

Chương 5
Bài tập giải sẵn về BJT-AY1112-S1

(Giả sử các BJT Si có điện áp để J_E dẫn là 0.7V, có điện áp bão hòa[NPN]: $V_{BEsat}=0.8V$ và $V_{CEsat}=0.2V$)

1. Với các trường hợp sau BJT hoạt động ở miền nào?

- a) NPN: $V_{BE} = 0.8 V, V_{CE} = 0.4 V$
 b) NPN: $V_{CB} = 1.4 V, V_{CE} = 2.1 V$
 c) NPN: $V_{BE} = -1.2 V, V_{CB} = 0.6 V$
 d) PNP: $V_{CB} = 0.9 V, V_{CE} = 0.4 V$
 e) PNP: $V_{EB} = 0.6 V, V_{CE} = -0.4 V$
 f) PNP: $V_{BC} = 0.6 V, V_{EC} = 1.3 V$

ĐS.

Quy tắc chung để giải loại bài toán này như sau:

- i) Với BJT NPN, ta xét phân cực thuận/ngược của J_E và J_C theo:

$J_E: V_{BE} = V_B - V_E = V_{BC} + V_{CE} = V_{CE} - V_{CB} = V_{BC} - V_{EC}$	> 0 : phân cực thuận
$J_C: V_{BC} = V_B - V_C = V_{BE} + V_{EC} = V_{BE} - V_{CE}$	< 0 : phân cực ngược

- ii) Với BJT PNP, ta xét phân cực thuận/ngược của J_E và J_C theo:

$J_E: V_{EB} = V_E - V_B = V_{EC} + V_{CB} = V_{EC} - V_{BC} = V_{CB} - V_{CE}$	> 0 : phân cực thuận
$J_C: V_{CB} = V_C - V_B = V_{CE} + V_{EB} = V_{EB} - V_{EC}$	< 0 : phân cực ngược

Áp dụng BJT NPN vào các câu a), b), và c), ta có kết quả sau:

Trường hợp	$V_{BE} [V]$	J_E	$V_{BC} [V]$	J_C	Miền hoạt động
a)	$0.8 > 0$	thuận	$0.8 - 0.4 = 0.4 > 0$	thuận	Bão hòa
b)	$2.1 - 1.4 > 0$	thuận	$-1.4 < 0$	ngược	Tích cực thuận
c)	$-1.2 < 0$	ngược	$-0.6 < 0$	ngược	Tắt

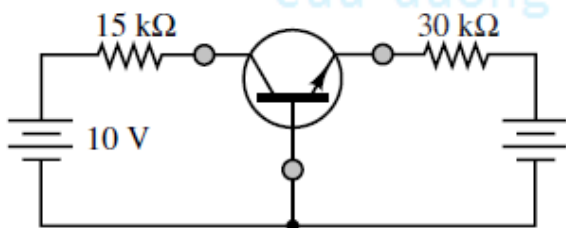
Áp dụng BJT PNP vào các câu d), e), và f), ta có kết quả sau:

Trường hợp	$V_{EB} [V]$	J_E	$V_{CB} [V]$	J_C	Miền hoạt động
d)	$0.9 - 0.4 > 0$	thuận	$0.9 > 0$	thuận	Bão hòa
e)	$0.6 > 0$	thuận	$0.6 - 0.4 > 0$	thuận	Bão hòa
f)	$1.3 - 0.6 > 0$	thuận	$-0.6 < 0$	ngược	Tích cực thuận

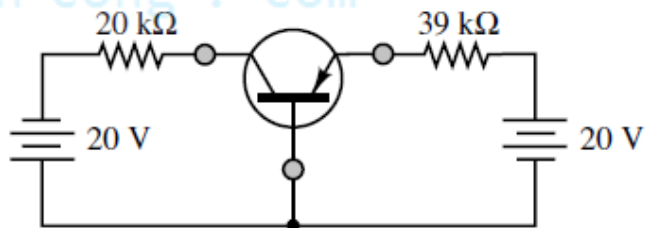
2. Hãy tìm I_E, V_{CE} và V_{BC} của BJT trong mạch hình 1.

ĐS.

Với phân cực trong mạch ta thấy J_E và J_C đều bị phân cực ngược \Rightarrow BJT ở miền tắt $\Rightarrow I_E = I_C = I_B = 0$
 Như vậy (nếu chọn điện thế tại cực B là điện thế đất): $V_{CE} = V_C - V_E = 10V - 15V = -5V$
 Còn $V_{BC} = -10V$



Hình 1



Hình 2

3. Hãy tìm I_E, V_{EC} và V_{CB} của BJT trong mạch hình 1.

ĐS.

