

Phần 2: ĐIỆN TỬ CƠ BẢN

Bài 8: KHUẾCH ĐẠI TÍN HIỆU NHỎ

Mạch khuếch đại ghép tầng

1. Mạch khuếch đại ghép tầng

1. Mạch khuếch đại ghép tầng

Yêu cầu mạch khuếch đại từ tín hiệu rất nhỏ ở đầu vào thành tín hiệu rất lớn ở đầu ra.

=> Tăng hệ số khuếch đại

Để tăng hệ số khuếch đại thì chúng ta không thể sử dụng 1 tầng khuếch đại mà phải dùng nhiều tầng khuếch đại ghép lại với nhau.

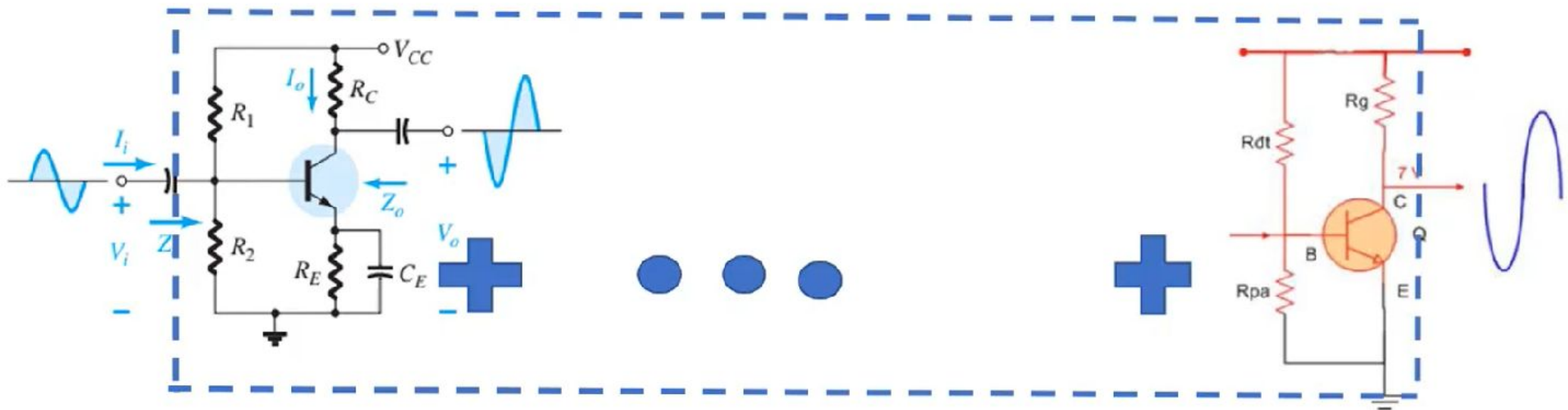
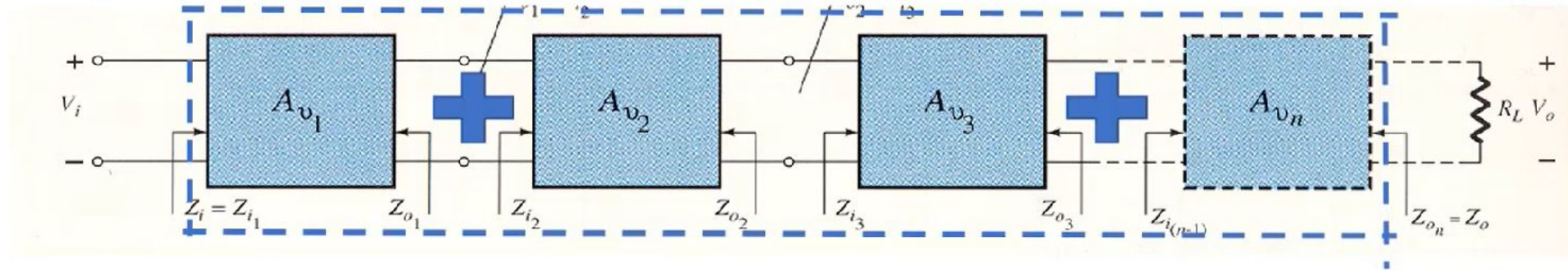
Khi ghép nối các tầng khuếch đại thành một bộ khuếch đại đa tầng thì chúng ta cần phải mắc đầu ra của tầng phía trước vào đầu vào của tầng sau. Tổng trở vào và tổng trở ra của bộ khuếch đại sẽ được tính theo tầng đầu và tầng cuối.

Hệ số khuếch đại bằng tích các hệ số khuếch đại của các tầng.

Việc ghép giữa các tầng có thể dùng tụ điện, biến áp hay ghép trực tiếp.

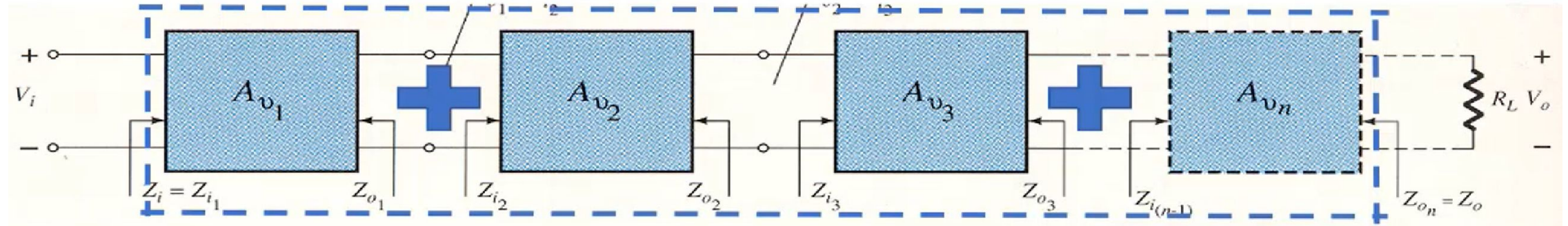
1. Mạch khuếch đại ghép tầng

Sơ đồ khối của ghép liên tầng



1. Mạch khuếch đại ghép tầng

Hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại ghép tầng



Tổng trở vào:

$$Z_{i1} = Z_i = \frac{V_i}{i_i}$$

Tổng trở ra:

$$Z_{on} = Z_o = \frac{V_o}{i_o}$$

Hệ số khuếch đại điện áp của toàn bộ khuếch đại ghép tầng:

$$A_{VT} = A_{vETP1} \times A_{vETP2} \times A_{vETP3} \times \dots \times A_{vETPn}$$

Trong đó A_{vETP} của từng tầng được tính bởi công thức sau (*xem chi tiết trong mục 8.6*):

$$A_{vETP1} = A_{v1} \left(\frac{Z_{i1}}{r_s + Z_{i1}} \right) \left(\frac{R_{L1}}{R_{L1} + Z_{o1}} \right); A_{vETP2} = A_{v2} \left(\frac{Z_{i2}}{r_s + Z_{i2}} \right) \left(\frac{R_{L2}}{R_{L2} + Z_{o2}} \right); \dots$$

2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

- ❖ Ưu điểm: Đơn giản, cách ly linh kiện 1 chiều giữa các tầng.
- ❖ Nhược điểm: Suy giảm linh kiện tầng số thấp. Ngoài ra với tần số thấp thì mạch làm tăng mức độ hồi tiếp âm dòng xoay chiều trên các điện trở R_E và do đó làm giảm hệ số khuếch đại.

Lưu ý:

- Khi khảo sát trong thành phần DC thì tụ xem như hở mạch, ngăn cách giữa tầng trước và sau nó.
- Khi khảo sát trong thành phần AC thì tụ xem như nối tắt.
- Nguồn dòng ngăn cách tầng trước và tầng sau.

