM

طراحی مدارهای بایاس ترانزیستور

محدودیت های کاری BJT



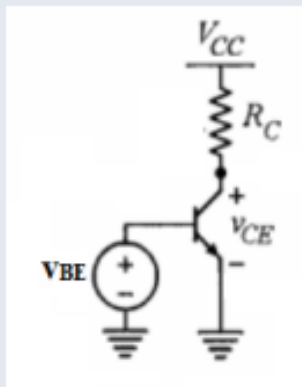
$$P_C = V_{CE} I_C < P_{Cmax}$$

$$I_{CEO} < I_C < I_{Cmax}$$

$$V_{CE(sat)} < V_{CE} < V_{CEmax}$$

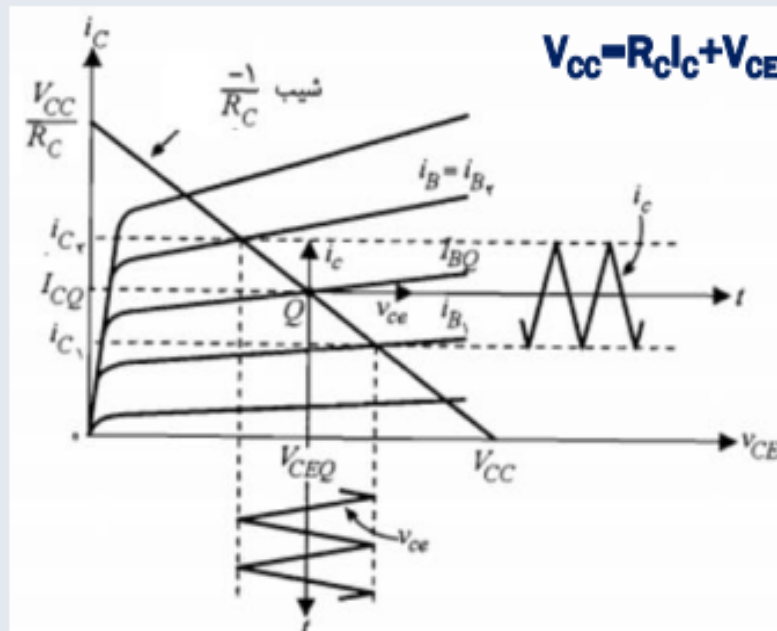
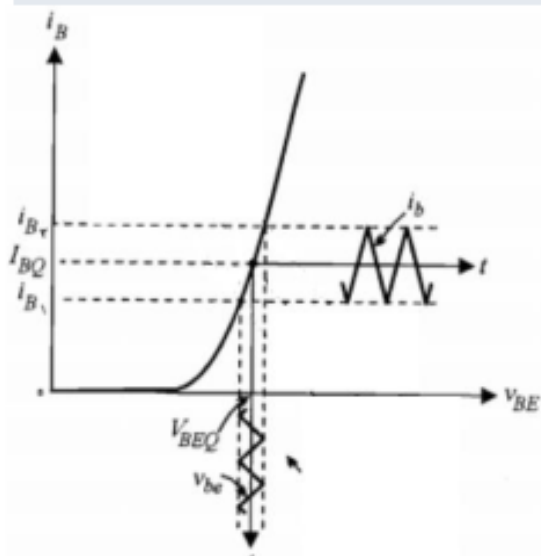
تقویت سیگنال در BJT

ورودی طوری در نظر گرفته شده است که از دو مولفه **ac** و **DC** تشکیل شده باشد.



$$V_{BE} = V_{be} + V_{BE}$$

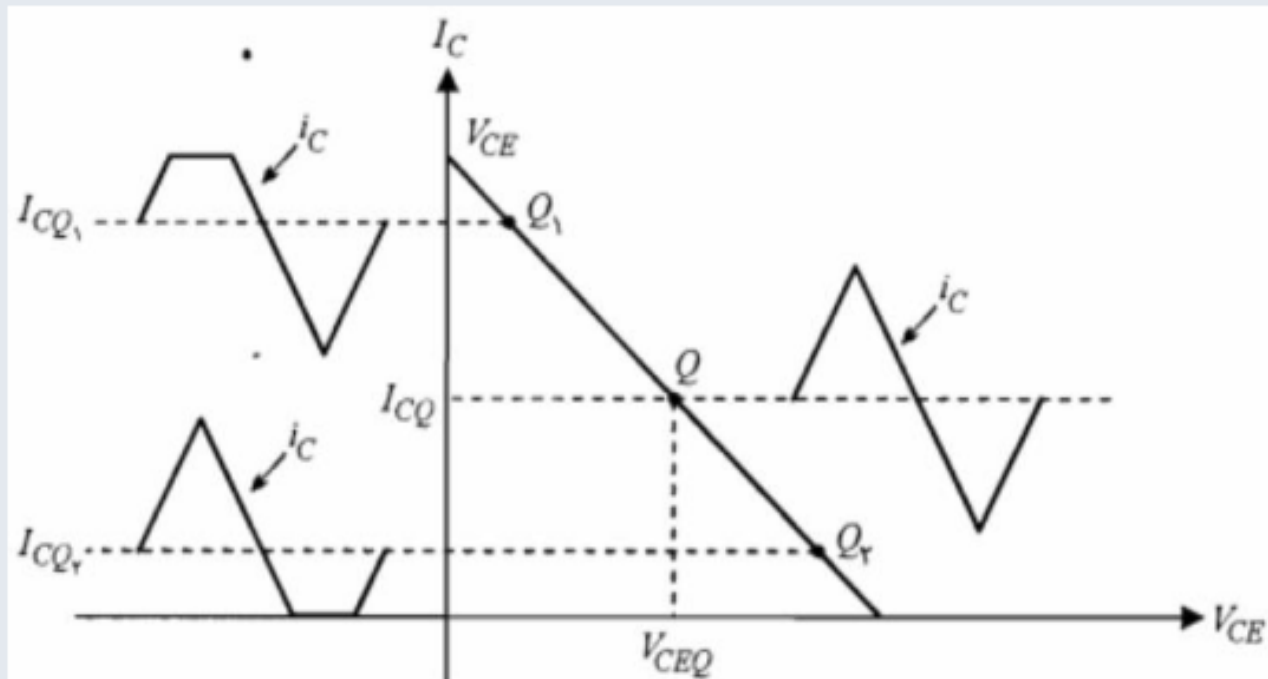
مولفه **ac** **جمع ac و DC** مولفه **DC**



$V_{CC} = R_C i_C + v_{CE}$ → خط بار **DC**

اعوجاج سیگنال در اثر انتخاب نا مناسب نقطه کار

- معادله خط بار **DC**، از **KVL** زدن در حلقه خروجی در حالت تحلیل **DC**، حاصل می شود.



- برای اینکه حداکثر سوئینگ (تغییرات) داشته باشیم، لازم است که نقطه کار وسط خط بار **DC** قرار گیرد.

عوامل موثر در نقطه کار

VCC (منبع تغذیه)

β

دما

عوامل موثر در تغییر نقطه کار:

- تغییر هر کدام از این عوامل باعث می شود که نقطه کار ما تغییر کند و دیگر نقطه کار مطلوب نباشد.

تأثیر تغییرات منبع تغذیه (با استفاده از یک منبع تغذیه دقیق، رفع می شود)

تأثیر پروسه ساخت

دما

عواملی که در طراحی هر مدار الکترونیکی باید در نظر گرفت:

عوامل موثر در نقطه کار

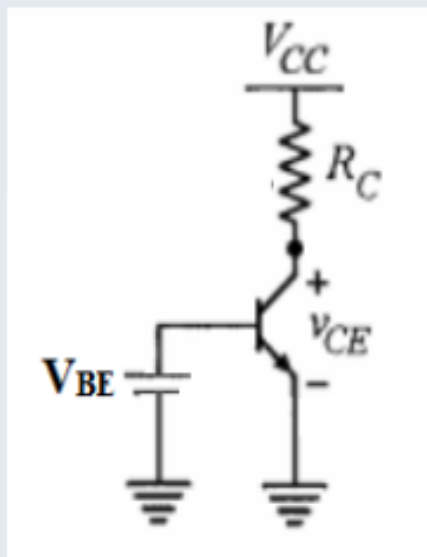
- در طراحی بایاس ترانزیستور دو چیز را در نظر می گیریم:

تغییرات پروسه ساخت $\rightarrow$ تغییرات β $150 < \beta < 250$



انواع بایاسینگ ترانزیستور و معایب آنها

1. بایاسینگ با تثبیت V_{BE}



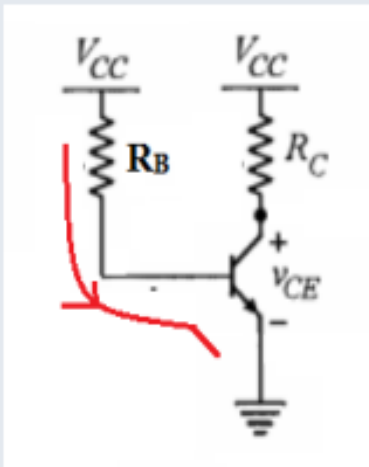
$$I_C = I_S e^{V_{BE}/V_T}$$

$$\left[\begin{array}{l} T \uparrow \rightarrow I_S \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \\ \beta \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \end{array} \right]$$

- با تغییر دما و β نقطه کار تغییر می کند ← این بایاسینگ مناسب نیست.

انواع بایاسینگ ترانزیستور و معایب آنها

۲. بایاسینگ با تثبیت I_B



$$\text{KVL در حلقه ورودی} \rightarrow V_{CC} - R_B I_B - V_Y = 0 \rightarrow I_B = (V_{CC} - V_Y) / R_B$$

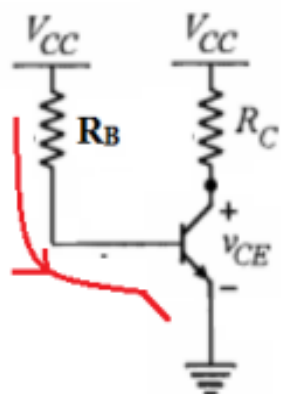
$$\rightarrow I_C = \beta (V_{CC} - V_Y) / R_B$$

I_C وابسته به β شد ← نامطلوب است.

یعنی با تغییرات β ، I_C می تواند آنقدر زیاد شود که ترانزیستور را به اشباع برد.

انواع بایاسینگ ترانزیستور و معایب آنها

مثال: در مدار روبرو $V_{CC}=12$ ، $R_B=2.2M$ ، $R_C=6K$ و β بین ۱۰۰ و ۴۵۰ است. تغییرات نقطه کار ناشی از پروسه را نشان دهید.



$$KVL \rightarrow V_{CC} - R_B I_B - V_Y = 0 \rightarrow I_B = (V_{CC} - V_Y) / R_B$$

$$\rightarrow I_C = \beta (V_{CC} - V_Y) / R_B$$

$$\beta=100 \rightarrow I_C = \beta (V_{CC} - V_Y) / R_B = 0.5 \text{ mA} \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 9 \rightarrow \text{فعال}$$

$$\beta=200 \rightarrow I_C = \beta (V_{CC} - V_Y) / R_B = 1 \text{ mA} \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 6 \rightarrow \text{فعال}$$

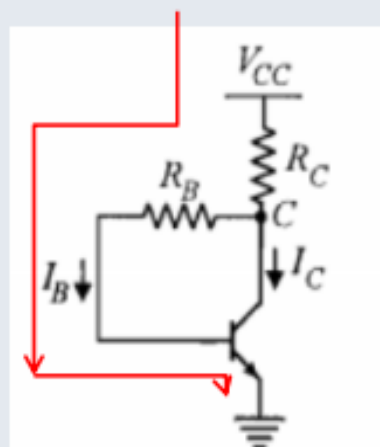
$$\beta=450 \rightarrow I_C = \beta (V_{CC} - V_Y) / R_B = 2.3 \text{ mA} \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = -18 \rightarrow \text{فرض فعال اشتباه است}$$

$$\rightarrow \text{ترانزیستور اشباع است} \rightarrow I_C = (V_{CC} - 0.2) / R_C = 2 \text{ mA}$$

انواع بایاسینگ ترانزیستور و معایب آنها

3. بایاسینگ با استفاده از فیدبک

- چون $I_C = \beta I_B$ ، اگر کاری کنیم که با افزایش β ، I_B کاهش یابد، به گونه ای که βI_B ثابت شود، مدار بهتری خواهیم داشت.



$$\beta \uparrow \rightarrow I_C \uparrow \rightarrow V_{CE} \downarrow \rightarrow I_B \downarrow$$

- بنابراین I_C تقریباً ثابت است.