Với phân cực trong mạch ta thấy J_E được phân cực thuận và J_C được phân cực ngược \Rightarrow BJT ở miền tích cực thuận $\Rightarrow I_E = (20V - 0.7V) / 39K\Omega = 0.495 \text{ mA}$

Nếu chọn điện thế đất tại cực B thì ta có

$$V_E = 0.7V \text{ và } V_C = -20V + 20K\Omega \times I_C \approx -20V + 20K\Omega \times I_E = -20V + 20K\Omega \times 0.495mA = -10.1V$$

Suy ra:

$$V_{EC} = V_E - V_C = 0.7V - (-10.1V) = 10.8V$$

$$V_{CB} = V_C - V_B = V_C = -10.1V$$

4. Hãy tìm hiệu suất phát γ_e , hệ số vận chuyển miền nền B và độ lợi dòng E chung β của BJT NPN với các tham số sau: $N_{DE} = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_{AB} = 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, $D_n = D_p$, $W_B = 100 \text{ nm}$, và $L_p = L_n = 1 \mu\text{m}$.

ĐS.

a) **Hiệu suất phát γ_e**

Theo LT ta có

$$\gamma_e \approx 1 - \frac{I_{EP}}{I_{EN}} = 1 - \frac{p_{e0}}{n_{b0}} \frac{D_E}{D_B} \frac{W_B}{L_E}$$

với $p_{e0} = n_i^2 / N_{DE}$; $n_{b0} = n_i^2 / N_{AB}$

D_E = hệ số khuếch tán của hạt dẫn thiểu số tại E = D_p

D_B = hệ số khuếch tán của hạt dẫn thiểu số tại B = D_n

L_E = chiều dài khuếch tán của hạt dẫn thiểu số tại E = L_p

Thay các biểu thức trên vào γ_e , ta có dạng biểu diễn khác của γ_e như sau:

$$\gamma_e \approx 1 - \frac{N_{AB}}{N_{DE}} \frac{D_p}{D_n} \frac{W_B}{L_p}$$

Từ đó tính được $\gamma_e = 1 - (10^{16}/10^{18})(1)(100/1000) = 1 - 10^{-3} = 0.999$

Như vậy $\gamma_e = 0.999$

b) **Hệ số vận chuyển miền nền B**

Theo LT ta có

$$B \approx 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{W_{Bn}}{L_B} \right)^2$$

với W_{Bn} = bề rộng miền nền phân trung hòa $\approx W_B$

L_B = chiều dài khuếch tán của hạt dẫn thiểu số tại B = L_n

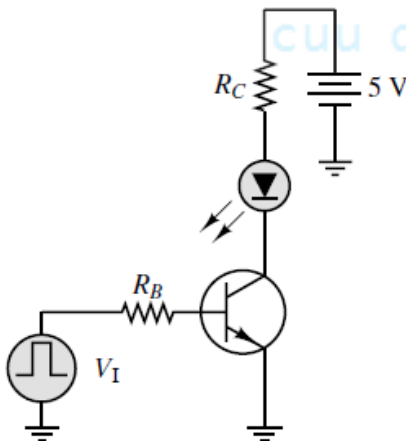
Suy ra: $B = 1 - (1/2)(100/1000)^2 = 0.995$

Như vậy $B = 0.995$

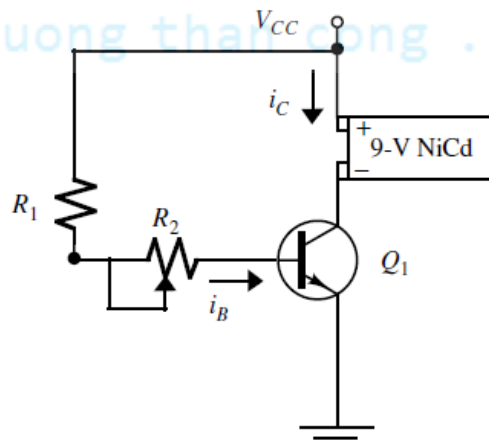
c) **Độ lợi dòng E chung β**

Ta có: $\alpha = B\gamma_e = 0.995 \times 0.999 = 0.994 \Rightarrow \beta = \alpha / (1 - \alpha) = 0.994 / (1 - 0.994) \approx 166$