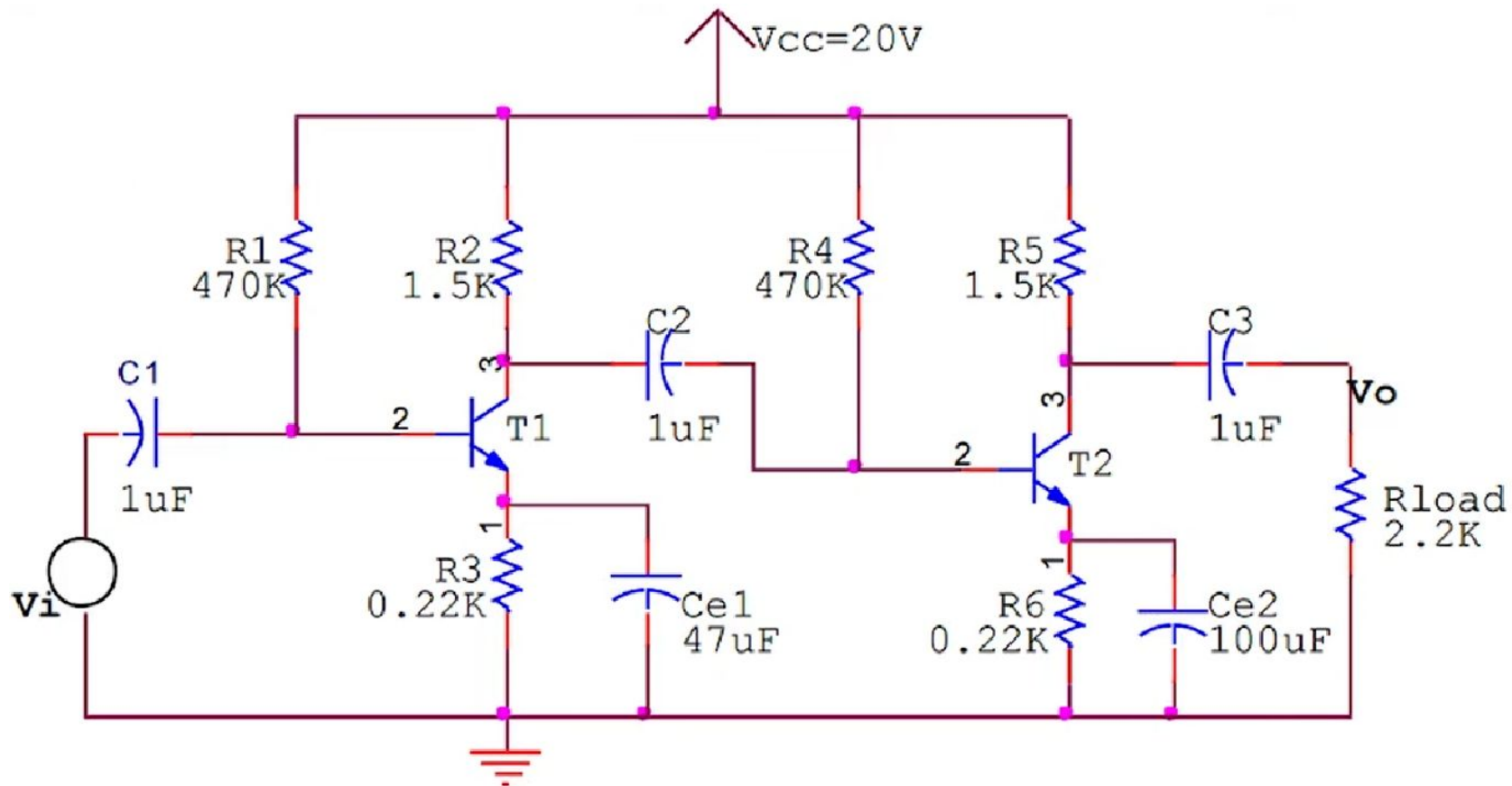
2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 1: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau với nội trở nguồn $r_s \ll Z_i$

a) Tìm I_{CQ1} và I_{CQ2} từ đó tính r_{e1} và r_{e2}

b) Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e

c) Tính Z_i , Z_o , Z_{o1} , Z_{o2} , R_{L1} , R_{L2} và độ lợi áp của toàn mạch ($A_{VT} = A_{VETP1} \cdot A_{VETP2}$)

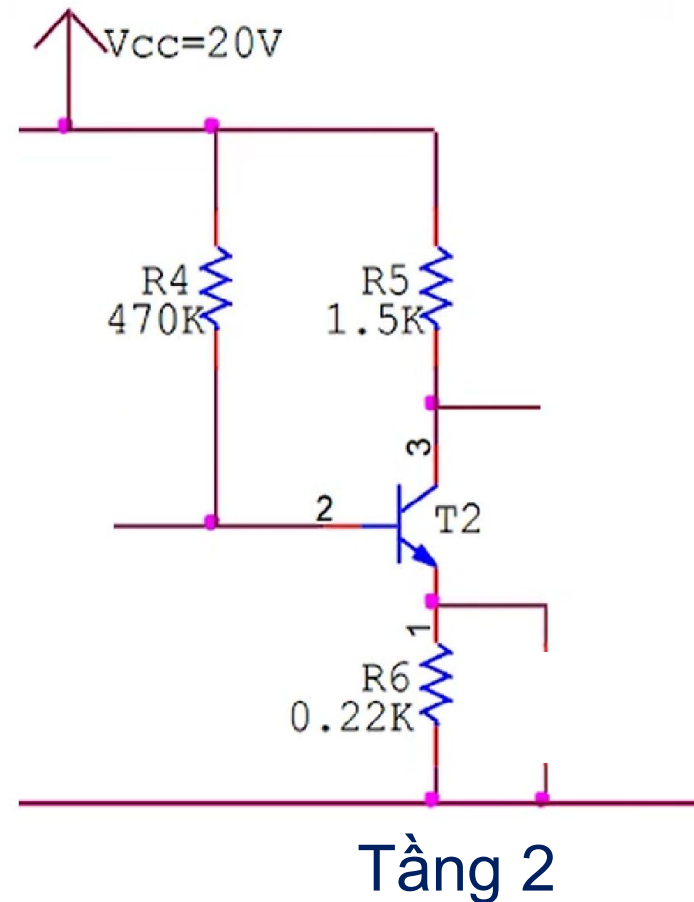
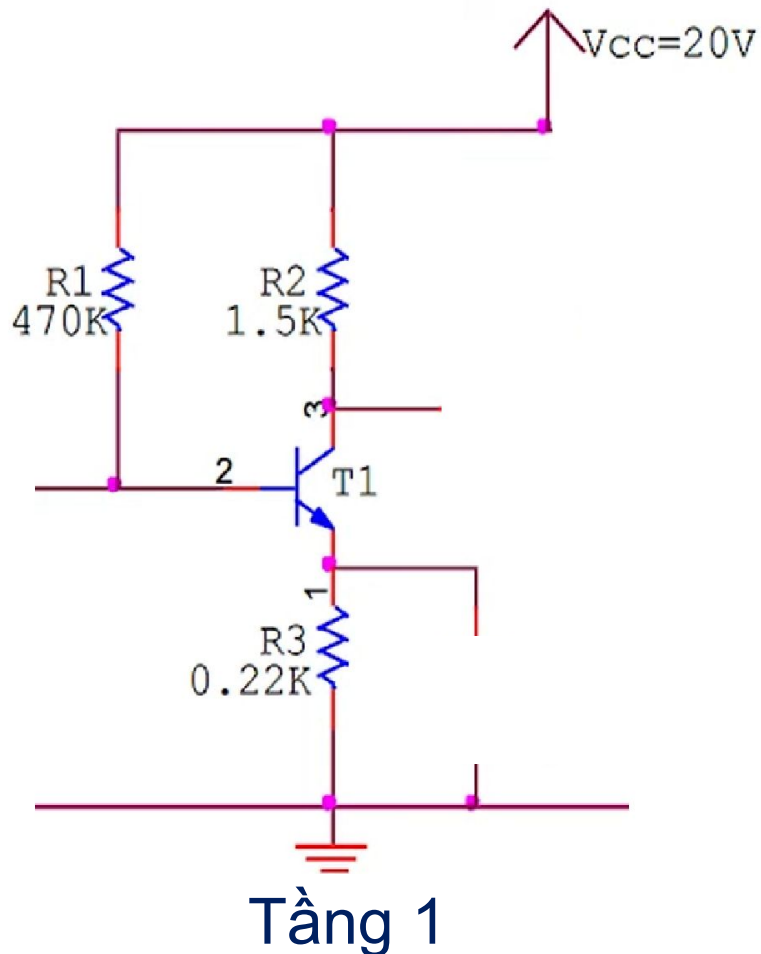


2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 1: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau

a) Tìm I_{CQ1} và I_{CQ2} từ đó tính r_{e1} và r_{e2}

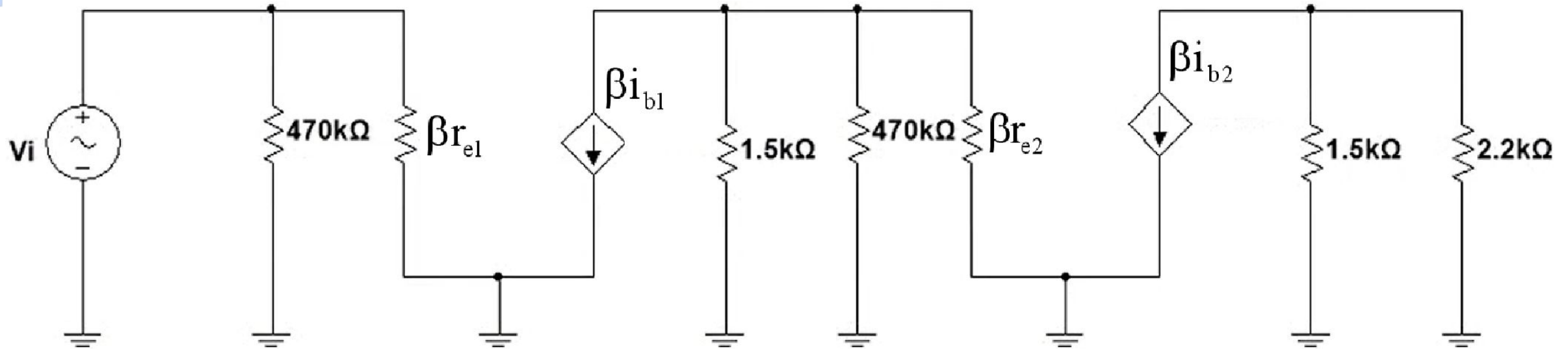
Khi khảo sát trong thành phần DC thì tụ xem như hở mạch, ngăn cách giữa tầng trước và sau nó.



