

الدارات الالكترونية

المحاضرة السادسة

أ.د. فادي غصنه

التحليل المستمر والدارة المكافئة المستمرة

- من أجل التحليل المستمر dc لدارة الترانزستور (حساب إحداثيات نقطة العمل) Q- Point، يجب أولاً رسم الدارة المكافئة المستمرة DC Equivalent Circuit.
- نقوم برسم الدارة المكافئة المستمرة بإتباع الخطوات الآتية:

١- نقوم بقصر منابع الجهد المتناوبة AC.

٢- نستبدل المكثفات بدارة مفتوحة

$$f = 0 \text{ Hz, and } X_C = 1/2\pi fC = 1/2\pi(0)C = \infty \Omega$$

٣- نستبدل الملفات بدارة مقصورة

٤- حساب المقاومة المكافئة للمقاومات الموصولة على التسلسل وللمقاومات المربوطة على التفرع.

٥- الانتباه لاتجاه التيارات في الدارة، تحدد من خلال نوع الترانزستور npn أو pnp.

٦- فصل المنبع المستمر المعلومة إلى عدة منابع منفصلة (لغرض التحليل فقط)، واستبدال منابع الجهد المستمرة بالرمز الالكتروني للمنبع مع الانتباه إلى القطبية، وتحديد قطبية هبوطات الجهد على المقاومات.

٧- تحليل الدارة باستخدام القوانين الأساسية للدارات الكهربائية (أوم، مقسم جهد، مقسم تيار، قانوني كيرشوف) لدارة الدخل ودارة الخرج. عادةً ما نبدأ بحساب تيار القاعدة I_B ومن ثمّ حساب بقية التيارات وهبوطات الجهد

$$V_{BE} \cong 0.7 \text{ V} \quad \left| \quad I_E = (\beta + 1)I_B \cong I_C \quad I_C = \beta I_B \right.$$

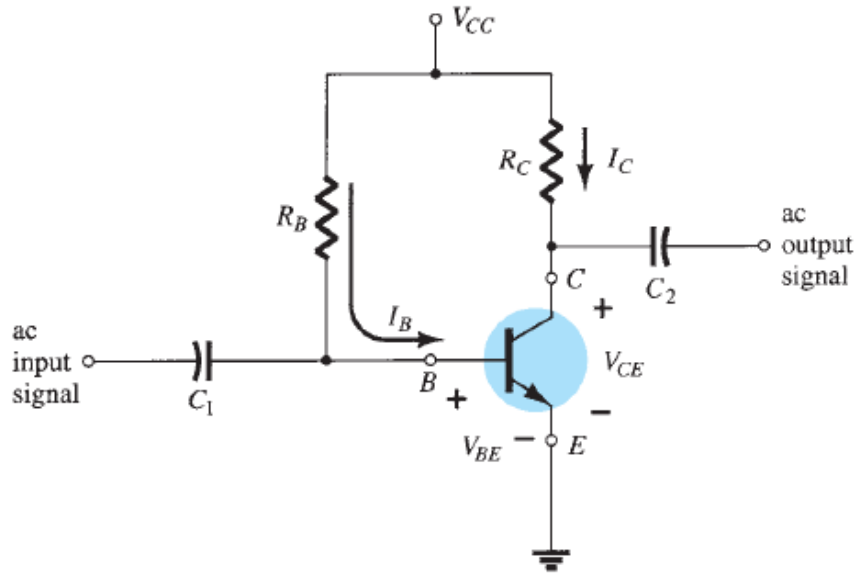
٨- رسم بياني لمميزة الترانزستور مع خط الحمل (نقطة التقاطع تحدد نقطة العمل Q-point)

٩- حساب إحداثيات نقطة العمل (I_{CQ}, V_{CEQ}) مع ملاحظة قيمة تيار القاعدة I_B .

Fixed-bias Configuration

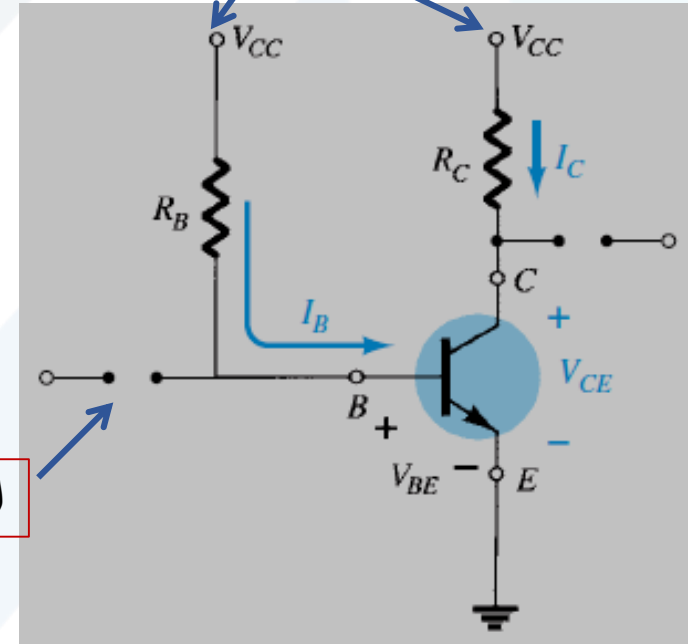
لتكن لدينا الدارة المبينة في الشكل، المطلوب حساب إحداثيات نقطة العمل

فصل المنابع المستمر إلى عدة منابع لغرض التحليل



يتم التحيز الثابت للترانزستور
من خلال المقاومة R_B و R_C و V_{CC} .

استبدال المكثفات بدارة مفتوحة



Fixed-bias Configuration

حلقة دائرة الدخل، ينتج عنها حساب تيار القاعدة I_B :

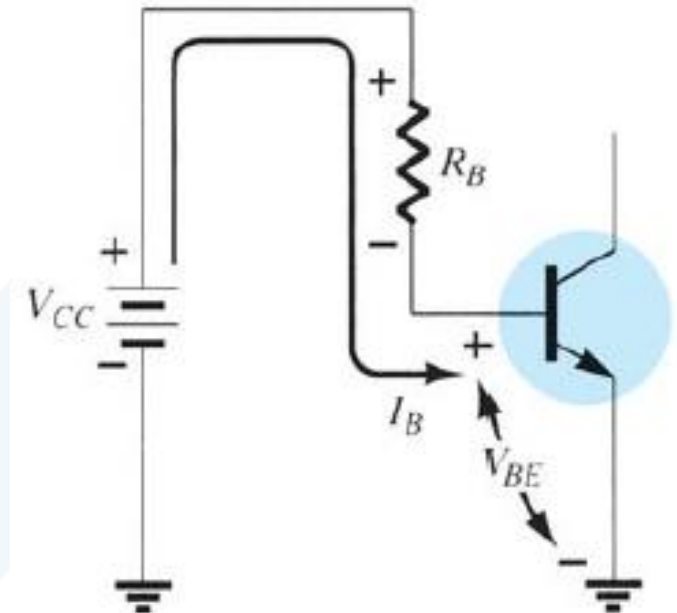
بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على دائرة
الدخل (وصلة قاعدة - باعث)، ينتج:

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

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

بالإصلاح، ينتج:

(أصبحت قيمة التيار I_B معلومة)



Fixed-bias Configuration

حلقة دائرة الخرج، ينتج عنها حساب تيار المجمع (تيار الخرج) I_C و جهد الخرج V_{CE} :
نعلم أن:

$$I_C = \beta I_B$$

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

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

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

$$V_{CE} = V_C$$

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

$$V_{BE} = V_B$$

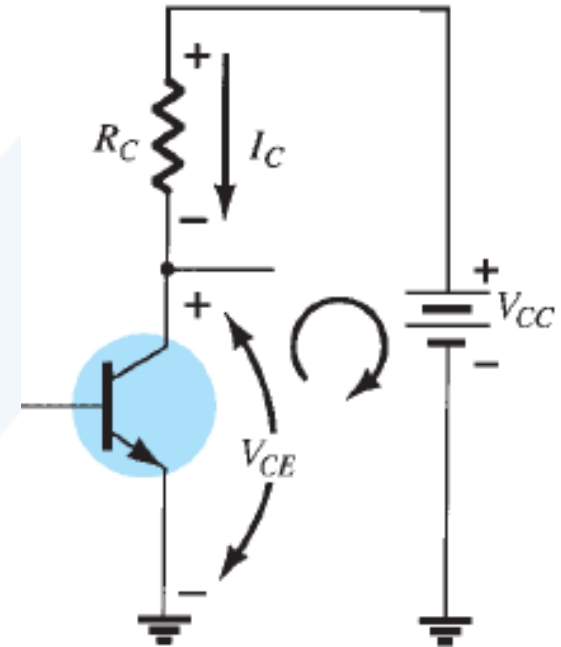
بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على حلقة الخرج، ينتج:
(وهي معادلة خط الحمل الساكن)

يُعطى هبوط الجهد بين المجمع والباعث:

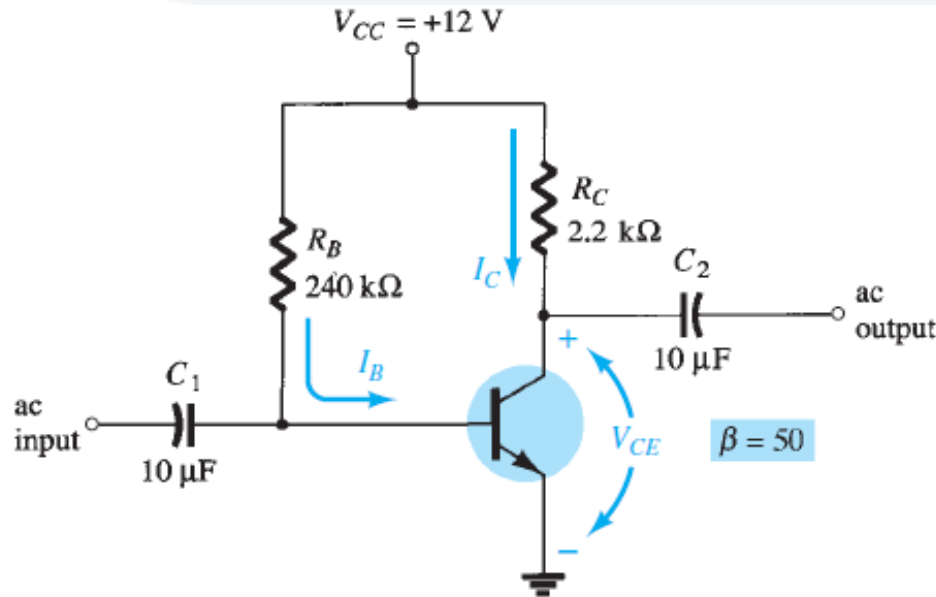
كون $V_E = 0$ (موصول مع الأرضي)، ينتج:

يُعطى هبوط الجهد بين القاعدة والباعث:

كون $V_E = 0$ (موصول مع الأرضي)، ينتج:



مثال



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

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

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

حساب الجهود:

من أجل الدارة المبينة في الشكل، جد

- I_{BQ} and I_{CQ} .
- V_{CEQ} .
- V_B and V_C .
- V_{BC} .

