به نام خدا

الکترونیک(۱)

مدرس:
میریوسفی
دانشگاه فنی و حرفه ای البرز

فصل
پنجم

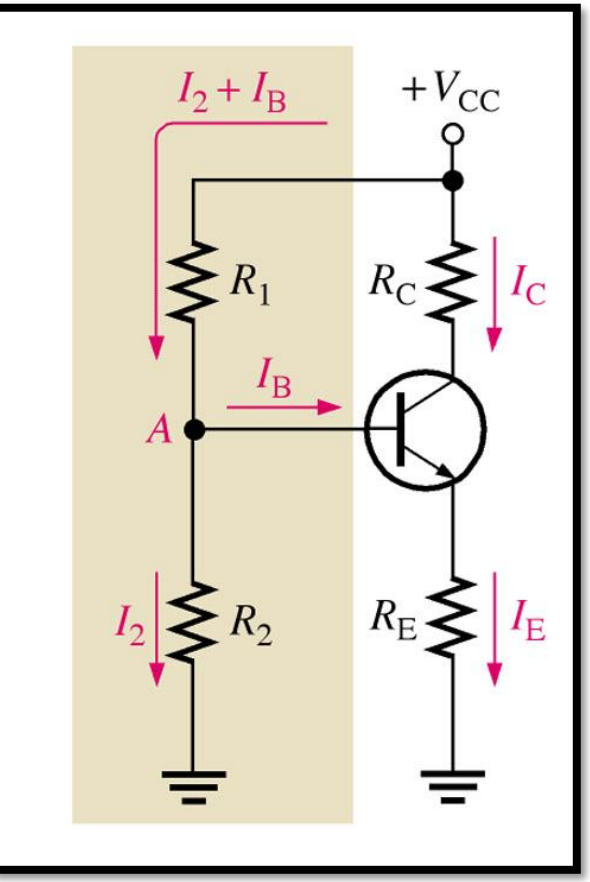
طراحی
مدارهای بایاس
ترانزیستور

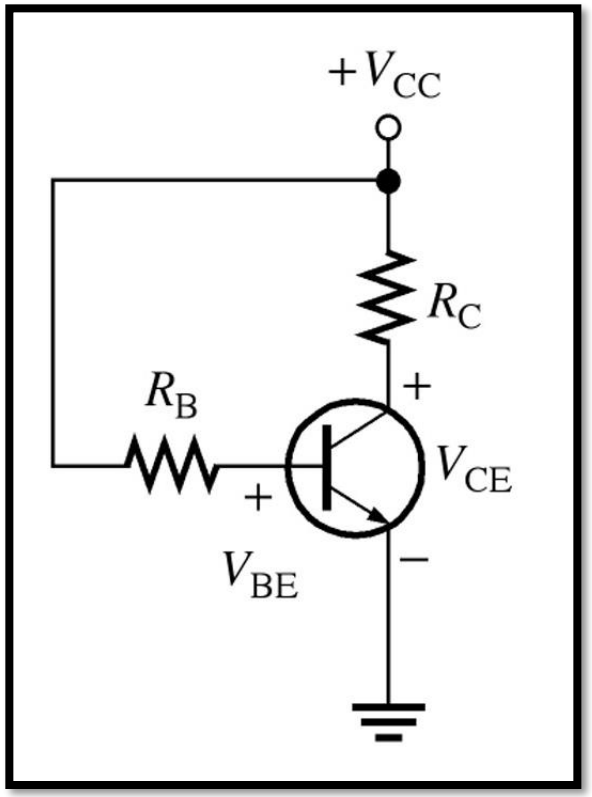
طراحی مدارهای بایاس ترانزیستور

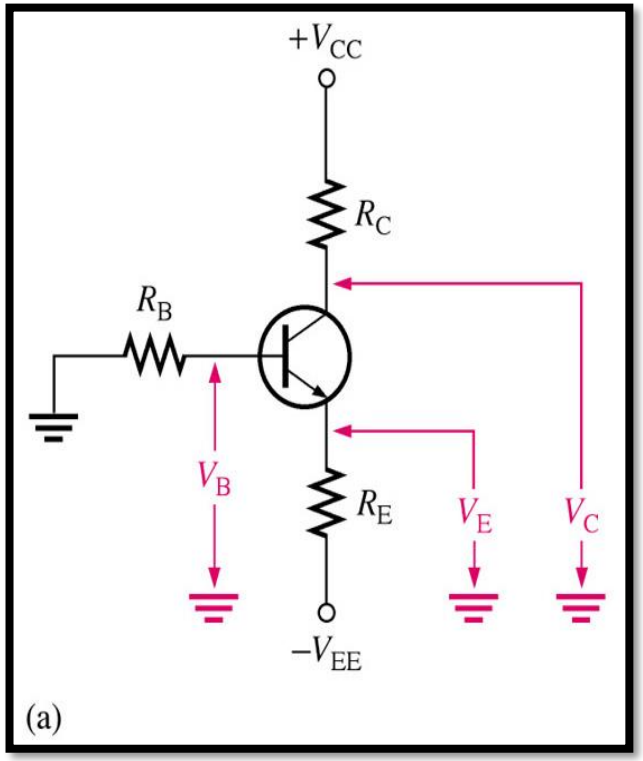
- تثبیت نقطه کار
- تغییرات نقطه کار با دما
- پایداری نقطه کار
- جبران اثرات حرارتی

مدار بایاس ترانزیستور

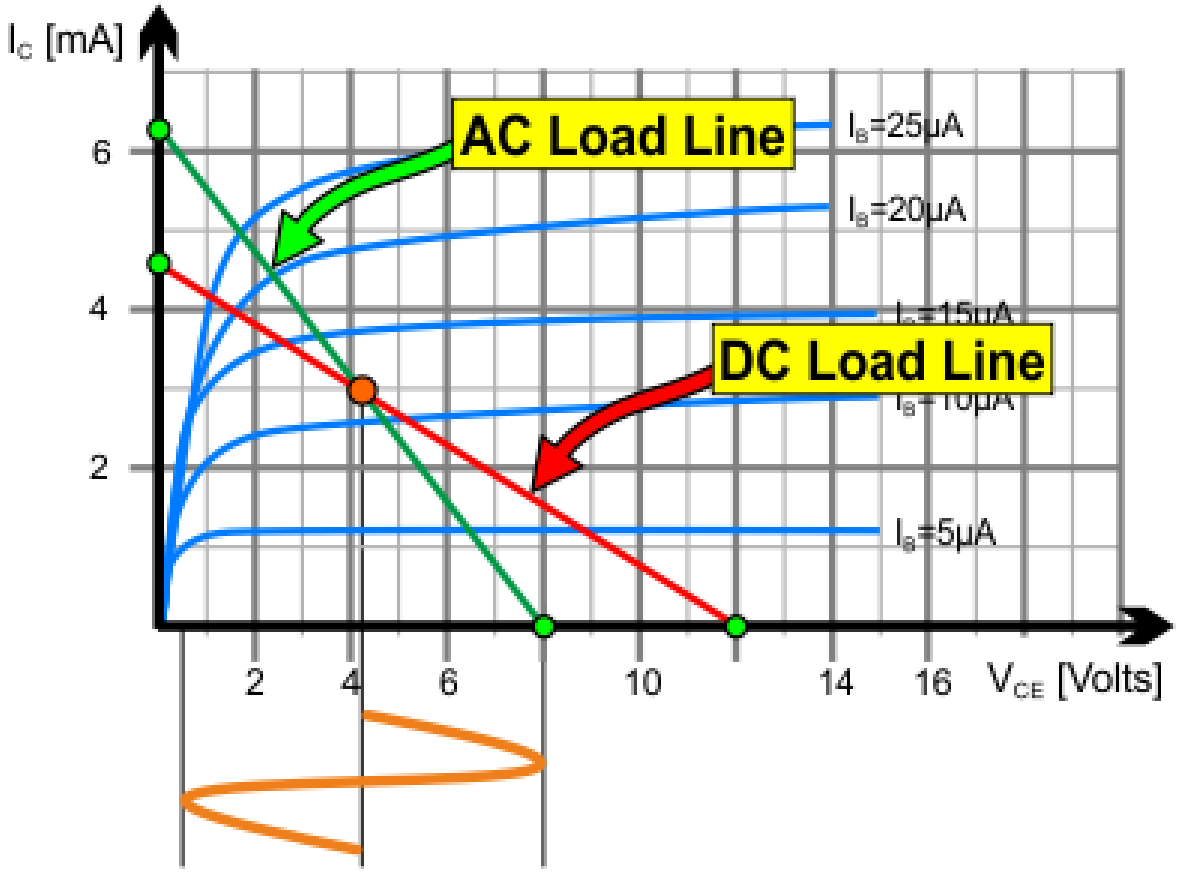
مدار بایاس: مداری که به کمک آن منبع DC، ولتاژو جریان ثابت نقطه کار را به پایه های ترانزیستور اعمال می کند



