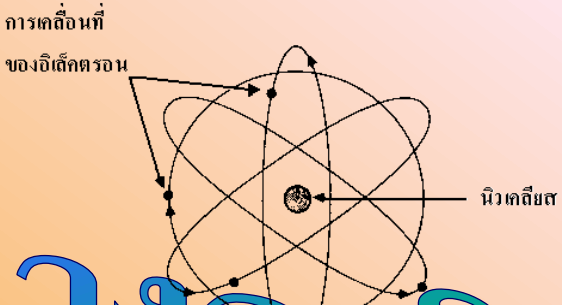
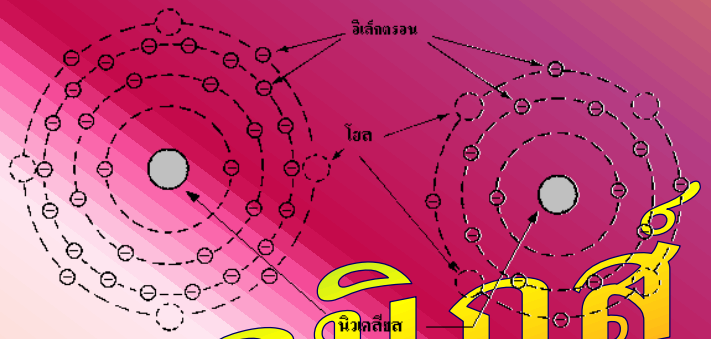
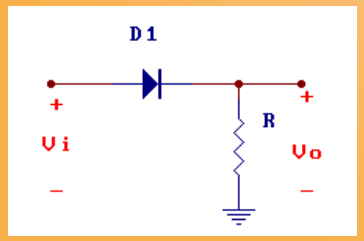
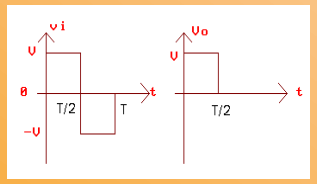


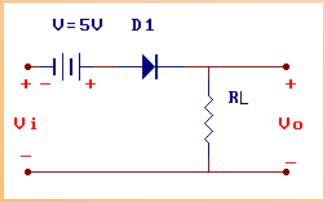



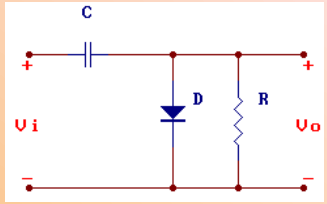

# วงจรอิเล็กทรอนิกส์

## (3105-1003)



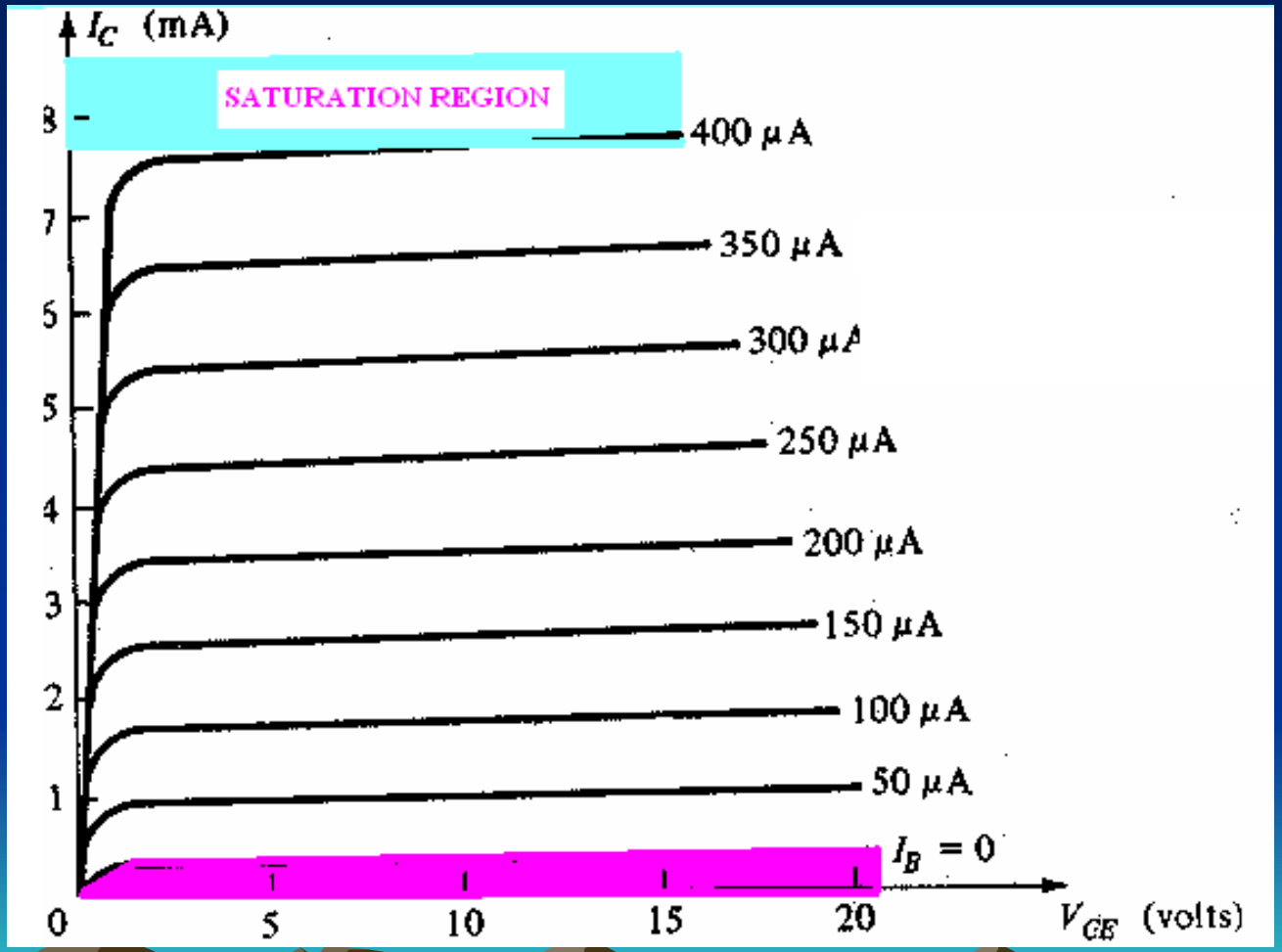
# การให้ไบแอสทรานซิสเตอร์

# การวิวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์โดยใช้เส้นโหลดไลน์

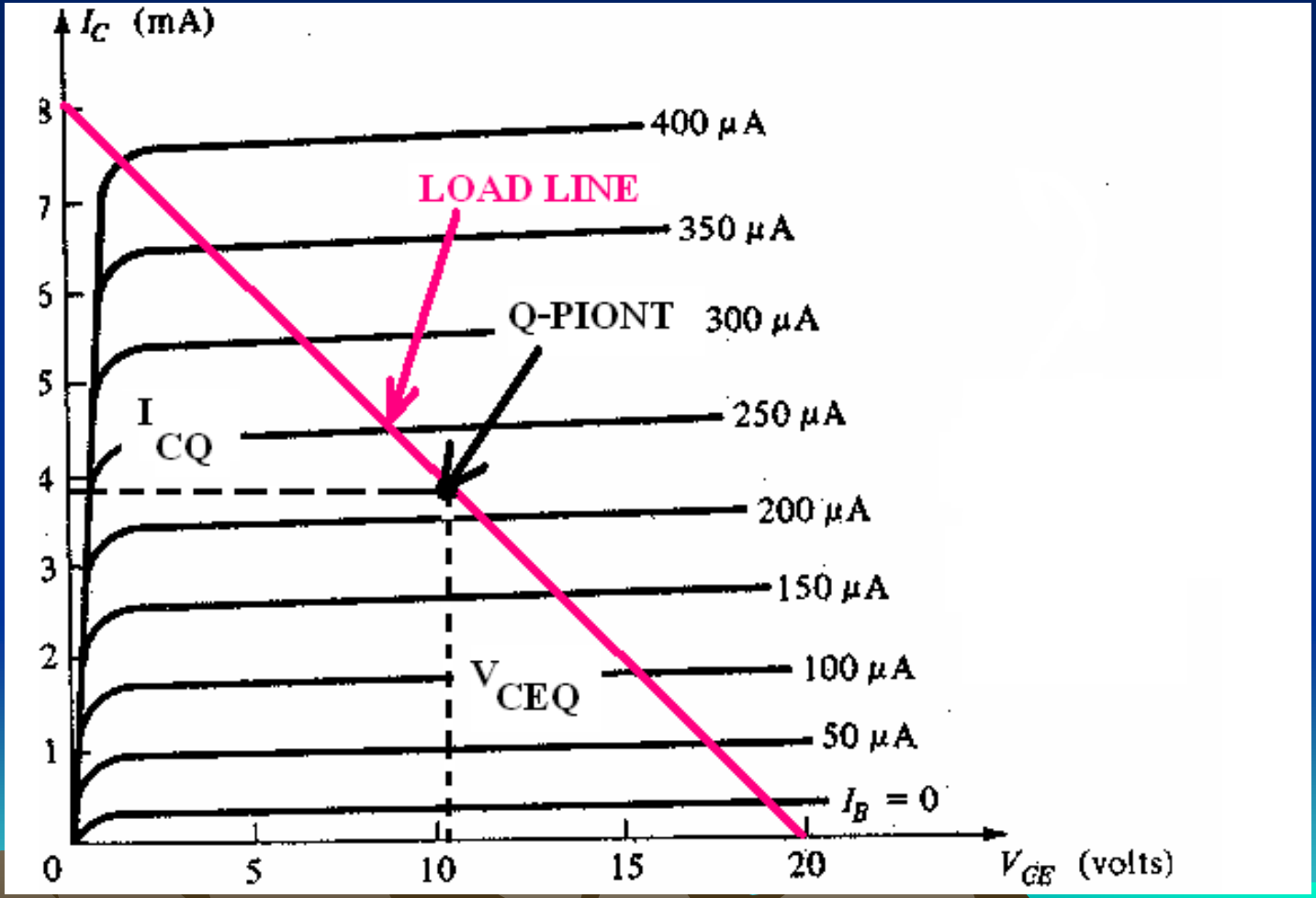
# การวิวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์โดยใช้เส้นโหลดไลน์

กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่เราได้ศึกษาคู่มือทรานซิสเตอร์จากบริษัทผู้ผลิต เราสามารถที่จะหาเส้นโหลดไลน์ และคำนวณหาจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ หรือจุด Q-Point ของทรานซิสเตอร์ เพื่อหาค่า $V_{CEQ}$ และ ค่า $I_{CQ}$ ค่าดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการออกแบบวงจรทรานซิสเตอร์ได้

