



25
SOICT

YEARS ANNIVERSARY

ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG



ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
VIỆN CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG

ĐIỆN TỬ CHO CÔNG NGHỆ THÔNG TIN

Electronics for Information Technology

IT3420

Đỗ Công Thuần

Bộ môn Kỹ thuật Máy tính

Email: thuandc@soict.hust.edu.vn

Thông tin chung

- Tên học phần: **Điện tử cho Công nghệ thông tin**
- Mã học phần: IT3420
- Khối lượng: 2 (2-1-0-4)
- Lý thuyết/Bài tập: 30/15 tiết
- Đánh giá: 50% - 50%
- Tài liệu học tập:
 - Lecture slides
 - Textbooks
 - *Introductory Circuit Analysis* (2015), 10th – 13th ed., Robert L. Boylestad
 - *Electronic Device and Circuit Theory* (2013), 11th ed., Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky
 - *Microelectronics Circuit Analysis and Design* (2006), 4th ed., Donald A. Neamen
 - *Digital Electronics: Principles, Devices and Applications* (2007), Anil K. Maini

Nội dung

- Khái niệm chung về ĐT cho CNTT
- Chương 1: Linh kiện thụ động và ứng dụng
- Chương 2: Linh kiện bán dẫn và ứng dụng
- Chương 3: Khuếch đại thuật toán
- Chương 4: Cơ sở lý thuyết mạch số
- Chương 5: Các cổng logic cơ bản
- Chương 6: Mạch tổ hợp
- Chương 7: Mạch dãy

Chương 2:

Linh kiện bán dẫn và ứng dụng

1. Vật liệu bán dẫn và đặc tính
2. Điốt và ứng dụng
3. Transitor và ứng dụng

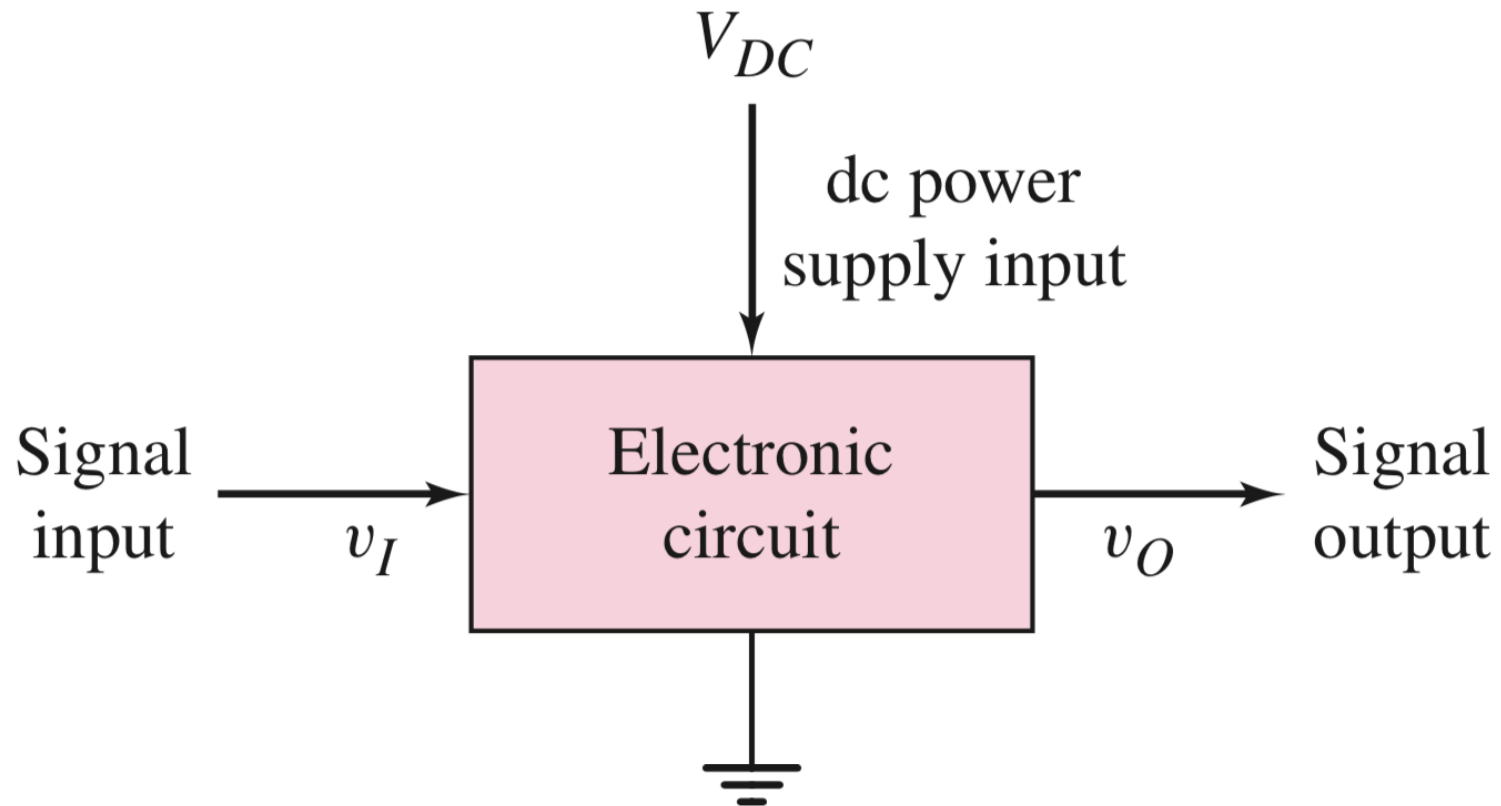
2.3 Transistor và ứng dụng

1. Cấu tạo và phân loại
2. Chế độ làm việc
3. Phân tích 1 chiều
4. Phân tích xoay chiều
5. Mạch khuếch đại E chung

2.3 Transistor và ứng dụng

1. Cấu tạo và phân loại
2. Chế độ làm việc
3. Phân tích 1 chiều
4. Phân tích xoay chiều
5. Mạch khuếch đại E chung

Phân tích xoay chiều

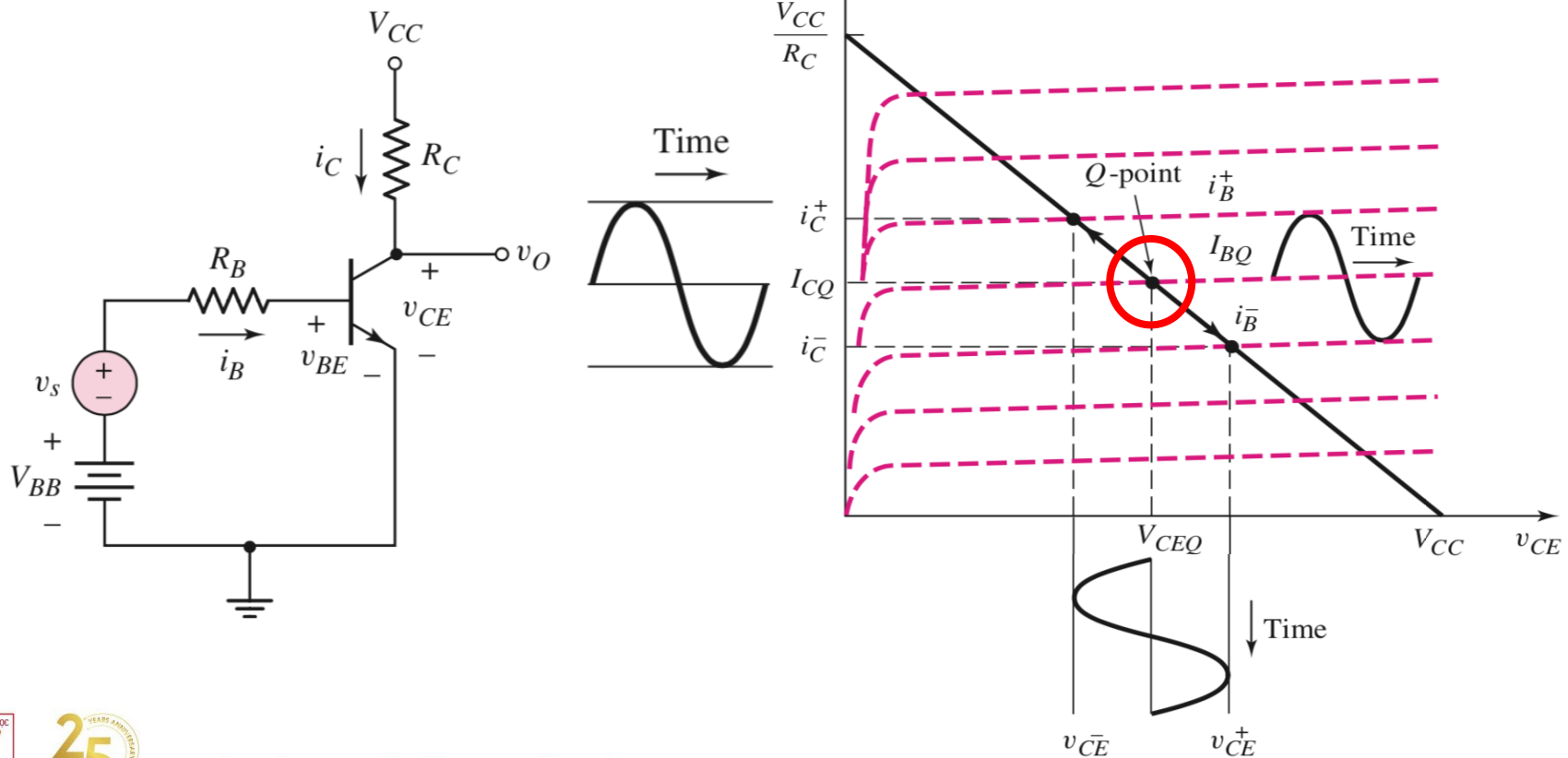


Phân tích xoay chiều

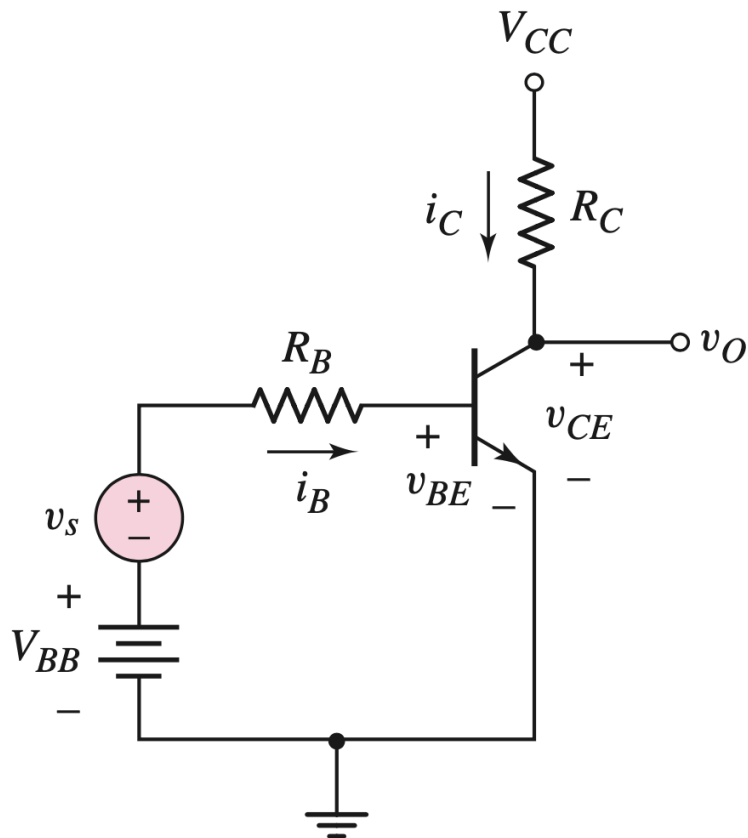
- Phân tích mạch khuếch đại:
 - DC: xác định điểm làm việc và phân cực
 - AC: tín hiệu xoay chiều được khuếch đại
- Phương pháp phân tích: **coi mô hình là tuyến tính**
 - Áp dụng quy tắc xếp chồng
 - Phân tích riêng rẽ DC và AC
 - Xếp chồng kết quả