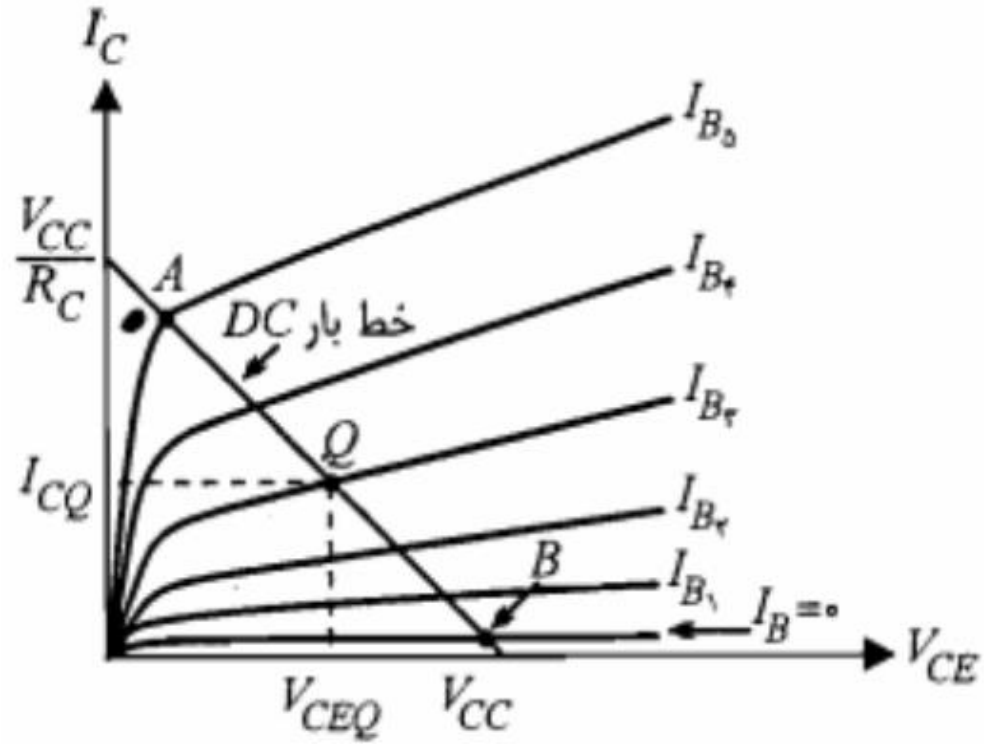


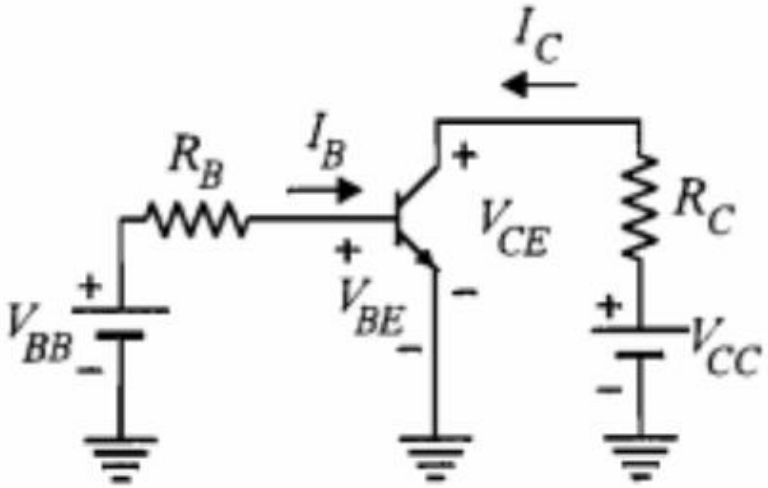


و ...


I_C [mA]
AC Load Line
DC Load Line
I_B=25µA
I_B=20µA
I_B=15µA
I_B=10µA
I_B=5µA
6
4
2
2
4
6
10
14
16
V_{CE} [Volts]

بایاس ساده–خط باردC



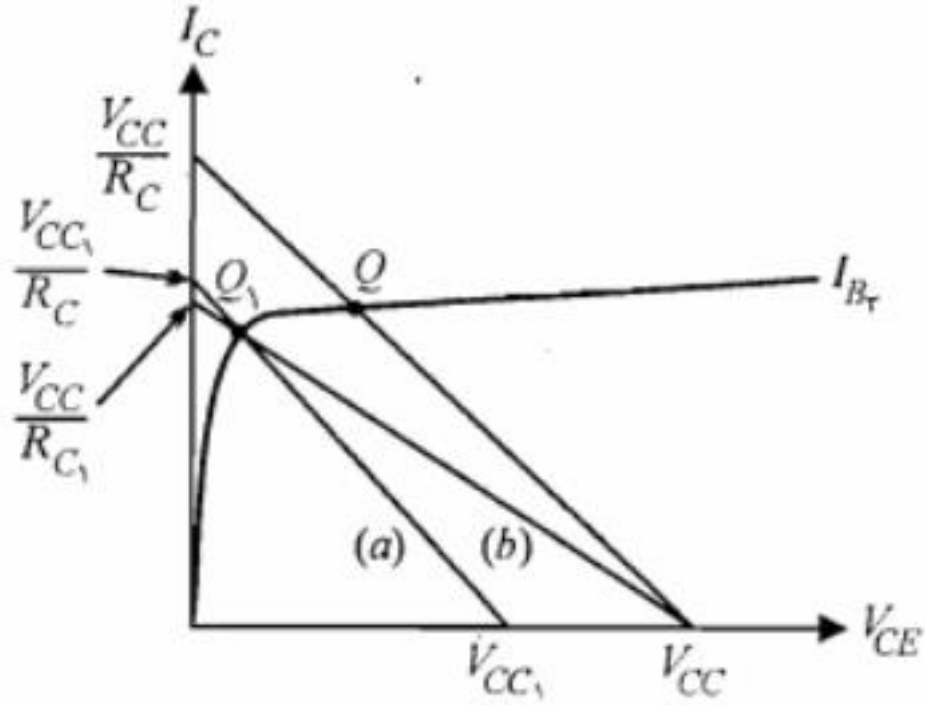


خط بار DC

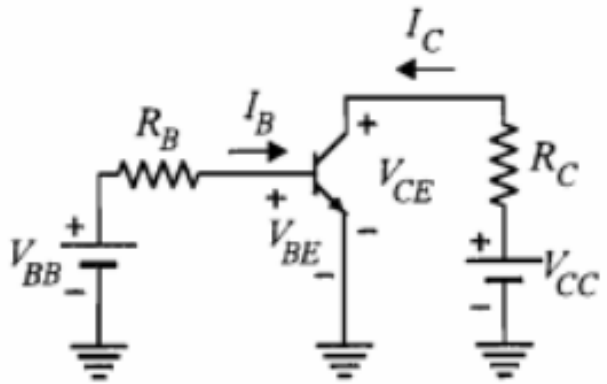
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

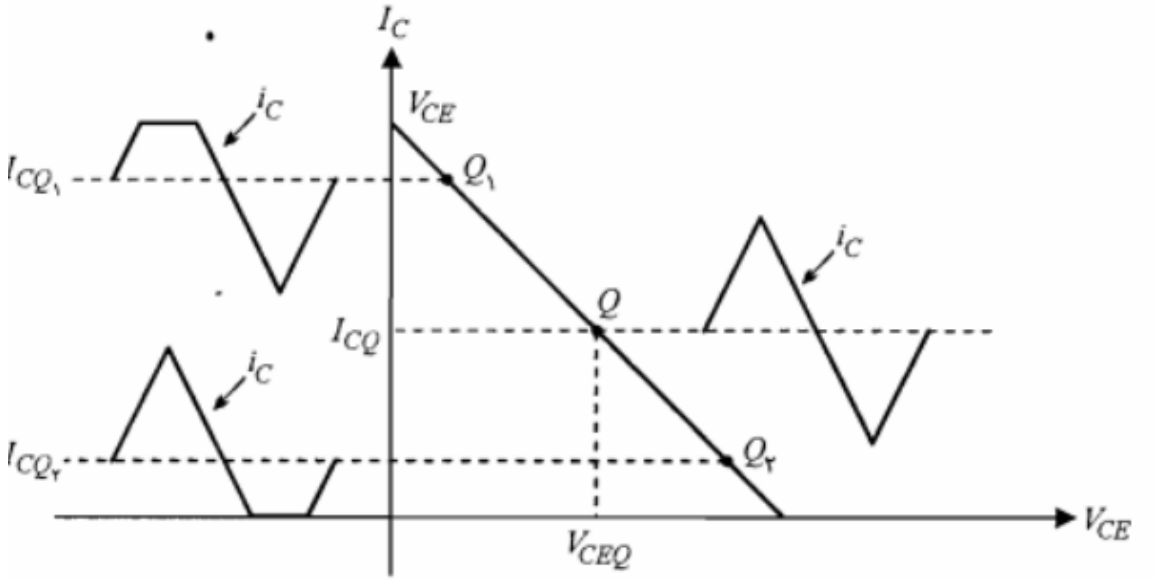
$$V_{BE} = V_{BB} - R_B I_B$$

عیب : استفاده از دو منبع متفاوت



شکل ۵-۲: نحوه تغییر نقطه کار با تغییر مدار بایاس کلکتور



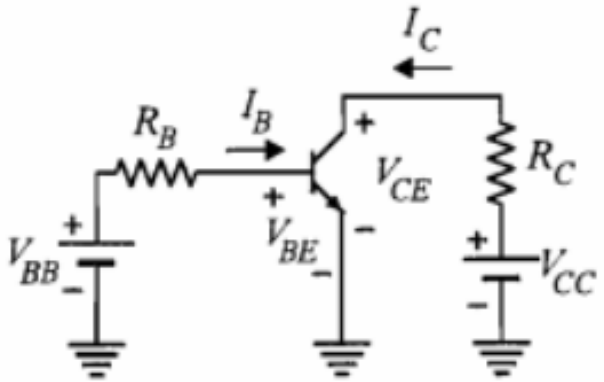


شکل ۵-۳: اعوجاج سیگنال در اثر انتخاب نامناسب نقطه کار

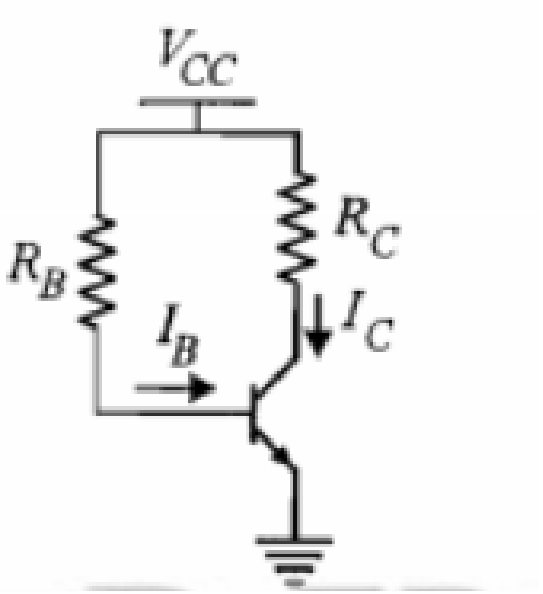
مثال ۵-۱: مدار شکل ۵-۱ را با توجه به مقادیر $V_{CC} = ۱۰\ V$، $R_C = ۲\ K\Omega$، $V_{BB} = ۱/۳\ V$، $V_{CE}(sat) = ۰/۲ V$، $\beta = ۱۲۵$ و $V_{BE}(ON) = ۰/۷ V$ در نظر بگیرید.

الف) مقاومت R_B را طوری تعیین کنید که نقطه کار در وسط خط بار DC واقع شود.