من دارة الدخل نجد:

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{240 \text{ k}\Omega} = 47.08 \mu\text{A}$$

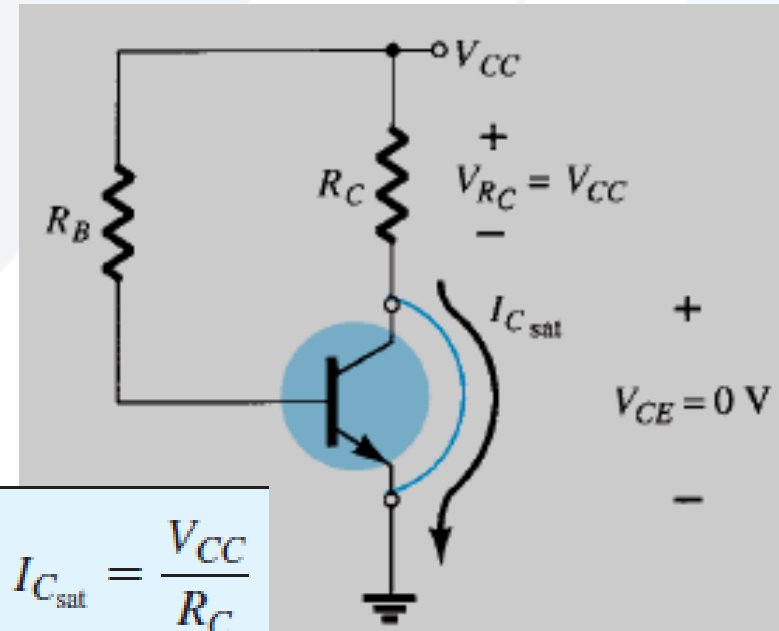
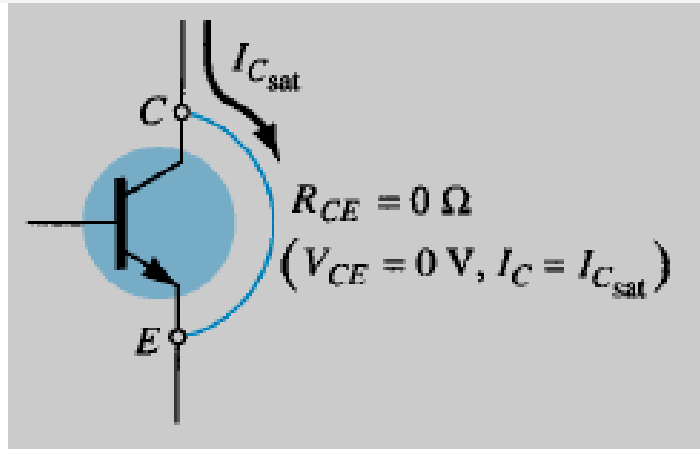
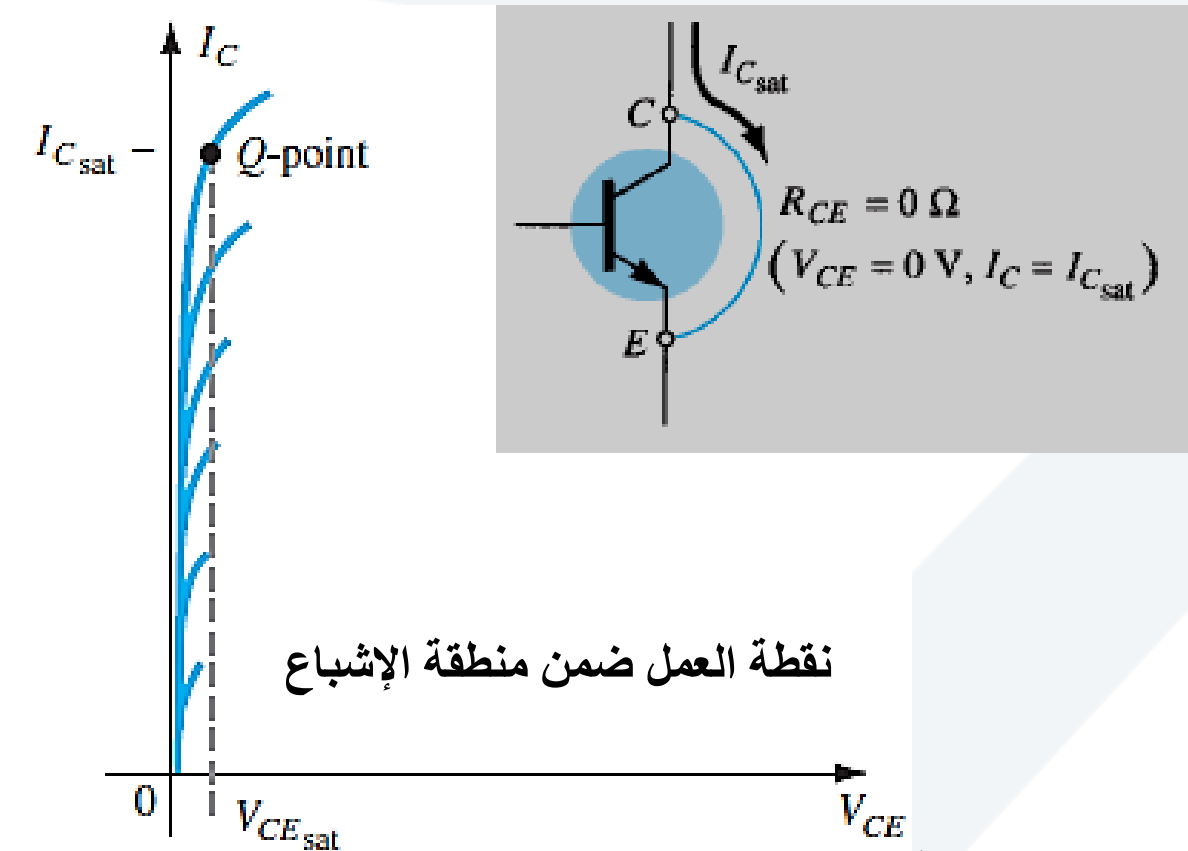
$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = (50)(47.08 \mu\text{A}) = 2.35 \text{ mA}$$

من دارة الخرج، نجد

$$\begin{aligned} V_{CEQ} &= V_{CC} - I_C R_C \\ &= 12 \text{ V} - (2.35 \text{ mA})(2.2 \text{ k}\Omega) \\ &= 6.83 \text{ V} \end{aligned}$$

Transistor Saturation

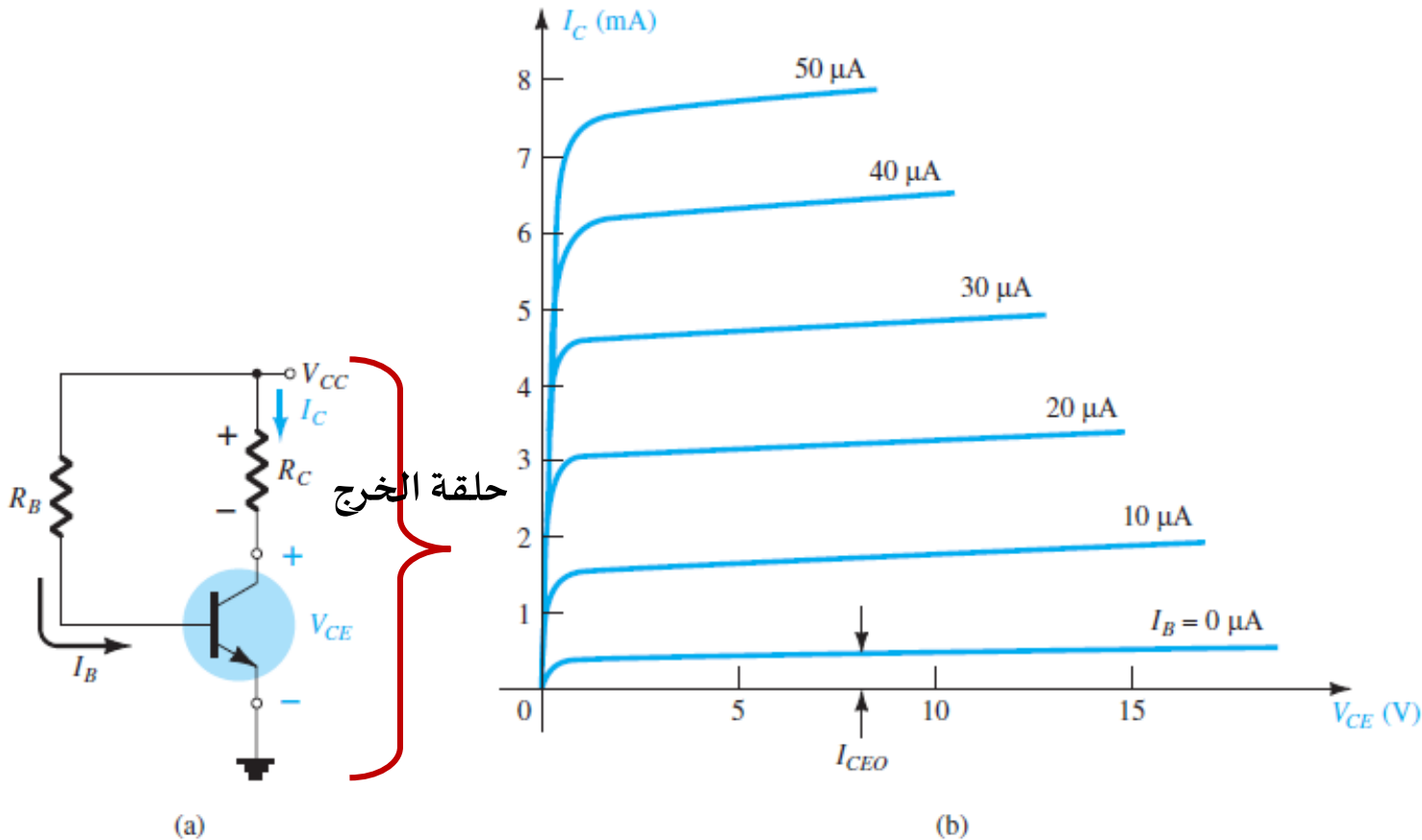
نصل إلى منطقة الإشباع عند القيمة العظمى لتيار المجمع I_C ، التي يثبت عندها التيار مع زيادة الجهد V_{CE} .



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

نحصل على قيمة تيار الإشباع $I_{C_{sat}}$ ، عندما يكون الجهد $V_{CE} = 0$.

Load-Line Analysis



نستخدم خط الحمل الساكن للحصول على نقطة العمل الساكن، من خلال نقطة تقاطع خط الحمل مع مميزة خرج الترانزستور، نحصل على نقطة العمل.