Phân tích xoay chiều

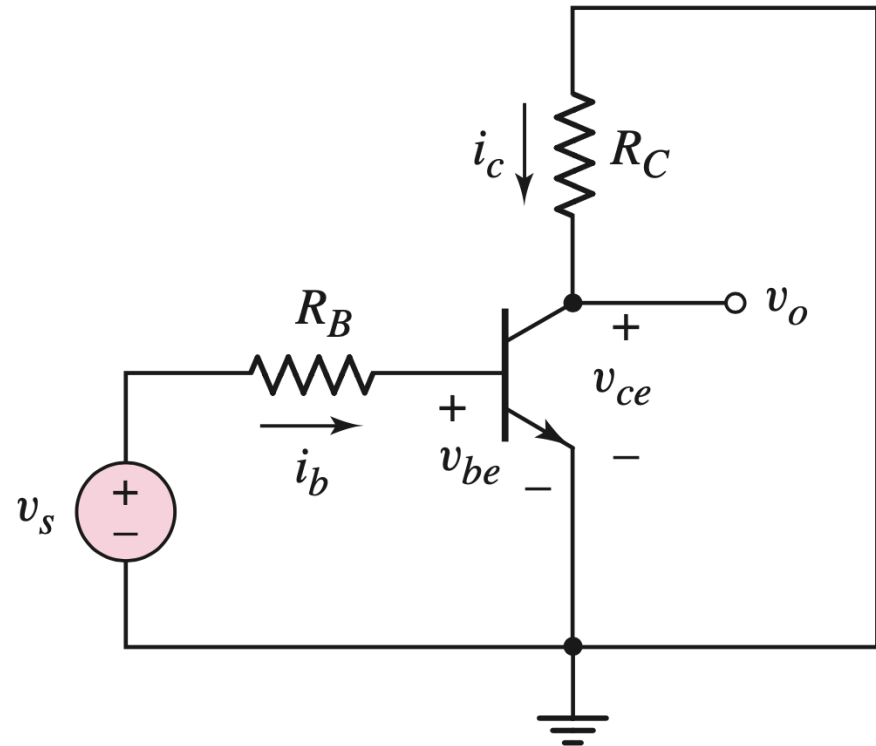
- Phân tích 1 chiều: tìm điểm làm việc Q
- Phân tích xoay chiều: xác định tín hiệu xoay chiều đầu ra