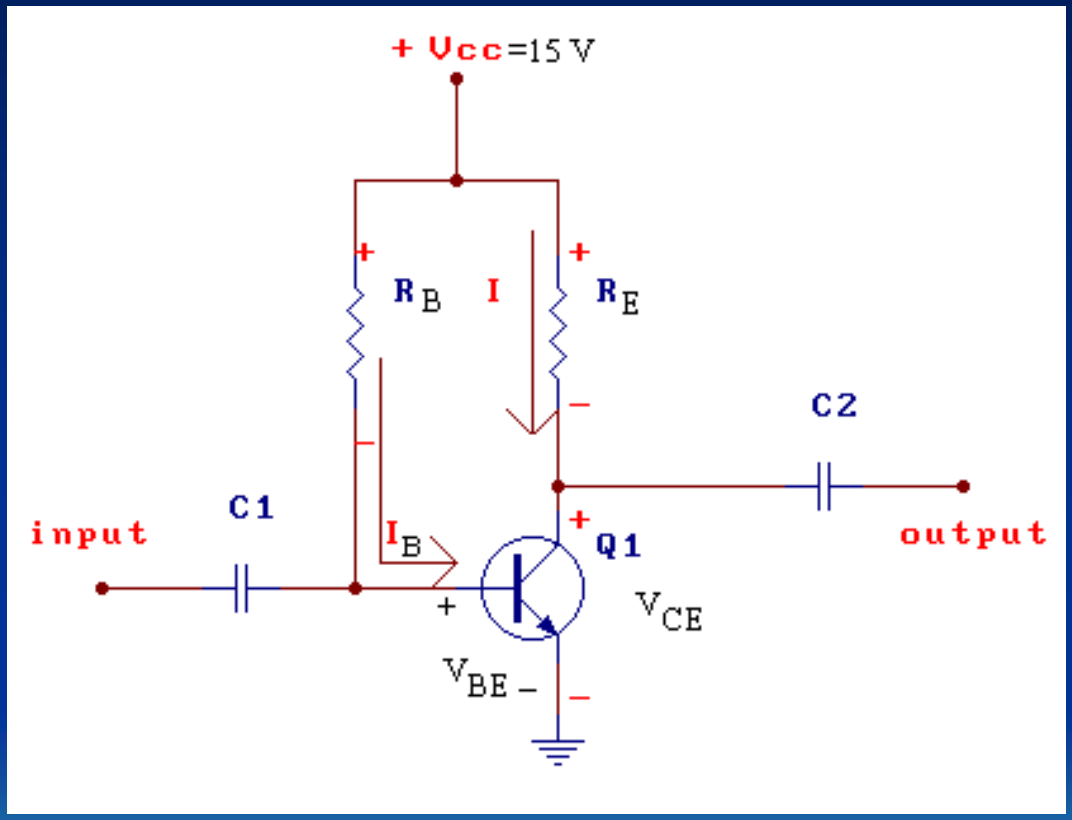
# กราฟคุณสมบัติเฉพาะของทรานซิสเตอร์



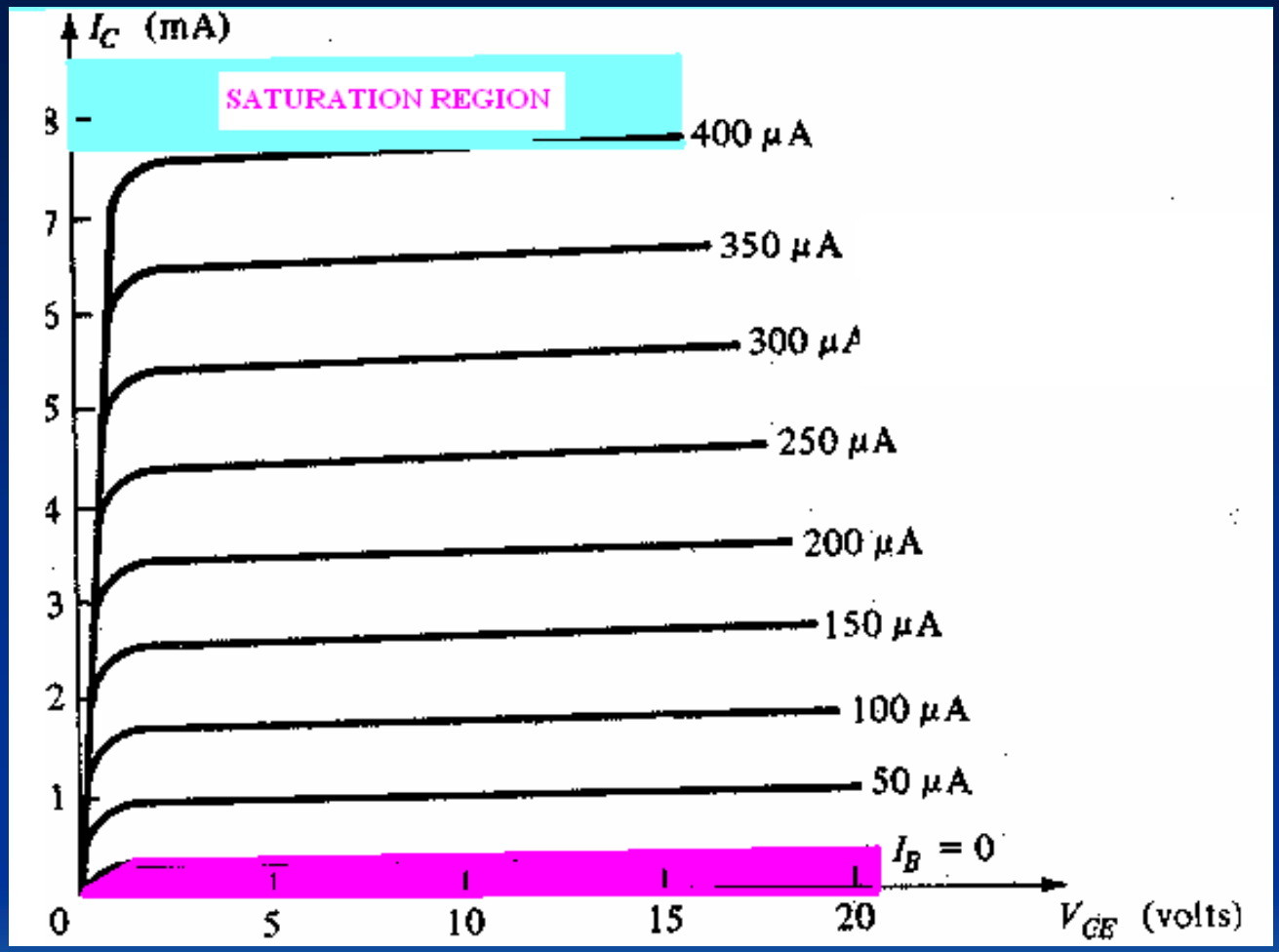
# กราฟแสดงเส้นโหลดไลน์และจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์



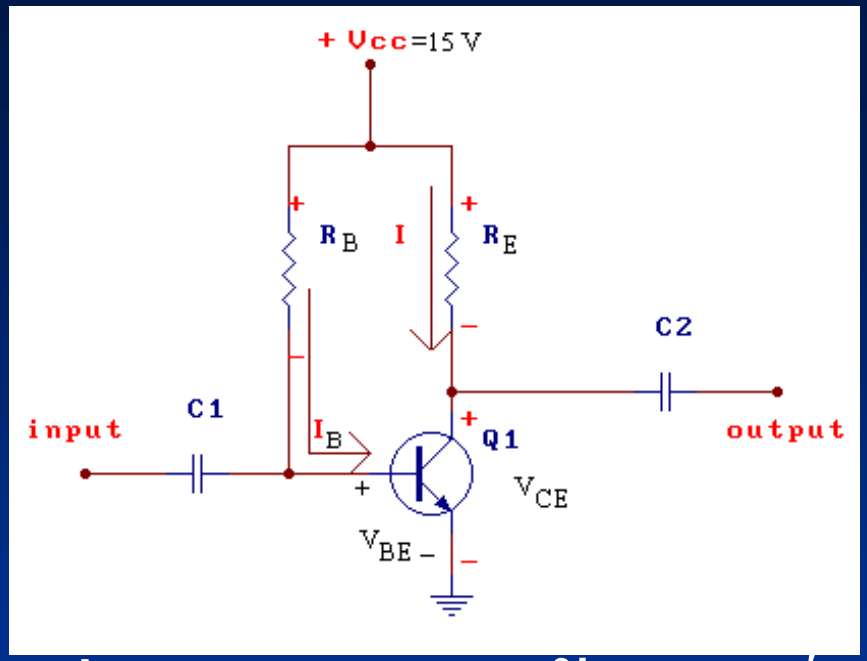
ลำดับขั้นการหาเส้นโหลดไลน์ (Load Line) จะหาได้ดังต่อไปนี้




1.ศึกษาวงจรและการให้ไบแอสแบบดีซี




# 2. ศึกษากราฟคุณสมบัติทรานซิสเตอร์

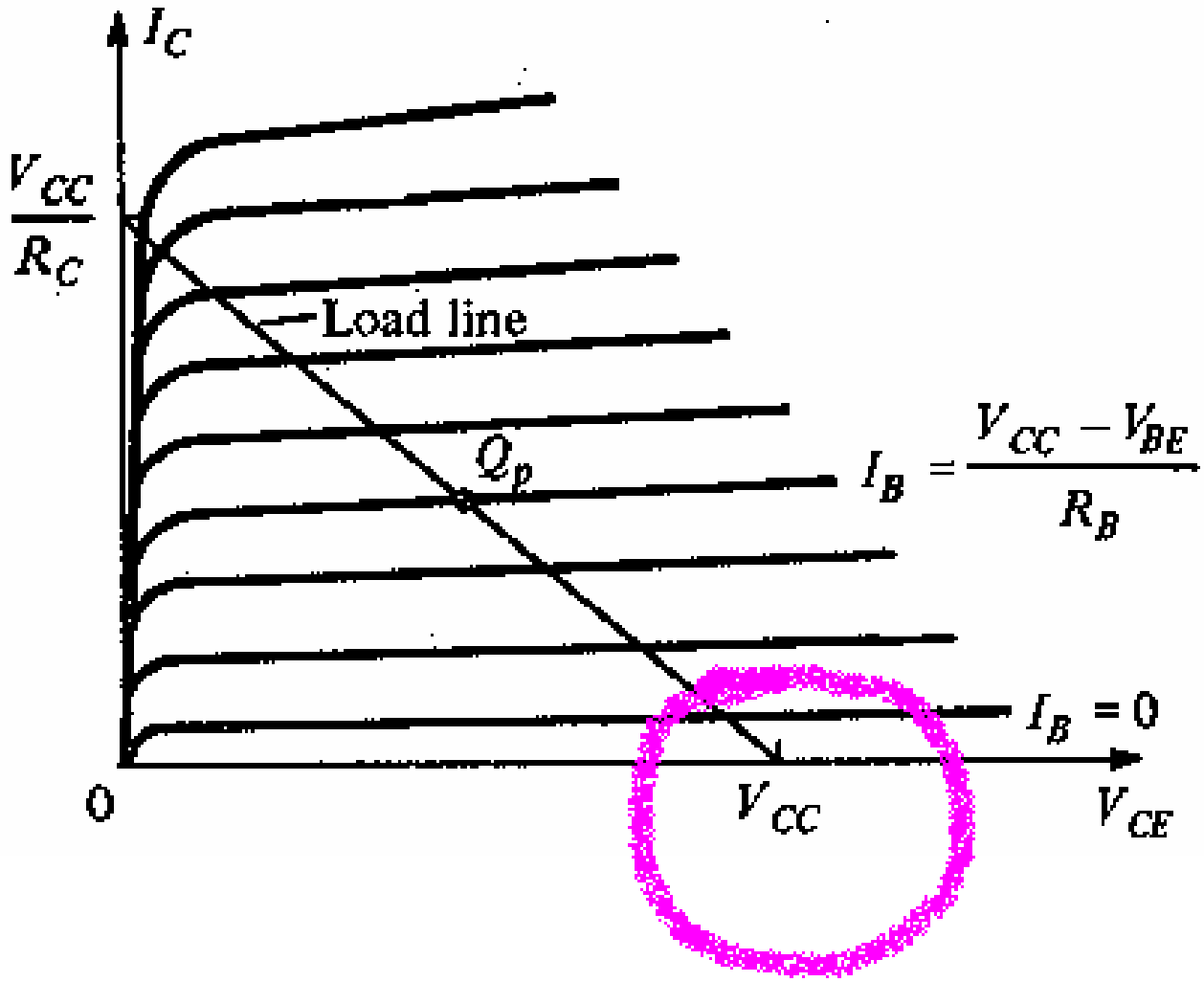



สามารถเขียนสมการทางด้านเอาต์พุตได้ดังนี้

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \qquad (1)$$

จากสมการที่ 1 ถ้าเราให้ค่า $I_C = 0$ จะได้

$$V_{CE} = V_{CC}$$

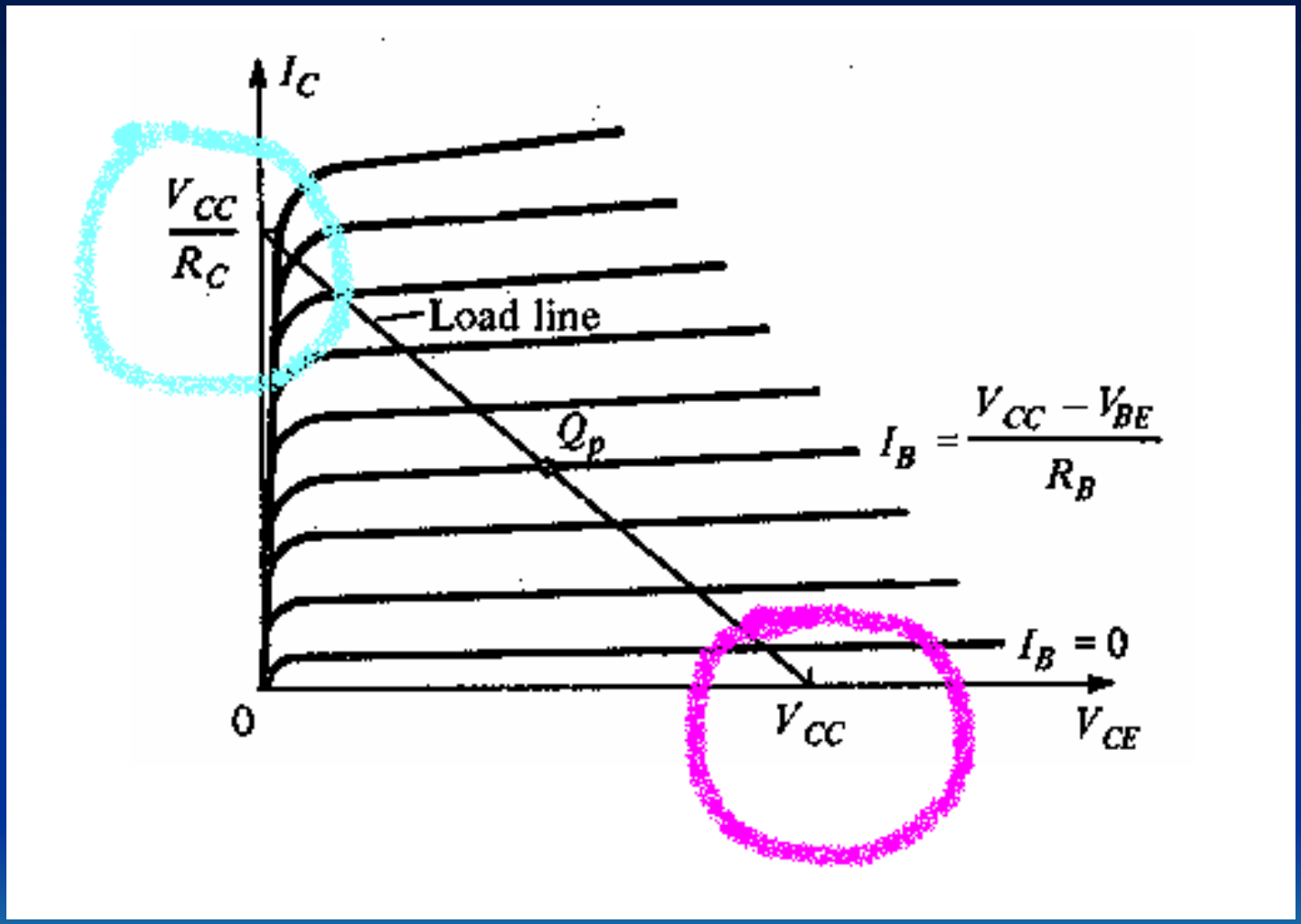

$I_C$
$\frac{V_{CC}}{R_C}$
Load line
$Q_p$
$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$
$I_B = 0$
0
$V_{CC}$
$V_{CE}$

หาค่ากระแส $I_C$ ได้ดังนี้

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \qquad (1)$$

และจากสมการที่ 1 ถ้าให้ค่า $V_{CE} = 0$ จะได้

$$I_C = V_{CC} / R_C$$

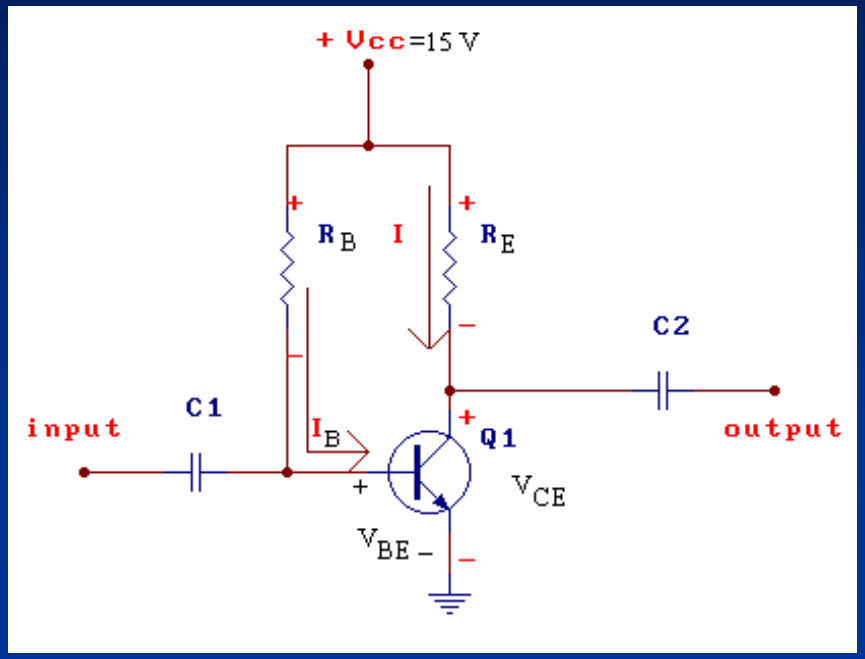

$I_C$
$\frac{V_{CC}}{R_C}$
Load line
$Q_p$
$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$
$I_B = 0$
0
$V_{CC}$
$V_{CE}$