Load-Line Analysis

نحصل على معادلة خط الحمل دائماً من تطبيق قانون كيرشوف للجهد

على حلقة الخرج في دارة الترانزستور:

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

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

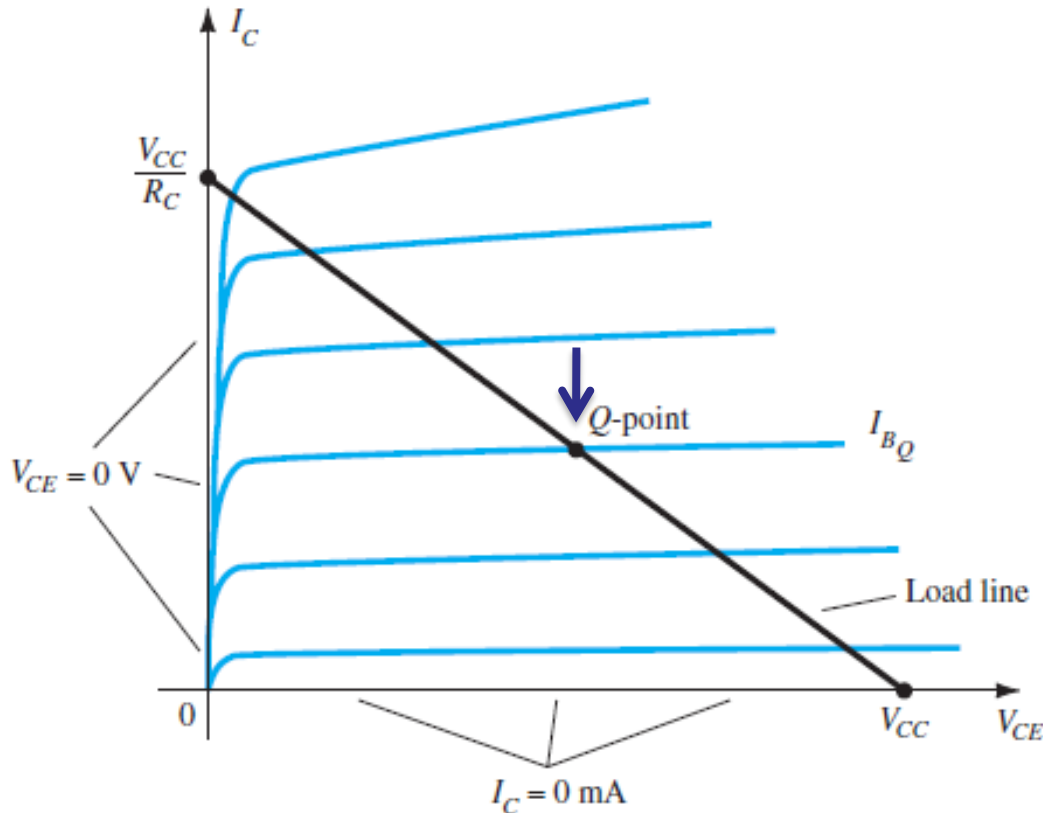
$$V_{CE} = V_{CC} |_{I_C = 0 \text{ mA}}$$

نقطة التقاطع مع المحور V_{CE} :

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

نقطة التقاطع مع المحور I_C :

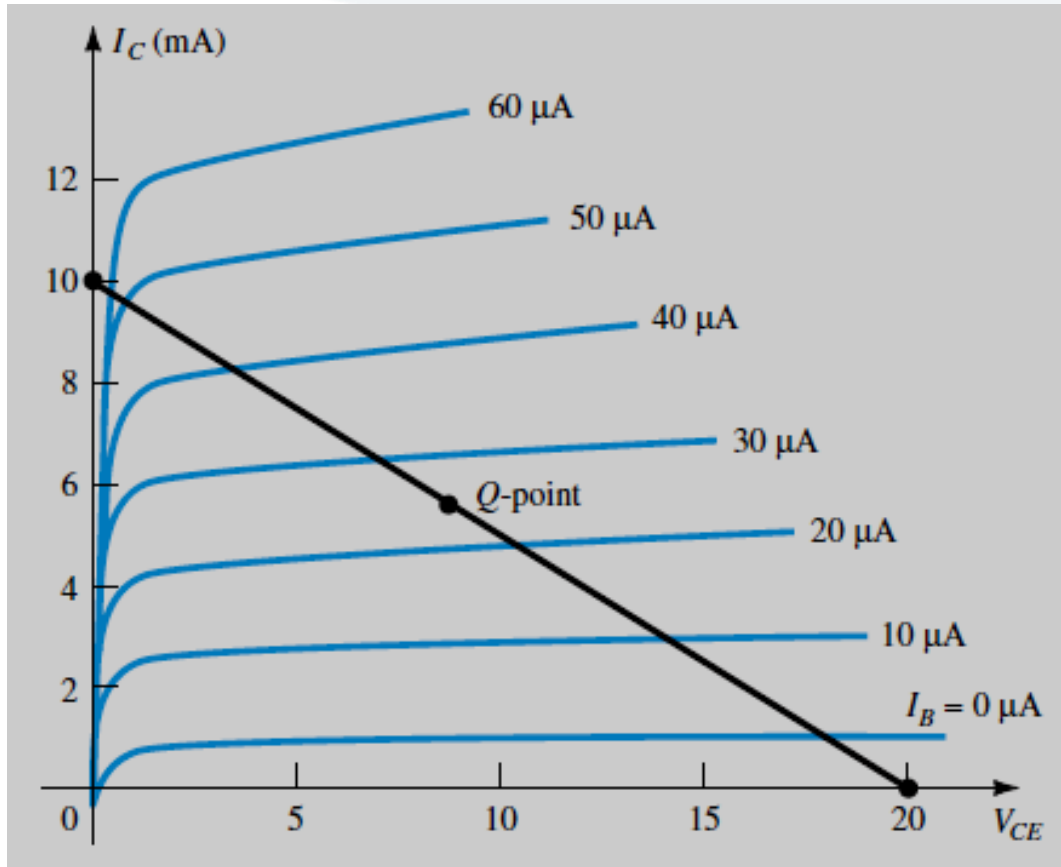
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} |_{V_{CE} = 0 \text{ V}}$$



نقطة تقاطع خط الحمل مع المميزات (المنحني الموافق لقيمة I_{BQ}) تُعدّ نقطة العمل للترانزستور.

مثال

من أجل المميزّة المبينة في الشكل مع نقطة العمل المعطاة، يطلب حساب V_{CC} , R_C , R_B .



$$V_{CE} = V_{CC} = 20 \text{ V at } I_C = 0 \text{ mA}$$

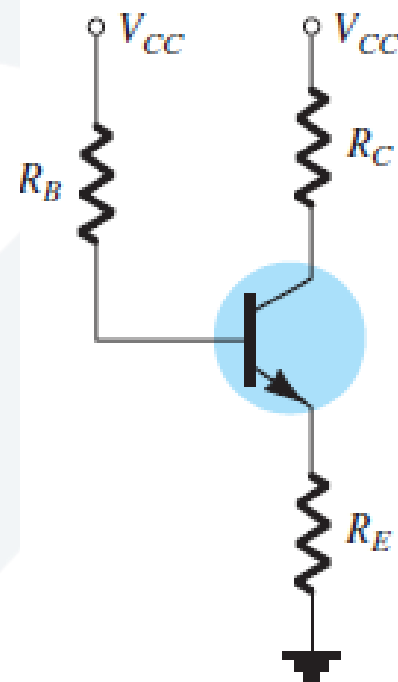
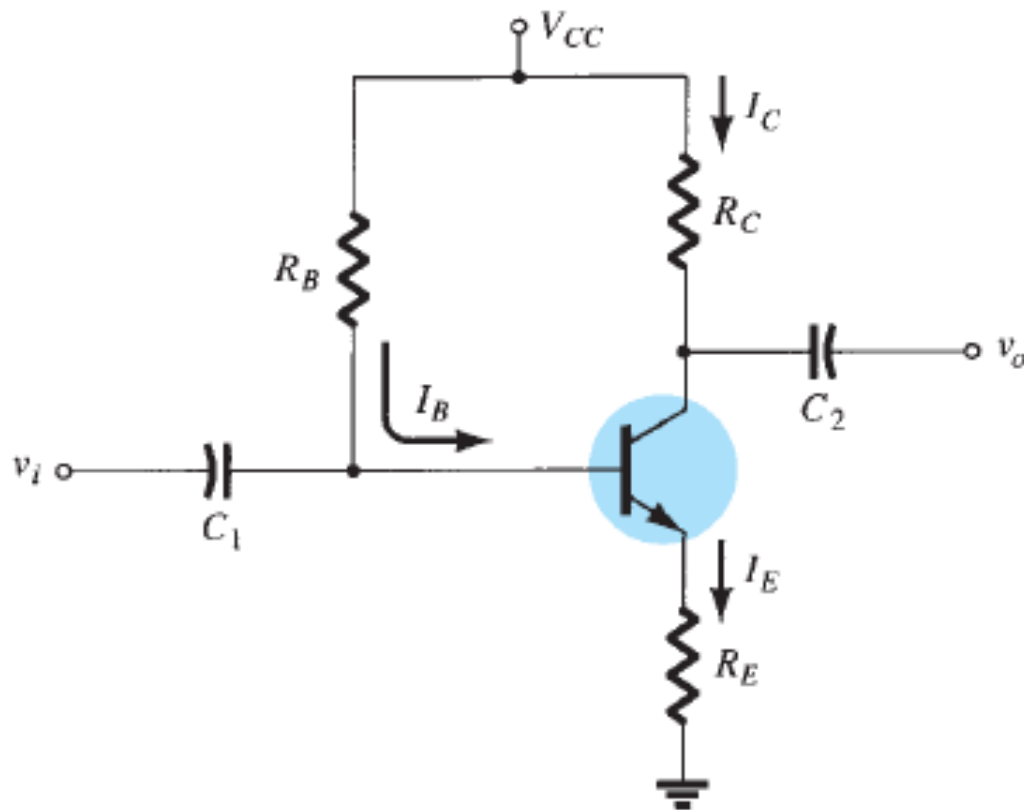
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \text{ at } V_{CE} = 0 \text{ V}$$

$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{20 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 2 \text{ k}\Omega$$

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

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{20 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{25 \mu A} = 772 \text{ k}\Omega$$

Emitter-bias Configuration



يتم تحيز الترانزستور بطريقة انحياز الباعث من خلال المقاومة المربوطة مع الباعث R_E بالإضافة لمقاومة القاعدة R_B ومقاومة المجمع R_C والتغذية المستمرة V_{CC} .

الدائرة المكافئة المستمرة dc.

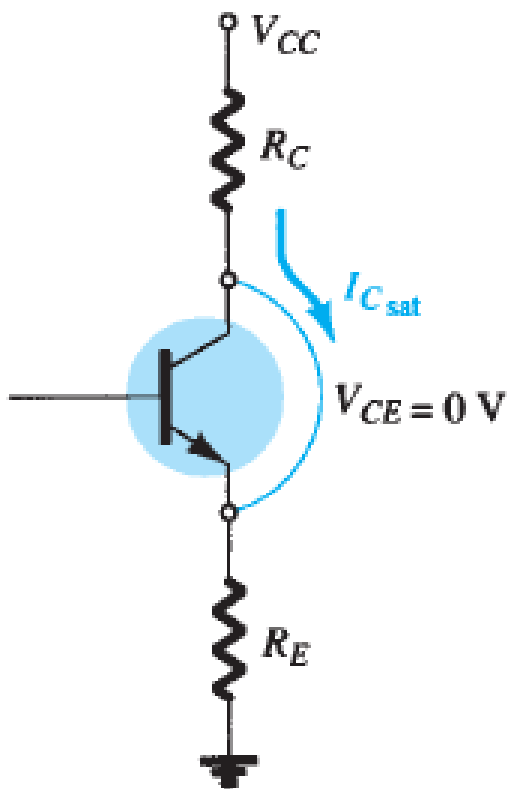
Saturation Level

ينتج تيار الإشباع وفقاً للعلاقة الآتية:

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

حساب تيار الإشباع في المثال السابق:

$$\begin{aligned} I_{C_{sat}} &= \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \\ &= \frac{20 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = \frac{20 \text{ V}}{3 \text{ k}\Omega} \\ &= 6.67 \text{ mA} \end{aligned}$$



تقريباً ثلاث أضعاف تيار نقطة العمل I_{CQ} .