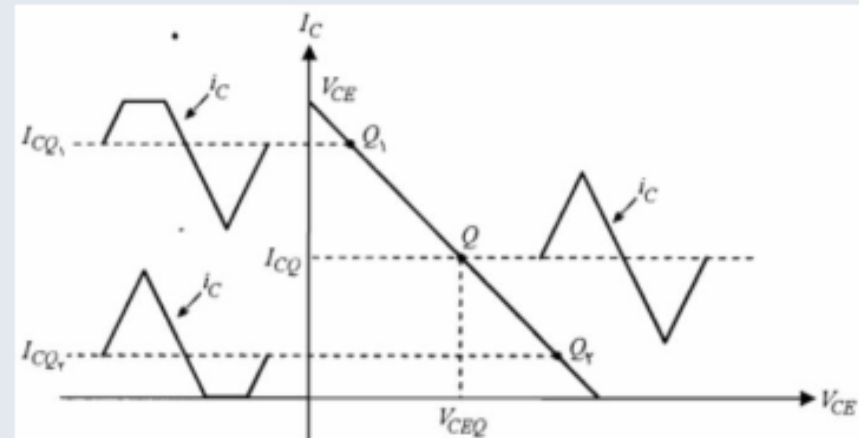
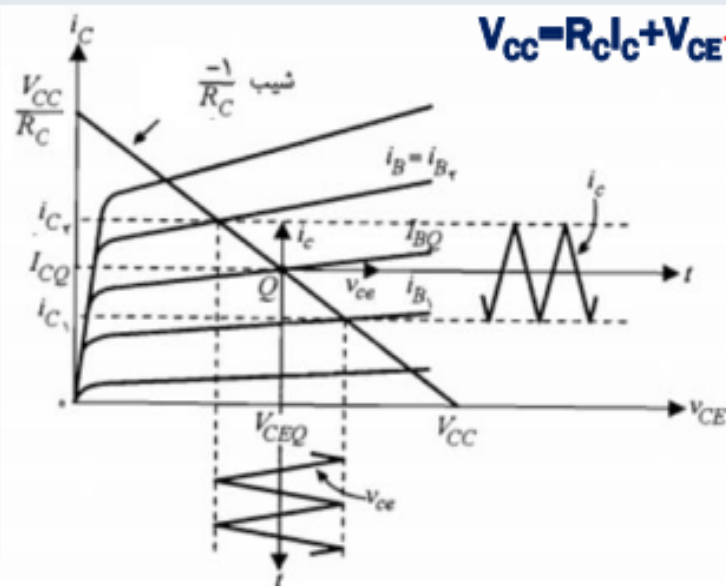
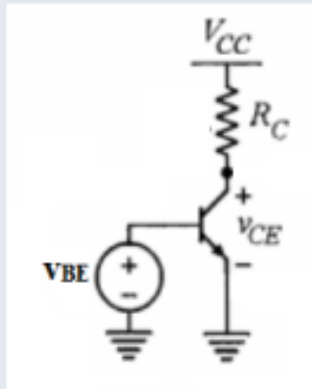
$$KVL \rightarrow V_{CC} - R_C(I_B + I_C) - R_B I_B - V_Y = 0$$

$$\rightarrow I_B = (V_{CC} - V_Y) / (R_B + (\beta + 1)R_C) \rightarrow I_C = \beta (V_{CC} - V_Y) / (R_B + (\beta + 1)R_C)$$

- β هم در صورت و هم در مخرج ظاهر شده است. فرمول ها هم نشان می دهند که I_C تقریباً ثابت است.

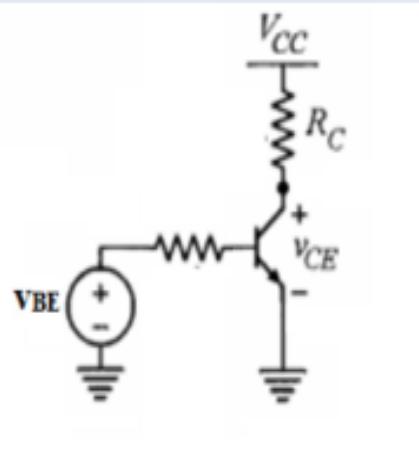
خط بار DC (یادآوری)

خط بار DC: از KVL در حلقه خروجی در حالت تحلیل DC حاصل می شود.



5

خط بار DC (یادآوری)



مثال: در مدار روبرو، $V_{CC}=10\text{ V}$ ، $R_C=4\text{ k}$ و $I_C=1\text{ mA}$ است. حداکثر تغییرات متقارن ولتاژ کلکتور را محاسبه کنید.

$$V_{CC}=R_C I_C + V_{CE} \rightarrow \text{خط بار DC}$$

$$V_{C,DC}=V_{CC}-R_C I_C=6\text{ V}$$

ولتاژ کلکتور در حدی می تواند تغییر کند که ترانزیستور وارد ناحیه اشباع یا قطع نشود.

$$\text{قطع T} \rightarrow V_C=10\text{ V}$$

$$\text{اشباع T} \rightarrow V_C=V_{CE,sat}=0.2\text{ V}$$

حداکثر تغییرات از طرف بالا و پایین سیگنال برابر است با:

$$\text{تغییرات از طرف + (بالای سیگنال)} \rightarrow A_+=10-6=4\text{ V}$$

$$\text{تغییرات از طرف - (پایین سیگنال)} \rightarrow A_-=6-0.2=5.8\text{ V}$$

خط بار DC (یادآوری)

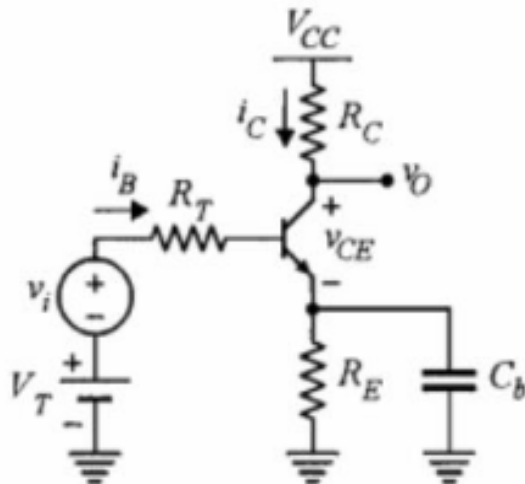
حداکثر تغییرات متقارن ولتاژ کلکتور :

$$\text{swing} = \min(A_+, A_-) = 4 \text{ V}$$

Swing: حداکثر تغییرات متقارن ولتاژ خروجی را سوئینگ گویند.

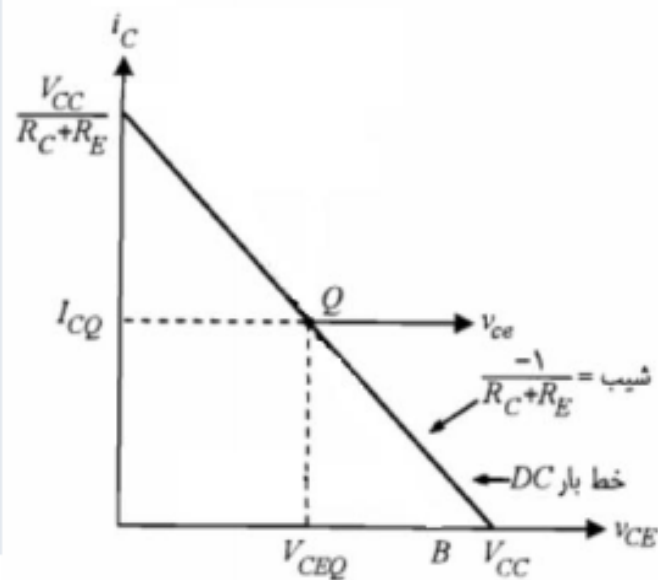
خط بار ac

خط بار **ac**: از **KVL** در حلقه خروجی در حالت تحلیل **ac** حاصل می شود.



- برای رسم خط بار **ac**، ابتدا خط بار **DC** را رسم کرده و نقطه کار را روی آن مشخص می کنیم.

$$V_{CC} = (R_C + R_E)I_C + V_{CE} \longrightarrow \text{خط بار DC}$$



خط بار ac

• خط بار ac از KVL در حلقه خروجی در حالت تحلیل ac حاصل

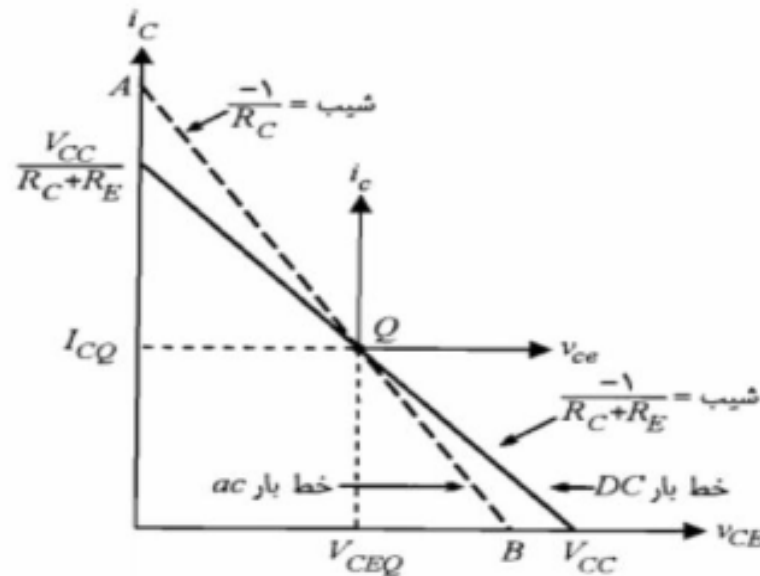
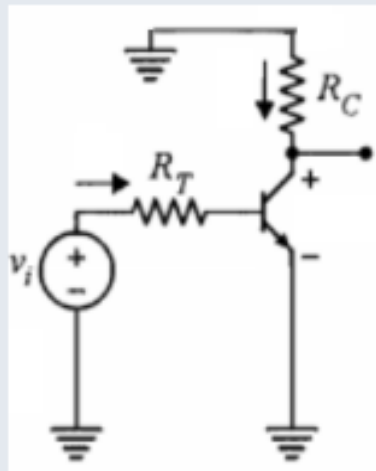
می شود.

تحلیل AC:

$$v_{ce} = -R_C i_c \rightarrow \text{خط بار ac}$$

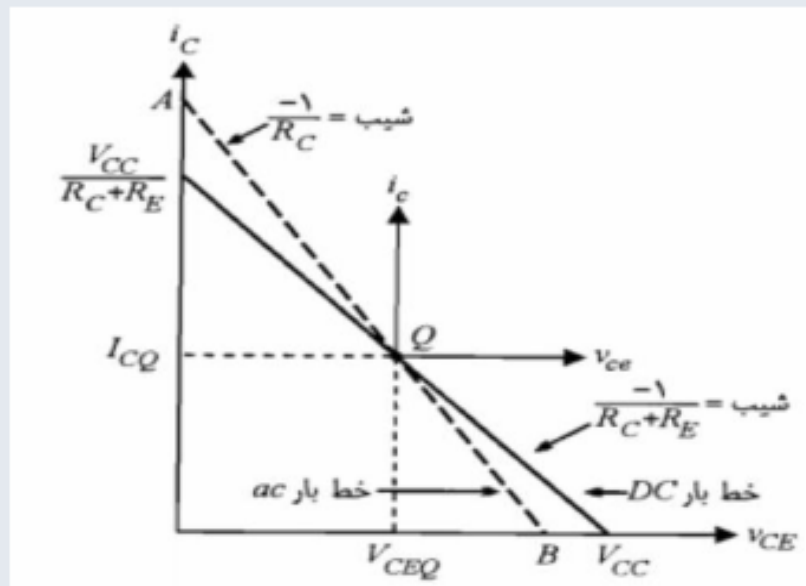
• چون سیگنال ac همیشه سوار سیگنال DC است، خط بار ac سوار نقطه کار می

شود.



خط بار ac

- چون خط بار **ac** محدوده V_{CE} را محدود می کند، لازم است که نقطه کار وسط خط بار **ac** باشد.



$$V_{CE,Q} = \frac{B + V_{CE,sat}}{2}$$

$$\frac{V_{CE,Q} + R_{ac} I_{C,Q} + V_{CE,sat}}{2}$$

$$\rightarrow R_{ac} I_{C,Q} = V_{CE,Q} - V_{CE,sat}$$

$$\text{DC خط بار} \rightarrow V_{CE,Q} = V_{CC} - R_{DC} I_{C,Q}$$

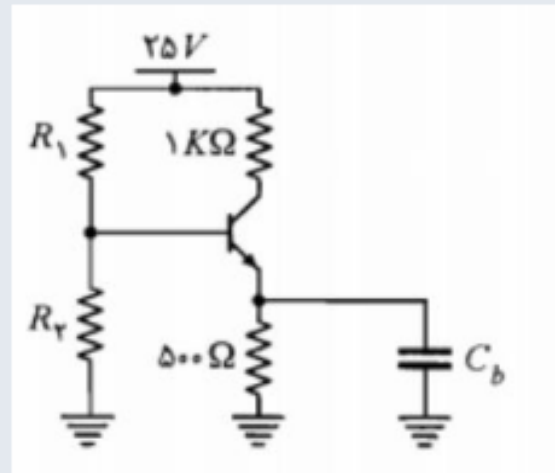
$$\rightarrow I_{C,Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{DC}}$$

خط بار ac

- برای کسب حداکثر سوئینگ باید داشته باشیم:

$$I_{C, Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE, sat}}{R_{ac} + R_{D_C}}$$

مثال: در مدار شکل زیر با فرض $100 < \beta < 200$ است. مقادیر مقاومت های R_1 و R_2 را طوری تعیین کنید که دامنه نوسان متقارن جریان کلکتور حداکثر شده و نقطه کار پایداری خوبی داشته



باشد.

$$I_{C,Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{DC}} \quad I_{CQ} = \frac{25}{2 \times 1 + 0.5} = 10 \text{ mA}$$

به اسلاید ۵۶ مراجعه شود

$$R_T < 0.1 \beta_{min} R_E \quad R_T \cong \frac{\beta_{min} R_E}{10} = \frac{100 \times 0.5}{10} = 5 \text{ K}\Omega$$