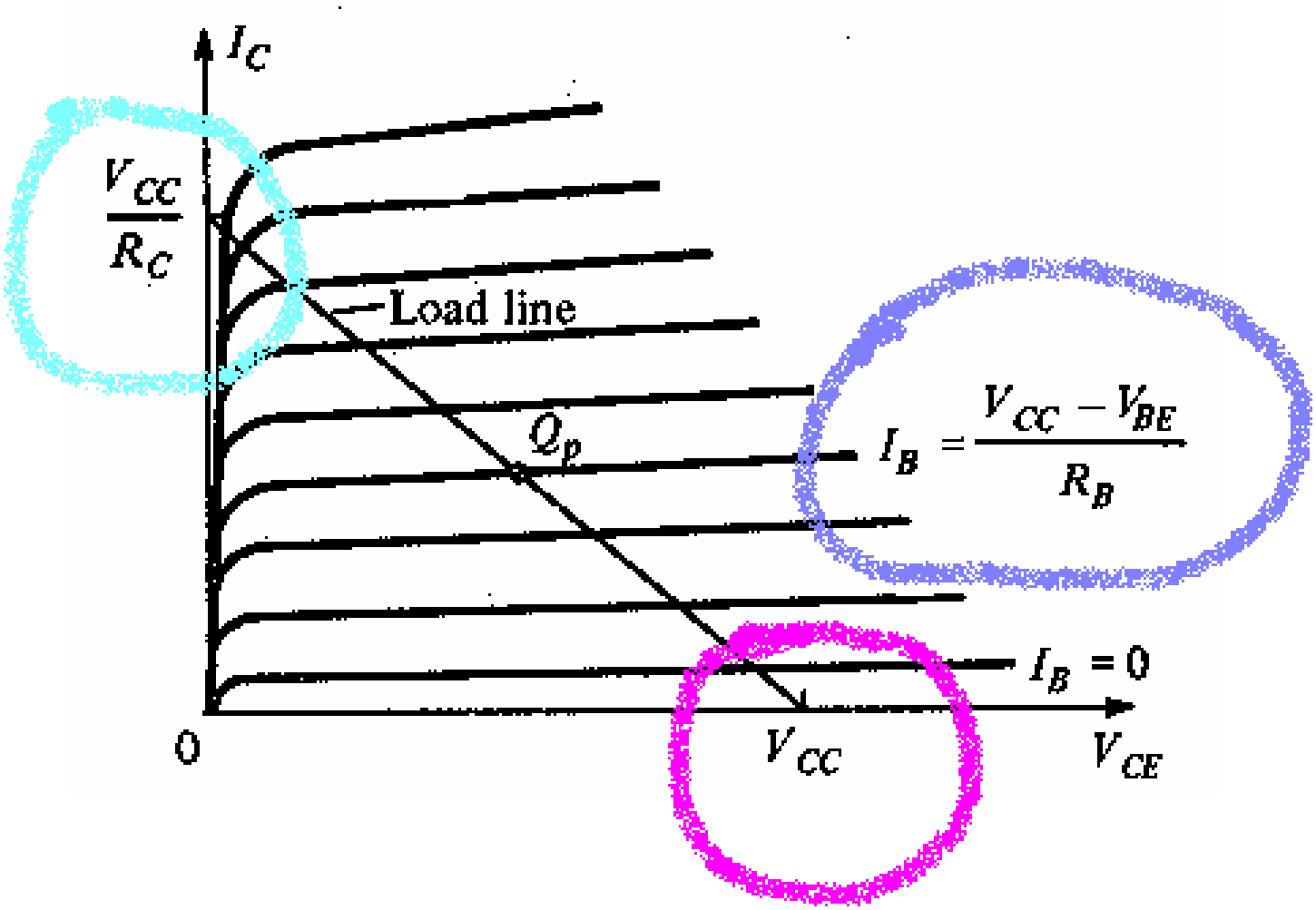
จากวงจรทางด้านอินพุตสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

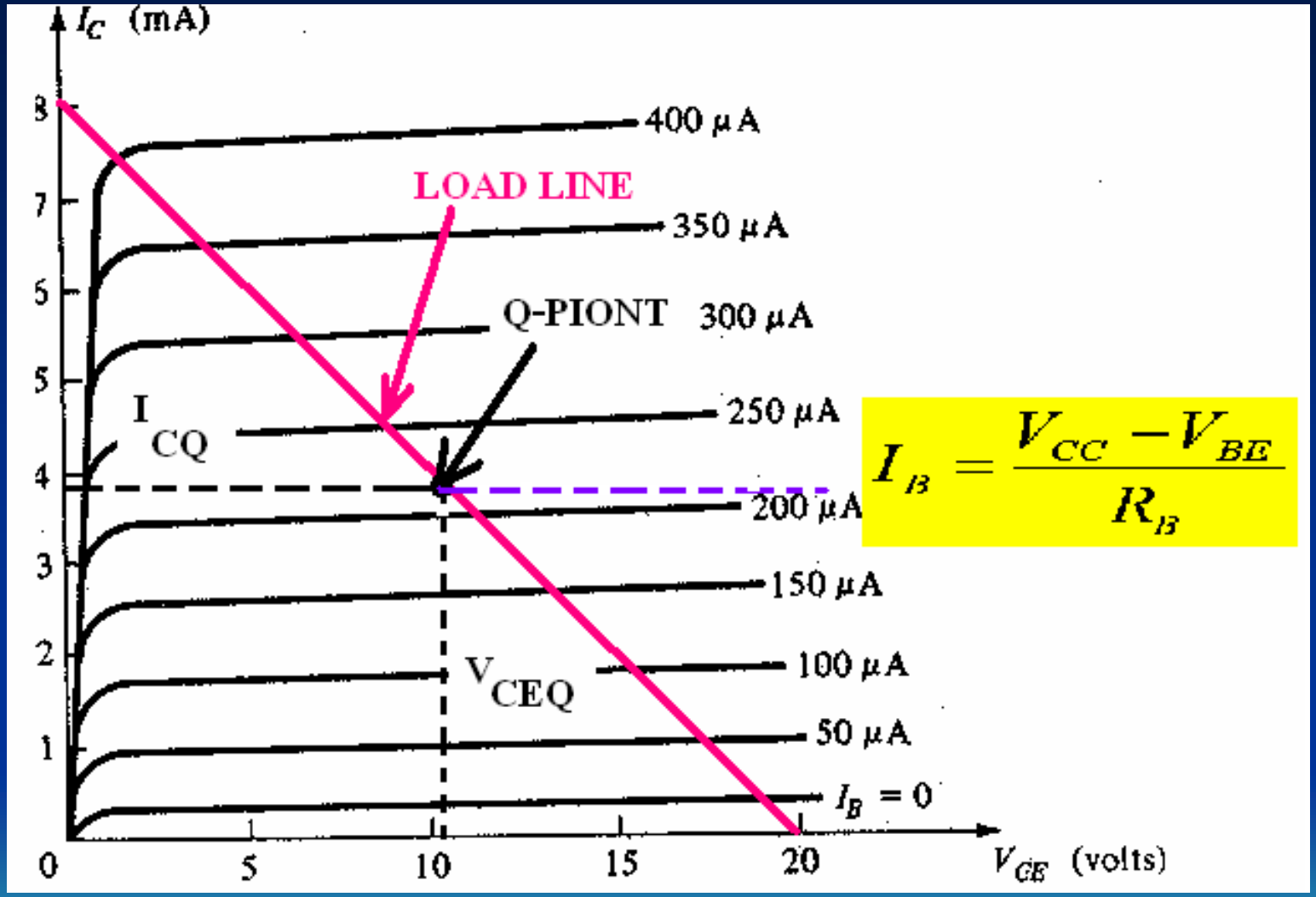
$$V_{CC} - I_B R_B + V_{BE} = 0$$

จะได้

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




$I_C$
$\frac{V_{CC}}{R_C}$
Load line
$Q_p$
$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$
$I_B = 0$
0
$V_{CC}$
$V_{CE}$


$I_C$ (mA)
400 μA
LOAD LINE
350 μA
Q-PIONT
300 μA
250 μA
$I_{CQ}$
200 μA
150 μA
$V_{CEQ}$
100 μA
50 μA
$I_B = 0$
0
5
10
15
20
$V_{CE}$ (volts)
$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$