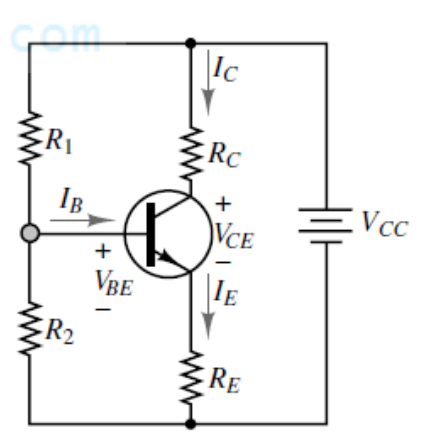
Như vậy $\beta = 166$



Hình 3



Hình 4



Hình 5

5. Cho mạch lái LED ở hình 3, với BJT có $\beta = 100$. LED này có điện áp dẫn $V_{LED(on)} = 1.5V$ và cần lái với dòng $I_{LED} = 20mA$. Điện áp điều khiển $V_I = 0V$ làm LED tắt, $V_I = 5V$ làm LED sáng. Hãy tìm:

- Giá trị của R_C để cho BJT ở miền bão hòa khi LED sáng nếu $R_B = 1K\Omega$.
- Dải giá trị của R_C để cho BJT ở miền bão hòa khi LED sáng nếu $R_B = 1K\Omega$.
- Dải giá trị của R_C để cho BJT ở tích cực thuận khi LED sáng nếu $R_B = 1K\Omega$.
- Dải giá trị của R_B để cho BJT ở miền bão hòa khi LED sáng nếu R_C có trị ở câu b).
- BJT có β là bao nhiêu để cho BJT ở miền bão hòa khi LED sáng nếu $R_B = 1K\Omega$ và $R_C = 170\Omega$.

ĐS.

a) **Giá trị của R_C để cho BJT ở miền bão hòa khi LED sáng nếu $R_B = 1K\Omega$**

Khi bão hòa ta có:

$$V_{CC} = 5V = R_C I_C + V_{LED} + V_{CEsat} \text{ với } I_C = I_{LED} = 20mA$$

$$\text{Suy ra } R_C = (V_{CC} - V_{LED} - V_{CEsat}) / I_{LED} = (5V - 1.5V - 0.2V) / 20mA = 3.3V / 20mA = 165\Omega.$$

Như vậy $R_C = 165\Omega$

b) **Dải giá trị của R_C để cho BJT ở miền bão hòa khi LED sáng nếu $R_B = 1K\Omega$**

Cách 1: Xét $0 \leq V_{CE} \leq V_{CEsat} = 0.2V$

$$\text{Ta có: } V_{CE} = V_{CC} - R_C I_{LED} - V_{LED} \text{ hay } 0 \leq V_{CC} - R_C I_{LED} - V_{LED} \leq V_{CEsat} = 0.2V$$

$$\text{Hay } (V_{CC} - V_{LED} - V_{CEsat}) / I_{LED} \leq R_C \leq (V_{CC} - V_{LED}) / I_{LED}$$

$$(5V - 1.5 - 0.2) / 20mA \leq R_C \leq (5V - 1.5V) / 20mA$$

$$\mathbf{165\Omega \leq R_C \leq 175\Omega}$$

Cách 2: J_C được phân cực thuận, nghĩa là $V_{BC} > 0$ hay $V_B > V_C$

$$\text{Ta có: } V_B = V_{BEsat} = 0.8V \text{ và } V_C = V_{CC} - R_C I_C - V_{LED} = V_{CC} - R_C I_{LED} - V_{LED}$$

$$\text{Hay } 0.8V > V_{CC} - R_C I_{LED} - V_{LED} = 5V - R_C \times 20mA - 1.5V$$

$$R_C > (5V - 1.5V - 0.8V) / 20mA = 135\Omega$$

$$\mathbf{R_C > 135\Omega}$$

$$\text{Ngoài ra còn điều kiện } V_{CE} \geq 0 \Rightarrow V_{CC} - R_C I_{LED} - V_{LED} \geq 0 \Rightarrow R_C \leq (V_{CC} - V_{LED}) / I_{LED} = 175\Omega$$

$$\text{Tóm lại: } \mathbf{135\Omega < R_C \leq 175\Omega}$$

Chú ý:

- Cách 2 cho trị chính xác hơn vì $V_{CEsat} = 0.2V$ là trị tiêu biểu mà trong thực tế có thể thay đổi nhiều.
- Thực tế thường phân cực cho J_C dẫn thuận ($V_{BC} = 0.7V$).

c) **Dải giá trị của R_C để cho BJT ở tích cực thuận khi LED sáng nếu $R_B = 1K\Omega$.**

Khi tích cực thuận thì J_C được phân cực ngược, nghĩa là $V_{BC} < 0$ hay $V_B < V_C$

$$\text{Ta có: } V_B = V_{BEsat} = 0.8V \text{ và } V_C = V_{CC} - R_C I_C - V_{LED} = V_{CC} - R_C I_{LED} - V_{LED}$$

$$\text{Hay } 0.8V < V_{CC} - R_C I_{LED} - V_{LED} = 5V - R_C \times 20mA - 1.5V$$

$$R_C < (5V - 1.5V - 0.8V) / 20mA = 135\Omega$$

$$\mathbf{R_C < 135\Omega}$$

Chú ý: Thực tế phân cực $V_{CB} > 0.4V$

d) **Dải giá trị của R_B để cho BJT ở miền bão hòa khi LED sáng nếu R_C có trị ở b)**

Khi bão hòa thì $\beta I_{Bsat} > I_{Csat}$

$$\text{Với } I_{Bsat} = (V_I - V_{BEsat}) / R_B \text{ và } I_{Csat} = I_{LED}$$

$$\text{Suy ra } R_B < \beta (V_I - V_{BEsat}) / I_{LED} = 100(5V - 0.8) / 20mA = 21K\Omega$$

$$\text{Như vậy: } 0 < R_B < 21K\Omega$$

e) BJT có β là bao nhiêu để cho BJT ở miền bão hòa khi LED sáng nếu $R_B = 1K\Omega$ và $R_C = 170\Omega$.

Khi bão hòa thì $\beta I_{Bsat} > I_{Csat}$

$$\text{Với } I_{Bsat} = (V_I - V_{BEsat}) / R_B \text{ và } I_{Csat} = I_{LED}$$

$$\text{Suy ra } \beta > I_{Csat} / I_{Bsat} = R_B I_{LED} / (V_I - V_{BEsat}) = 1K\Omega \times 20mA / (5V - 0.8V) = 4.76$$

Như vậy: $\beta > 4.76$ (các BJT thông dụng đều có β từ vài chục đến vài trăm \Rightarrow luôn thỏa)

6. Thiết kế mạch nạp pin theo hình 4 có thể chỉnh được dòng nạp pin từ 10mA đến 100mA. Có nghĩa là ta phải tìm các giá trị V_{CC} , R_1 , R_2 (biến trở) làm cho Q_1 (có $\beta = 100$) hoạt động như nguồn dòng hằng chỉnh được $I_C = 10\text{mA}$ đến 100mA.

ĐS.

Giả sử BJT ở miền tích cực thuận và dùng mô hình tín hiệu lớn với $V_{BE} = 0.7\text{V}$.

Khi đó $I_C = \beta I_B$ với $I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / (R_1 + R_2)$ và thay vào yêu cầu với IC: $10\text{mA} \leq I_C \leq 100\text{mA}$, ta có:

$$10\text{mA} \leq \beta \left(\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1 + R_2} \right) \leq 100\text{mA}$$

Biến trở R_2 có thể được chỉnh từ 0 đến R_2 , và I_C max khi $R_2 = 0$. Như vậy ta có thể chọn R_1 bằng:

$$100\text{mA} = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_1} \quad \text{hay} \quad R_1 = 10\beta (V_{CC} - V_{BE}) [\Omega]$$

Ta có thể chọn $V_{CC} = 12\text{V}$ (chỉ cần lớn hơn điện áp danh định của pin nạp được), suy ra $R_1 = 11.3\text{K}\Omega$

Thực tế thì ta phải dùng điện trở với giá trị chuẩn, do đó nên chọn $R_1 = 12\text{K}\Omega$ (nghĩa là I_C max hơi nhỏ hơn 100mA).

