

# Chương IV. Mạch khuếch đại ghép liên tầng

## Multistage (Cascaded) Amplifiers

4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

4.2. Mạch khuếch đại ghép Cascode

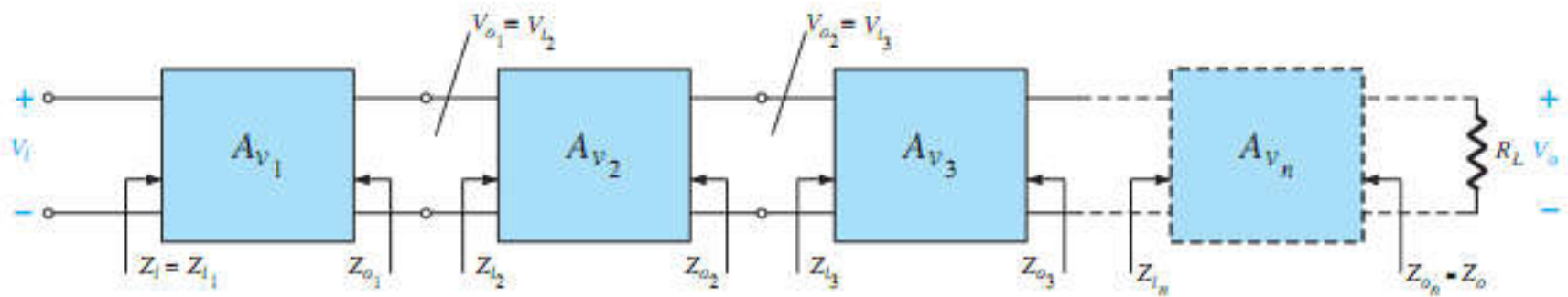
4.3. Mạch khuếch đại Darlington

4.4. Mạch khuếch đại vi sai

# Chương IV. Mạch khuếch đại ghép liên tầng

## Multistage (Cascaded) Amplifiers

Trong việc thiết kế các độ lợi, công suất và đáp ứng tần số của một transistor riêng lẻ thường ít khi đáp ứng đủ. Vì vậy phải ghép các tầng với nhau



# Chương IV. Mạch khuếch đại ghép liên tầng

## Multistage (Cascaded) Amplifiers

Có hai loại ghép:

- Ghép gián tiếp: ghép RC, ghép biến áp
- Ghép trực tiếp: ghép cascode; ghép darlington

# Chương IV. Mạch khuếch đại ghép liên tầng

## Multistage (Cascaded) Amplifiers

### 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

4.1.1. Phân tích khuếch đại một chiều

4.1.2. Sơ đồ mạch phân tích tín hiệu nhỏ tần số thấp

4.1.3. Tính hệ số khuếch đại

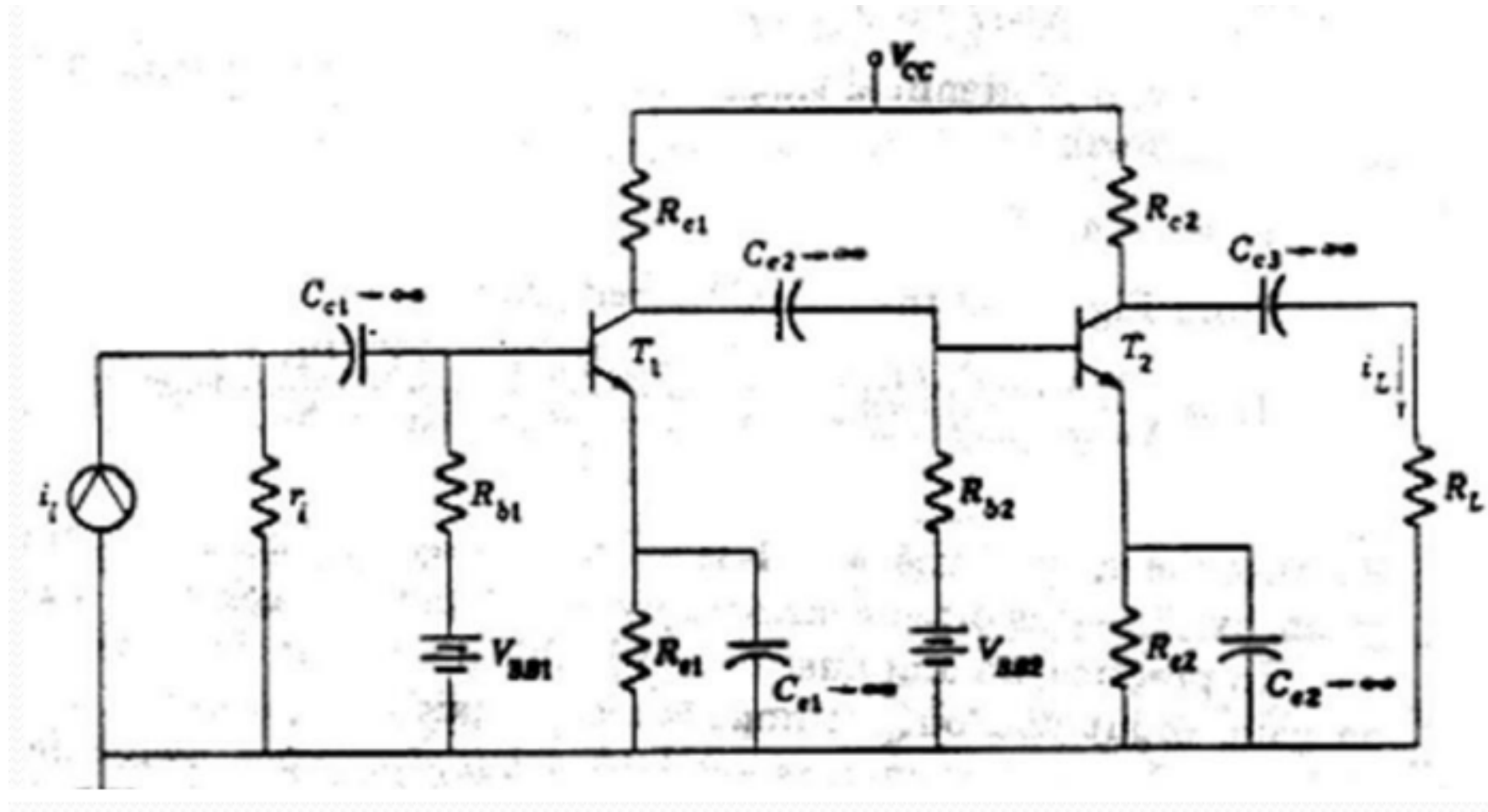
## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

- Ngõ ra của tầng đầu được dùng làm ngõ vào của tầng sau ....
- Mạch có thể dung nhiều cấu hình ghép (CE-CE; CE-CC;....)
- Phân tích DC: hai tầng độc lập
- Phân tích AC (tín hiệu nhỏ): mạch tương đương tín hiệu nhỏ.

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

### 4.1.1 Phân tích phân cực một chiều (DC)

Mạch ghép kiểu CE-CE



## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

### 4.1.1 Phân tích phân cực một chiều (DC)

Mạch ghép kiểu CE-CE

Tầng 1: kiểu CE; cầu phân áp

$$R_{b_1} = \frac{R_{11}R_{21}}{R_{11} + R_{21}}$$

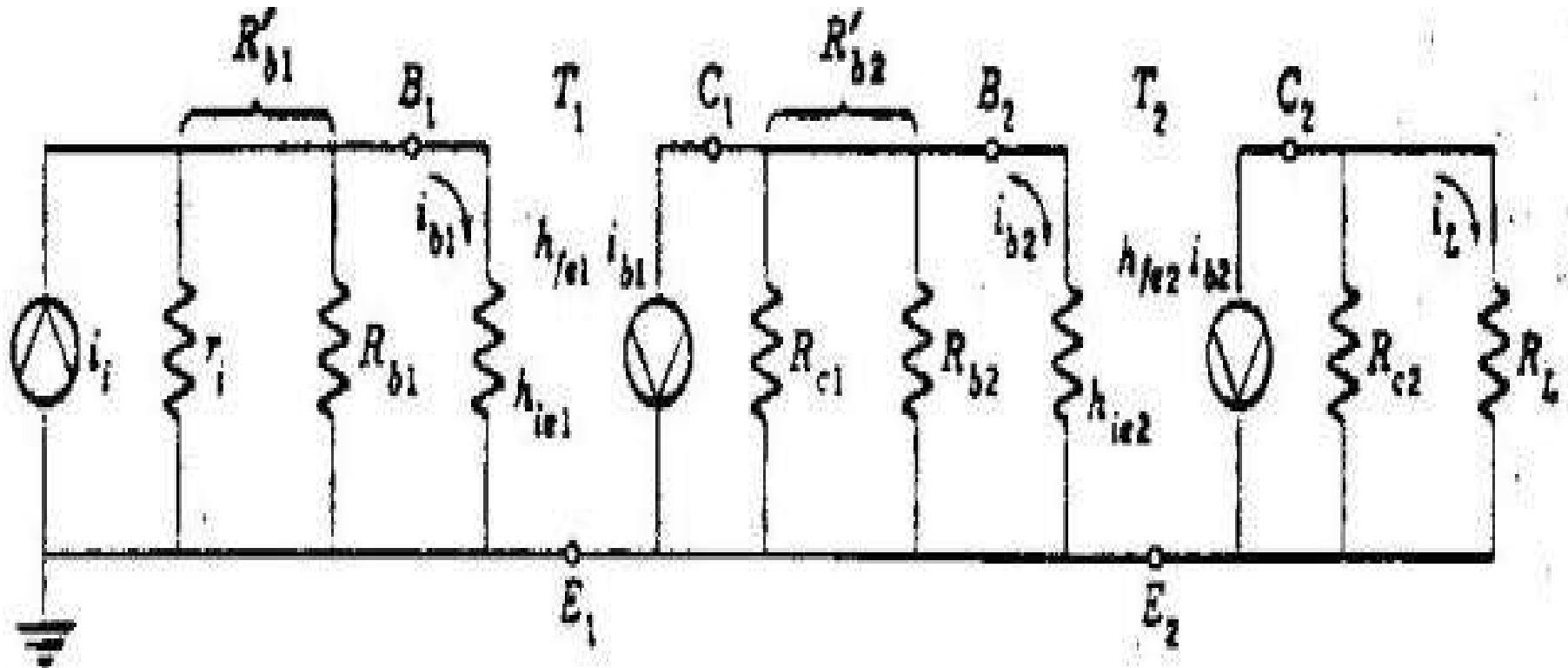
$$V_{BB1} = V_{CC} \frac{R_{21}}{R_{11} + R_{21}}$$

$$R_{b_2} = \frac{R_{12}R_{22}}{R_{12} + R_{22}}$$

$$V_{BB2} = V_{CC} \frac{R_{22}}{R_{12} + R_{22}}$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

### 4.1.2. Sơ đồ mạch tương đương tín hiệu nhỏ tần số thấp





## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

- Độ lợi dòng thực tế tương đương

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_{b_2}} \cdot \frac{i_{b_2}}{i_{b_1}} \cdot \frac{i_{b_1}}{i_i} = \left( \frac{-h_{fe2} R_{c2}}{R_{c2} + R_L} \right) \cdot \left( \frac{-h_{fe1} R'_{b2}}{R'_{b2} + h_{ie2}} \right) \left( \frac{R'_{b1}}{R'_{b1} + h_{ie1}} \right)$$

- Giả sử  $h_{ie1} \ll R_{b1} \parallel r_i = R'_{b1}$   
 $h_{ie2} \ll R_{c1} \parallel r_{b2} = R'_{b2}$   
 $R_L \parallel R_{c2}$

- Độ lợi dòng lớn nhất (max)

$$A_i = \frac{i_L}{i_i} = \frac{i_L}{i_{b_2}} \cdot \frac{i_{b_2}}{i_{b_1}} \cdot \frac{i_{b_1}}{i_i} = (-h_{fe2})(-h_{fe1})(1) = h_{fe1} h_{fe2}$$