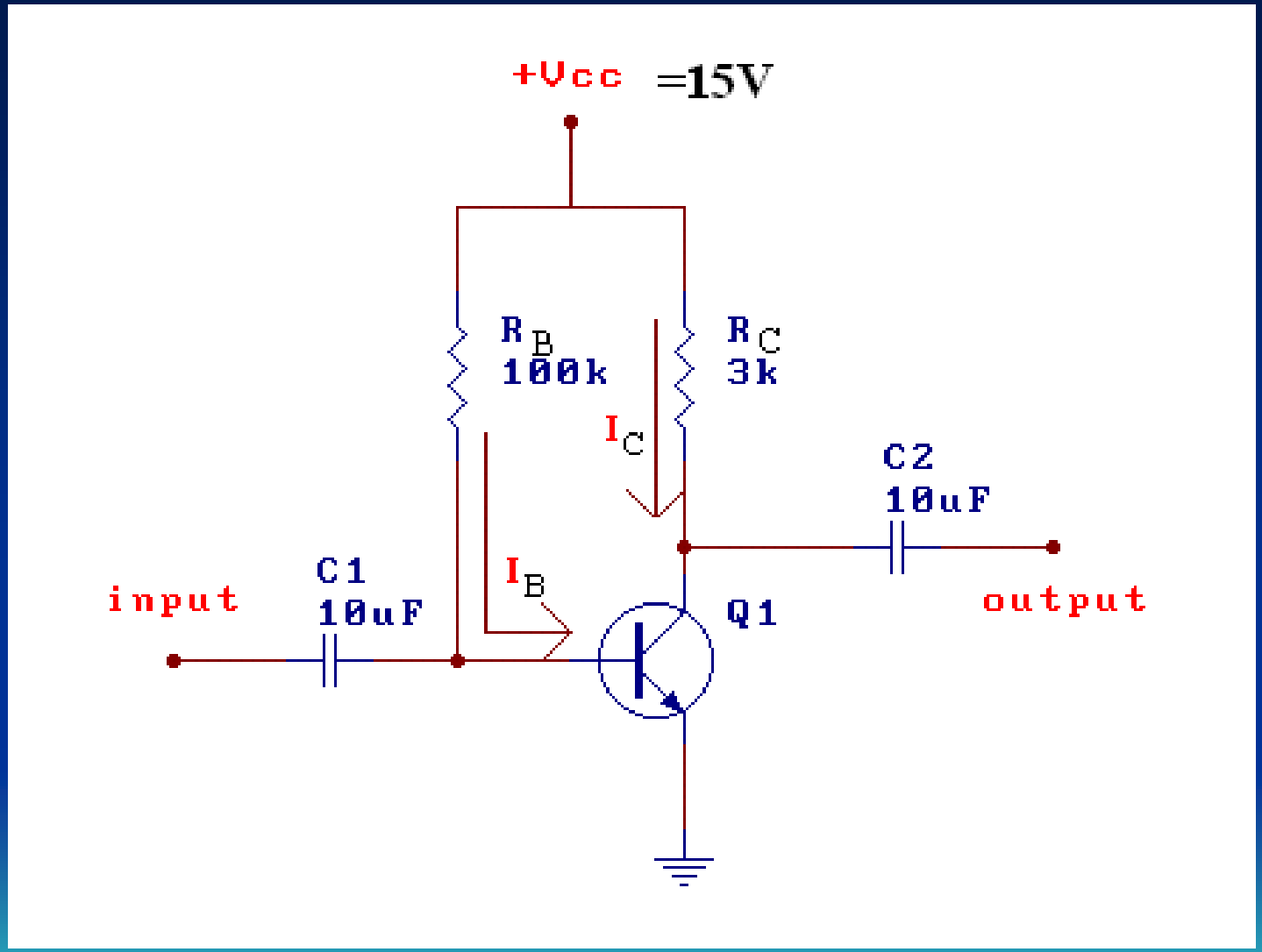
**ตัวอย่างที่ 5.7**

จากวงจรและกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ดังแสดงในรูป

จงหา

(ก) ดีซีโหลดไลน์ และหาจุด Q - Point

(ข) หา $V_{CE}$ และ $I_C$ จากรูปกราฟ


+Vcc =15V
RB
100k
RC
3k
IC
C2
10uF
C1
10uF
IB
input
Q1
output

วิธีทำ

(ก) เขียนเส้นดีซีโหลดไลน์ ดังนี้

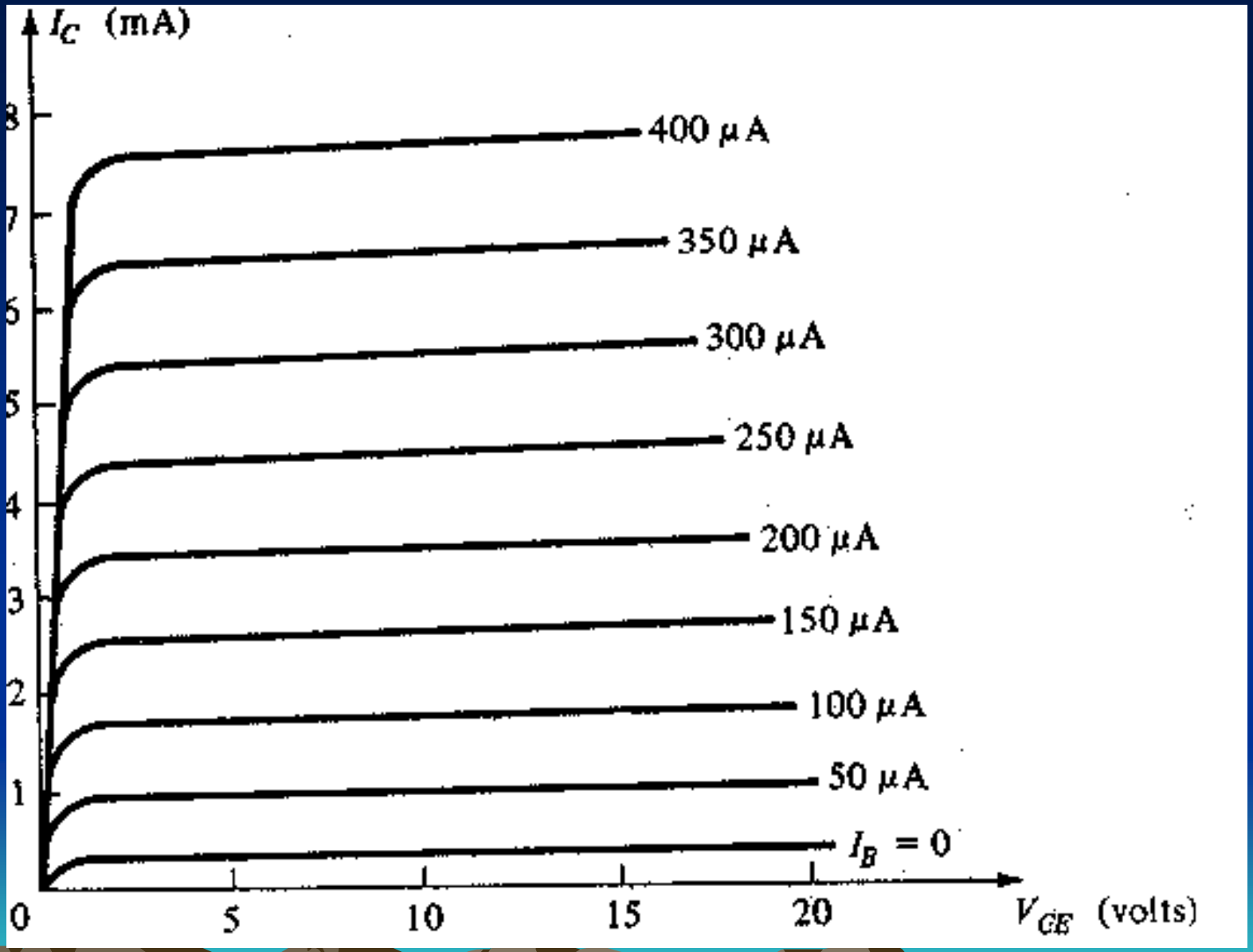
จากสมการ

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

(1) เมื่อ $I_C = 0$, $V_{CE} = V_{CC} = 15$ V

(2) เมื่อ $V_{CE} = 0$, $I_C = V_{CC} / R_C = 15 \text{ V} / 3 \text{ k}\Omega$

$= 5$ mA

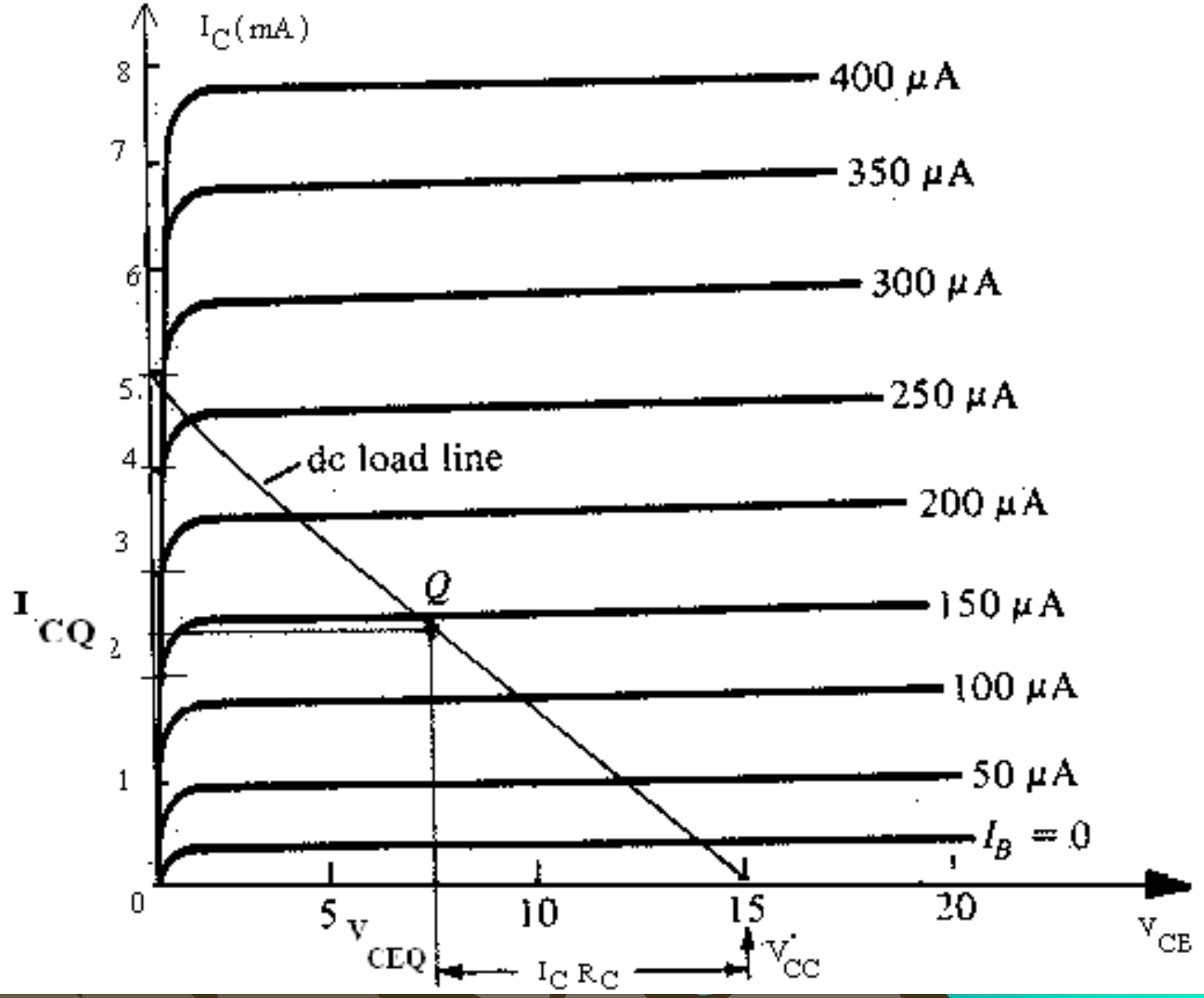

$I_C$ (mA)
8
7
6
5
4
3
2
1
400 μA
350 μA
300 μA
250 μA
200 μA
150 μA
100 μA
50 μA
$I_B = 0$
0
5
10
15
20
$V_{CE}$ (volts)

คำนวณหากระแสเบส ($I_B$) ได้จากสูตร

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

$$= \frac{15V - 0.7V}{100K\Omega}$$

= 143 μA


$I_C$(mA)
8
7
6
5
4
3
2
1
0
400 μA
350 μA
300 μA
250 μA
200 μA
150 μA
100 μA
50 μA
$I_B = 0$
dc load line
Q
$I_{CQ}$
5
10
15
20
$V_{CE}$
$V_{CEQ}$
$I_C R_C$
$V_{CC}$

# การออกแบบวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์

ในการออกแบบขยายวงจรด้วยทรานซิส เตอร์ต้องผ่านการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ค่ากระแสและแรงดันของทรานซิสเตอร์ที่เราจะนำมาออกแบบในคู่มือ หรือ Data Sheet
(ดูในภาคผนวก ก)

# การออกแบบวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์

2. กราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์

3. สูตรและวิธีการหาสูตรของวงจรขยายแต่ละแบบ

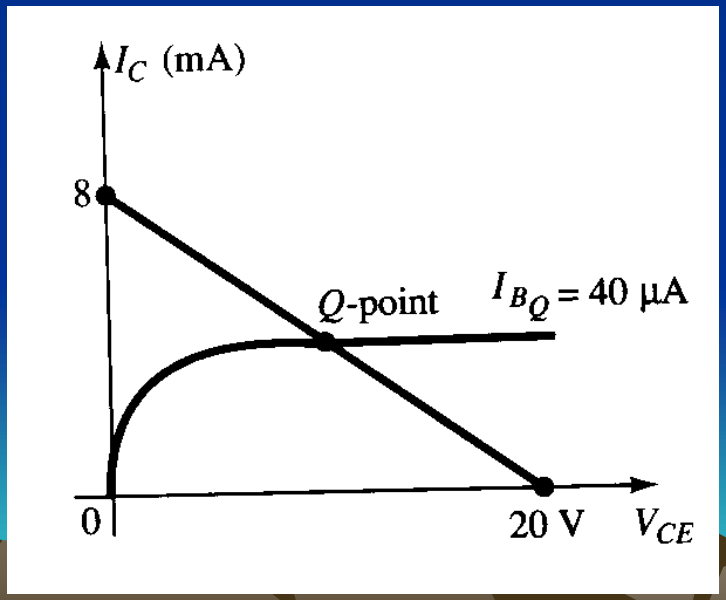
5. ข้อกำหนดต่างๆในการออกแบบแต่ละวงจร

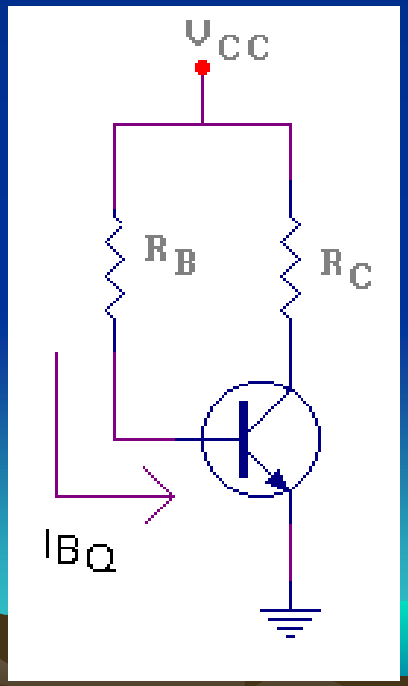
# การออกแบบวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์

6. ค่ามาตรฐานของอุปกรณ์ เช่น ค่าตัวตาน
   ทาน ตัวเก็บประจุ เป็นต้น

ตัวอย่างที่ **5.8**

จากกราฟคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ดังแสดงในรูป (ก) ให้หาค่า $V_{CC}$ $R_B$ และ $R_C$ สำหรับวงจร Fixed-Bias ดังแสดงรูปวงจร (ข)