ب) با وجود R_B مذکور اگر V_{BB} برابر ۶/۱ ولت شود، مختصات نقطه کار جدید چیست؟



بایاس مدار امیتر مشترک



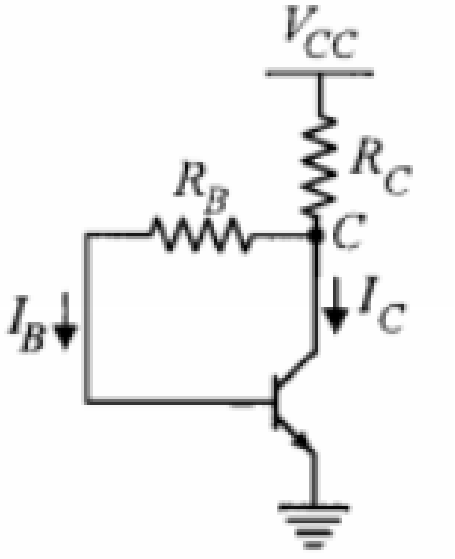
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

عیب : وابستگی جریان کلکتور به β

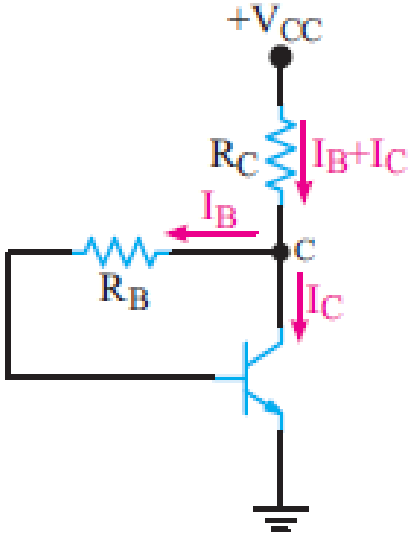
وابستگی جریان کلکتور مدار به دما به دلیل حساسیت شدید ICBO به تغییر دما است

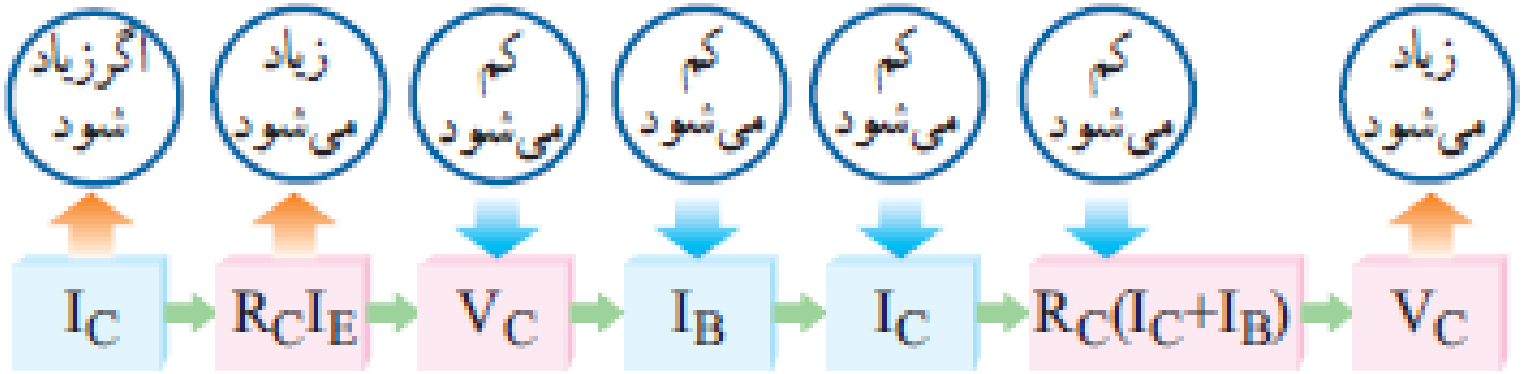
رانش حرارتی

طراحی مدار بایاس جهت جلوگیری از رانش حرارتی

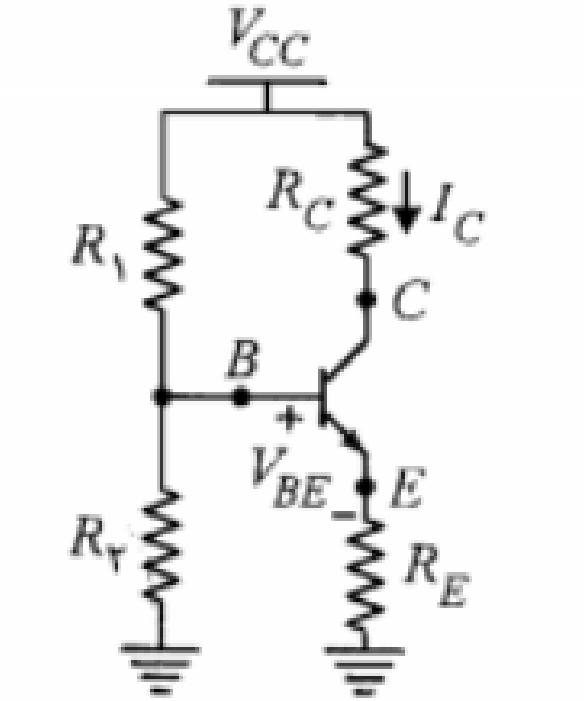


$$I_B = \frac{V_C - V_{BE}}{R_B}$$


+VCC
RC
IB+IC
IB
C
RB
IC

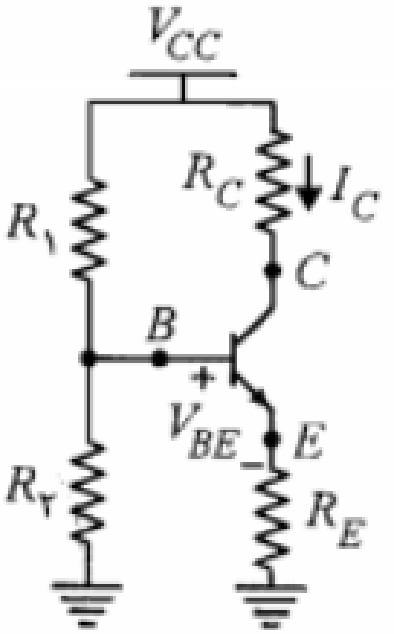

اگر زیاد شود
زیاد می‌شود
کم می‌شود
کم می‌شود
کم می‌شود
کم می‌شود
زیاد می‌شود
IC
RCIE
VC
IB
IC
RC(IC+IB)
VC

مدار خود بایاس
جهت جلوگیری از رانش حرارتی

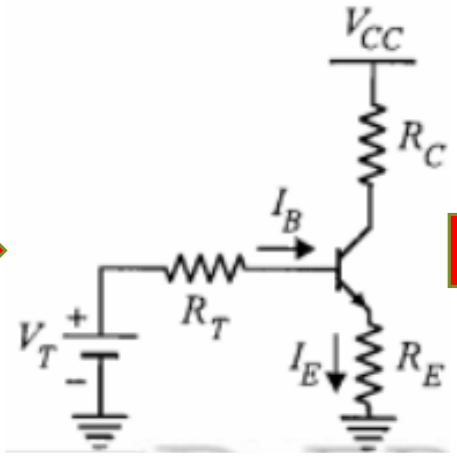


شکل ۵-۷: مدار خود بایاس

مزیت: ثبات حرارتی
پایداری نقطه کار



تونن



$$R_T = R_1 \| R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

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

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

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

$$-V_T + I_B R_T + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$I_E = \frac{V_T - V_{BE}}{R_E + R_T/(\beta + 1)}$$

کاهش حساسیت β

$$R_T \ll R_E (\beta_{min} + 1)$$

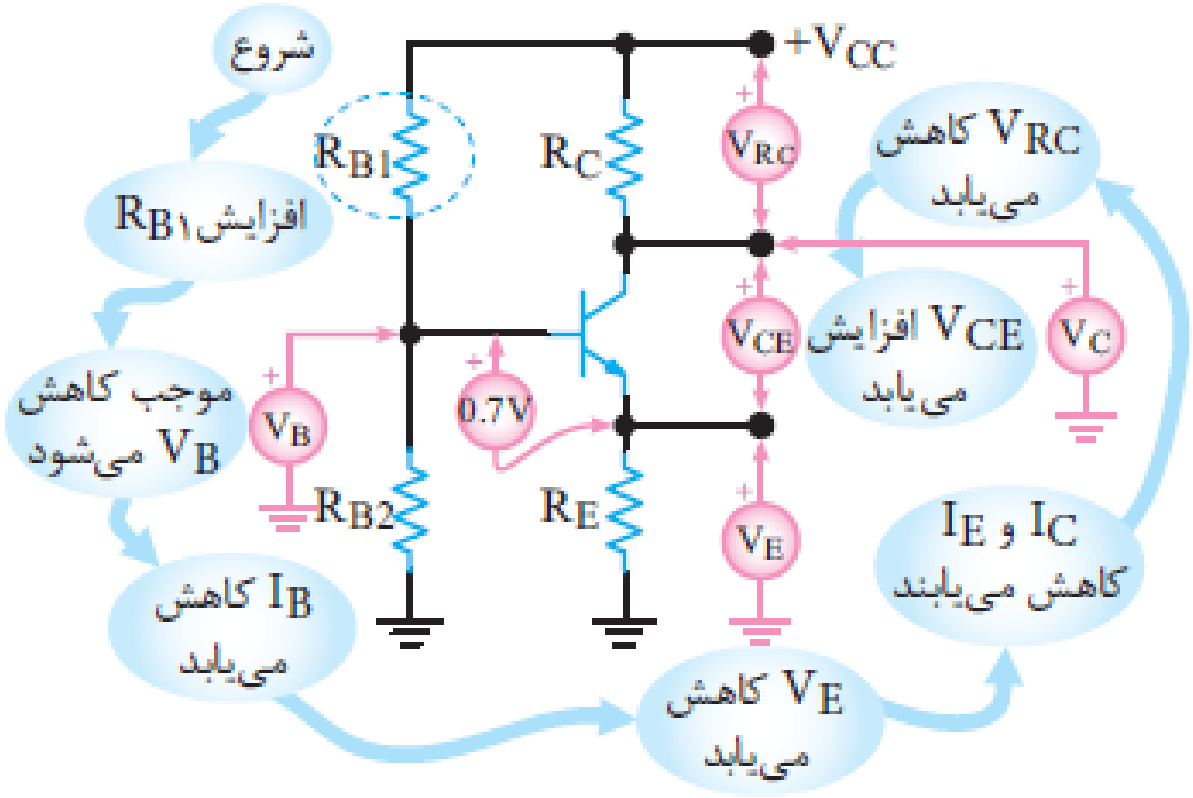
$$R_T \cong \frac{\beta_{min} R_E}{10}$$