با KVL در حلقه ورودی داریم:

$$V_T = \left(\frac{R_T}{\beta_{av}} + R_E \right) I_E + V_{BE} \cong 0.53 \times 10 + 0.7 = 6 \text{ V}$$

خط بار ac

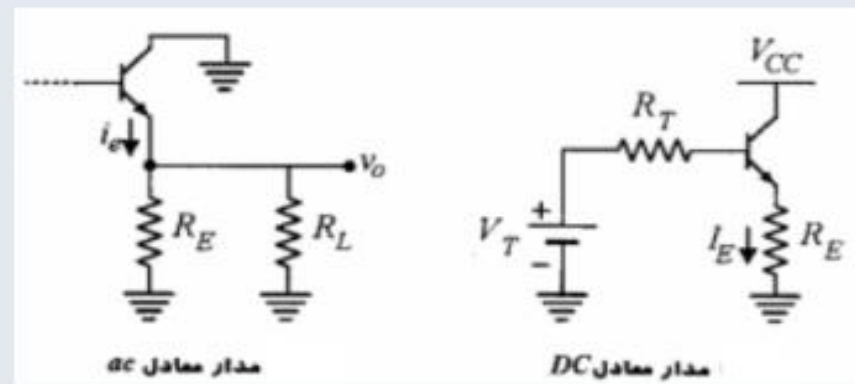
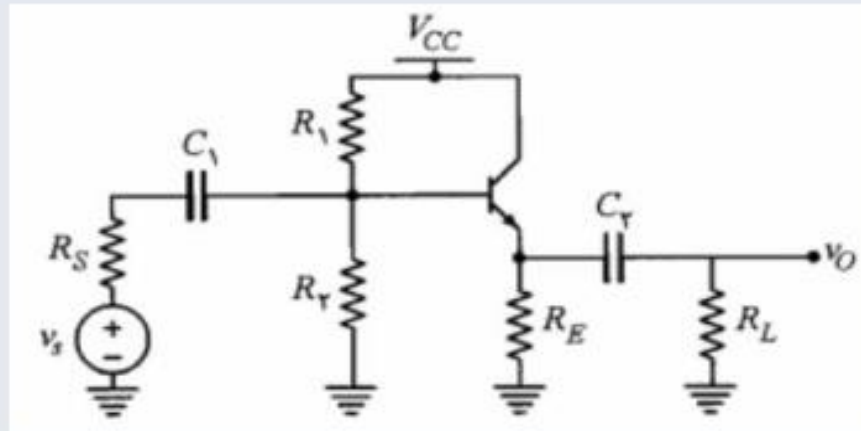
بادر نظر گرفتن معادلاتی که برای مدار معادل تونن داشتیم:

$$R_T = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$
$$V_T = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

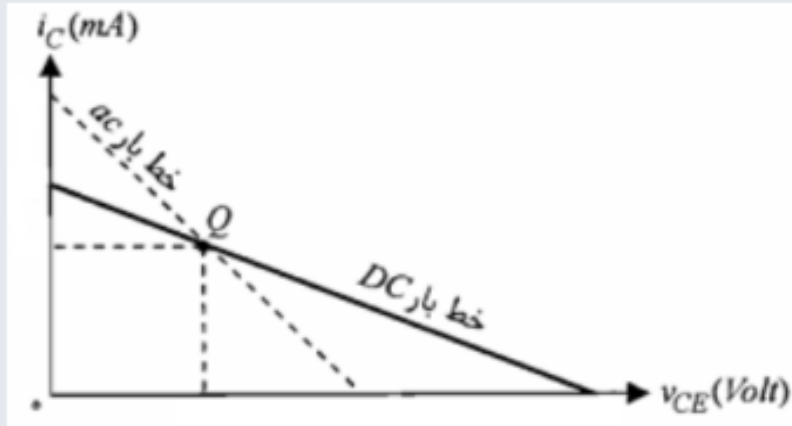
$$R_1 = R_T \left[\frac{V_{CC}}{V_T} \right]$$
$$R_2 = \frac{R_T}{1 - V_T/V_{CC}}$$

$$R_1 = 5 \left(\frac{25}{6} \right) \cong 20.8 \text{ K}\Omega$$
$$R_2 = \frac{5}{1 - 6/25} \cong 6.58 \text{ K}\Omega$$

خط بار ac کلکتور مشترک



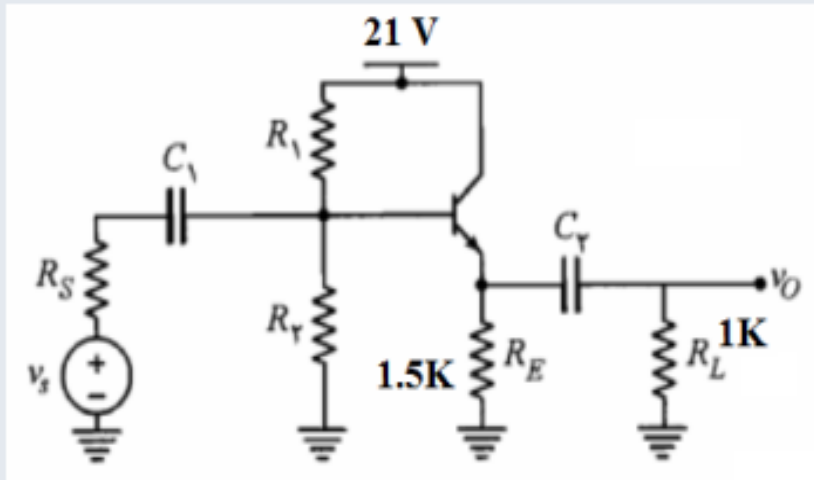
خط بار ac کلکتور مشترک



$$I_{E,Q} = I_{C,Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{DC}}$$

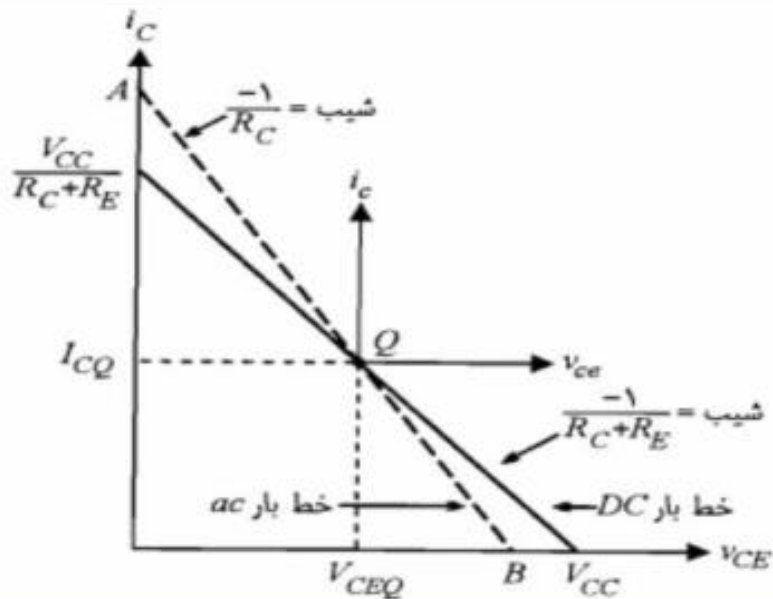
تمرین

تمرین : در مدار شکل زیر با فرض $100 < \beta < 150$ مقاومت های R_1 و R_2 را طوری تعیین کنید که دامنه نوسان متقارن خروجی حداکثر شود.



خط بار ac (یادآوری)

- چون خط بار ac محدوده V_{CE} را محدود می کند، لازم است که نقطه کار وسط خط بار ac باشد.



$$V_{CE,Q} = \frac{B + V_{CE,sat}}{2}$$

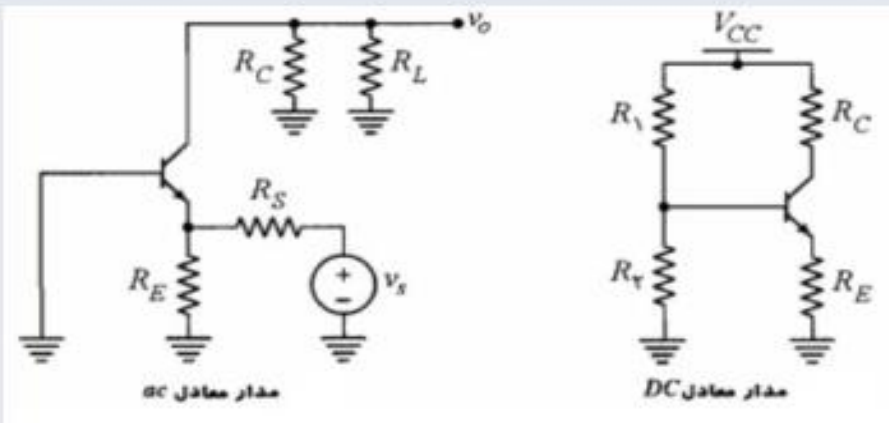
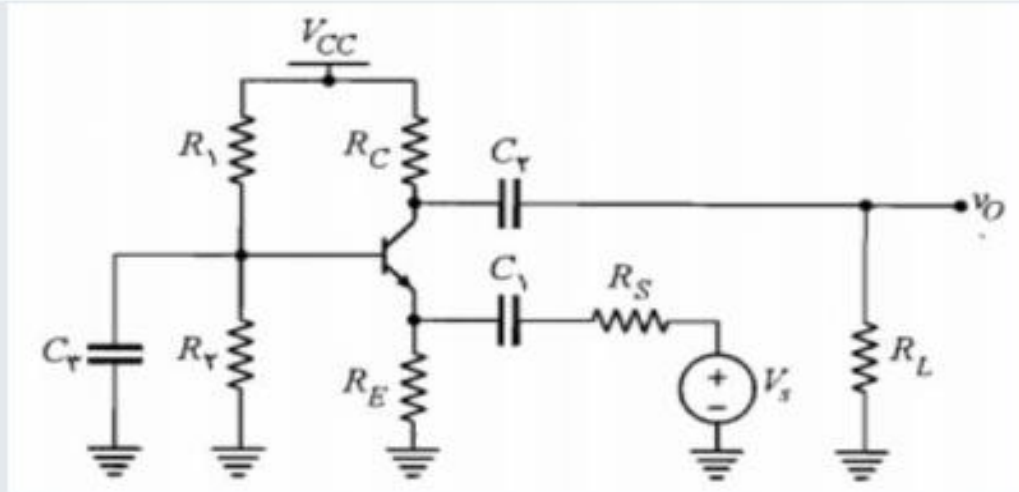
$$\frac{V_{CE,Q} + R_{ac} I_{C,Q} + V_{CE,sat}}{2}$$

$$\rightarrow R_{ac} I_{C,Q} = V_{CE,Q} - V_{CE,sat}$$

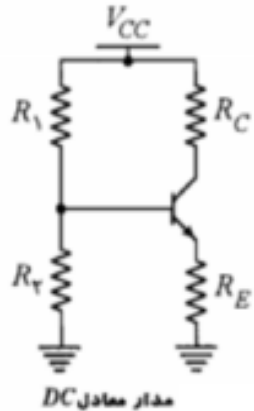
$$\text{خط بار DC} \rightarrow V_{CE,Q} = V_{CC} - R_{DC} I_{C,Q}$$

$$\rightarrow I_{C,Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{DC}}$$

خط بار ac بیس مشترک



خط بار ac بیس مشترک

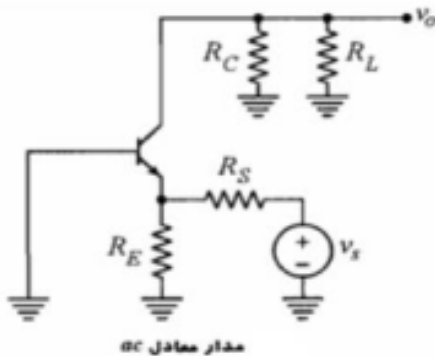


محاسبه خط بار **DC**:

$$\text{KVL در حلقه CE} \rightarrow V_{CC} = R_C(I_C) + V_{CE} + R_E I_E \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C$$

خط بار بر حسب V_{CE} بدست آمد ولی چون در مشخصه خروجی V_{CB} داریم، باید V_{CE} را بر حسب V_{CB} بنویسیم:

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C \rightarrow V_{CB} + V_{BE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C \rightarrow V_{CB} = (V_{CC} - V_{BE}) - (R_C + R_E)I_C$$

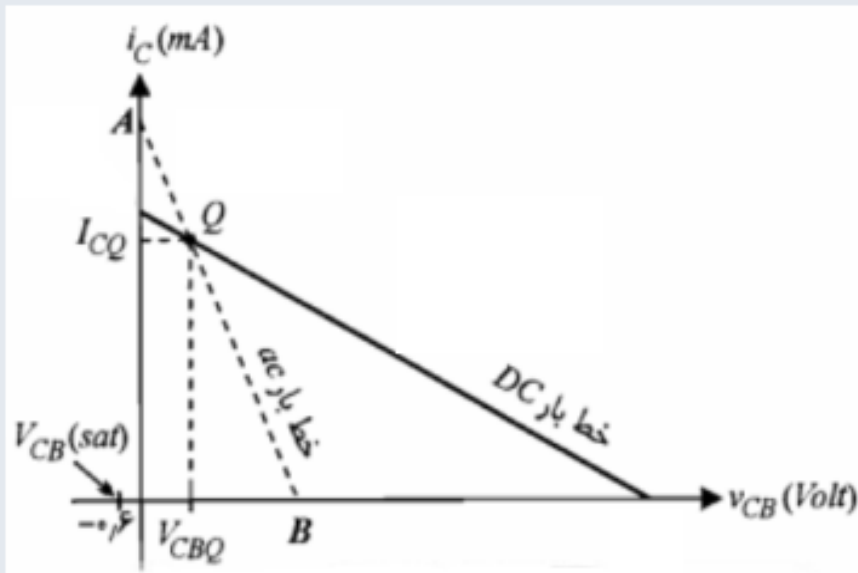


محاسبه خط بار **ac**:

KVL در حلقه خروجی:

$$v_{cb} = -(R_C \parallel R_L) i_c$$

خط بار ac بیس مشترک



• چون خط بار **ac** محدوده **v_{CB}** را محدود می کند، لازم است که نقطه کار وسط خط بار **ac** باشد.

