



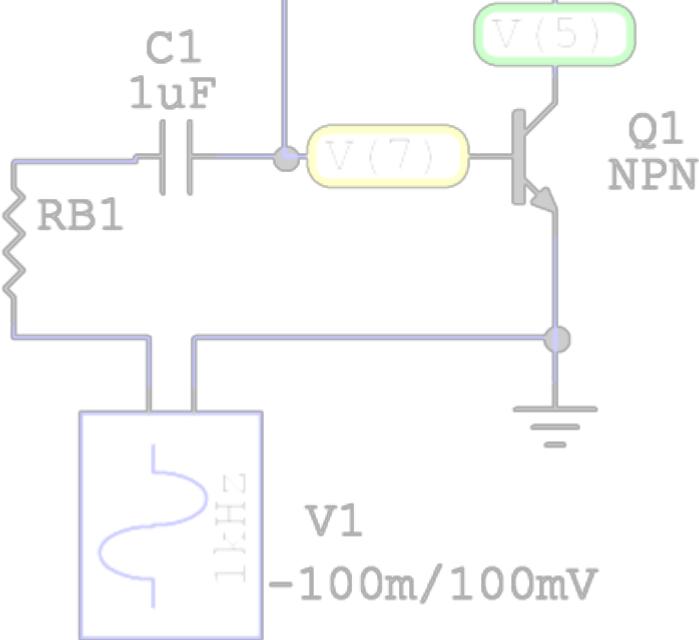
به نام خدا

مبانی مدارهای الکتریکی و الکترونیکی

V_{CC}
10V
+V

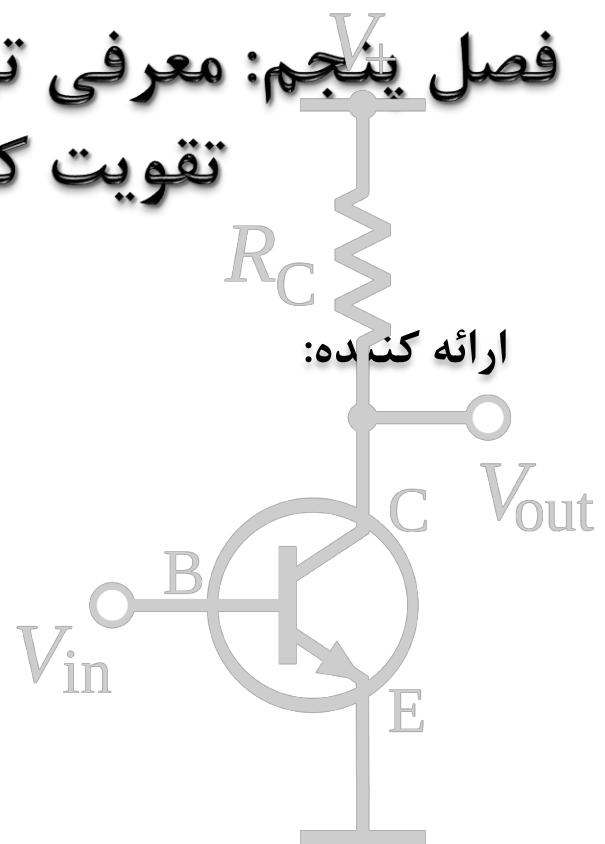
R_B
232.5k

C₁
1uF



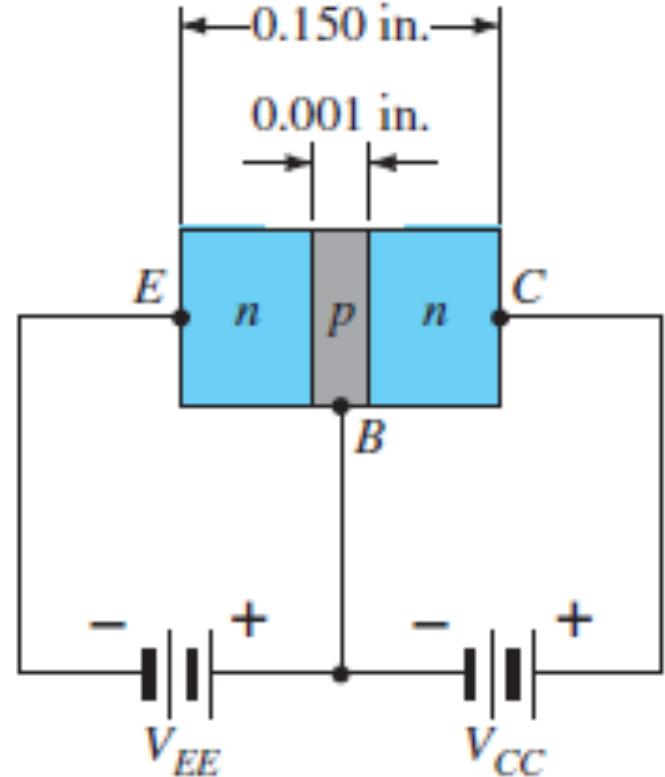
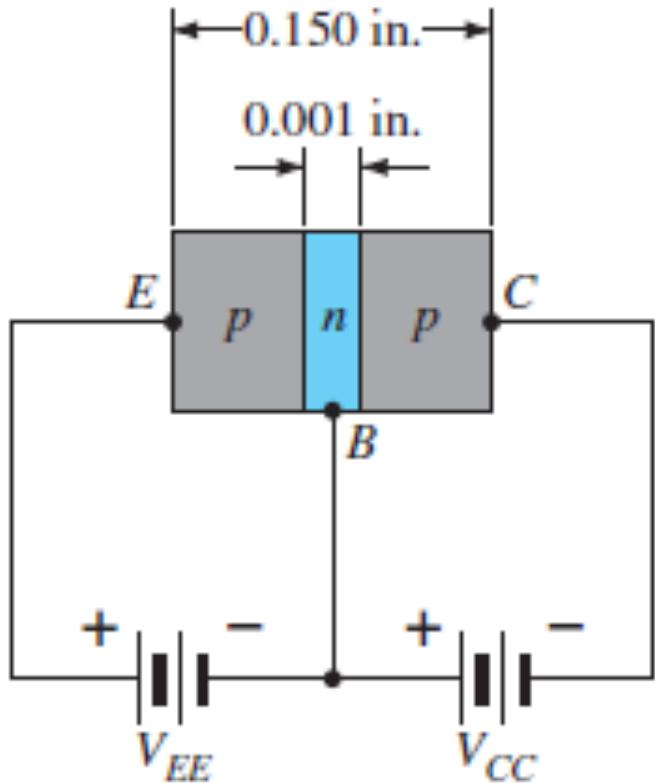
روحانی

آذر ۱۴۰۰



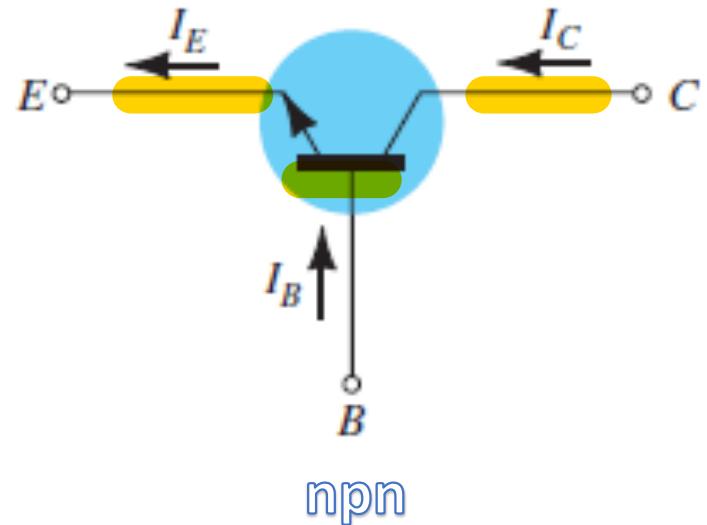
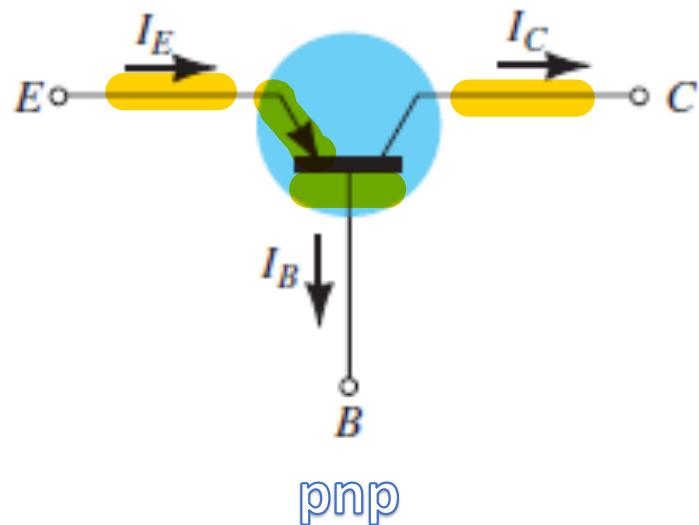
ارائه کنده:

مدارهای ترانزیستوری معرفی ترانزیستور BJT



E for *emitter*, *C* for *collector*, and *B* for *base*..

مدارهای ترانزیستوری علائم شماتیکی ترانزیستور BJT از نوع pnp و npn



مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری

تعریف نواحی فعال، اشباع و قطع

Operation in the cutoff, saturation, and linear regions of the BJT characteristic are provided as follows:

1. *Linear-region operation:*

Base-emitter junction forward-biased

Base-collector junction reverse-biased

2. *Cutoff-region operation:*

Base-emitter junction reverse-biased

Base-collector junction reverse-biased

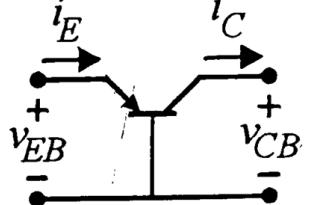
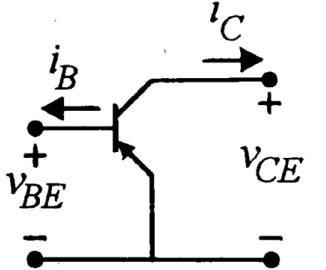
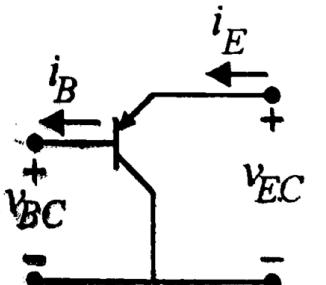
3. *Saturation-region operation:*

Base-emitter junction forward-biased

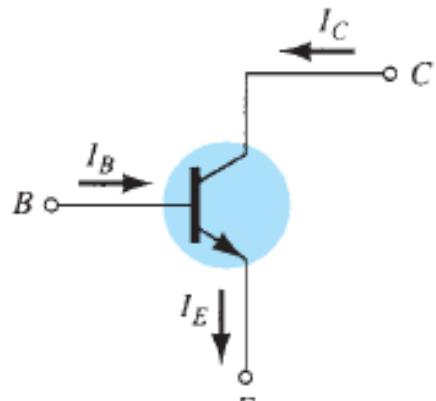
Base-collector junction forward-biased

مدارهای ترانزیستوری النوع ترکیب‌های ترانزیستوری

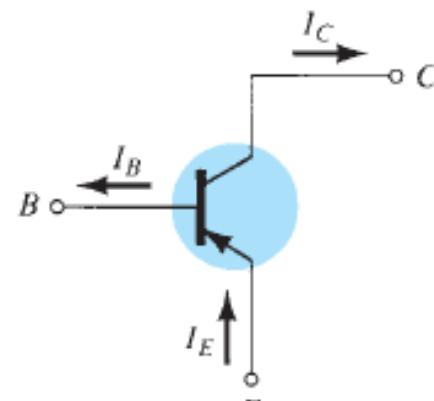
جدول ۴-۲: تعریف مشخصه‌های ترانزیستور در ترکیب‌های مختلف مداری آن

مشخصه ورودی	مشخصه خروجی	نوع ترکیب	
$i_E = g_1(v_{CB}, v_{EB})$	$i_C = f_1(i_E, v_{CB})$		ترکیب مشترک
$i_B = g_2(v_{CE}, v_{BE})$	$i_C = f_2(i_B, v_{CE})$		آمپلی‌فایر مشترک
$i_B = g_3(v_{EC}, v_{BC})$	$i_E = f_3(i_B, v_{EC})$		کاتکتیور مشترک

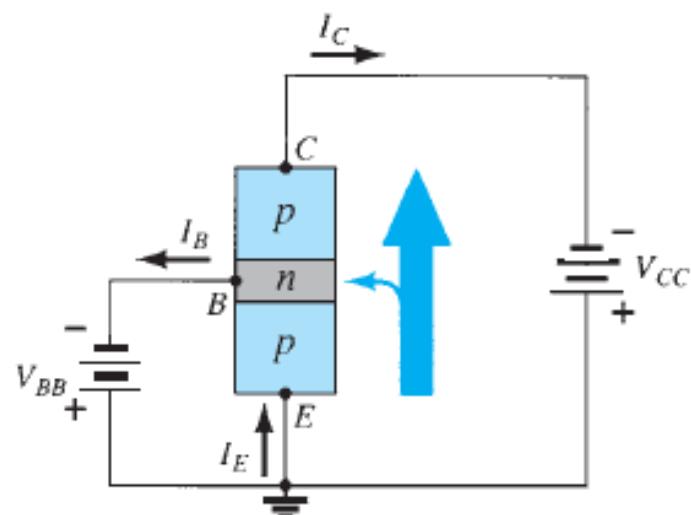
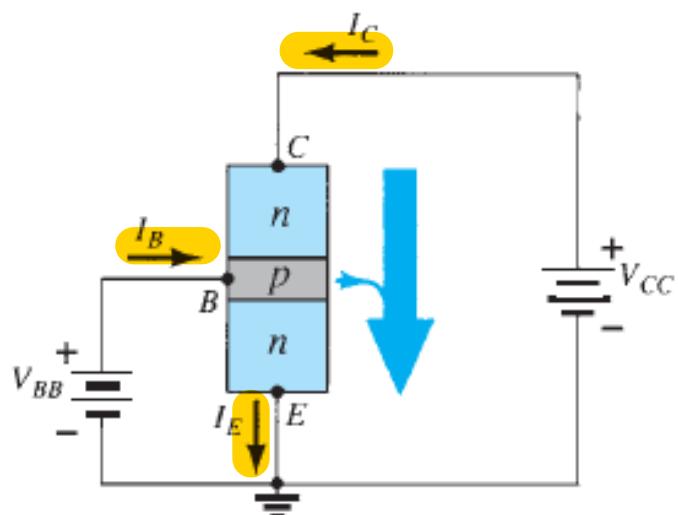
مدارهای ترانزیستوری پیکربندی امپیٹر مشترک



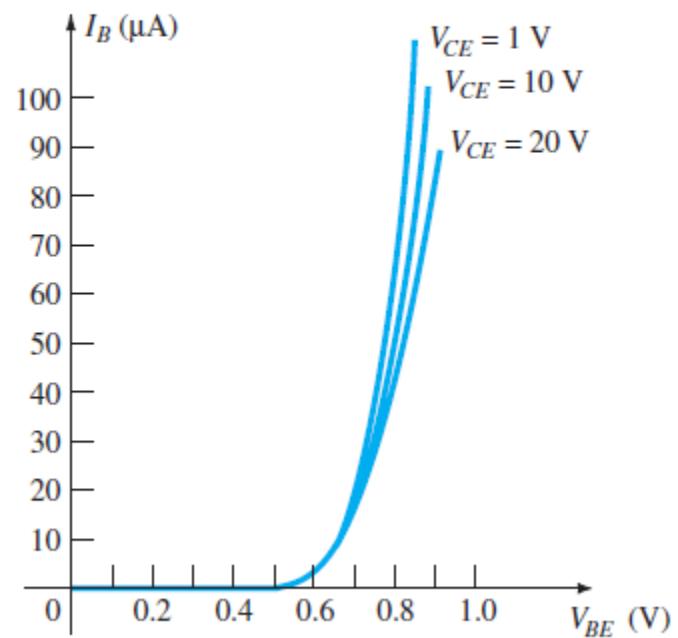
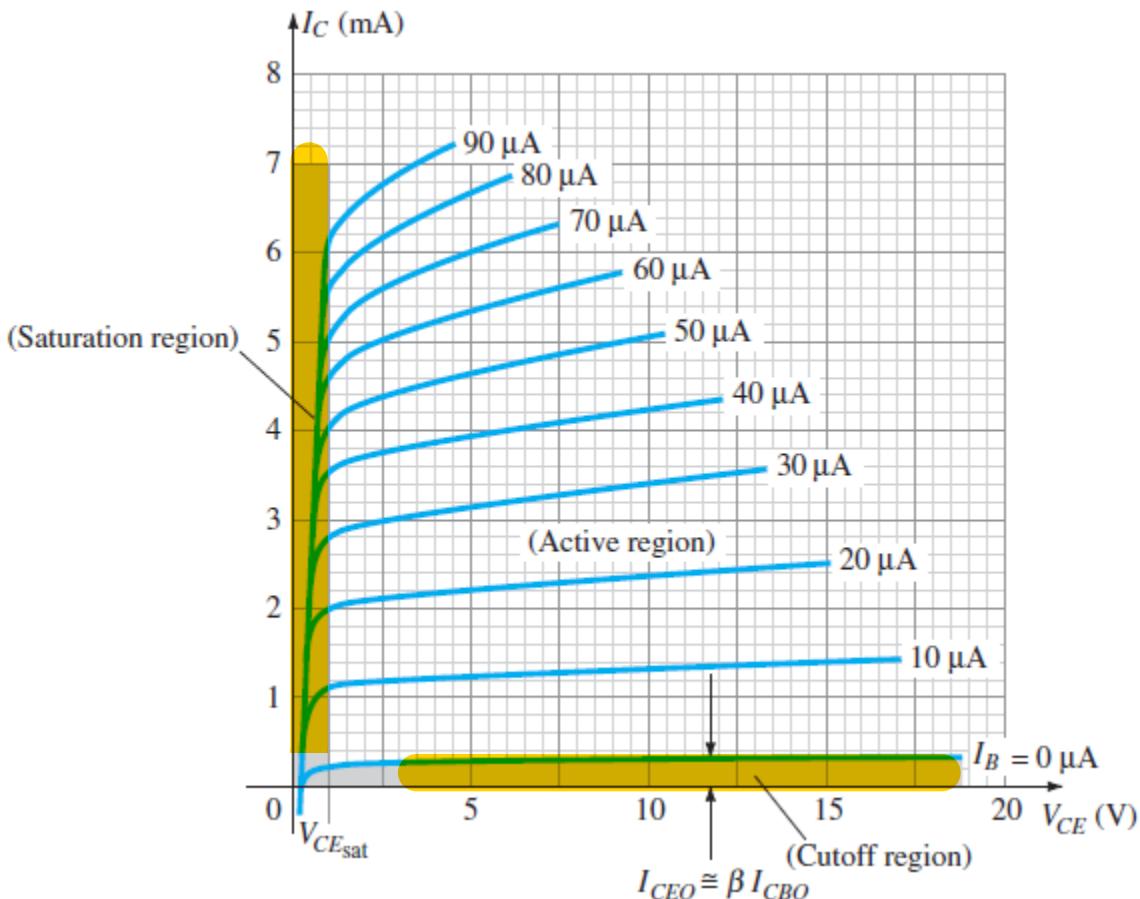
(a)



(b)



مدارهای ترانزیستوری پیکربندی امپیٹر مشترک و تعریف نواحی فعال، اشباع و قطع



مدارهای ترانزیستوری روابط میان پایه های ترانزیستور در فاصله فعال برای ترانزیستور npn

That is, once a transistor is in the “on” state, the base-to-emitter voltage will be assumed to be the following:

$$V_{BE} \approx 0.7 \text{ V} \quad (3.4)$$

A relationship can be developed between β and α using the basic relationships introduced thus far. Using $\beta = I_C/I_B$, we have $I_B = I_C/\beta$, and from $\alpha = I_C/I_E$ we have $I_E = I_C/\alpha$. Substituting into

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\frac{I_C}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta}$$

we have

and dividing both sides of the equation by I_C results in

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$$

or

$$\beta = \alpha\beta + \alpha = (\beta + 1)\alpha$$

so that

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (3.12)$$

or

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (3.13)$$

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری روابط میان پایه‌های ترانزیستور در فاچیه **فعال** برای ترانزیستور npn

but using an equivalence of

$$\frac{1}{1 - \alpha} = \beta + 1 \quad I_C = \beta I_B \quad (3.15)$$

$$I_E = I_C + I_B \\ = \beta I_B + I_B$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B \quad (3.16)$$

The maximum dissipation level is defined by the following equation:

$$P_{C_{\max}} = V_{CE} I_C \quad (3.17)$$

$$I_{CEO} \leq I_C \leq I_{C_{\max}} \\ V_{CE_{\text{sat}}} \leq V_{CE} \leq V_{CE_{\max}} \\ V_{CE} I_C \leq P_{C_{\max}}$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO}$$

$$I_C = \alpha(I_C + I_B) + I_{CBO}$$

$$I_C = \frac{\alpha I_B}{1 - \alpha} + \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha}$$

$$I_{CEO} = \left. \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha} \right|_{I_B=0 \mu\text{A}}$$

$$\xrightarrow{I_B=0} I_C = (\beta + 1)I_{CBO} = I_{CEO}$$

مدارهای ترانزیستوری بسته بندی ترانزیستور

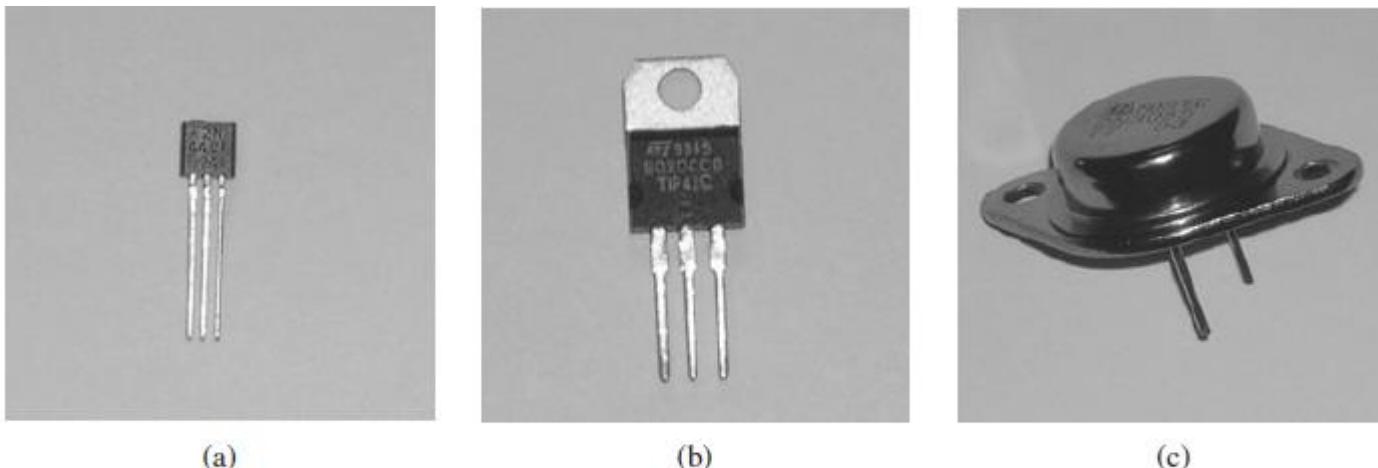


FIG. 3.29

Various types of general-purpose or switching transistors: (a) low power; (b) medium power; (c) medium to high power.