Mạch tương đương xoay chiều

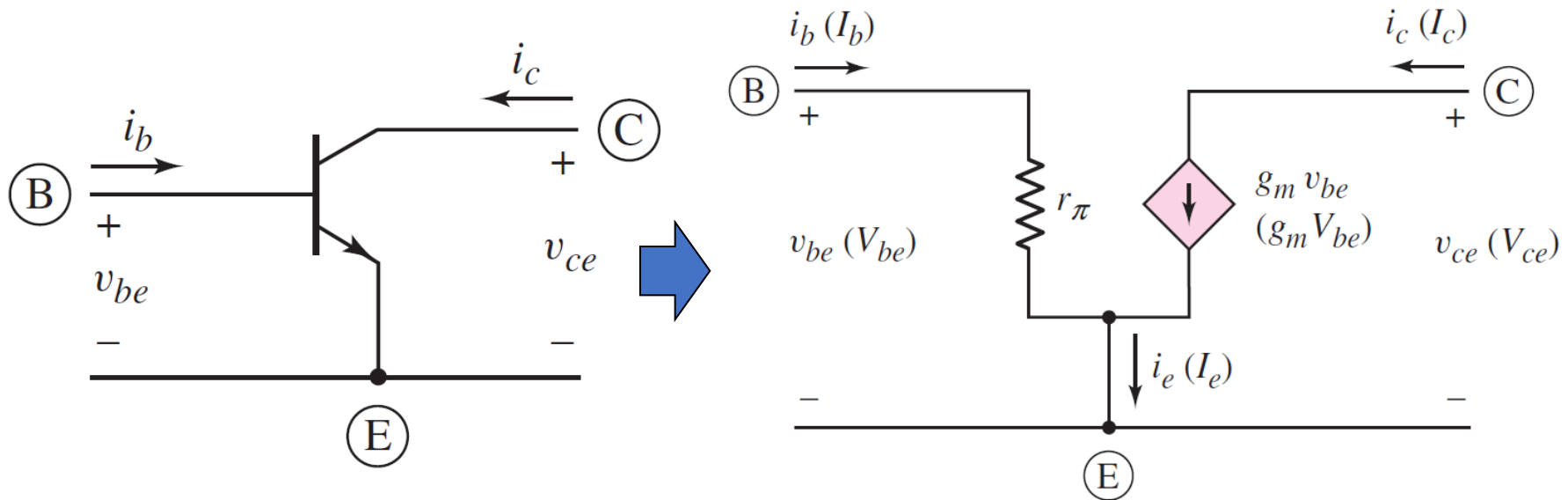


Mạch E chung



Mạch AC tương đương

Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ

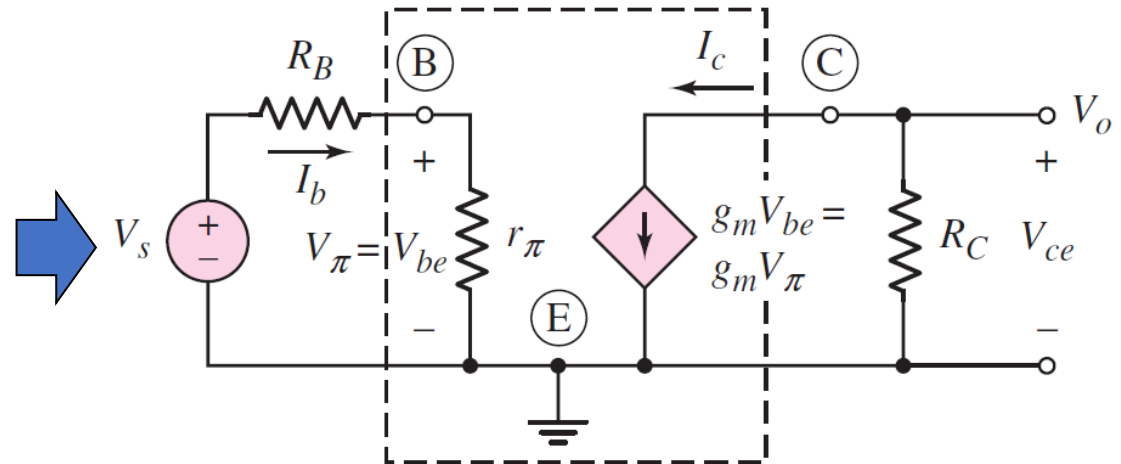
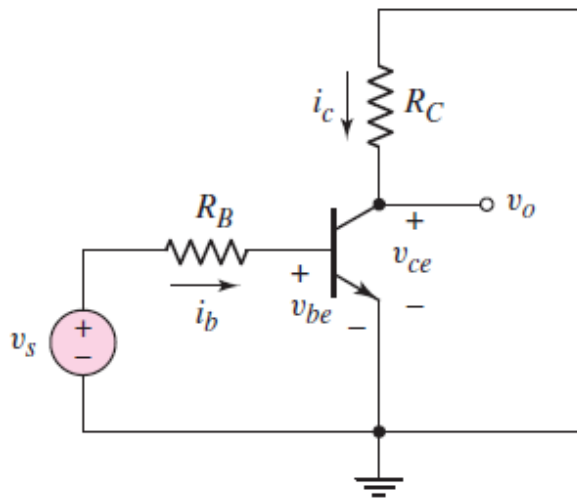


Coi transistor npn như một mạng tín hiệu nhỏ 2 cổng

Mạch tương đương π lai tín hiệu nhỏ đơn giản với transistor npn

$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_{BQ}} \text{ Điện trở đầu vào BE} \quad g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} \text{ Điện dẫn truyền}$$

Mạch tương đương π lai



Điện áp đầu ra:

$$V_o = V_{ce} = -(g_m V_{\pi}) R_C$$

Điện áp điều khiển:

$$V_{\pi} = \left(\frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_B} \right) \cdot V_s$$

Hệ số khuếch đại:

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = -(g_m R_C) \cdot \left(\frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_B} \right)$$

Ví dụ 2.13

- Tính hệ số khuếch đại điện áp tín hiệu nhỏ:

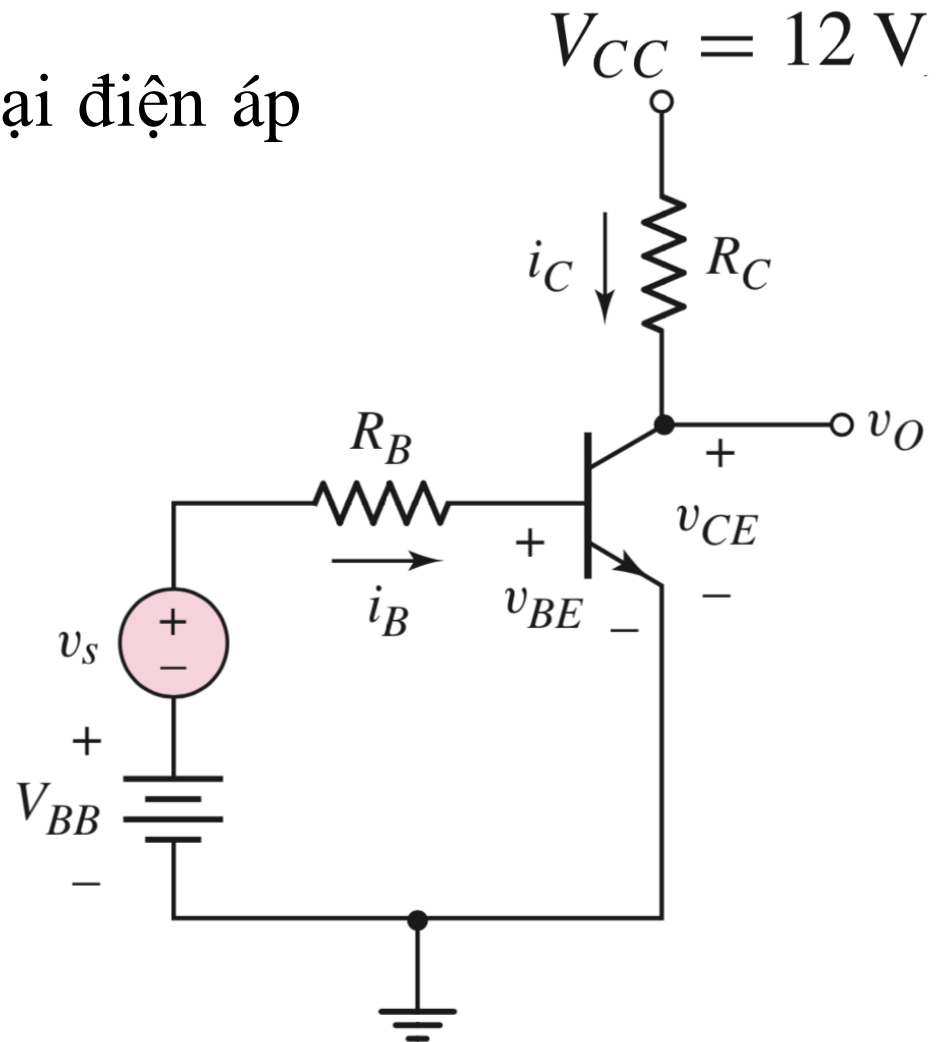
$$\beta = 100$$

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

$$R_C = 6 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 50 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = 1.2 \text{ V}$$