• جریان نقطه کار به صورت زیر حاصل می شود:

$$I_{C,Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{DC}}$$

• پس برای هر سه آرایش ترانزیستور داریم:

R_{DC} : مقاومت موجود در حلقه **CE** در حالت تحلیل **DC**

R_{ac} : مقاومت موجود در حلقه خروجی در حالت تحلیل **ac**

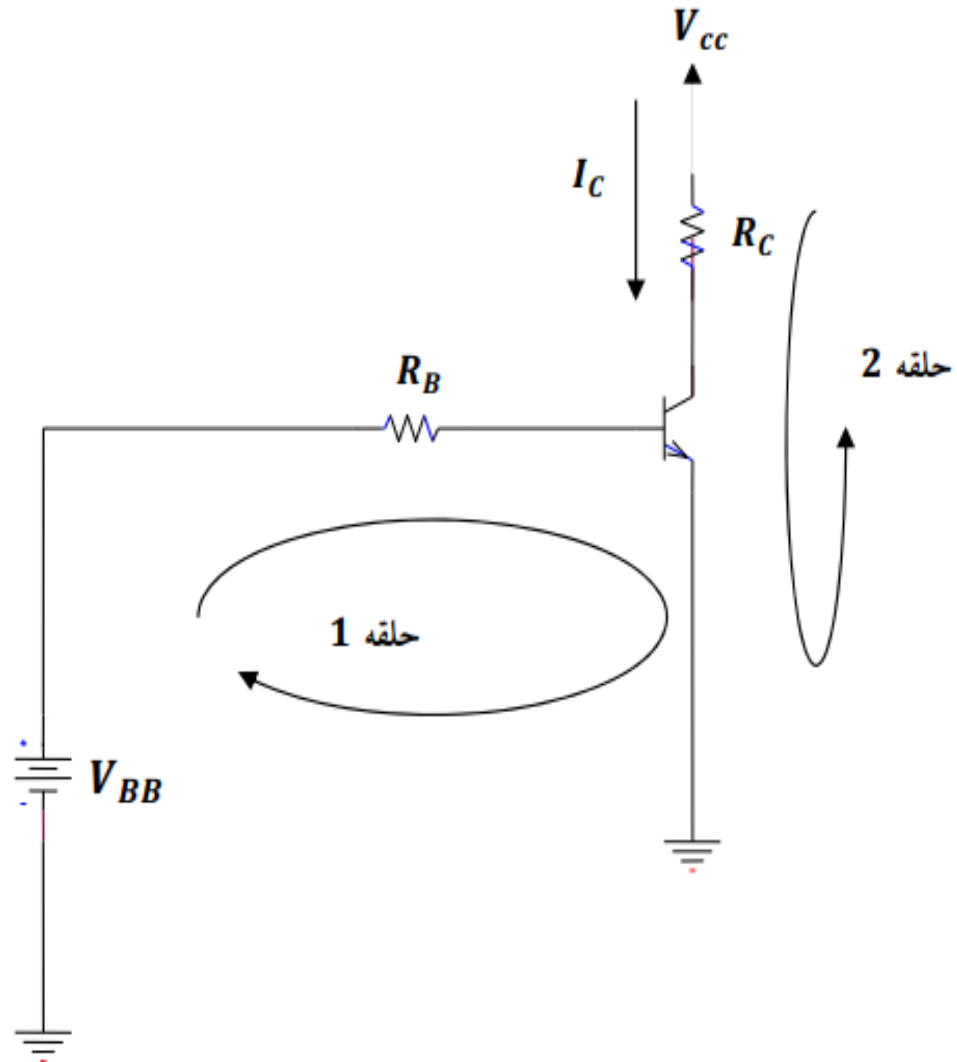
خلاصه

نوع آرایش	نقطه کار	I_{CQ} برای داشتن حداکثر سوئینگ
امیتر مشترک	(I_C, V_{CE})	$I_{C,Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{D_C}}$
کلکتور مشترک	(I_C, V_{CE})	$I_{C,Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{D_C}}$
بیس مشترک	(I_C, V_{CB})	$I_{C,Q} = \frac{V_{CC} - V_{CE,sat}}{R_{ac} + R_{D_C}}$

R_{DC} : مقاومت موجود در حلقه **CE** در حالت تحلیل **DC**

R_{ac} : مقاومت موجود در حلقه خروجی در حالت تحلیل **ac**

به کمک مدار زیر مراحل یافتن نقطه کار را بیان می کنیم:



با نوشتن قانون KVL در دو حلقه شماره یک و دو خواهیم داشت :

$$\text{Step 1} \Rightarrow \text{ kvl in 1 : } V_{BB} = R_B \cdot I_B + V_{BE} \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$\text{Step 2} \Rightarrow \text{ kvl in 2 : } V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = V_{CC} - R_C \beta I_B$$

ابتدا با نوشتن قانون KVL در حلقه ورودی مدار و با فرض اینکه در ناحیه فعال قرار دارد ، جریان ورودی I_B را محاسبه می کنیم و سپس با نوشتن قانون KVL در حلقه خروجی یک

ارتباط خطی بین جریان و ولتاژ خروجی در نقطه کار به دست می آوریم که به آن خط بار DC (DC load line) نام دارد .

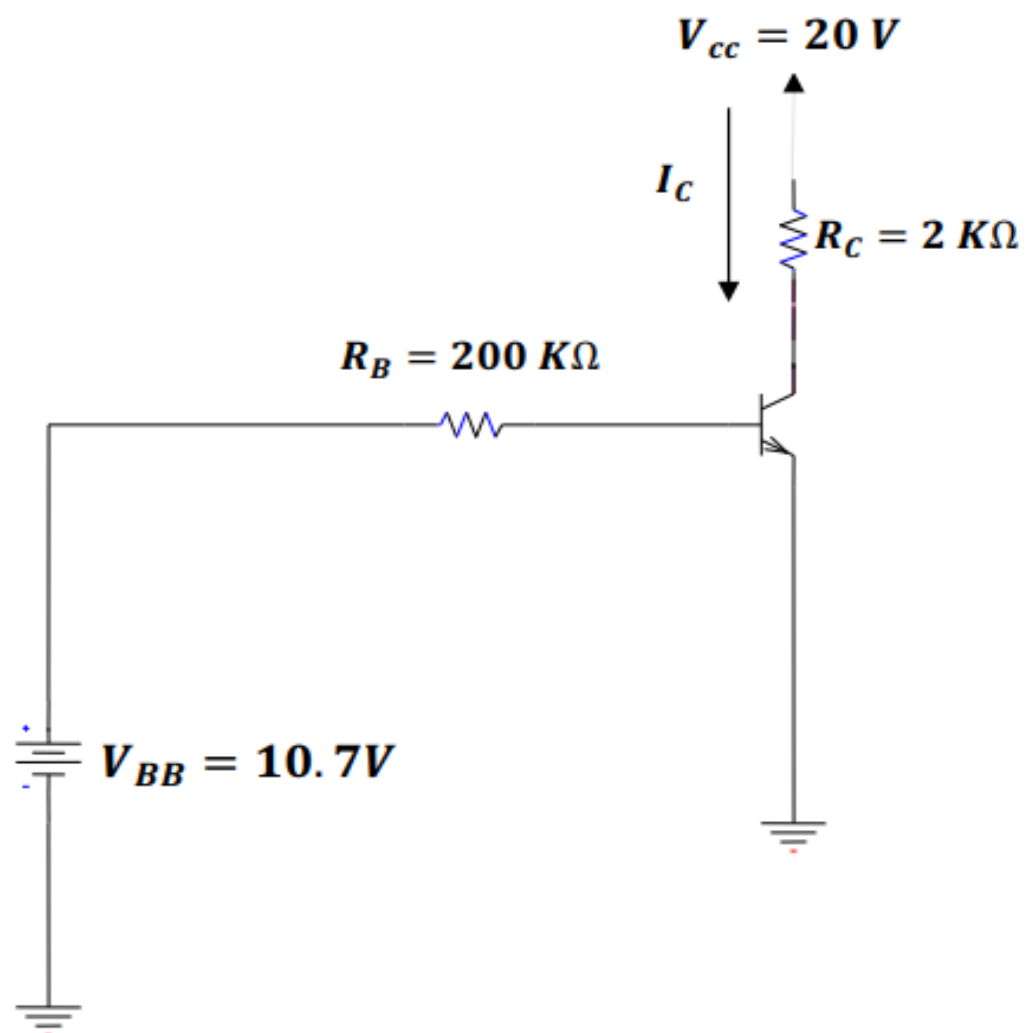
$$Q(I_{CEQ}, V_{CEQ})$$

سپس بعد از به دست آوردن جریان ورودی و فرض فعال بودن، جریان خروجی را با $I_C = \beta I_B$ را به دست می آوریم . و سپس از قانون KVL دوم ولتاژ V_{CE} را محاسبه کرده ، اگر بزرگتر از 0.2 بود ، نشان می دهد فرض فعال درست بوده و مقادیر به دست آمده نیز صحیح هستند اما در غیر این صورت ولتاژ V_{CE} را برابر با 0.2 قرار داده (فرض اشباع) و جریان های I_C و I_B را محاسبه می نمایم .

تذکر:

توجه داشته باشیم که در حالتی که ولتاژ V_{CE} را برابر با 0.2 قرار می دهیم (فرض اشباع)، دیگر حق استفاده از مقادیری را که در فرض فعال بودن به دست آورده ایم را نخواهیم داشت .

مثال ۱) در مدار شکل زیر ناحیه کار ترانزیستور را تعیین نمایید .



مفروضات مسئله : $V_{CE} = 0.2$, $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = 100$

ب) اگر مقاومت R_C به مقدار ۴ کیلو اهم افزایش یابد آن گاه ناحیه کاری را تعیین نمایید .

حل : با نوشتن قانون KVL در دو حلقه ورودی و خروجی داریم :

$$\begin{aligned} \text{fرض ناحیه فعال : } kvl \text{ in } 1 : \Rightarrow I_B &= \frac{V_{BB} - V_{BE}(on)}{R_B} = \\ &= \frac{10.7 - 0.7}{200} = 0.05 \text{ mA} \end{aligned}$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.05 = 5 \text{ mA}$$

$\Rightarrow$ بررسی صحت فرض : $kvl \text{ in } 2 \text{ (output)}$:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 20 - 2 \times 5 = 10 \text{ V} > V_{CE}(on) = 0.2 \text{ (correct)}$$

$$\Rightarrow Q (I_{CQ} = 5 \text{ mA} , V_{CQ} = 10 \text{ Volt})$$

(ب)

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}(on)}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{200} = 0.05 \text{ mA}$$

kvl in 1 : فرض ناحیه فعال

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.05 = 5 \text{ mA}$$

kvl in 2 (output) : بررسی صحت فرض $\Rightarrow$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 20 - 4 \times 5 = 0 < V_{CE}(on) = 0.2 \text{ (Not)}$$

پس فرض فعال نادرست می باشد و باید شرط اشباع بودن را اجرا نماییم .

$$v_{CE} = 0.2 \Rightarrow v_{cc} = R_C I_C + V_{CE}(sat) \Rightarrow$$

فرض ناحیه اشباع

$$\Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}(sat)}{R_C} = \frac{20 - 0.2}{4} = 4.9 \text{ mA} < \beta I_B = 5 \text{ mA (Correct)}$$

$$\Rightarrow Q (I_{CQ} = 4.9 \text{ mA} , V_{CQ} = 0.2 \text{ Volt})$$

نکته : حداقل جریان *Base* برای اینکه ترانزیستور در ناحیه اشباع باقی بماند در صورتیکه $\beta_{min} < \beta < \beta_{max}$