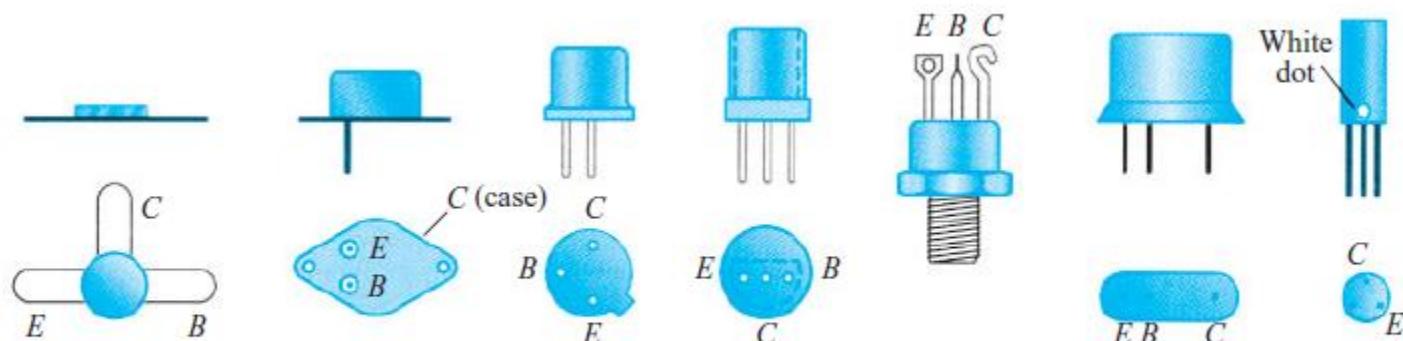
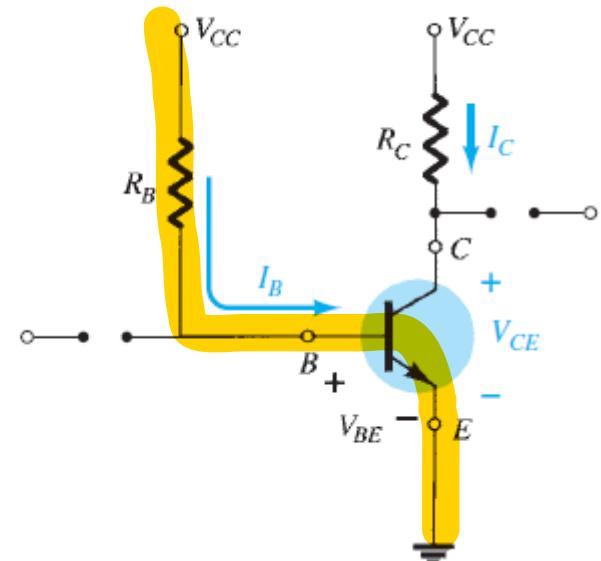
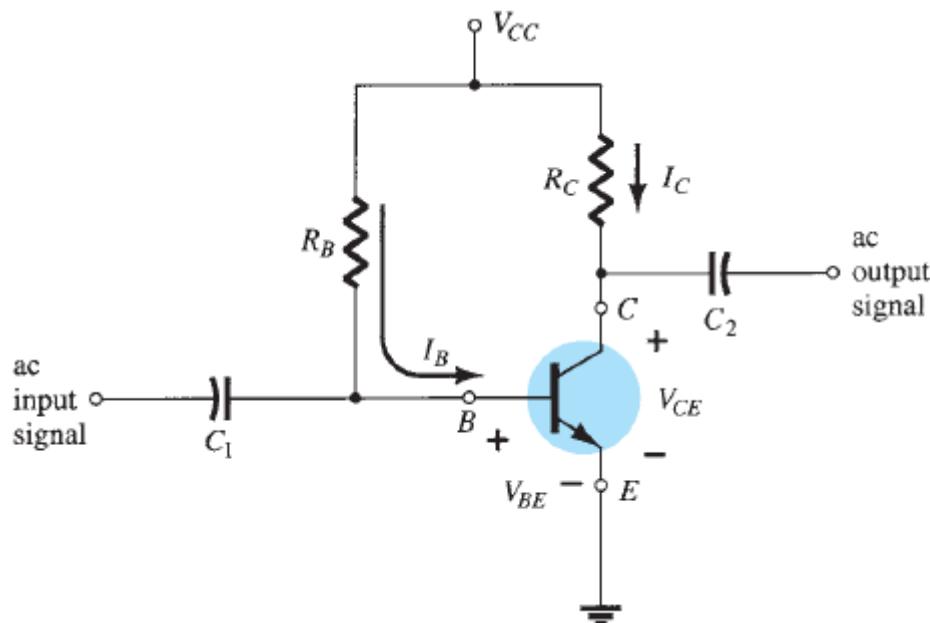


FIG. 3.30

Transistor terminal identification.

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور (اتصال ولتاژ DC به پایه های ترانزیستور)



$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

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

$$I_C = \beta I_B$$

$$V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

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

$$V_{CE} = V_C$$

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

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

$$V_{BE} = V_B$$

مدارهای ترازیستوری و تقویت کننده‌های ترازیستوری پایا س ترازیستوره مثال

EXAMPLE 4.1 Determine the following for the fixed-bias configuration of Fig. 4.7.

- a. I_{BQ} and I_{CQ} .
- b. V_{CEQ} .
- c. V_B and V_C .
- d. V_{BC} .

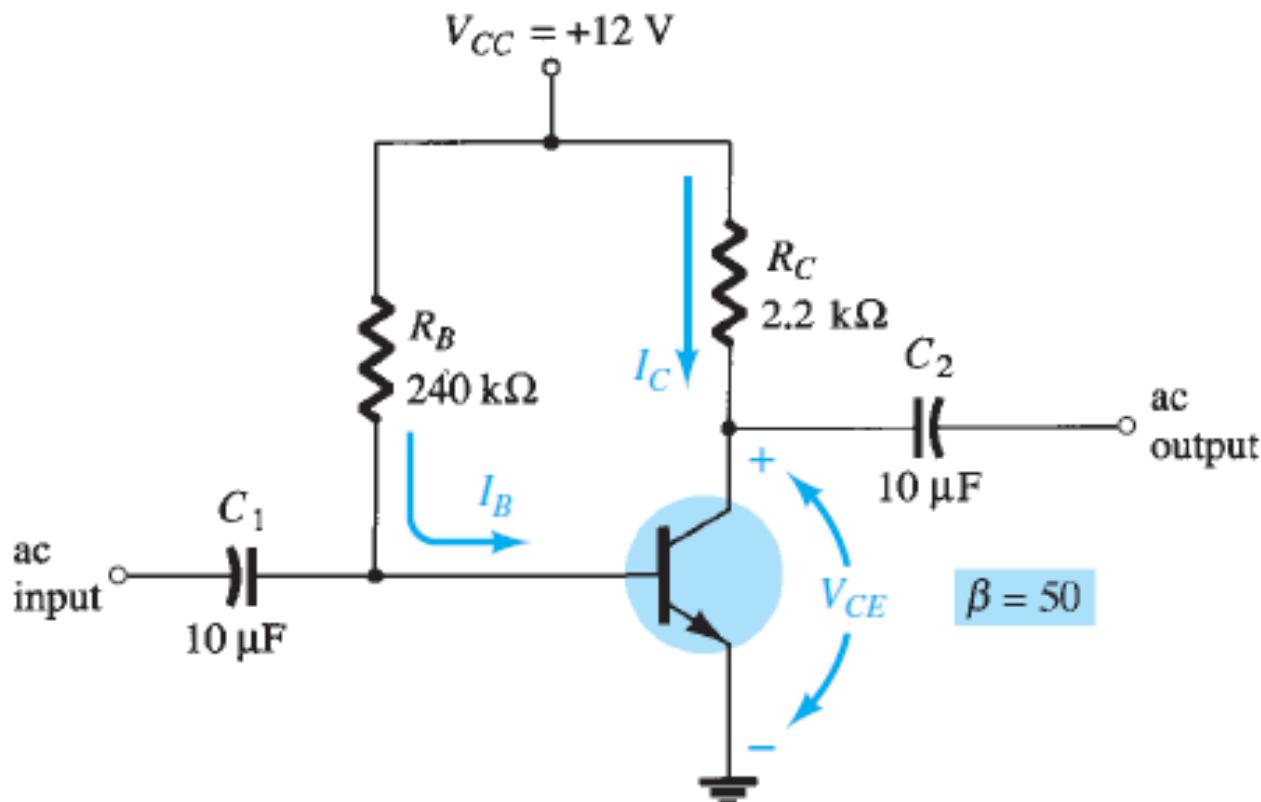


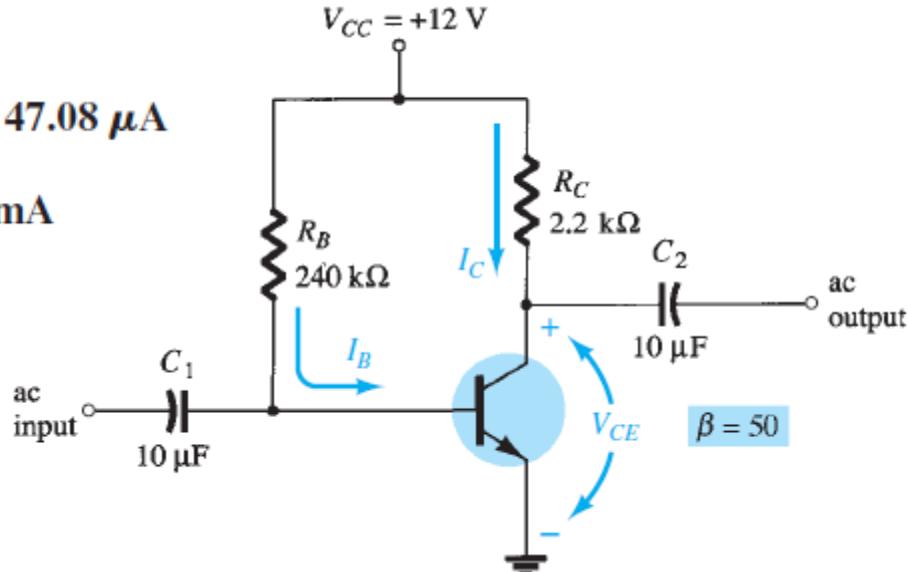
FIG. 4.7
DC fixed-bias circuit for Example 4.1.

مدارهای ترازیستوری و تقویت کننده‌های ترازیستوری پایاس ترازیستور: ادامه مثال

Solution:

a. Eq. (4.4): $I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega} = 47.08 \mu\text{A}$

Eq. (4.5): $I_{CQ} = \beta I_{BQ} = (50)(47.08 \mu\text{A}) = 2.35 \text{ mA}$



b. Eq. (4.6): $V_{CEQ} = V_{CC} - I_C R_C$
 $= 12 \text{ V} - (2.35 \text{ mA})(2.2 \text{ k}\Omega)$
 $= 6.83 \text{ V}$

c. $V_B = V_{BE} = 0.7 \text{ V}$

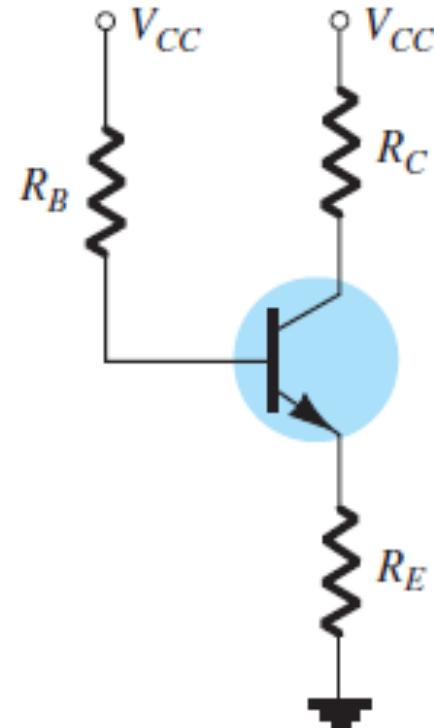
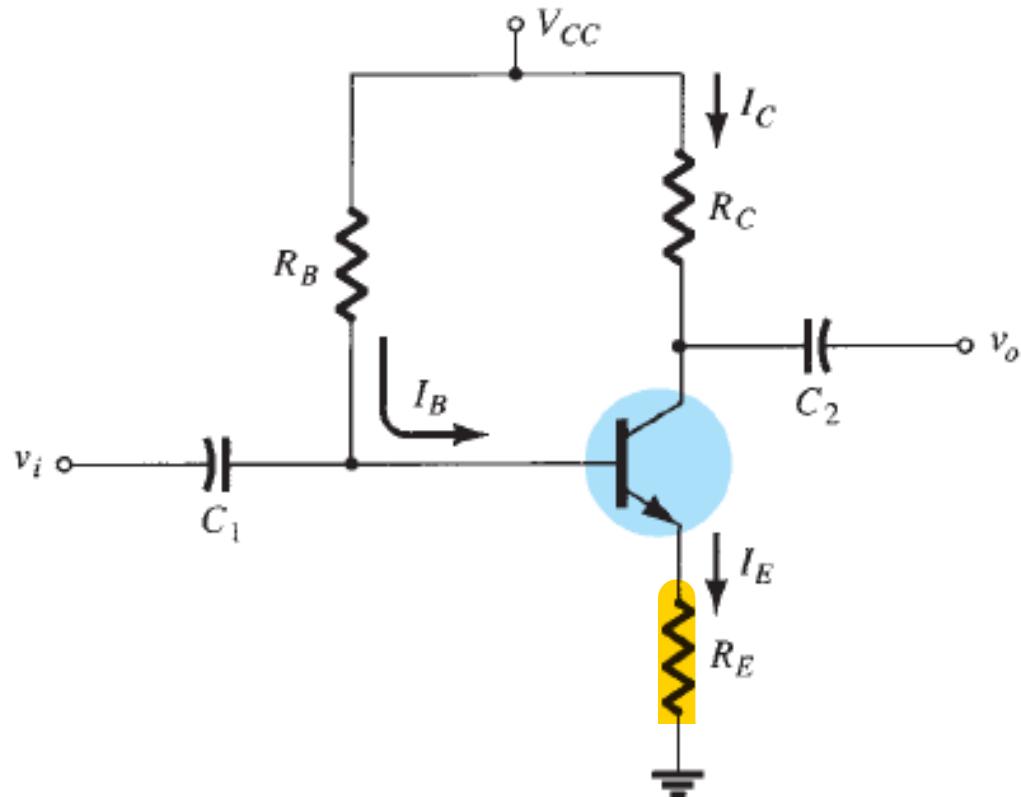
$V_C = V_{CE} = 6.83 \text{ V}$

d. Using double-subscript notation yields

$$\begin{aligned} V_{BC} &= V_B - V_C = 0.7 \text{ V} - 6.83 \text{ V} \\ &= -6.13 \text{ V} \end{aligned}$$

with the negative sign revealing that the junction is reversed-biased, as it should be for linear amplification.

مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور در فاصله فعال با وجود مقاومت امپیتر



مدارهای ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در ناحیه فعال با وجود مقاومت امپیتر: حلقه بیس - امپیتر

$$+V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

Recall from Chapter 3 that

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

Substituting for I_E in Eq. (4.15) results in

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} - (\beta + 1)I_B R_E = 0$$

Grouping terms then provides the following:

$$-I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) + V_{CC} - V_{BE} = 0$$

Multiplying through by (-1) , we have

$$I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) - V_{CC} + V_{BE} = 0$$

with

$$I_B(R_B + (\beta + 1)R_E) = V_{CC} - V_{BE}$$

and solving for I_B gives

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

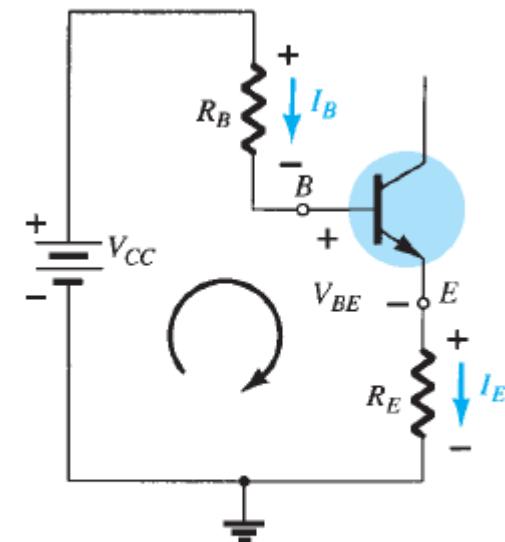


FIG. 4.19
Base-emitter loop.

مدارهای ترازیستوری

با پاس ترازیستور در ناحیه فعال با وجود مقاومت امپیتر: حلقه کلکتور - امپیتر

$$+I_E R_E + V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

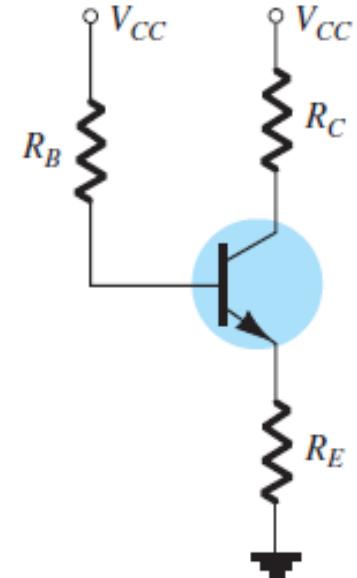
Substituting $I_E \equiv I_C$ and grouping terms gives

$$V_{CE} - V_{CC} + I_C(R_C + R_E) = 0$$

and

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

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



$$V_E = I_E R_E$$

$$V_C = V_{CE} + V_E$$

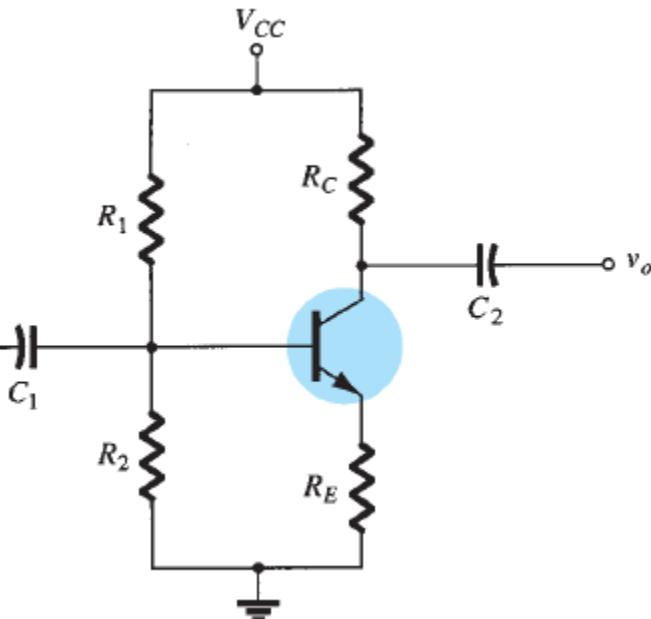
$$V_B = V_{CC} - I_B R_B$$

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

or

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

مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور در ناحیه فعال با استفاده از مقسم ولتاژ

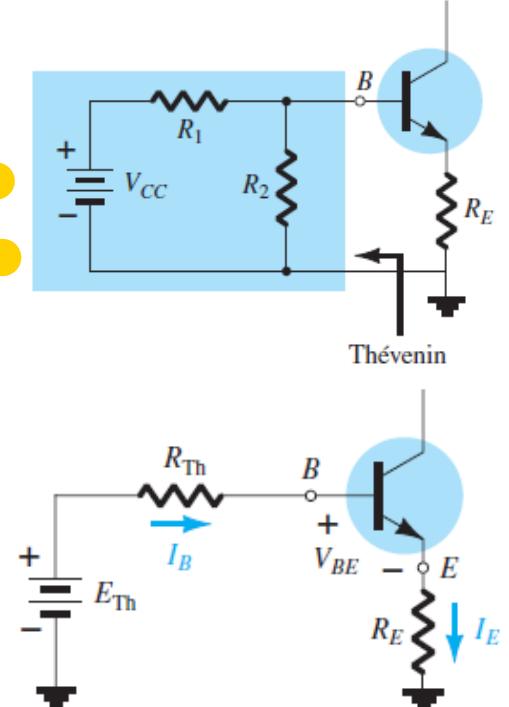
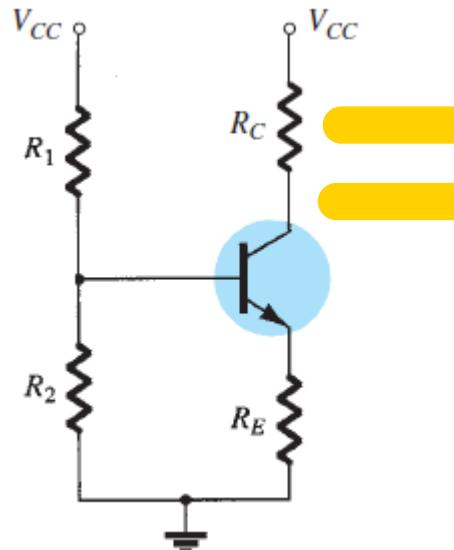


$$R_{Th} = R_1 \parallel R_2$$

$$E_{Th} = V_{R_2} = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2}$$

$$KVL: -E_{th} + R_{th} I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

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



$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

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

مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور در ناحیه فعال با استفاده از مقسوم ولتاژ: مثال

EXAMPLE 4.8 Determine the dc bias voltage V_{CE} and the current I_C for the voltage-divider configuration of Fig. 4.35.

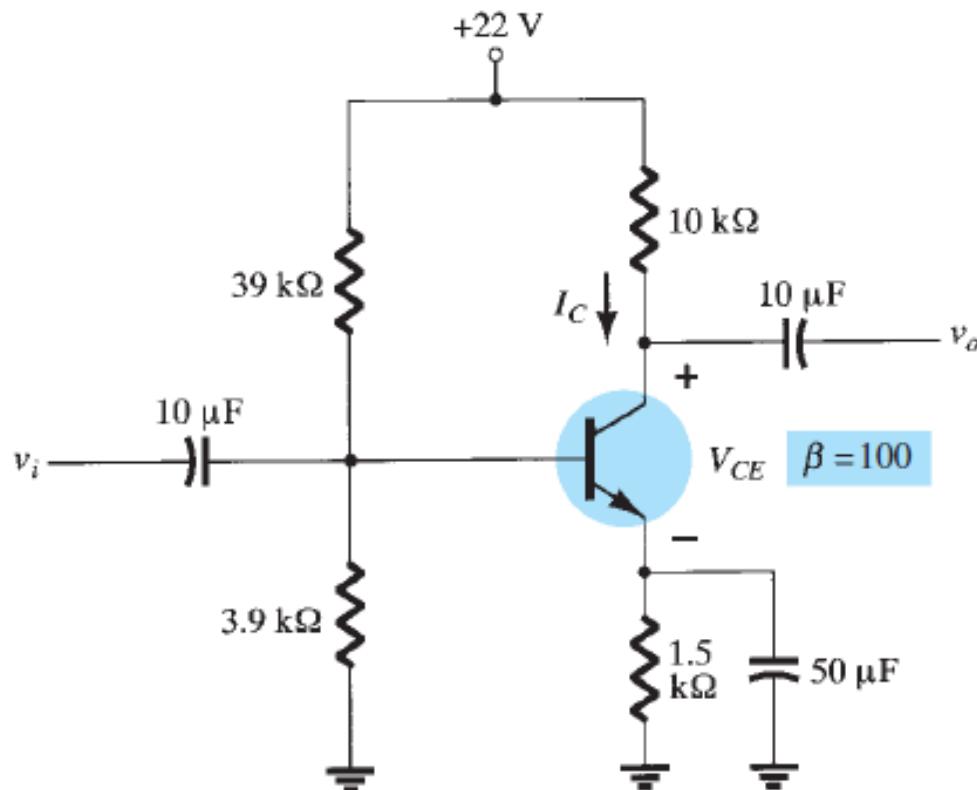
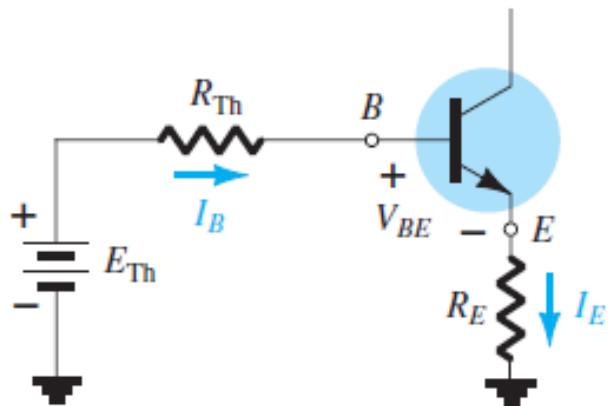


FIG. 4.35

Beta-stabilized circuit for Example 4.8.