Ví dụ 2.13: Phân tích 1 chiều

- Mạch tương đương 1 chiều:

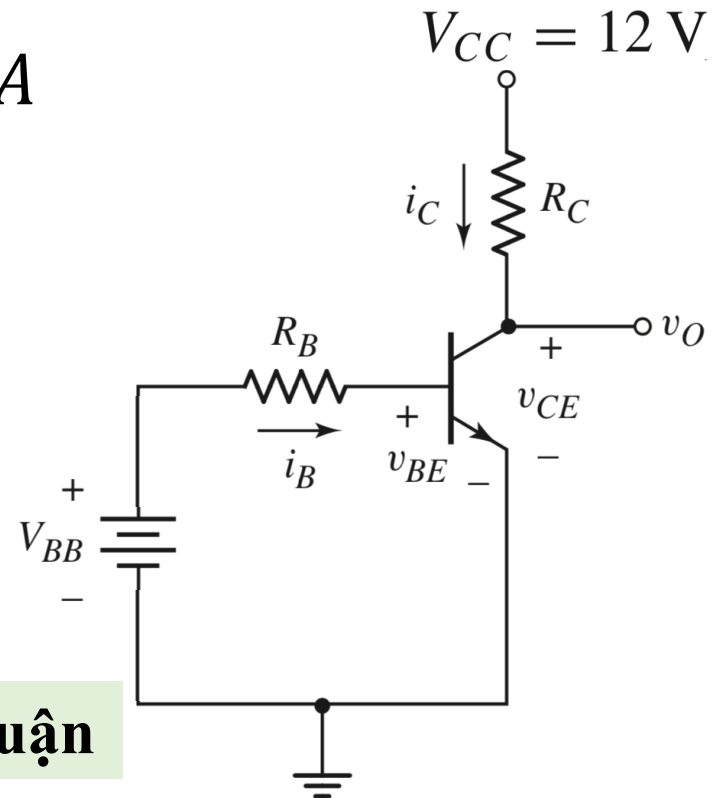
$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}(on)}{R_B} = \frac{1.2 - 0.7}{50} = 10 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_B = 100 * 0.01 = 1 mA$$

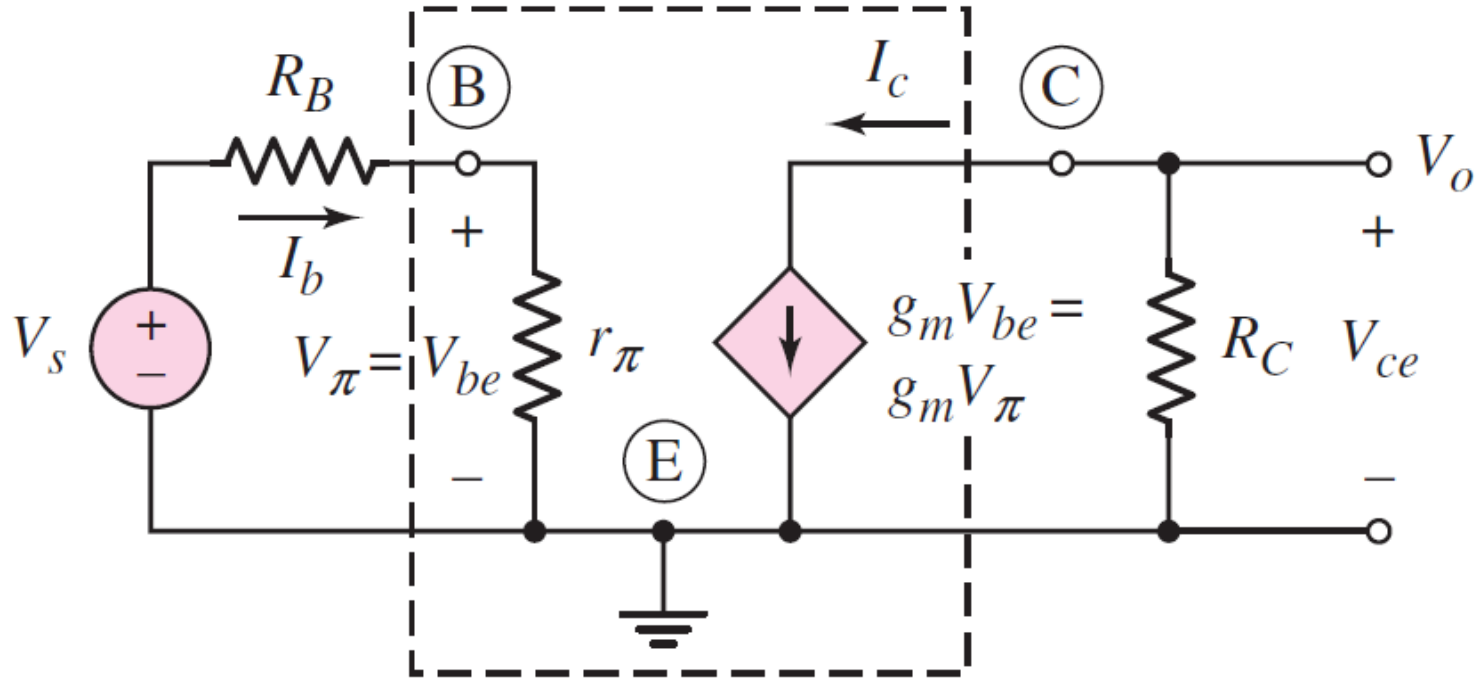
$$\begin{aligned} V_{CEQ} &= V_{CC} - I_C R_C \\ &= 12 - 1 * 6 = 6V \end{aligned}$$