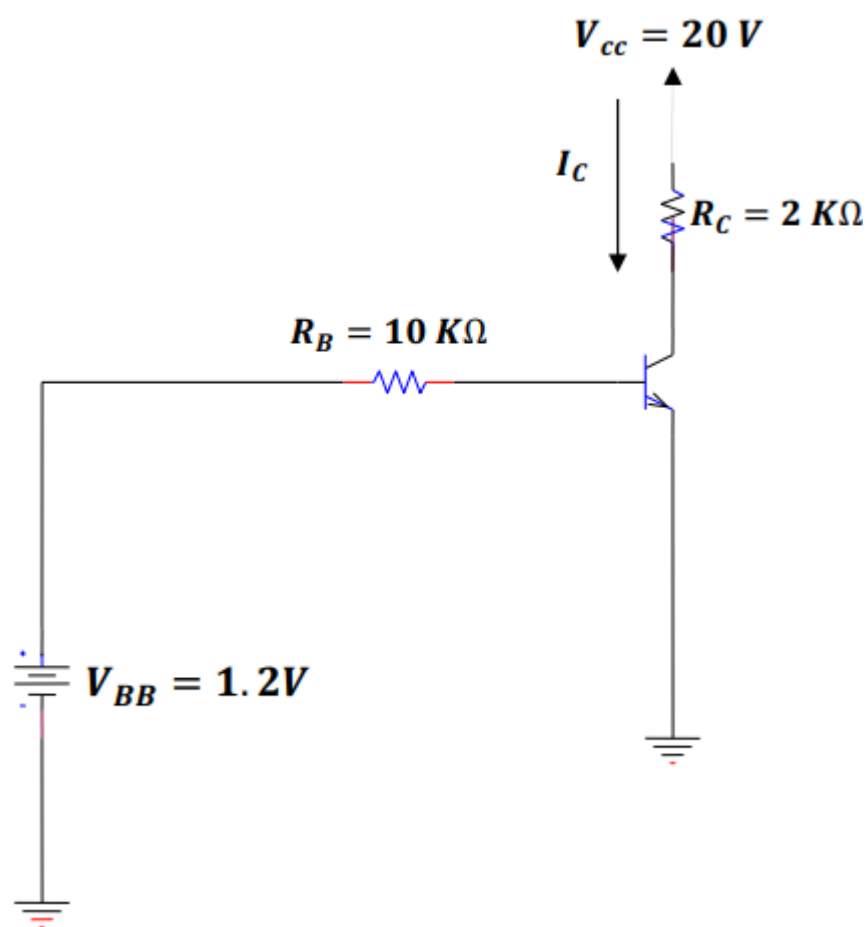
$$\beta_{min} < \beta < \beta_{max} \Rightarrow I_C(sat) = \beta I_{B min} \Rightarrow I_{B min} = \frac{I_C(sat)}{\beta_{min}}$$

مثال ۲) در مدار شکل زیر اگر داشته باشیم: $V_{BE} = 0.7$ & $\beta = 100$

الف) ناحیه کاری تعیین نمایید.

ب) فرض کنید $V_{BB} = 2.7$ و سپس قسمت الف را تکرار کنید.

ج) حداقل V_{BB} را برای اشباع ماندن ترا نزیستور تعیین نمایید.



الف (حل : با نوشتن قانون KVL در دو حلقه ورودی و خروجی داریم :

$$kvl\ in\ 1 : \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}(on)}{R_B} = \frac{1.2 - 0.7}{10} = 0.05\ mA$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.05 = 5\ mA$$

$\Rightarrow$ بررسی صحت فرض : $kvl\ in\ 2\ (output)$:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 20 - 2 \times 5 = 10\ V > V_{CE}(on) = 0.2\ (correct)$$

$$\Rightarrow Q\ (I_{CQ} = 5\ mA , V_{CQ} = 10\ Volt)$$

$$\text{فرض ناحیه فعال : } kvl \text{ in } 1 : \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}(on)}{R_B} = \frac{2.7 - 0.7}{10} = 0.2 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.2 = 20 \text{ mA}$$

$\Rightarrow$ بررسی صحت فرض : $kvl \text{ in } 2 \text{ (output)}$:

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 20 - 2 \times 20 = -20 < V_{CE}(on) = 0.2 \text{ (Not)}$$

پس فرض فعال نادرست می باشد و باید شرط اشباع بودن را اجرا نماییم .

$$\text{فرض ناحیه اشباع : } v_{CE} = 0.2 \Rightarrow v_{cc} = R_C I_C + V_{CE}(sat) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}(sat)}{R_C} = \frac{20 - 0.2}{2} = 9.9 \text{ mA} < \beta I_B = 20 \text{ mA} \text{ (Correct)}$$

$$\Rightarrow Q (I_{CQ} = 9.9 \text{ mA} , V_{CQ} = 0.2 \text{ Volt})$$

$$\beta_{min} < \beta < \beta_{max} \Rightarrow I_C(sat) = \beta I_{B min} \Rightarrow I_{B min} = \frac{I_C(sat)}{\beta_{min}}$$

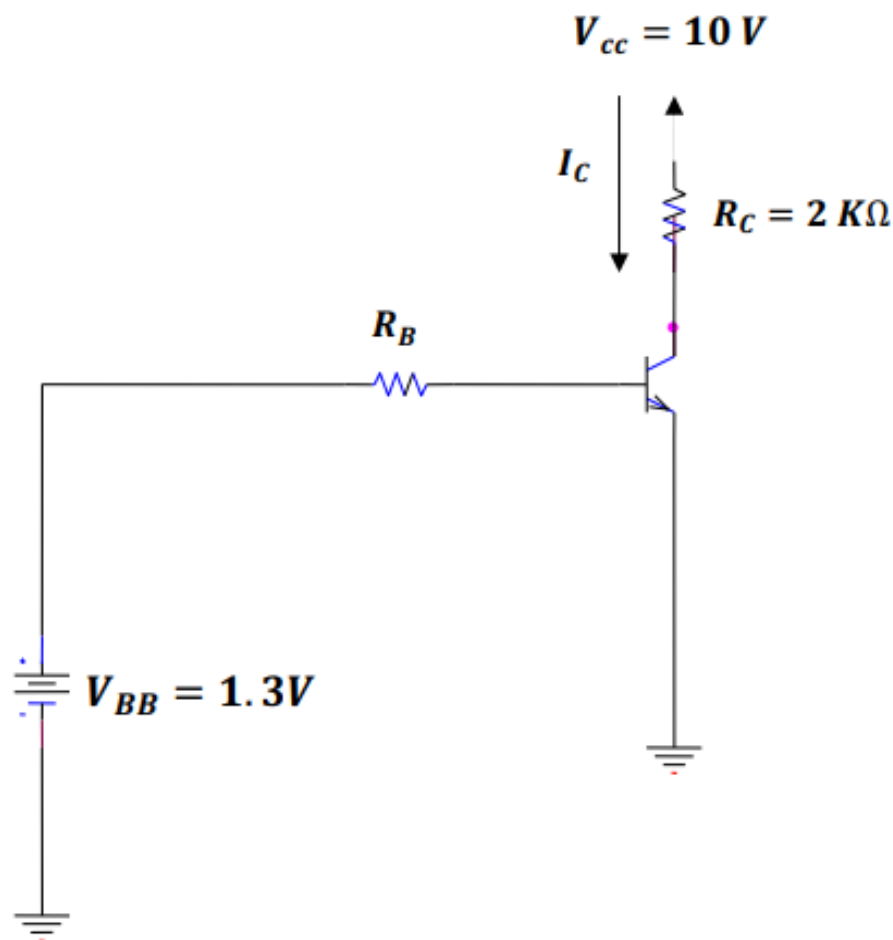
$$I_{B min} = \frac{I_C(sat)}{\beta_{min}} = \frac{9.9 \text{ mA}}{100} = 0.099 \text{ mA}$$

$$V_{BB min} = R_B \cdot I_B + V_{BE} = 10 \times 0.099 + 0.7 = 1.69 \text{ Volt}$$

تذکر: ولتاژ V_{BE} را در ناحیه فعال و ناحیه اشباع برابر با 0.7 در نظر می گیریم. مگر آنکه خود مسئله برای حالت های اشباع و فعال مقادیر جداگانه بدهد و هم چنین ولتاژ V_{CE} را در حالت اشباع اکثرا برابر با 0.2 در نظر خواهیم گرفت.

مثال ۳) در مدار شکل زیر اگر نقطه کار $Q(I_{CQ} = 2.5mA, V_{CEQ} = 5 \text{ volt})$ مفروض باشد. آنگاه مقاومت بیس R_B را تعیین نمایید.

ب) اگر در همین مدار ولتاژ V_{BB} از 1.3 به 6.1 ولت تغییر نماید آنگاه ناحیه کاری ترانزیستور را تعیین نمایید.



مفروضات مسئله :

$$\beta = 125 \quad \& \quad V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ volt} \quad \& \quad V_{BE(on)} = 0.7 \text{ volt}$$

حل : الف :

$$I_C = \beta I_B \Rightarrow I_B = \frac{2.5}{125} = 0.02 \text{ mA}$$

$$KVL : V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}(on) \Rightarrow R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}(on)}{I_B} = \frac{1.3 - 0.7}{0.02} = 30 \text{ K}\Omega$$

(ب)

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}(on) \Rightarrow I_B = \frac{6.1 - 0.7}{30} = 0.18 \text{ mA}$$

$$\text{فرض ناحیه فعال} : I_C = \beta I_B = 125 \times 0.18 = 22.5 \text{ mA}$$

$$kvl \text{ in } 2 \text{ (output)} : V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = 10 - 22.5 \times 2 = -35 < 0.2$$

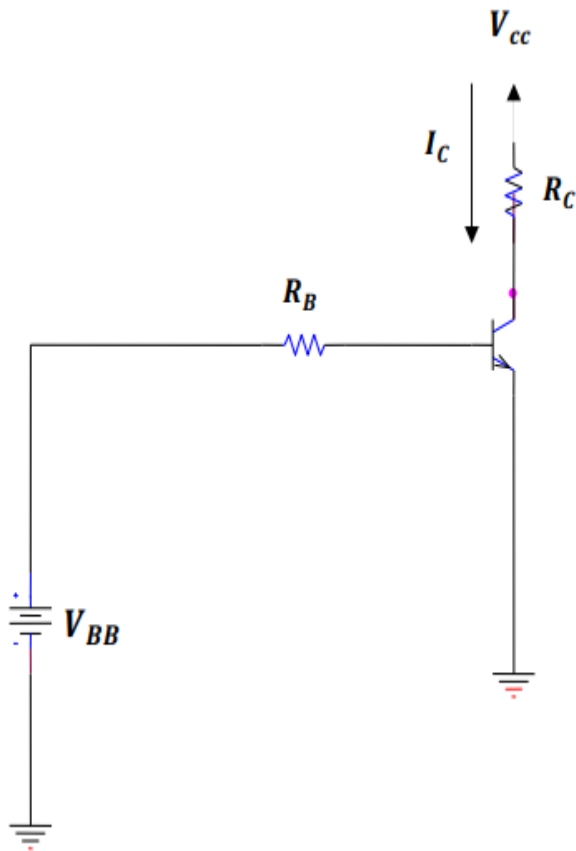
پس فرض فعال نادرست می باشد و باید شرط اشباع بودن را اجرا نماییم .

$$\text{فرض ناحیه اشباع} : v_{CE} = 0.2 \Rightarrow v_{cc} = R_C I_C + V_{CE}(sat) \Rightarrow$$

$$I_C(sat) = \frac{V_{cc} - V_{CE}(sat)}{R_C} = 4.9 \text{ mA} < 22.5 \text{ mA}$$

$$Q(I_{CEQ} = 4.9 \text{ mA} , V_{CEQ} = 0.2 \text{ volt})$$

✓ طراحی مدارهای بایاس



معایب روش بایاس در مدار فوق :

(۱) برای بایاس کردن نیاز به دو منبع ولتاژ مستقل داریم .

(۲) وجود رانش حرارتی در ترانزیستور

فیدبک مثبت $\Rightarrow$ افزایش $I_C \Rightarrow$ گرم شدن $T \Rightarrow$ افزایش $I_C \Rightarrow$ گرم شدن ترانزیستور

• عدم پایداری حرارتی در ترانزیستور

(۳) وابستگی شدید نقطه کار نسبت به تغییرات β (وابستگی شدید I_C به β)

همانطوریکه مشاهده می شود مشکلات فوق برای روش بایاس مدار فوق بودند هم اکنون برای

از بین بردن مشکلات مدارهای جدیدی را معرفی نموده تا اینکه در نهایت به روش بایاس

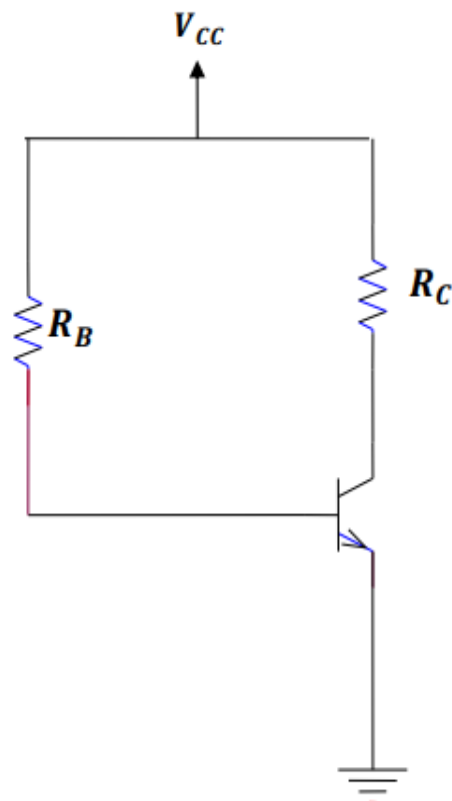
مداری خواهیم رسید که هیچ کدام از این مشکلات را نداشته باشد .

الف (حذف مشکل منبع (مدار شماره ۲)

در این مدار مشکلی بنام وجود دو منبع مستقل را نخواهیم داشت ولی هنوز مشکلات بعدی در این مدار وجود دارند .