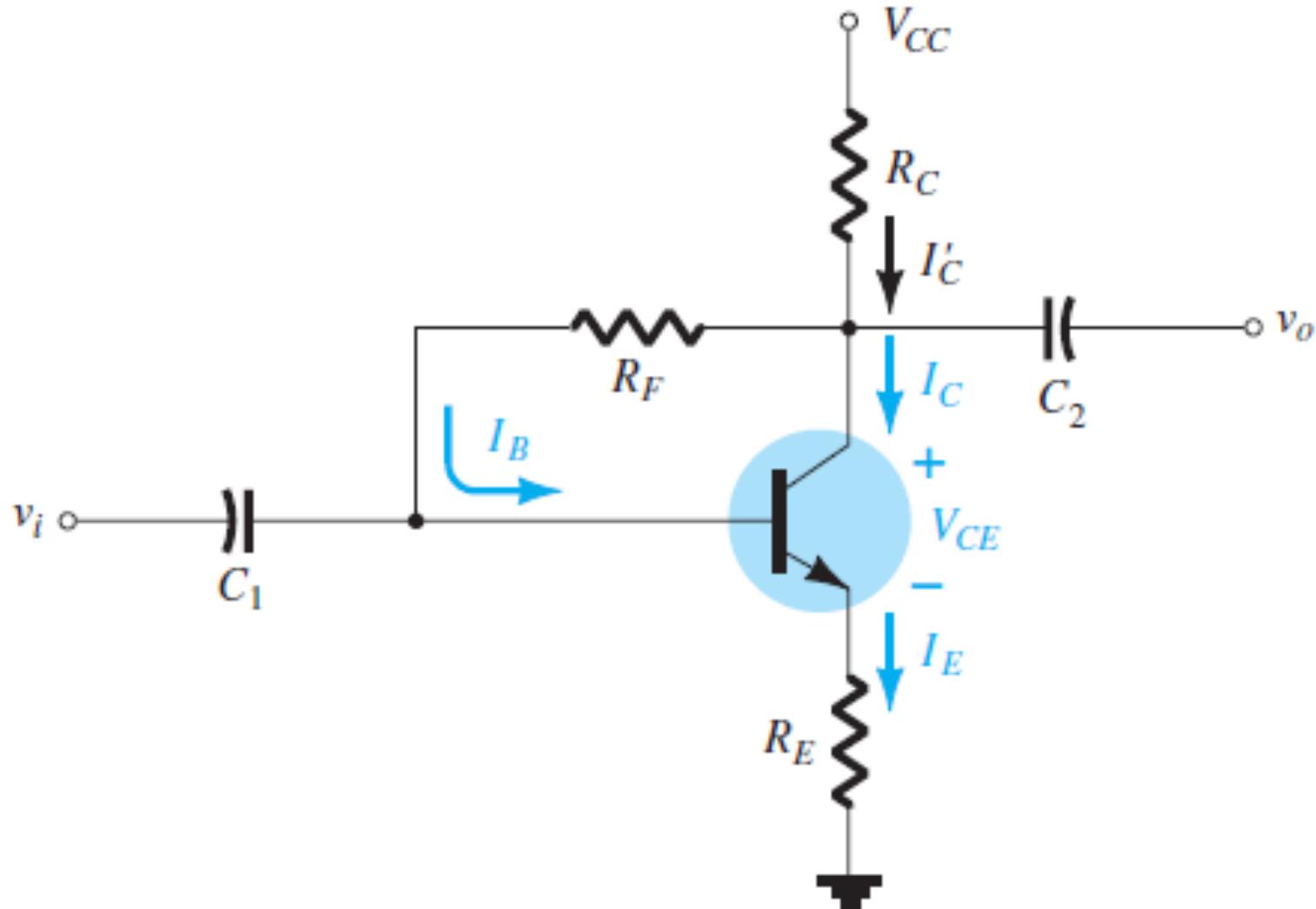
مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور در ناحیه **فعال** با استفاده از مقسم ولتاژ: ادامه مثال



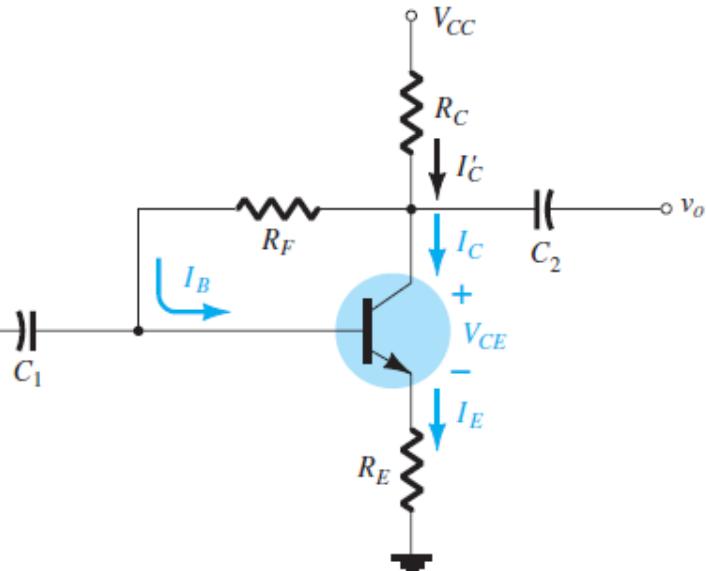
$$\begin{aligned}
 V_{CE} &= V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \\
 &= 22 \text{ V} - (0.84 \text{ mA})(10 \text{ k}\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega) \\
 &= 22 \text{ V} - 9.66 \text{ V} \\
 &= \mathbf{12.34 \text{ V}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Th}} &= R_1 \parallel R_2 \\
 &= \frac{(39 \text{ k}\Omega)(3.9 \text{ k}\Omega)}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} = 3.55 \text{ k}\Omega \\
 E_{\text{Th}} &= \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \\
 &= \frac{(3.9 \text{ k}\Omega)(22 \text{ V})}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ V} \\
 I_B &= \frac{E_{\text{Th}} - V_{BE}}{R_{\text{Th}} + (\beta + 1)R_E} \\
 &= \frac{2 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + (101)(1.5 \text{ k}\Omega)} = \frac{1.3 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + 151.5 \text{ k}\Omega} \\
 &= 8.38 \mu\text{A} \\
 I_C &= \beta I_B \\
 &= (100)(8.38 \mu\text{A}) \\
 &= \mathbf{0.84 \text{ mA}}
 \end{aligned}$$

مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور در ناحیه فعال: تمرين



مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور در ناحیه فعال: ادامه تمرین



$$KVL : V_{CC} = R_C (I_C + I_B) + R_F I_B + V_{BE} + R_E I_E$$

$$V_{CC} = R_C (\beta I_B + I_B) + R_F I_B + V_{BE} + R_E (\beta + 1) I_B$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{(\beta + 1) R_C + R_F + R_E (\beta + 1)}, I_E = (\beta + 1) I_B, I_C = \beta I_B$$

$$\boxed{V_C = V_{CC} - R_C (I_B + I_C)}, V_E = R_E I_E \rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C (I_B + I_C) - R_E I_E > 0$$

$$V_B = V_{BE} + R_E I_E \rightarrow V_{CB} = V_{CC} - R_C (I_B + I_C) - (V_{BE} + R_E I_E) > 0$$

مدارهای ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در ناحیه فعال: ترکیب کلکتور مشترک (امیتر فالوئر)

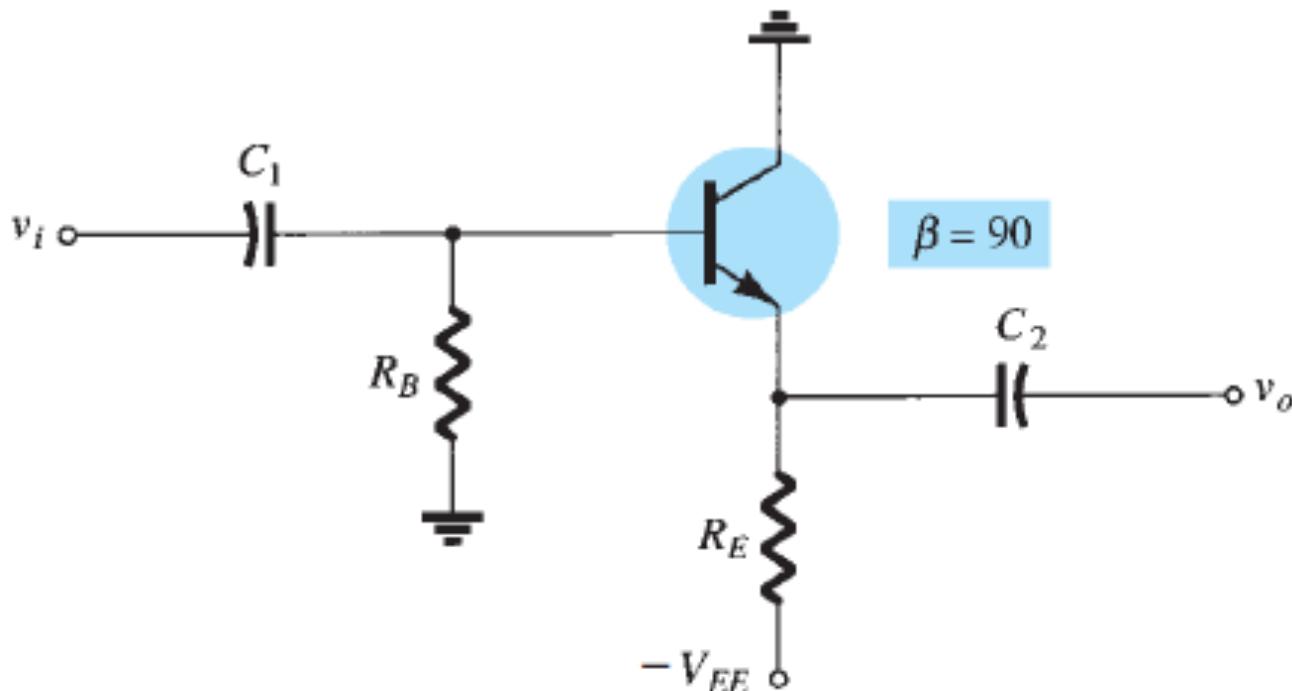


FIG. 4.46

Common-collector (emitter-follower) configuration.

مدارهای ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در ناحیه فعال: ترکیب کلکتور مشترک (امپلیفیلر فالوئر)

The dc equivalent of the network of Fig. 4.46 appears in Fig. 4.47

Applying Kirchhoff's voltage rule to the input circuit will result in

$$-I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E + V_{EE} = 0$$

and using $I_E = (\beta + 1)I_B$

$$I_B R_B + (\beta + 1)I_B R_E = V_{EE} - V_{BE}$$

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

so that

For the output network, an application of Kirchhoff's voltage law will result in

$$-V_{CE} - I_E R_E + V_{EE} = 0$$

and

$$V_{CE} = V_{EE} - I_E R_E$$

$$V_E = R_E I_E - V_{EE}, V_C = 0,$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 0 - (R_E I_E - V_{EE}) = V_{EE} - R_E I_E$$

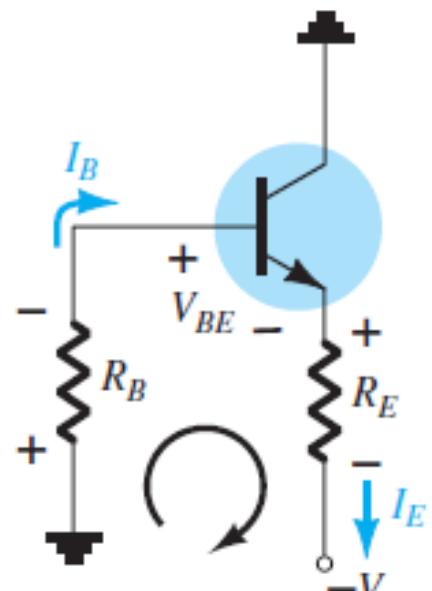


FIG. 4.47
dc equivalent of
Fig. 4.46.

مدارهای ترانزیستوری

باپاس ترانزیستور در ناحیه فعال: ترکیب کلکتور مشترک (امپلیفیلر فالوئر): مثال

EXAMPLE 4.16 Determine V_{CEQ} and I_{EQ} for the network of Fig. 4.48.

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} \\ &= \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega + (90 + 1)2 \text{ k}\Omega} = \frac{19.3 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega + 182 \text{ k}\Omega} \\ &= \frac{19.3 \text{ V}}{422 \text{ k}\Omega} = 45.73 \mu\text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{CEQ} &= V_{EE} - I_E R_E \\ &= V_{EE} - (\beta + 1)I_B R_E \\ &= 20 \text{ V} - (90 + 1)(45.73 \mu\text{A})(2 \text{ k}\Omega) \\ &= 20 \text{ V} - 8.32 \text{ V} \\ &= \mathbf{11.68 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{EQ} &= (\beta + 1)I_B = (91)(45.73 \mu\text{A}) \\ &= 4.16 \text{ mA} \end{aligned}$$

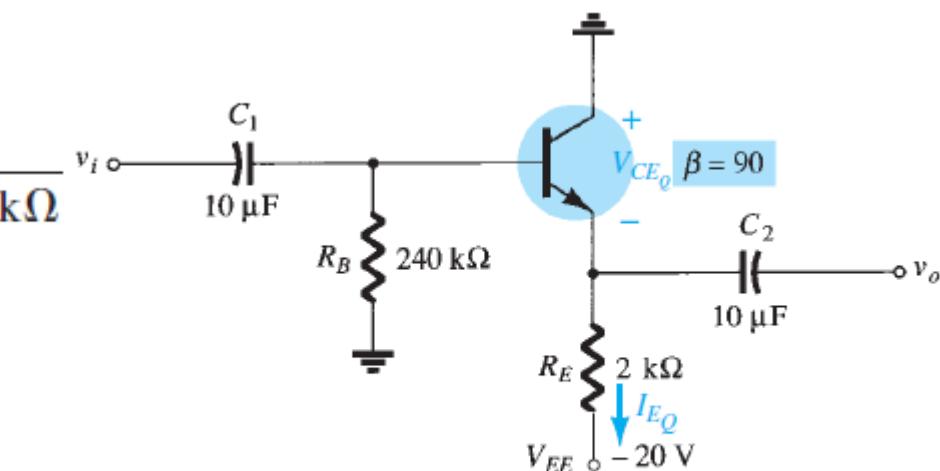


FIG. 4.48
Example 4.16.

مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور در ناحیه فعال: ترکیب بیس مشترک:

Applying Kirchhoff's voltage law will result in

$$-V_{EE} + I_E R_E + V_{BE} = 0$$

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

$$-V_{EE} + I_E R_E + V_{CE} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

$$V_{CE} = V_{EE} + V_{CC} - I_E R_E - I_C R_C$$

$$I_E \approx I_C$$

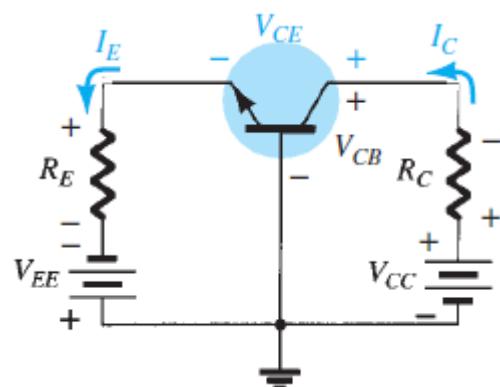
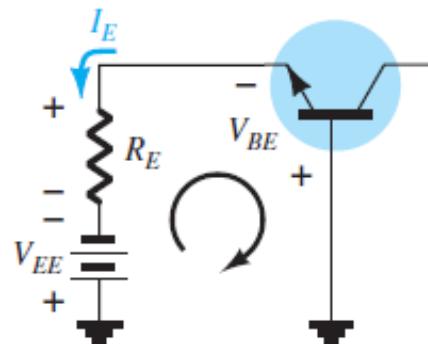
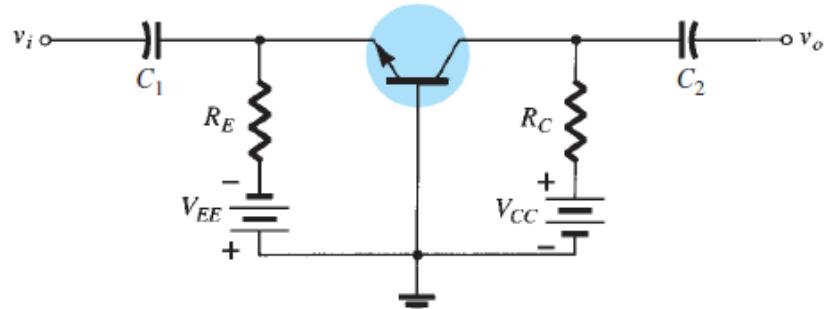
$$V_{CE} = V_{EE} + V_{CC} - I_E(R_C + R_E)$$

$$V_{CB} + I_C R_C - V_{CC} = 0$$

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

$$I_C \approx I_E$$

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



مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور در ناحیه فعال: ترکیب بیس مشترک: مثال

EXAMPLE 4.17 Determine the currents I_E and I_B and the voltages V_{CE} and V_{CB} for the common-base configuration of Fig. 4.52.

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

$$= \frac{4 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1.2 \text{ k}\Omega} = 2.75 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = \frac{2.75 \text{ mA}}{60 + 1} = \frac{2.75 \text{ mA}}{61}$$

$$= 45.08 \mu\text{A}$$

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

$$= 4 \text{ V} + 10 \text{ V} - (2.75 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega + 1.2 \text{ k}\Omega)$$

$$= 14 \text{ V} - (2.75 \text{ mA})(3.6 \text{ k}\Omega)$$

$$= 14 \text{ V} - 9.9 \text{ V}$$

$$= 4.1 \text{ V}$$

$$V_{CB} = V_{CC} - I_C R_C = V_{CC} - \beta I_B R_C$$

$$= 10 \text{ V} - (60)(45.08 \mu\text{A})(24 \text{ k}\Omega)$$

$$= 10 \text{ V} - 6.49 \text{ V}$$

$$= 3.51 \text{ V}$$

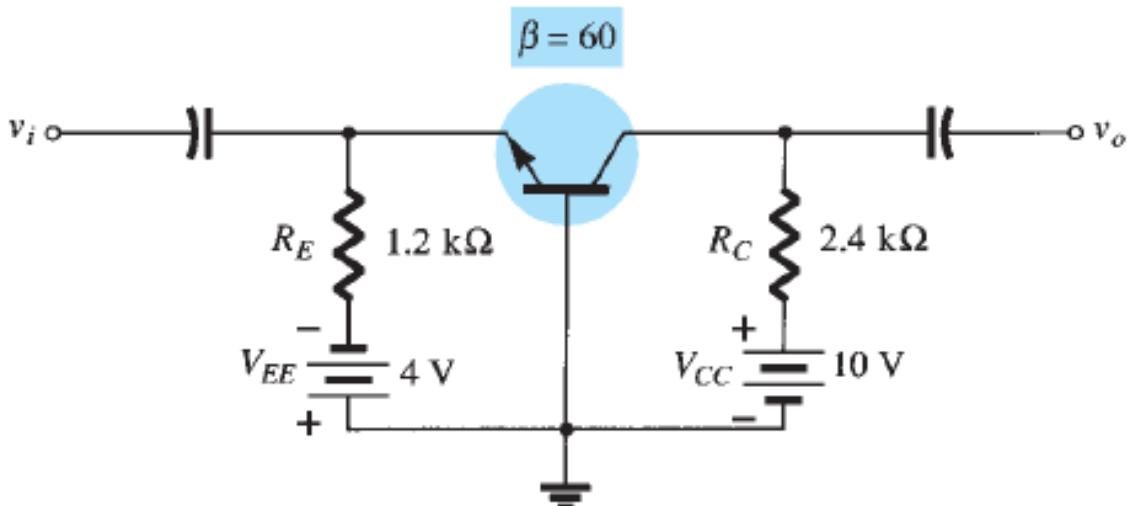
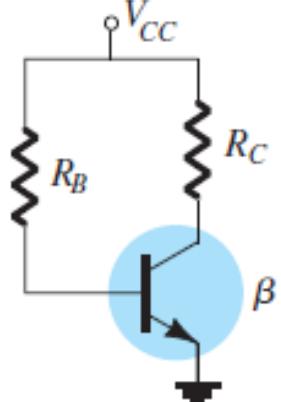


FIG. 4.52
Example 4.17.

مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور: خلاصه

Fixed-bias

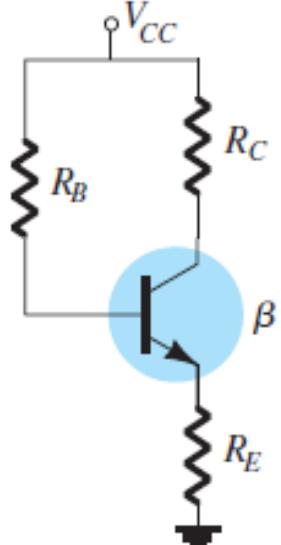


$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

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

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

Emitter-bias



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

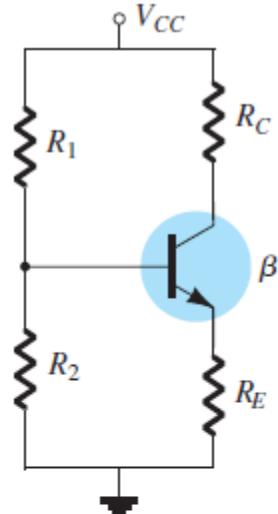
$$I_C = \beta I_B, I_E = (\beta + 1)I_B$$

$$R_i = (\beta + 1)R_E$$

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

مدارهای ترازیستوری با پاس ترازیستور: خلاصه

Voltage-divider bias



$$\text{EXACT: } R_{\text{Th}} = R_1 \parallel R_2, E_{\text{Th}} = \frac{R_2 V_{\text{CC}}}{R_1 + R_2}$$

$$I_B = \frac{E_{\text{Th}} - V_{BE}}{R_{\text{Th}} + (\beta + 1)R_E}$$

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

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

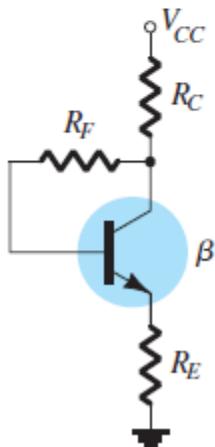
$$\text{APPROXIMATE: } \beta R_E \geq 10R_2$$

$$V_B = \frac{R_2 V_{\text{CC}}}{R_1 + R_2}, V_E = V_B - V_{BE}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E}, I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}$$

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

Collector-feedback



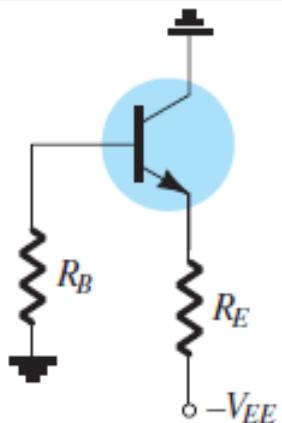
$$I_B = \frac{V_{\text{CC}} - V_{BE}}{R_F + \beta(R_C + R_E)}$$

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

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

مدارهای ترازیستوری باپاس ترازیستور: خلاصه

Emitter-follower

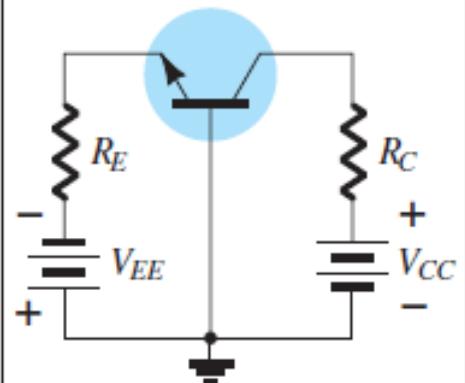


$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

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

$$V_{CE} = V_{EE} - I_E R_E$$

Common-base



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

$$I_B = \frac{I_E}{\beta + 1}, I_C = \beta I_B$$

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

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

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس فعال ترانزیستور: اتصال pnp

$$KVL: R_E I_E + V_{EB} + R_B I_B - V_{CC} = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{EB}}{R_B + R_E (\beta + 1)}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} + V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} \quad (4.84)$$

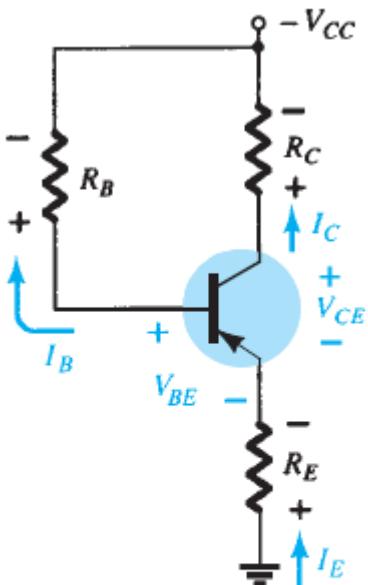


FIG. 4.85

pnp transistor in an emitter-stabilized configuration.

$$KVL: R_E I_E + V_{EC} + R_C I_C - V_{CC} = 0 \rightarrow V_{EC} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

مدارهای ترازیستوری و تقویت کننده‌های ترازیستوری با پاس ترازیستور در ناحیه فعال: اتصال pnp: مثال

EXAMPLE 4.31 Determine V_{CE} for the voltage-divider bias configuration of Fig. 4.86.