$$I_C \cong I_E \cong \frac{V_T - V_{BE}}{R_E}$$

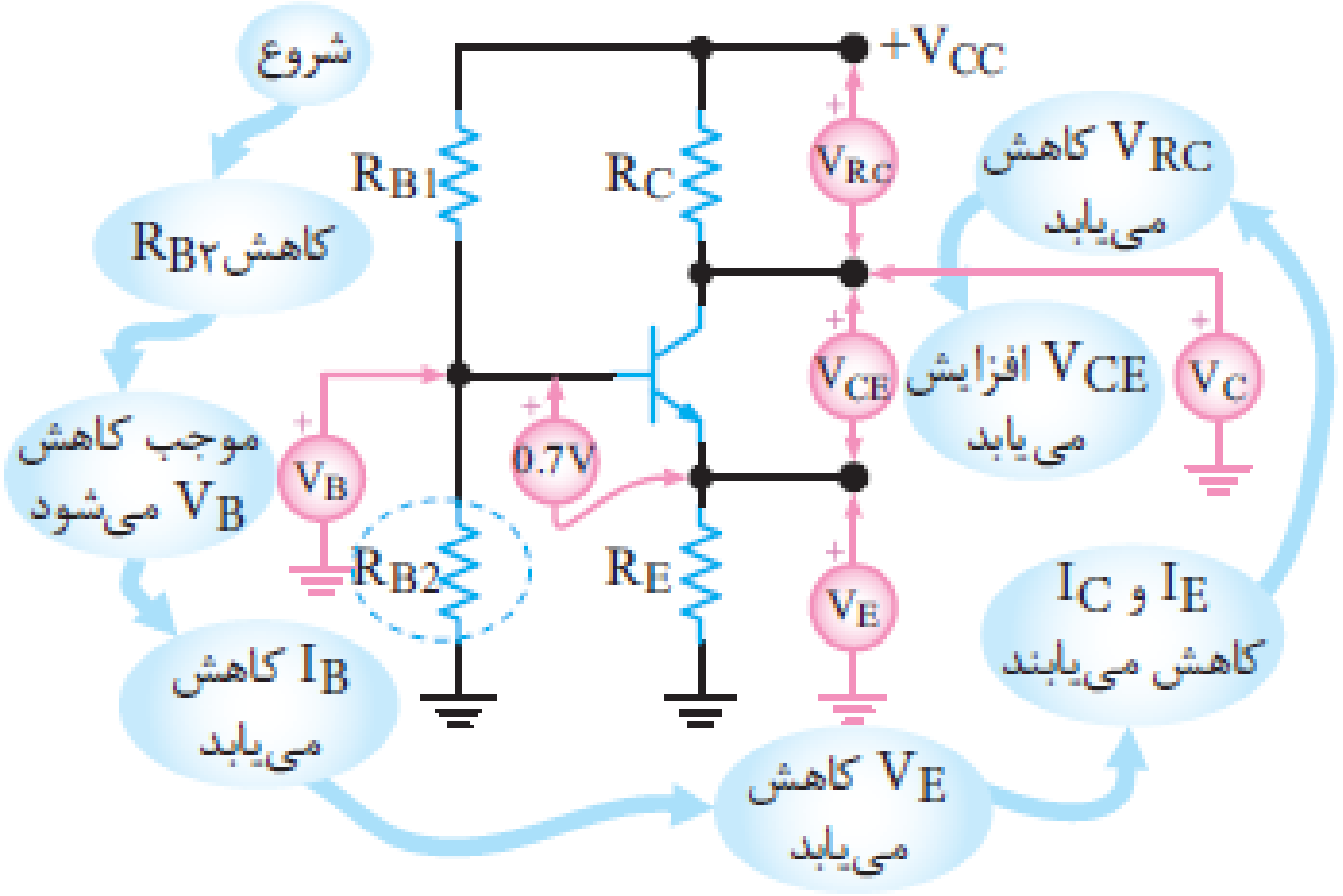
$\beta \cong \beta + 1$ یا $\alpha \cong 1$

خط بار DC

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

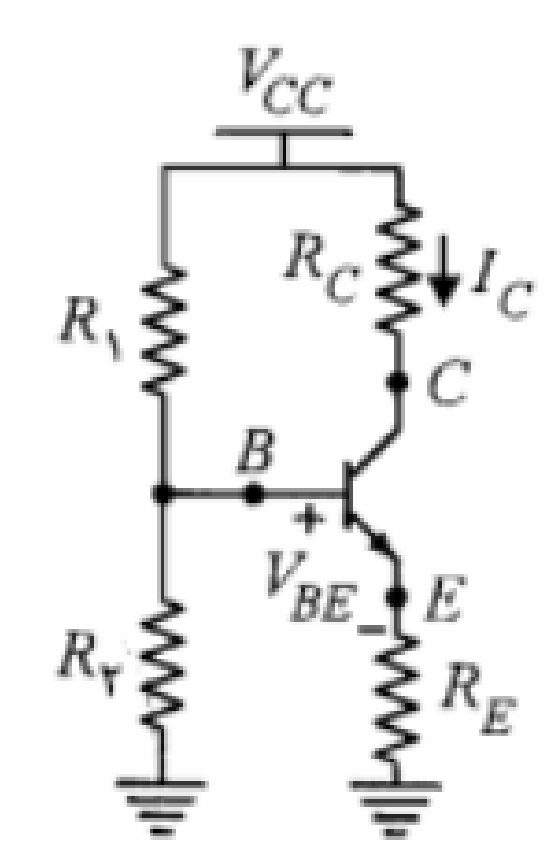


شکل ۹ــ۲ــ اثر افزایش R_{B1} روی نقطهٔ کار

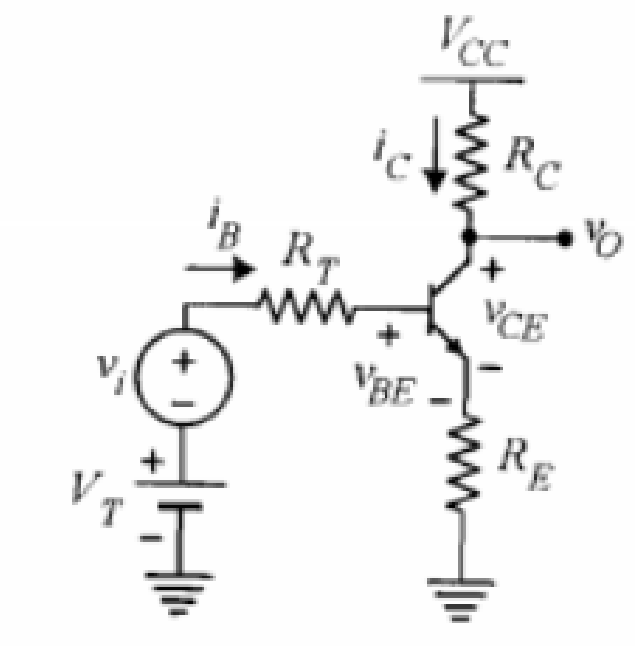


شکل ۱۲ــ۲ــ اثر کاهش R_{B2} روی نقطهٔ کار

مثال ۵-۲: در مدار شکل ۵-۷، $V_{CC} = ۱۰\ V$، $R_C = ۴۰۰\ \Omega$ و برای ترانزیستور به‌کار رفته $۴۰ \le \beta \le ۱۲۰$ است. مقادیر مقاومتهای $R_۱$، $R_۲$ و R_E را طوری تعیین کنید که نقطه کار ترانزیستور در $I_C = ۱۰\ mA$ و $V_{CE} = ۵\ V$ قرار گیرد.



خط بار AC–مدار خود بایاس



$$i_B = I_{BQ} + i_b$$

$$i_C = I_{CQ} + i_c$$

$$v_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)\, i_C$$

$$v_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)\, I_{CQ} - (R_C + R_E)\, i_c$$

$$v_{CE} = V_{CEQ} + v_{ce}$$

$$v_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)\, i_C$$

$$v_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E)\, I_{CQ} - (R_C + R_E)\, i_c$$

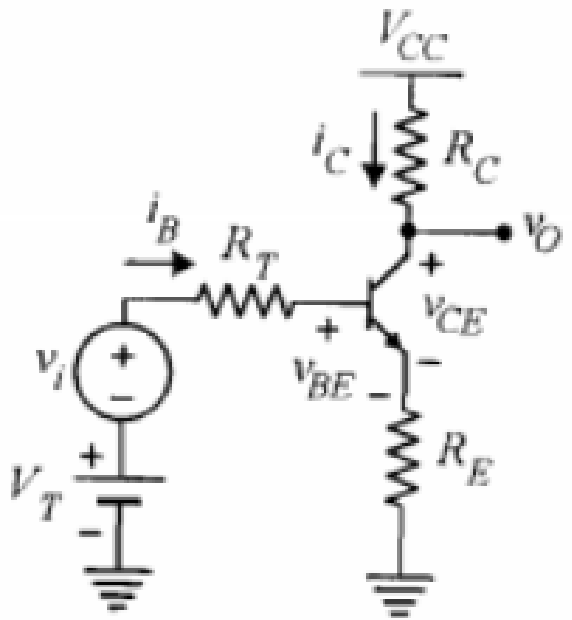
$$v_{CE} = V_{CEQ} + v_{ce}$$

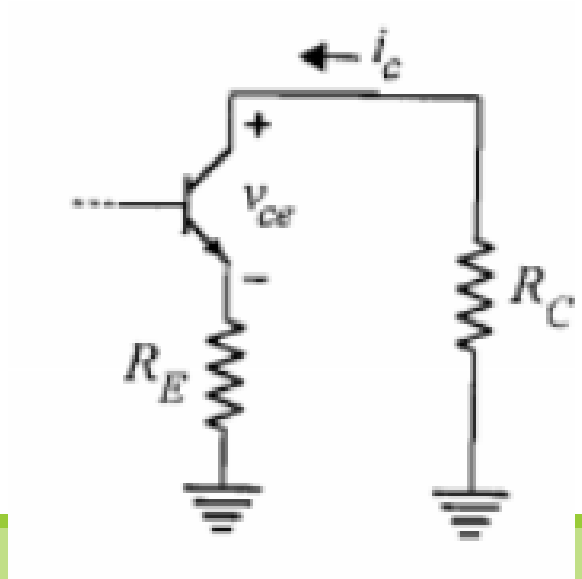
$$V_{CEQ} = V_{CC} - (R_C + R_E)\, I_{CQ}$$