Giá trị của R_2 được tìm như sau:

$$R_2 = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{10\text{mA}} - R_1$$

Thay các trị số vào ta có $R_2 = 101.7\text{K}\Omega$

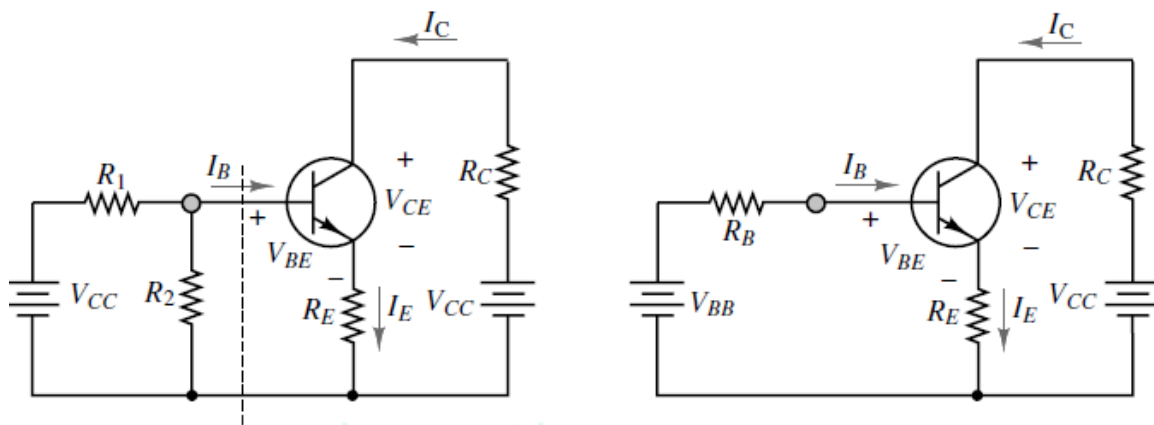
Nếu dùng điện trở chuẩn thì chọn biến trở 100K cho R_2 , khi đó I_C min hơi lớn hơn 10mA!

Chú ý: Thực tế thì các pin NiCd như loại 9V được làm từ 8 pin nhỏ 1.2V, nghĩa là điện áp danh định của nó là 9.6V. Khi pin được nạp đầy thì mỗi pin nhỏ có điện áp là 1.3V, dẫn đến điện áp nạp đầy là 10.4V. Như vậy chỉ cần chọn $V_{CC} > 10.4\text{V} + V_{CEsat}$ thì đạt yêu cầu!

7. Hãy tìm điểm tĩnh của BJT trong mạch ở hình 5. Cho trước các giá trị linh kiện: $R_1 = 100\text{K}\Omega$; $R_2 = 50\text{K}\Omega$; $R_C = 5\text{K}\Omega$; $R_E = 3\text{K}\Omega$; $V_{CC} = 15\text{V}$; $V_{BE(on)} = 0.7\text{V}$, và $\beta = 100$.

ĐS.

Để tiện tính toán ta sẽ biến đổi mạch ở cực nền thành mạch tương đương Thévenin như sau:



Với $V_{BB} = V_{CC} R_2 / (R_1 + R_2)$ và $R_B = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$.

Giả sử BJT ở miền tích cực thuận, nếu tính ra không đúng thì ta phải đổi lại giả thiết BJT ở miền bão hòa và tính lại! Tại mạch nền-phát ta có phương trình sau:

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} + I_E R_E = [R_B + (\beta + 1) R_E] I_B + V_{BE}$$

Suy ra dòng I_B được tính theo công thức sau:

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

Từ đó suy ra: $I_C = \beta I_B$

Tại mạch cực thu, ta có:

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + I_E R_E = I_C R_C + V_{CE} + (\beta + 1) I_C R_E / \beta$$

Suy ra:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \left(R_C + \frac{\beta + 1}{\beta} R_E \right)$$

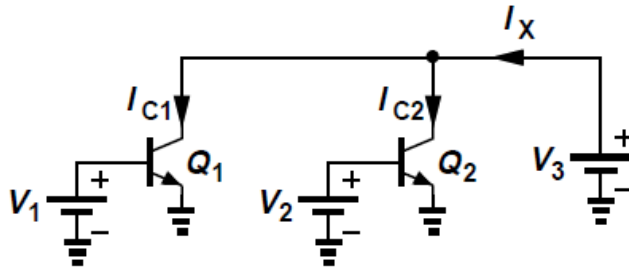
Nếu $\beta \gg 1$ thì ta có $V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$

Thay các giá trị vào ta có:

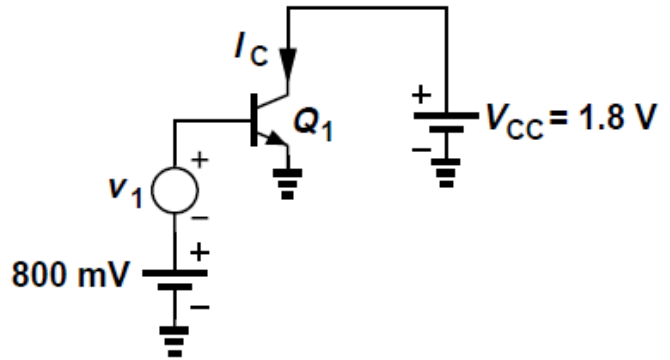
$V_{BB} = 5V$; $R_B = 33.3 \text{ K}\Omega$; $I_B = 12.8 \mu\text{A}$; $I_C = 1.28 \text{ mA}$; $V_{CE} = 4.78 \text{ V} > V_{CEsat} = 0.2\text{V}$ (đúng tích cực thuận)

Như vậy BJT có điểm tĩnh:

$$V_{CEQ} = 4.78 \text{ V} \quad I_{CQ} = 1.28 \text{ mA} \quad I_{BQ} = 12.8 \mu\text{A}$$



Hình 6



Hình 7

8. Mạch ở hình 6 có 2 BJT giống nhau hoàn toàn và được phân cực ở miền tích cực thuận. Hãy tìm:

- Dòng I_X khi $V_1 = V_2$
- Hiệu số $V_1 - V_2$ để cho $I_{C1} = 10I_{C2}$

ĐS.

- Dòng I_X khi $V_1 = V_2$

Ta có: $I_X = I_{C1} + I_{C2}$ với $I_{C1} = I_{C2} = I_S \exp(V_1/V_T)$

Hay $I_X = 2I_S \exp(V_1/V_T) = I_{SX} \exp(V_1/V_T)$

Khi đó giống như tương đương 1 BJT có dòng bão hòa ngược là I_{SX} và diện tích mặt cắt ngang gấp đôi BJT ban đầu!

- Hiệu số $V_1 - V_2$ để cho $I_{C1} = 10I_{C2}$

Lập tỉ số 2 dòng I_C ta có

$$\frac{I_{C1}}{I_{C2}} = \frac{I_S e^{V_1/V_T}}{I_S e^{V_2/V_T}} = e^{\frac{V_1 - V_2}{V_T}} \quad \text{suy ra: } V_1 - V_2 = V_T \ln \left(\frac{I_{C1}}{I_{C2}} \right)$$

$$V_1 - V_2 = V_T \ln 10 = 25\text{mV} \times \ln 10 \approx 58\text{mV} \text{ ở } 300^\circ\text{K}$$

9. Xét mạch ở hình 7, trong đó V_1 biểu diễn tín hiệu được tạo ra từ microphone, $I_S = 3 \times 10^{-16} \text{ A}$, $\beta = 100$, $V_A = \infty$ và Q_1 hoạt động ở miền tích cực thuận.

- Nếu $V_1 = 0$, hãy xác định các tham số tín hiệu nhỏ của BJT?
- Nếu $V_1 = 1\text{mV}$, hãy tìm những thay đổi trong dòng thu và dòng nền?

ĐS.

- Tính các tham số tín hiệu nhỏ. Cho $V_1 = 0$ ta tìm điểm tĩnh của BJT

Ta có $I_C = I_S \exp(V_{BE}/V_T) = 3 \times 10^{-16} \text{ A} \exp(800\text{mV}/25\text{mV}) = 23.69 \text{ mA}$

Suy ra hõ dẫn $g_m = I_C/V_T = 23.69\text{mA}/25\text{mV} = 0.9476 \text{ mho}$

Và điện trở vào $r_\pi = \beta/g_m = 100/0.9476\text{mho} \approx 103.53\Omega$

- Nếu $V_1 = 1\text{mV}$, hãy tìm những thay đổi trong dòng thu và dòng nền?