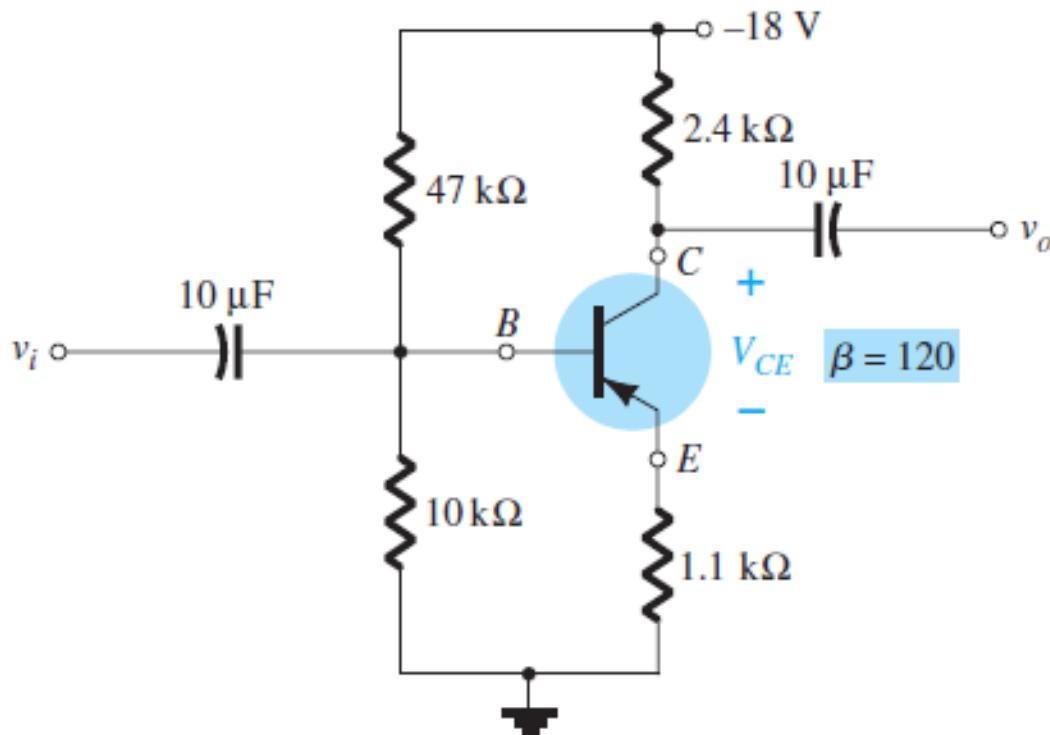


FIG. 4.86
pnp transistor in a voltage-divider bias configuration.

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در ناحیه فعال: اتصال pnp؛ ادامه مثال

$$V_B = \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{(10 \text{ k}\Omega)(-18 \text{ V})}{47 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = -3.16 \text{ V}$$

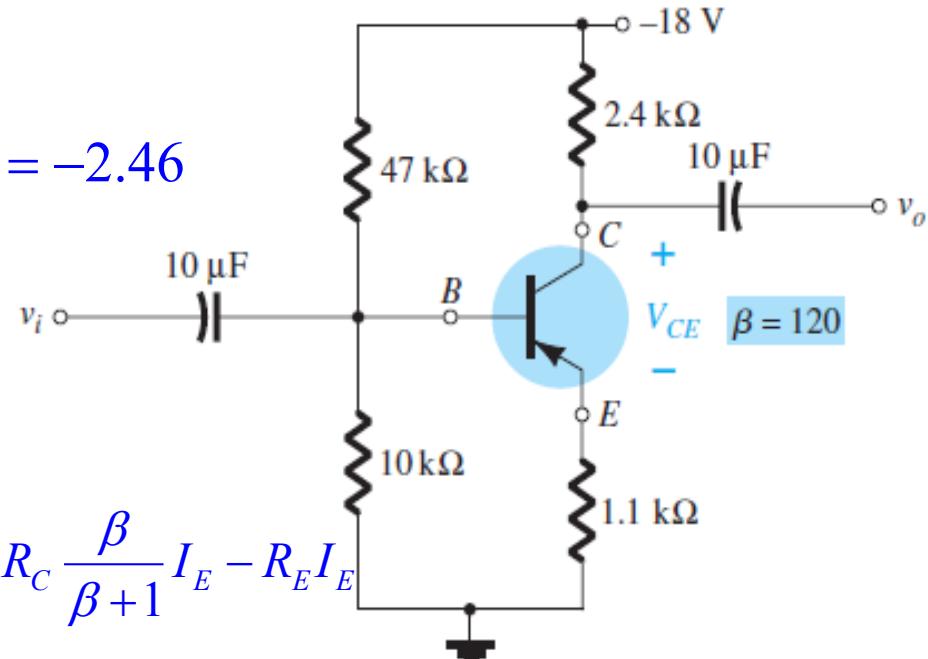
$$V_E - V_{EB} = V_B \rightarrow V_E = V_{EB} + V_B = 0.7 - 3.16 = -2.46$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.46 \text{ V}}{1.1 \text{ k}\Omega} = 2.24 \text{ mA}$$

$$KVL: R_E I_E + V_{EC} + R_C I_C - V_{CC} = 0 \rightarrow V_{EC} = V_{CC} - R_C \frac{\beta}{\beta+1} I_E - R_E I_E$$

$$V_{EC} = 18 - 2.4K \times \frac{120}{121} \times 2.24mA - 1.1K \times 2.24mA = 10.2 > 0$$

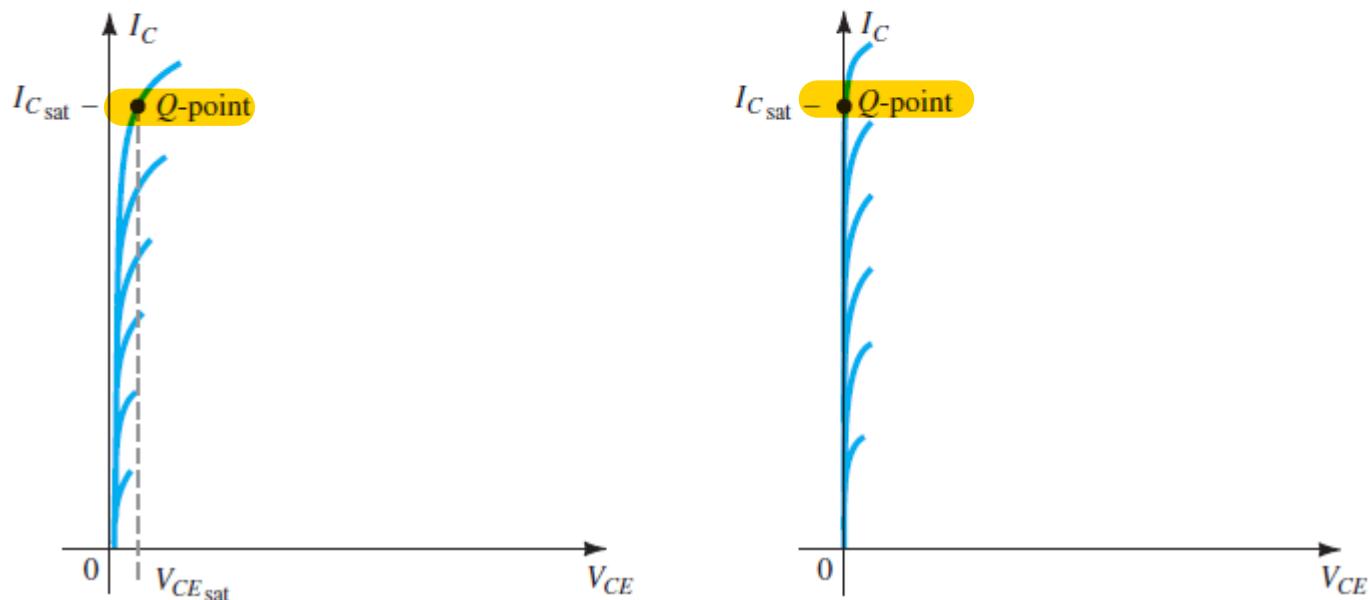
$$V_C = -18 + 2.4K \times \frac{120}{121} \times 2.24mA = -12.66 \rightarrow V_{CB} = V_C - V_B = -12.66 - (-3.16) = -9.5 < 0$$



مدارهای ترانزیستوری با پاس ترانزیستور: ناحیه اشباع

The term *saturation* is applied to any system where levels have reached their maximum values. A saturated sponge is one that cannot hold another drop of water. For a transistor operating in the saturation region, the current is a maximum value *for the particular design*. Change the design and the corresponding saturation level may rise or drop. Of course, the highest saturation level is defined by the maximum collector current as provided by the specification sheet.

Saturation conditions are normally avoided because the base–collector junction is no longer reverse-biased and the output amplified signal will be distorted. An operating point in the saturation region is depicted in Fig. 4.8a. Note that it is in a region where the characteristic curves join and the collector-to-emitter voltage is at or below $V_{CE_{sat}}$. In addition, the collector current is relatively high on the characteristics.



مدارهای ترانزیستوری با پاس ترانزیستور: فاصله اشباع: محاسبه جریان کالکتور

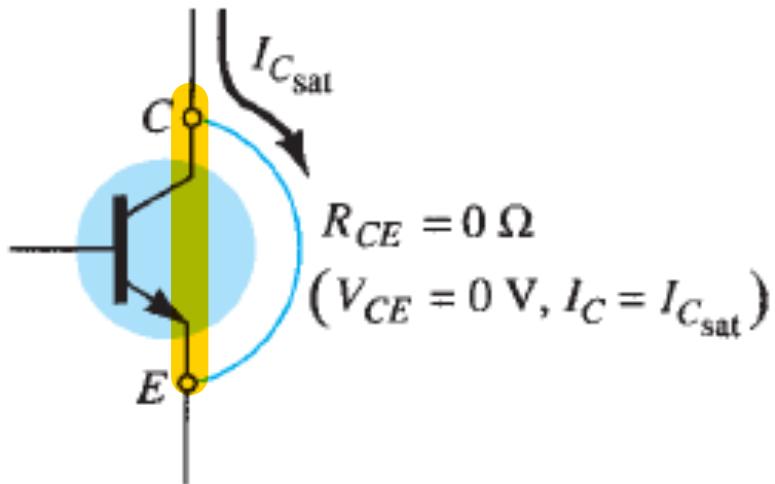


FIG. 4.9
Determining $I_{C_{sat}}$.

$$R_{CE} = \frac{V_{CE}}{I_C} = \frac{0 \text{ V}}{I_{C_{sat}}} = 0 \Omega$$

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

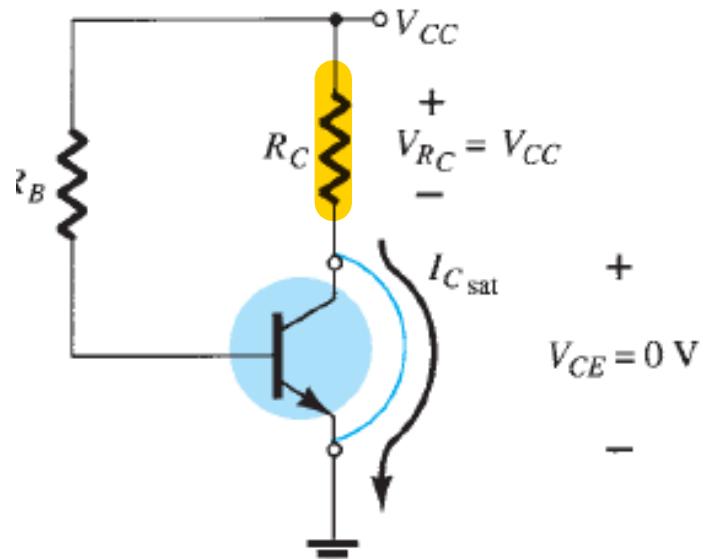
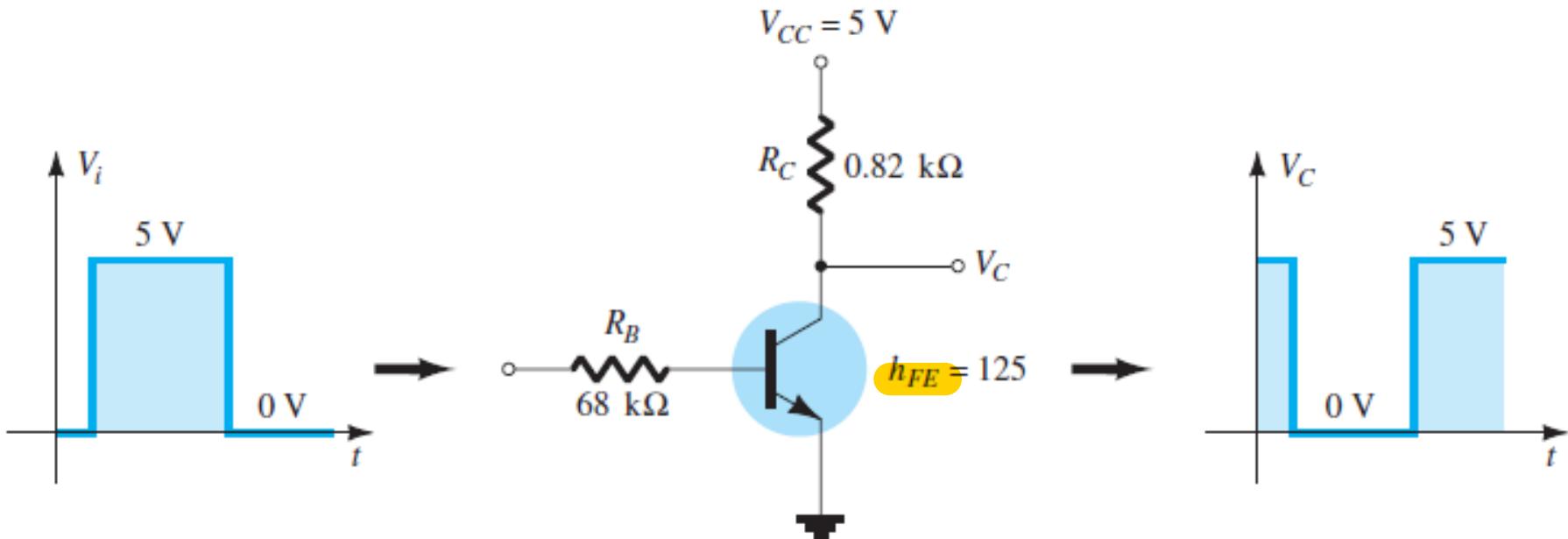


FIG. 4.10
Determining $I_{C_{sat}}$ for the fixed-bias configuration.

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در فاصله اشباع (کاربرد ترانزیستور به عنوان سوئیچ)



$$V_i = 5 \rightarrow I_B = \frac{V_i - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0.7}{68K} = 0.063mA \rightarrow I_C = \beta I_B = 125 \times 0.063mA = 7.87mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 5 - 0.82K \times 7.87mA = -1.45 < 0$$

$$V_{CB} = V_C - V_B = (V_{CC} - R_C I_C) - V_{BE} = 5 - 0.82K \times 7.87mA - 0.7 = -2.15 < 0$$

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در ناحیه اشباع (کاربرد ترانزیستور به عنوان سوئیچ)

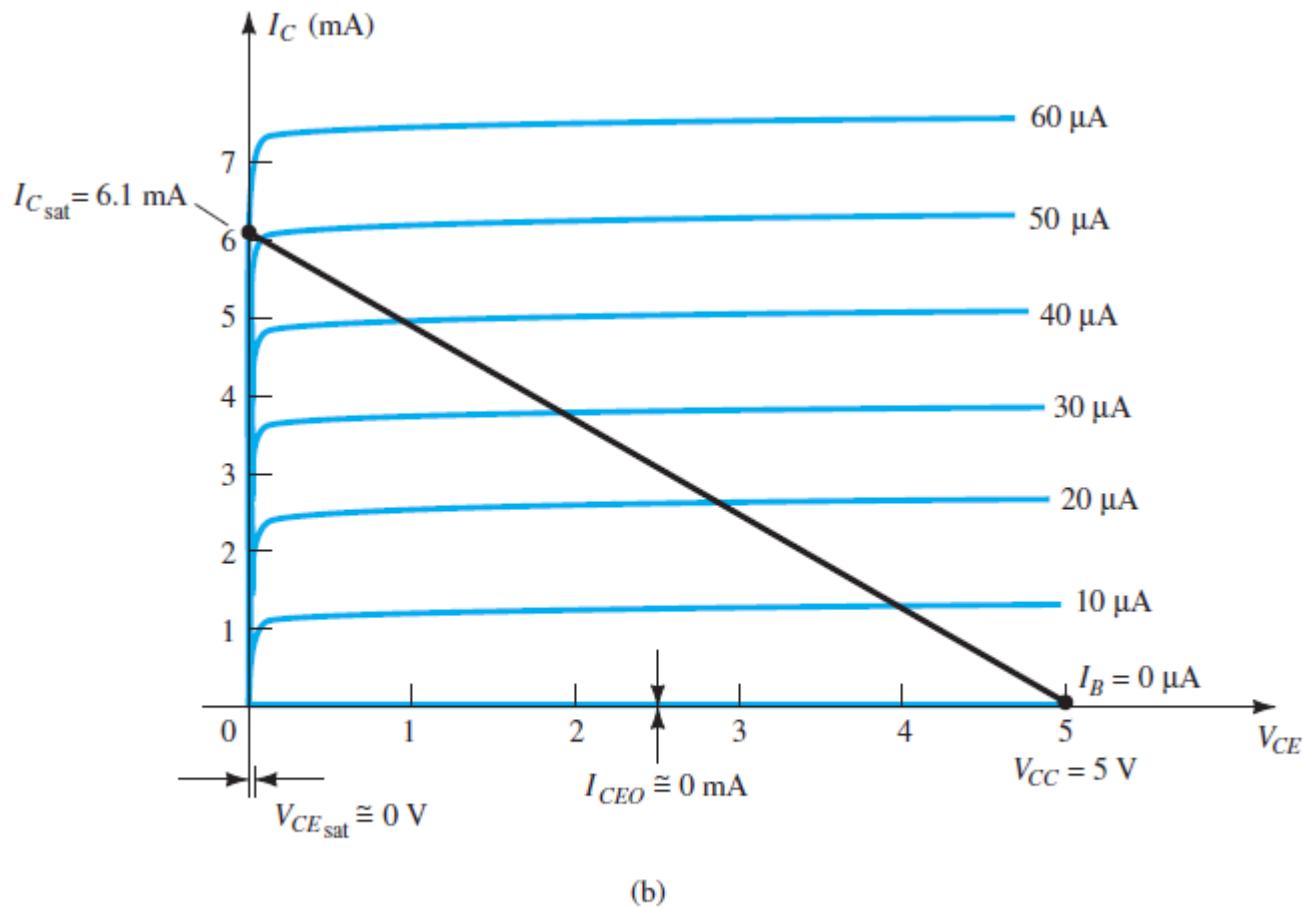


FIG. 4.87
Transistor inverter.

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در ناحیه اشباع (کاربرد ترانزیستور به عنوان سوئیچ)

for the collector current for the circuit of Fig. 4.87a is defined by

$$I_{C_{\text{sat}}} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (4.86)$$

The level of I_B in the active region just before saturation results can be approximated by the following equation:

$$I_{B_{\text{max}}} \approx \frac{I_{C_{\text{sat}}}}{\beta_{dc}}$$

For the saturation level we must therefore ensure that the following condition is satisfied:

$$I_B > \frac{I_{C_{\text{sat}}}}{\beta_{dc}} \quad (4.87)$$

For the network of Fig. 4.87b, when $V_i = 5$ V, the resulting level of I_B is

$$I_B = \frac{V_i - 0.7 \text{ V}}{R_B} = \frac{5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{68 \text{ k}\Omega} = 63 \mu\text{A}$$

and

$$I_{C_{\text{sat}}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{5 \text{ V}}{0.82 \text{ k}\Omega} \approx 6.1 \text{ mA}$$

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در ناحیه اشباع و قطع (کاربرد ترانزیستور به عنوان سوئیچ)

Testing Eq. (4.87) gives

$$I_B = 63 \mu\text{A} > \frac{I_{C_{\text{sat}}}}{\beta_{dc}} = \frac{6.1 \text{ mA}}{125} = 48.8 \mu\text{A}$$

which is satisfied. Certainly, any level of I_B greater than $60 \mu\text{A}$ will pass through a Q -point on the load line that is very close to the vertical axis.

For $V_i = 0 \text{ V}$, $I_B = 0 \mu\text{A}$, and because we are assuming that $I_C = I_{CEO} = 0 \text{ mA}$, the voltage drop across R_C as determined by $V_{RC} = I_C R_C = 0 \text{ V}$, resulting in $V_C = +5 \text{ V}$ for the response indicated in Fig. 4.87a.

In addition to its contribution to computer logic, the transistor can also be employed as a switch using the same extremities of the load line. At saturation, the current I_C is quite high and the voltage V_{CE} very low. The result is a resistance level between the two terminals determined by

$$R_{\text{sat}} = \frac{V_{CE_{\text{sat}}}}{I_{C_{\text{sat}}}}$$

and is depicted in Fig. 4.88.

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور در ناحیه اشباع (کاربرد ترانزیستور به عنوان سوئیچ)

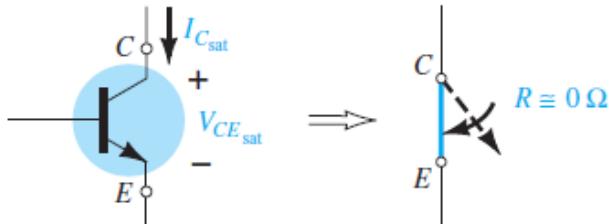


FIG. 4.88

Saturation conditions and the resulting terminal resistance.