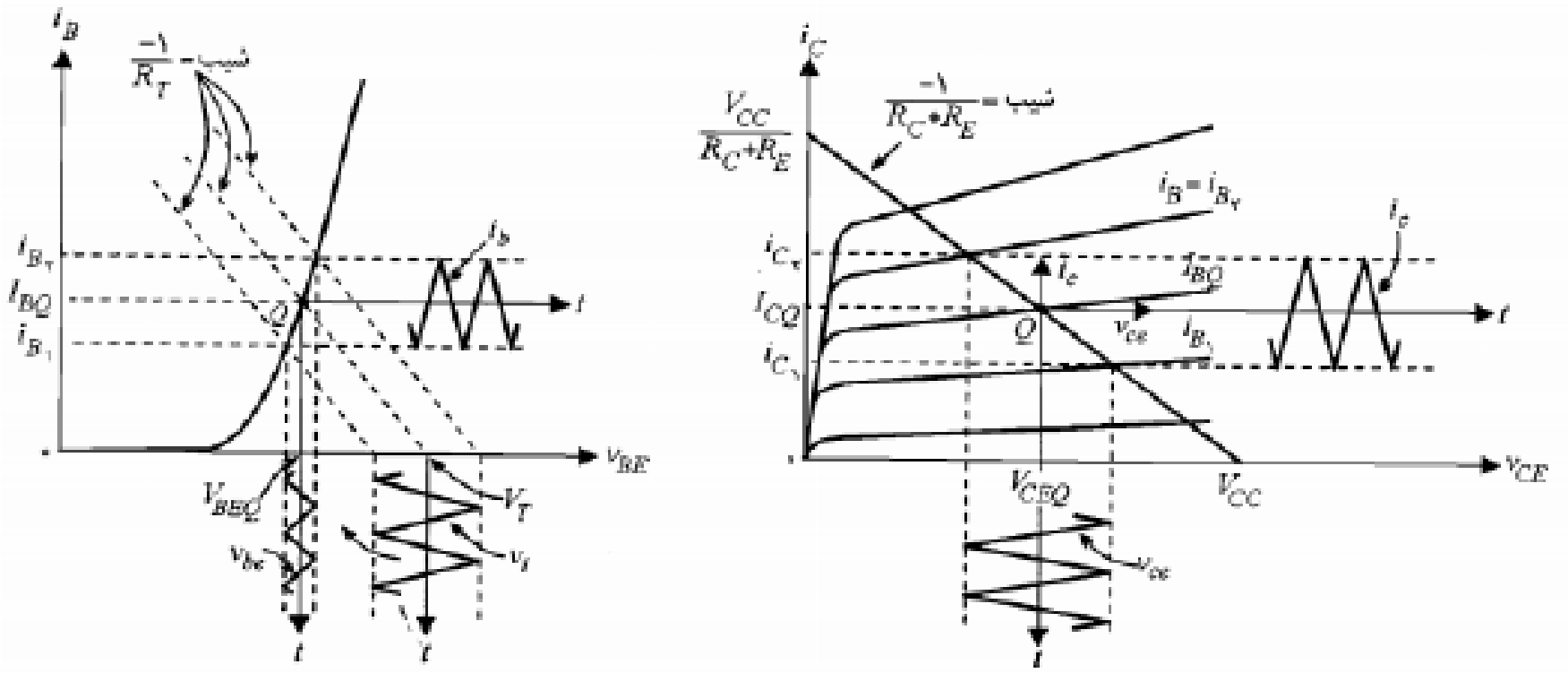
$$v_{ce} = -(R_C + R_E)\, i_c$$

$$v_{CE} - V_{CEQ} = -(R_C + R_E)(i_C - I_{CQ})$$

معادله خط بار ac

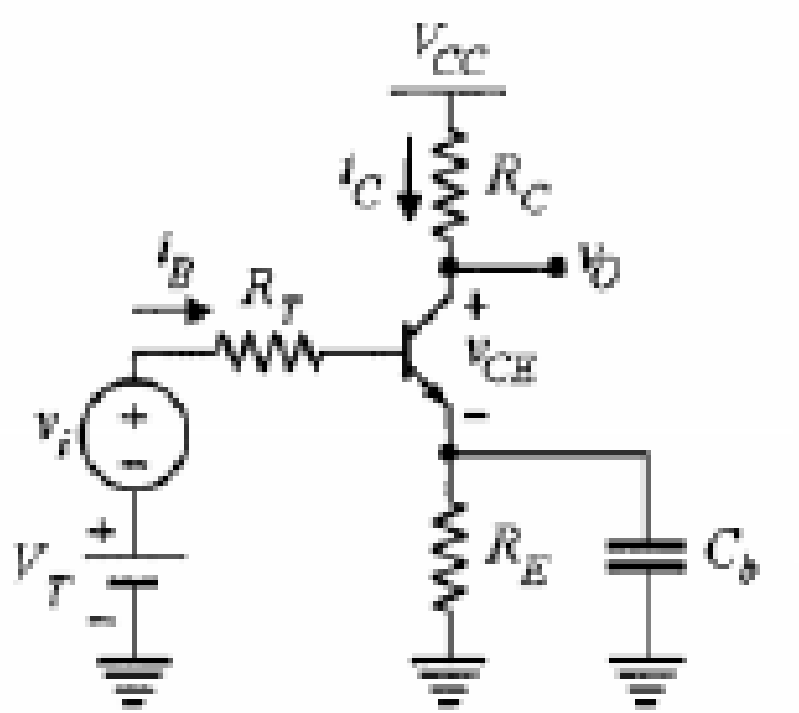


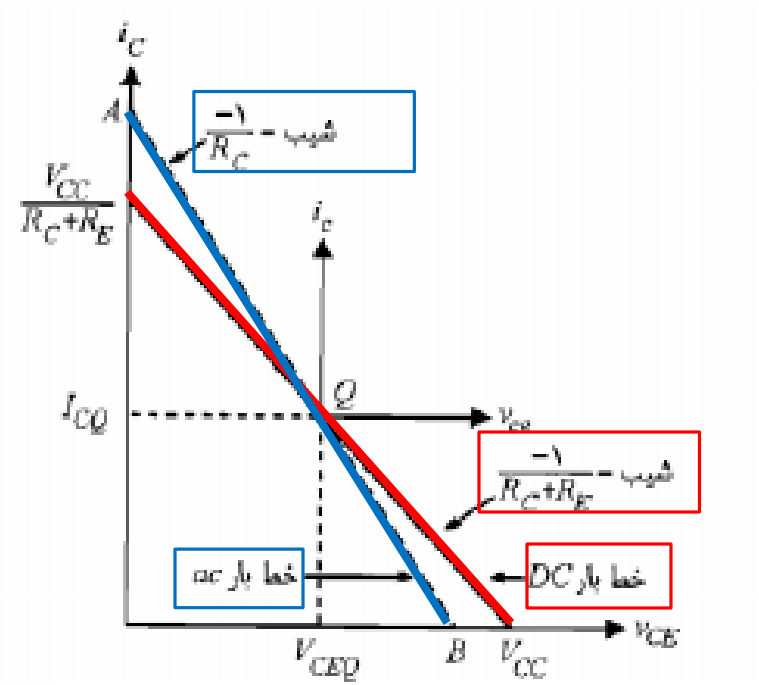




شکل ۵-۱۱: نمایش تغییرات مؤلفه‌های سیگنال i_{B_T}، i_b، i_c و v_{ce} به ازای تغییرات سیگنال ورودی v_i در مدار تقویت کننده شکل ۵-۹

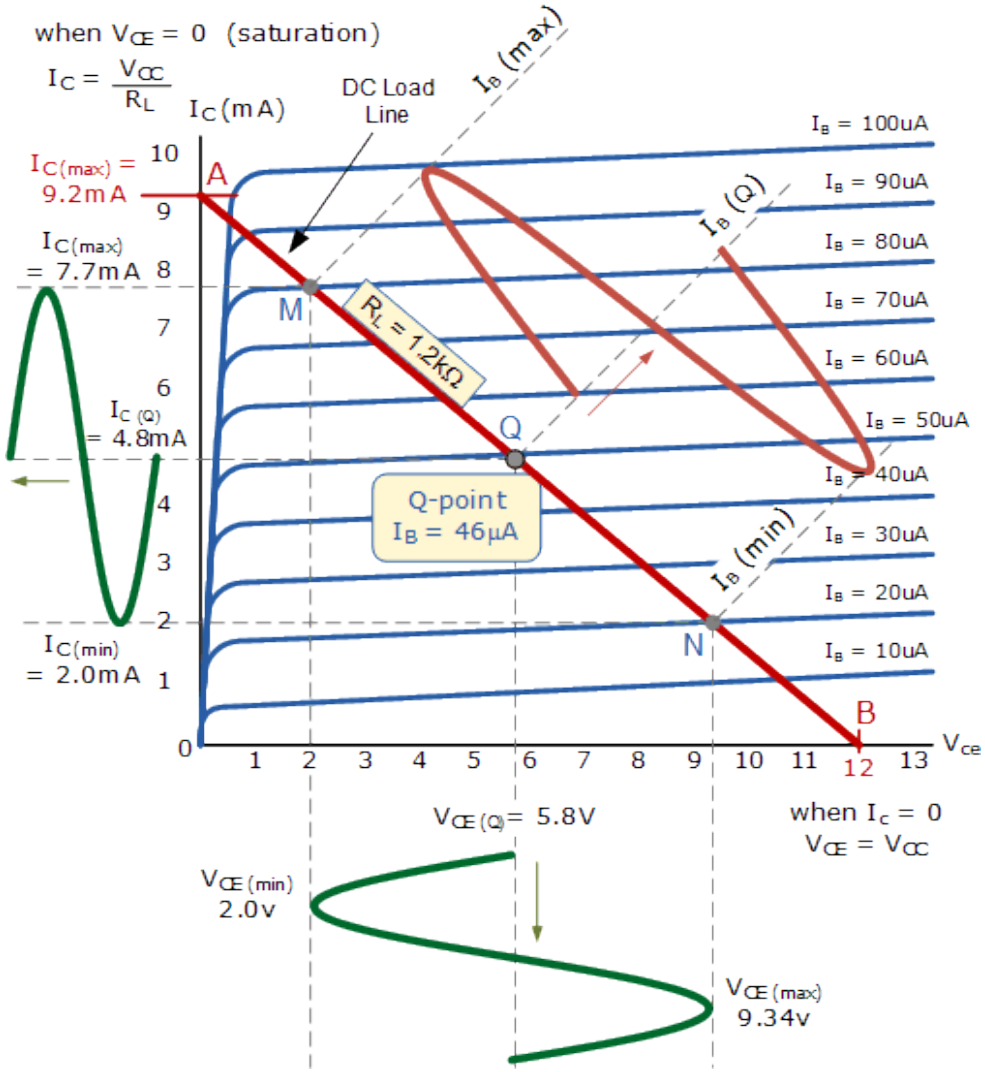
خط بار ac , DC
مدار امیتر مشترک با خازن بای پس