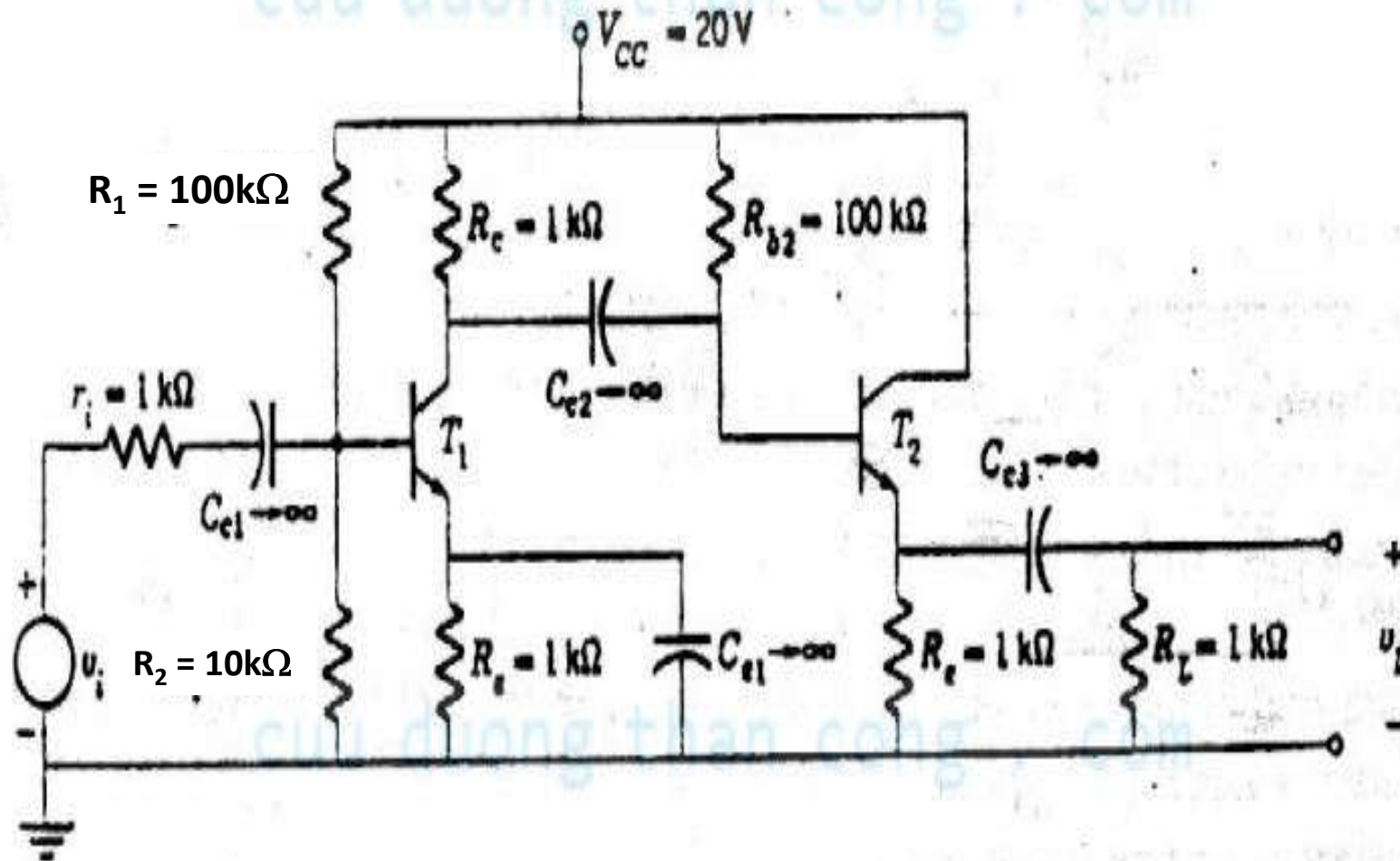
## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

- Mạch có N tầng ghép cascading thì độ lợi dòng có thể đạt giá trị lớn nhất

$$A_i = (-h_{fe1})(-h_{fe2})....(-h_{feN})$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

- Ví dụ 1: Xác định độ lợi áp và biên độ dao động cực đại điện áp ngõ ra. Giả sử  $h_{fe1} = h_{fe2} = 100$



## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

- Phân tích DC

Tầng 2:

$$V_{CC} = I_{B2}R_{b2} + I_{E2}R_{e2} + V_{BE}$$

$$V_{CC} = I_{B2}(R_{b2} + \beta_2 R_{e2}) + V_{BE}$$

$$\Rightarrow I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{b2} + \beta_2 R_{e2}}$$

$$I_{CQ2} = \beta_2 I_{b2}$$

$$= \beta_2 \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{b2} + \beta_2 R_{e2}}$$

$$\Rightarrow I_{CQ2} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{e2} + \frac{R_{b2}}{\beta_2}} \Rightarrow I_{CQ2} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_{e2} + \frac{R_{b2}}{h_{fe2}}} = 9,65mA$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

Tầng 1: mạch phân cực kiểu phân áp mắc CE

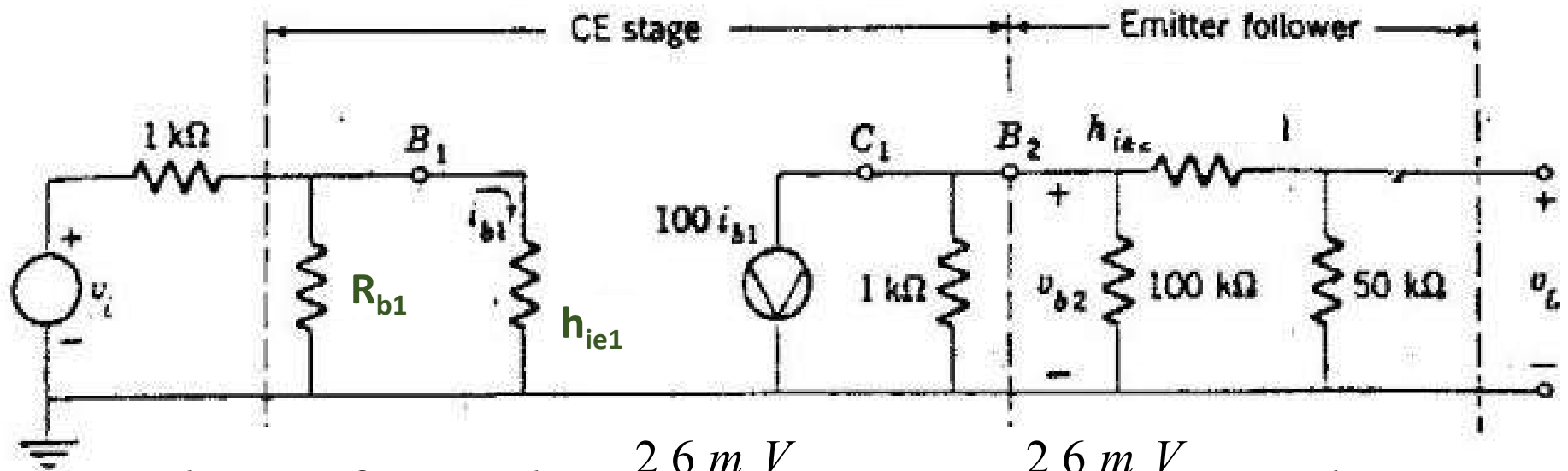
$$R_{b1} = R_1 \parallel R_2 \approx 9k\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \approx 2V$$

$$I_{CQ1} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{e1} + \frac{R_{b1}}{h_{fe1}}} = 1,2mA$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

Sơ đồ mạch tương đương tín hiệu nhỏ



$$h_{ie1} = \beta r_{e1} = h_{fe1} \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = 100 \cdot \frac{26 \text{ mV}}{1.2 \text{ mA}} \approx 2 \text{ k}\Omega$$

$$h_{ie2} = \beta r_{e2} = h_{fe2} \frac{26 \text{ mV}}{I_{E2}} = 100 \cdot \frac{26 \text{ mV}}{9.65 \text{ mA}} = 270 \Omega$$

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{v_{b2}} \cdot \frac{v_{b2}}{i_{b1}} \cdot \frac{i_{b1}}{v_i}$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

$$\frac{v_L}{v_{b2}} = \frac{50k\Omega}{50k\Omega + h_{ic2}} = 0,99 \quad (1)$$

$$v_{b2} = (-h_{fe1}i_{b1}) \{R_{C1} \parallel R_{b2} \parallel [h_{ic2} + 50k\Omega]\}$$

$$\Rightarrow \frac{v_{b2}}{i_{b1}} = (-h_{fe1}) \{R_{C1} \parallel R_{b2} \parallel [h_{ic2} + 50k\Omega]\} = (-100).0,97 = -97 \quad (2)$$

$$\frac{i_{b1}}{v_i} = \frac{1}{r_i} \cdot \frac{(R_{b1} \parallel r_i)}{(R_{b1} \parallel r_i) + h_{ie1}} = 0,31 \quad (3)$$

Độ lợi áp:

$$A_v = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{v_{b2}} \cdot \frac{v_{b2}}{i_{b1}} \cdot \frac{i_{b1}}{v_i} = -30$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

Chứng minh (3)

$$i_{b1} = \frac{R_{b1}}{R_{b1} + h_{ie1}} i \Rightarrow i = \left(1 + \frac{h_{ie1}}{R_{b1}}\right) i_{b1}$$

$$v_i = i r_i + i_{b1} h_{ie1} = \left(1 + \frac{h_{ie1}}{R_{b1}}\right) i_{b1} r_i + i_{b1} h_{ie1}$$

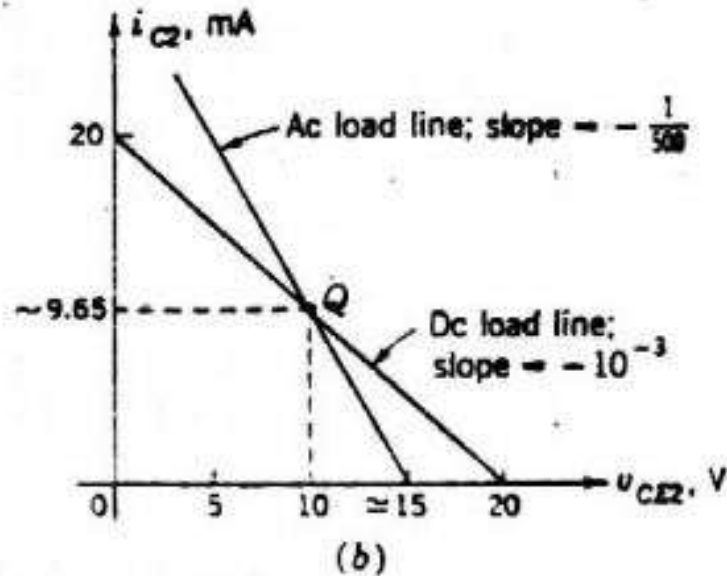
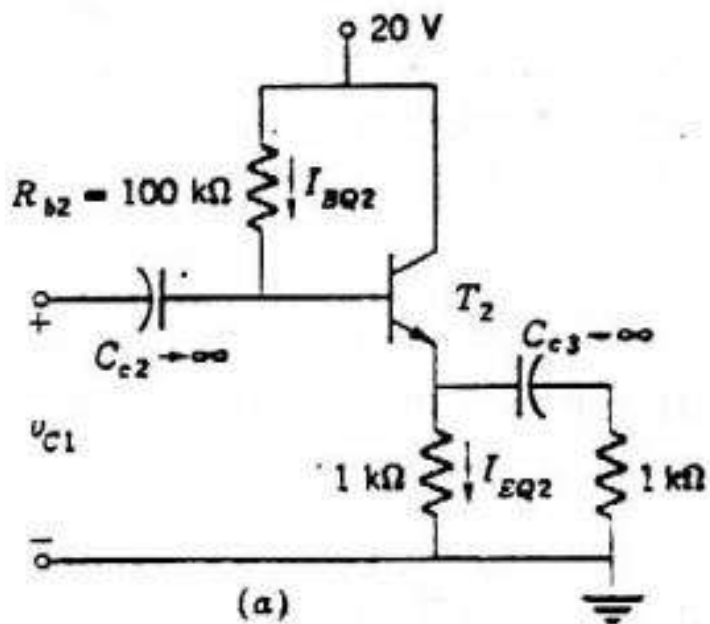
$$\frac{i_{b1}}{v_i} = \frac{1}{\left(1 + \frac{h_{ie1}}{R_{b1}}\right) r_i + h_{ie1}} = \frac{1}{r_i} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{h_{ie1}}{R_{b1}}\right) + \frac{h_{ie1}}{r_i}}$$

$$\frac{i_{b1}}{v_i} = \frac{1}{r_i} \cdot \frac{R_{b1} r_i}{h_{ie1} (r_i + R_{b1}) + R_{b1} r_i} = \frac{1}{r_i} \cdot \frac{\overbrace{R_{b1} r_i}^{(r_i + R_{b1})}}{h_{ie1} + \frac{R_{b1} r_i}{(r_i + R_{b1})}} = \frac{1}{r_i} \cdot \frac{(R_{b1} \parallel r)_i}{(R_{b1} \parallel r)_i + h_{ie1}}$$



## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

✓ Tầng 2:

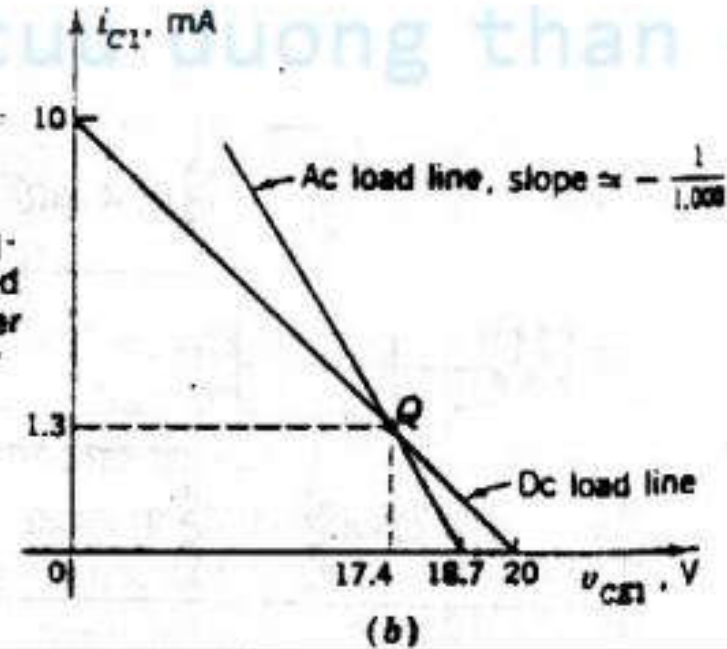
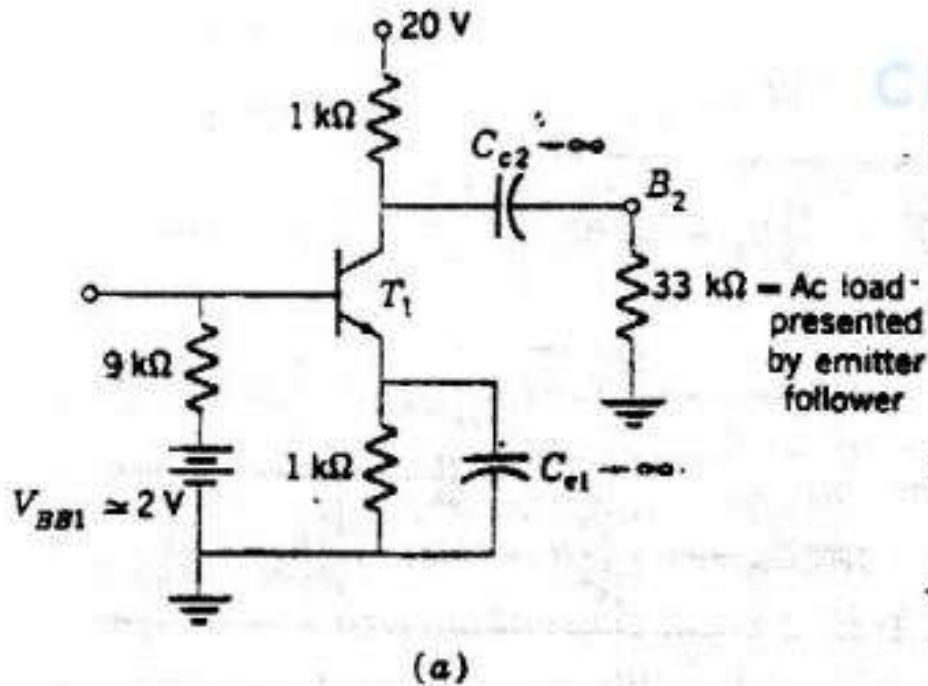


$$R_{DC1} = 1k\Omega; R_{ac1} = 1k\Omega \parallel 1k\Omega = 0,5k\Omega$$

$$\text{Maxswing2} = 5V$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

✓ Tầng 1:



$$R_{L1} = Z_{in2} = R_{b2} \parallel \left[ h_{ic2} + (h_{fc2} + 1)(R_{e2} \parallel R_L) \right] \approx 33k\Omega$$

$$A_{v2} \approx 1$$

$$\text{Maxswing1} = 2,6V$$

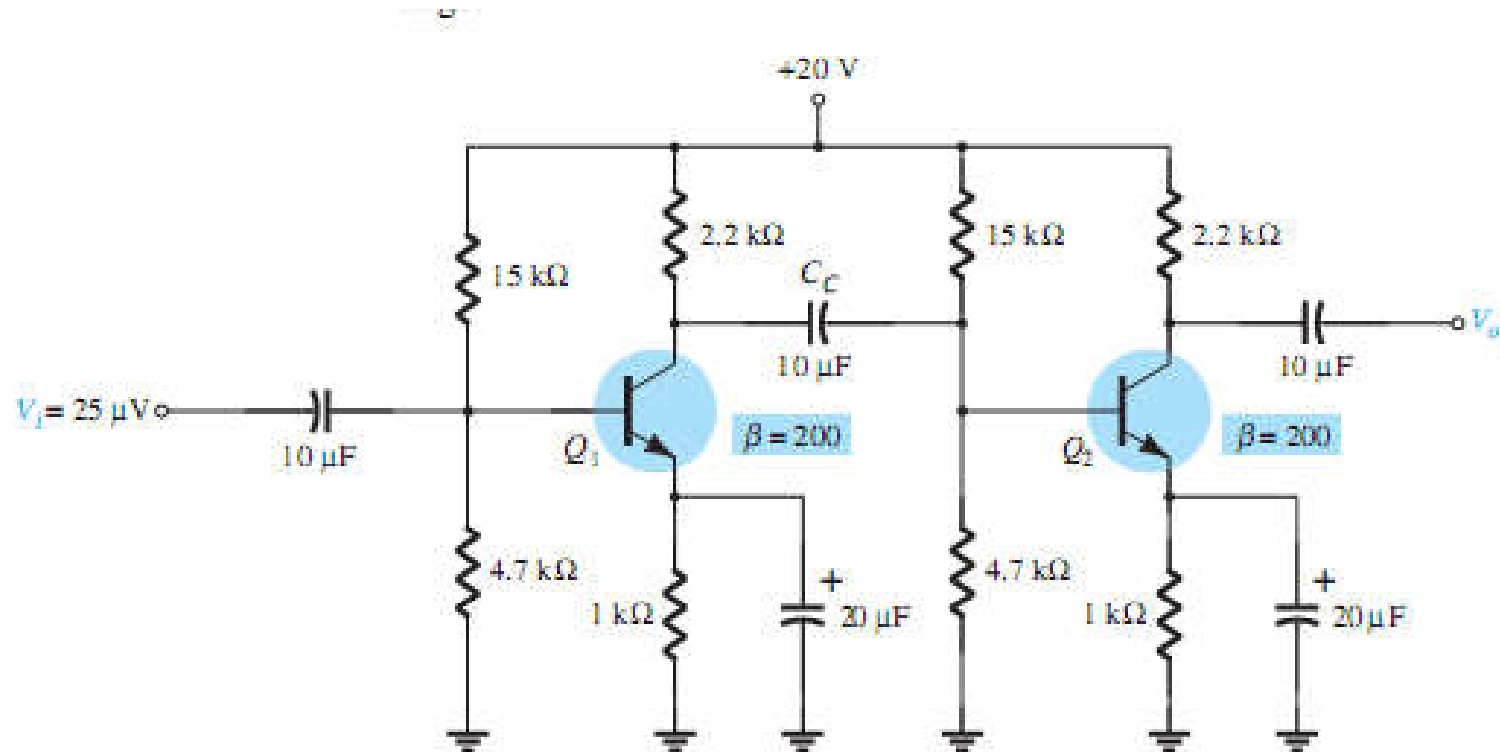
## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

Biên độ dao động cực đại điện áp ngõ ra

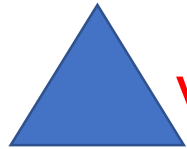
$$\begin{aligned}\text{Maxswing} &= \min[\text{maxswing2}; A_{v_2} \times \text{maxswing1}] \\ &= 2,6\text{V}\end{aligned}$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

Ví dụ 2:



## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading



Ví dụ 2:

$$V_B = 4.8 \text{ V}, \quad V_E = 4.1 \text{ V}, \quad V_C = 11 \text{ V}, \quad I_E = 4.1 \text{ mA}$$

$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} = \frac{26 \text{ mV}}{4.1 \text{ mA}} = 6.34 \Omega$$

$$Z_{i2} = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$

$$\begin{aligned} A_{v1} &= -\frac{R_C \parallel (R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e)}{r_e} \\ &= -\frac{(2.2 \text{ k}\Omega) \parallel [15 \text{ k}\Omega \parallel 4.7 \text{ k}\Omega \parallel (200)(6.34 \Omega)]}{6.34 \Omega} \\ &= -\frac{659.2 \Omega}{6.34 \Omega} = -104 \end{aligned}$$

$$A_{v2(\text{NL})} = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{2.2 \text{ k}\Omega}{6.34 \Omega} = -347$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

Ví dụ 2:

$$A_{v_{T(NL)}} = A_{v_1} A_{v_2(NL)} = (-104)(-347) \cong 36.1 \times 10^3$$

$$V_o = A_{v_{T(NL)}} V_i = (36.1 \times 10^3)(25 \mu\text{V}) \cong 902.5 \text{ mV}$$

$$A_{v_T} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L}{R_L + Z_o} A_{v_{T(NL)}} = \frac{4.7 \text{ k}\Omega}{4.7 \text{ k}\Omega + 2.2 \text{ k}\Omega} (36.1 \times 10^3) \cong 24.6 \times 10^3$$

$$\begin{aligned} V_o &= A_{v_T} V_i \\ &= (24.6 \times 10^3)(25 \mu\text{V}) \\ &= 615 \text{ mV} \end{aligned}$$

$$Z_{i_1} = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e = 4.7 \text{ k}\Omega \parallel 15 \text{ k}\Omega \parallel (200)(6.34 \Omega) = 0.94 \text{ k}\Omega$$

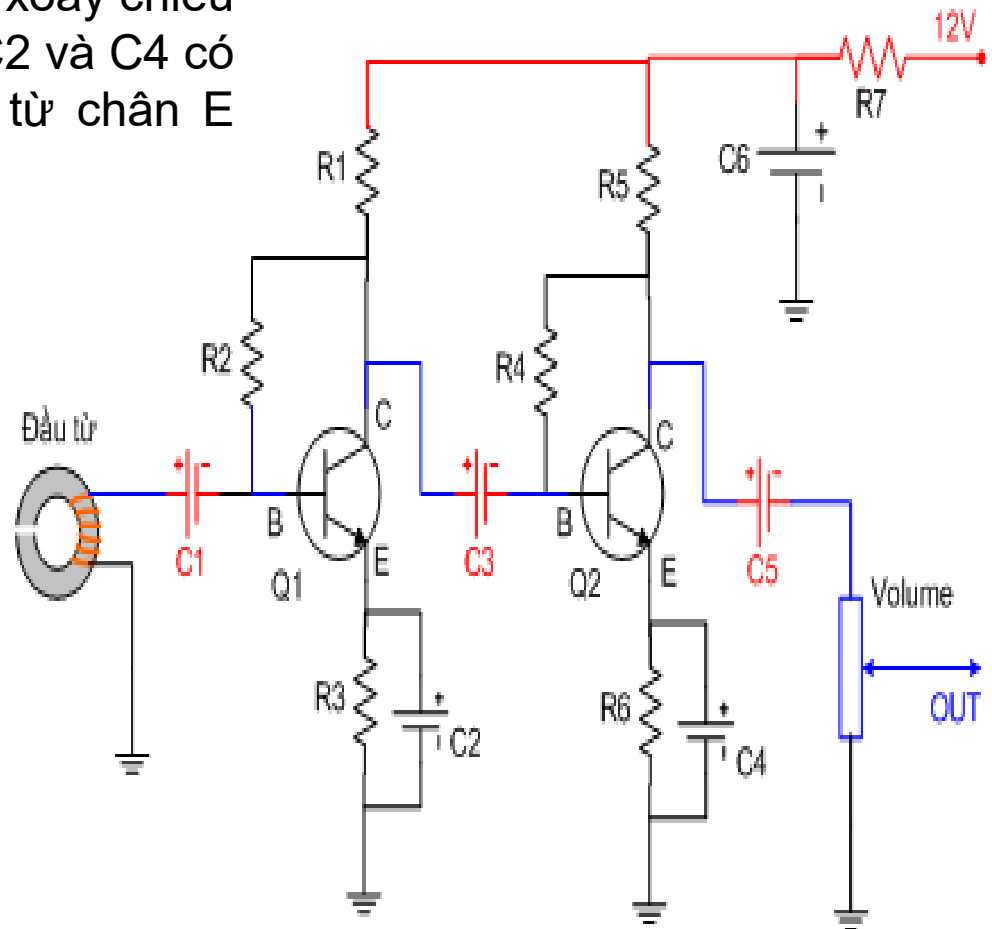
$$Z_{o_2} = R_C = 2.2 \text{ k}\Omega$$

## 4.1. Mạch khuếch đại ghép cascading

### *Ghép tầng qua tụ điện.*

Khuếch đại đầu từ trong Cassette; hai tầng khuếch đại mắc theo kiểu E chung, sử dụng các tụ C1 , C3 , C5 làm tụ nối tầng cho tín hiệu xoay chiều đi qua và ngăn áp một chiều lại, các tụ C2 và C4 có tác dụng thoát thành phần xoay chiều từ chân E xuống mass, C6 là tụ lọc nguồn.

- Ở trên là mạch khuếch đại âm tần, do đó các tụ nối tầng thường dùng tụ hoá có trị số từ  $1\mu\text{F} \div 10\mu\text{F}$ .
- Trong các mạch khuếch đại cao tần thì tụ nối tầng có trị số nhỏ khoảng vài nanô Fara.