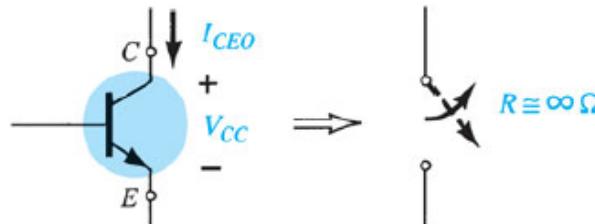


FIG. 4.89

Cutoff conditions and the resulting terminal resistance.

Using a typical average value of $V_{CE_{sat}}$ such as 0.15 V gives

$$R_{\text{sat}} = \frac{V_{CE_{\text{sat}}}}{I_{C_{\text{sat}}}} = \frac{0.15 \text{ V}}{6.1 \text{ mA}} = 24.6 \Omega$$

which is a relatively low value and can be considered as approximately 0 Ω when placed in series with resistors in the kilohm range.

For $V_i = 0 \text{ V}$, as shown in Fig. 4.89, the cutoff condition results in a resistance level of the following magnitude:

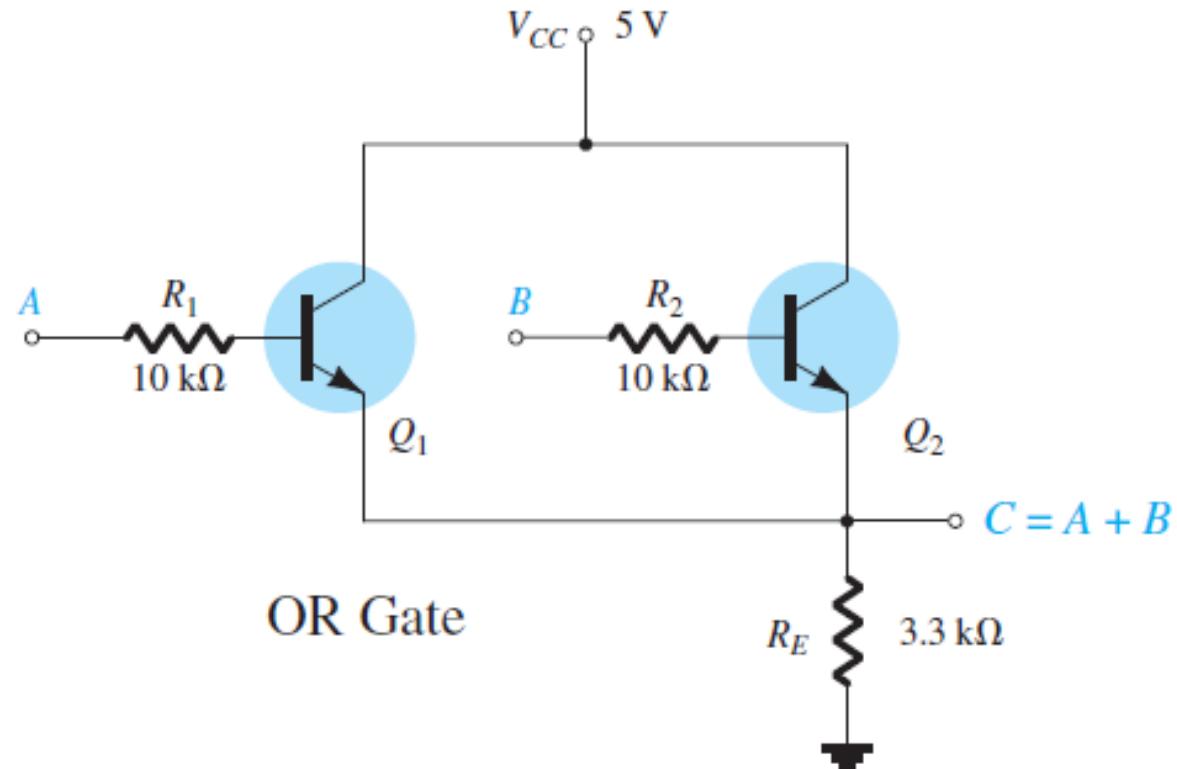
$$R_{\text{cutoff}} = \frac{V_{CC}}{I_{CEO}} = \frac{5 \text{ V}}{0 \text{ mA}} = \infty \Omega$$

resulting in the open-circuit equivalence. For a typical value of $I_{CEO} = 10 \mu\text{A}$, the magnitude of the cutoff resistance is

$$R_{\text{cutoff}} = \frac{V_{CC}}{I_{CEO}} = \frac{5 \text{ V}}{10 \mu\text{A}} = 500 \text{ k}\Omega$$

which certainly approaches an open-circuit equivalence for many situations.

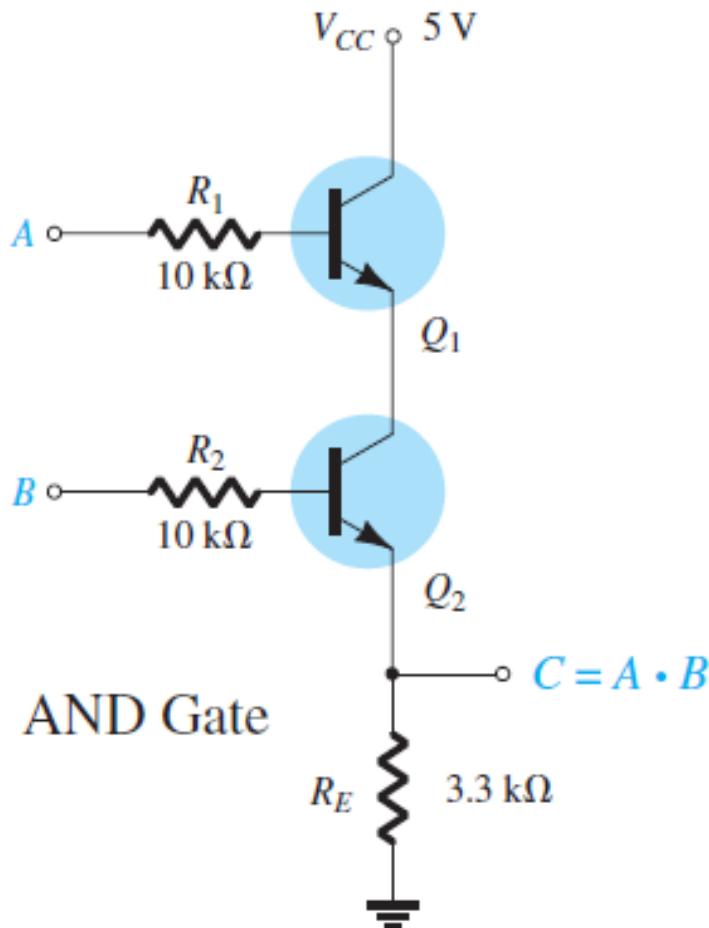
مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری کاربرد ترانزیستور به عنوان گیت منطقی OR



A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

1 = high
0 = low

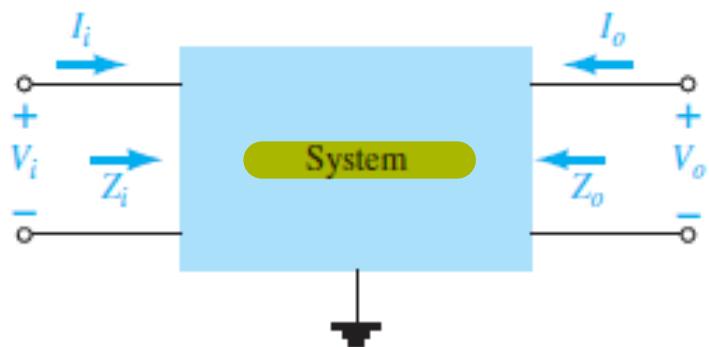
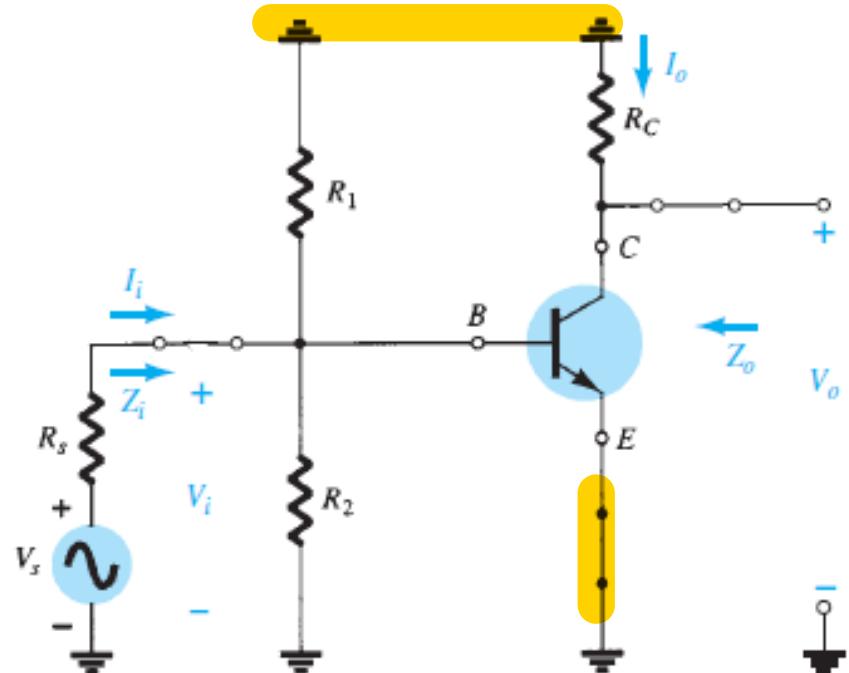
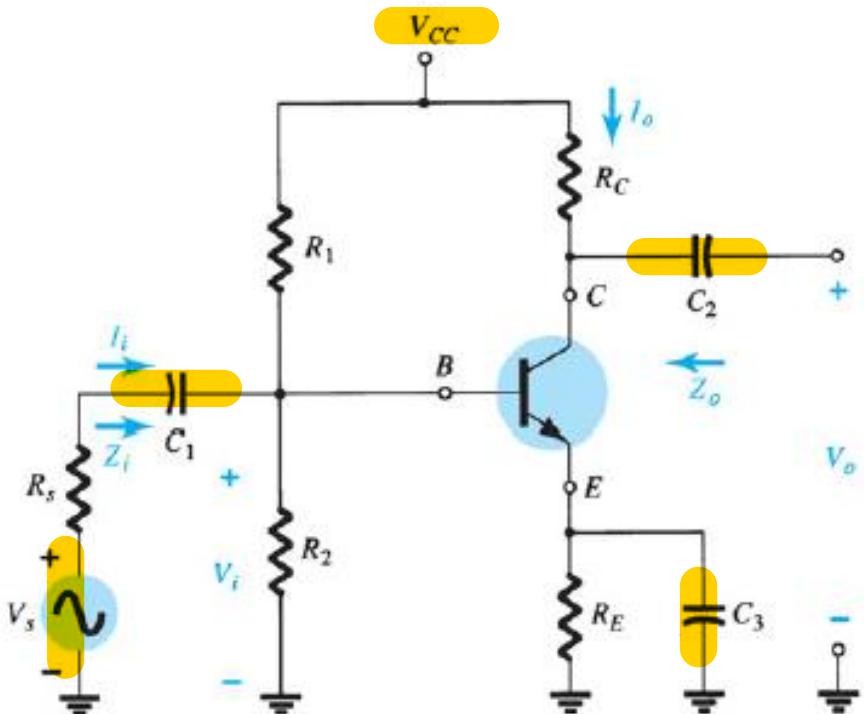
مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری کاربرد ترانزیستور به عنوان گیت منطقی AND



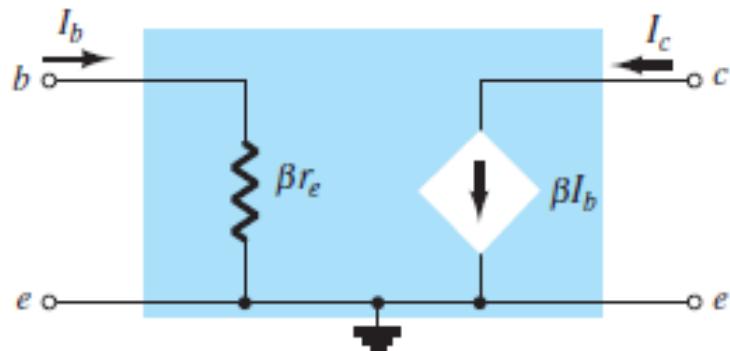
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

تقویت کننده‌های ترانزیستوری: تقویت کننده **امپیتر مشترک**

مدار معادل ac (سینکال کوچک): ترانزیستور: اتصال منابع AC با خازن کوپلر



تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac (سیگنال کوچک) ترانزیستور: تقویت کننده امیتر مشترک



$$r_e = 26 \text{ mV}/I_E$$

FIG. 5.14
Improved BJT equivalent circuit.

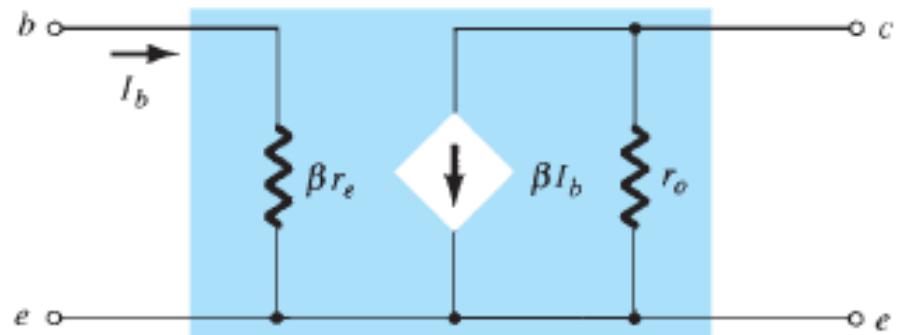


FIG. 5.16
 r_e model for the common-emitter transistor configuration including effects of r_o

تقویت کننده‌های ترازیستوری مدار معادل ac (سینکال کوچک) ترازیستور: تقویت کننده امیتر مشترک

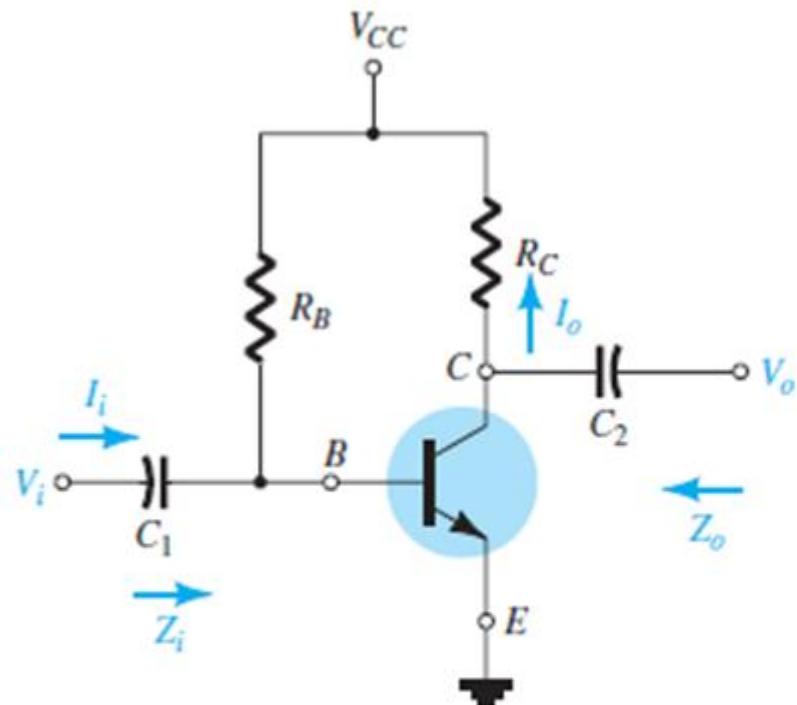


FIG. 5.20

Common-emitter fixed-bias configuration.

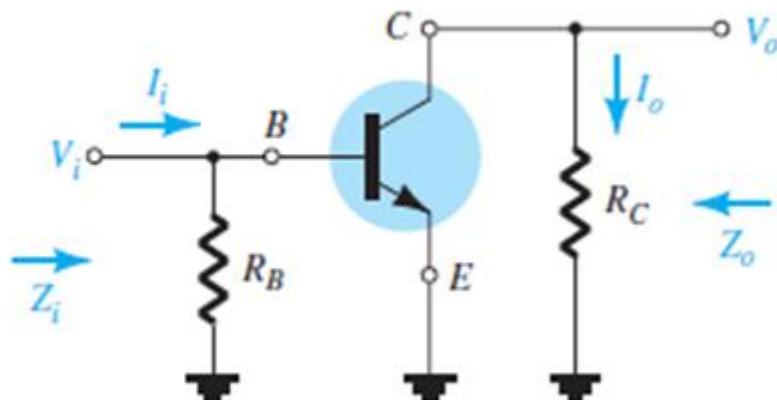


FIG. 5.21

Network of Fig. 5.20 following the removal of the effects of V_{CC} , C_1 , and C_2 .

تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac (سیگنال کوچک) ترانزیستور: تقویت کننده امیتر مشترک مقاومت ورودی

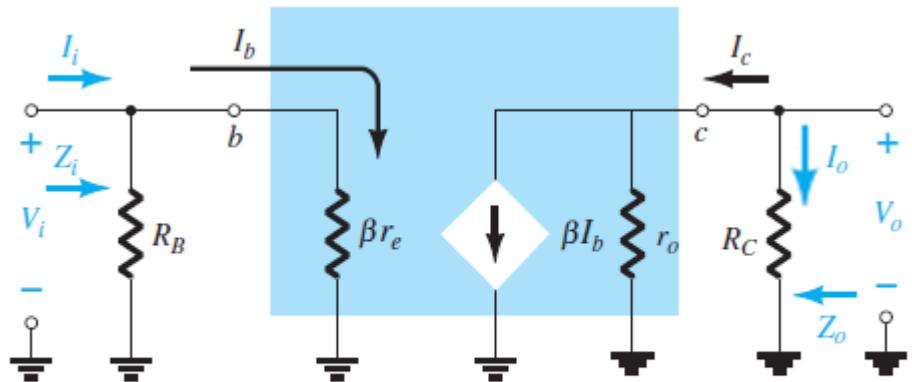


FIG. 5.22

Substituting the r_e model into the network of Fig. 5.21.

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e \quad \text{ohms}$$

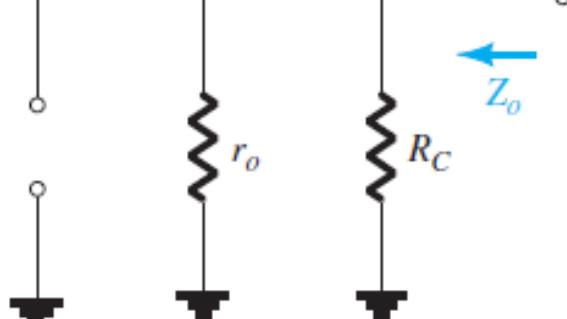


FIG. 5.23

Determining Z_o for the network of Fig. 5.22.

Z_o Recall that the output impedance of any system is defined as the impedance Z_o determined when $V_i = 0$. For Fig. 5.22, when $V_i = 0$, $I_i = I_b = 0$, resulting in an open-circuit equivalence for the current source. The result is the configuration of Fig. 5.23. We have

$$Z_o = R_C \parallel r_o \quad \text{ohms} \quad (5.7)$$

تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac (سینکال کوچک) ترانزیستور: تقویت کننده امیتر مشترک

بهره ولتاژ

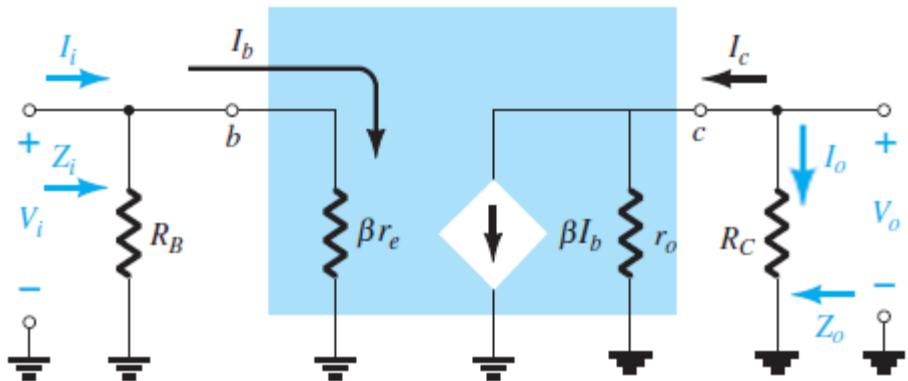


FIG. 5.22

Substituting the r_e model into the network of Fig. 5.21.

A_v The resistors r_o and R_C are in parallel, and

$$V_o = -\beta I_b (R_C \parallel r_o)$$

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel r_o)$$

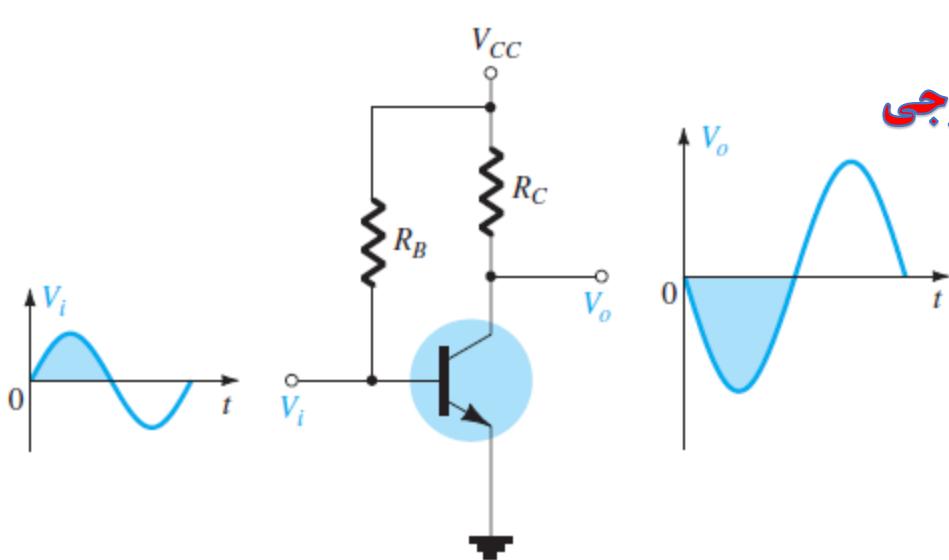
but

so that

and

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{(R_C \parallel r_o)}{r_e}$$

تغییر فاز ۱۸۰ درجه ای خروجی



تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac (سیگنال کوچک) ترانزیستور: تقویت کننده امیتر مشترک

بیره جریان

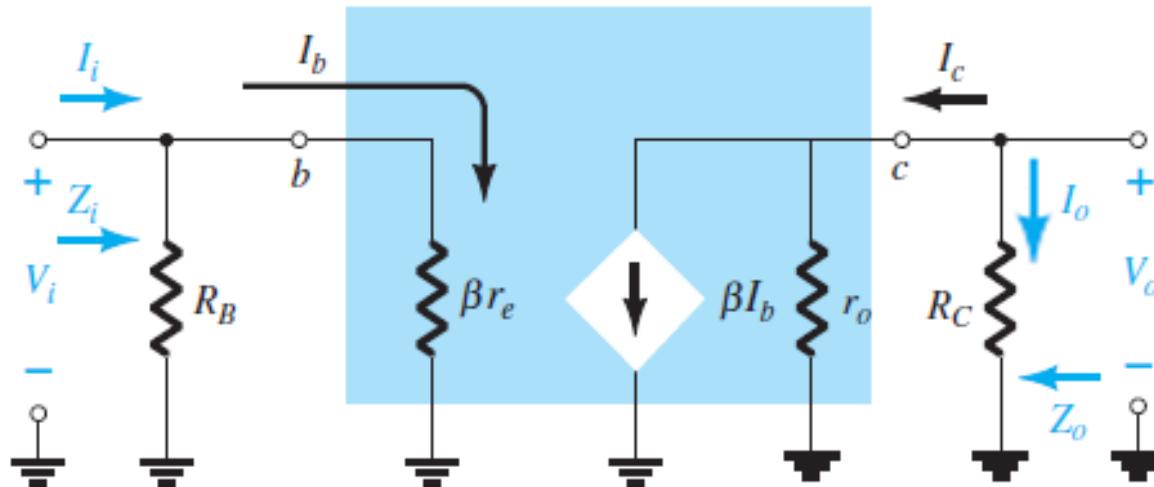


FIG. 5.22

Substituting the r_e model into the network of Fig. 5.21.

$$A_I = \frac{I_o}{I_i}, A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_c I_o}{Z_i I_i} = \frac{R_c}{Z_i} A_I \rightarrow A_I = A_V \frac{Z_i}{R_c}$$

تغییر فاز ۱۸۰ درجه‌ای خروجی

تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac ترانزیستور: تقویت کننده امیتر مشترک: مثال

EXAMPLE 5.1 For the network of Fig. 5.25:

- Determine r_e .
- Find Z_i (with $r_o = \infty \Omega$).
- Calculate Z_o (with $r_o = \infty \Omega$).
- Determine A_v (with $r_o = \infty \Omega$).
- Repeat parts (c) and (d) including $r_o = 50 \text{ k}\Omega$ in all calculations and compare results.