ตัวอย่างที่ **5.8**

**วิธีทำ**

จากเส้นโหลดไลน์ (Load Line) กำหนดให้

$$V_{CC} = 20$$

หาค่าความต้านทานจากสูตร RC จากสูตร

$$I_C = \left.\frac{V_{CC}}{R_C}\right|_{V_{CE}=0V}$$

## ตัวอย่างที่ 5.8

จะได้

$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{20V}{8mA} = 2.5K\Omega$$

หาค่าความต้านทาน $R_B$

จากสูตร

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

## ตัวอย่างที่ 5.8

จะได้

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

$$= \frac{20V - 0.7V}{40\mu A}$$

$$= \frac{19.3V}{40\mu A} = 482.5k\Omega$$

ตอบ ใช้ค่า Standard Resistor ซึ่งดูได้ จาก ภาคผนวก ก ได้ดังนี้

$$R_C = 2.4\ k\Omega$$
$$R_B = 470\ k\Omega$$

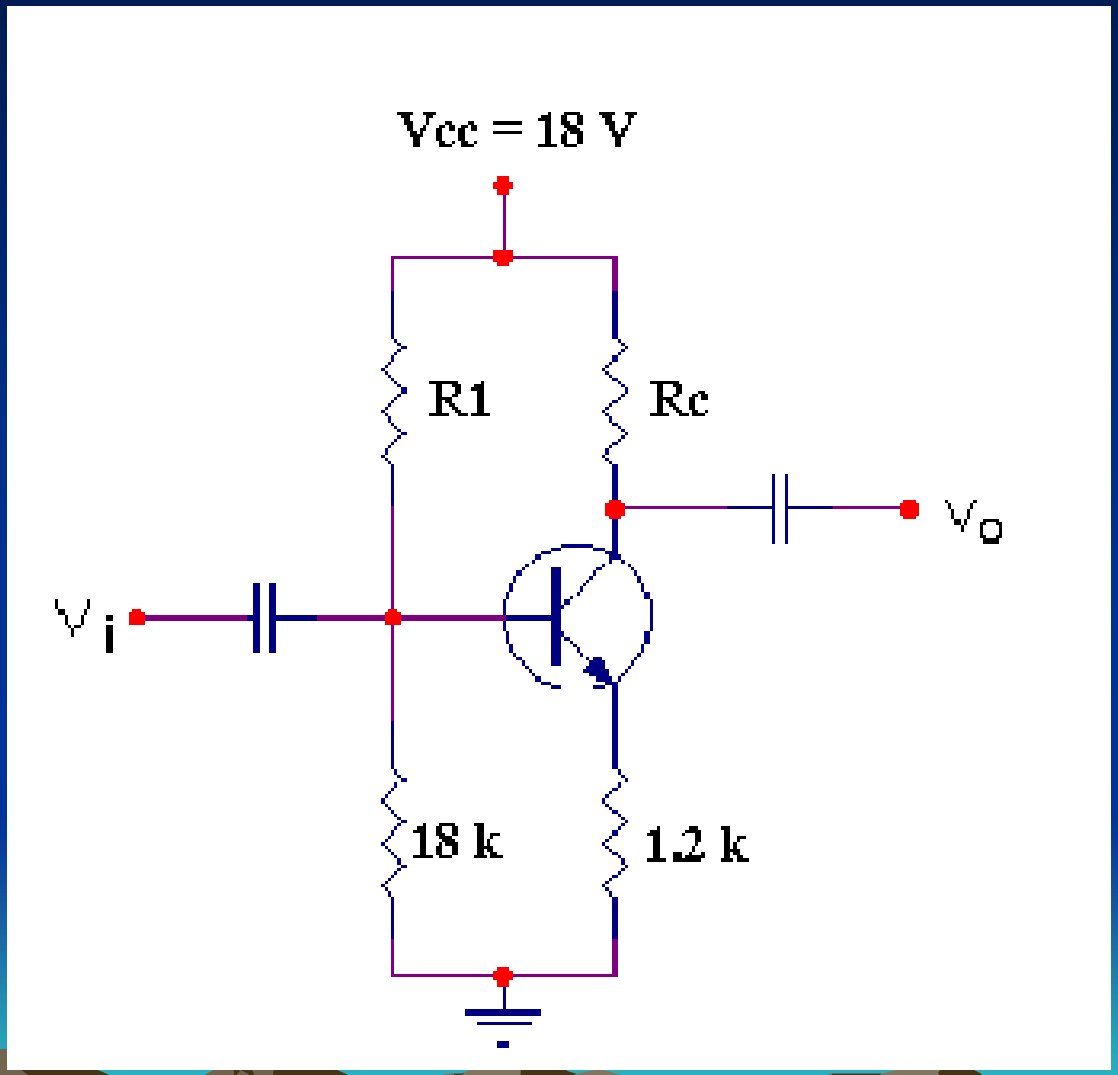
เมื่อใช้ความต้านทานมาตรฐาน แล้วทำให้

$$I_B = 41.0\ \mu A$$

ซึ่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน 0.5%

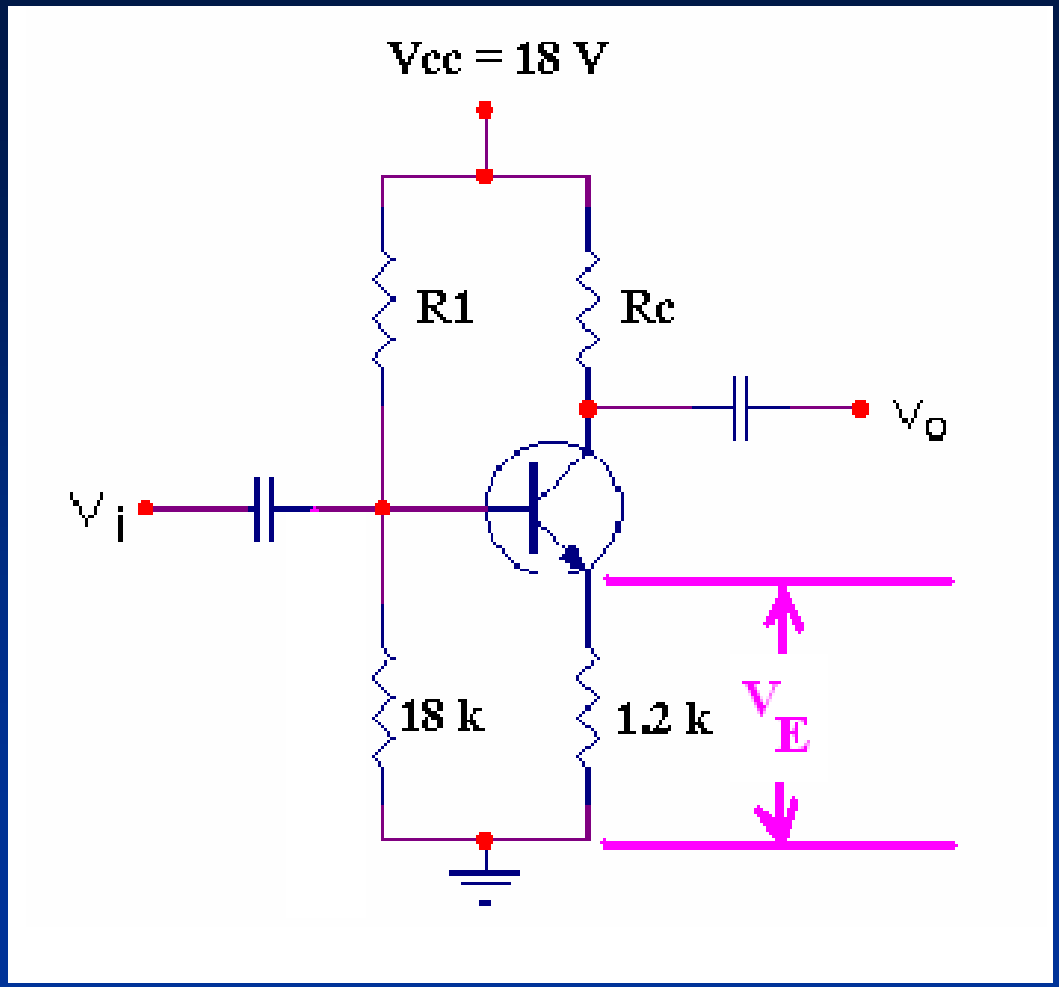
## ตัวอย่างที่ 5.9

กำหนดให้ $I_{CQ} = 2\ mA$ และ $V_{CEQ} = 9V$ ให้ค่า $R_1$ และ $R_C$ ดังแสดงในรูป


Vcc = 18 V
R1
Rc
Vo
Vi
18 k
1.2 k

## ตัวอย่างที่ 5.9

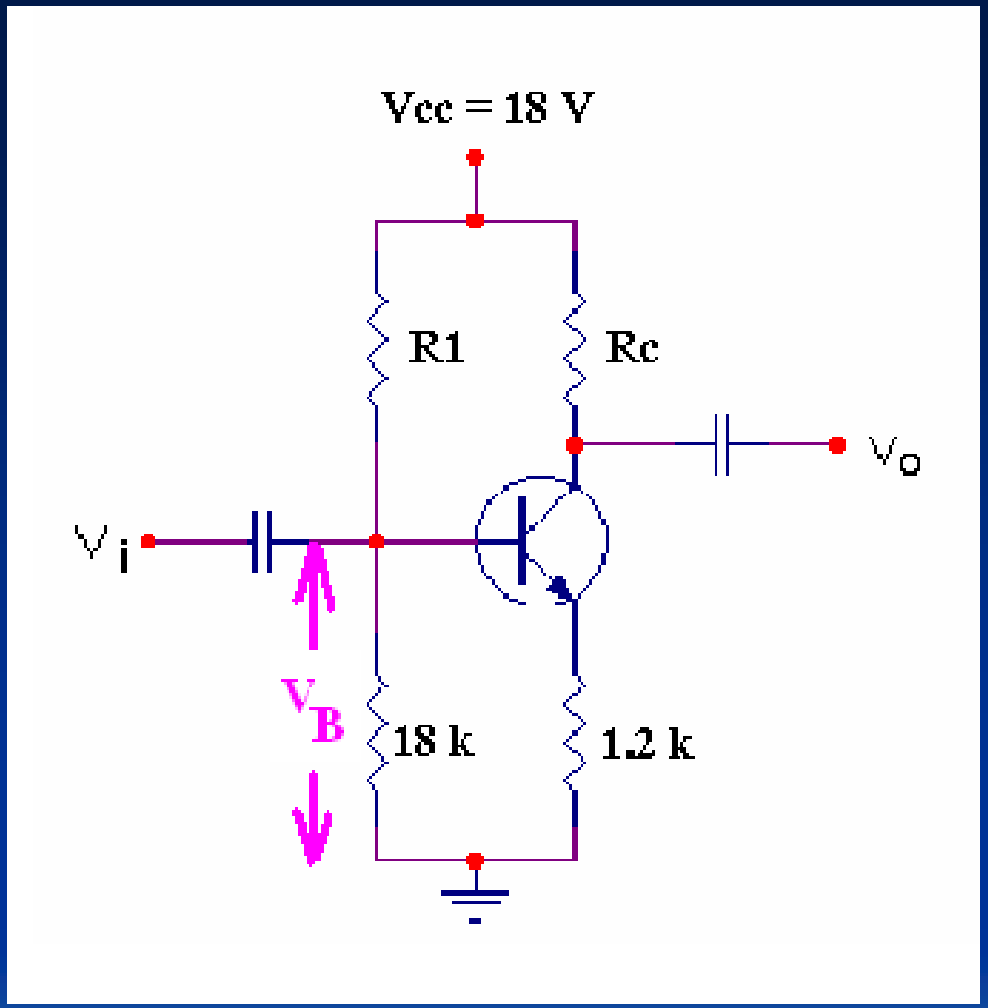
วิธีทำ



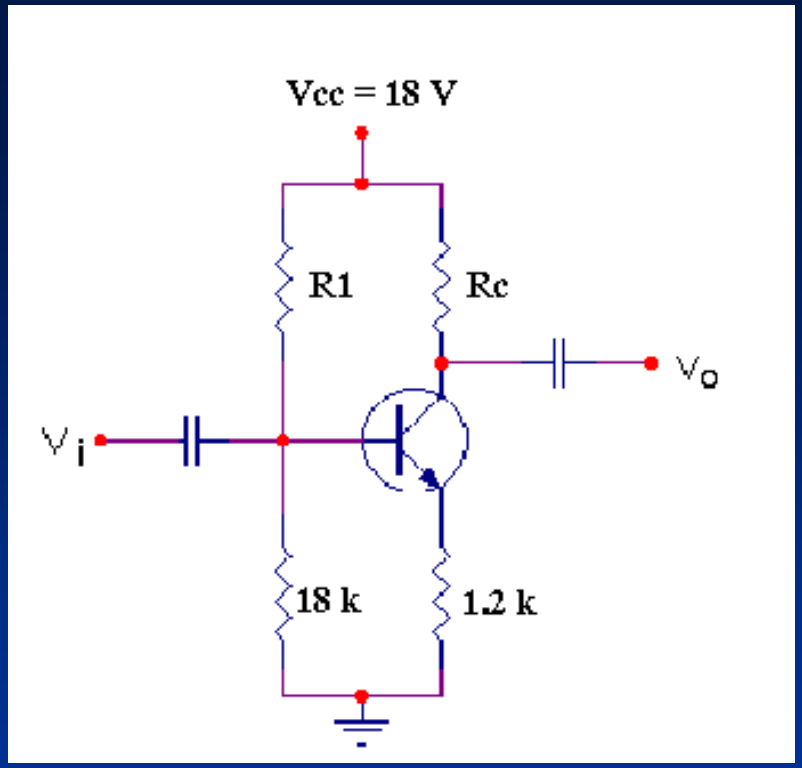

เมื่อ

$$V_E = I_E R_E \cong I_C R_E$$
$$= (2\text{mA})(1.2\text{k}\Omega) = 2.4\ \text{V}$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$
$$= 0.7\ V + 2.4\ V$$
$$= 3.1\ V$$



# ตัวอย่างที่ 5.9




หาค่าความต้านทาน R1 ได้จากสูตร

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{cc} = \frac{18k\Omega}{R_1 + 18k\Omega} \times 18V = 3.1V$$

$$\frac{18k\Omega}{R_1 + 18k\Omega} \times 18V = 3.1V$$

$18k\Omega(18V) = 3.1(R1+18k\Omega)$

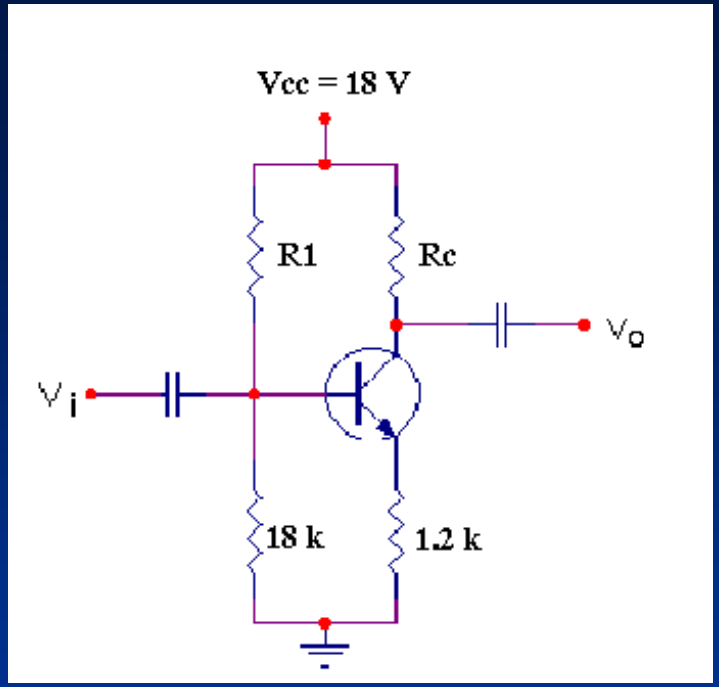
$324\ k\Omega = 3.1\ R_1 + 55.8\ k\Omega$