## 4.2. Mạch khuếch đại ghép cascode

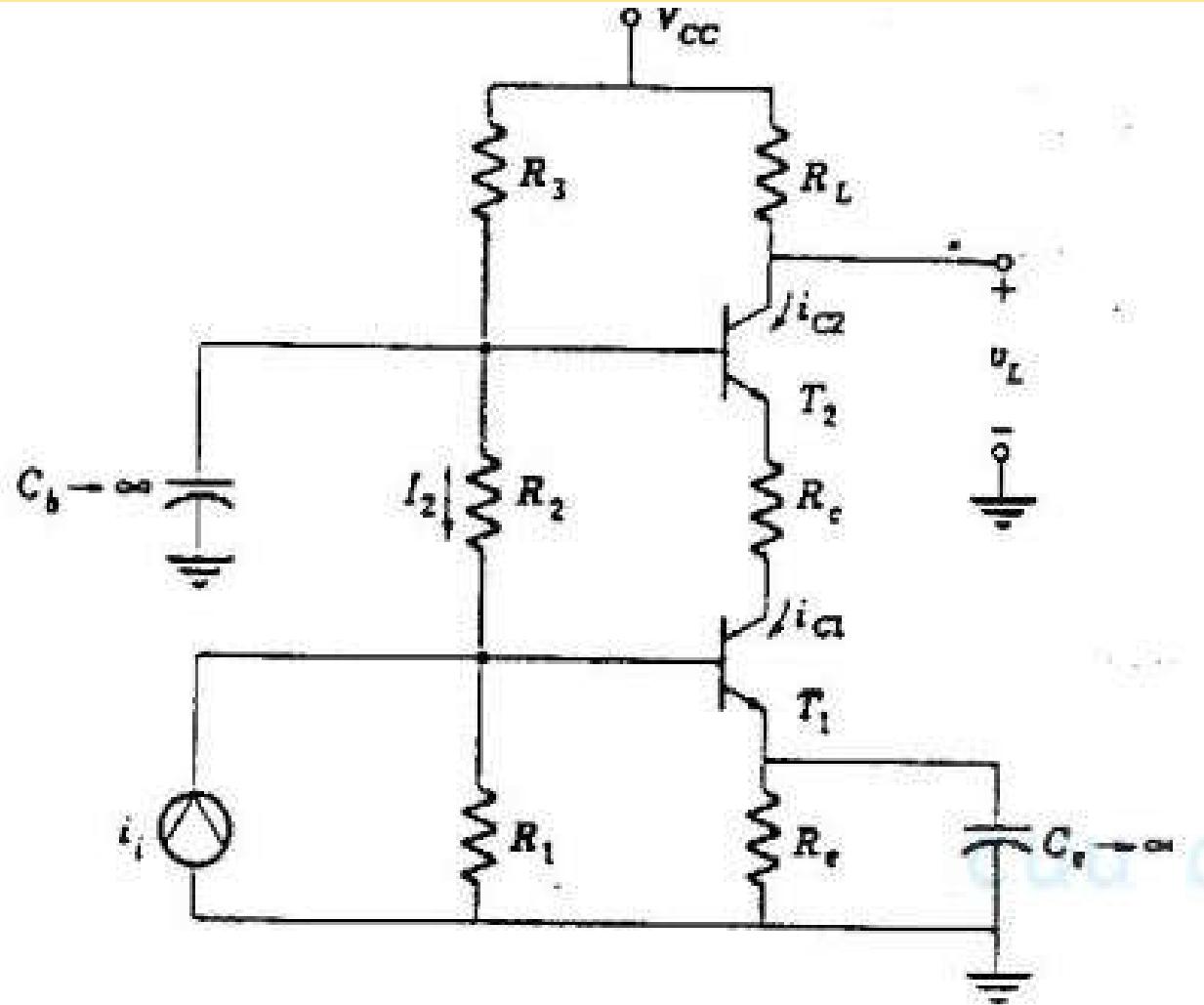
4.2.1. Phân tích khuếch đại một chiều

4.2.2. Sơ đồ mạch phân tích tín hiệu nhỏ tần số thấp

4.2.3. Tính hệ số khuếch đại



## 4.2. Mạch khuếch đại ghép cascode



Đây là một loại ghép trực tiếp nhưng tầng CE được ghép bằng một tầng CB. Loại mạch này có ưu điểm ở tần số cao

## 4.2. Mạch khuếch đại ghép cascode

Phân tích DC

$$V_{B1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} V_{CC}$$

$$V_{B2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3} V_{CC}$$

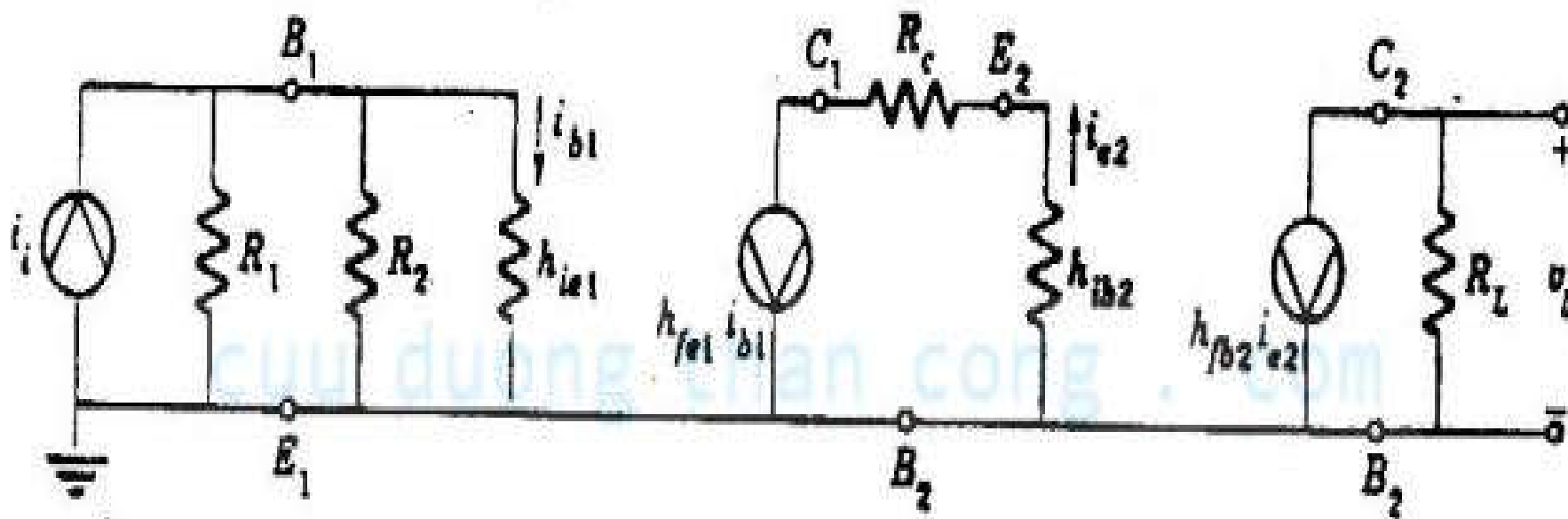
$$I_{C1} = I_{E1} = \frac{V_{E1}}{R_e} = \frac{V_{B1} - V_{BE1}}{R_e}$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = (V_{E2} - R_C I_{C1}) - V_{E1}$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = (V_{CC} - R_L I_{C2}) - V_{E2}$$

## 4.2. Mạch khuếch đại ghép cascode

Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ

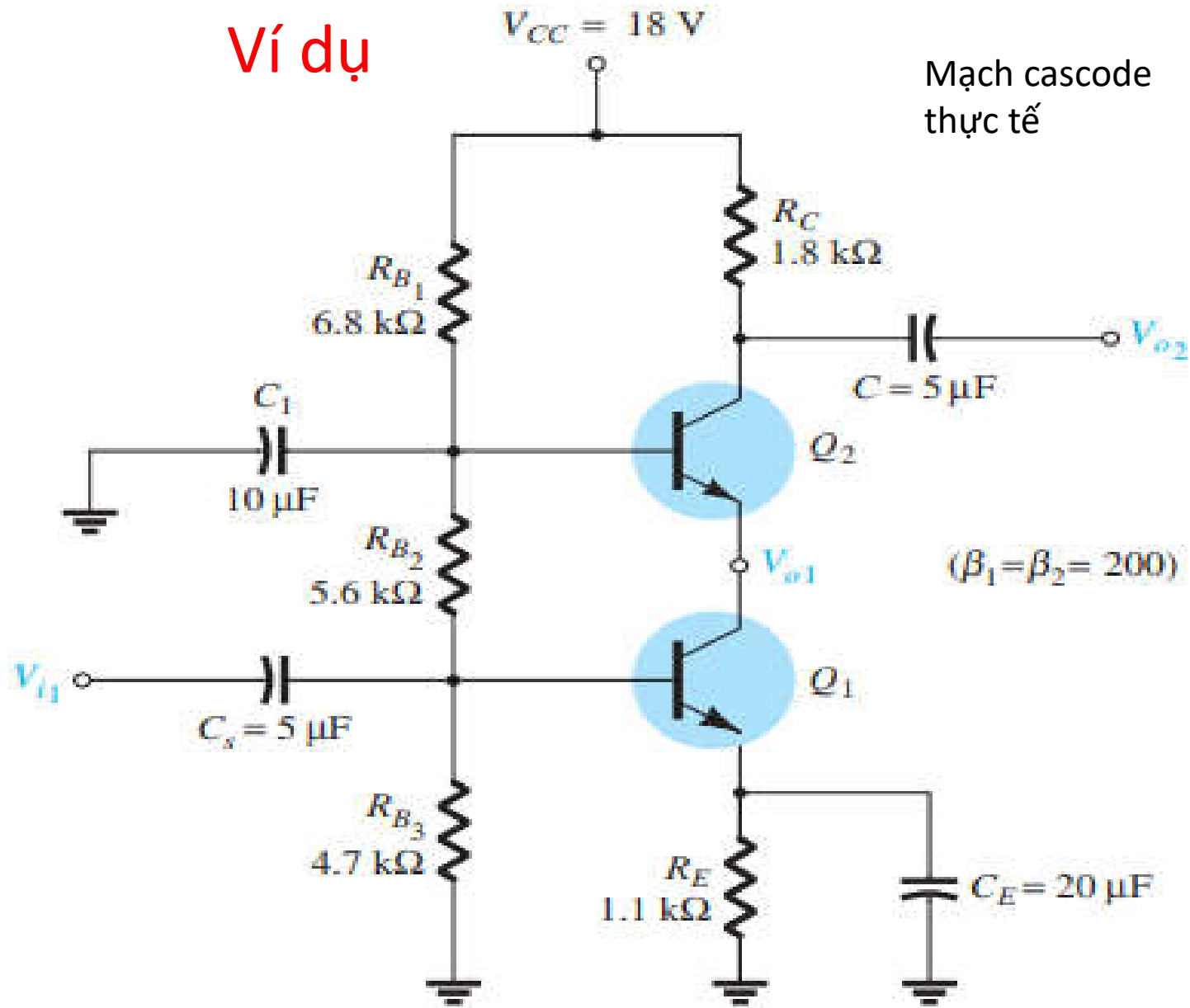


Độ lợi truyền đạt

$$A_T = \frac{v_L}{v_i} = \frac{v_L}{i_{e2}} \cdot \frac{i_{e2}}{i_{b1}} \cdot \frac{i_{b1}}{i_i} = -h_{fb2} \cdot R_L \cdot h_{fe1} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{h_{ie1} + R_1 \parallel R_2}$$

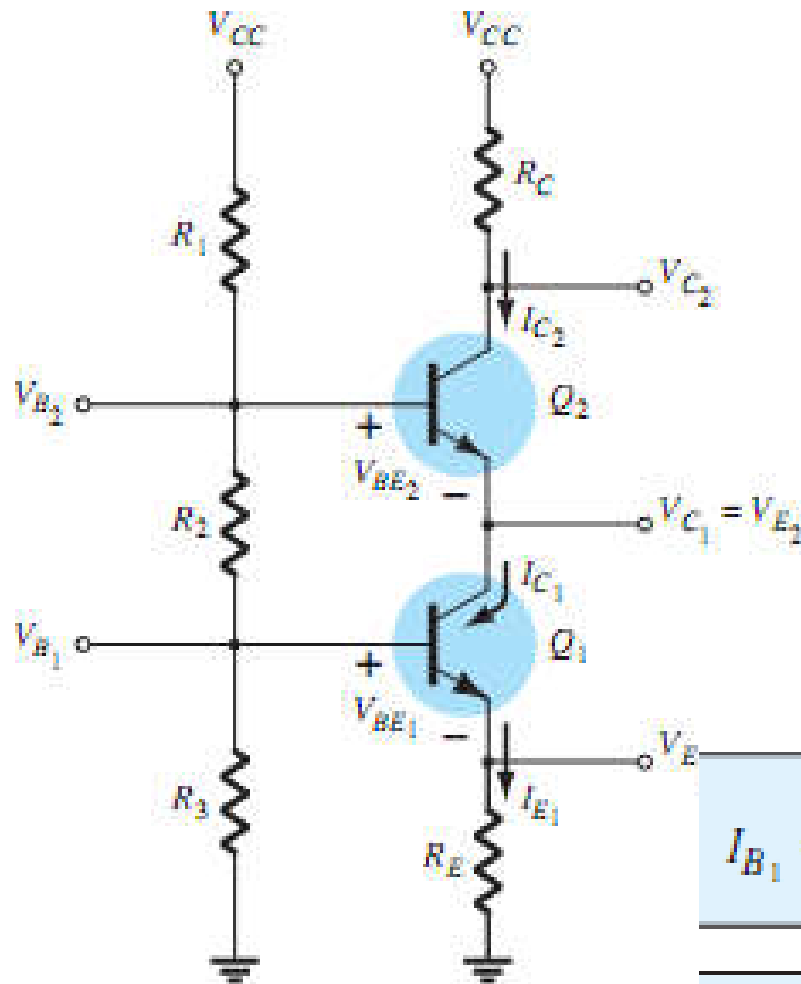
## 4.2. Mạch khuếch đại ghép cascode

Ví dụ



## 4.2. Mạch khuếch đại ghép cascode

Phân tích DC



$$V_{B_1} = \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_{CC}$$

$$V_{B_2} = \frac{(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} V_{CC}$$

$$V_{E_1} = V_{B_1} - V_{BE_1}$$

$$V_{E_2} = V_{B_2} - V_{BE_2}$$

$$I_{C_2} \cong I_{E_2} \cong I_{C_1} \cong I_{E_1} = \frac{V_{B_1} - V_{BE_1}}{R_{E_1} + R_{E_2}}$$

$$I_{B_1} = \frac{I_{C_1}}{\beta_1}$$

$$I_{B_2} = \frac{I_{C_2}}{\beta_2}$$

$$I_{R_1} \cong I_{R_2} \cong I_{R_3} = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2 + R_3}$$