برای حذف این مشکل ما از طریق یک منبع ولتاژ مستقل هر دو مقاومت R_C , R_B را تغذیه خواهیم نمود .

تذکر : در مدار شماره ۲ ، مقاومت بیس R_B خیلی بزرگ بوده و باعث افت ولتاژ بسیاری خواهد شد .

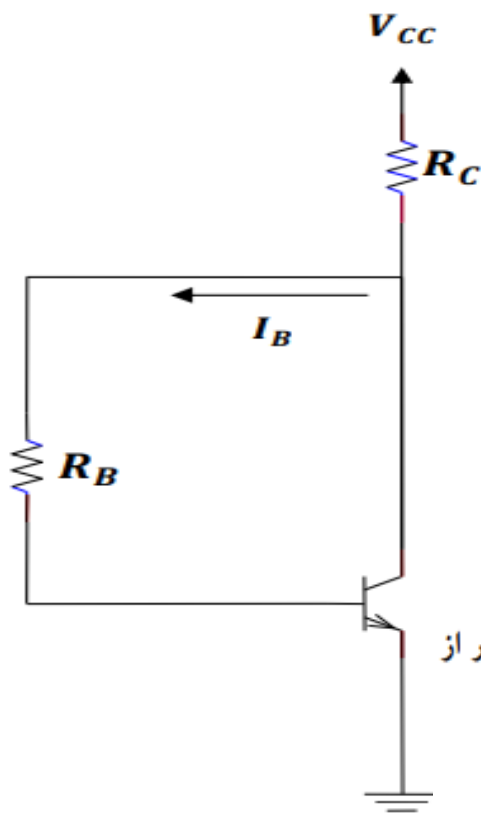


مدار شماره ۲

از بین رفتن مشکل دو منبع مستقل، چرا که
در این مدار تنها فقط یک منبع مستقل
داریم .

مدار بایاس شماره ۳ :

در این مدار مشکل وجود دو منبع مستقل و هم چنین مشکل عدم پایداری حرارتی و رانش حرارتی از بین می روند .



$$V_{CC} = R_C(I_C + I_B) + V_{CE} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_C - V_{BE}}{R_B} \quad \text{معادله شماره 1}$$

$$I_C = \beta I_B \quad \text{معادله شماره 3}$$

$$V_C = V_{CE} = V_{CC} - R_C(I_C + I_B) \quad \text{معادله شماره 2}$$

به کمک معادلات شماره ۱ و ۲ و ۳ نشان خواهیم داد که مشکل عدم پایداری حرارتی و رانش حرارتی در ترانزیستور از بین می رود .

فیدبک منفی $\Rightarrow$ کاهش $I_C \Rightarrow$ کاهش I_B $\xRightarrow{\text{معادله شماره 1}}$ کاهش V_C $\xRightarrow{\text{معادله شماره 2}}$ افزایش I_C $\Rightarrow$ گرم شدن ترانزیستور

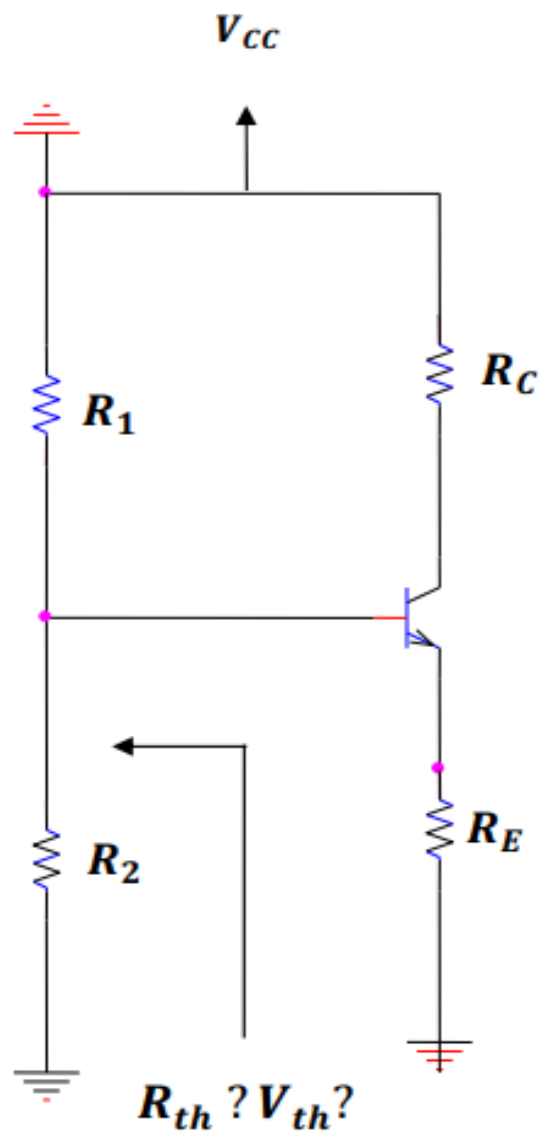
$$V_C = V_{CC} - R_C(I_C)$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = V_C - 0 = V_C$$

فیدبک منفی باعث می شود که دیگر I_C افزایش پیدا نکند و دیگر ترانزیستور گرم تر نشود .

مدار بایاس شماره ۴ : خود بایاس (سلف بایاس)

در این مدار همه مشکلات بیان شده از بین می روند .



$$R_{th} = R_1 || R_2$$

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

نکته : برای یافتن مقاومت معادل تونن ، با صفر کردن منبع

ولتاژ V_{CC} ، دو مقاومت R_1 , R_2 با هم موازی می شوند .

هم اکنون به بررسی مشکلات می پردازیم :

$$V_E = R_E \cdot I_E \quad \& \quad I_C = \beta I_B \quad \& \quad I_B = \frac{I_E}{1 + \beta}$$

$$V_B = R_E I_E + V_{BE}(on)$$

$$V_{BB} = V_{th} = R_E I_E + V_{BE}(on) + R_{th} I_B \Rightarrow V_{BB} = R_E I_E + V_{BE}(on)$$

تذکر : در رابطه فوق از عبارت $R_{th} I_B$ صرفنظر می کنیم چرا که جریان I_B در محدوده میکرو آمپر می باشد .

نشان دادن از بین رفتن مشکل عدم پایداری حرارتی و رانش حرارتی :

فیدبک منفی $\Rightarrow$ کاهش $I_C \Rightarrow$ کاهش $I_E \Rightarrow$ کاهش $V_{BE} \Rightarrow$ افزایش $V_E \Rightarrow$ افزایش $I_C \Rightarrow$ افزایش دما T

$$V_{B} = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V_B = \begin{matrix} \downarrow \\ V_{BE} \\ \uparrow \\ V_E \end{matrix}$$

بررسی پایداری نقطه کار نسبت به β در مدار :

✓ قضيه انعكاس

$$V_{BB} = V_{th} = R_{th}I_B + V_{BE} + R_E I_E$$

$$R_{th} = R_1 || R_2 = R_B = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_C = \beta I_B \Rightarrow I_E = I_C + I_B = \beta I_B + I_B = (1 + \beta)I_B$$

$$V_{BB} = R_B \cdot \frac{I_E}{1 + \beta} + V_{BE} + R_E I_E \Rightarrow I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1 + \beta} + R_E}$$

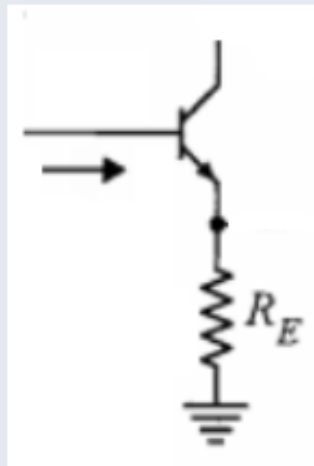
الف- از دید بیس

۱-المان های موجود در بیس بدون تغییر باقی می مانند.

۲-مقاومت های موجود در امیتر در $(1+\beta)$ ضرب شده و به بیس منتقل می شوند

۳-منابع ولتاژ موجود در امیتر بدون تغییر انتقال می یابند.

$$r_{\pi} + (1 + \beta)R_E$$

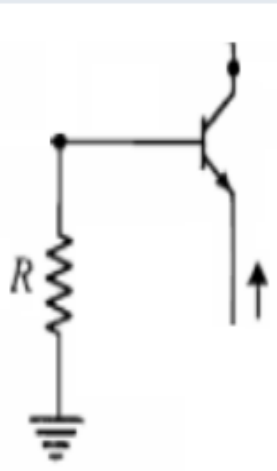


ب- از دید امیتر

۱-المان های موجود در امیتر بدون تغییر باقی می مانند.

۲-مقاومت های موجود در بیس بر $(1+\beta)$ تقسیم شده و به امیتر منتقل می شوند.

۳-منابع ولتاژ موجود در بیس بدون تغییر انتقال می یابند.



$$r_e + R/(1 + \beta)$$

بیان قضیه انعکاس در ترانزیستورهای BJT :

(۱) مقاومت های بیس از دید امیتر با توجه به رابطه فوق تقسیم بر $1 + \beta$ می شوند .

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1+\beta} + R_E}$$

(۲) مقاومت های امیتر طبق قضیه انعکاس از دید بیس در $1 + \beta$ ضرب می شوند .

$$I_E = (1 + \beta)I_B \Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E(1 + \beta) + R_B}$$

به کمک رابطه نکته شماره ۱ در فوق، به صورت زیر استفاده می کنیم .

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\frac{R_B}{1+\beta} + R_E} , \quad \text{If } R_E \gg \frac{R_B}{1 + \beta} \Rightarrow I_E \cong \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E}$$

در صورت برقراری شرط فوق نقطه کار از تغییرات β تقریباً مستقل می گردد که این شرط را غالباً به شکل زیر در نظر می گیریم.

$$\frac{R_E}{10} = \frac{R_B}{1 + \beta} \Rightarrow R_B = \frac{1 + \beta}{10} R_E \cong \frac{\beta}{10} R_E$$

بنابراین هر گاه از پایداری نقطه کار صحبت شد همواره باید از شرط زیر استفاده کنیم :

$$R_B = \frac{\beta}{10} R_E$$

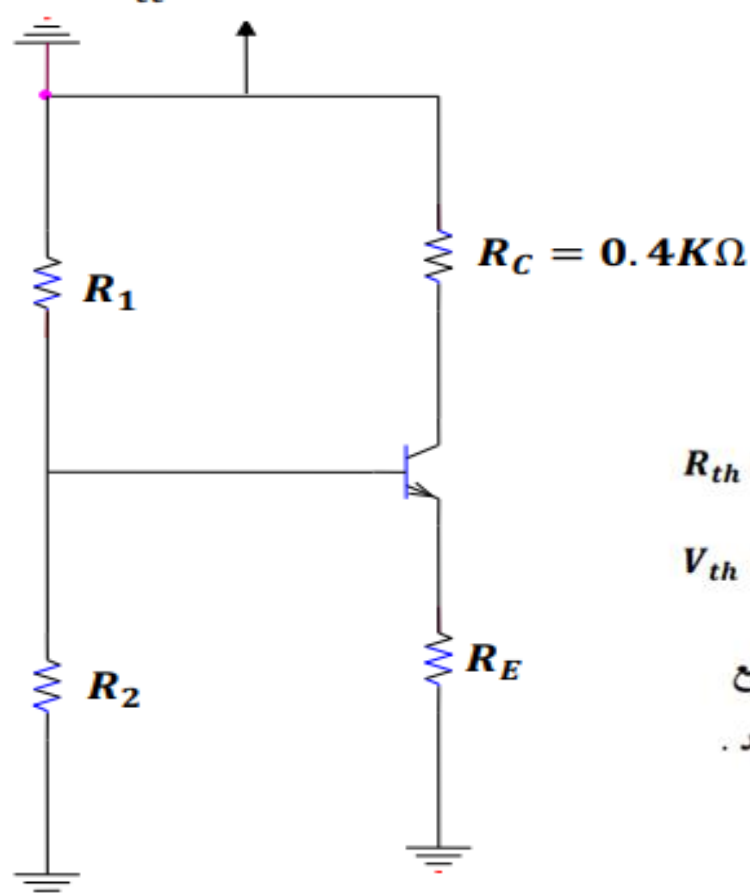
تذکر : توجه شود که اگر مقدار β دارای مینیمم و ماکزیمم بود شرط فوق به صورت زیر مورد استفاده قرار می گیرد .

$$R_B = \frac{\beta_{min}}{10} R_E$$

نکته : در صورتیکه β متغیر باشد برای استقلال نقطه کار از مقدار β_{min} استفاده می شود در صورتی که به برای محاسبه $I_E = (1 + \beta) I_B$ & $I_C = \beta I_B$ ، باید از $\beta_{average}$ استفاده کرد .

$$\beta_{average} = \frac{\beta_{min} + \beta_{max}}{2}$$

مثال ۱) در مدار شکل زیر $40 < \beta < 120$ ، مقادیر R_1 , R_2 , R_E را طوری تعیین کنید که $Q(10mA, 5volt)$ و نقطه کار نسبت به تغییرات β پایدار باشد. $V_{CC} = 10V$



$$R_{th} = R_1 || R_2$$

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

نکته : برای یافتن مقاومت معادل تونن ، با صفر کردن منبع ولتاژ V_{CC} ، دو مقاومت R_1 , R_2 با هم موازی می شوند .