➔
$$\begin{cases} I_{BQ} = 10 \mu A \\ I_{CQ} = 1 mA \\ V_{CEQ} = 6V \end{cases}$$

➔ **Transistor ở chế độ tích cực thuận**



Ví dụ 2.13: Mạch tương đương tín hiệu nhỏ



Hệ số khuếch đại:
$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = -(g_m R_C) \cdot \left(\frac{r_\pi}{r_\pi + R_B} \right)$$

Ví dụ 2.13: Phân tích mạch tín hiệu nhỏ TĐ

- Phân tích xoay chiều mạch tương đương π lai:

$$r_{\pi} = \frac{\beta V_T}{I_{CQ}} = \frac{(100)(0.026)}{1} = 2.6 \text{ k}\Omega$$

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{1}{0.026} = 38.5 \text{ mA/V}$$

$$\begin{aligned} A_v = \frac{V_o}{V_s} &= -(g_m R_C) \cdot \left(\frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_B} \right) \\ &= -(38.5)(6) \left(\frac{2.6}{2.6 + 50} \right) \\ &= -11.4 \end{aligned}$$

Ví dụ 2.13: Phân tích mạch tín hiệu nhỏ TĐ

- Xét điện áp vào dạng hình sin:

$$v_s = 0.25 \sin \omega t \text{ V}$$

- Dòng điện xoay chiều tại cực B tính được như sau:

$$i_b = \frac{v_s}{R_B + r_\pi} = \frac{0.25 \sin \omega t}{50 + 2.6} \rightarrow 4.75 \sin \omega t \text{ } \mu\text{A}$$

- Dòng điện xoay chiều tại cực C tính được như sau:

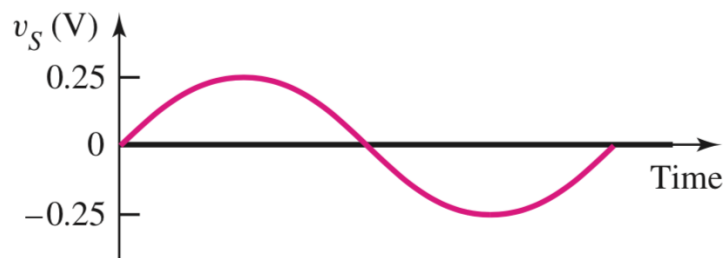
$$i_c = \beta i_b = (100)(4.75 \sin \omega t) \rightarrow 0.475 \sin \omega t \text{ mA}$$

- Điện áp xoay chiều tại cực C-E tính được như sau:

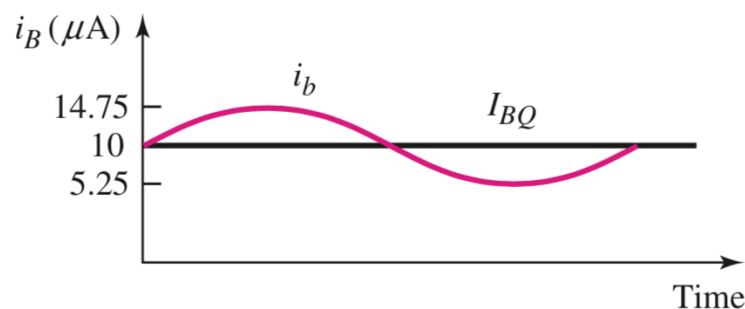
$$v_{ce} = -i_c R_C = -(0.475)(6) \sin \omega t = -2.85 \sin \omega t \text{ V}$$

Ví dụ 2.13: Phân tích mạch tín hiệu nhỏ TĐ

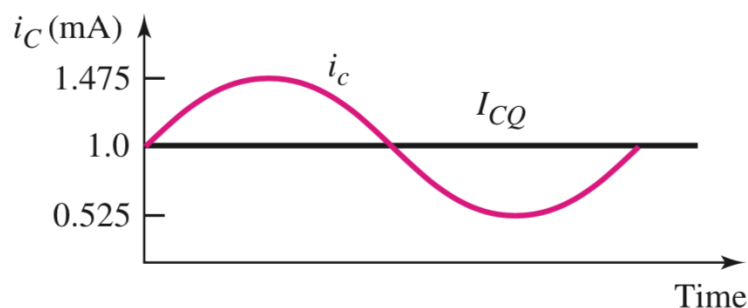
- Tín hiệu vào – ra mạch E chung



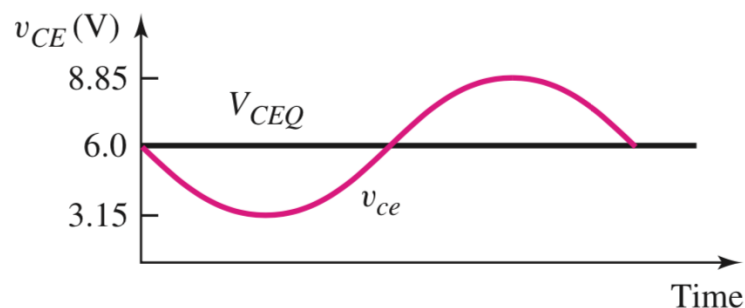
(a)



(b)



(c)










(d)

Phân tích xoay chiều

- **Bước 1:** Phân tích mạch **chỉ với nguồn DC** → Điểm làm việc một chiều Q. **Transistor phải được phân cực trong vùng tích cực thuận** để tạo ra bộ khuếch đại tuyến tính.
- **Bước 2:** Thay thế các phần tử với **mô hình tương đương tín hiệu nhỏ**. Sử dụng mô hình tín hiệu như hình π cho transistor.
- **Bước 3:** Phân tích mạch tín hiệu nhỏ tương đương với việc **thiết lập các thành phần DC bằng 0** để tính ra đáp ứng của mạch với tín hiệu đầu vào thay đổi theo thời gian.
- **Bước 4:** Xếp chồng kết quả.

Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ

Element	I - V relationship	DC model	AC model
Resistor	$I_R = \frac{V}{R}$	R	R
Capacitor	$I_C = sCV$	Open 	C
Inductor	$I_L = \frac{V}{sL}$	Short 	L
Diode	$I_D = I_S(e^{v_D/V_T} - 1)$	$+V_\gamma - r_f$	$r_d = V_T / I_D$ 
Independent voltage source	$V_S = \text{constant}$	$+V_S -$ 	Short 
Independent current source	$I_S = \text{constant}$	I_S 	Open 

Mô hình tương đương tín hiệu nhỏ

- Xếp chồng kết quả:

$$i_B = I_{BQ} + i_b$$

$$i_C = I_{CQ} + i_c$$

$$v_{CE} = V_{CEQ} + v_{ce}$$

$$v_{BE} = V_{BEQ} + v_{be}$$

Variable	Meaning
i_B, v_{BE}	Tổng giá trị tức thời
I_B, V_{BE}	Giá trị 1 chiều
i_b, v_{be}	Giá trị tức thời xoay chiều
I_b, V_{be}	Giá trị phasor

Ví dụ 2.13: Xếp chồng kết quả

- Tổng dòng điện tức thời tại cực B được tính như sau:

$$\begin{aligned}i_B &= I_{BQ} + i_b \\&= 10 + 4.75\sin\omega t \mu A\end{aligned}$$

- Tổng dòng điện tức thời tại cực C được tính như sau:

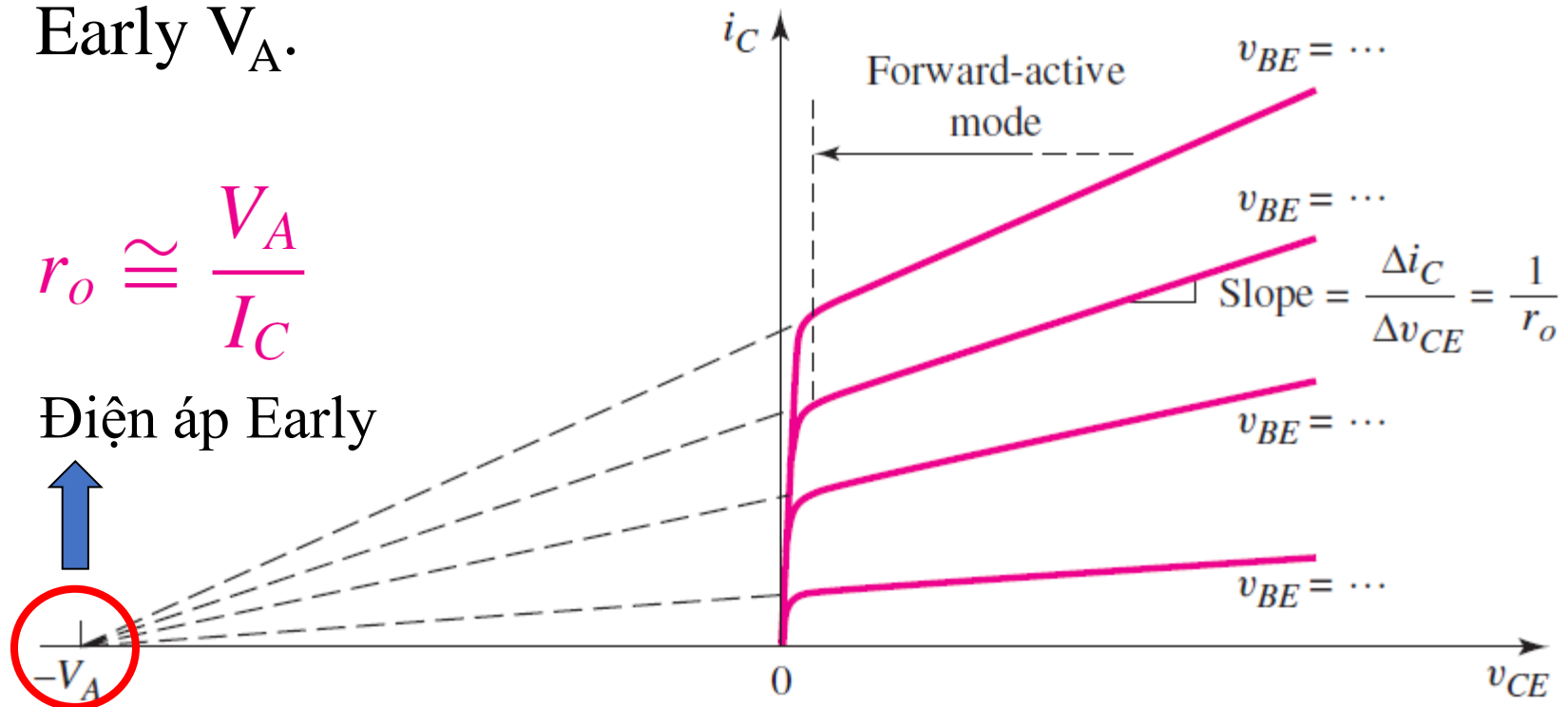
$$\begin{aligned}i_C &= I_{CQ} + i_c \\&= 1 + 0.475\sin\omega t mA\end{aligned}$$

- Tổng điện áp tức thời tại cực C-E được tính như sau:

$$\begin{aligned}v_{CE} &= V_{CEQ} + v_{ce} \\&= 6 - 2.85\sin\omega t V\end{aligned}$$