## 4.2. Mạch khuếch đại ghép cascode

Kết quả phân tích dc:

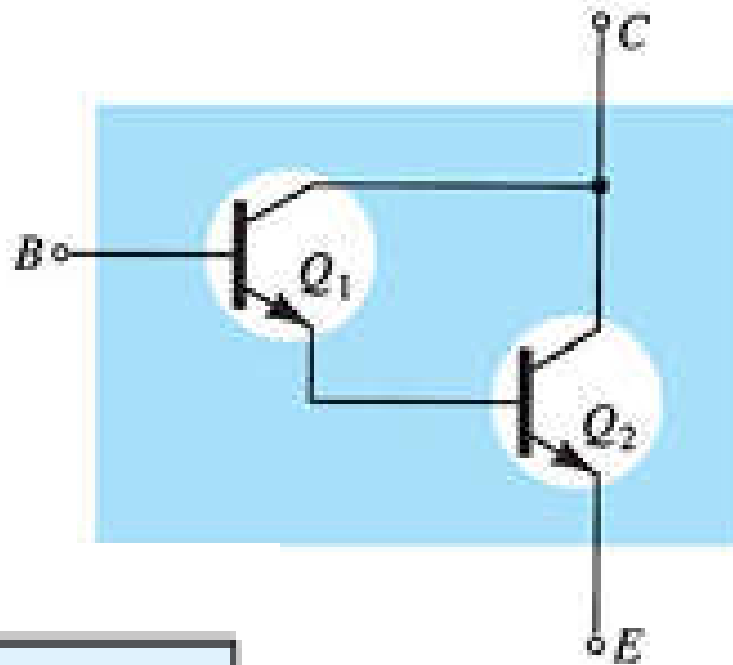
$$V_{B_1} = 4.9 \text{ V}, \quad V_{B_2} = 10.8 \text{ V}$$

$$I_{C_1} \cong I_{C_2} = 3.8 \text{ mA}$$

$I_{E_1} \cong I_{E_2}$  điện trở động cho mỗi BJT là

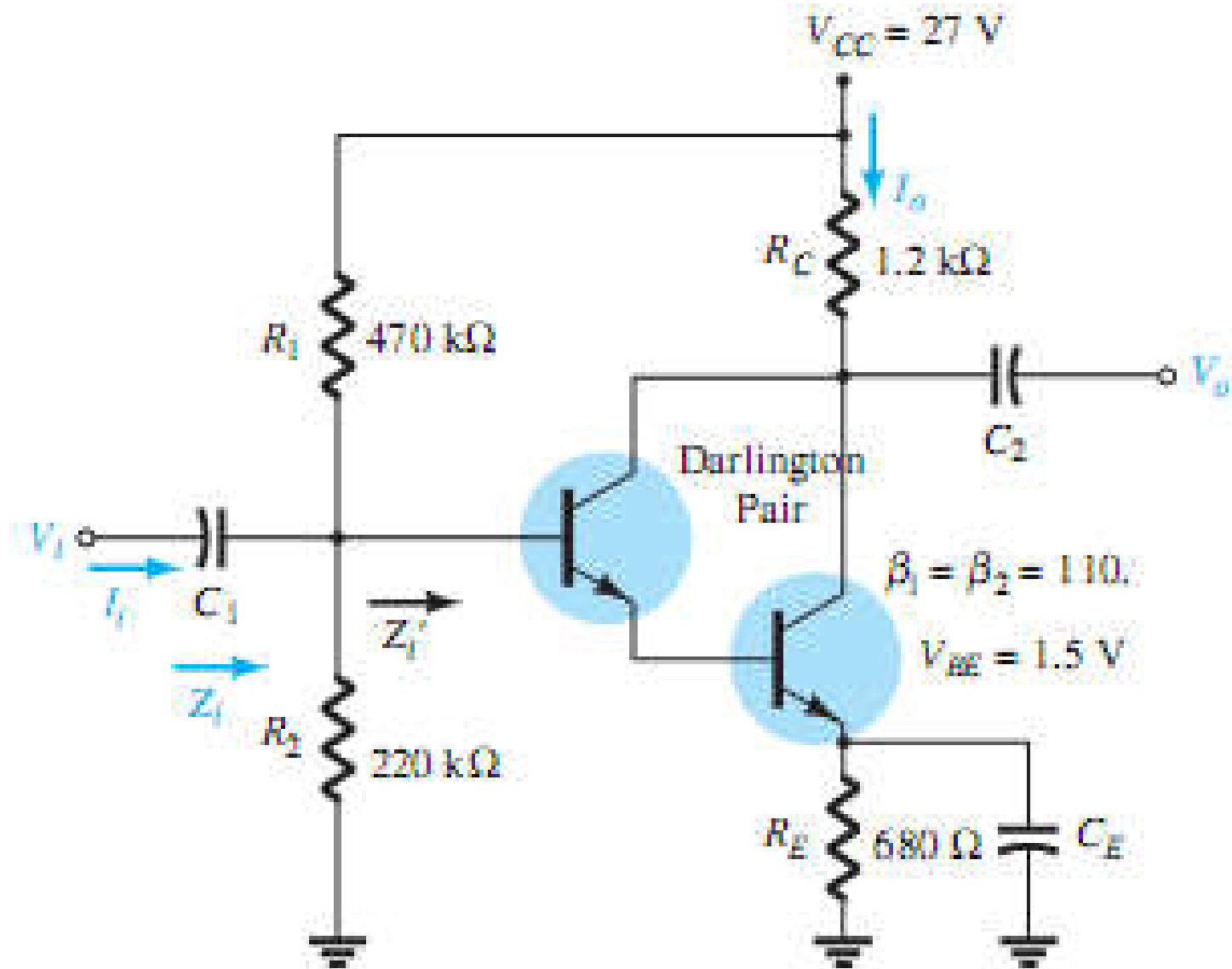
$$r_e = \frac{26 \text{ mV}}{I_E} \cong \frac{26 \text{ mV}}{3.8 \text{ mA}} = 6.8 \Omega$$

## 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington



$$\beta_D = \beta_1 \beta_2$$

### 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington





## 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

### 4.3.1. Phân tích DC

$$\beta_D = \beta_1 \beta_2 = (110 \times 110) = 12,100$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{CC} = \frac{220 \text{ k}\Omega (27 \text{ V})}{220 \text{ k}\Omega + 470 \text{ k}\Omega} = 8.61 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 8.61 \text{ V} - 1.5 \text{ V} = 7.11 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{7.11 \text{ V}}{680 \text{ }\Omega} = 10.46 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_E}{\beta_D} = \frac{10.46 \text{ mA}}{12,100} = 0.864 \text{ }\mu\text{A}$$

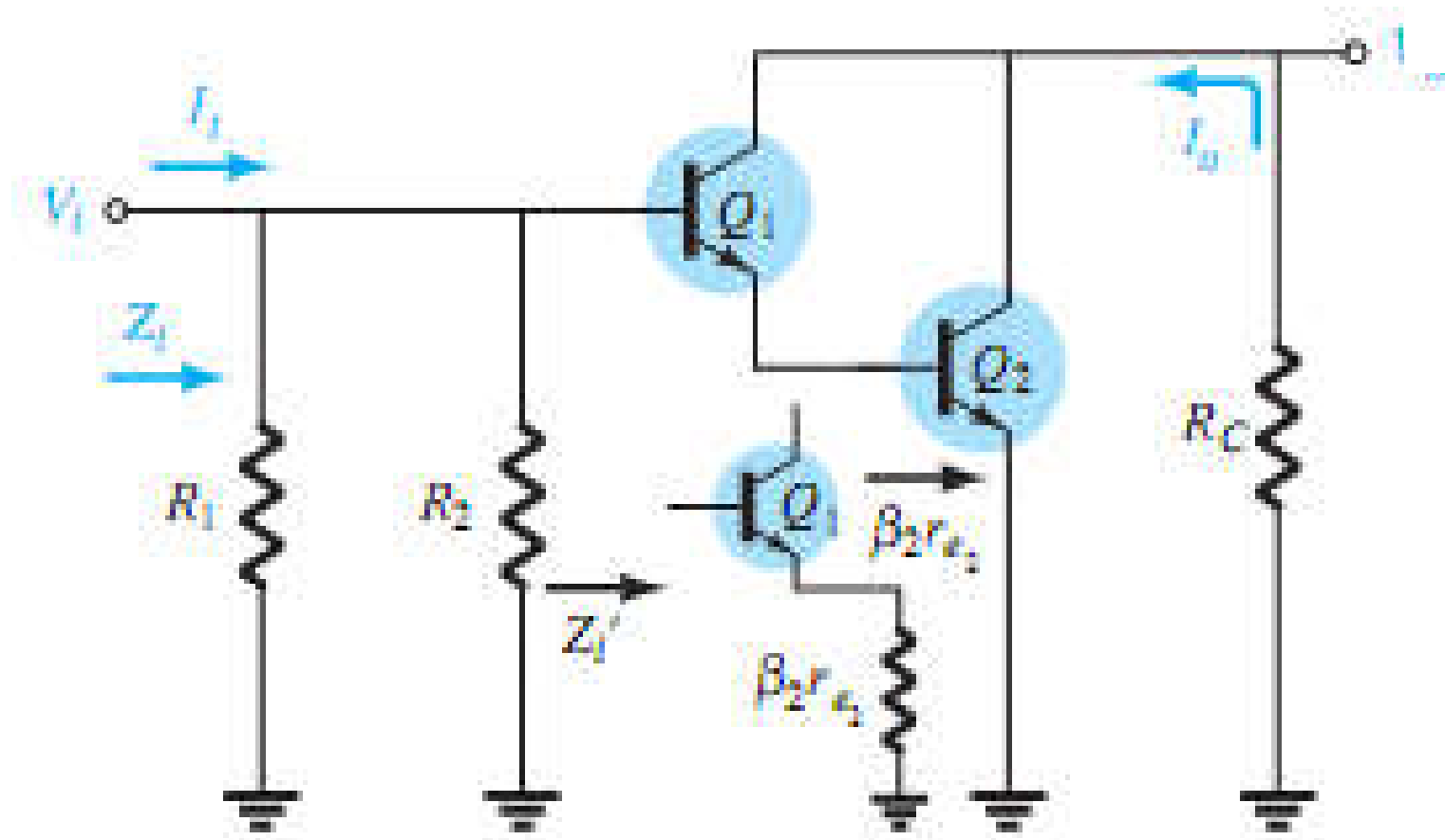
$$r_{e_2} = \frac{26 \text{ mV}}{I_{E_2}} = \frac{26 \text{ mV}}{10.46 \text{ mA}} = 2.49 \text{ }\Omega$$

$$I_{E_1} = I_{B_2} = \frac{I_{E_2}}{\beta_2} = \frac{10.46 \text{ mA}}{110} = 0.095 \text{ mA}$$

$$r_{e_1} = \frac{26 \text{ mV}}{I_{E_1}} = \frac{26 \text{ mV}}{0.095 \text{ mA}} = 273.7 \text{ }\Omega$$

## 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

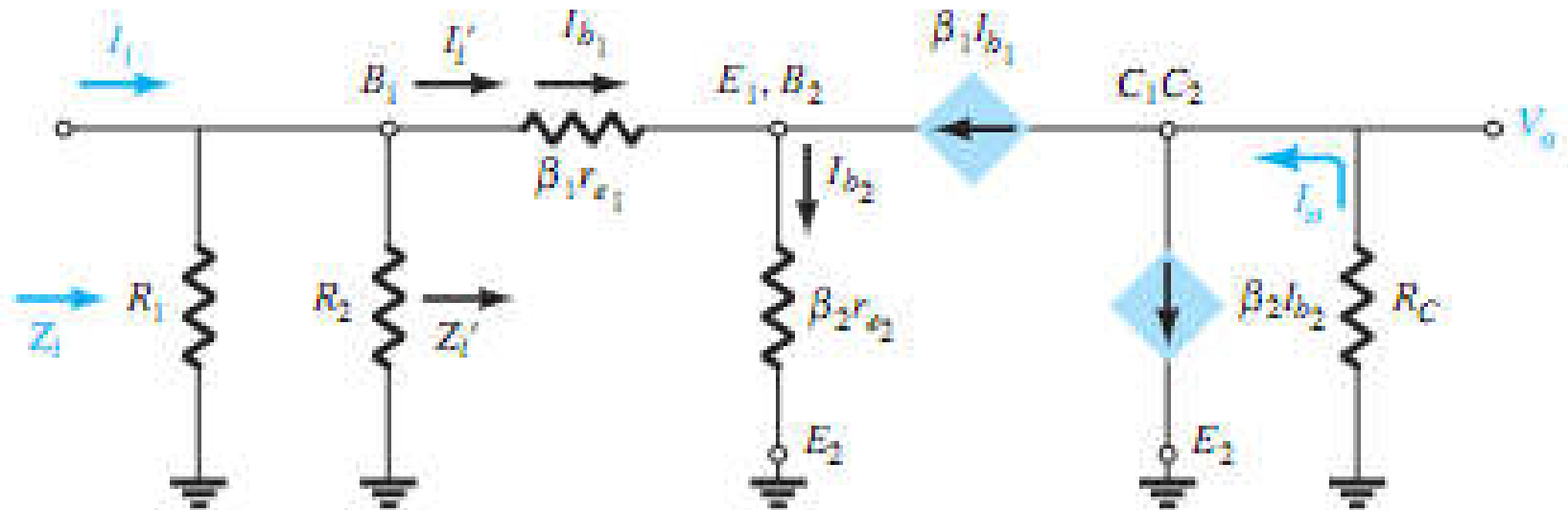
### 4.3.2. Phân tích AC



## 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

### 4.3.2. Phân tích AC

Sơ đồ tương đương tín hiệu nhỏ tần số thấp



## 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

### 4.3.2. Phân tích AC

$$Z'_i = \beta_1 r_{e1} + \beta_1 (\beta_2 r_{e2})$$

$$\begin{aligned} Z'_i &= 110[273.7 \, \Omega + (110)(2.49 \, \Omega)] \\ &= 110[273.7 \, \Omega + 273.9 \, \Omega] \\ &= 110[547.6 \, \Omega] \\ &= \mathbf{60.24 \, k\Omega} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_i &= R_1 \parallel R_2 \parallel Z'_i \\ &= 470 \, k\Omega \parallel 220 \, k\Omega \parallel 60.24 \, k\Omega \\ &= 149.86 \, k\Omega \parallel 60.24 \, k\Omega \\ &= \mathbf{42.97 \, k\Omega} \end{aligned}$$