حل : بعد از مدار معادل تونن داریم :

$$KVL \text{ in Output} : V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E - R_C I_C \Rightarrow$$

$$5 = 10 - 0.4 \times 10 - R_E \times 10 \Rightarrow R_E = 100\Omega = 0.1 K\Omega$$

$$V_B = R_E I_E + V_{BE(on)} \Rightarrow V_B = 0.1 \times 10 + 0.7 = 1.7 \quad \& \quad I_B = \frac{I_C}{\beta_{ave}} = \frac{10}{80} = \frac{1}{8}$$

$$KVL \text{ in Input} : V_{BB} = V_B + R_B I_B = 1.75$$

$$V_{BB} = V_{th} = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow 1.75 = 10 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} , \quad \text{رابطه شماره 1}$$

$$R_B = \frac{\beta_{min}}{10} R_E = \frac{40}{10} \times 0.1 = 0.4 \Rightarrow R_B = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = 0.4 \Rightarrow \text{رابطه شماره 1} \Rightarrow$$

$$R_1 = R_B \times \left(\frac{V_{CC}}{V_{BB}} \right) = 2.3 K\Omega \quad \& \quad R_2 = R_B \times \left(\frac{1}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} \right) = 0.485 K\Omega$$

تذکر: در ناحیه قطع جریان امیتر صفر است.

$$I_E = 0 , I_C = I_{CO} = I_{CBO}$$

$$R_1 = R_T \left[\frac{V_{CC}}{V_T} \right]$$

$$R_2 = \frac{R_T}{1 - V_T/V_{CC}}$$

✓ حداکثر سوئینگ متقارن

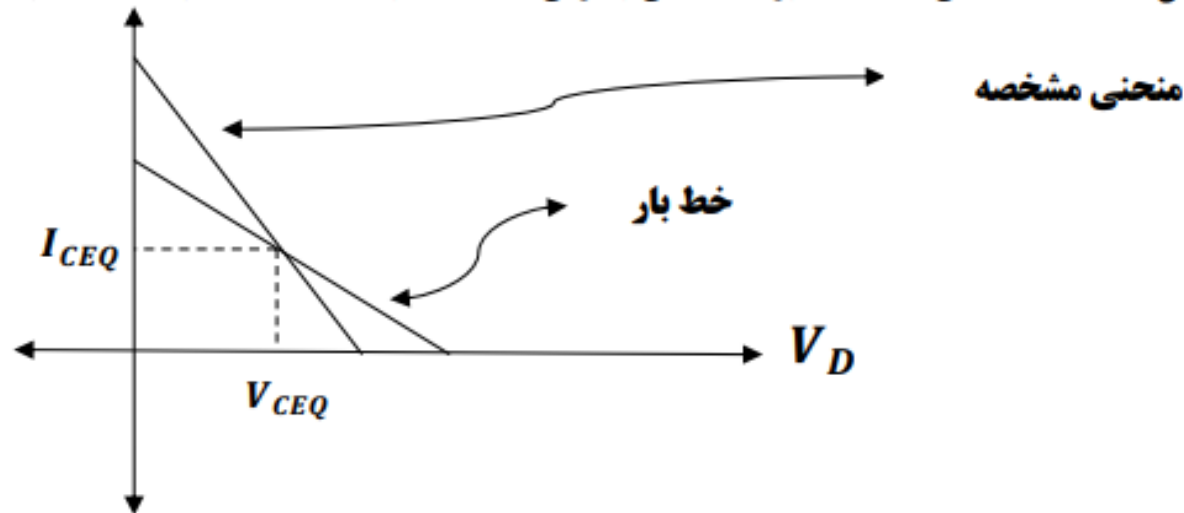
کاربرد ترانزیستور ها در ناحیه فعال : تقویت کننده (جریان - ولتاژ)

تعریف :

بهترین نقطه کار را که ماکزیمم نوسان خروجی را داشته باشیم را حداکثر سوئینگ متقارن یا بهترین نقطه کار و یا ماکزیمم نوسان متقارن گویند .

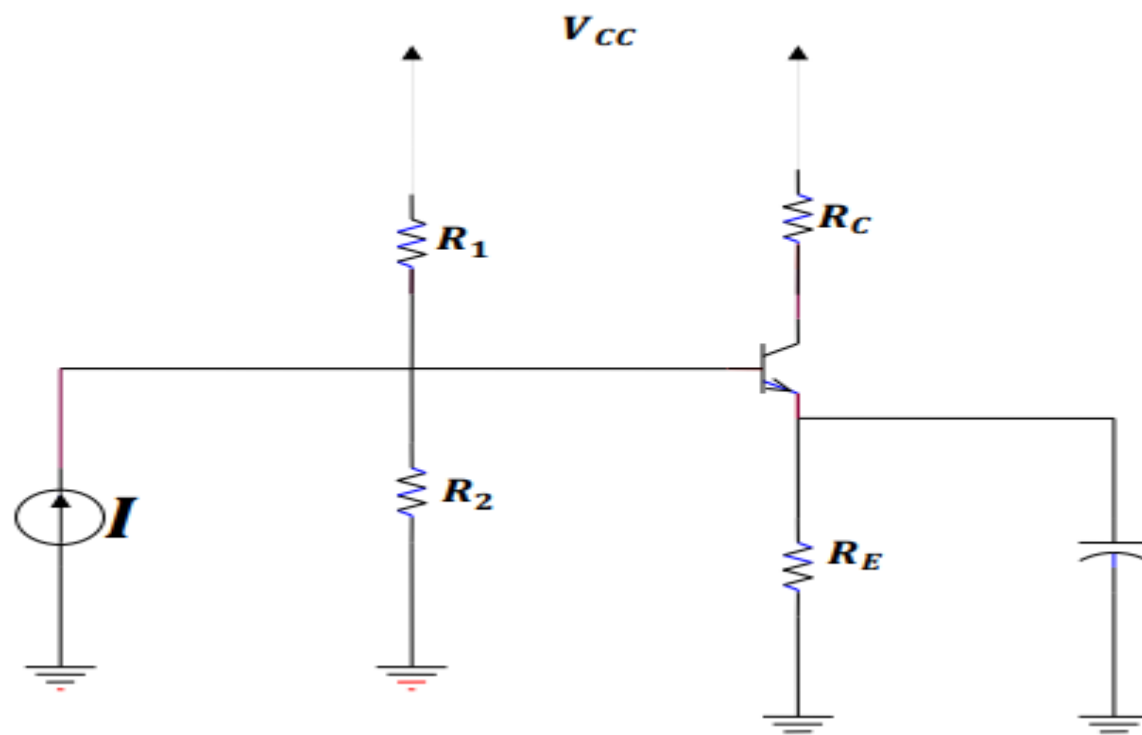
برای داشتن ماکزیمم نوسان متقارن در خروجی می بایست نقطه کار در وسط خط بار AC قرار بگیرد .
به شکل زیر توجه کنید :

این شکل نشان دهنده این است که برای داشتن بهترین نقطه کار باید وسط خط بار AC را به دست آورد .



✓ در مدار شکل زیر روش کلی یافتن بهترین نقطه کار را بیان می کنیم .

به مدار شکل زیر توجه کنید :



در تحلیل های AC , DC باید نکات زیر را رعایت کرد :

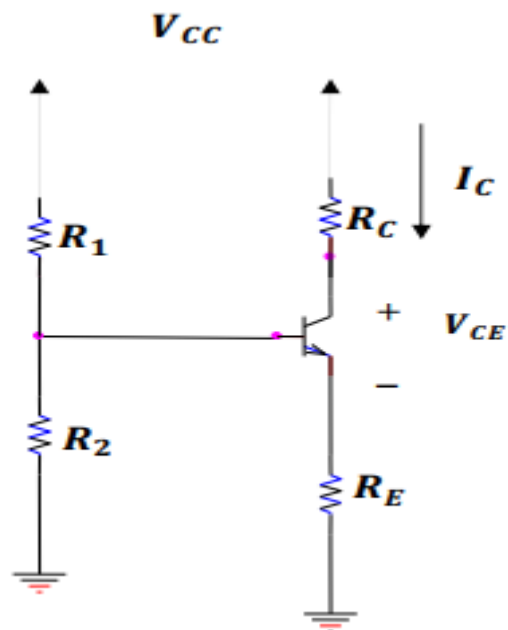
تحلیل AC :

- منابع DC خاموش
- خازنهای اتصال کوتاه
- سلفهای مدار باز

تحلیل DC :

- منابع AC خاموش
- سلفهای اتصال کوتاه
- خازنهای مدار باز

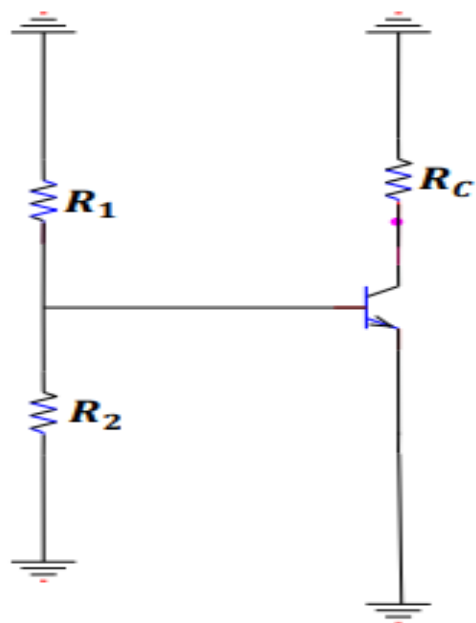
در زیر، شکل مدار را در حالت تحلیل DC رسم می کنیم :



معادله شماره ۱ $V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)I_C$

$$R_C + R_E = R_{DC}$$

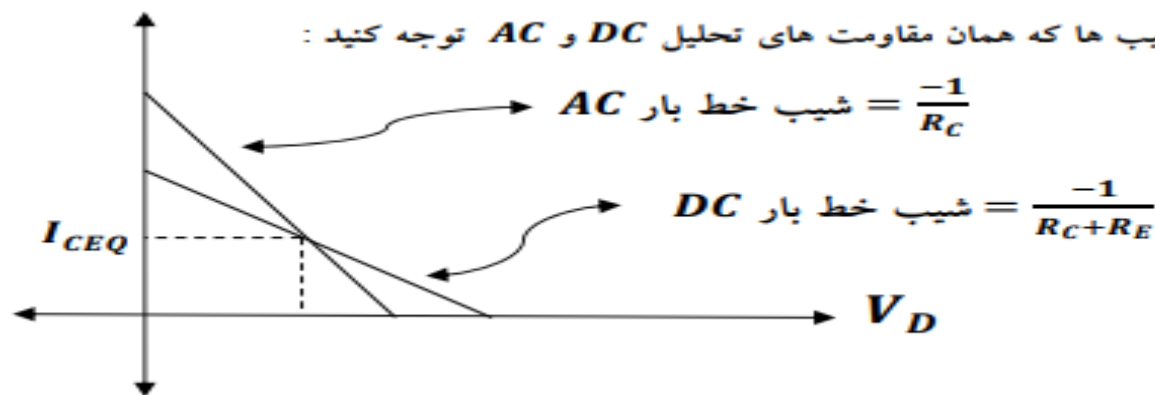
هم اکنون تحلیل AC را در مدار انجام می دهیم :



$$V_{ce} = -R_C I_C$$

$$R_{ac} = -R_C$$

در شکل زیر به شیب ها که همان مقاومت های تحلیل AC و DC توجه کنید :



از طریق معادله خط بار AC و معادله نقطه کار $Q(I_{CEQ}, V_{CEQ})$ و شیب $\frac{-1}{R_C}$ به معادله خط زیر می رسمیم :

$$\begin{cases} i_c - I_{CEQ} = \frac{-1}{R_C} (V_{CE} - V_{CEQ}) \\ i_c = 0 \Rightarrow V_{CE} = 2V_{CEQ} \end{cases} \Rightarrow V_{CEQ} = R_C I_C \quad \text{معادله شماره 2}$$

هم اکنون به کمک معادلات شماره ۱ و ۲ خواهیم داشت :