Load-Line Analysis

نحصل علة معادلة خط الحمل بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على حلقة الخرج:

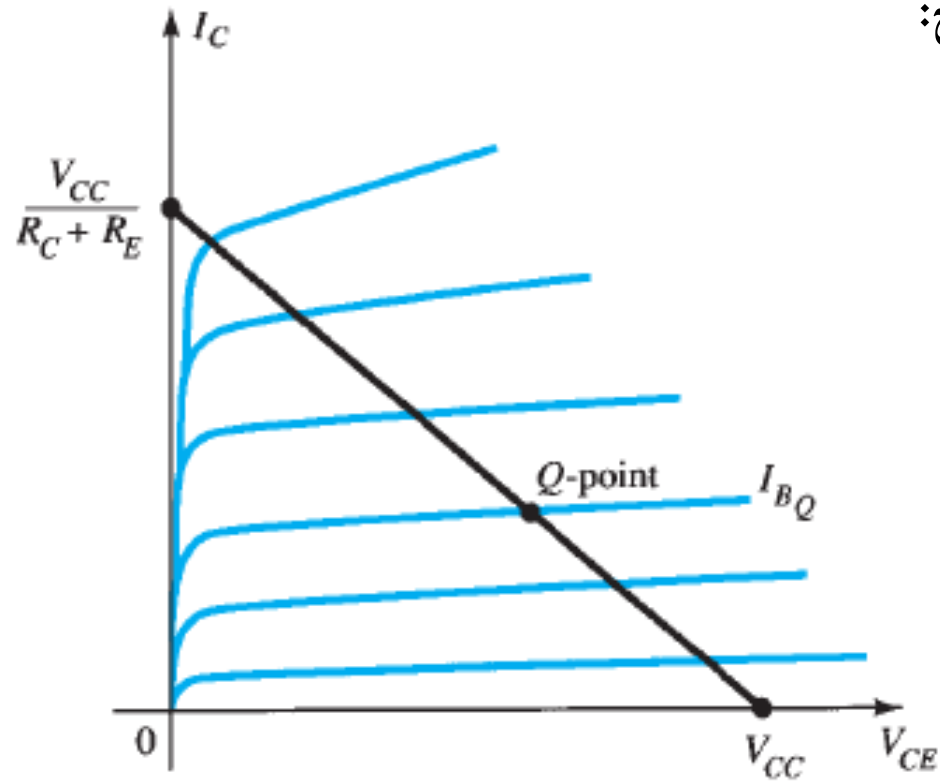
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

نقطة التقاطع مع محور الجهد V_{CE} :

$$V_{CE} = V_{CC} |_{I_C=0 \text{ mA}}$$

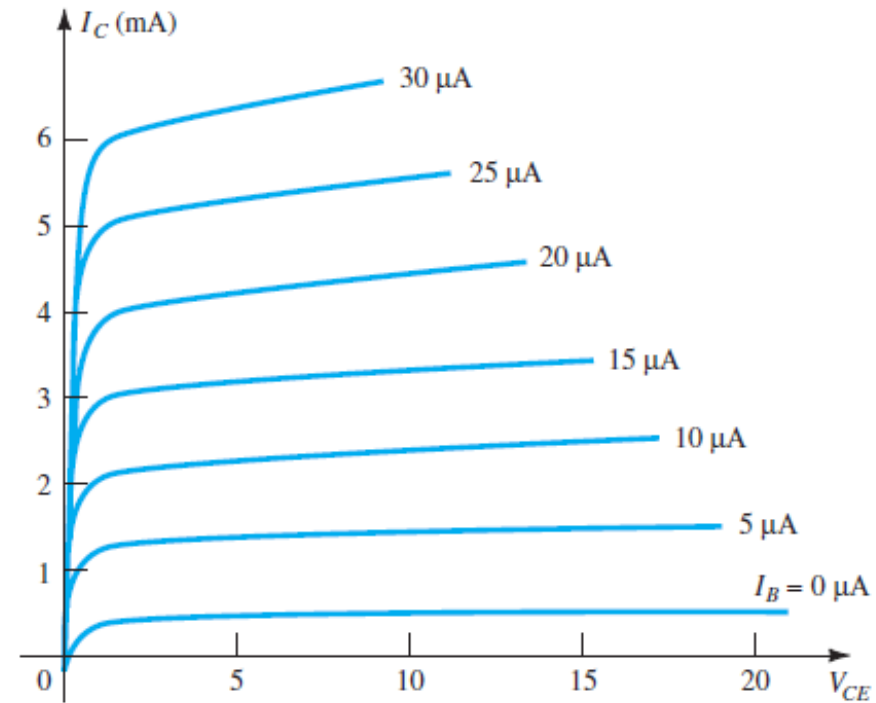
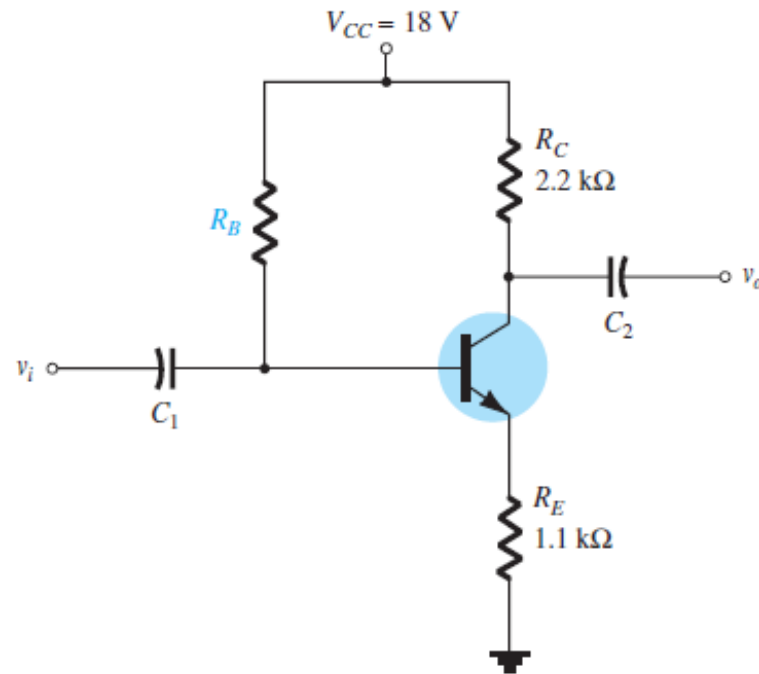
نقطة التقاطع مع محور الجهد I_C :

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} |_{V_{CE}=0 \text{ V}}$$



نقطة تقاطع خط الحمل مع المميزات (المنحني الموافق لقيمة I_{BQ}) تُعدّ نقطة العمل للترانزستور.

مثال



المطلوب رسم خط الحمل وتعيين إحداثيات نقطة العمل وحساب β_{dc} .

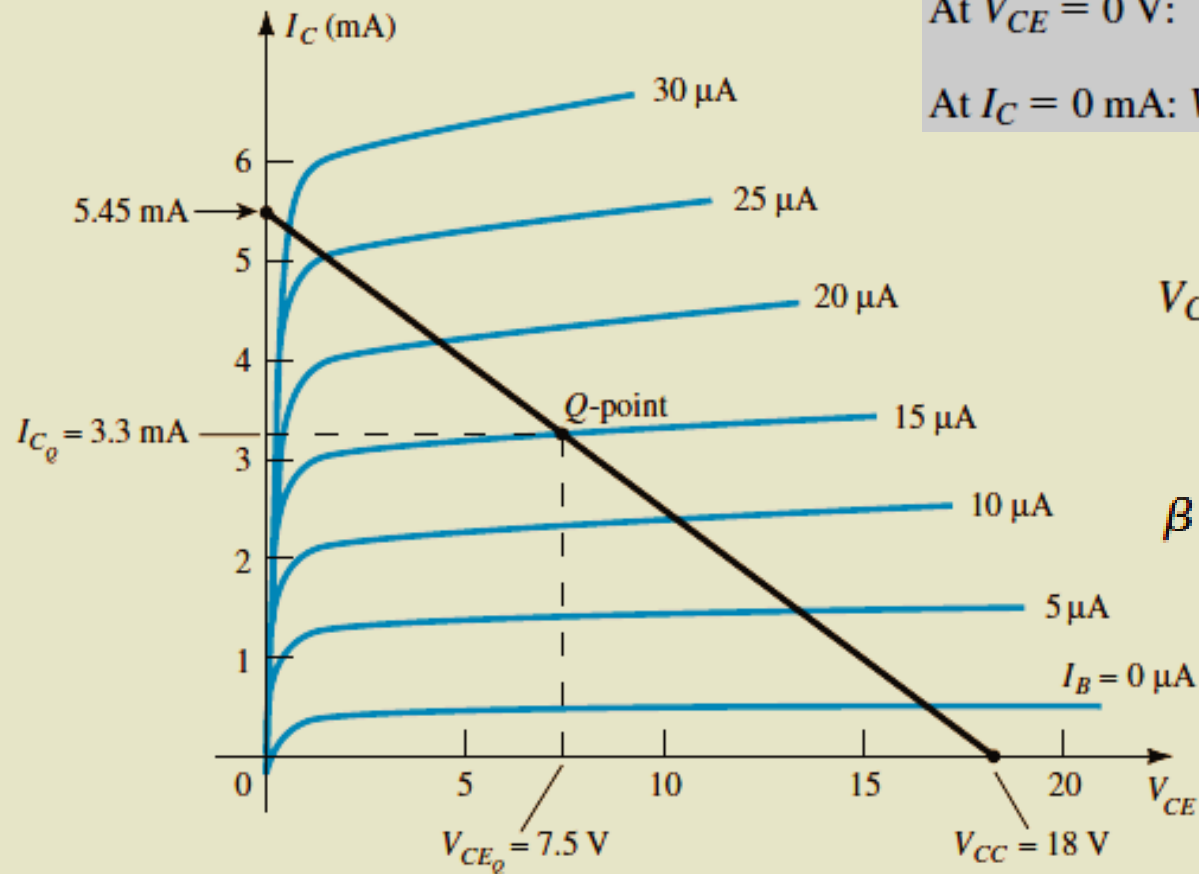
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