## 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

### 4.3.2. Phân tích AC

$$I_o = \beta_1 I_{b_1} + \beta_2 I_{b_2}$$

$$I_{b_2} = (\beta_1 + 1) I_{b_1}$$

$$I_o = \beta_1 I_{b_1} + \beta_2 (\beta_1 + 1) I_{b_1}$$

$$I_{b_1} = I_i'$$

$$I_o = \beta_1 I_i' + \beta_2 (\beta_1 + 1) I_i'$$

$$A_i' = \frac{I_o}{I_i} = \beta_1 + \beta_2 (\beta + 1)$$

$$\cong \beta_1 + \beta_2 \beta_1 = \beta_1 (1 + \beta_2)$$

$$\cong \beta_1 \beta_2$$

$$A_i' = \frac{I_o}{I_i} = \beta_1 \beta_2 = \beta_D$$

## 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

### 4.3.2. Phân tích AC

$$I'_I = \frac{R_1 \parallel R_2 I_I}{R_1 \parallel R_2 + Z'_I}$$

$$A_I = \frac{I_o}{I_I} = \left( \frac{I_o}{I'_I} \right) \left( \frac{I'_I}{I_I} \right)$$

$$A_I = \frac{\beta_D (R_1 \parallel R_2)}{R_1 \parallel R_2 + Z'_I}$$

$$\begin{aligned} A_I &= \frac{(12,100)(149.86 \text{ k}\Omega)}{149.86 \text{ k}\Omega + 60.24 \text{ k}\Omega} \\ &= 8630.7 \end{aligned}$$

## 4.3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

### 4.3.2. Phân tích AC

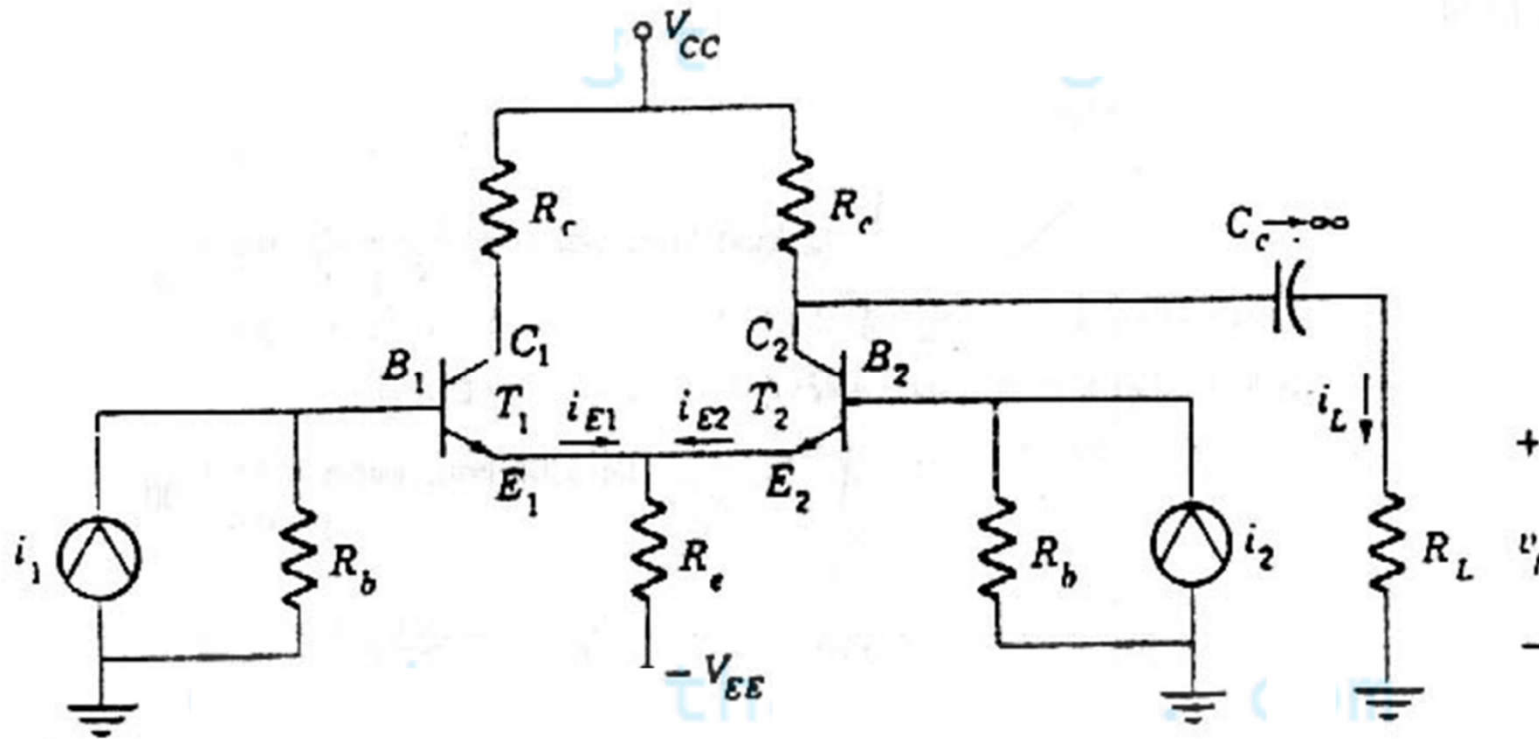
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{I_o R_C}{I_i Z_i} = -A_i \left( \frac{R_C}{Z_i} \right)$$

$$A_v = -\frac{\beta_D R_C}{Z_i}$$

$$A_v = -\frac{\beta_D R_C}{Z_i} = -\frac{(12,000)(1.2 \text{ k}\Omega)}{60.24 \text{ k}\Omega} = -241.04$$

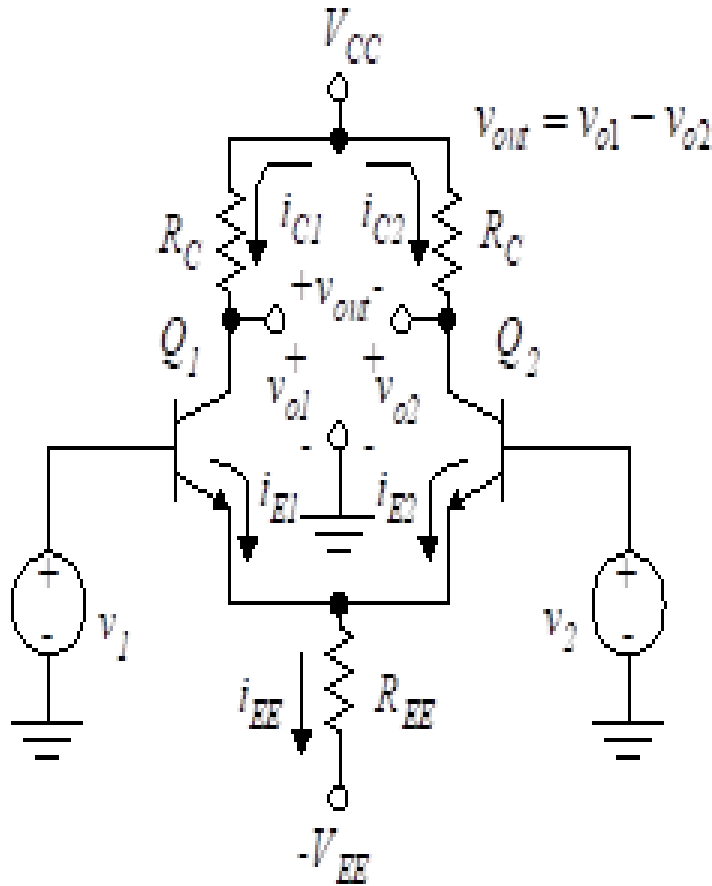
$$Z_o \cong R_C \parallel r_{o2}$$

## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**





## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**



Là 1 dạng KĐ DC đối xứng (2 ngõ vào, 3 ngõ ra). Dòng trôi xuất hiện do thay đổi điện áp nguồn, để loại trừ dòng trôi này ta dùng tầng vi sai

Nguồn  $-V_{EE}$  nhằm tạo điểm có điện thế DC = 0 cho ngõ vào or ngõ ra theo yêu cầu chung của bộ KĐ DC.

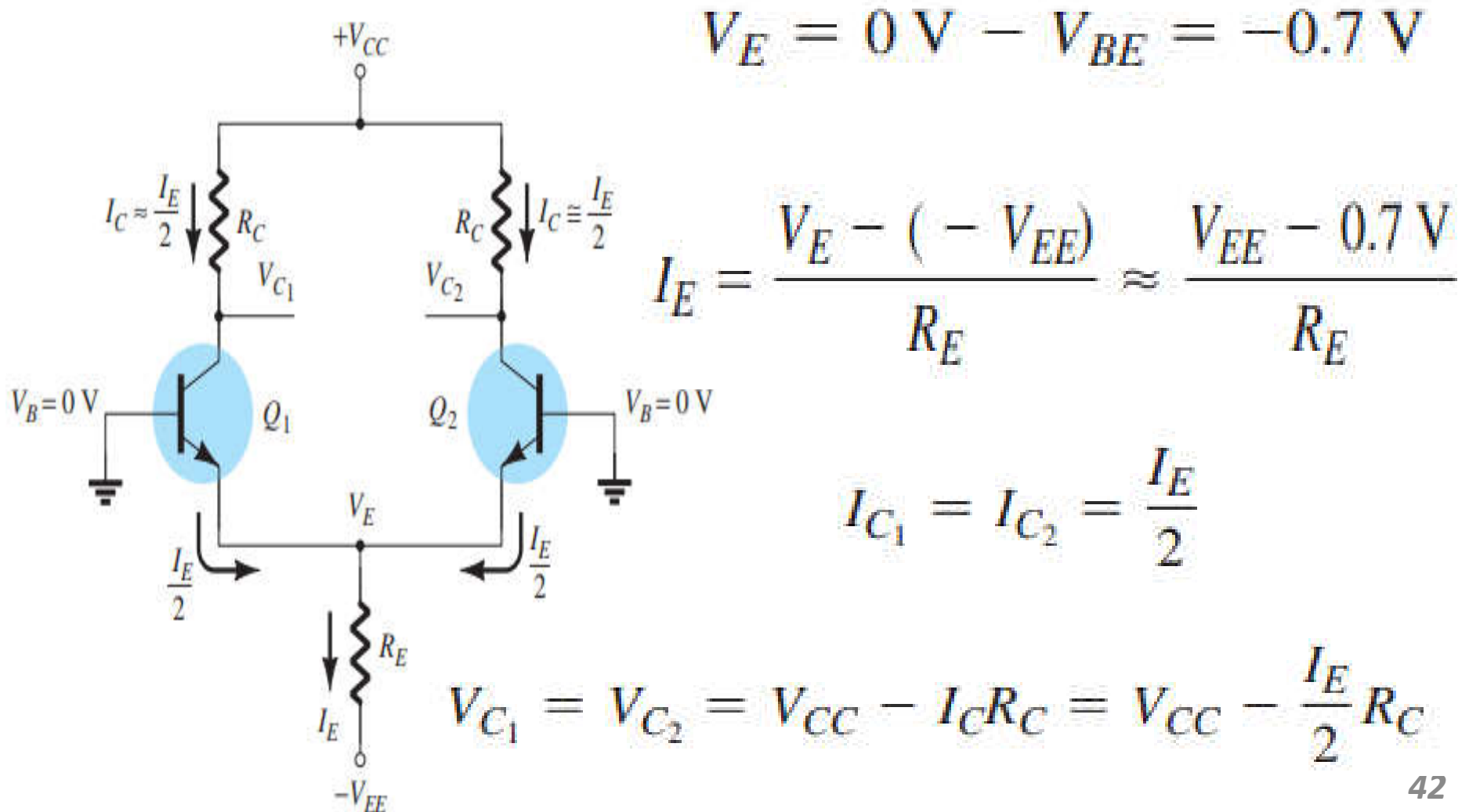
Dòng qua  $R_{EE}$  là  $2I_E$  nên khi đưa về 1 vế  $R_{EE}$  thay bằng  $2R_{EE}$ .