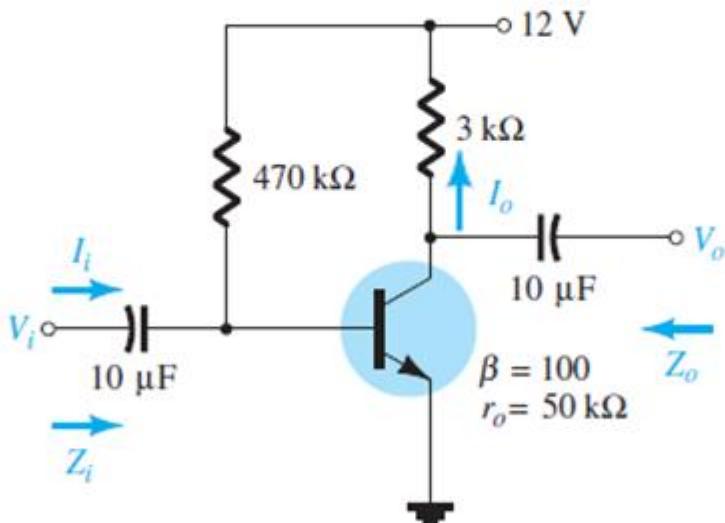


FIG. 5.25
Example 5.1.

تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac ترانزیستور: تقویت کننده امیتر مشترک: ادامه مثال

a. DC analysis:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{470 \text{ k}\Omega} = 24.04 \mu\text{A}$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = (101)(24.04 \mu\text{A}) = 2.428 \text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{2.428 \text{ mA}} = 10.71 \Omega$$

b. $\beta r_e = (100)(10.71 \Omega) = 1.071 \text{ k}\Omega$

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e = 470 \text{ k}\Omega \parallel 1.071 \text{ k}\Omega = 1.07 \text{ k}\Omega$$

c. $Z_o = R_C = 3 \text{ k}\Omega$

d. $A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{3 \text{ k}\Omega}{10.71 \Omega} = -280.11$

e. $Z_o = r_o \parallel R_C = 50 \text{ k}\Omega \parallel 3 \text{ k}\Omega = 2.83 \text{ k}\Omega$ vs. $3 \text{ k}\Omega$

$$A_v = -\frac{r_o \parallel R_C}{r_e} = \frac{2.83 \text{ k}\Omega}{10.71 \Omega} = -264.24 \text{ vs. } -280.11$$

$$A_I = A_V \frac{Z_i}{R_c} = -280.11 \times \frac{1.07K}{3K} = -99.9$$

تقویت کننده‌های ترازیستوری مدار معادل ac ترازیستور: تقویت کننده امیتر مشترک در حالت مقسم ولتاژ

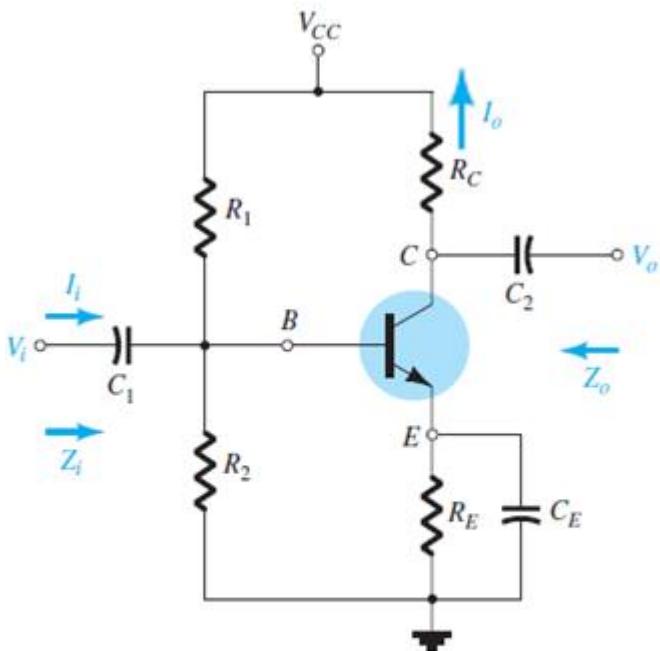


FIG. 5.26
Voltage-divider bias configuration.

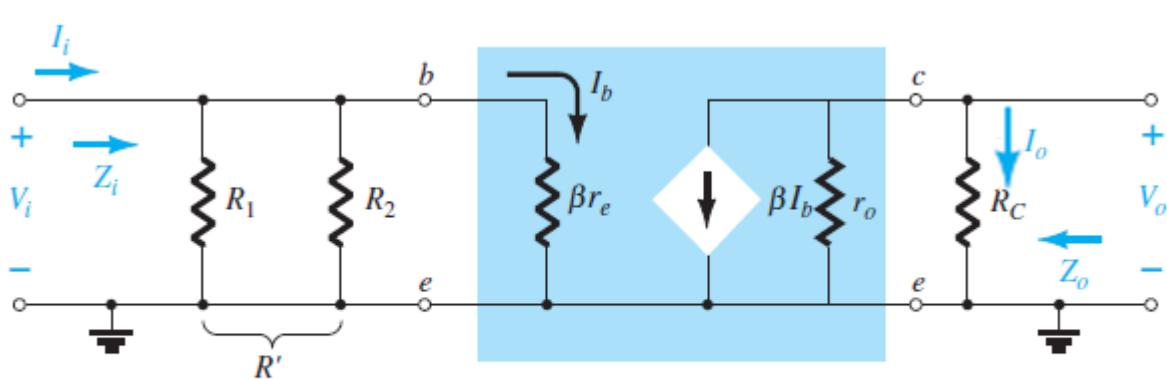
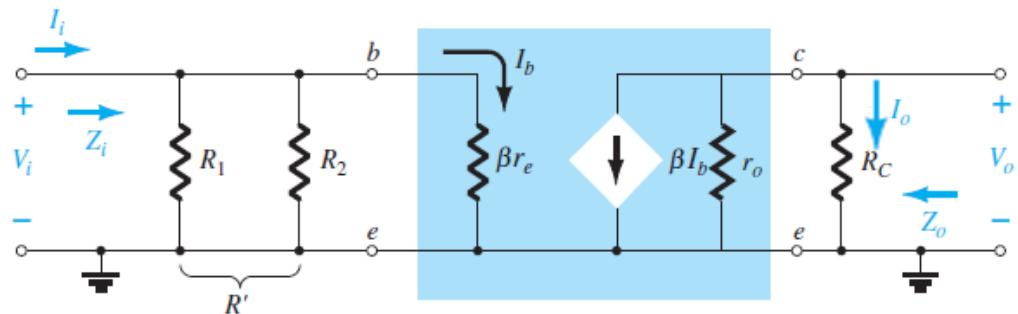


FIG. 5.27
Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.26.

تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac (سینکال کوچک) ترانزیستور: تقویت کننده امیتر مشترک

مقاومت ورودی



Z_i From Fig. 5.27

$$Z_i = R' \parallel \beta r_e$$

مقاومت خروجی

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.26.

Z_o From Fig. 5.27 with V_i set to 0 V, resulting in $I_b = 0 \mu\text{A}$ and $\beta I_b = 0 \text{ mA}$,

$$Z_o = R_C \parallel r_o \quad (5.13)$$

If $r_o \geq 10R_C$,

$$Z_o \cong R_C \quad r_o \geq 10R_C \quad (5.14)$$

$$V_o = -(\beta I_b)(R_C \parallel r_o)$$

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \parallel r_o)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C \parallel r_o}{r_e}$$

تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac (سیگنال کوچک) ترانزیستور: تقویت کننده امپیتر مشترک

بهره جریان

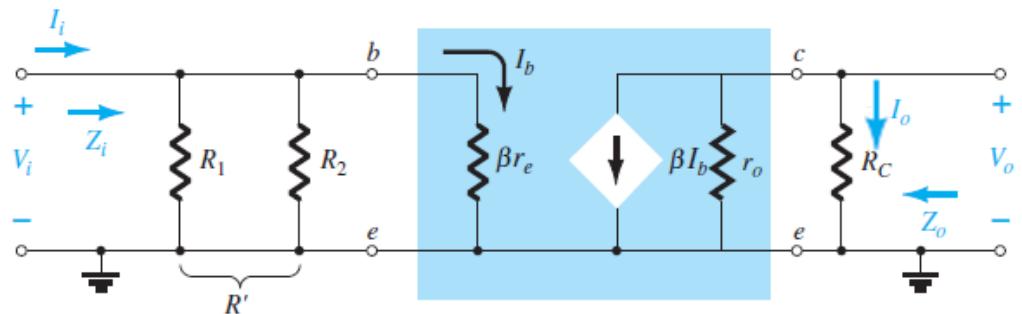


FIG. 5.27

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.26.

$$A_I = \frac{I_o}{I_i}, A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_c I_o}{Z_i I_i} = \frac{R_c}{Z_i} A_I \rightarrow A_I = A_V \frac{Z_i}{R_c}$$

تقویت کننده‌های ترازیستوری

تمرین: تقویت کننده امپتر مشترک در حالت بدون بایپاس مقاومت امپتر

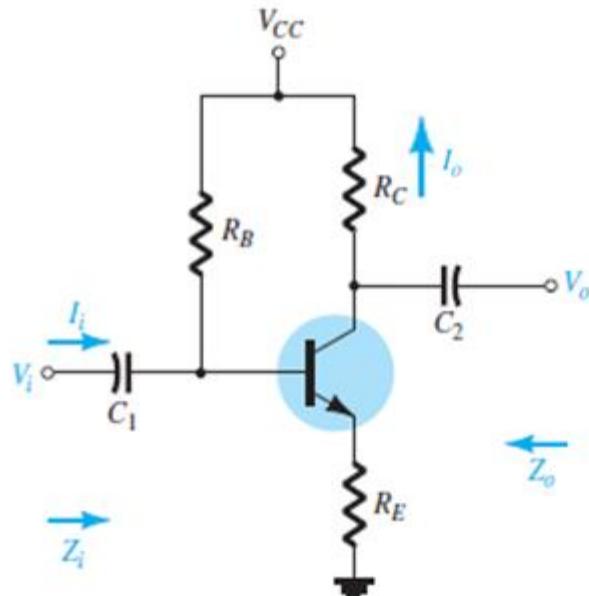


FIG. 5.29

CE emitter-bias configuration.

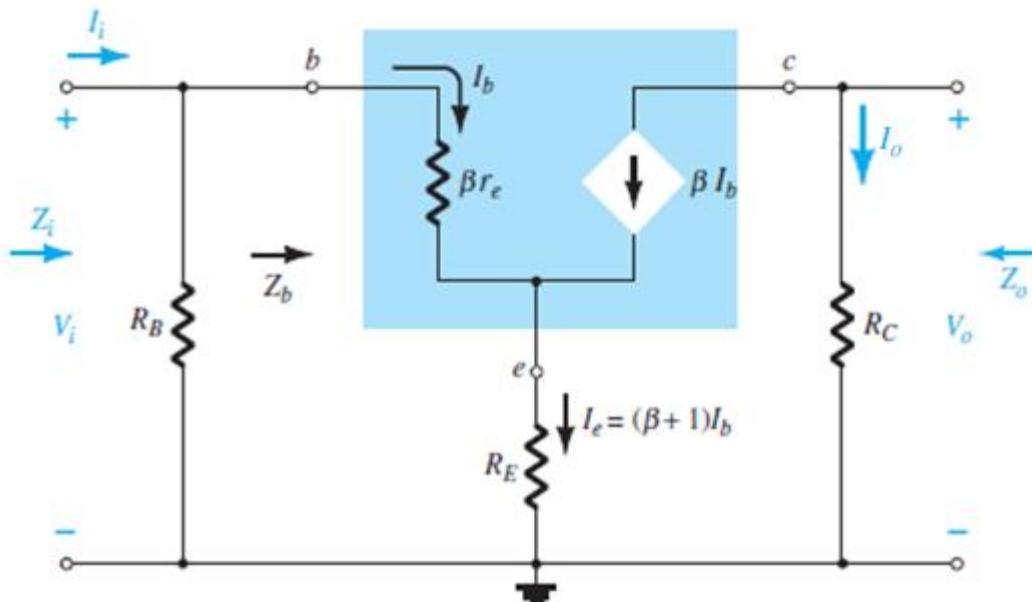


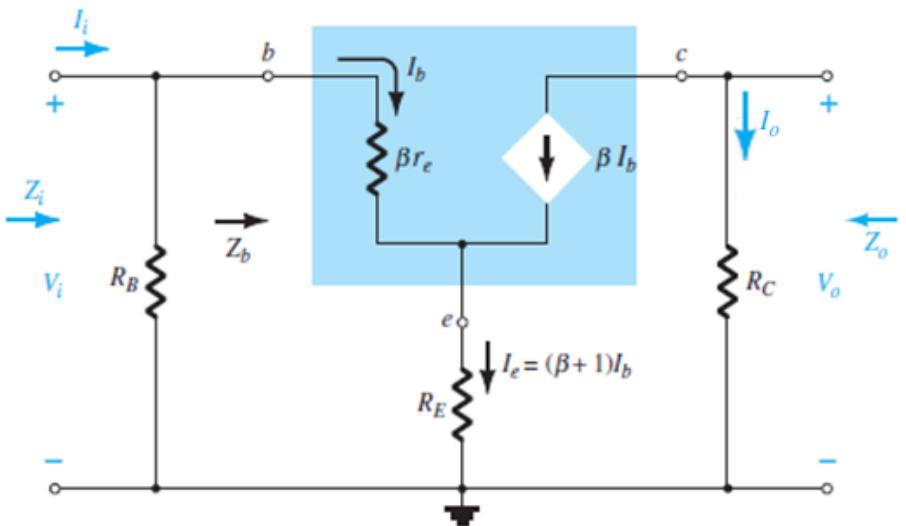
FIG. 5.30

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.29.

تقویت کننده‌های ترازیستوری

تمرین: تقویت کننده امیتر مشترک در حالت بدون بایپاس مقاومت امیتر

مقاومت ورودی



$$KVL: -V_i + \beta r_e I_b + R_E (1 + \beta) I_b = 0$$

$$Z_b = \frac{V_i}{I_b} = \beta r_e + R_E (1 + \beta), Z_i = Z_b \parallel R_B$$

$$Z_o = (\beta r_e + R_E (1 + \beta)) \parallel R_B$$

بهره ولتاژ

$$KVL: V_i = \beta r_e I_b + R_E (1 + \beta) I_b = I_b [\beta r_e + R_E (1 + \beta)]$$

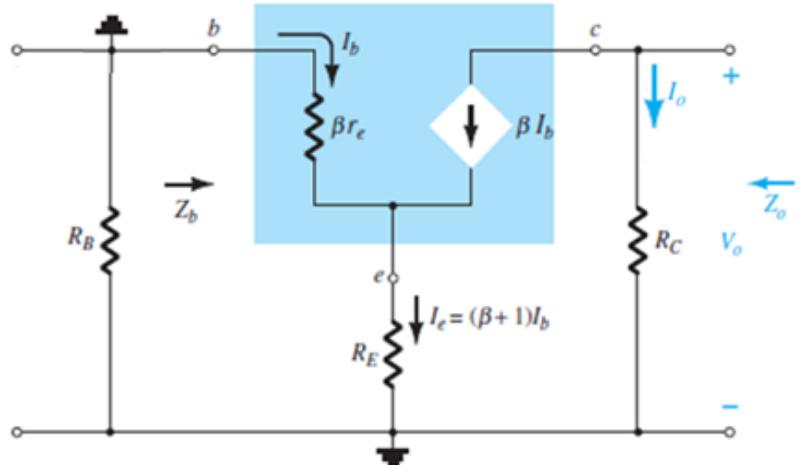
$$V_o = -R_C \beta I_b$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C \beta I_b}{I_b [\beta r_e + R_E (1 + \beta)]} = -\frac{\beta R_C}{\beta r_e + R_E (1 + \beta)}$$

تقویت کننده‌های ترازیستوری

ادامه تمرین: تقویت کنندۀ امپری مشترک در حالت بدون باایپاس مقاومت امپیر

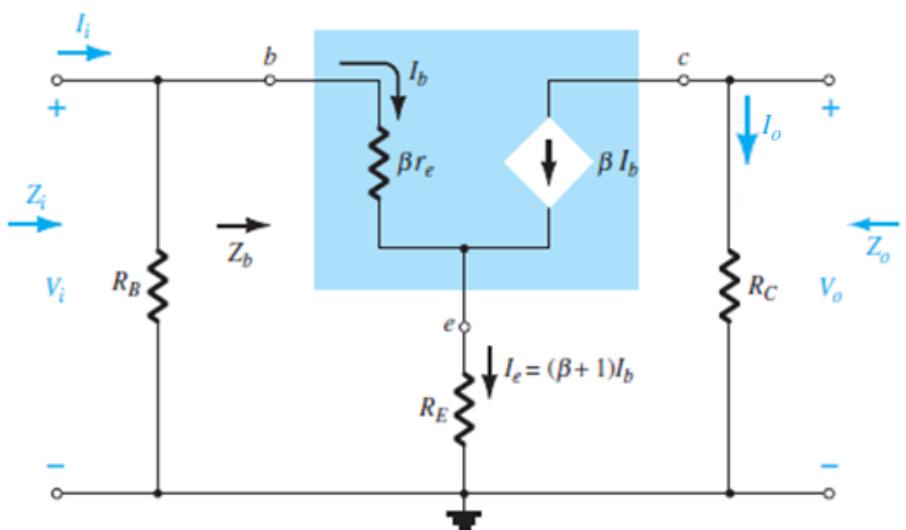
مقاومت خروجی



$$KVL: \beta r_e I_b + R_E (1 + \beta) I_b = 0 \rightarrow I_b = 0$$

$$V_o = R_C I_o \rightarrow Z_o = R_C$$

بهره جریان



$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\beta R_C}{\beta r_e + R_E (1 + \beta)}$$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_C I_o}{Z_i I_i} = \frac{R_C}{Z_i} A_I \rightarrow A_I = A_V \frac{Z_i}{R_C}$$

تقویت کننده‌های ترازیستوری مدار معادل ac ترازیستور: تقویت کننده کلکتور مشترک (امیتر فالوئر) بافر:

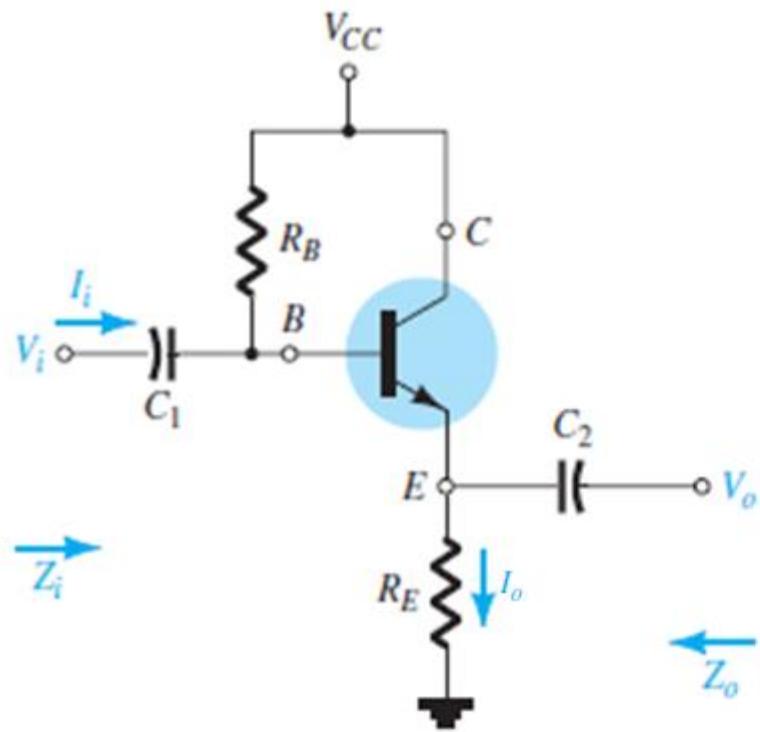


FIG. 5.36
Emitter-follower configuration.

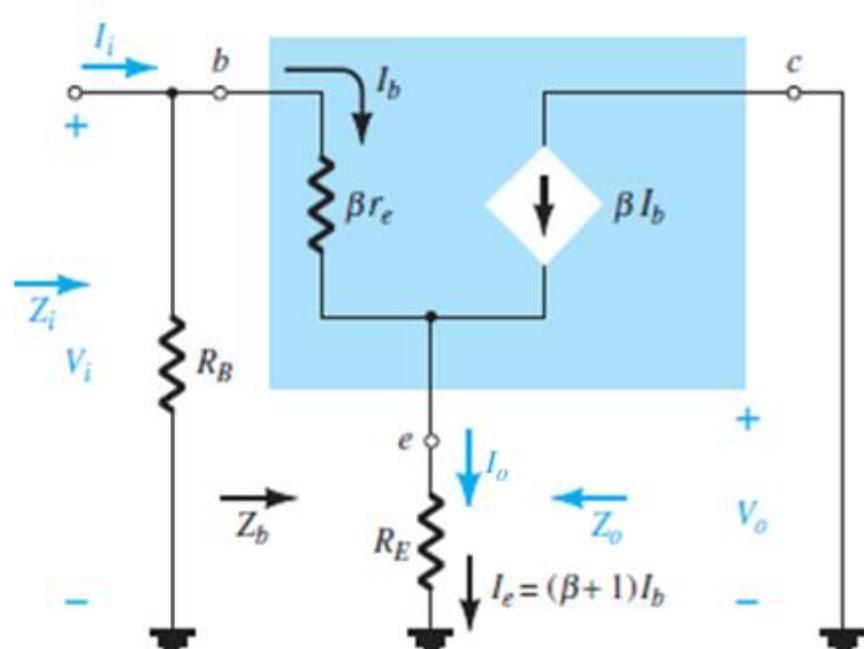


FIG. 5.37
Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.36.