$3.1R_1 = 324\ k\Omega - 55.8\ k\Omega$

$3.1\ R_1 = 268.2\ k\Omega$

$$R1 = \frac{268.2K\Omega}{3.1} = 86.52K\Omega$$

ตัวอย่างที่ **5.9**




หาค่าความต้านทาน $R_C$ ได้จากสูตร

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C}$$

## ตัวอย่างที่ 5.9

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C}$$

เมื่อ $V_C = V_{CE} + V_E$

$= 9\ V + 2.4\ V$

$= 11.4\ V$

## ตัวอย่างที่ 5.9

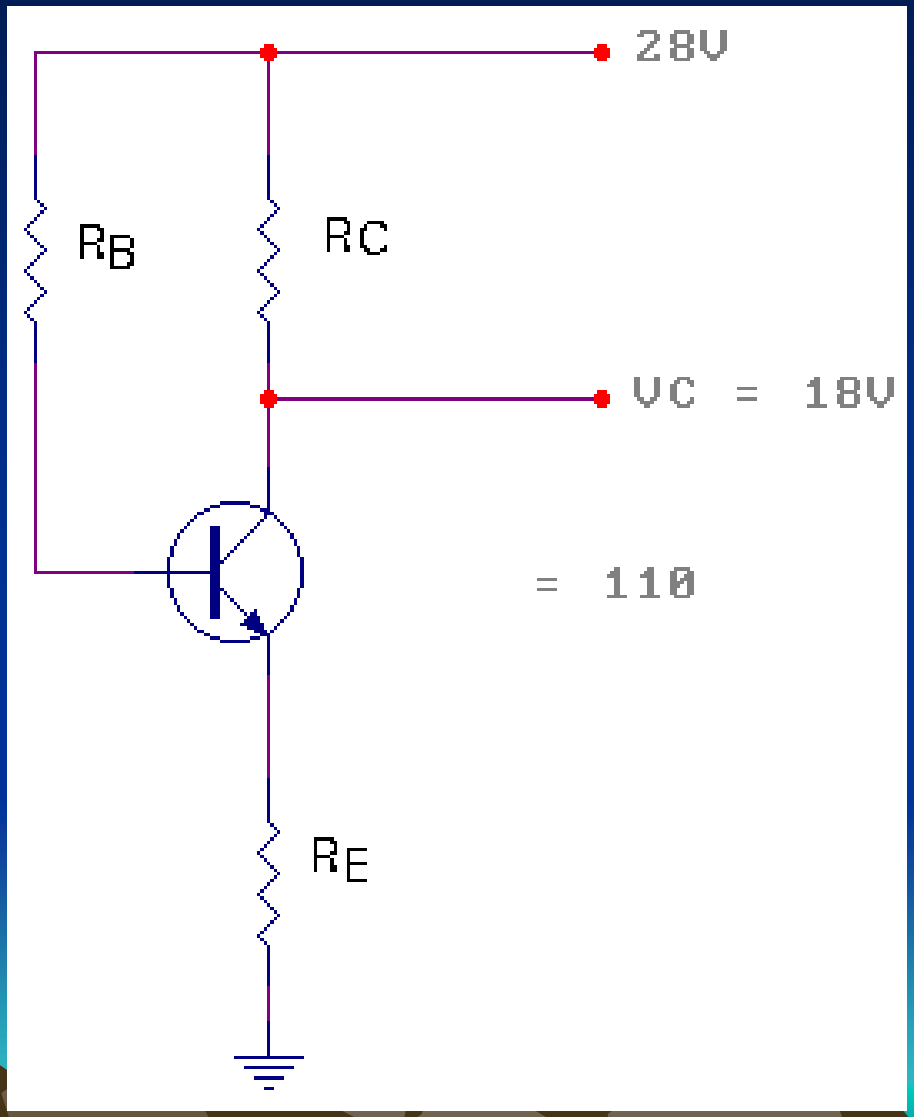
และจะได้

$$R_C = \frac{18V - 11.4V}{2mA} = 3.3K\Omega$$

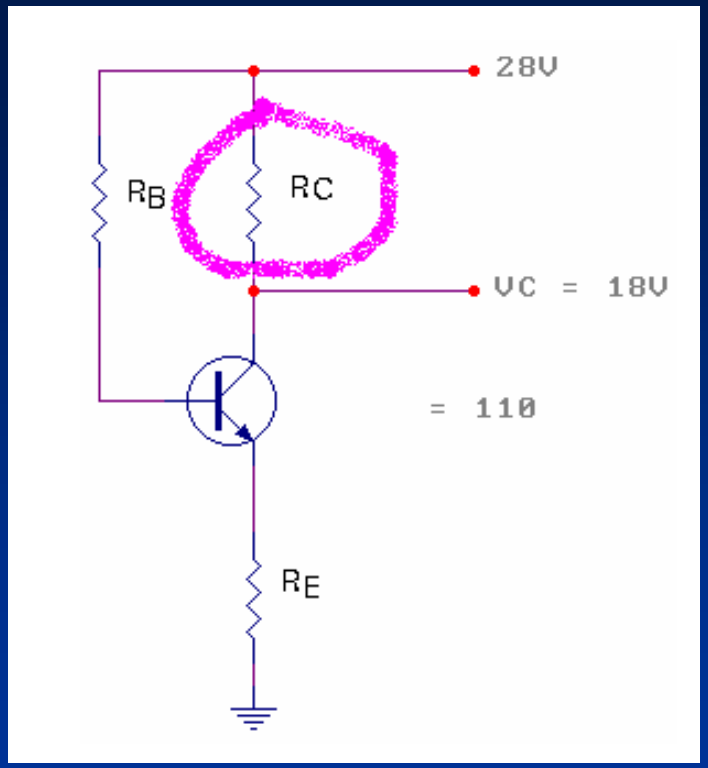
ตอบ R1 = 86.5 kΩ  RC = 3.3 kΩ

## ตัวอย่างที่ 5.10

วงจรคอมมอนอีมิตเตอร์ดังแสดงในรูปมีคุณลักษณะเฉพาะดังนี้ $I_{CQ} = 1/2\ I_{CSAT}$ เมื่อ $IC_{SAT} = 8$ mA $V_C = 18$V และ $\beta = 110$ จง คำนวณหา $R_C$ $R_E$ และ $R_B$


28V
RB
RC
VC = 18V
= 110
RE

# ตัวอย่างที่ 5.10




**วิธีทำ**

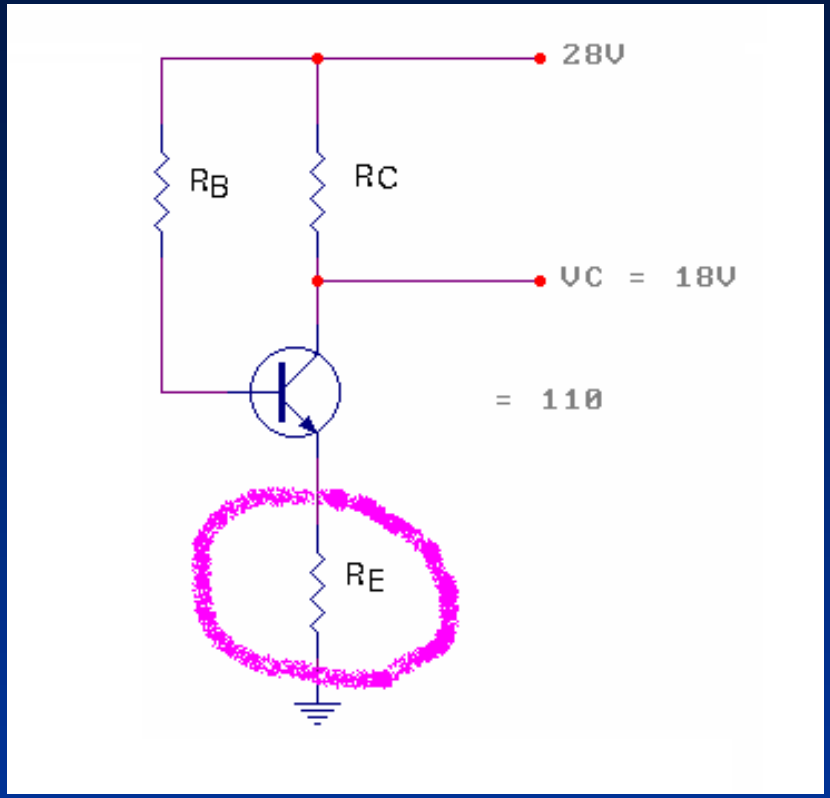
หาค่าความต้านทาน $R_C$

เมื่อ

$$I_{CQ} = \frac{1}{2} I_{CSAT} = 4mA$$

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_{CQ}} = \frac{V_{CC} - V_C}{I_{CQ}} = \frac{28V - 18V}{4mA} = 2.5K\Omega$$

# ตัวอย่างที่ 5.10




หาค่าความต้านทาน $R_E$

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

และ

$$R_C + R_E = \frac{V_{CC}}{I_{csat}} = \frac{28V}{8mA} = 3.5k\Omega$$

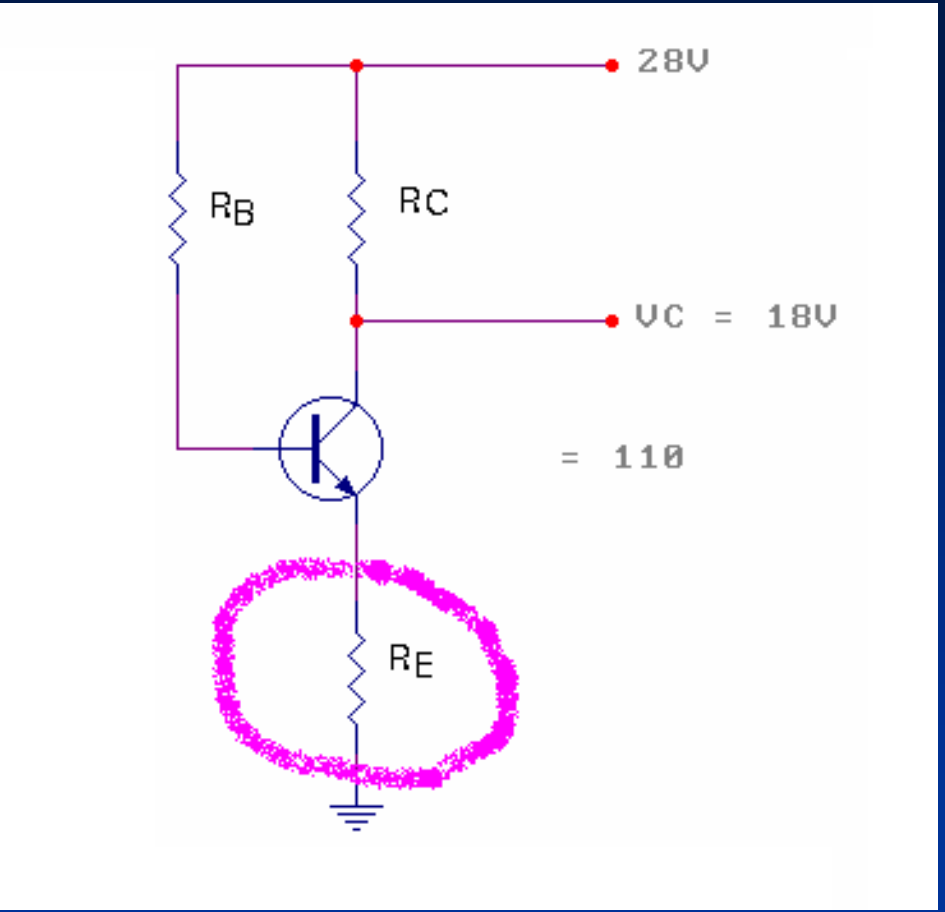
# ตัวอย่างที่ **5.10**

เมื่อ

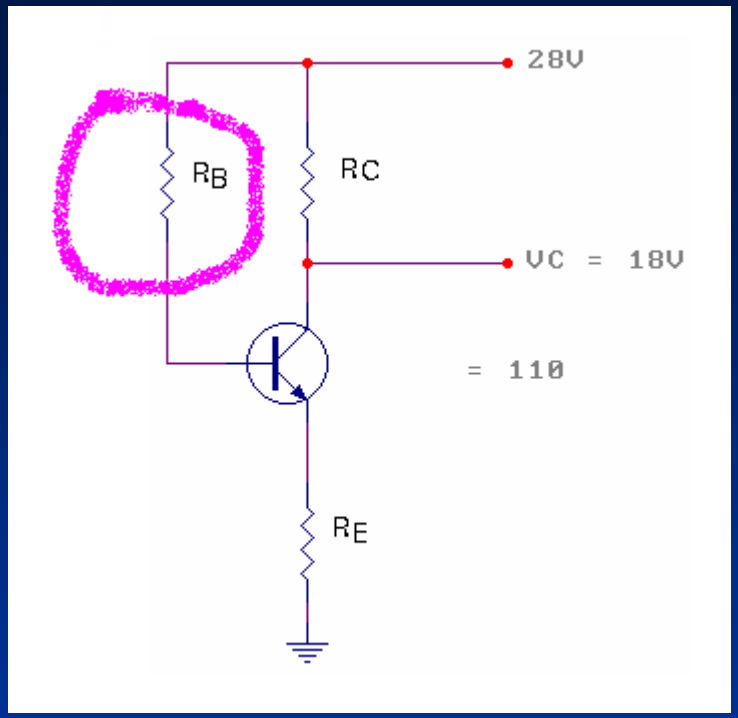
$R_E = 3.5k\Omega - R_C$

$= 3.5k\Omega - 2.5k\Omega$

$= 1k\Omega$



# ตัวอย่างที่ 5.10




หาค่าความต้านทาน $R_B$ ได้จาก

$$I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta} = \frac{4mA}{110} = 36.36\mu A$$

และ

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

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

จะได้

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

ซึ่ง

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

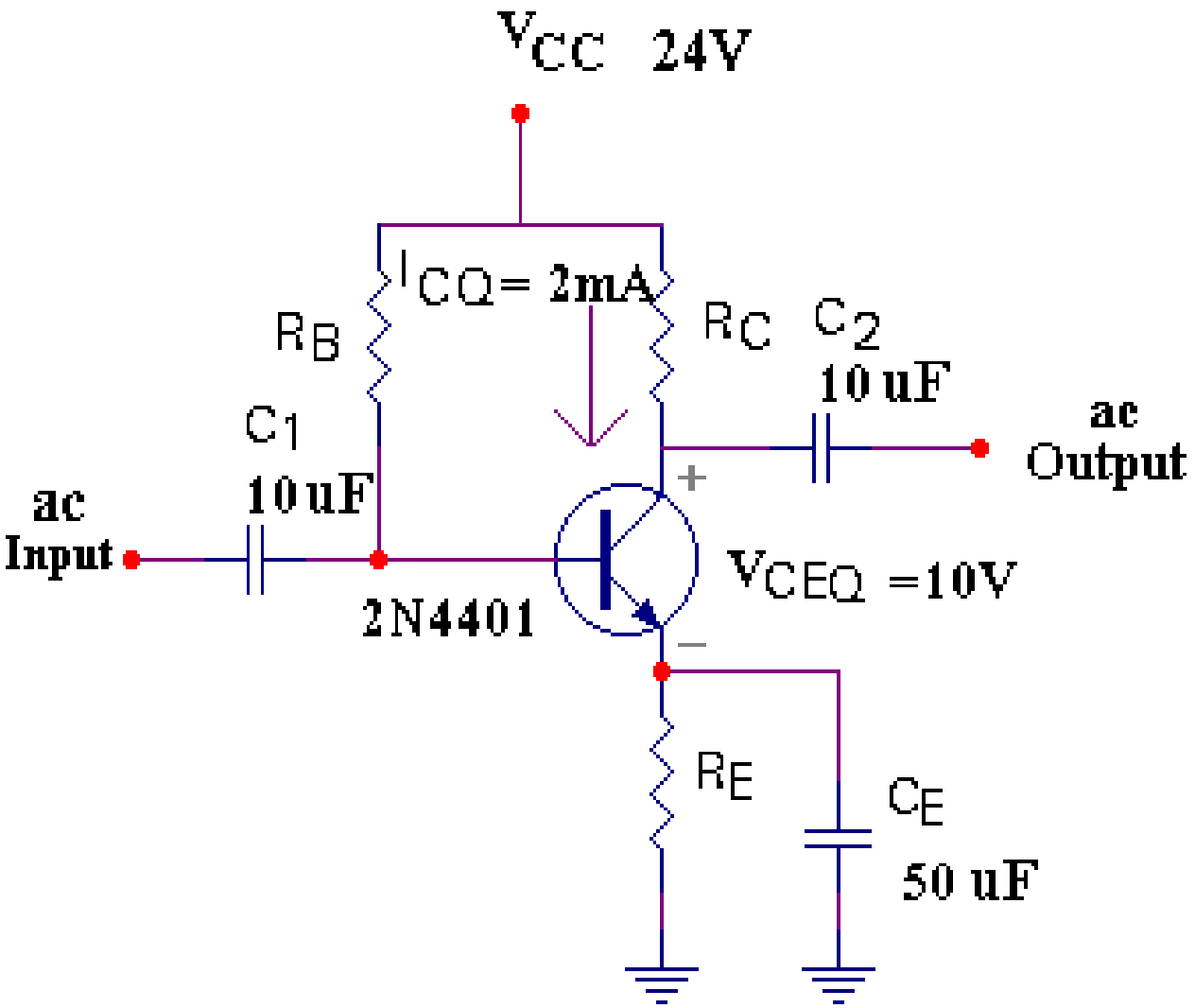
$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{BQ}} - (\beta + 1) \times R_E$$