معادلة خط الحمل

مثال

$$\text{At } V_{CE} = 0 \text{ V: } I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{18 \text{ V}}{2.2 \text{ k}\Omega + 1.1 \text{ k}\Omega} = \frac{18 \text{ V}}{3.3 \text{ k}\Omega} = 5.45 \text{ mA}$$

$$\text{At } I_C = 0 \text{ mA: } V_{CE} = V_{CC} = 18 \text{ V}$$

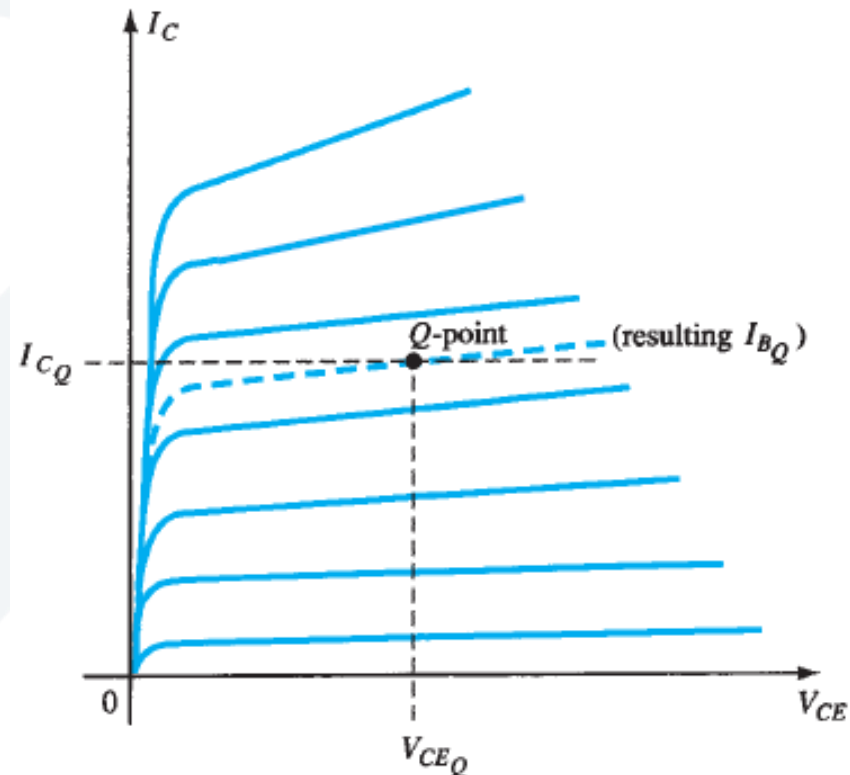
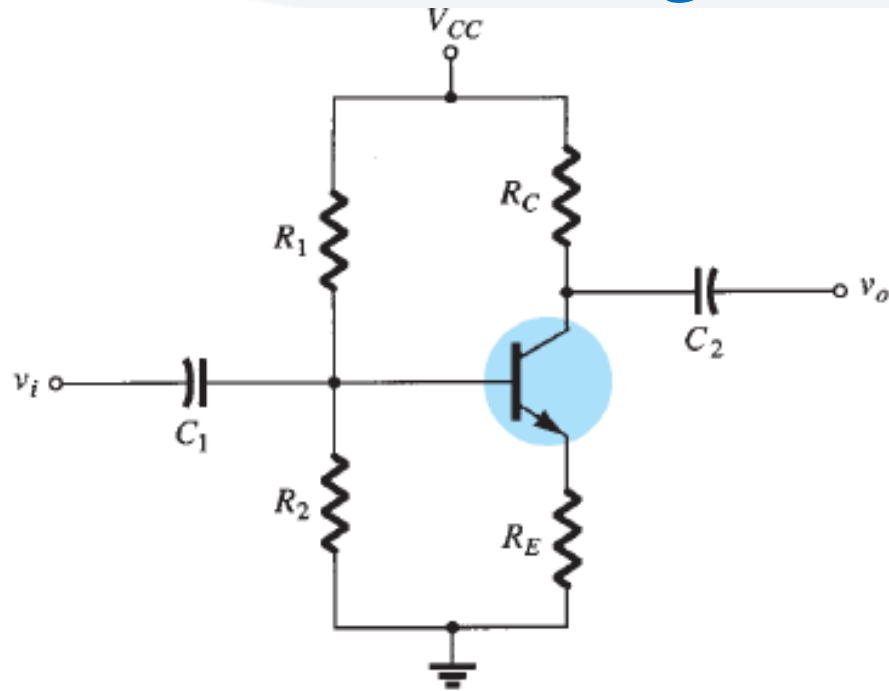


$$V_{CEQ} \cong 7.5 \text{ V}, I_{CQ} \cong 3.3 \text{ mA}$$

$$\beta = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} = \frac{3.3 \text{ mA}}{15 \mu\text{A}} = 220$$

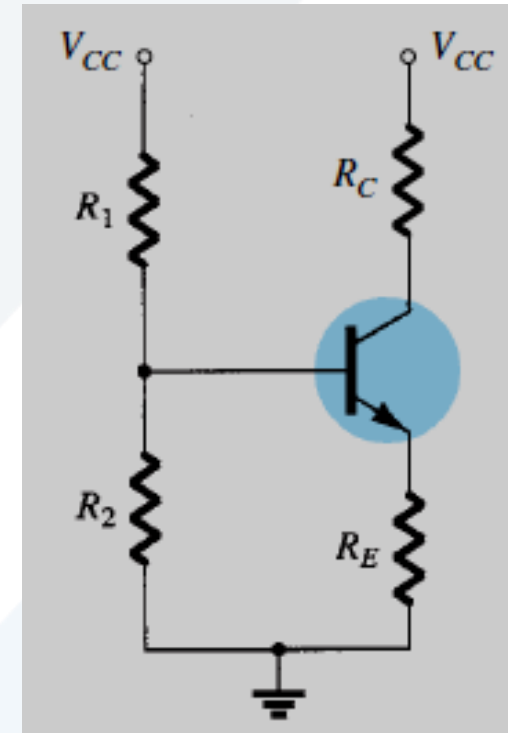
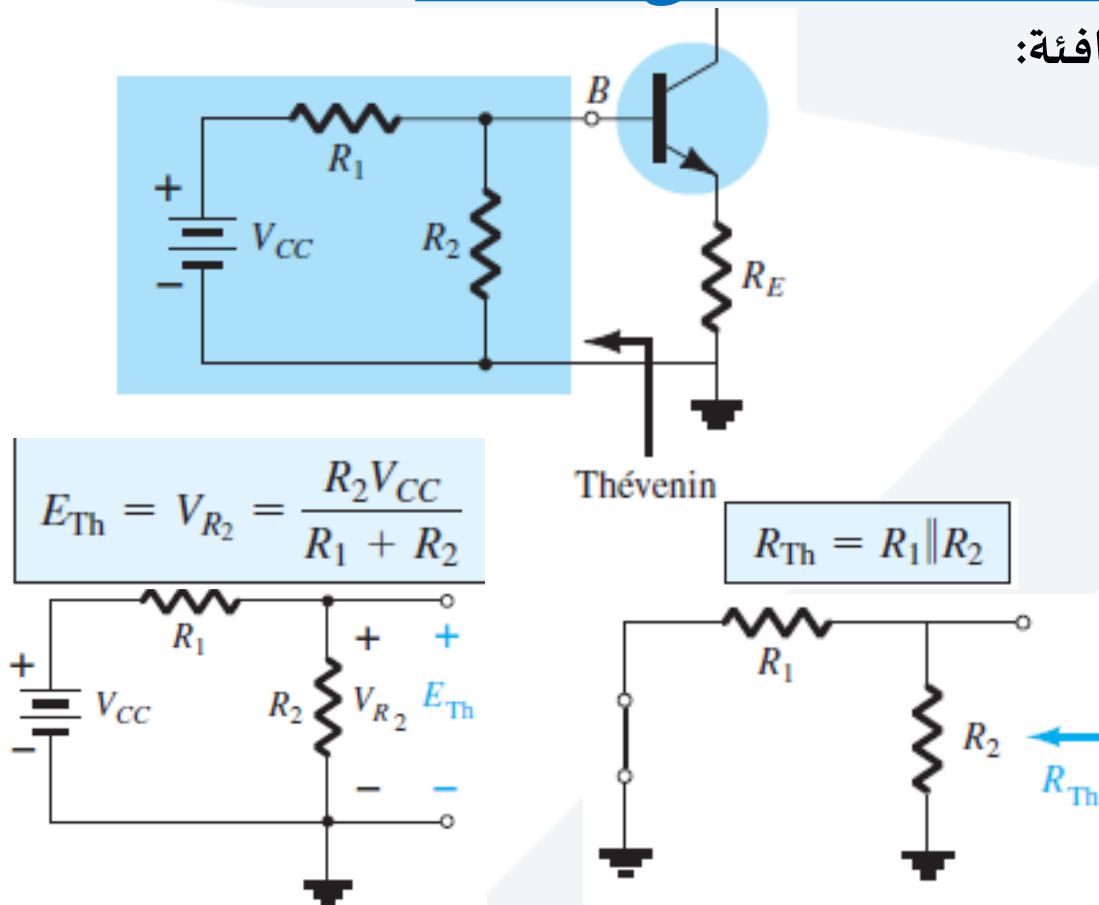
Voltage-divider Bias Configuration

التحيز باستخدام دائرة مقسم جهد في دائرة دخل الترانزستور



Voltage-divider Bias Configuration

لتبسيط التحليل سنقوم باستبدال دارة مقسم الجهد بدارة ثيفنن المكافئة:



الدارة المكافئة المستمرة.

Voltage-divider Bias Configuration

من دائرة الدخل، نطبق كيرشوف للجهد: ينتج:

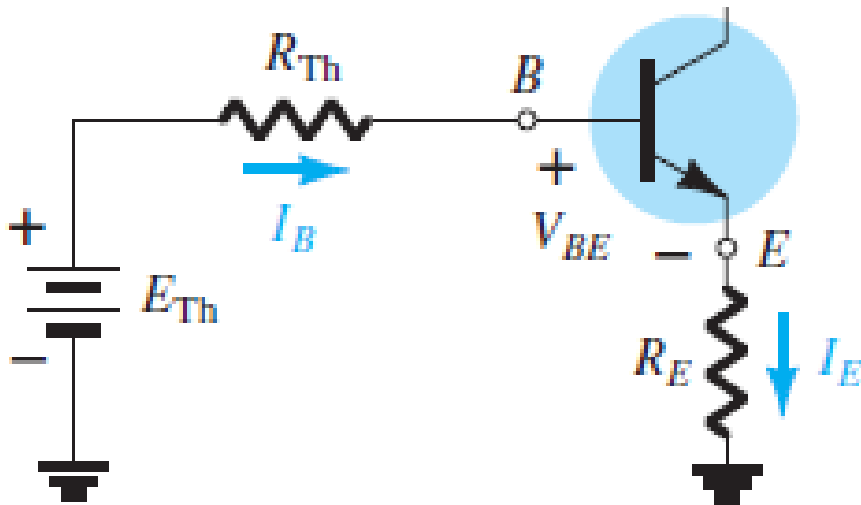
$$E_{Th} - I_B R_{Th} - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

بتعويض $I_E = (\beta + 1)I_B$

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

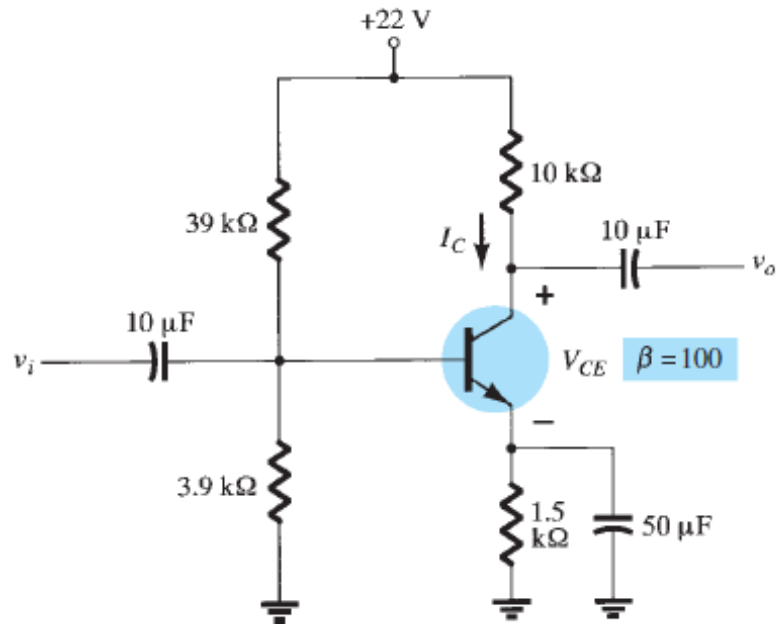
من دائرة الخرج، نطبق كيرشوف للجهد: ينتج:

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



Voltage-divider Bias Configuration

من أجل الدارة المبينة في الشكل، يُطلب حساب V_{CE} و I_C :



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

$$\begin{aligned} R_{Th} &= R_1 \parallel R_2 \\ &= \frac{(39 \text{ k}\Omega)(3.9 \text{ k}\Omega)}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} = 3.55 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