تقویت کننده‌های ترانزیستوری

دانشکده برق و کامپیوتر **مدار معادل ac ترانزیستور: تقویت کننده کلکتور مشترک (امپلیفیر فالوئر):**

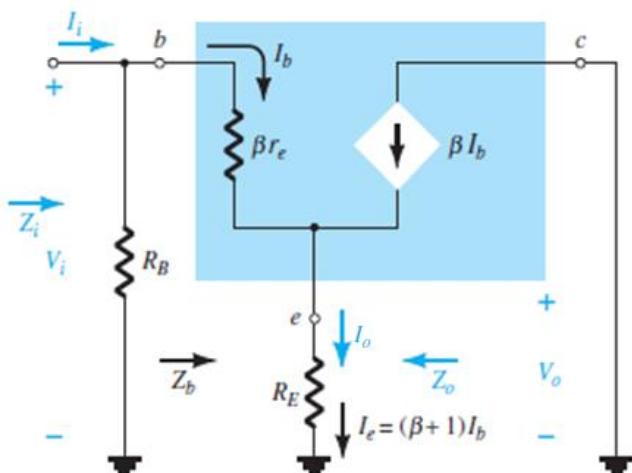


FIG. 5.37

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.36.

$$KVL: V_i = \beta r_e I_b + R_E (\beta + 1) I_b = I_b (\beta r_e + R_E (\beta + 1))$$

$$Z_b = \frac{V_i}{I_b} = \beta r_e + R_E (\beta + 1)$$

$$Z_i = Z_b \| R_B$$

$$Z_i = R_B \| Z_b$$

$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1) R_E$$

مقاومت ورودی

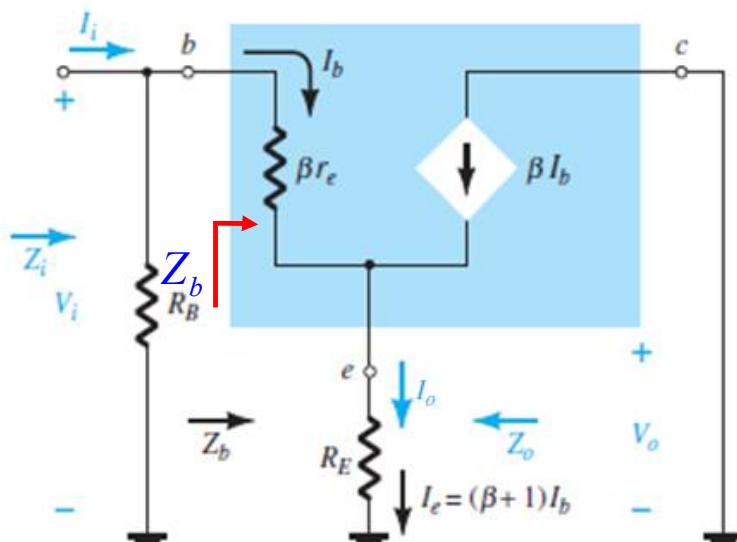


FIG. 5.37

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.36.

تقویت کننده‌های ترانزیستوری

دانشکده برق و کامپیوتر مدار معادل ac ترانزیستور: **تقویت کننده کلکتور مشترک (امپلیفیر فالوئر):**

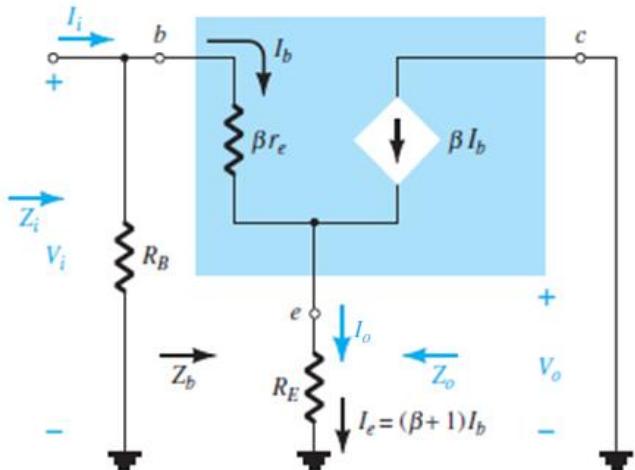
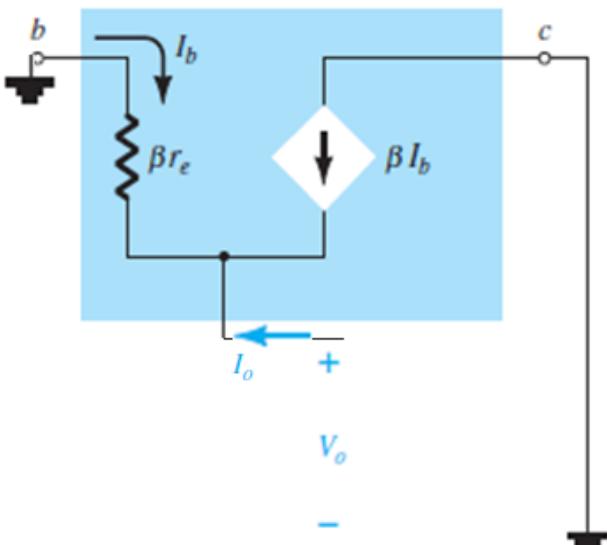


FIG. 5.37

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.36.



مقاومت خروجی

$$KCL : I_o + I_b (\beta + 1) = 0 \rightarrow I_b = -\frac{I_o}{\beta + 1}$$

$$KVL : -V_o - \beta r_e I_b = 0 \rightarrow V_o = -\beta r_e I_b = -\beta r_e \times -\frac{I_o}{\beta + 1} = \frac{\beta}{\beta + 1} r_e I_o \rightarrow \frac{V_o}{I_o} = \frac{\beta}{\beta + 1} r_e$$

$$Z_o = R_o \left\| R_E = \frac{\beta}{\beta + 1} r_e \right\| R_E \simeq r_e$$

تقویت کننده‌های ترانزیستوری

مدار معادل ac ترانزیستور: تقویت کننده کلکتور مشترک (امپلی فالوئر):

بهره و لذت

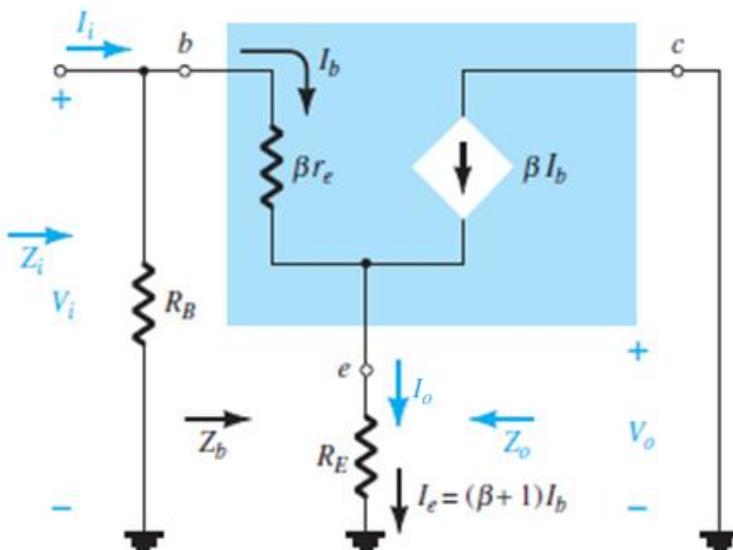


FIG. 5.37

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.36.

$$KVL : -V_i + \beta r_e I_b + R_E (\beta + 1) I_b = 0 \rightarrow V_i = I_b (\beta r_e + R_E (\beta + 1)), V_o = R_E (\beta + 1) I_b$$

$$\rightarrow A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E (\beta + 1) I_b}{I_b (\beta r_e + R_E (\beta + 1))} = \frac{R_E (\beta + 1)}{\beta r_e + R_E (\beta + 1)} \approx \frac{R_E}{r_e + R_E}$$

تقویت کننده‌های ترازیستوری

مدار معادل ac ترازیستور: تقویت کننده کلکتور مشترک (امپلی فالوئر):

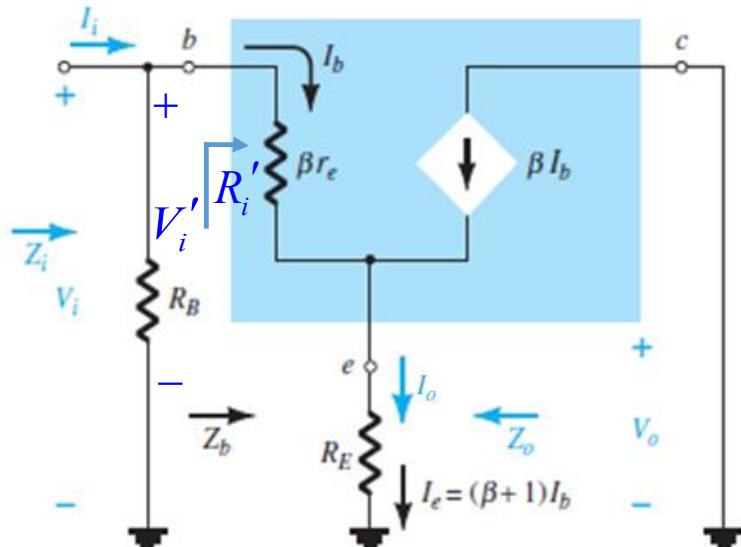


FIG. 5.37

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.36.

بهره جریان

$$KVL : V'_i = \beta r_e I_b + R_E (\beta + 1) I_b = I_b (\beta r_e + R_E (\beta + 1))$$

$$R'_i = \frac{V'_i}{I_b} = \beta r_e + R_E (\beta + 1)$$

$$A_I = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_b} \frac{I_b}{I_i} = (\beta + 1) \frac{R_B}{R_B + R'_i} = \frac{(\beta + 1) R_B}{R_B + \beta r_e + R_E (\beta + 1)}$$

تقویت کننده‌های ترازیستوری تقویت کننده کلکتور مشترک (امپیر فالوئر): مثال

EXAMPLE 5.7 For the emitter-follower network of Fig. 5.39, determine:

a. r_e .
b. Z_i .
c. Z_o .

d. A_v .

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

$$\begin{aligned} I_E &= (\beta + 1)I_B \\ &= (101)(20.42 \mu\text{A}) = 2.062 \text{ mA} \\ r_e &= \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{2.062 \text{ mA}} = 12.61 \Omega \end{aligned}$$

b. $Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E$
 $= (100)(12.61 \Omega) + (101)(3.3 \text{ k}\Omega)$
 $= 1.261 \text{ k}\Omega + 333.3 \text{ k}\Omega$
 $= 334.56 \text{ k}\Omega \cong \beta R_E$

$$\begin{aligned} Z_i &= R_B \| Z_b = 220 \text{ k}\Omega \| 334.56 \text{ k}\Omega \\ &= 132.72 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

c. $Z_o = R_E \| r_e = 3.3 \text{ k}\Omega \| 12.61 \Omega$
 $= 12.56 \Omega \cong r_e$

d. $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + r_e} = \frac{3.3 \text{ k}\Omega}{3.3 \text{ k}\Omega + 12.61 \Omega}$
 $= 0.996 \cong 1$

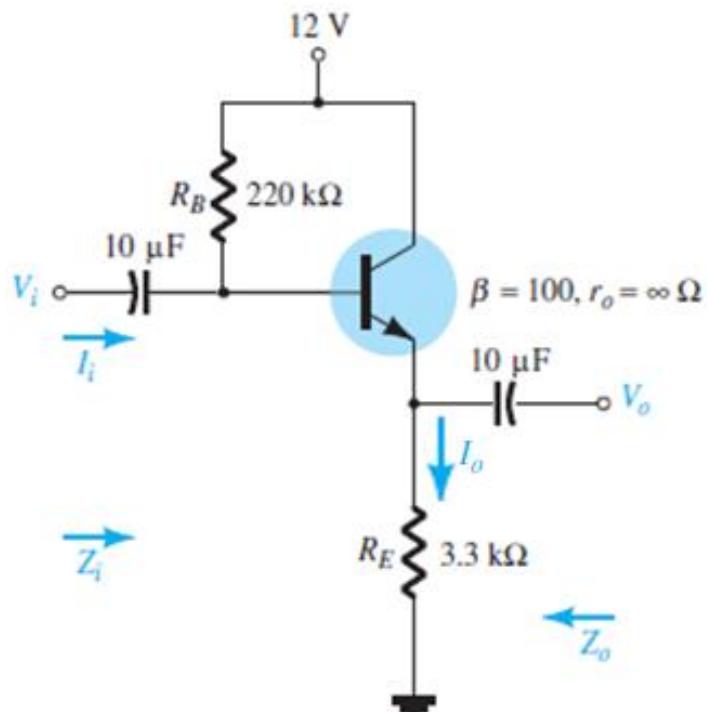


FIG. 5.39
Example 5.7.

$$A_I = \frac{(\beta + 1)R_B}{R_B + \beta r_e + R_E(\beta + 1)} = 40.06$$

تقویت کننده‌های ترانزیستوری مدار معادل ac ترانزیستور: تقویت کننده بیس مشترک:

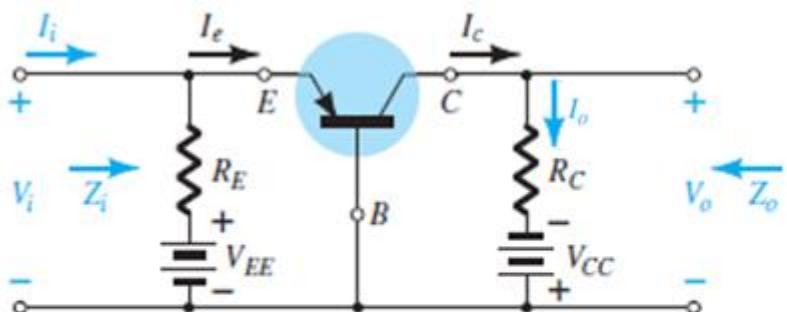


FIG. 5.42

Common-base configuration.

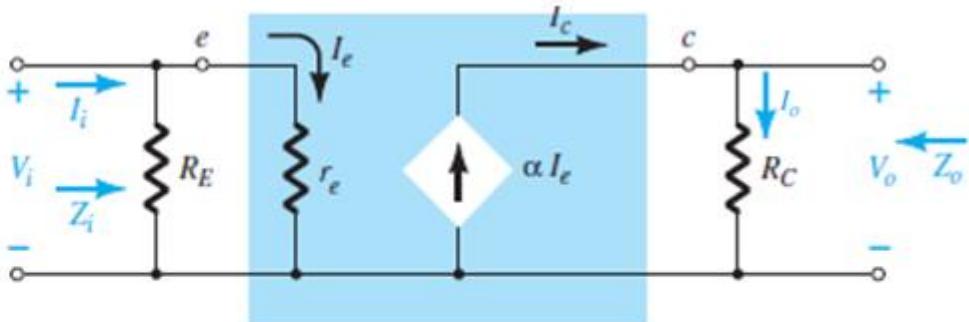


FIG. 5.43

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network of Fig. 5.44.

مقاومت ورودی

$$Z_i = R_E \parallel r_e$$

مقاومت خروجی

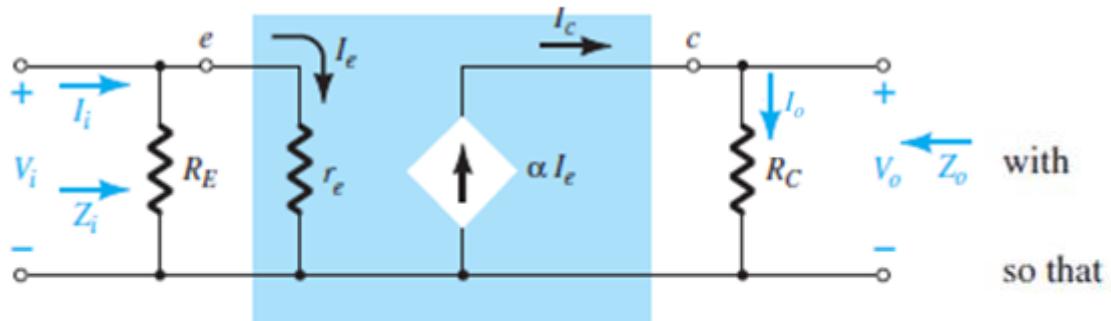
$$V_i = 0 \rightarrow I_e = 0 \rightarrow \alpha I_e = 0$$

$$Z_o = R_C$$

تقویت کنندۀ های ترازیستوری

مدار معادل ac ترازیستور: تقویت کنندۀ بیس مشترک

بهره ولتاژ



so that

$$V_o = I_o R_C = I_c R_C = \alpha I_e R_C$$

$$I_e = \frac{V_i}{r_e}$$

$$V_o = \alpha \left(\frac{V_i}{r_e} \right) R_C$$

FIG. 5.43

Substituting the r_e equivalent circuit into the ac equivalent network and of Fig. 5.44.

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\alpha R_C}{r_e} \cong \frac{R_C}{r_e}$$

بهره جریان

$$A_I = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{I_c} \frac{I_c}{I_e} \frac{I_e}{I_i} = 1 \times \alpha \times \frac{R_E}{R_E + r_e} = \frac{\alpha R_E}{R_E + r_e} = \frac{\beta + 1}{R_E + r_e} = \frac{\beta R_E}{(\beta + 1)(R_E + r_e)} \approx 1$$

تقویت کنندۀ های ترانزیستوری

مدار معادل ac ترانزیستور: تقویت کنندۀ بیس مشترک: مثال

EXAMPLE 5.8 For the network of Fig. 5.44, determine:

- a. r_e .
- b. Z_i .
- c. Z_o .
- d. A_v .
- e. A_i .

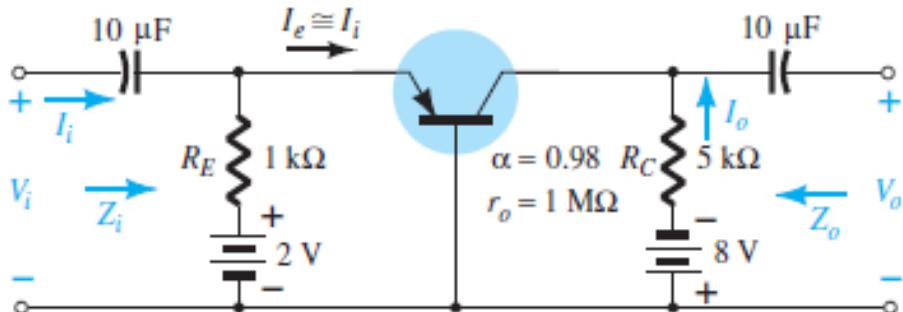


FIG. 5.44
Example 5.8.

$$a. I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{2 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = \frac{1.3 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 1.3 \text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{1.3 \text{ mA}} = 20 \Omega$$

$$b. Z_i = R_E \| r_e = 1 \text{ k}\Omega \| 20 \Omega \\ = 19.61 \Omega \cong r_e$$

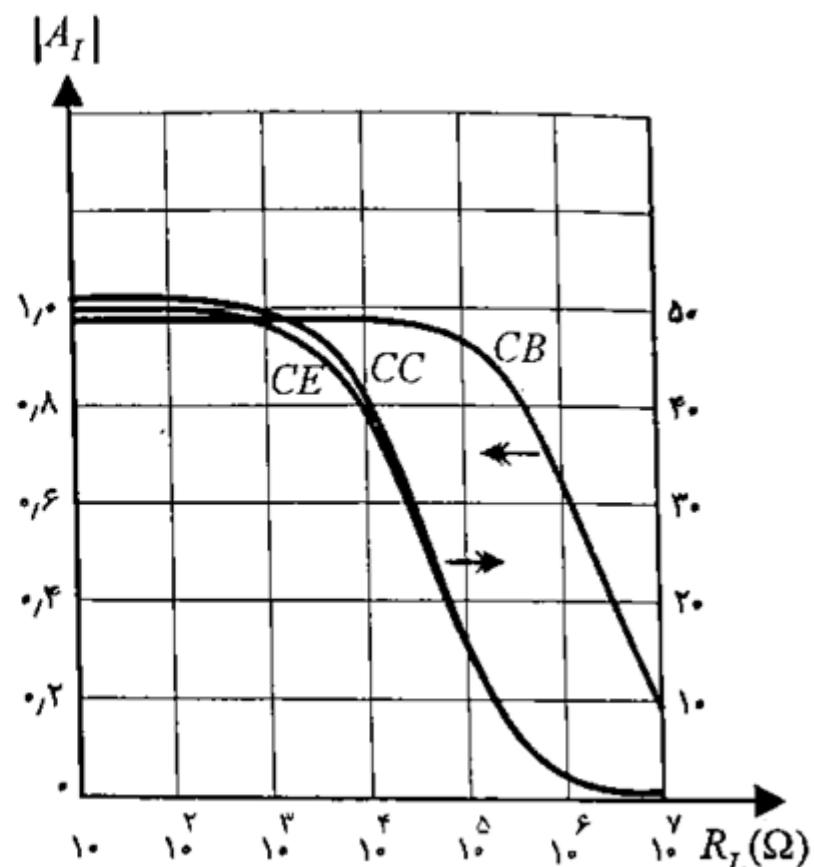
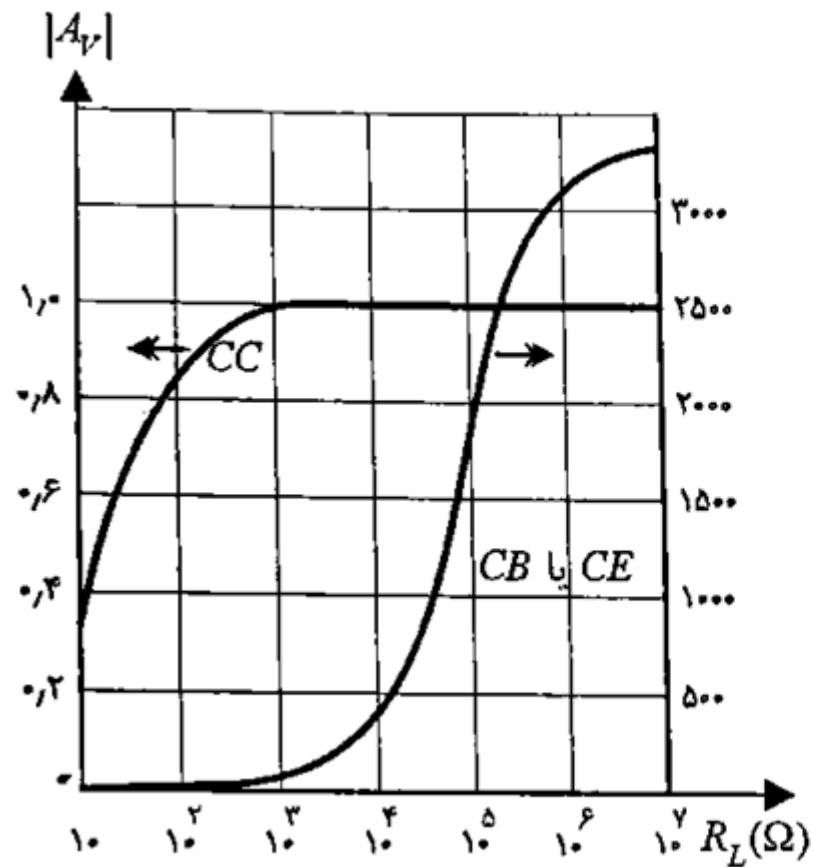
$$c. Z_o = R_C = 5 \text{ k}\Omega$$