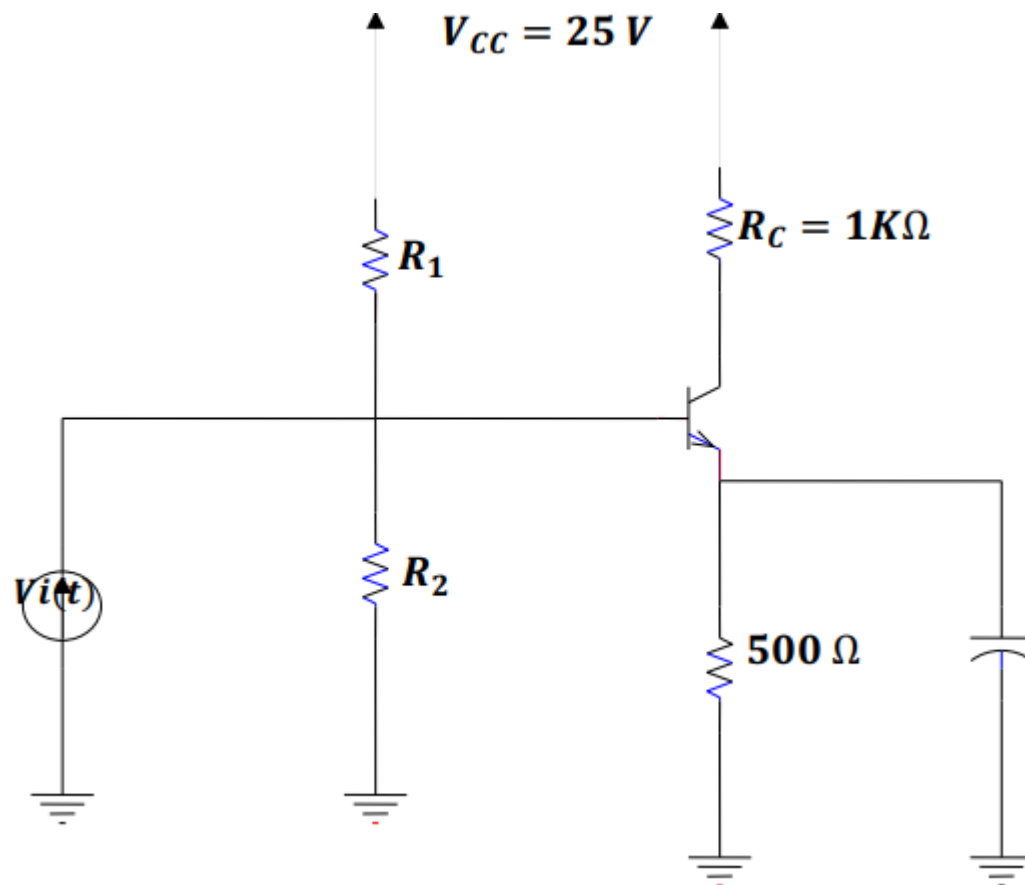
$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E + R_C} \Rightarrow I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_{DC} + R_{ac}}$$

$$V_{CEQ} = R_{ac} \times I_{CQ}$$

نکات :

- ۱) مقاومت سمت خروجی ترانزیستور که جریان I_C از آن عبور می کند در حالت ac را شیب خط بار AC گویند . (R_{ac})
- ۲) مقاومت دیده شده از حلقه خروجی ترانزیستور که جریان I_C از آن عبور می کند در حالت DC را شیب خط بار DC گویند . (R_{DC})

مثال ۱) در مدار شکل زیر $100 < \beta < 200$ ، مقادیر R_1 , R_2 را طوری تعیین کنید که ماکزیمم نوسان متقارن در خروجی رخ دهد ؟



حل : با توجه به توضیحاتی که بیان شد . برای حل مساله باید تحلیل AC و DC را انجام داد و مقاومت های مورد نظر را به دست آورد . بنابراین :

$$R_{ac} = R_C = 1\text{ K}\Omega \quad , \quad R_{DC} = R_C + R_E = 1 + 0.5 = 1.5\text{ K}\Omega$$

هم اکنون شرط بهترین نقطه کار را به صورت زیر اعمال می کنیم :

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_{DC} + R_{ac}} = \frac{25}{1 + 1.5} = 10\text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = R_{ac} \cdot I_{CQ} = 1 \times 10 = 10\text{ volt}$$

هم اکنون برای یافتن مجهولات مسئله احتیاج به نوشتن قانون kvl در ورودی و اعمال شرایط پایداری نقطه کار نسبت به تغییرات β داریم . بنابراین :

$$kvl \text{ in } 1 : V_B = 0.7 + 0.5I_{CQ} = 0.7 + 0.5 \times 10 = 5.7\text{ volt}$$

$$V_{BB} = V_B + R_B I_B = 6\text{ volt}$$

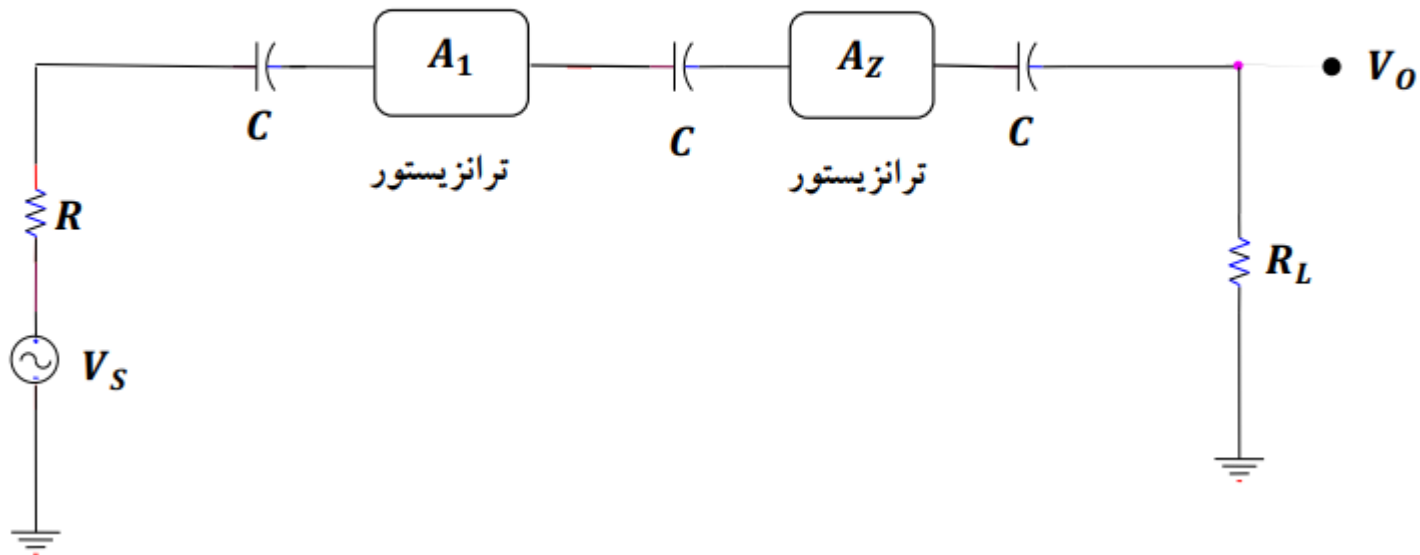
$$R_B = \frac{\beta_{min}}{10} R_E \Rightarrow R_B = \frac{100}{10} \times 0.5 = 5\text{ K}\Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{ave}} = \frac{10}{150} = \frac{1}{15}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 = R_B \times \left(\frac{V_{CC}}{V_{BB}} \right) = 5 \times \frac{25}{6} = 20.8 \text{ K}\Omega \\ R_2 = R_B \times \left(\frac{1}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} \right) = 5 \times \frac{1}{1 - \frac{6}{25}} = 6.58 \text{ K}\Omega \end{cases}$$

✓ خازن کوپلاژ

به مدار شکل زیر توجه کنید :



نکات :

(۱) اگر خازن سری با ترانزیستور باشد یعنی خازن کوپلاژ متصل است .

(۲) اگر خازن با مقاومت موازی باشد در حالت تحلیل ac ، مقاومت را از بین می برد، به عبارت دیگر مقاومت را بایپس می کند .

کاربرد خازن کوپلاژ :

برای اتصال طبقات مختلف تقویت کننده چند طبقه ، اتصال منبع سیگنال به ورودی تقویت کننده و هم چنین برای اتصال مقاومت بار R_L ، به خروجی مدار از خازن کوپلاژ استفاده می شود .

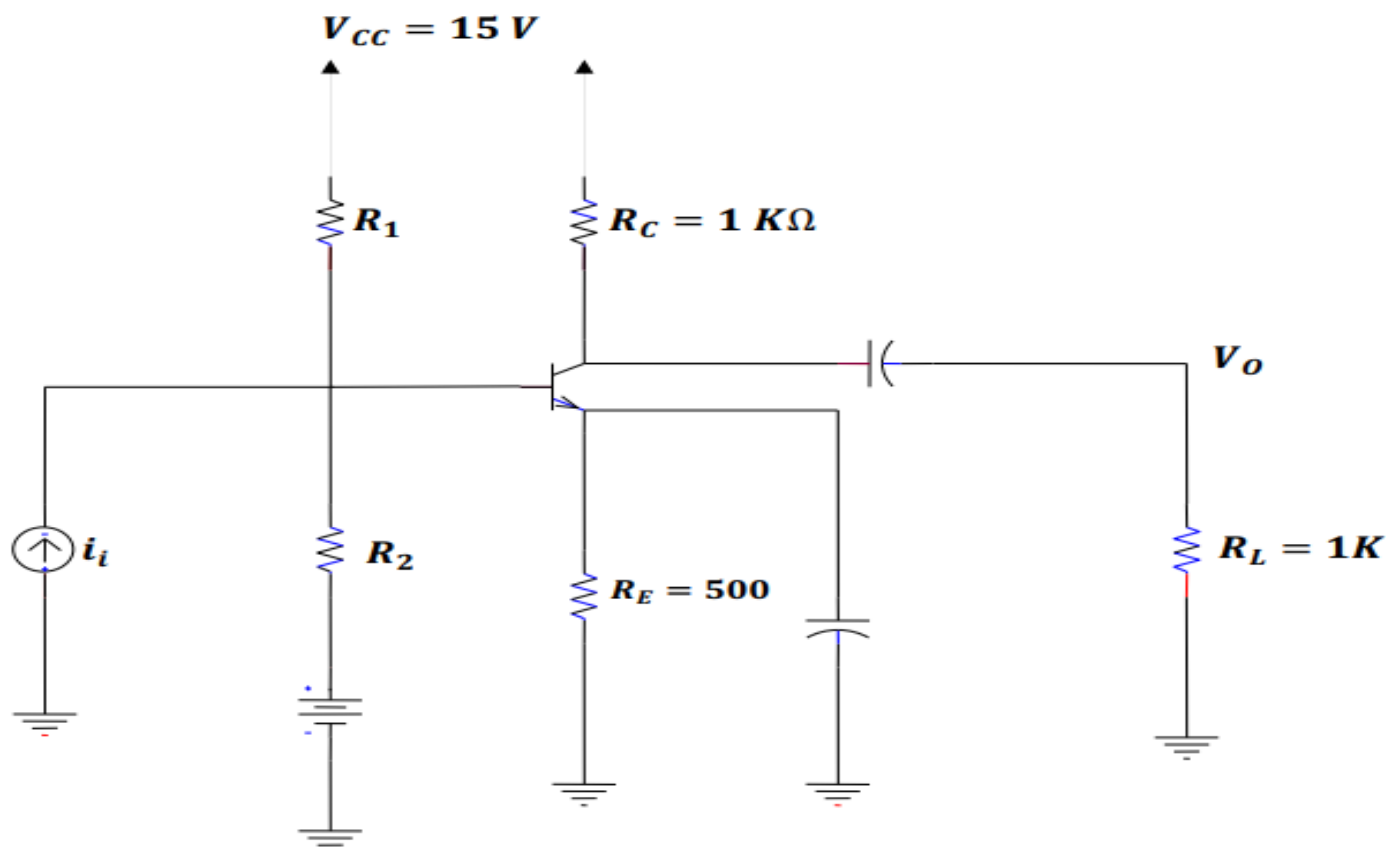
مثال (در مدار شکل زیر مطلوبست :

الف) تعیین نقطه کار برای ماکزیمم نوسان متقارن در خروجی

ب) اگر مقاومت R_E بایپس نشود آنگاه مقاومت های R_1, R_2 را طوری تعیین کنید که ماکزیمم دامنه متقارن در خروجی رخ دهد .

در تحلیل های AC , DC باید نکات زیر را رعایت کرد :

AC تحلیل :	$\left\{ \begin{array}{l} \text{منابع } DC \text{ خاموش} \\ \text{خازنها اتصال کوتاه} \\ \text{سلفها مدار باز} \end{array} \right.$	$\&$	DC تحلیل :	$\left\{ \begin{array}{l} \text{منابع } AC \text{ خاموش} \\ \text{سلفها اتصال کوتاه} \\ \text{خازنها مدار باز} \end{array} \right.$
--------------	---	------	--------------	---



حل : ابتدا باید تحلیل DC و AC را انجام داد تا اینکه مقاومت های مربوط به آنها را پیدا نماییم و سپس به کمک شرایط بهترین نقطه کار حل مساله را به صورت زیر ادامه بدهیم :

$$AC \text{ تحلیل : } R_{AC} = R_L \parallel R_C = 1 \parallel 1 = 0.5 K\Omega$$

$$DC \text{ تحلیل : } R_{DC} = R_C + R_E = 1.5 K\Omega$$

$$(الف) \begin{cases} I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_{AC} + R_{DC}} = \frac{15}{2} = 7.5 mA \\ V_{CEQ} = I_{CQ} \times R_{AC} = 7.5 \times 0.5 = 3.75 volt \end{cases} \Rightarrow Q(7.5 mA, 3.75 volt)$$

(ب)

$$AC \text{ تحلیل : } R_{AC} = (R_L \parallel R_C) + R_E = 1 K\Omega$$

$$DC \text{ تحلیل : } R_{DC} = 1.5 K\Omega$$

$$V_{BB} = 0.7 + R_E I_E + R_B I_B = 4 volt$$



$$\beta = 50$$

$$V_{BB} = 0.7 + R_E I_E + R_B I_B = 4 \text{ volt}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{ave}}$$

$$R_B = \frac{\beta_{min}}{10} R_E = 5 \times 0.5 = 2.5$$

$$R_B = R_1 || R_2 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{BB} = V_{CC} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_1 = R_B \times \left(\frac{V_{CC}}{V_{BB}} \right) = 9.4 \text{ K}\Omega \\ R_2 = R_B \times \left(\frac{1}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} \right) = 3.41 \text{ K}\Omega \end{cases}$$

پایان فصل یازدهم