2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 1: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau.

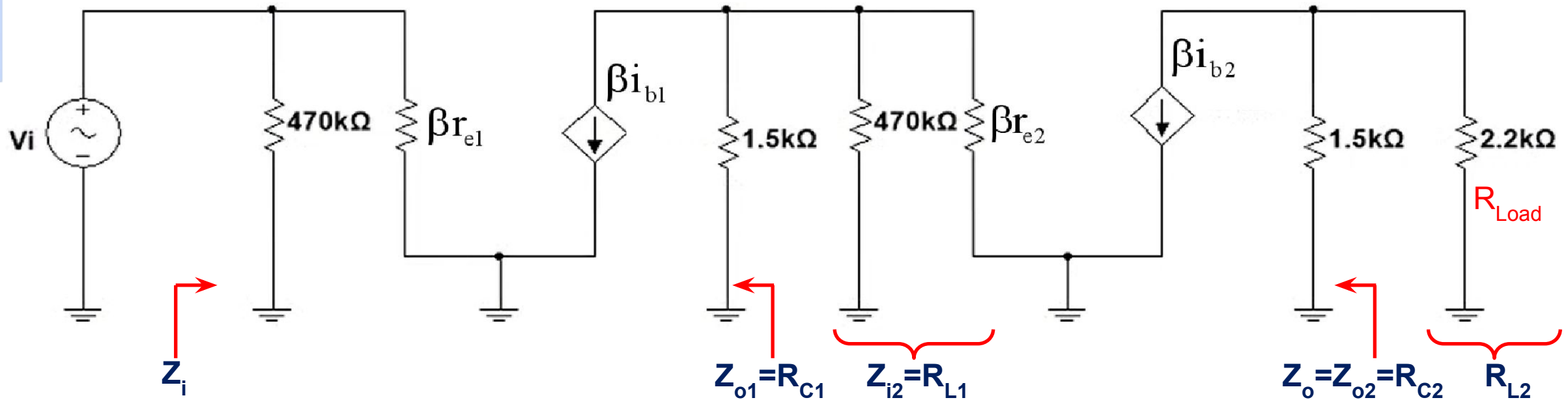
b) Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e



2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 1: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau, với nội trở nguồn $r_s \ll Z_i$

c) Tính Z_i , Z_o , Z_{o1} , Z_{o2} , R_{L1} , R_{L2} và độ lợi áp của toàn mạch ($A_{VT} = A_{VETP1} \cdot A_{VETP2}$)



$$Z_i = 470\text{k}\Omega // \beta r_{e1}$$

$$Z_o = z_{o2} = R_{C2} = 1.5\text{k}\Omega$$

$$Z_{o1} = R_{C1} = 1.5\text{k}\Omega$$

$$R_{L1} = Z_{i2} = 470\text{k}\Omega // \beta r_{e2}$$

$$R_{L2} = 2.2\text{k}\Omega$$

2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 1: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau.

c) Tính Z_i , Z_o , Z_{o1} , Z_{o2} , R_{L1} , R_{L2} và độ lợi áp của toàn mạch ($A_{VT} = A_{VETP1} \cdot A_{VETP2}$)

$$A_{VETP1} = A_{v1} \left(\frac{Z_i}{r_s + Z_i} \right) \left(\frac{R_{L1}}{R_{L1} + Z_{o1}} \right) = A_{v1} \left(\frac{R_{L1}}{R_{L1} + Z_{o1}} \right) = -\frac{Z_{o1}}{r_{e1}} \left(\frac{R_{L1}}{R_{L1} + Z_{o1}} \right) = -\frac{1}{r_{e1}} \left(\frac{Z_{o1} \cdot R_{L1}}{Z_{o1} + R_{L1}} \right) = -\frac{R_{ac1}}{r_{e1}}$$

$$A_{VETP2} = A_{v2} \left(\frac{Z_i}{r_s + Z_i} \right) \left(\frac{R_{L2}}{R_{L2} + Z_{o2}} \right) = A_{v2} \left(\frac{R_{L2}}{R_{L2} + Z_{o2}} \right) = -\frac{Z_{o2}}{r_{e2}} \left(\frac{R_{L2}}{R_{L2} + Z_{o2}} \right) = -\frac{1}{r_{e2}} \left(\frac{Z_{o2} \cdot R_{L2}}{Z_{o2} + R_{L2}} \right) = -\frac{R_{ac2}}{r_{e2}}$$

$$A_{VT} = A_{VETP1} \times A_{VETP2} = \frac{R_{ac1}}{r_{e1}} \times \frac{R_{ac2}}{r_{e2}}$$

Trong đó:

R_{ac1} : là những điện trở giới hạn giữa hai tầng: $R_{ac1} = Z_{o1} // R_{L1}$

R_{ac2} : là những điện trở ở ngõ ra của mạch khuếch đại tính luôn điện trở tải: $R_{ac2} = Z_{o2} // R_{L2}$

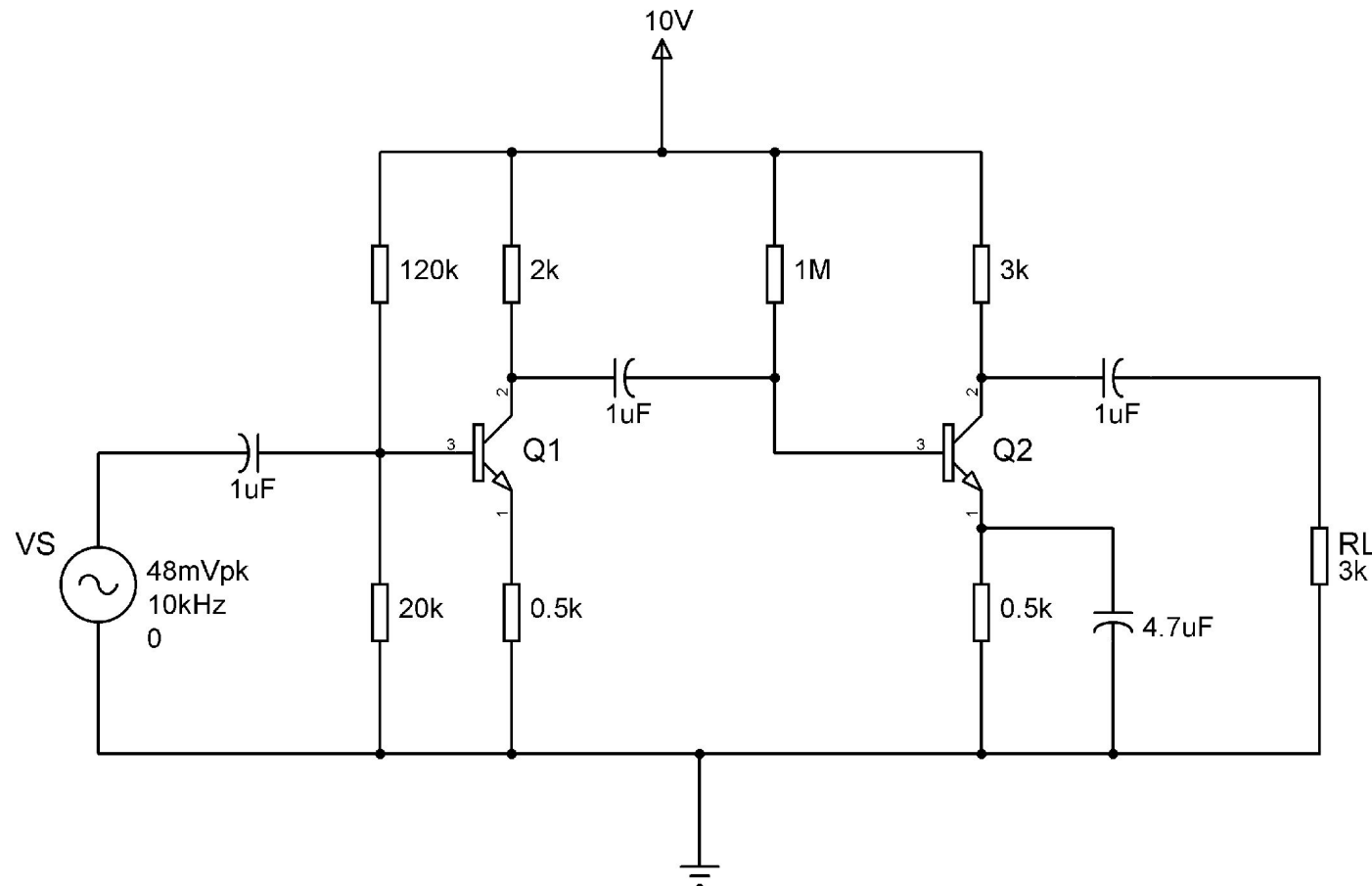
2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 2: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau với nội trở nguồn $r_s \ll Z_i$