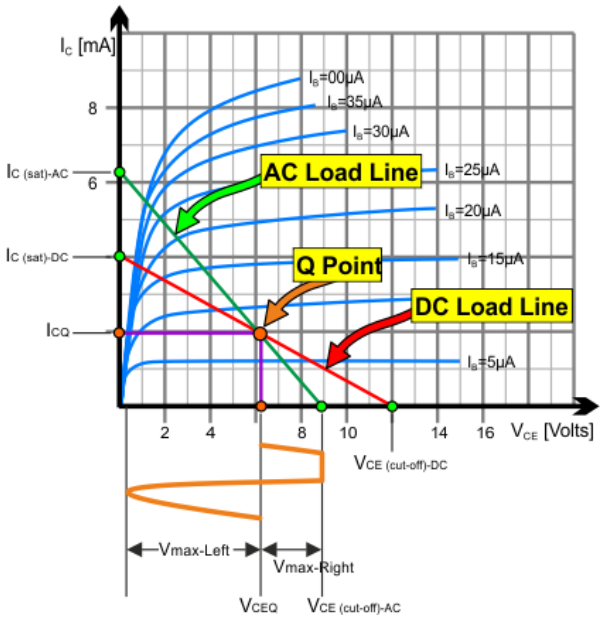




$$v_{ce} = -R_C i_c$$

$$v_{CE} - V_{CEQ} = -R_C (i_C - I_{CQ})$$


when V_{CE} = 0 (saturation)
$I_C = \frac{V_{CC}}{R_L}$
I_C (mA)
DC Load Line
I_B (max)
$I_{C(max)}$ = 9.2mA
$I_{C(max)}$ = 7.7mA
$I_{C(Q)}$ = 4.8mA
$I_{C(min)}$ = 2.0mA
A
M
Q
N
B
R_L = 1.2kΩ
Q-point
I_B = 46µA
I_B (Q)
I_B (min)
I_B = 100uA
I_B = 90uA
I_B = 80uA
I_B = 70uA
I_B = 60uA
I_B = 50uA
I_B = 40uA
I_B = 30uA
I_B = 20uA
I_B = 10uA
V_{ce}
$V_{CE(Q)}$ = 5.8V
when I_c = 0
V_{CE} = V_{CC}
$V_{CE(min)}$ 2.0v
$V_{CE(max)}$ 9.34v


I_c [mA]
I_B=00µA
I_B=35µA
I_B=30µA
I_B=25µA
I_B=20µA
I_B=15µA
I_B=5µA
AC Load Line
Q Point
DC Load Line
$I_{C(sat)-AC}$
$I_{C(sat)-DC}$
I_{CQ}
V_{CE} [Volts]
$V_{CE(cut-off)-DC}$
Vmax-Left
Vmax-Right
V_{CEQ}
$V_{CE(cut-off)-AC}$

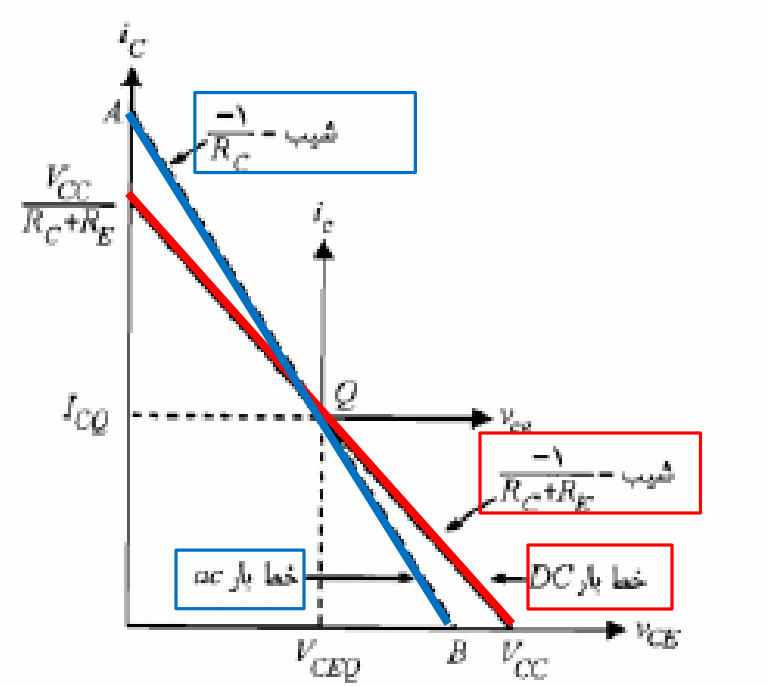
برای حداکثر شدن دامنه نوسان متقارن سیگنال : نقطه کار باید وسط خط بار ac باشد

$$I_{CQ} = \frac{1}{2} i_C\Big|_A = \frac{1}{2}\left(I_{CQ} + \frac{V_{CEQ}}{R_C}\right)$$

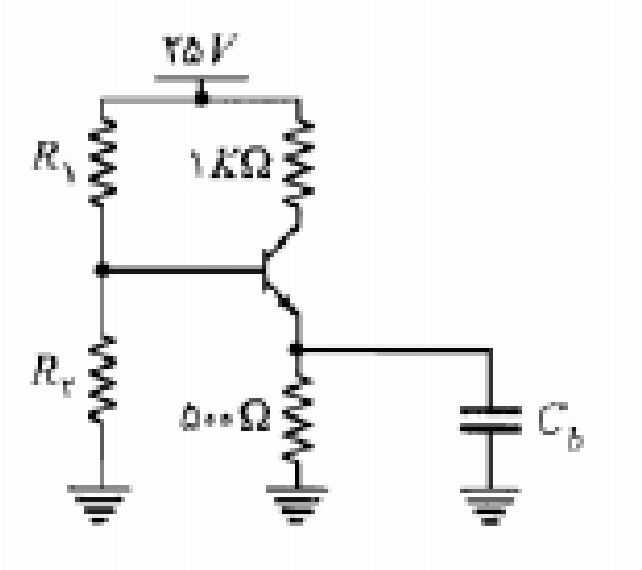
$$V_{CEQ} = \frac{1}{2} v_{CE}\Big|_B = \frac{1}{2}\left(V_{CEQ} + R_C I_{CQ}\right)$$

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{2R_C + R_E}$$

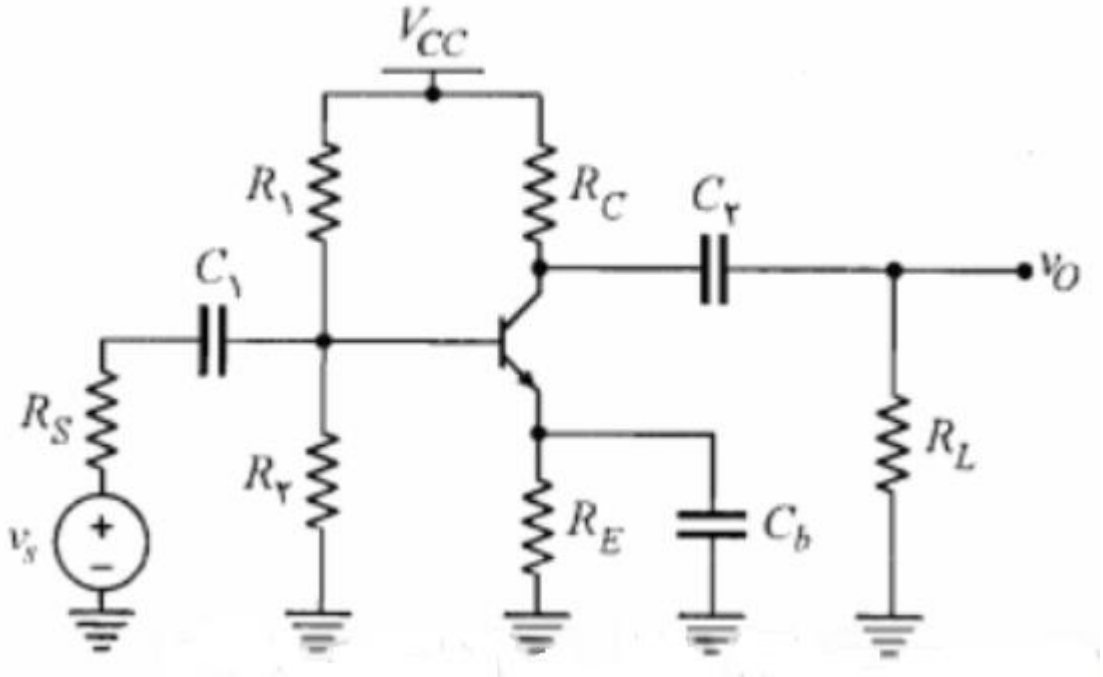
$$V_{CEQ} = \frac{V_{CC} R_C}{2R_C + R_E}$$



مثال ۵-۳: در مدار شکل ۵-۱۶، برای ترانزیستور $۲۰۰ \leq \beta \leq ۱۰۰$ است. مقادیر مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ را طوری محاسبه کنید که دامنه نوسان متقارن جریان کلکتور حداکثر شده و نقطه کار پایداری خوبی داشته باشد.