***Do 2 vế của mạch đối xứng nên chỉ cần tính toán cho 1 vế***

Tầng đầu vào của hầu hết các op-amps là Bộ khuếch đại vi sai 41

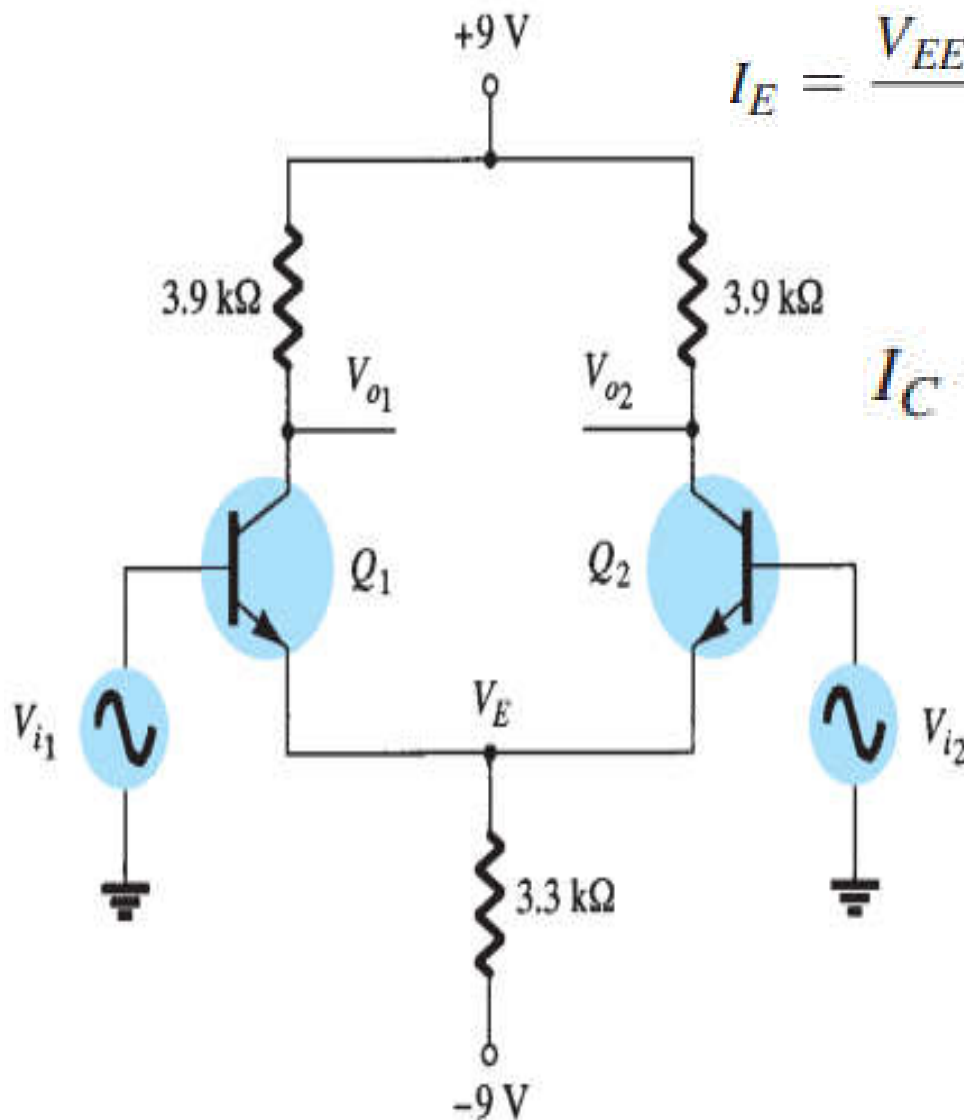
## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**

**DC Bias** : xem xét ở chế độ một chiều, điện áp dc ở mỗi đầu vào về cơ bản được kết nối với 0 V, như trong hình. Với mỗi điện áp cơ sở ở 0 V, điện áp phân cực dc phát chung là



## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**

Calculate the dc voltages and currents in the circuit



$$I_E = \frac{V_{EE} - 0.7\text{ V}}{R_E} = \frac{9\text{ V} - 0.7\text{ V}}{3.3\text{ k}\Omega} \approx 2.5\text{ mA}$$

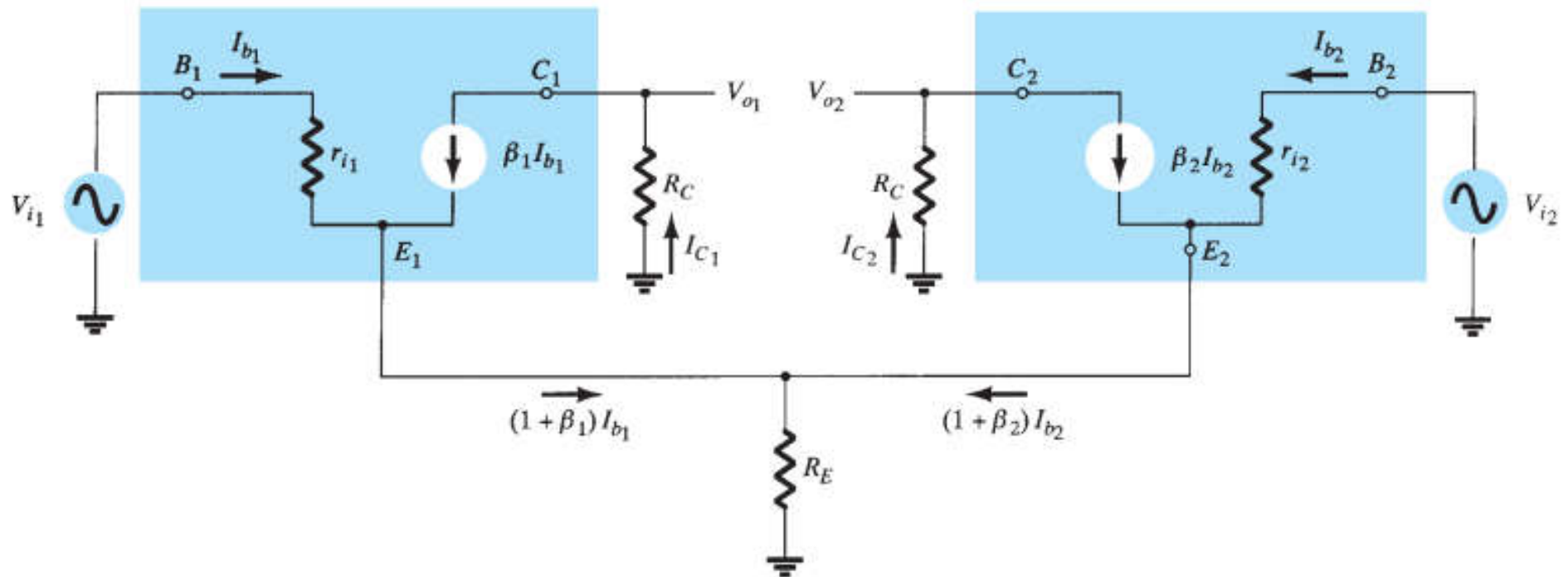
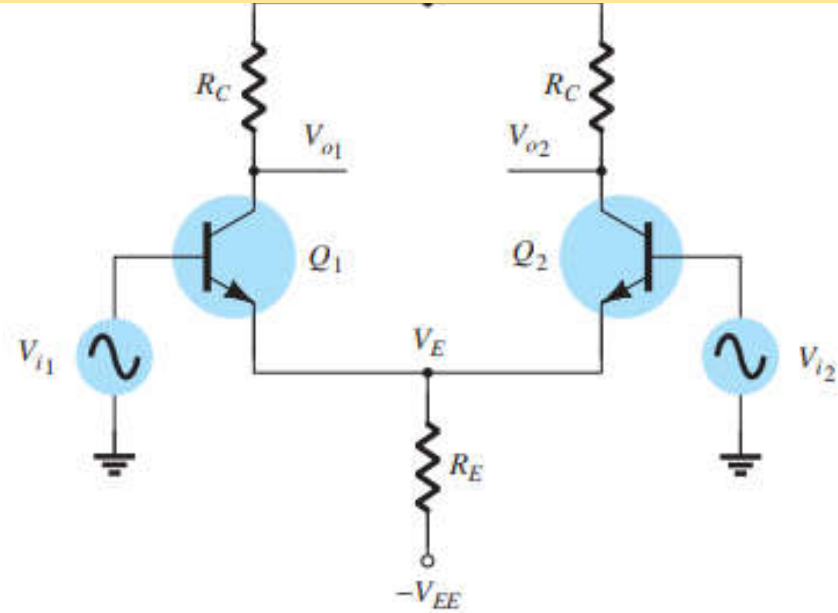
$$I_C = \frac{I_E}{2} = \frac{2.5\text{ mA}}{2} = 1.25\text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_C &= V_{CC} - I_C R_C \\ &= 9\text{ V} - (1.25\text{ mA})(3.9\text{ k}\Omega) \\ &\approx 4.1\text{ V} \end{aligned}$$

## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai Differential Amplifier

Hoạt động AC của mạch

Để thực hiện phân tích AC, . Mỗi BJT được thay thế tương đương AC của nó.



## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**

$$I_{b1} = I_{b2} = I_b$$

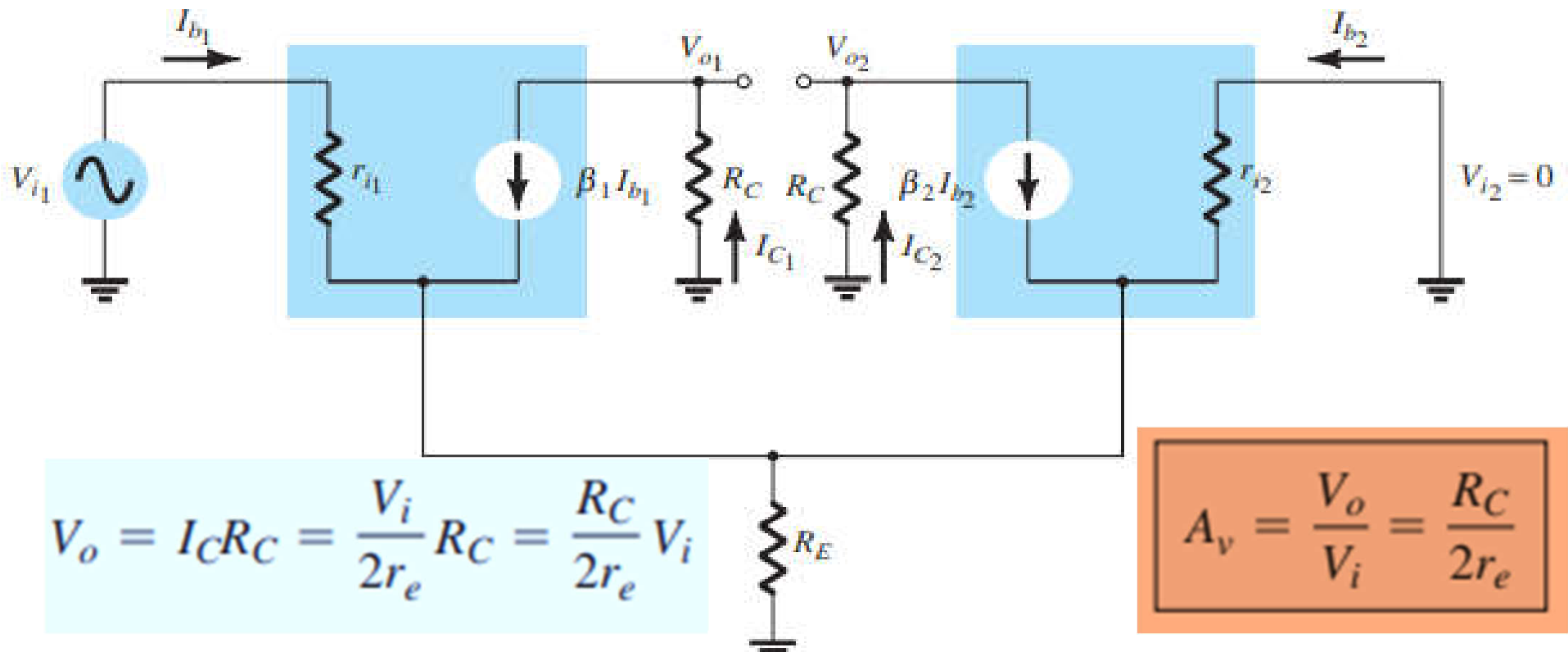
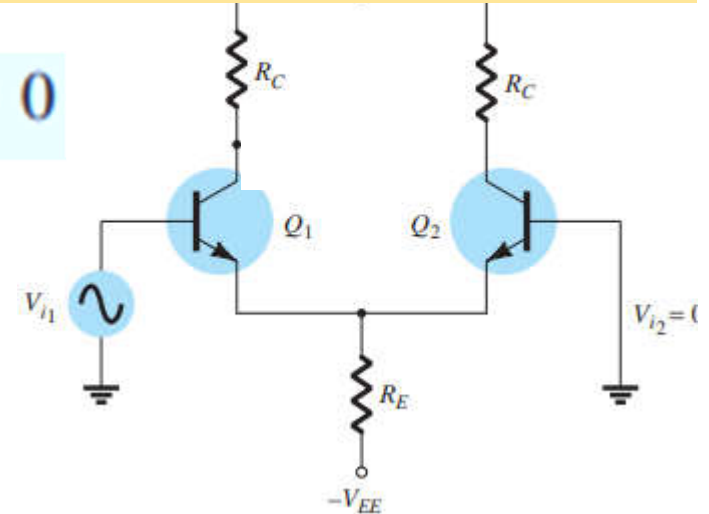
$$r_{i1} = r_{i2} = r_i = \beta r_e$$

$$V_{i1} - I_b r_i - I_b r_i = 0$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta$$

$$I_b = \frac{V_{i1}}{2r_i} = \frac{V_i}{2\beta r_e}$$

$$I_C = \beta I_b = \beta \frac{V_i}{2\beta r_e} = \frac{V_i}{2r_e}$$



## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**

Tính điện áp đầu ra  $V_{o2}$  cho mạch

Các tính toán dc

$$I_E = \frac{V_{EE} - 0.7 \text{ V}}{R_E} = \frac{9 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{43 \text{ k}\Omega} = 193 \mu\text{A}$$