a) Tìm I_{CQ1} và I_{CQ2} từ đó tính r_{e1} và r_{e2}

b) Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e

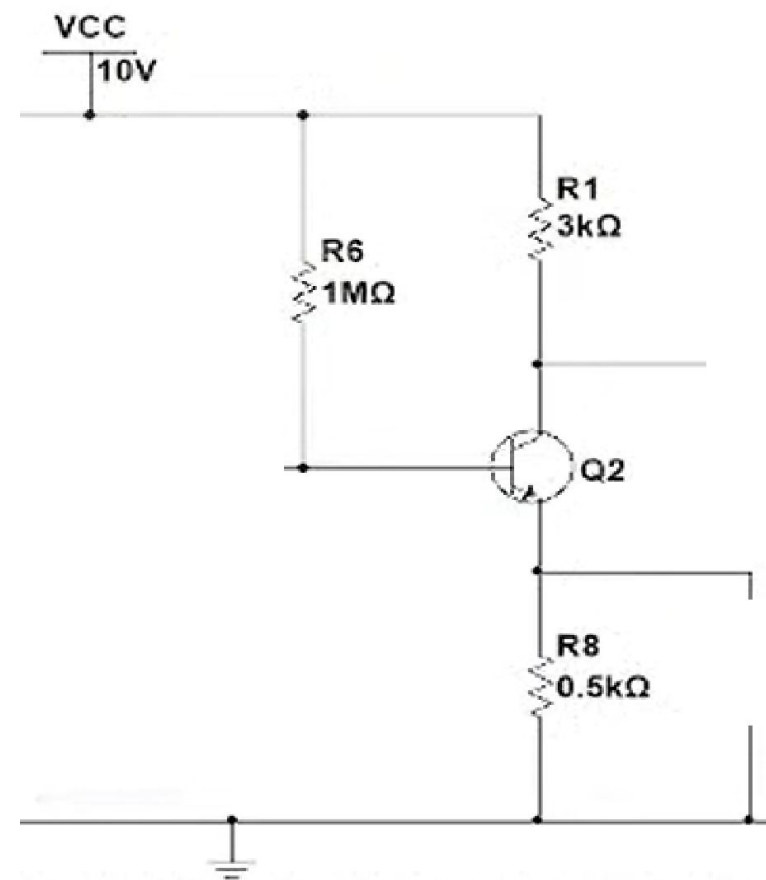
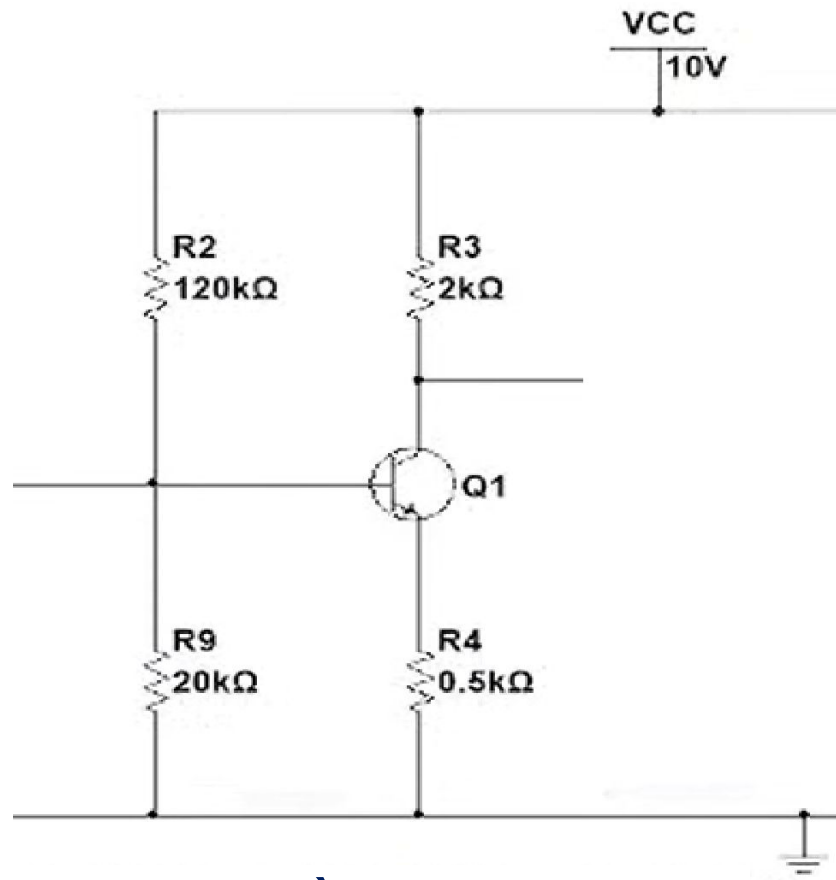
c) Tính Z_i , Z_o , Z_{o1} , Z_{o2} , R_{L1} , R_{L2} và độ lợi áp của toàn mạch ($A_{VT} = A_{VETP1} \cdot A_{VETP2}$)



2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 2: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau với nội trở nguồn $r_s \ll Z_i$

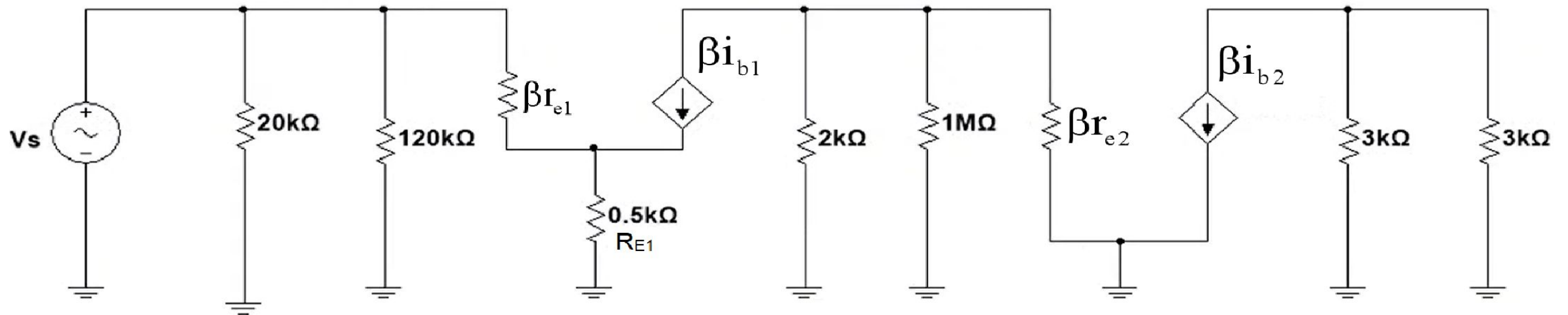
a) Tìm I_{CQ1} và I_{CQ2} từ đó tính r_{e1} và r_{e2}



2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 2: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau với nội trở nguồn $r_s \ll Z_i$

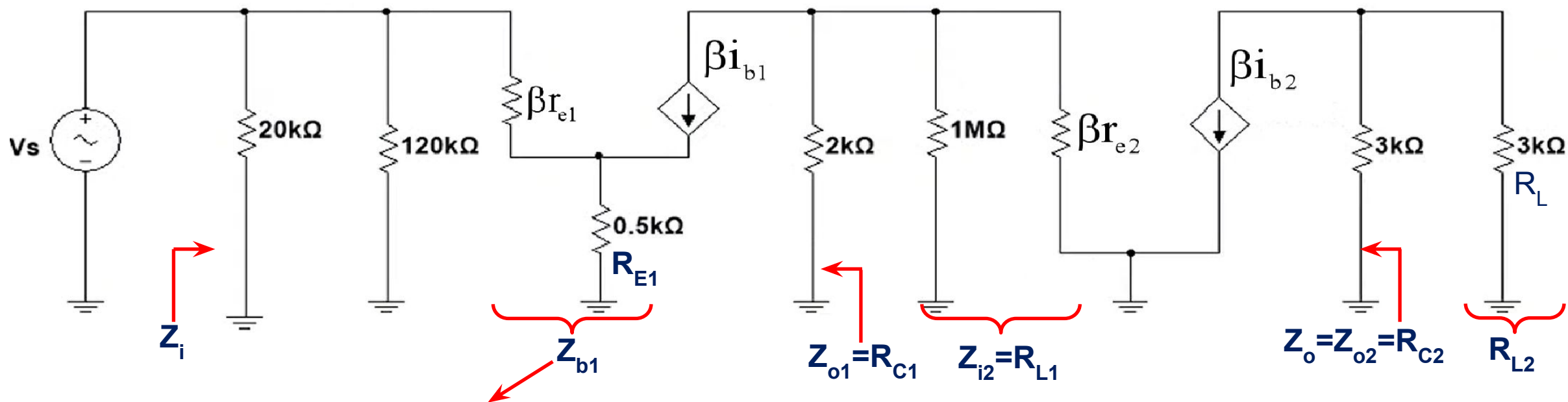
b) Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e