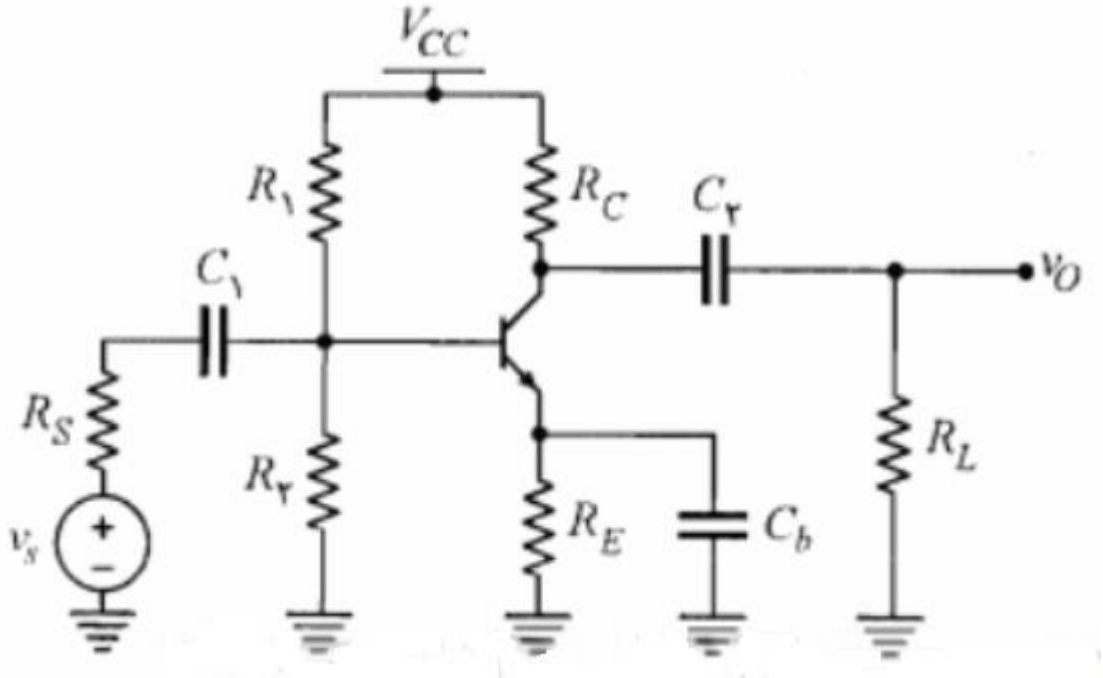


خط بار ac , DC
مدار امیتر مشترک با خازن کوپلاژ



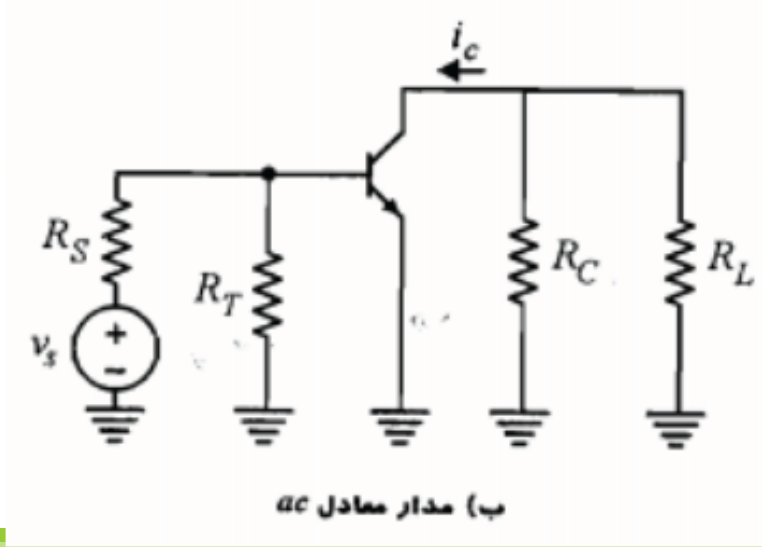
$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E + (R_C \| R_L)}$$

$$V_{CEQ} = \frac{(R_C \| R_L) V_{CC}}{R_C + R_E + (R_C \| R_L)}$$

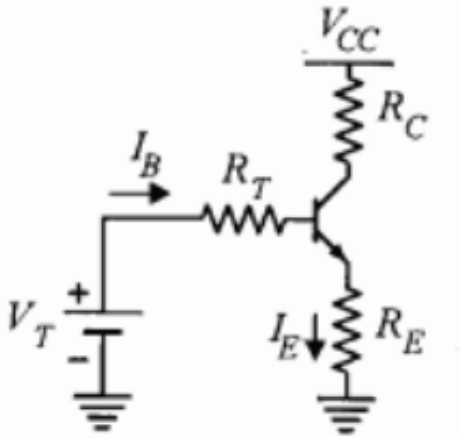


$$I_{CQ} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E + (R_C \| R_L)}$$

$$V_{CEQ} = \frac{(R_C \| R_L) V_{CC}}{R_C + R_E + (R_C \| R_L)}$$

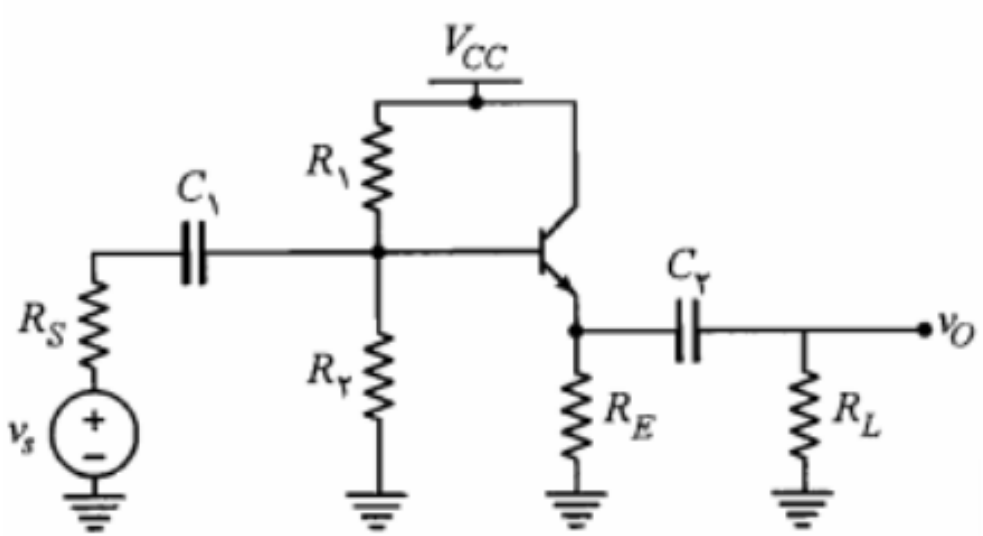


ب) مدار معادل ac



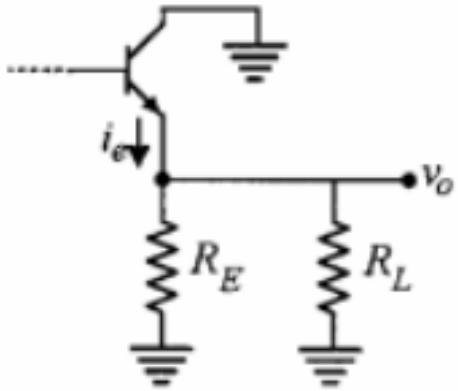
الف) مدار معادل DC

خط بار ac , DC
مدار کلکتور مشترک
امیتر فالوئر

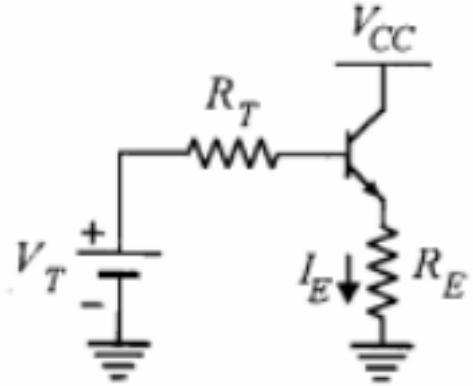


$$V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E \cong V_{CC} - R_E I_C$$

$$v_{ce} \cong -(R_E \parallel R_L)\, i_c$$



ب) مدار معادل ac



الف) مدار معادل DC

$$R_T = R_1 \parallel R_2 \cong \frac{\beta_{min} R_E}{10}$$

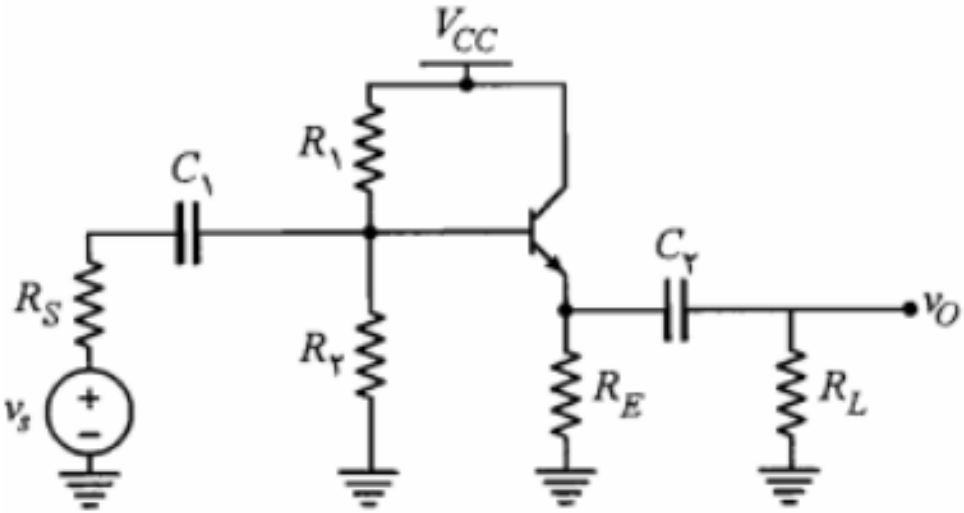
$$V_{CE} = V_{CC} - R_E I_E \cong V_{CC} - R_E I_C$$