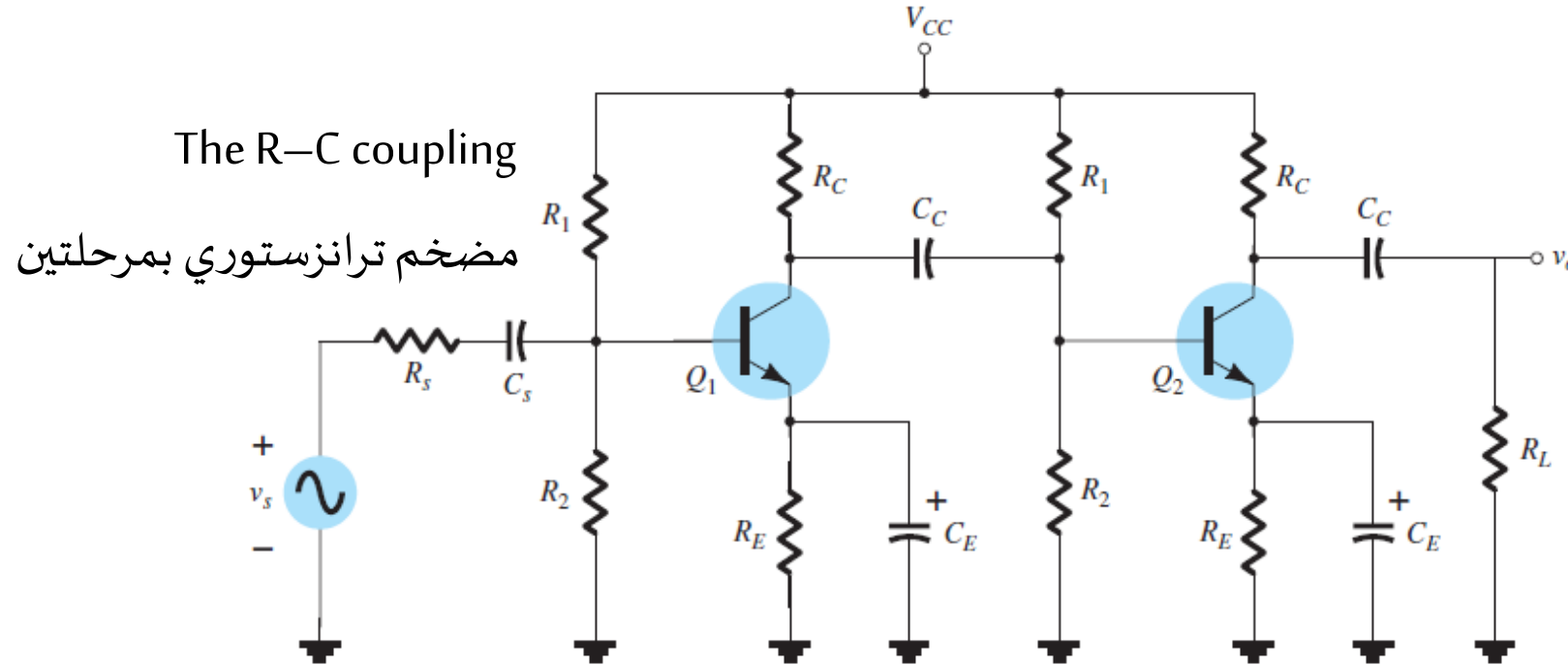
$$\begin{aligned} E_{Th} &= \frac{R_2 V_{CC}}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{(3.9 \text{ k}\Omega)(22 \text{ V})}{39 \text{ k}\Omega + 3.9 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E} \\ &= \frac{2 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + (101)(1.5 \text{ k}\Omega)} = \frac{1.3 \text{ V}}{3.55 \text{ k}\Omega + 151.5 \text{ k}\Omega} \\ &= 8.38 \mu\text{A} \end{aligned}$$

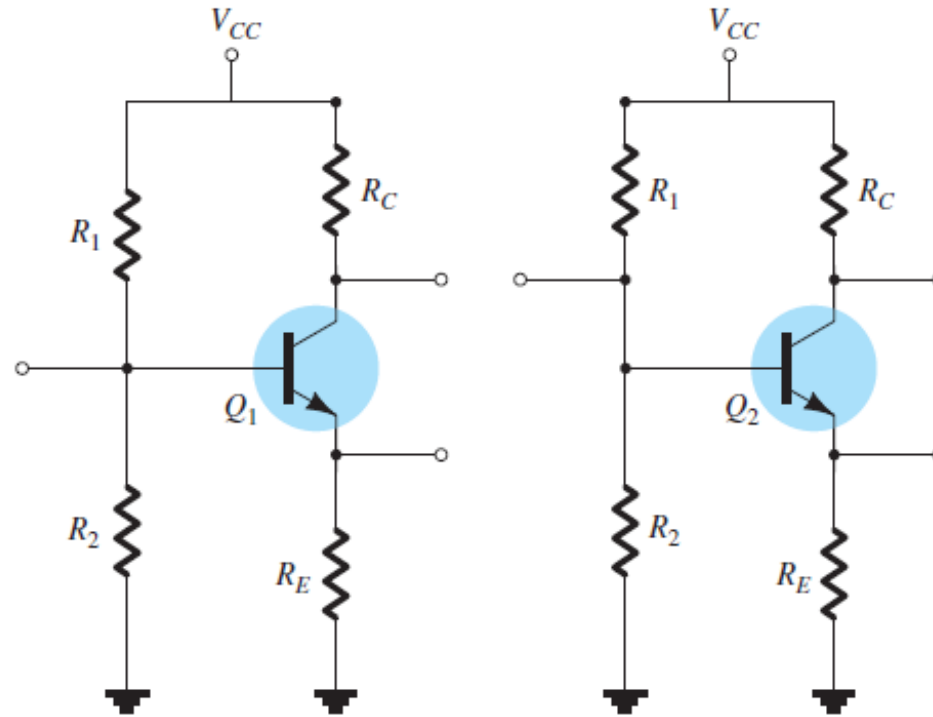
$$\begin{aligned} I_C &= \beta I_B \\ &= (100)(8.38 \mu\text{A}) \\ &= 0.84 \text{ mA} \end{aligned}$$

Multiple BJT Networks

عمياً يتم ربط عدة مراحل من دائرة المضخم الترانزستوري مع بعضها بعض من خلال مكثفات تُسمى مكثفات الربط C_C لفصل المركبة المستمرة dc لكل مرحلة عن بقية المراحل. يلعب كثف الربط بالنسبة للتحليل المستمر dc دور دائرة مفتوحة، أما بالنسبة للتحليل المتناوب فيلعب دور دائرة مقصورة. يمكن استخدام أي من تشكيلات التحييز السابقة ضمن أي مرحلة.

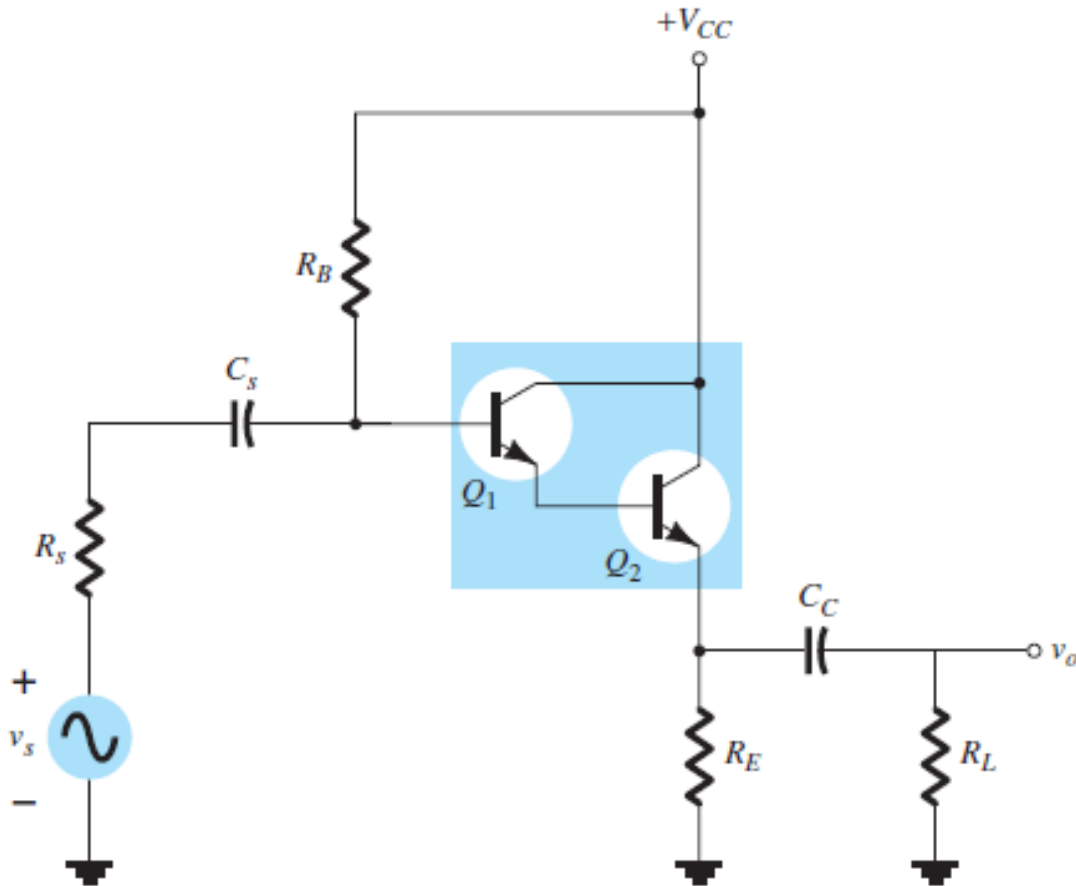


Multiple BJT Networks



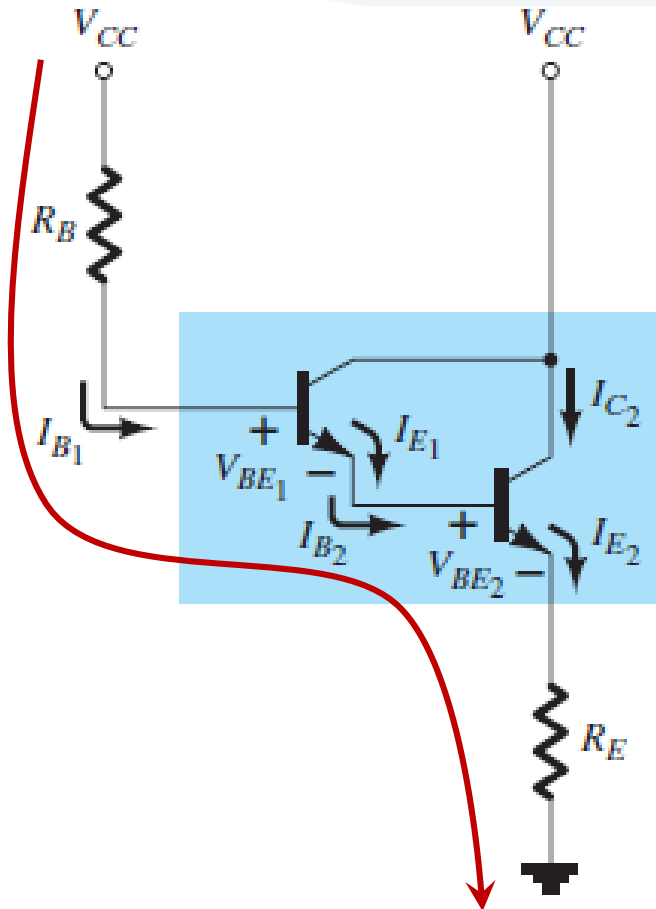
الدائرة المكافئة المستمرة dc، يمكن تحليل كل مرحلة بشكل مستقل عن المراحل الأخرى، وتُحسب نقطة العمل q-point لكل ترانزستور كما في الأمثلة السابقة.