2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 2: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau với nội trở nguồn $r_s \ll Z_i$

c) Tính $Z_i, Z_o, Z_{o1}, R_{L1}, Z_{o2}, R_{L2}$ và độ lợi áp của toàn mạch ($A_{VT} = A_{VETP1} \cdot A_{VETP2}$)



$$Z_i = 20\text{k}\Omega // 120\text{k}\Omega // (\beta r_{e1} + \beta R_{E1})$$

$$Z_o = Z_{o2} = R_{C2} = 3\text{k}\Omega$$

$$Z_{o1} = R_{C1} = 2\text{k}\Omega$$

Ta có: $v_i = \beta r_{e1} i_b + R_{E1} i_e = \beta r_{e1} i_b + (1+\beta) i_b R_{E1}$; vì: $i_e = i_b + \beta i_b = (1+\beta) i_b$
 $\Rightarrow Z_{b1} = v_i / i_b = \beta r_{e1} + (1+\beta) R_{E1} = \beta r_{e1} + \beta R_{E1}$ (vì: $\beta \gg 1$)

$$R_{L1} = Z_{i2} = 1\text{M}\Omega // \beta r_{e2}$$

$$R_{L2} = 3\text{k}\Omega$$

2. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng tụ điện

Ví dụ 2: Cho mạch khuếch đại ghép tầng như sau.

c) Tính Z_i , Z_o , Z_{o1} , Z_{o2} , R_{L1} , R_{L2} và độ lợi áp của toàn mạch ($A_{VT} = A_{VETP1} \cdot A_{VETP2}$)

$$A_{VETP1} = A_{v1} \left(\frac{z_i}{r_s + z_i} \right) \left(\frac{R_{L1}}{R_{L1} + Z_{o1}} \right) = A_{v1} \left(\frac{R_{L1}}{R_{L1} + Z_{o1}} \right) = - \frac{Z_{o1}}{r_{e1} + R_{E1}} \left(\frac{R_{L1}}{R_{L1} + Z_{o1}} \right) = - \frac{1}{r_{e1} + R_{E1}} \left(\frac{Z_{o1} \cdot R_{L1}}{Z_{o1} + R_{L1}} \right) = - \frac{R_{ac1}}{r_{e1} + R_{E1}}$$

$$A_{VETP2} = A_{v2} \left(\frac{z_i}{r_s + z_i} \right) \left(\frac{R_{L2}}{R_{L2} + Z_{o2}} \right) = A_{v2} \left(\frac{R_{L2}}{R_{L2} + Z_{o2}} \right) = - \frac{Z_{o2}}{r_{e2}} \left(\frac{R_{L2}}{R_{L2} + Z_{o2}} \right) = - \frac{1}{r_{e2}} \left(\frac{Z_{o2} \cdot R_{L2}}{Z_{o2} + R_{L2}} \right) = - \frac{R_{ac2}}{r_{e2}}$$

$$A_{VT} = A_{VETP1} \times A_{VETP2} = \frac{R_{ac1}}{r_{e1} + R_{E1}} \times \frac{R_{ac2}}{r_{e2}}$$

Trong đó:

R_{ac1} : là những điện trở giới hạn giữa hai tầng: $R_{ac1} = Z_{o1} // R_{L1}$

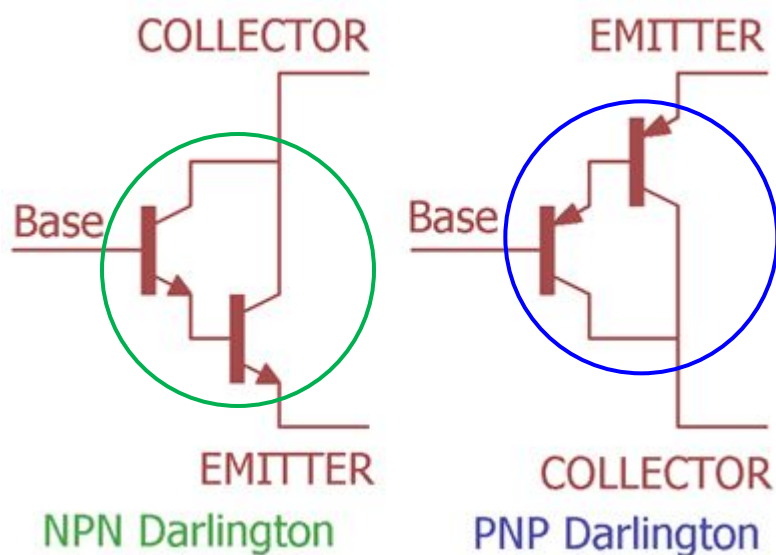
R_{ac2} : là những điện trở ở ngõ ra của mạch khuếch đại tính luôn điện trở tải: $R_{ac2} = Z_{o2} // R_{L2}$

3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

Mạch khuếch đại ghép Darlington là một loại mạch khuếch đại tín hiệu quan trọng, đã trở thành một phần không thể thiếu trong các ứng dụng điện tử hiện nay.

Mạch khuếch đại ghép Darlington là cách ghép các transistor lại với nhau để tạo ra một mạch hoạt động tương tự như một transistor đơn lẻ với độ lợi dòng lớn.



3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

Sự liên kết giữa 2 transistor nối tiếp như vậy tương đương với một transistor duy nhất có độ lợi dòng điện là $\beta_D = \beta_1 \cdot \beta_2$. Nếu hai transistor đồng nhất $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ thì $\beta_D = \beta^2$

Mạch khuếch đại ghép Darlington dạng cơ bản được trình bày ở hình sau.

Đặc điểm của mạch là: tổng trở vào lớn, tổng trở ra nhỏ, hệ số khuếch đại dòng lớn, hệ số khuếch đại điện áp bằng 1.

Cách phân cực của mạch là lấy dòng I_E của Q1 làm dòng I_B cho Q2.

Điện áp V_{BE} của toàn mạch: $V_{BE} = V_{BE1} + V_{BE2}$

Dòng điện I_b :

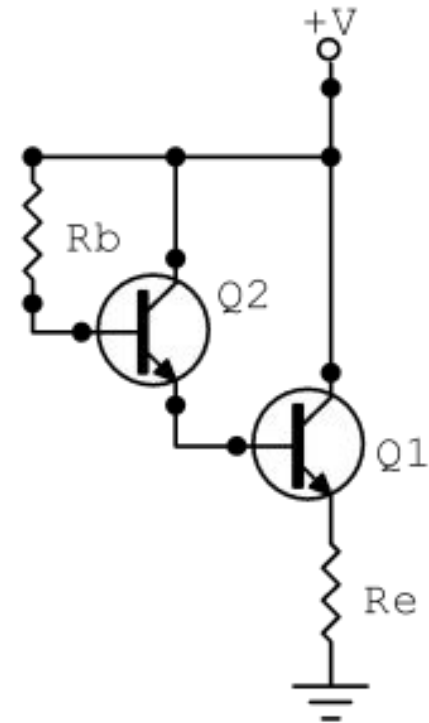
$$I_b = \frac{V_{cc} - V_{be}}{R_b + \beta_D \cdot R_e}$$

Điện áp phân cực là:

$$V_e = I_e \cdot R_e$$

Do β_D rất lớn nên:

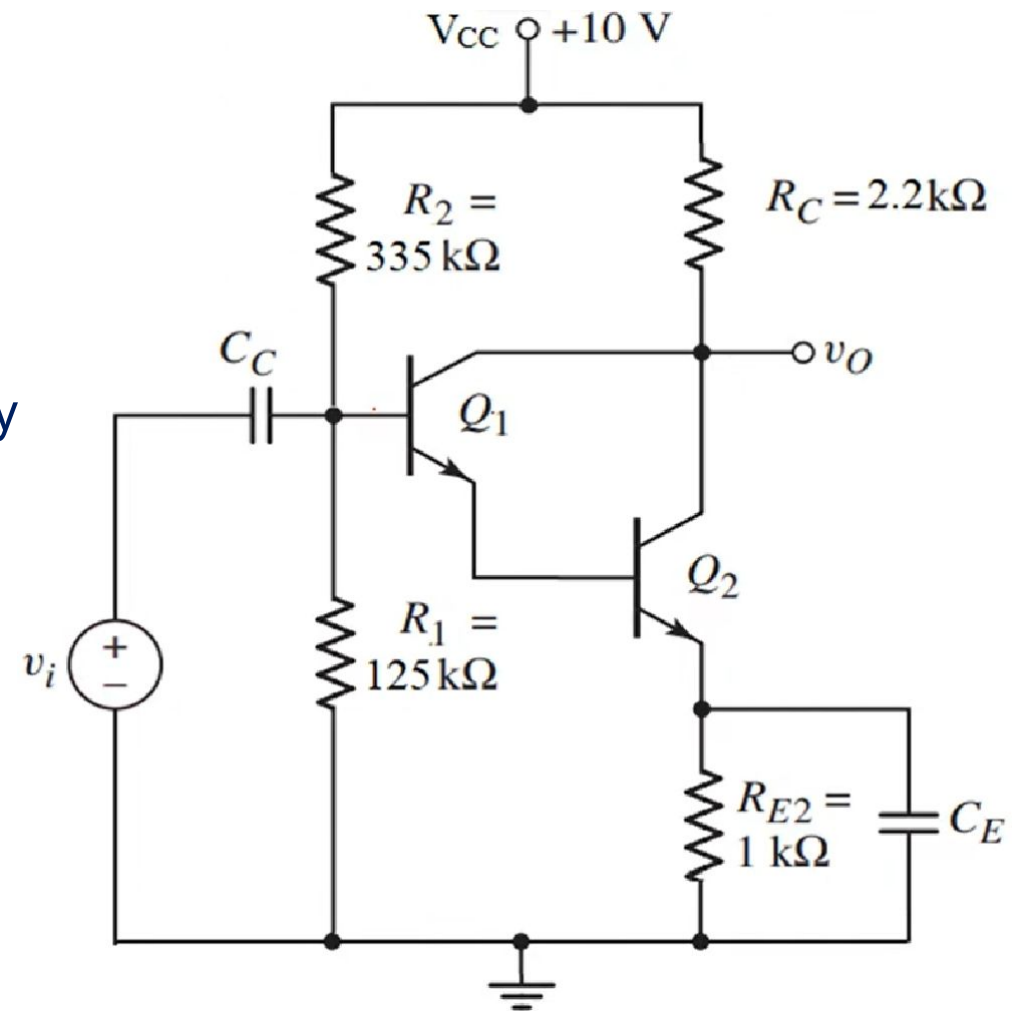
$$I_e = (\beta_D + 1) \cdot I_b \approx \beta_D \cdot I_b$$



3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

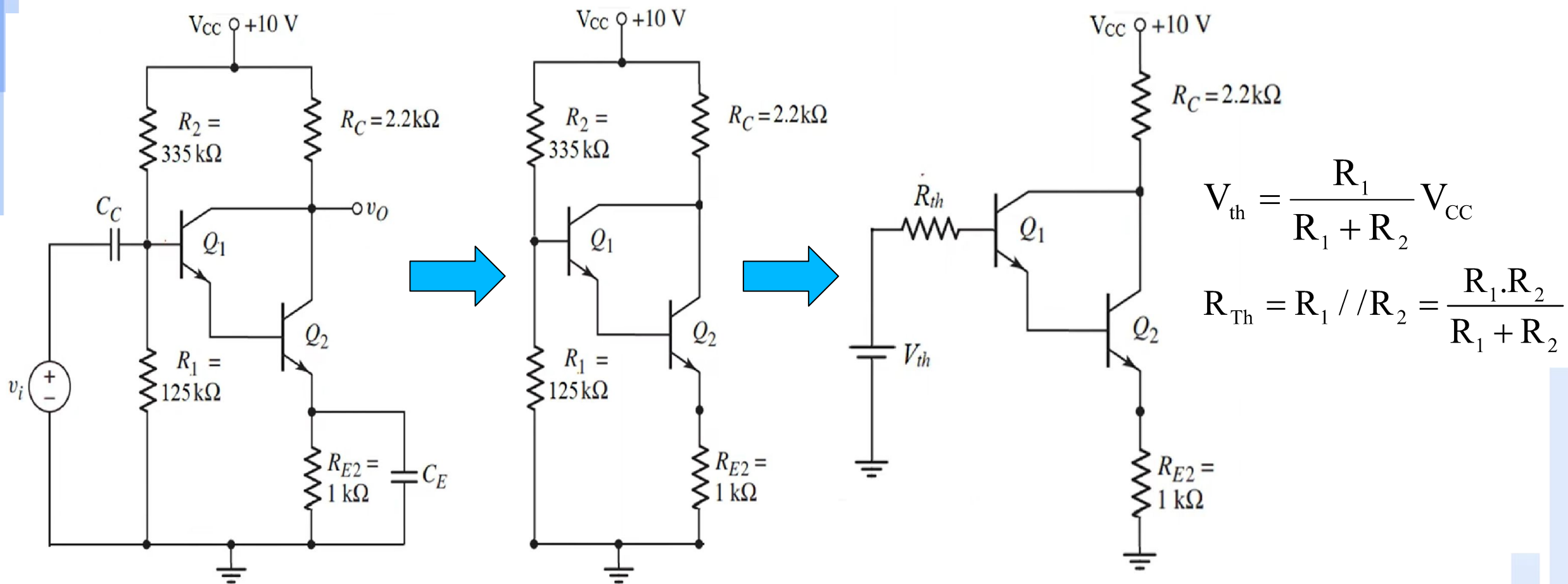
Ví dụ: Cho mạch khuếch đại ghép Darlington như hình vẽ biết $\beta_1 = \beta_2 = \beta = 100$; $V_{BE1} = V_{BE2} = 0,7V$. Hãy xác định:

- a) Điểm làm việc tĩnh của mỗi Transistor
- b) Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e
- c) Tổng trở vào và tổng trở ra khi làm việc với tín hiệu xoay chiều tín hiệu nhỏ
- d) Độ lợi áp và độ lợi dòng



3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

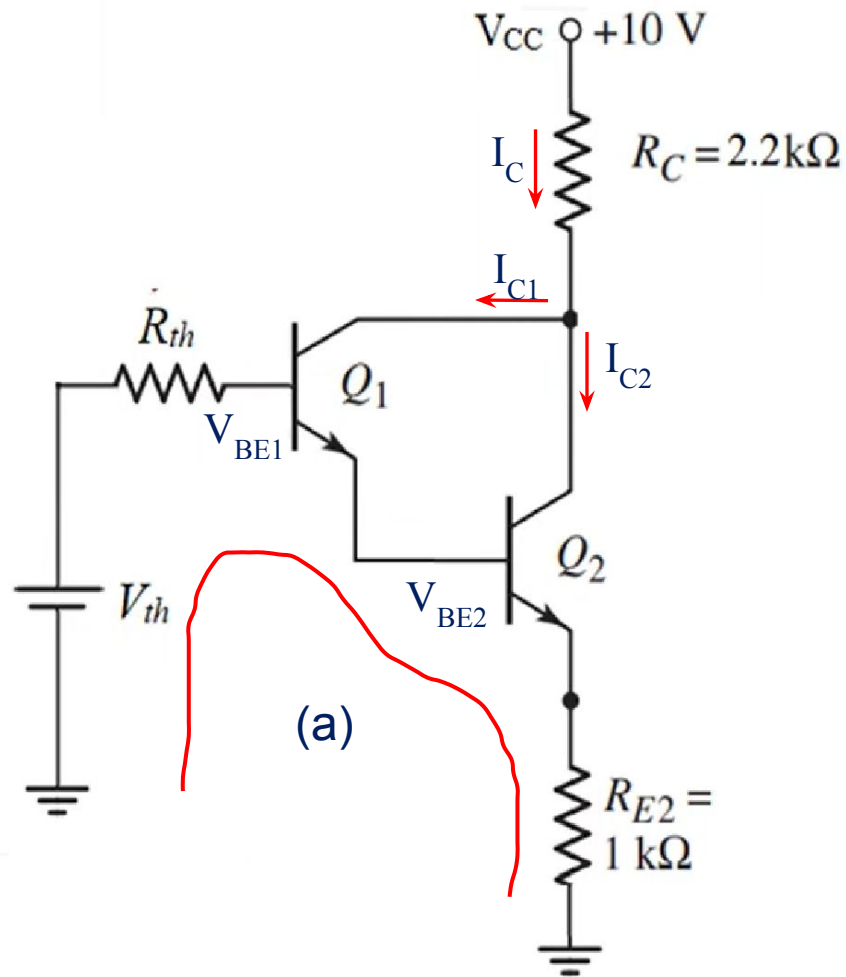
a) Điểm làm việc tĩnh của mỗi Transistor