$$d. A_v \cong \frac{R_C}{r_e} = \frac{5 \text{ k}\Omega}{20 \Omega} = 250$$

$$A_I = \frac{\alpha R_E}{R_E + r_e} = 0.9607$$

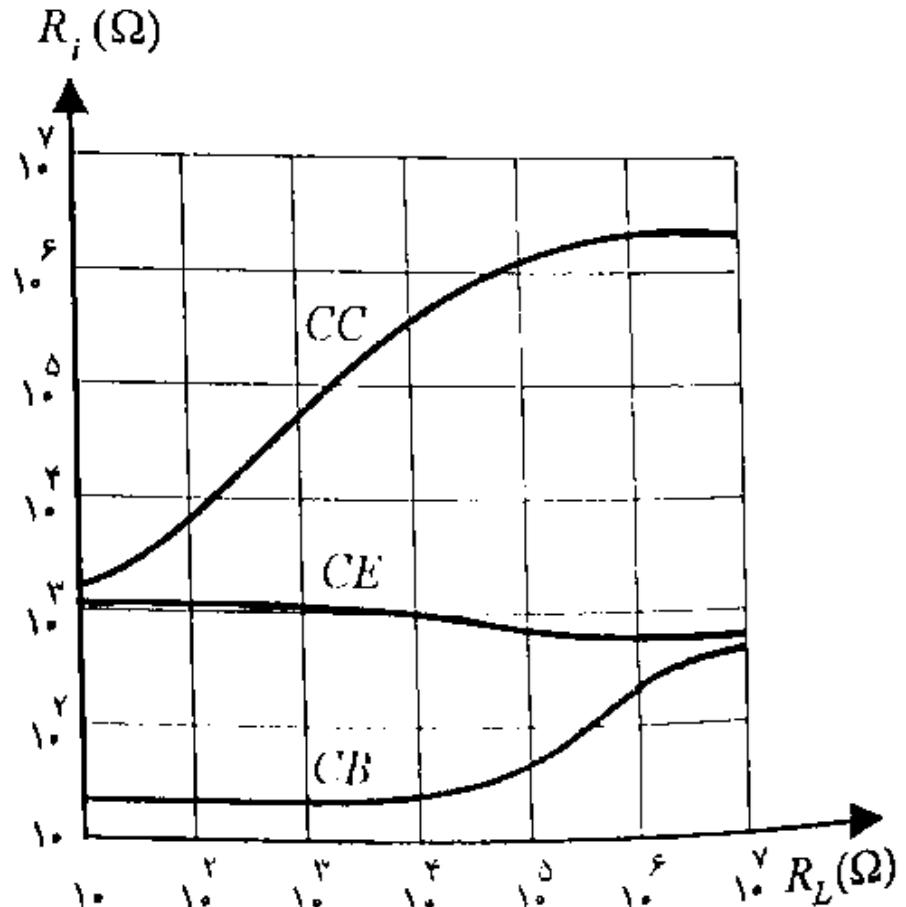
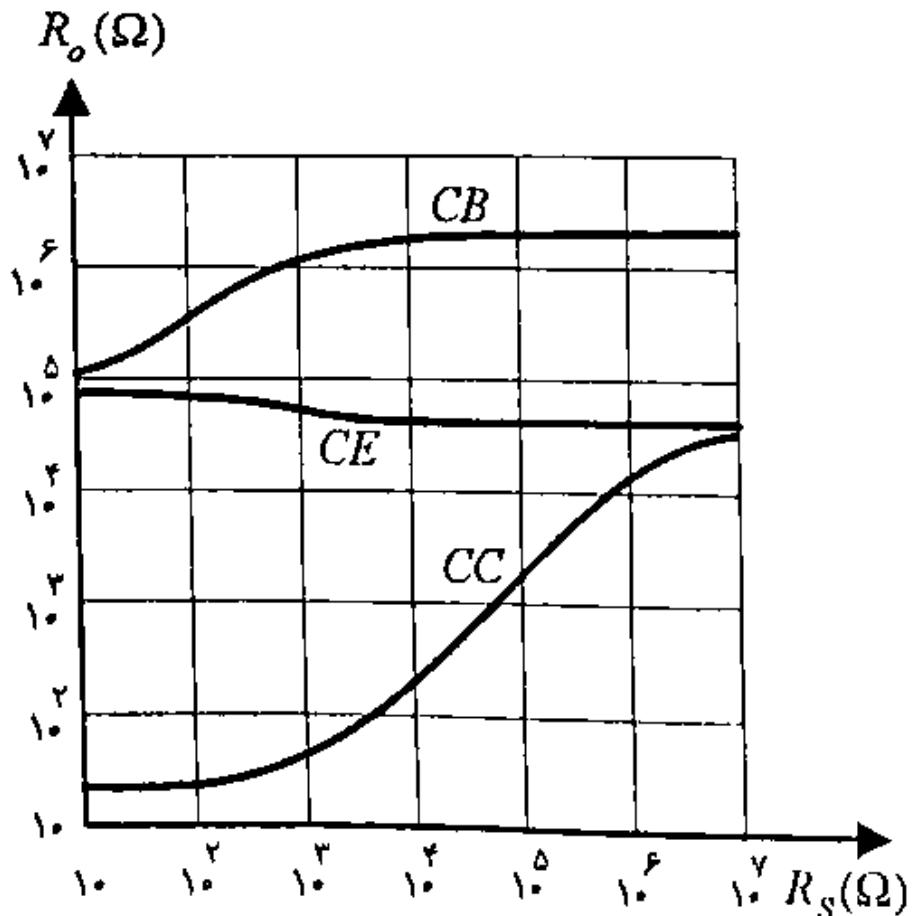
تقویت کننده‌های ترازیستوری

مقایسه بهره ولتاژ و بهره جریان تقویت کننده‌های امیتر، بیس و کلکتور مشترک



تقویت کننده‌های ترانزیستوری

مقایسه مقاومت ورودی و خروجی تقویت کننده‌های آمپلیفی، بیس و کلکتور مشترک



تقویت کننده‌های ترازیستوری تقویت کننده‌های چند طبقه

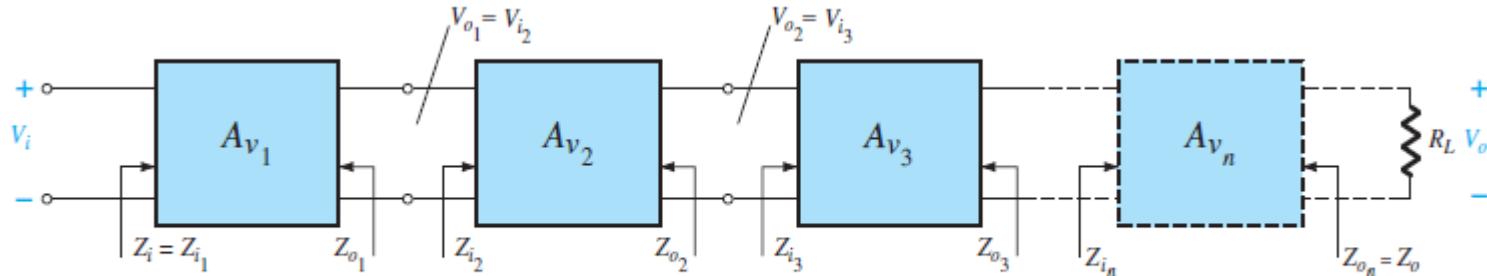
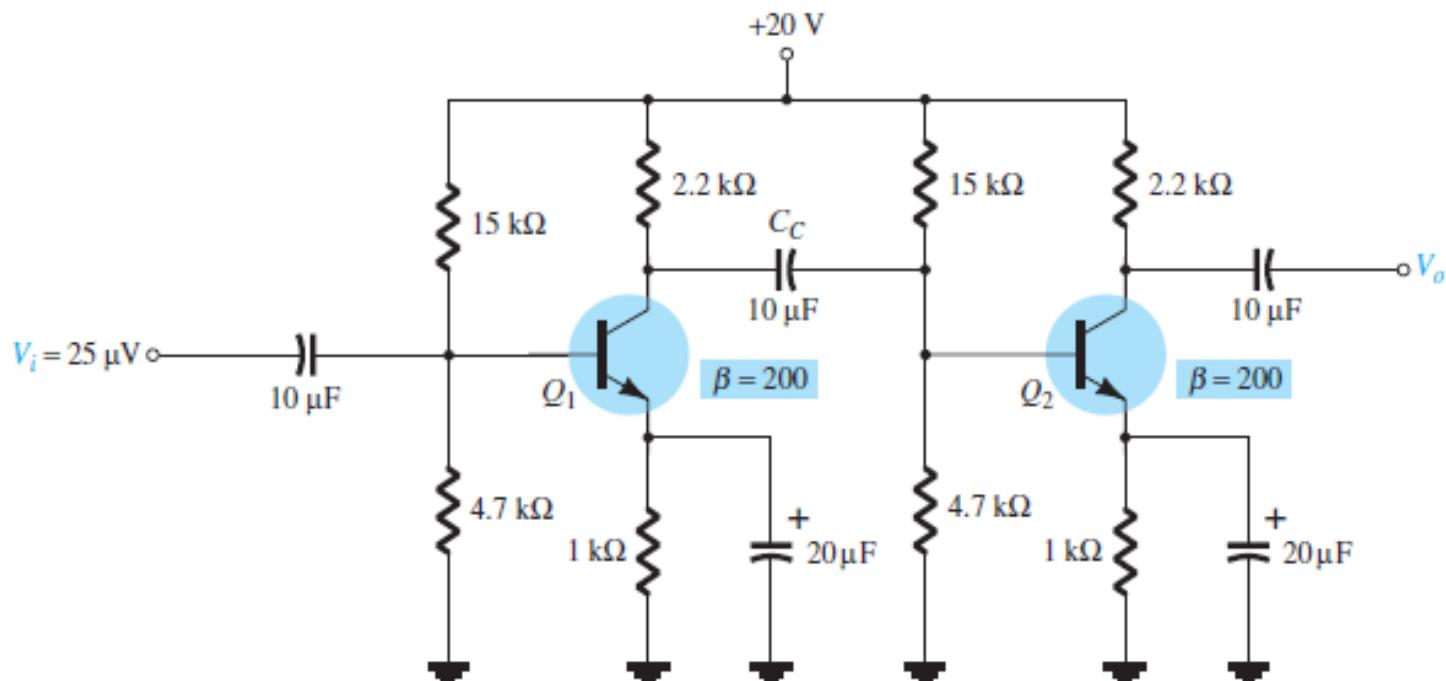
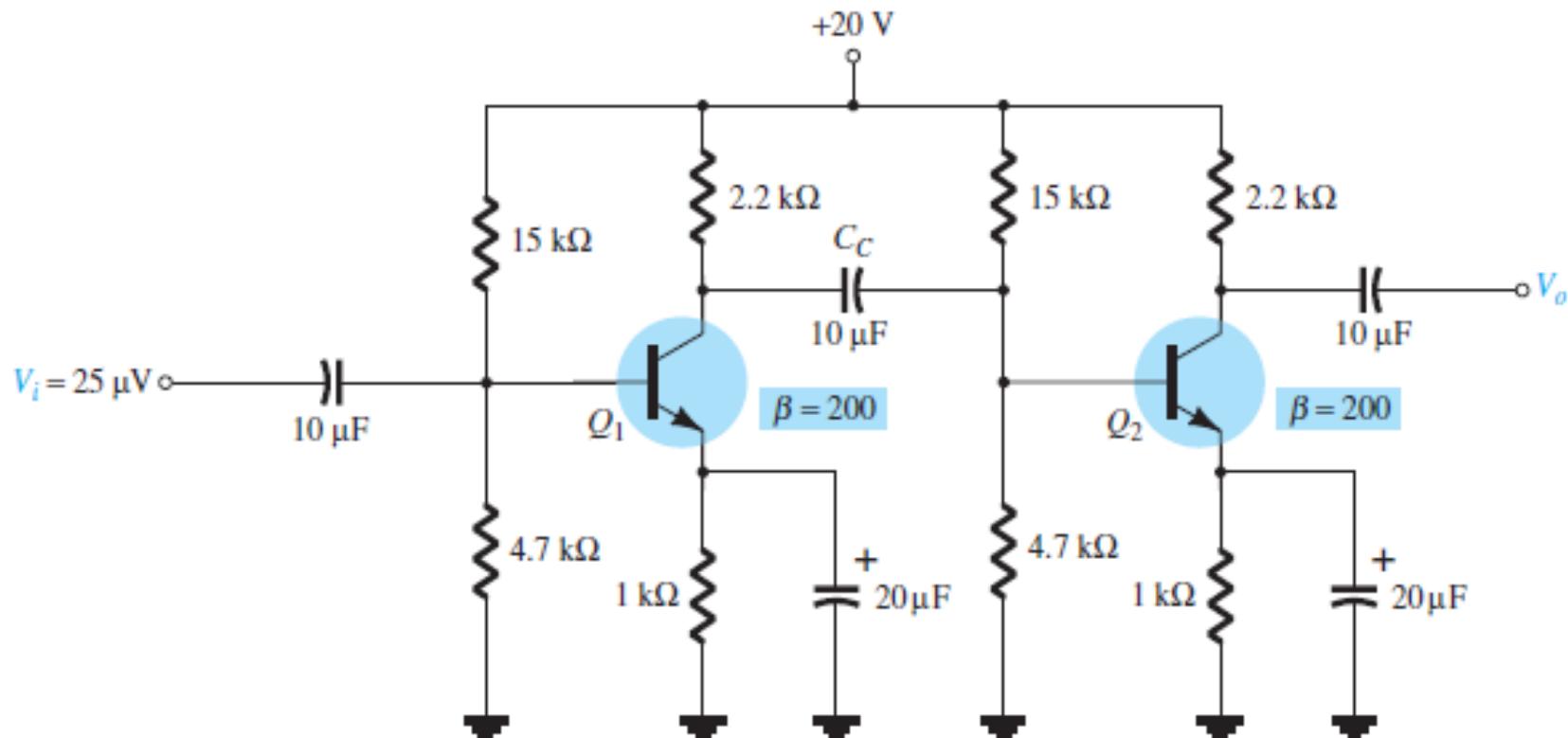


FIG. 5.67
Cascaded system.

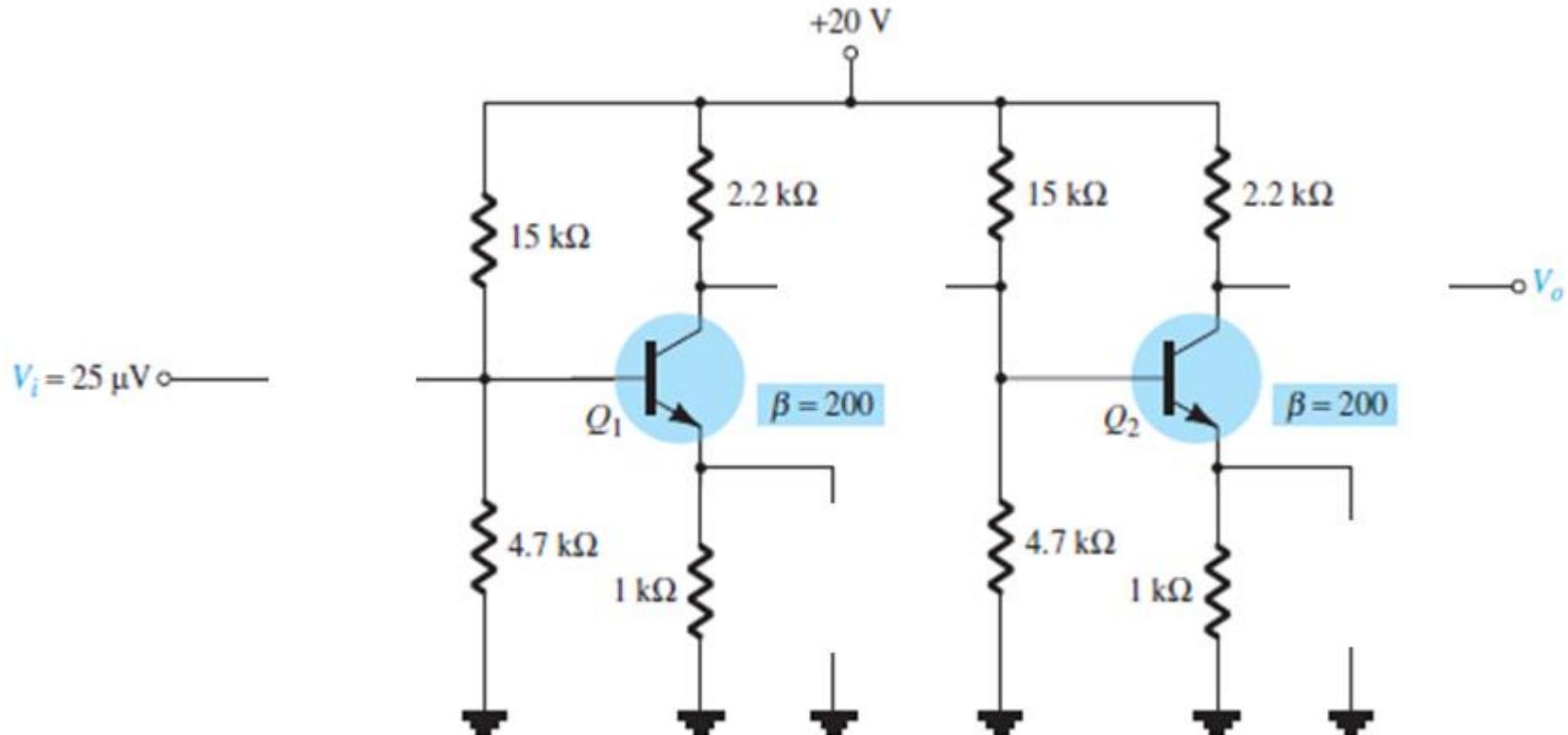


مدارهای ترازیستوری و تقویت کننده‌های ترازیستوری با پاس ترازیستور: ترازیستورهای چند طبقه: مثال

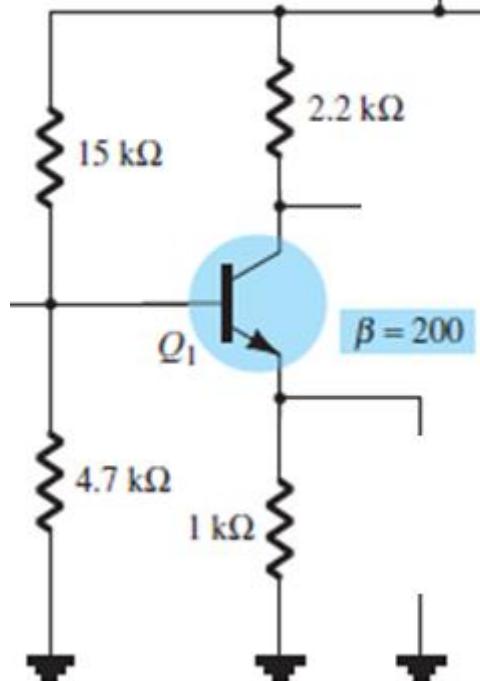


با پاس ترانزیستور: ترانزیستورهای چند طبقه: ادامه مثال

تحلیل DC



با پاس ترانزیستور: ترانزیستورهای چند طبقه: ادامه مثا تحلیل DC طبقه اول و طبقه دوم



$$KVL : -V_{TH} + R_{TH} I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + R_E (\beta + 1)}$$

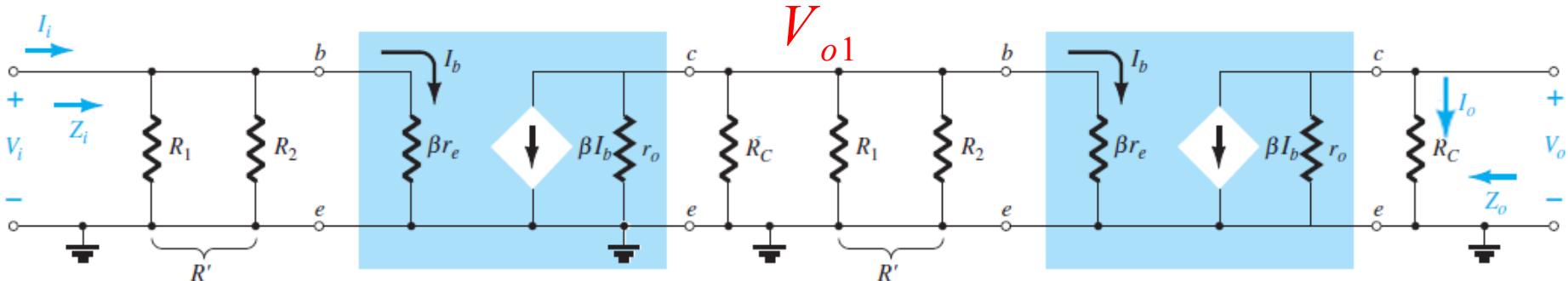
$$I_B = \frac{20 \times \frac{4.7}{4.7 + 15} - 0.7}{4.7 \| 15 + 1 \times 201} = 0.0199mA \rightarrow I_E = 4mA, I_C = 3.98mA$$

$$V_E = 1^{\text{K}\Omega} \times 4^{\text{mA}} = 4\text{V}, V_C = 20 - 2.2^{\text{K}\Omega} \times 3.98^{\text{mA}} = 11.244\text{V} \rightarrow V_{CE} = 7.244 > 0.2$$

$$V_B = 0.7 + V_E = 4.7\text{V}, V_C = 20 - 2.2^{\text{K}\Omega} \times 3.98^{\text{mA}} = 11.244\text{V} \rightarrow V_{BC} = -6.544 < 0$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = 6.5\Omega$$

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور: ترانزیستورهای چند طبقه: ادامه مثال: تحلیل AC

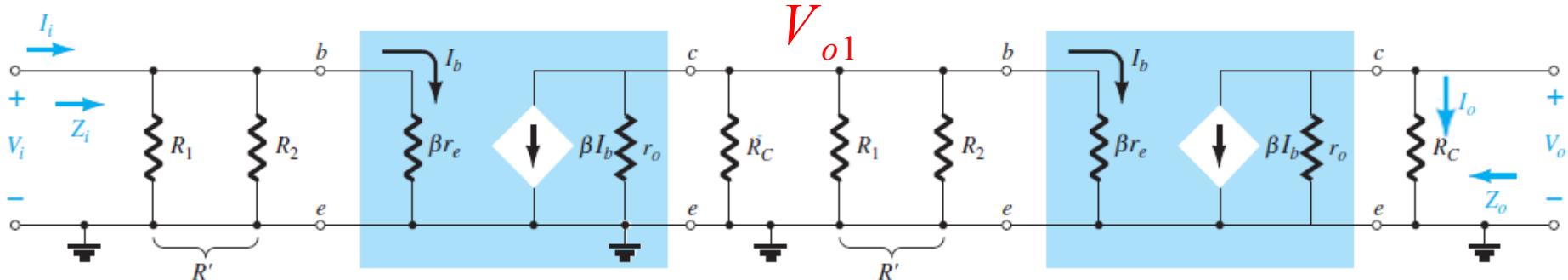


$$V_{o1} = -\beta I_{b1} \times r_o \| R_C \| R_1 \| R_2 \| \beta r_e, V_i = \beta r_e I_{b1} \rightarrow \frac{V_{o1}}{V_i} = \frac{-r_o \| R_C \| R_1 \| R_2 \| \beta r_e}{r_e}$$

$$V_o = -\beta I_{b2} \times r_o \| R_C, V_{o1} = \beta r_e I_{b2} \rightarrow \frac{V_o}{V_{o1}} = \frac{-r_o \| R_C}{r_e} \rightarrow \boxed{\frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_{o1}} \frac{V_{o1}}{V_i} = \frac{-r_o \| R_C}{r_e} \times \frac{-r_o \| R_C \| R_1 \| R_2 \| \beta r_e}{r_e}}$$

$$\boxed{A_V \equiv \frac{R_C \times R_C \| R_1 \| R_2 \| \beta r_e}{r_e^2} = 34600}, \boxed{Z_i = R_1 \| R_2 \| \beta r_e = 953.6 \Omega}, \boxed{Z_o = r_o \| R_C = 2.2 K \Omega}$$

مدارهای ترانزیستوری و تقویت کننده‌های ترانزیستوری با پاس ترانزیستور: ترانزیستورهای چند طبقه: ادامه مثال: تحلیل AC



روش اول محاسبه بهره جریان

$$A_I = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_o}{\beta I_{b2}} \frac{\beta I_{b2}}{I_{b2}} \frac{\beta I_{b1}}{\beta I_{b1}} \frac{I_{b1}}{I_i}$$

$$A_I = \frac{-r_o}{R_C + r_o} \times \beta \times \frac{-r_o \| R_C \| R_1 \| R_2}{r_o \| R_C \| R_1 \| R_2 + \beta r_e} \times \beta \times \frac{R_1 \| R_2}{R_1 \| R_2 + \beta r_e}$$

$$A_I = -1 \times 200 \times -0.512 \times 200 \times 0.7335 = 1.5022 \times 10^4$$

روش دوم محاسبه بهره جریان

$$A_I = \frac{I_o}{I_i}, A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_c I_o}{Z_i I_i} = \frac{R_c}{Z_i} A_I \rightarrow A_I = A_V \frac{Z_i}{R_c} = 34600 \times \frac{0.9536}{2.2} = 1.4998 \times 10^4$$