The Darlington configuration



تشكيلة دارلنغتون مكونة من الترانزستورين Q_1 , Q_2 ، بحيث
باعث الترانزستور Q_1 تغذي قاعدة الترانزستور Q_2 والمجمعين
موصولين مع بعضهما بعض، وقاعدة
الترانزستور Q_1 تُوصَل إلى دارة الدخل، وباعث
الترانزستور Q_2 توصَل إلى دارة الخرج. ربح هذه
التشكيلة يساوي 1 لكن تقدم هذه التشكيلة مقاومة دخل عالية.

The Darlington configuration



$$I_{B_2} = I_{E_1} = (\beta_1 + 1)I_{B_1}$$

$$I_{E_2} = (\beta_2 + 1)I_{B_2} = (\beta_2 + 1)(\beta_1 + 1)I_{B_1}$$

$$\beta_D = \beta_1 \beta_2$$

$$I_{B_1} = \frac{V_{CC} - V_{BE_1} - V_{BE_2}}{R_B + (\beta_D + 1)R_E}$$

$$I_{C_2} \cong I_{E_2} = \beta_D I_{B_1}$$

$$V_{E_2} = I_{E_2} R_E$$

$$V_{C_2} = V_{CC}$$

$$V_{CE_2} = V_{C_2} - V_{E_2}$$

$$V_{CE_2} = V_{CC} - V_{E_2}$$

يُنتج تيار قاعدة Q_2 كالآتي:

يُنتج تيار باعث Q_2 كالآتي:

من أجل $\beta \gg 1$ يُنتج

من دائرة الدخل يُنتج I_{B_1} :

لدينا

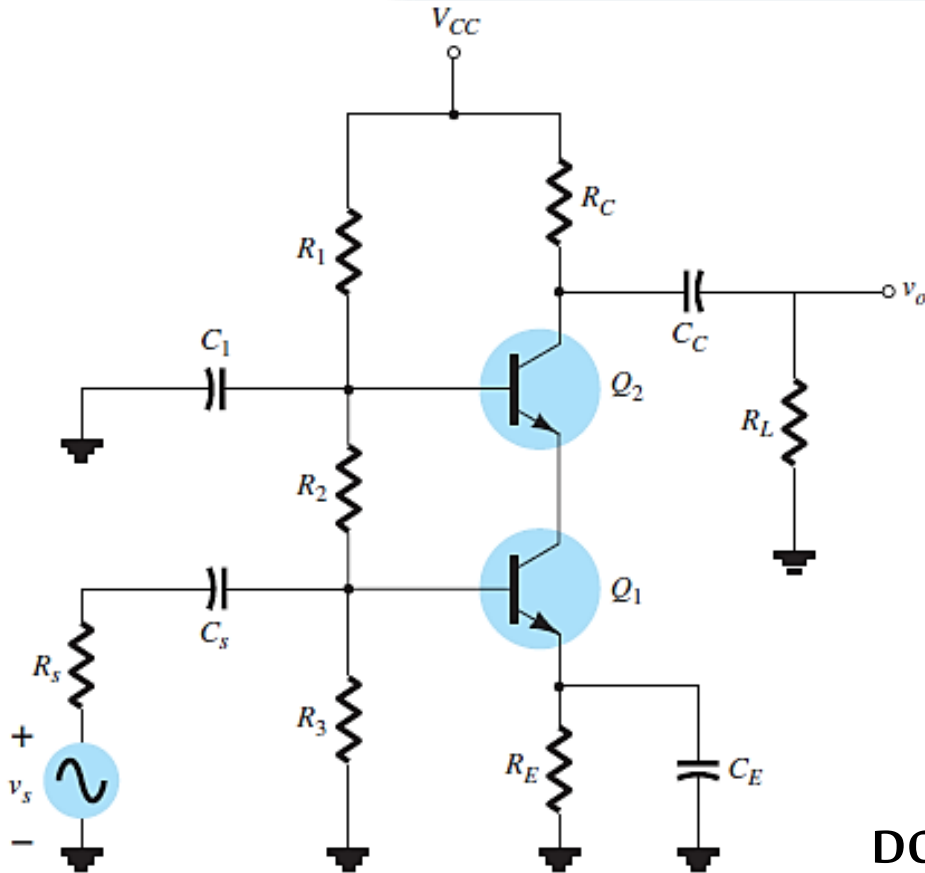
يُعطى جهد الباعث لـ Q_2

معلوم أن:

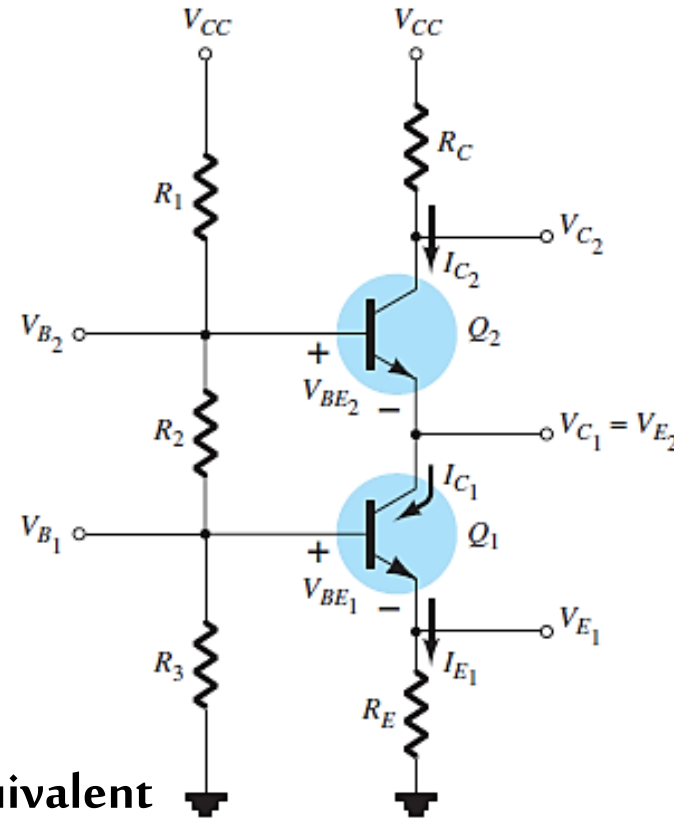
هبوط الجهد على خرج Q_2 :

The Cascode configuration

تشكيل الوصل المتتابع، حيث يوصل مجمع Q1 مع باعث Q2.