$$= \frac{28V - 0.7V}{36.36\mu A} - (111)(1K\Omega)$$

$$= \frac{27.3V}{36.36\mu A} - 111K\Omega$$

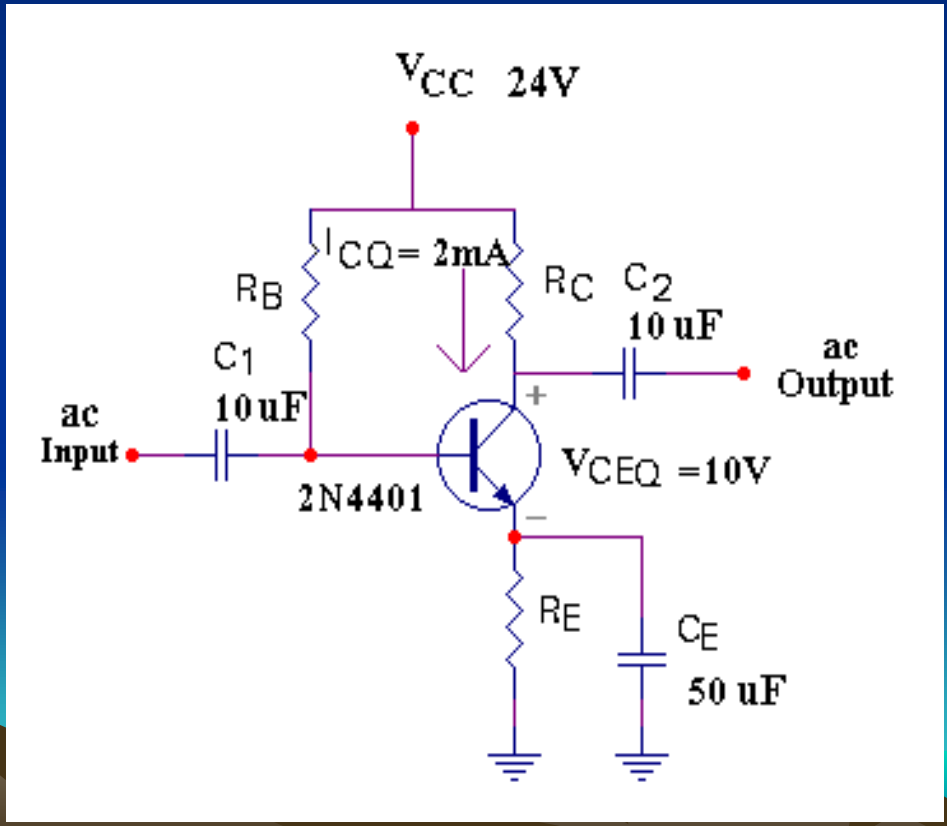
$$= 639.8\ K\Omega$$

# การออกแบบวงจรการให้ไบแอสแบบมีความต้านทานอิมิตตอร์ (Design of a Bias Circuit with **Emitter** Resistor)


VCC 24V
ICQ= 2mA
RB
RC
C2
10 uF
C1
10 uF
ac
Input
ac
Output
+
VCEQ =10V
2N4401
–
RE
CE
50 uF

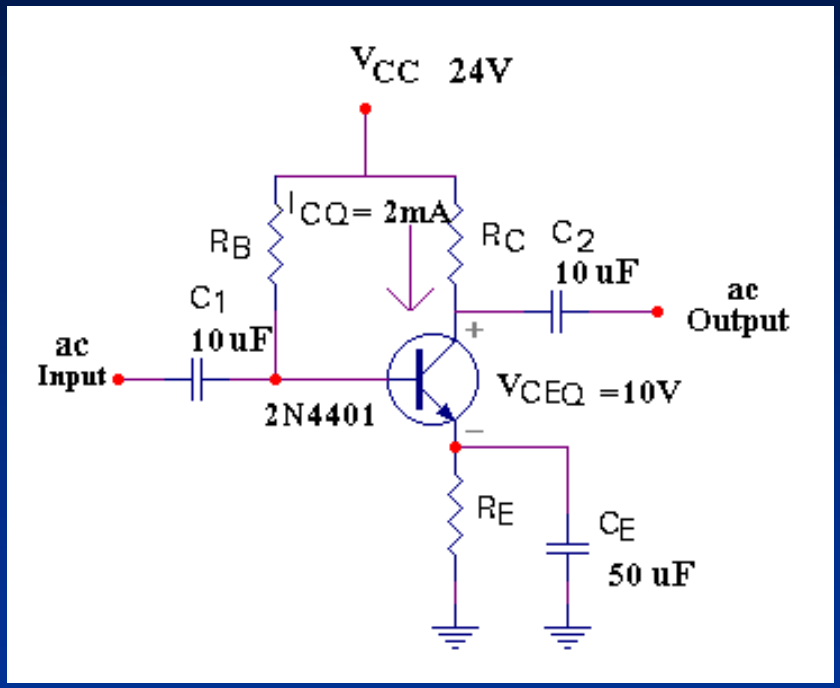
# ตัวอย่างที่ 5.11

จงคำนวณหาค่าตัวตานทานสำหรับวงจรดังแสดง
ในวงจรดังรูปดังค่าที่ได้ กำหนดในวงจร



# ตัวอย่างที่ 5.11

วิธีทำ



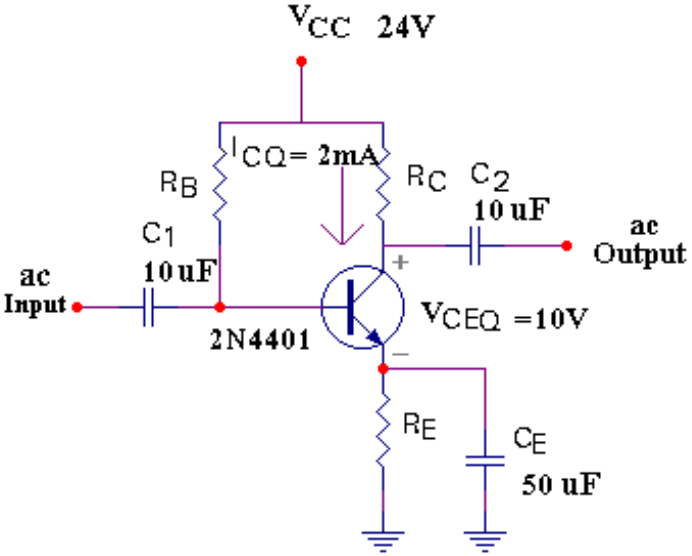

$$V_E = \frac{1}{10} x V_{CC} = \frac{1}{10} x 24V = 2.4V$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \cong \frac{V_E}{I_C} = \frac{2.4V}{2mA} = 1.2K$$

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{24V - 10V - 2V}{2mA} = 3k\Omega$$

หาค่าตัวตานทาน $R_B$

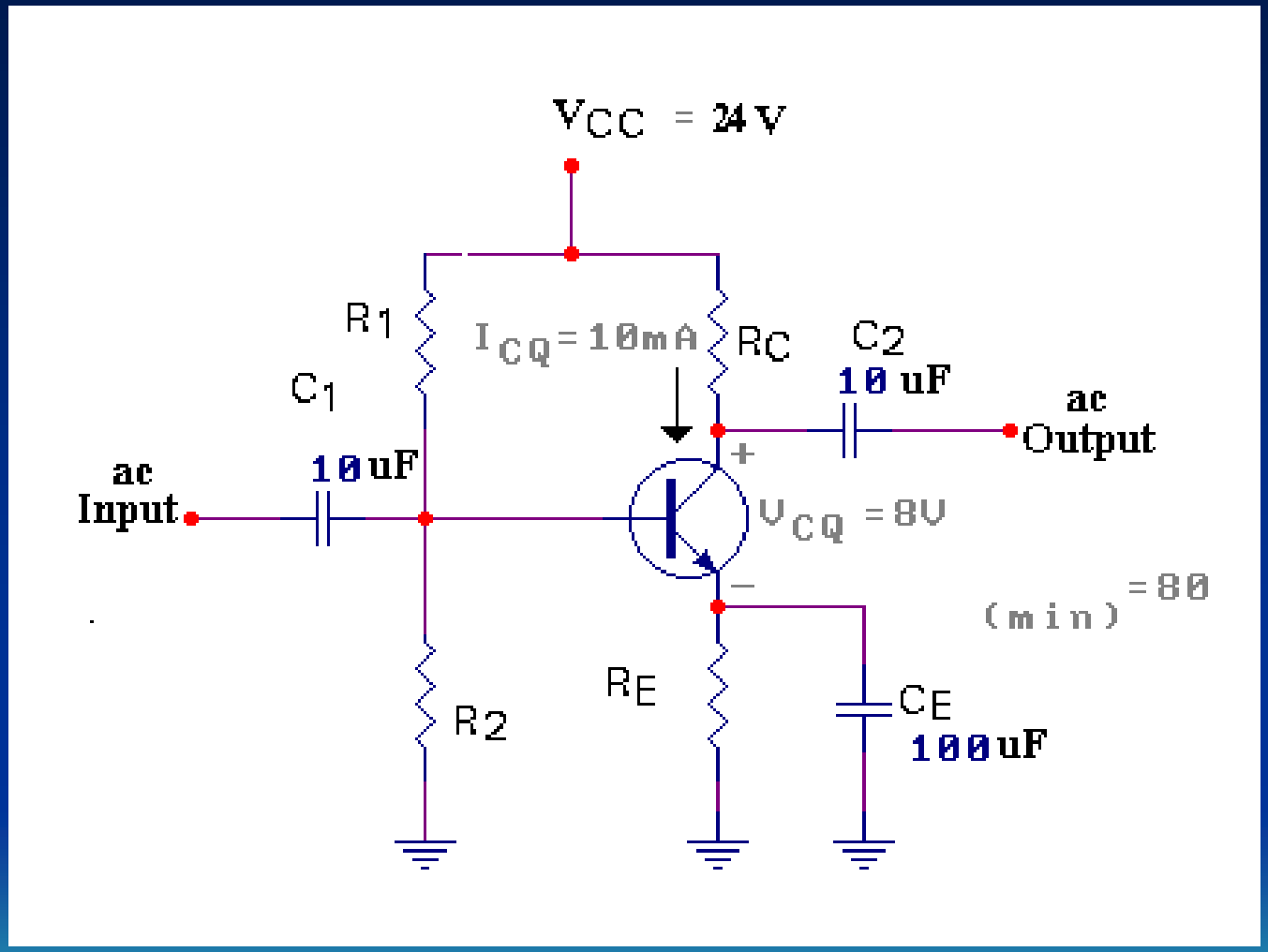
$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2mA}{150} = 13.33mA$$




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

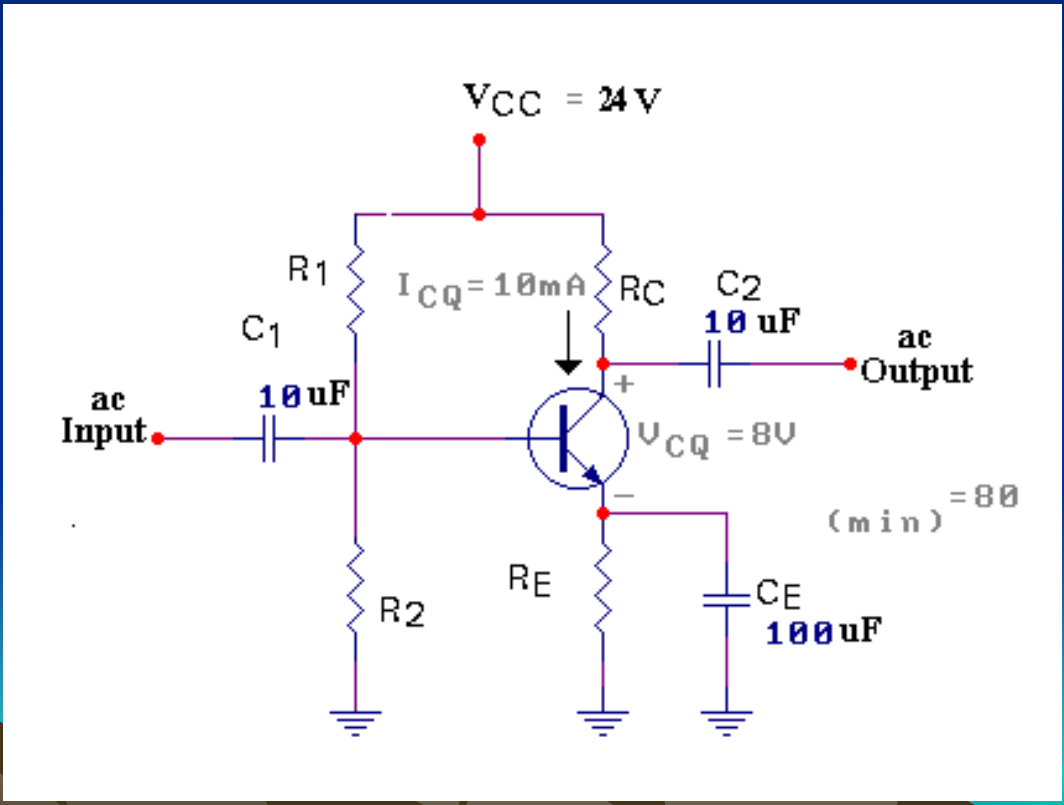
$$= \frac{24V - 0.7V - 2V}{13.33mA} = 1.6M\Omega$$