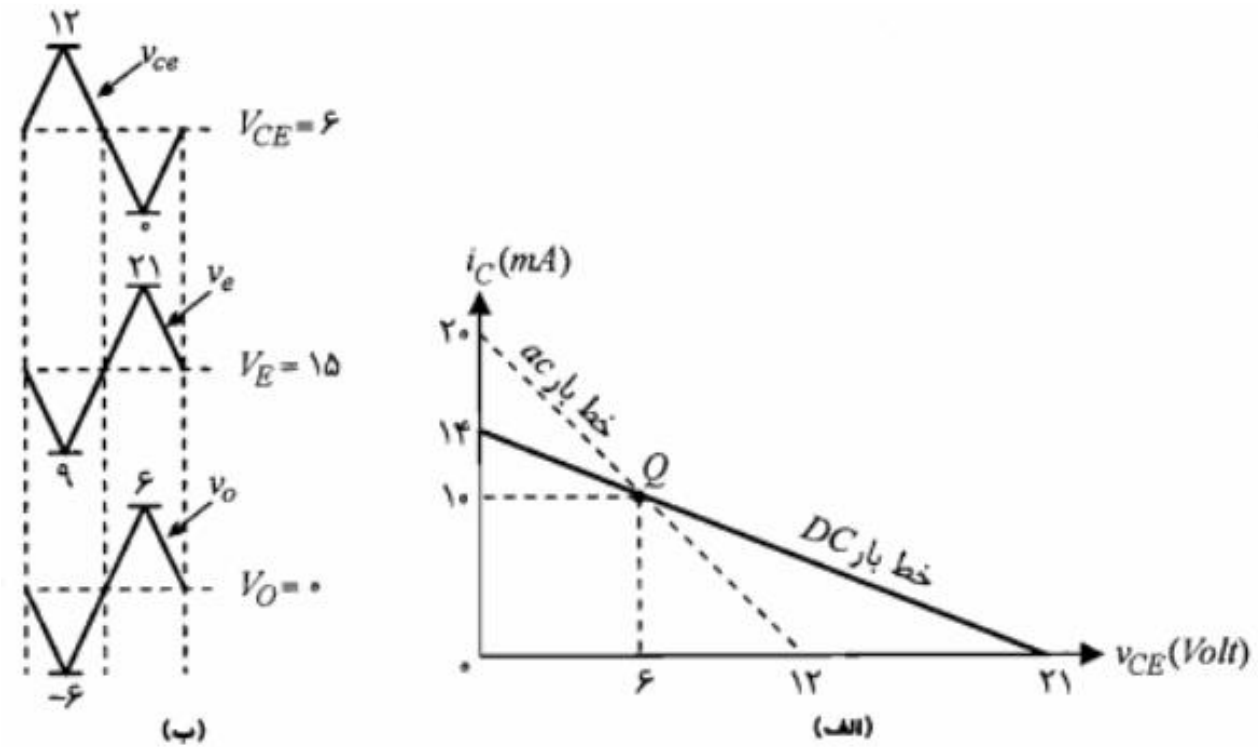
$$v_{ce} \cong -(R_E \parallel R_L) i_c$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{CC}}{R_E + (R_E \parallel R_L)}$$

$$R_T = R_1 \parallel R_2 \cong \frac{\beta_{min} R_E}{10}$$

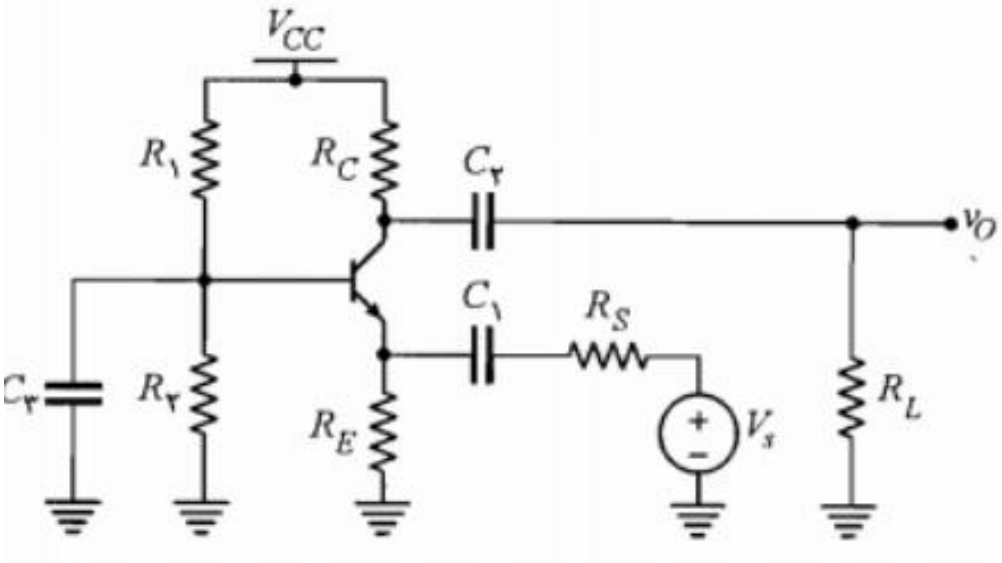
مثال ۵-۴: در مدار کلکتور مشترک شکل ۵-۲۰ با فرض $R_L = ۱\,K\Omega$، $R_E = ۱/۵\,K\Omega$، $۱۰۰ < \beta < ۱۵۰$ و $V_{CC} = ۲۱\,V$ مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ را طوری تعیین نمایید که دامنه نوسان متقارن خروجی حداکثر شود.

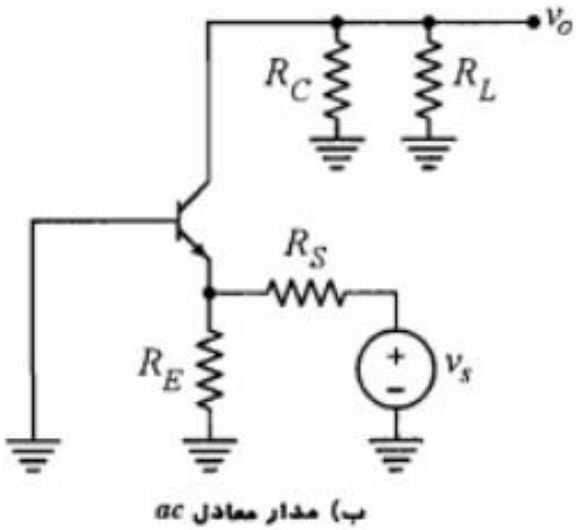




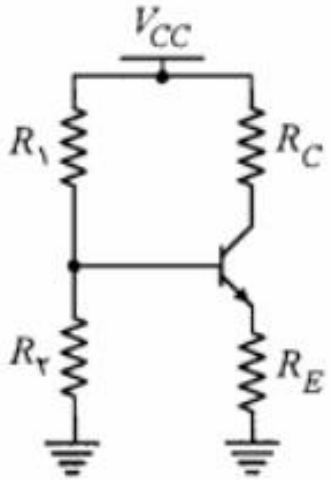
شکل ۵-۲۲: خط بارهای *ac* و *DC* و ولتاژهای v_{CE}، v_E و v_O در مدار شکل ۵-۲۰

خط بار ac , DC
مدار بیس مشترک





ب) مدار معادل ac



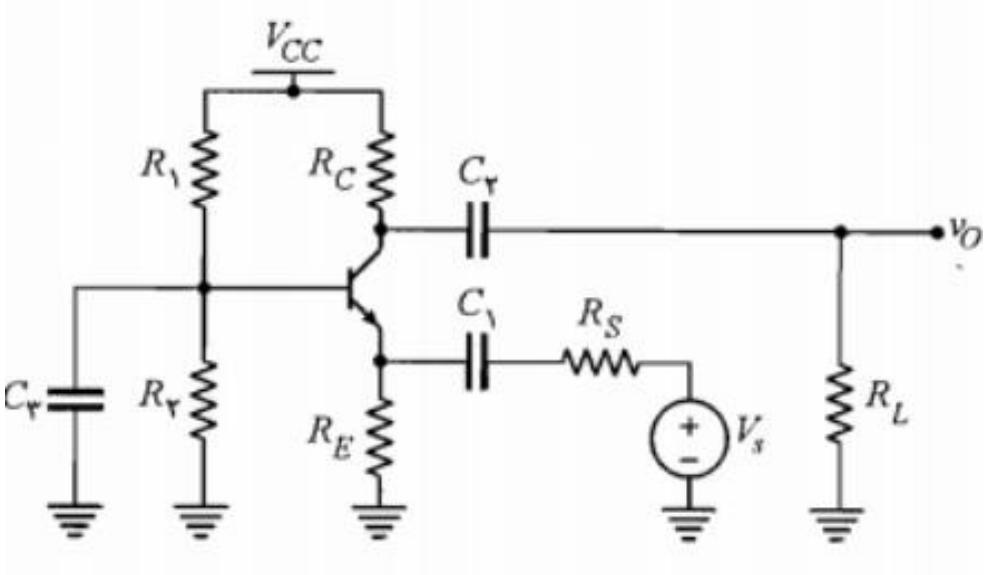
الف) مدار معادل DC

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

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$

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

مثال ۵-۵: در مدار شکل ۵-۲۳ با فرض $V_{CC}=۱۵V$، $R_L=R_C=۱K\Omega$، $V_{CE}(sat)=۰/۲V$، $V_{BE}(sat)=۰/۸V$، $V_{BE}(ON)=۰/۷V$ و $۳۰<\beta<۵۰$ مقاومتهای $R_۱$، $R_۲$ و R_E را چنان تعیین کنید که شرایط زیر به طور همزمان برقرار باشد.



پایداری نقطه کار

عوامل متعددی در تغییر نقطه کار ترانزیستور دخالت دارند که از جمله آنها می‌توان موارد زیر را ذکر نمود.

- تغییر جریان اشباع معکوس I_{CBO} ترانزیستور با افزایش دما (یادآور می‌شویم که این جریان به ازای هر $10\ ^{\circ}C$ افزایش دما تقریباً دو برابر می‌شود.)
- تغییر ولتاژ بیس ـ امیتر با افزایش دما (این ولتاژ به ازای هر $1\ ^{\circ}C$ افزایش دما، حدوداً $2/5$ میلی‌ولت کاهش می‌یابد.)
- تغییرات وسیع بهره جریان (β) ترانزیستور (این پارامتر گذشته از تغییر با دما، حتی برای یک نوع ترانزیستور نیز دقیقاً مشخص نبوده و غالباً مقادیر حداقل و حداکثر آن داده می‌شود.)
- تغییر ولتاژ منبع تغذیه به علت برخوردار نبودن از یک تنظیم ولتاژ مناسب
- تغییر مقادیر مقاومتهای به‌کار رفته ناشی از خطای آنها و یا تغییرات دما

$$I_C = I_C(I_{CBO}, V_{BE}, \beta)$$

$$I_C = I_C(I_{CBO}, V_{BE}, \beta)$$

$$dI_C = \frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}} dI_{CBO} + \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} dV_{BE} + \frac{\partial I_C}{\partial \beta} d\beta$$

$$S_I = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CBO}} \qquad S_I \cong \frac{\partial I_C}{\partial I_{CBO}}$$

$$S_V = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} \qquad S_V \cong \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}$$

$$S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta} \qquad S_\beta \cong \frac{\partial I_C}{\partial \beta}$$

$$\Delta I_C \cong dI_C \ , \quad \Delta V_{BE} \cong dV_{BE} \ , \quad \Delta I_{CBO} \cong dI_{CBO} \ , \quad \Delta \beta \cong d\beta$$