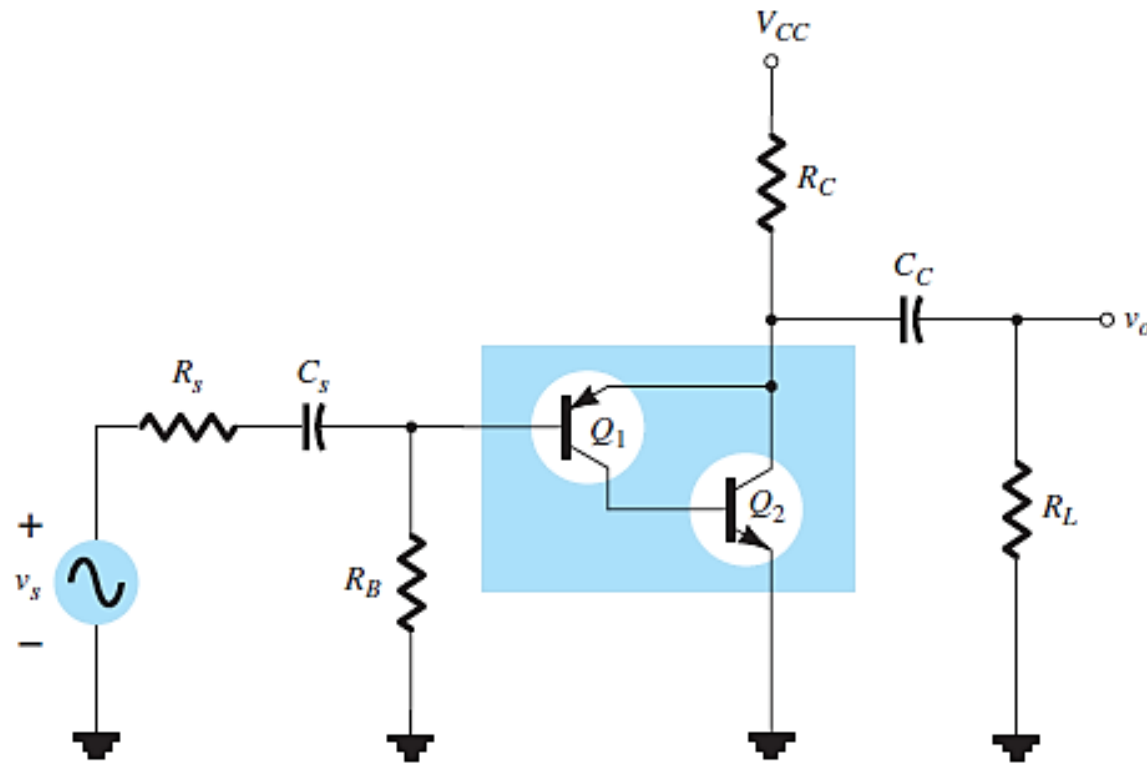


DC equivalent

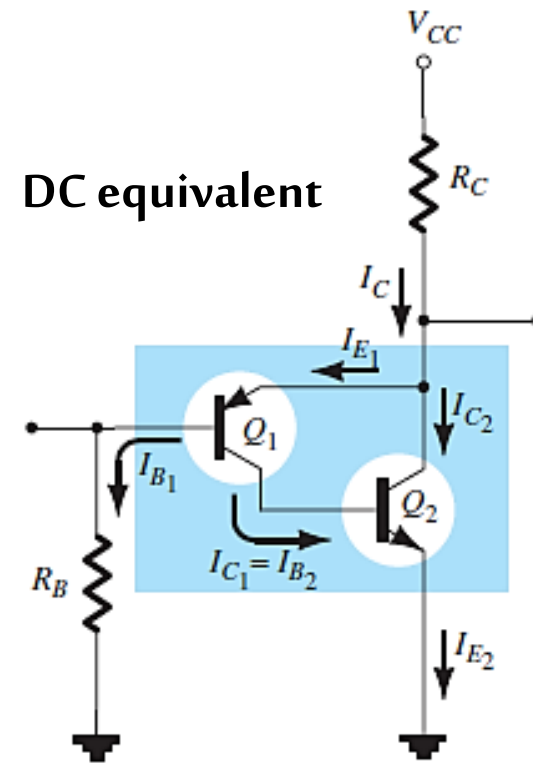


Feedback Pair configuration

تستخدم هذه الوصلة كل من ترانزستور pnp وترانزستور npn، للحصول على ربح عالٍ

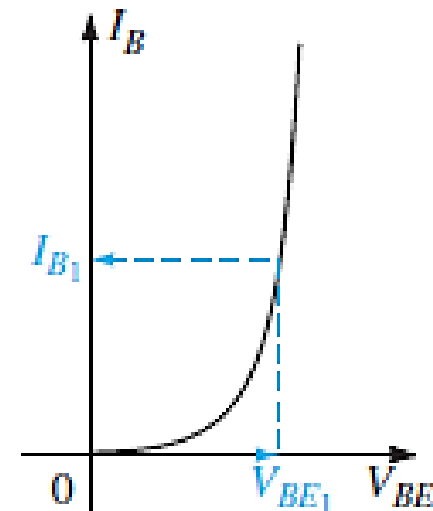
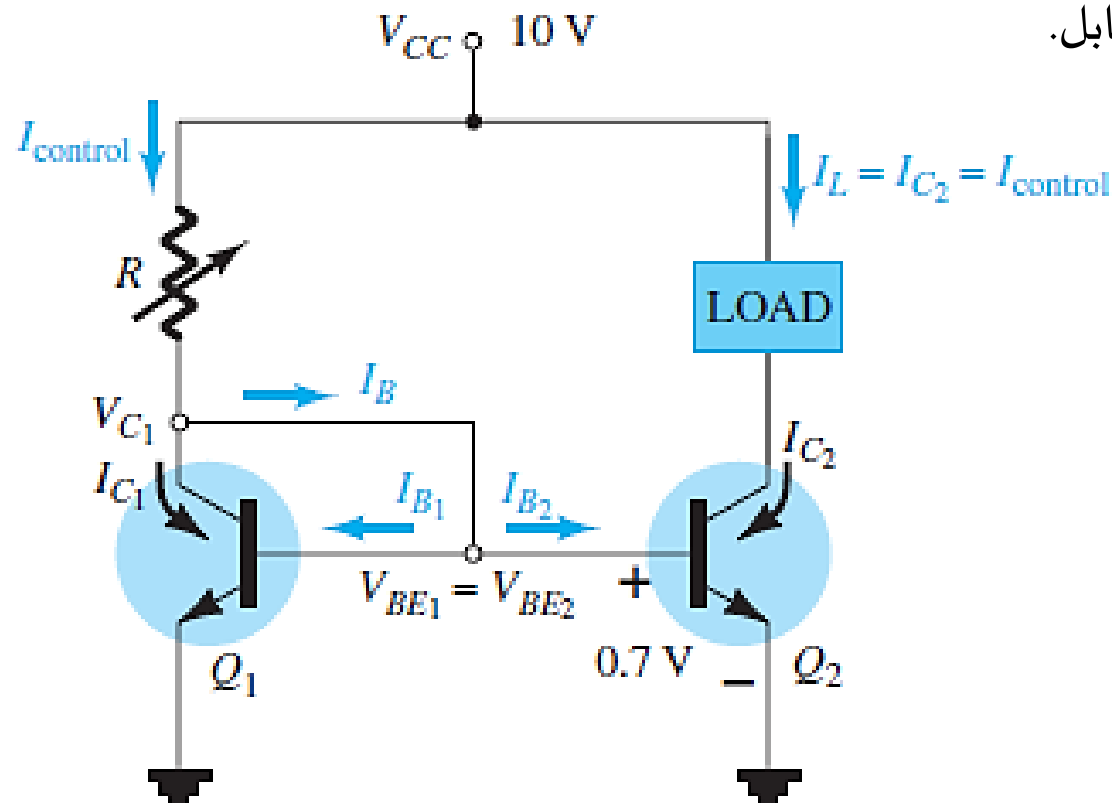


DC equivalent



Current Mirrors

تستخدم هذه الوصلة للحصول على منابع تيار لتغذية دائرة الحمل بالتيار المناسب، حيث يكون التيار المار عبر الحمل مرآة أو انعكاس لتيار تحكم أو تيار مرجعي مار خلال الطرف المقابل.



pnp TRANSISTORS

طرائق تحليل الترانزستور pnp هي ذاتها لتحليل الترانزستور npn، مع الاتجاه المعاكس للتيارات وقطبية هبوطات الجهد.

من أجل الدارة المبينة في الشكل، بتطبيق كيرشوف على حلقة الدخل، ينتج:

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

$$I_E = (\beta + 1)I_B \quad \text{لدينا:}$$

بالتعويض، ينتج

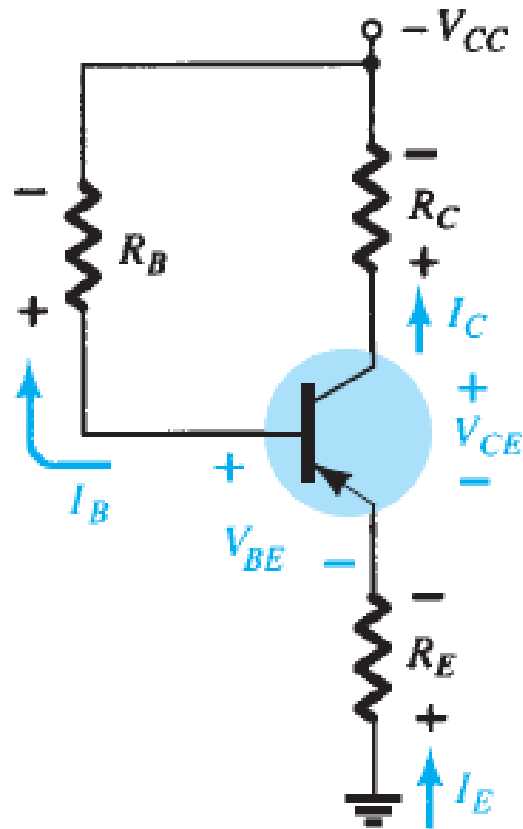
$$I_B = \frac{V_{CC} + V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

بتطبيق كيرشوف للجهد على حلقة الخرج، ينتج:

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

بالإصلاح، ينتج:

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



مسألة محلولة (١)

I_{BQ}
 I_{CQ}
 V_{CEQ}
 V_C
 V_B
 V_E

?

Find the saturation current ($I_{C_{sat}}$)

$$(a) \quad I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{16 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{470 \text{ k}\Omega} = \frac{15.3 \text{ V}}{470 \text{ k}\Omega} = 32.55 \mu\text{A}$$

$$(b) \quad I_{CQ} = \beta I_{BQ} = (90)(32.55 \mu\text{A}) = 2.93 \text{ mA}$$

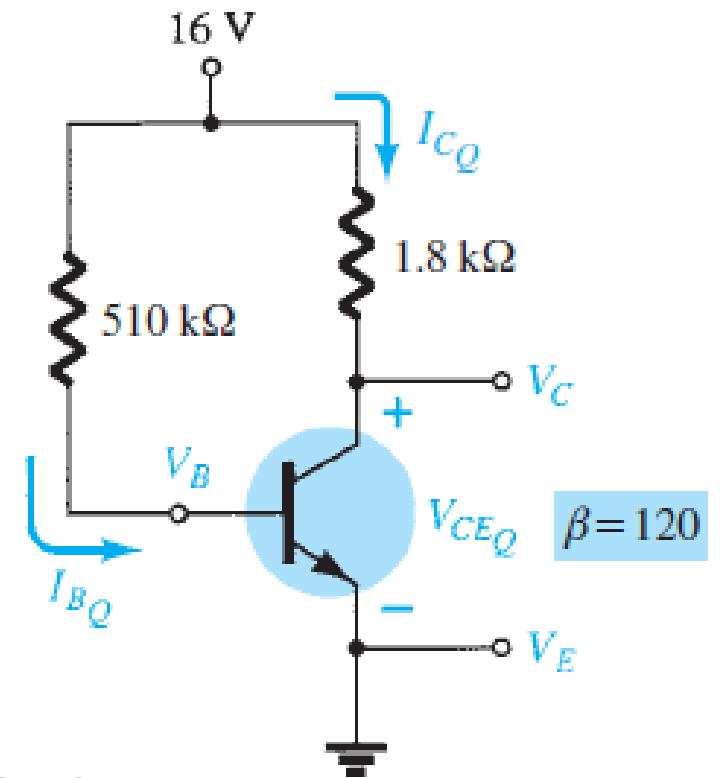
$$(c) \quad V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_C = 16 \text{ V} - (2.93 \text{ mA})(2.7 \text{ k}\Omega) = 8.09 \text{ V}$$

$$(d) \quad V_C = V_{CEQ} = 8.09 \text{ V}$$

$$(e) \quad V_B = V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$(f) \quad V_E = 0 \text{ V}$$

$$I_{C_{sat}} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{16 \text{ V}}{2.7 \text{ k}\Omega} = 5.93 \text{ mA}$$



مسألة محلولة (٢)

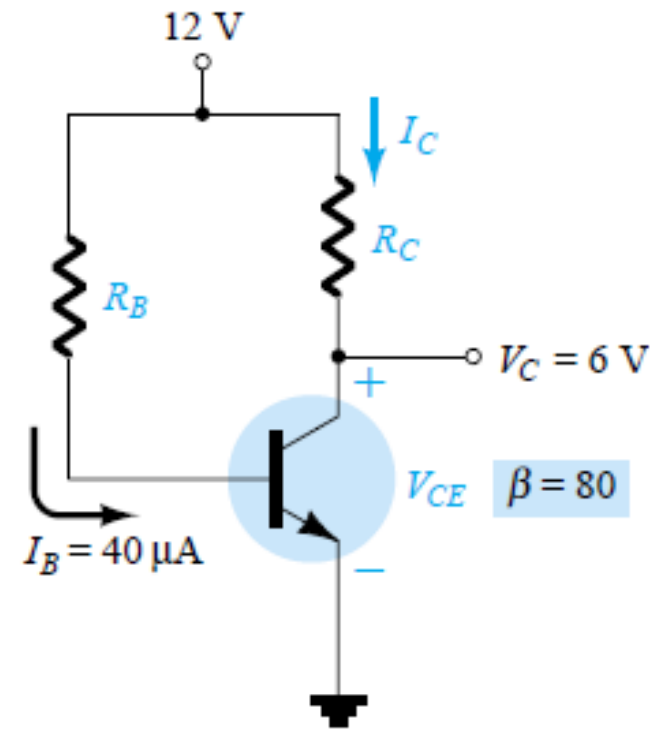
- (a) I_C .
 (b) R_C .
 (c) R_B .
 (d) V_{CE} .
- ?

(a) $I_C = \beta I_B = 80(40 \mu\text{A}) = 3.2 \text{ mA}$

(b) $R_C = \frac{V_{R_C}}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = \frac{12 \text{ V} - 6 \text{ V}}{3.2 \text{ mA}} = \frac{6 \text{ V}}{3.2 \text{ mA}} = 1.875 \text{ k}\Omega$

(c) $R_B = \frac{V_{R_B}}{I_B} = \frac{12 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{40 \mu\text{A}} = \frac{11.3 \text{ V}}{40 \mu\text{A}} = 282.5 \text{ k}\Omega$

(d) $V_{CE} = V_C = 6 \text{ V}$



مسألة محلولة (٣)

- (a) I_C .
- (b) V_{CC} ?
- (c) β .
- (d) R_B .

$$(a) \quad I_C = I_E - I_B = 4 \text{ mA} - 20 \mu\text{A} = 3.98 \text{ mA} \cong 4 \text{ mA}$$

$$(b) \quad V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C = 7.2 \text{ V} + (3.98 \text{ mA})(2.2 \text{ k}\Omega) \\ = 15.96 \text{ V} \cong 16 \text{ V}$$

$$(c) \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3.98 \text{ mA}}{20 \mu\text{A}} = 199 \cong 200$$

$$(d) \quad R_B = \frac{V_{R_B}}{I_B} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{15.96 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{20 \mu\text{A}} = 763 \text{ k}\Omega$$