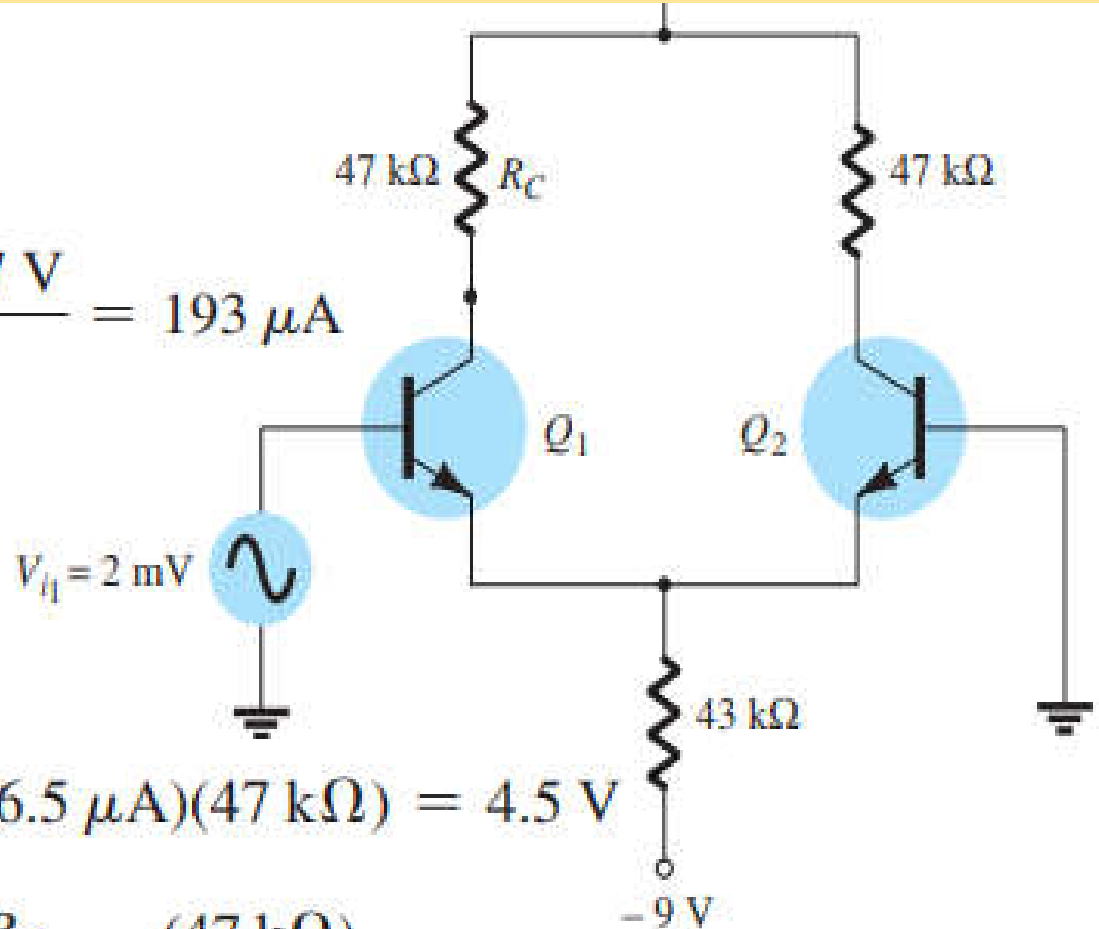
$$I_C = \frac{I_E}{2} = 96.5 \mu\text{A}$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 9 \text{ V} - (96.5 \mu\text{A})(47 \text{ k}\Omega) = 4.5 \text{ V}$$

$$r_e = \frac{26}{0.0965} \cong 269 \Omega \quad A_v = \frac{R_C}{2r_e} = \frac{(47 \text{ k}\Omega)}{2(269 \Omega)} = 87.4$$

$$r_{i1} = r_{i2} = 20 \text{ k}\Omega$$
$$\beta_1 = \beta_2 = 75$$

$$V_o = A_v V_i = (87.4)(2 \text{ mV}) = 174.8 \text{ mV} = \mathbf{0.175 \text{ V}}$$



## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**

**Tăng điện áp xoay chiều hai đầu**

Một phân tích tương tự có thể được sử dụng để chỉ ra rằng trong điều kiện tín hiệu được áp dụng cho cả hai đầu vào, cường độ tăng điện áp vi sai là

$$A_d = \frac{V_o}{V_d} = \frac{R_C}{r_e}$$

where  $V_d = V_{i1} - V_{i2}$

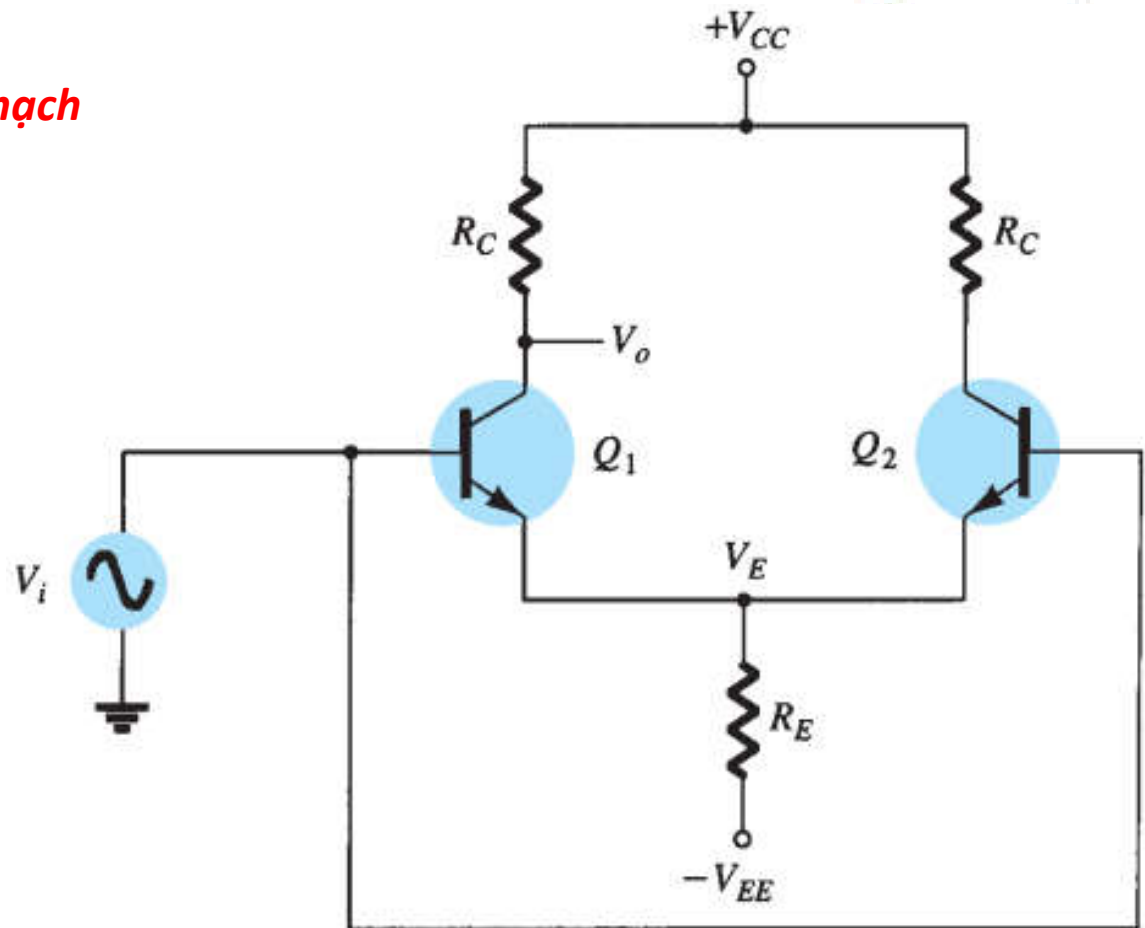
**Hoạt động ở chế độ chung của mạch**

**Common Mode**

$$r_{i1} = r_{i2} = 20 \text{ k}\Omega$$
$$\beta_1 = \beta_2 = 75$$

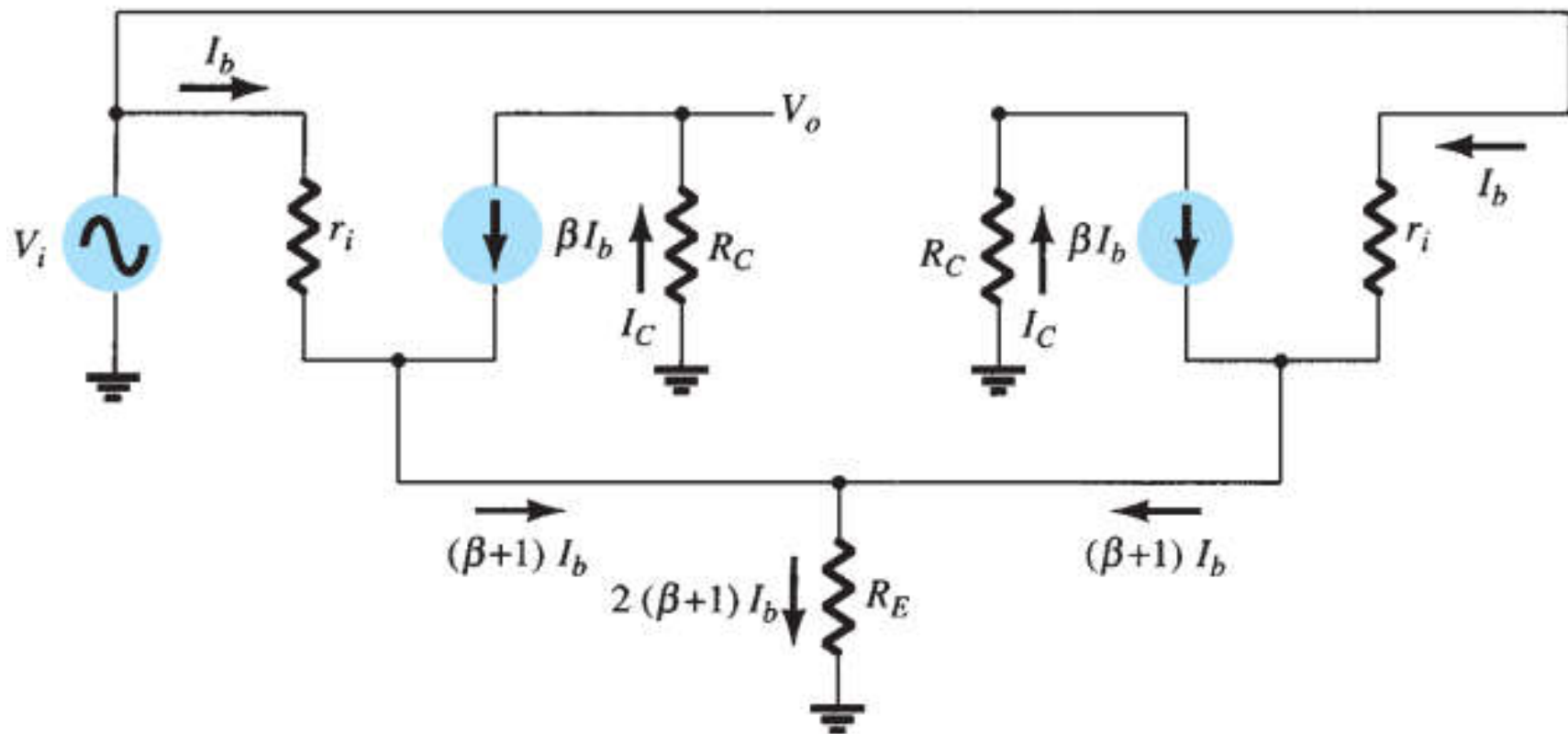
$$R_C = 47 \text{ k}\Omega; \quad A_{CM} ?$$

$$R_E = 43 \text{ k}\Omega$$



## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**

*Hoạt động ở chế độ chung của mạch*





## 4.4. Mạch khuếch đại vi sai **Differential Amplifier**

$$I_b = \frac{V_i - 2(\beta + 1)I_b R_E}{r_i}$$

$$r_{i1} = r_{i2} = 20 \text{ k}\Omega$$
$$\beta_1 = \beta_2 = 75$$

$$A_c = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\beta R_C}{r_i + 2(\beta + 1)R_E}$$

$$\approx \frac{R_C}{2R_E}$$

$$R_C = 47 \text{ k}\Omega;$$

$$R_E = 43 \text{ k}\Omega$$

$$I_b = \frac{V_i}{r_i + 2(\beta + 1)R_E}$$

$$V_o = I_C R_C = \beta I_b R_C = \frac{\beta V_i R_C}{r_i + 2(\beta + 1)R_E}$$

$$\frac{75(47 \text{ k}\Omega)}{20 \text{ k}\Omega + 2(76)(43 \text{ k}\Omega)} = \mathbf{0.54}$$