# การออกแบบวงจร Current Gain Stabilized (Beta Independent)

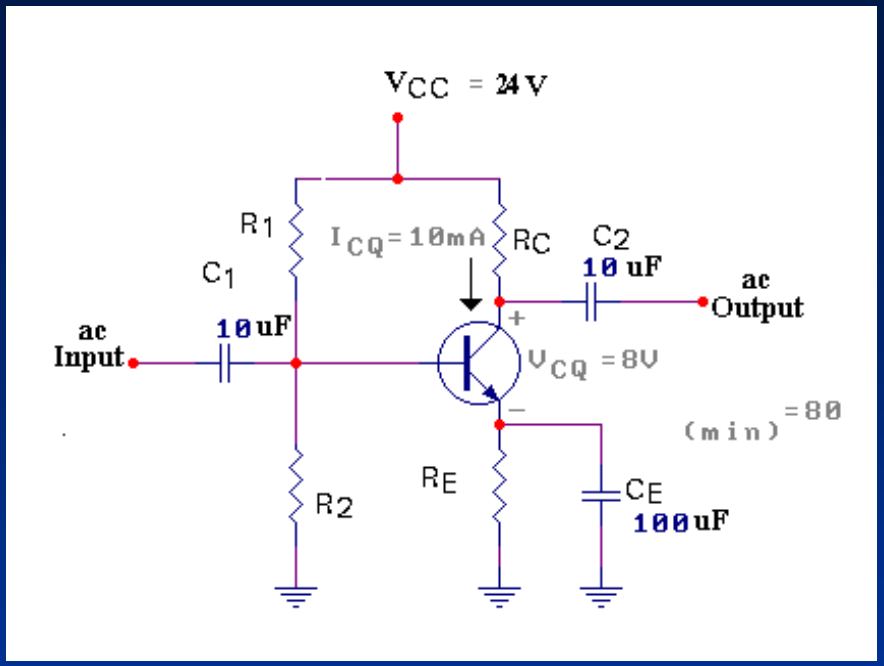

VCC = 24 V
R1
ICQ = 10mA
RC
C2
10 uF
ac
Output
C1
10uF
ac
Input
+
VCQ = 8V
–
=80
(min)
RE
CE
100uF
R2

# ตัวอย่างที่ 5.12

จงหาค่า $R_C$ $R_E$ $R_1$ และ $R_2$ สำหรับวงจรดังแสดงในรูป



# ตัวอย่างที่ 5.12



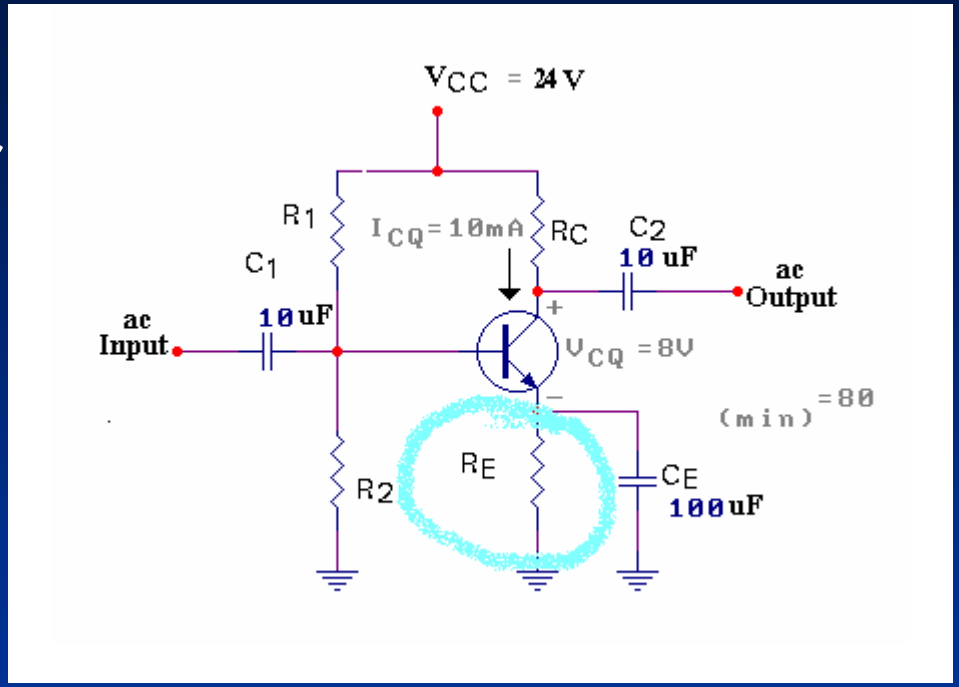

วิธีทำ

จากข้อกำหนด

$$V_E = \frac{1}{10} x V_{CC} = \frac{1}{10} x 24V = 2.4V$$

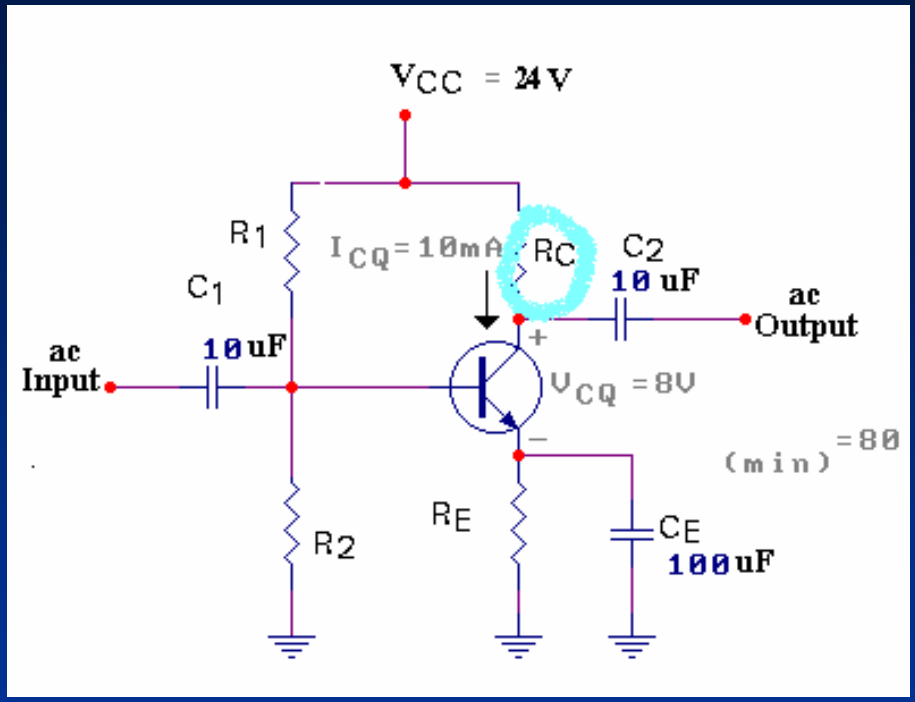
# ตัวอย่างที่ 5.12

หาค่าความต้านทานที่อิมิตเตอร์ ($R_E$)




$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \cong \frac{V_E}{I_C} = \frac{24V}{10mA} = 240\Omega$$

หาค่าความต้านทาน ($R_C$)



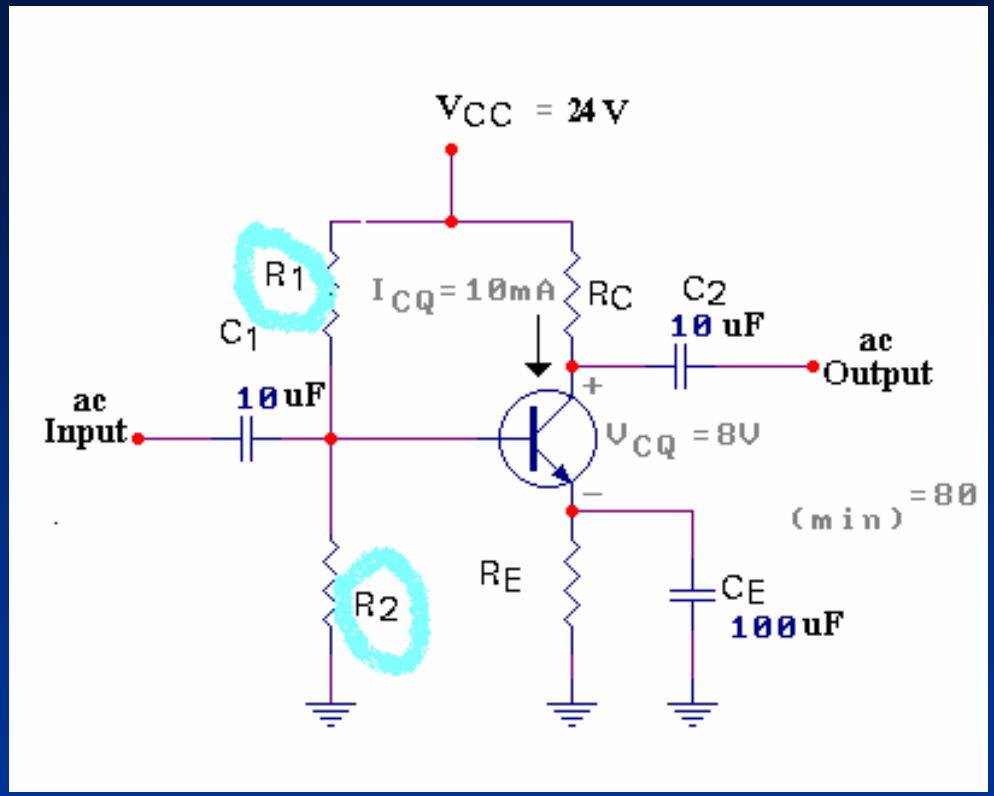

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{24V - 8V - 2V}{10mA} = 1.4k\Omega$$

# หาค่าตัวต้านทานR1 R2

VB = VBE+VE

= 0.7V+2.4V

= 3.1V



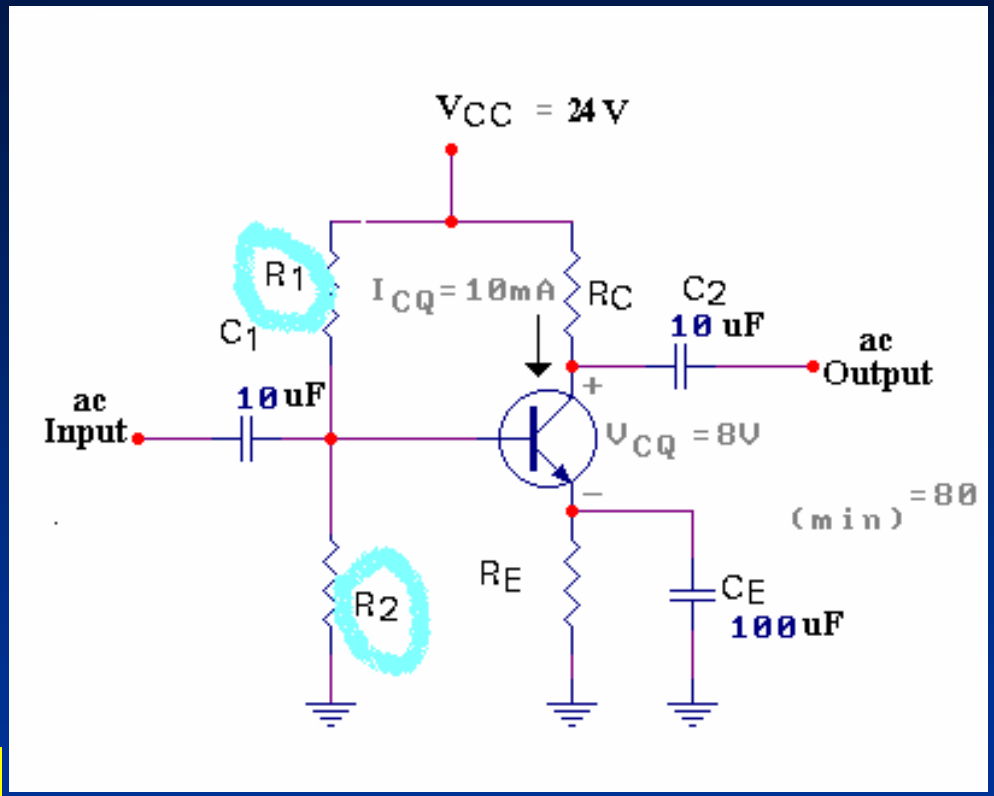
เมื่อ

$$R_2 \leq \frac{1}{10}\beta R_E$$

จะได้

$$R_2 \leq \frac{1}{10}\text{x}(80\text{x}0.24\text{K}\Omega)$$

$$= 1.92\text{K}\Omega$$



$$V_B = 2.7V = \frac{(1.92K\Omega)(24V)}{R_1 + 1.92K\Omega}$$

และ

$$2.7(R1+1.92k\Omega) = (1.92k\Omega)(24V)$$

$$2.7R1+5.18\ k\Omega = 46\ k\Omega$$

$$2.7R1 = 40.90\ k\Omega$$

$$R1 = 15.15\ k\Omega$$

ใช้ค่ามาตรฐาน $15k\Omega$ (ในภาคผนวก ก)

ตอบ $R_E = 240\ \Omega$, $R_C = 14\ k\Omega$, $R_2 = 1.92\ k\Omega$

$R_1 = 15\ k\Omega$

# สรุปบทเรียน

# หนังสืออ้างอิง


- สุคนธ์ พุ่มศรี. การวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เล่มที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2548
- Boylestad, Robert. Nashelsky, Louis. **Electronic Devices and Circuit Theory 6TH ed.** Newjersey : Prentice Hall, A Division of Simmon & Schuster Engle Wood, 1986.
- Paynter, Robert T. Introductory Semiconductor Electronics Divices and Circuit 2nd ed. New Jersey : Prentice Hall, A Division of Simmon & Schuster Engle Wood, 1996.
- Robert L. Boylestad Louis Nashelsky. **Electronic Devices and Circuit Theory 7ed.** Newjersey : Prentice Hall, Inc. Simmon & Schustre/A Viacom Company.