Mạch tương đương Thevenin

3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

a) Điểm làm việc tĩnh của mỗi Transistor: $Q_1(I_{CQ1}, V_{CEQ1})$; $Q_2(I_{CQ2}, V_{CEQ2})$



Ta có: $I_{E1} = I_{B2} = (\beta_1 + 1)I_{B1}$; $I_{E2} = (\beta_2 + 1)I_{B2}$ (1)

Suy ra: $I_{E2} = (\beta_2 + 1)(\beta_1 + 1)I_{B1}$ (2)

Áp dụng định luật Kirchhoff 2 cho mạch vòng (a) ta được:

$$V_{th} = I_{B1}R_{th} + V_{BE1} + V_{BE2} + R_{E2} \cdot I_{E2} \quad (3)$$

Thay (2) vào (3) và rút gọn ta được:

$$I_{B1} = \frac{V_{th} - (V_{BE1} + V_{BE2})}{R_{th} + (\beta_2 + 1)(\beta_1 + 1)R_{E2}} \quad (4)$$

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} \text{ và } I_{C2} = \beta_2 I_{B2} = \beta_2 (\beta_1 + 1) I_{B1}$$

Xét mạch ngõ ra của Q1 và Q2 ta có:

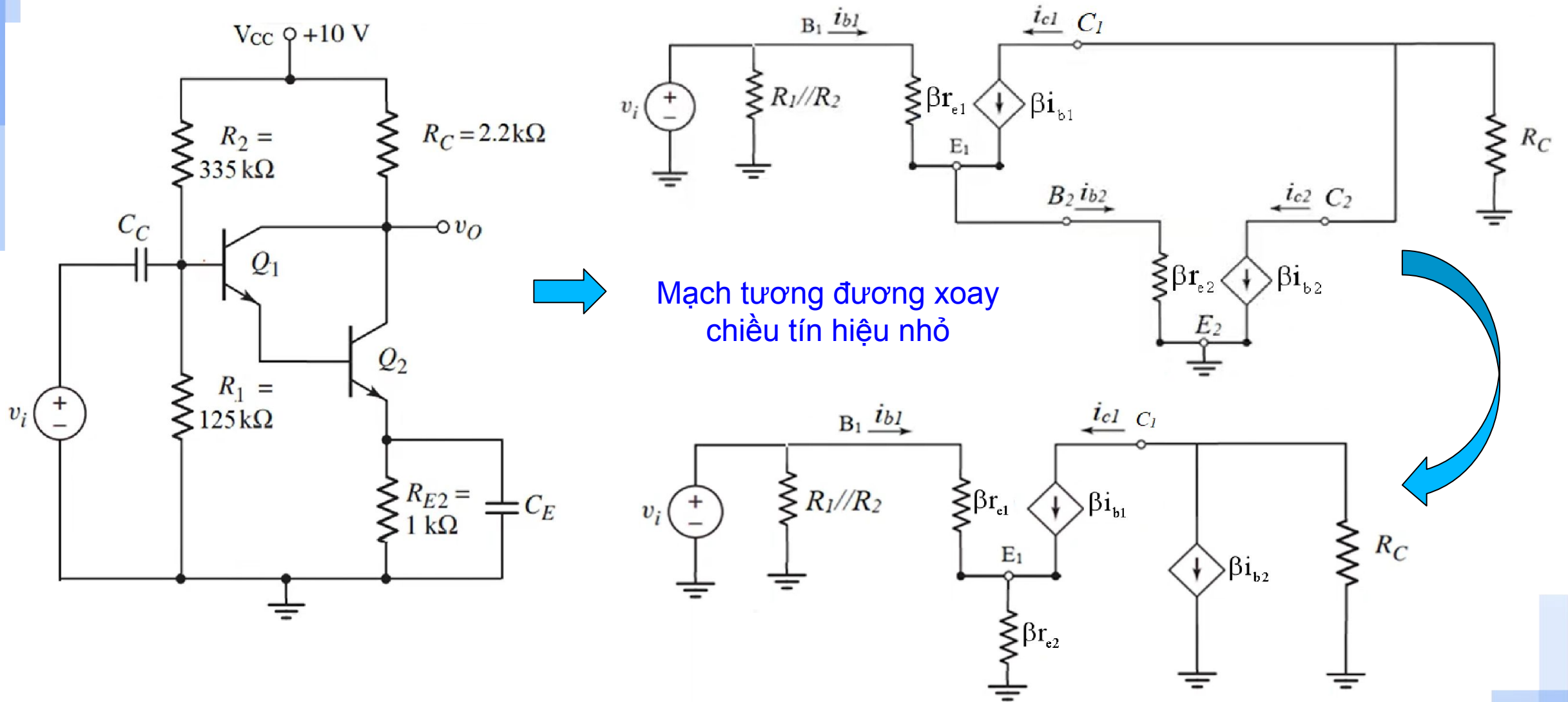
$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} \text{ và } V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2}$$

Mà ta có: $V_{C1} = V_{C2} = V_{CC} - (I_{C1} + I_{C2})R_C$

$$V_{E1} = V_{B2} = V_{BE2} + V_{E2} \text{ và } V_{E2} = I_{E2}R_{E2}$$

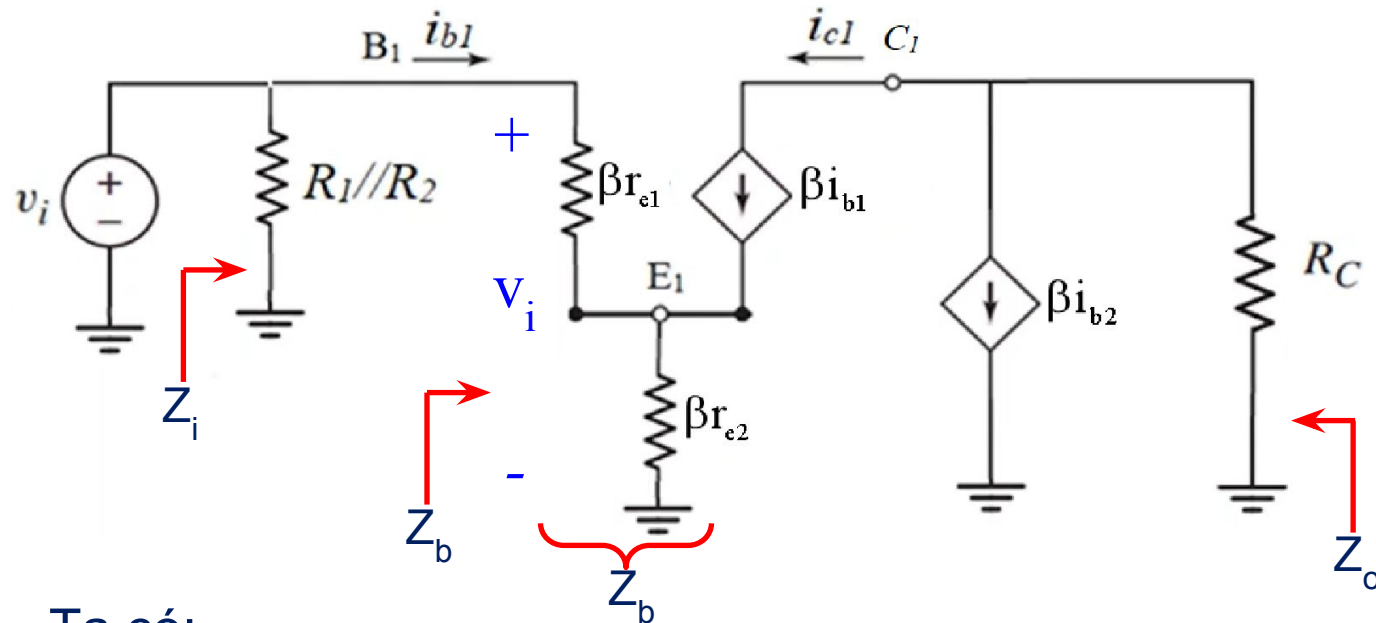
3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

b) Vẽ mạch tương đương xoay chiều tín hiệu nhỏ theo mô hình thông số r_e



3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

c) Tổng trở vào và tổng trở ra khi làm việc với tín hiệu xoay chiều tín hiệu nhỏ



Ta có:

$$v_i = i_{b1} \beta r_{e1} + (i_{b1} + \beta i_{b1}) \beta r_{e2}$$

$$\Leftrightarrow v_i = i_{b1} \beta r_{e1} + (1 + \beta) i_{b1} \beta r_{e2}$$

$$\Rightarrow Z_b = \frac{v_i}{i_{b1}} = \beta r_{e1} + (1 + \beta) \beta r_{e2}$$

❖ Tổng trở vào:

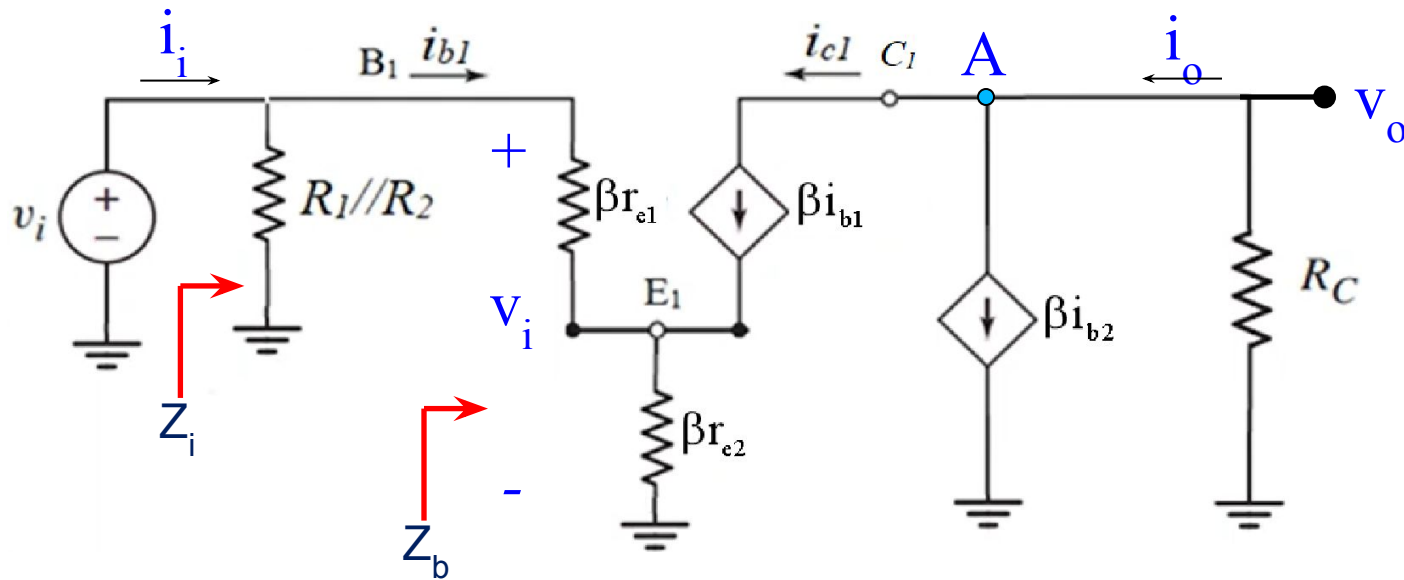
$$Z_i = R_1 // R_2 // Z_b$$

❖ Tổng trở ra:

$$Z_o|_{v_i=0} = R_C$$

3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

d) Độ lợi áp và độ lợi dòng



◆ Độ lợi dòng

$$A_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i}$$

Áp dụng định luật phân dòng:

$$\mathbf{i}_i = \frac{\mathbf{i}_{b1} \mathbf{Z}_b}{\mathbf{Z}_i}$$

$$A_i = \frac{i_o}{i_i} = \frac{\beta i_{b1} (\beta + 2) Z_i}{i_{b1} Z_b} = \frac{\beta (\beta + 2) Z_i}{Z_b}$$

 **Độ lợi**

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \quad V_o = -i_o R_C$$

Áp dụng định luật Kirchhoff 1 tại nút

A:

$$\dot{\mathbf{i}}_o = \beta \dot{\mathbf{i}}_{b1} + \beta \dot{\mathbf{i}}_{b2}$$

$$\mathbf{i}_{b2} = \mathbf{i}_{e1} = (\beta + 1)\mathbf{i}_{b1}$$

Mà ta có:

$$\mathbf{i}_o = \beta \mathbf{i}_{b1} + \beta(\beta + 1) \mathbf{i}_{b1} = \beta \mathbf{i}_{b1} (\beta + 2)$$

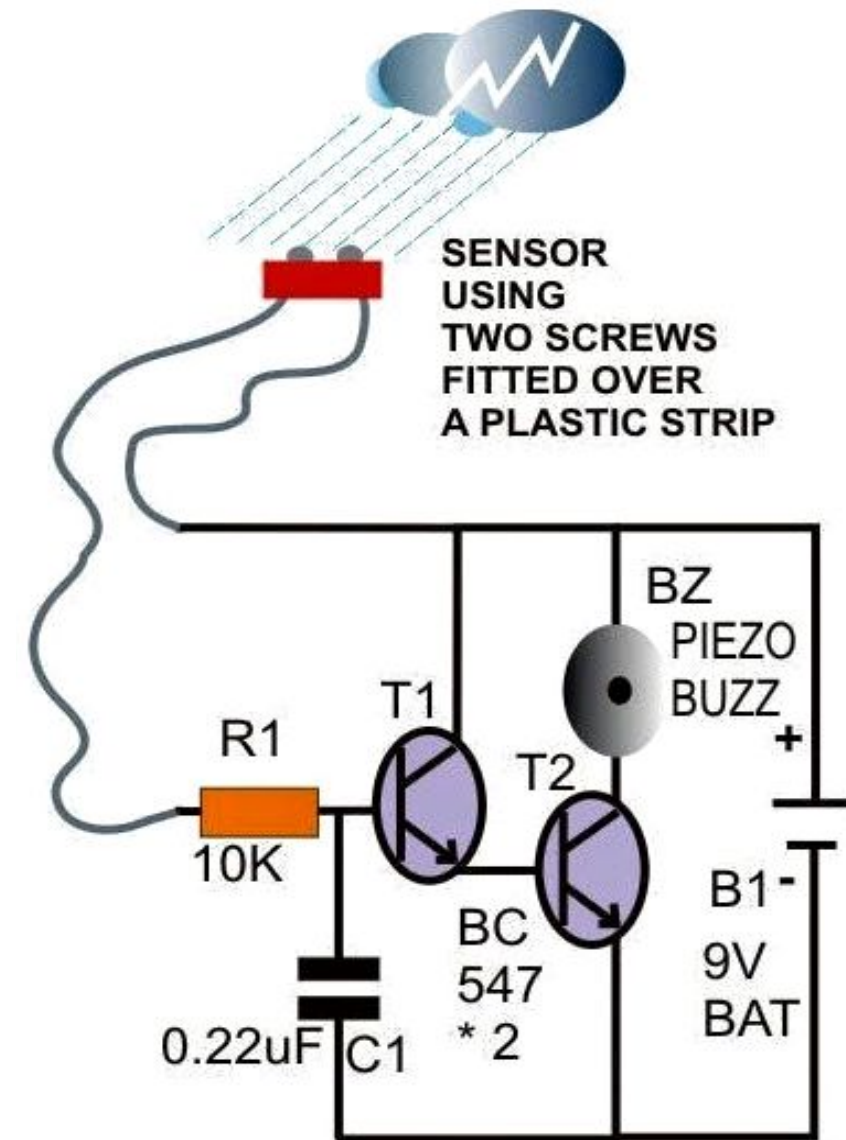
$$\mathbf{v}_i = \mathbf{i}_{b1} \mathbf{Z}_b$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta i_{b1}(\beta + 2)R_c}{i_{b1}Z_b} = -\frac{\beta(\beta + 2)R_c}{Z_b}$$

3. Mạch khuếch đại ghép Darlington

Ví dụ: Mạch cảnh báo mưa sử dụng mạch khuếch đại Darlington

Sơ đồ mạch cảnh báo mưa sử dụng 2 Transistor BC547 như hình dưới đây. Mạch cảnh báo mưa được xây dựng với các thành phần hoạt động sau như: cảm biến sử dụng hai ốc vít lắp trên một dải nhựa, ghép 2 Transistor theo dạng mạch khuếch đại Darlington, còi buzzer, pin 9v, tụ điện 0,22uF, điện trở 10K. Những Transistor này chủ yếu được sử dụng để tăng khả năng khuếch đại dòng điện lên rất nhiều. Khi giọt nước hoặc giọt mưa rơi vào cảm biến thì đế của Transistor sẽ nối với nguồn dương để kích hoạt còi báo động.



4. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng biến áp

4. Mạch khuếch đại ghép tầng bằng biến áp

- ❖ Ưu điểm: Cho phép nguồn có điện áp thấp, dễ phối hợp trở kháng và thay đổi cực tính qua các cuộn dây. Trong sơ đồ cuộn sơ cấp W_1 mắc vào cực C của T_1 , cuộn thứ cấp W_2 mắc vào cực B của T_2 qua tụ C_P . Ghép tầng bằng biến áp cách ly điện áp một chiều giữa các tầng mà còn làm tăng hệ số khuếch đại chung về điện áp hay dòng điện tùy thuộc vào biến áp tăng hay giảm áp. Điện áp nguồn cung cấp cho cực C của transistor lớn vì điện áp một chiều cuộn dây bé, do đó cho phép nguồn có điện áp thấp.
- ❖ Nhược điểm: Đặc tuyến tần số không bằng phẳng trong dải tần, công kênh, dễ hư.