Với mạch tương đương tín hiệu nhỏ ta thấy $V_1 = v_\pi$ do đó ta có sự thay đổi ở dòng thu là:

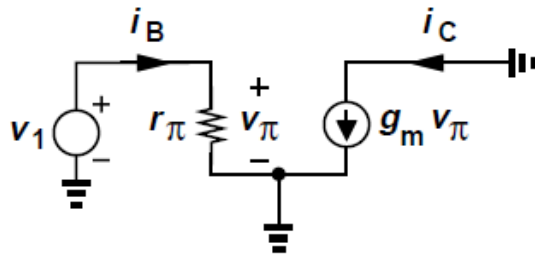
$$\Delta I_C = g_m V_1 = 0.9476 \text{ mho} \times 1\text{mV} = 0.9476 \text{ mA}$$

Và sự thay đổi ở dòng nền là:

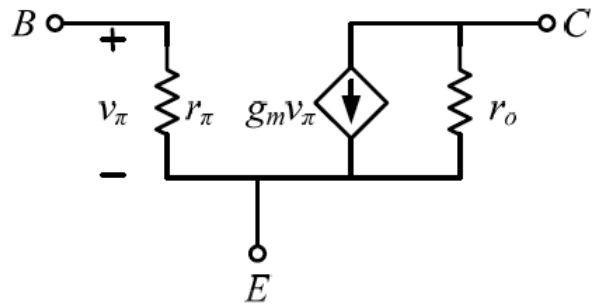
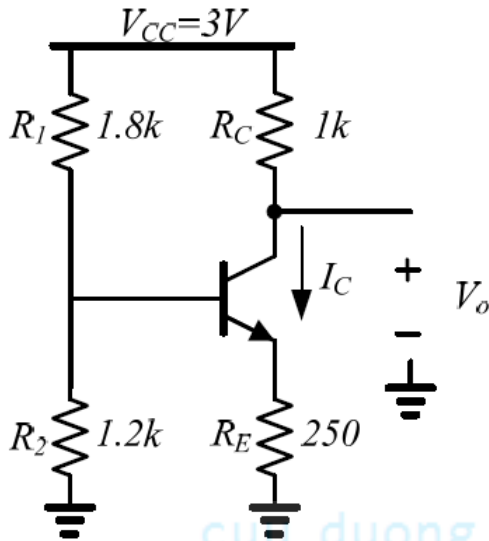
$$\Delta I_B = \Delta I_C / \beta = 0.9476 \text{ mA} / 100 = 9.476 \mu\text{A}$$

(có thể tính $\Delta I_B = v_\pi / r_\pi = 1\text{mV} / (100/0.9476)\Omega = 9.476 \mu\text{A}$)

Mạch tương đương tín hiệu nhỏ của hình 7



10. Hãy xác định điện áp ra V_o và dòng I_C trong mạch sau. Và tính tiếp giá trị các tham số tín hiệu nhỏ của BJT này. Giả sử BJT có $\beta = 100$ và $V_A = \infty$.



ĐS.

Để dễ tính toán ta sẽ vẽ lại mạch với tương đương Thévenin cho mạch phân cực tại cực nền:

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} = \frac{1.2k}{1.8k + 1.2k} \cdot 3 = 1.2V$$

$$R_{BB} = R_1 // R_2 = 720\Omega$$

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

$$= I_E \cdot R_E + V_{BE} + R_{BB} \cdot \frac{I_E}{\beta + 1}$$

$$1.2 = I_E \cdot 250 + 0.7 + 720 \cdot \frac{I_E}{100 + 1}$$

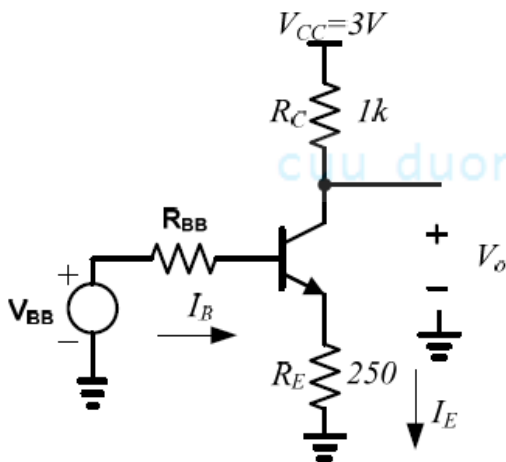
$$I_E = 1.95mA$$

$$I_C = \alpha \cdot I_E = 0.99 \cdot 1.95m = 1.93mA$$

$$V_o = 3 - 1.93m \cdot 1k = 1.07V$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1.93m}{25m} = 0.072A/V$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = 100 / 0.072 = 1.39k\Omega$$



Như vậy ta có:

$$V_o = 1.07V; I_C = 1.93mA; g_m = 0.072 \text{ mho}; \text{ và } r_\pi = 1.39k\Omega$$