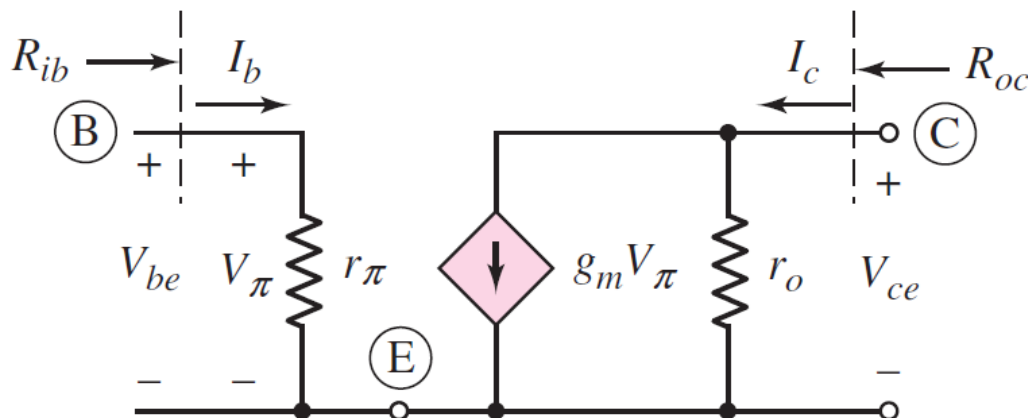
Mạch tương đương π lai có hiệu ứng Early

- Kéo dài đặc tuyến Volt-Ampere ở vùng tích cực thuận sẽ hội tụ tại 1 điểm. Điểm này gọi là điểm điện thế Early V_A .



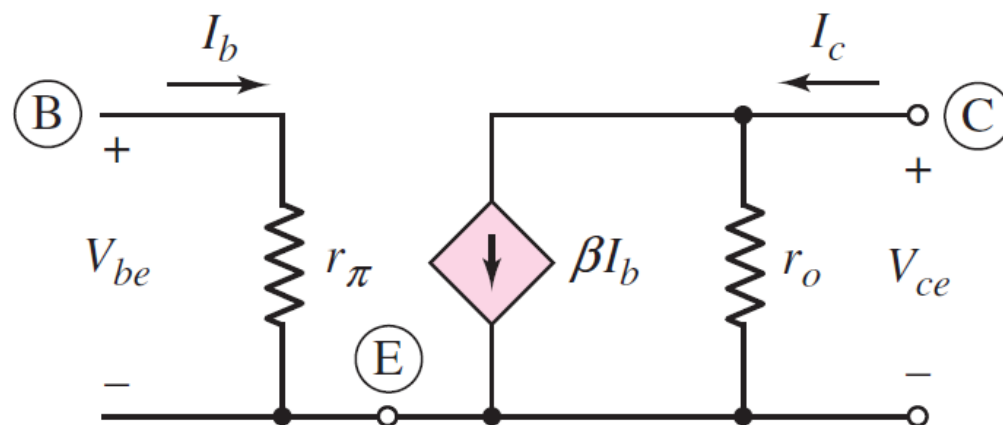
- V_A thường có giá trị nằm trong dải: $50 < V_A < 300 \text{ V}$

Mạch tương đương π lai có hiệu ứng Early



Mạch tín hiệu nhỏ tương đương với hệ số điện dẫn có hiệu ứng Early

Mạch tín hiệu nhỏ tương đương với hệ số khuếch đại dòng có hiệu ứng Early



$$r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}} \quad \text{Trở kháng đầu ra transistor tín hiệu nhỏ}$$

Ví dụ 2.14

- Hệ số khuếch đại điện áp (không tính đến r_o) đã tính được $A_v = -11.4$
- Tìm hệ số khuếch đại điện áp tín hiệu nhỏ có tính đến hiệu ứng điện trở đầu ra r_o với các thông số:

$$\beta = 100$$

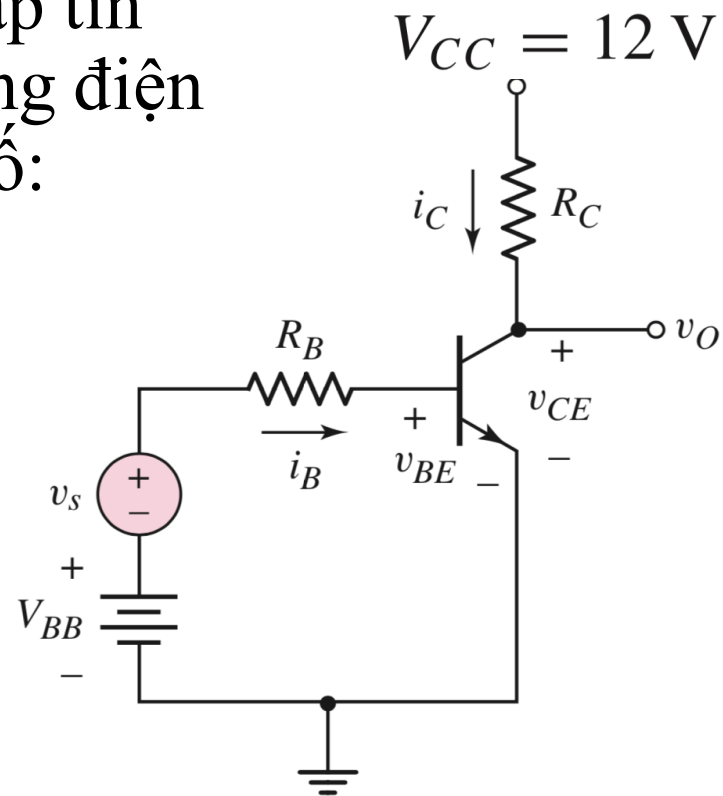
$$V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

$$R_C = 6 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = 50 \text{ k}\Omega$$

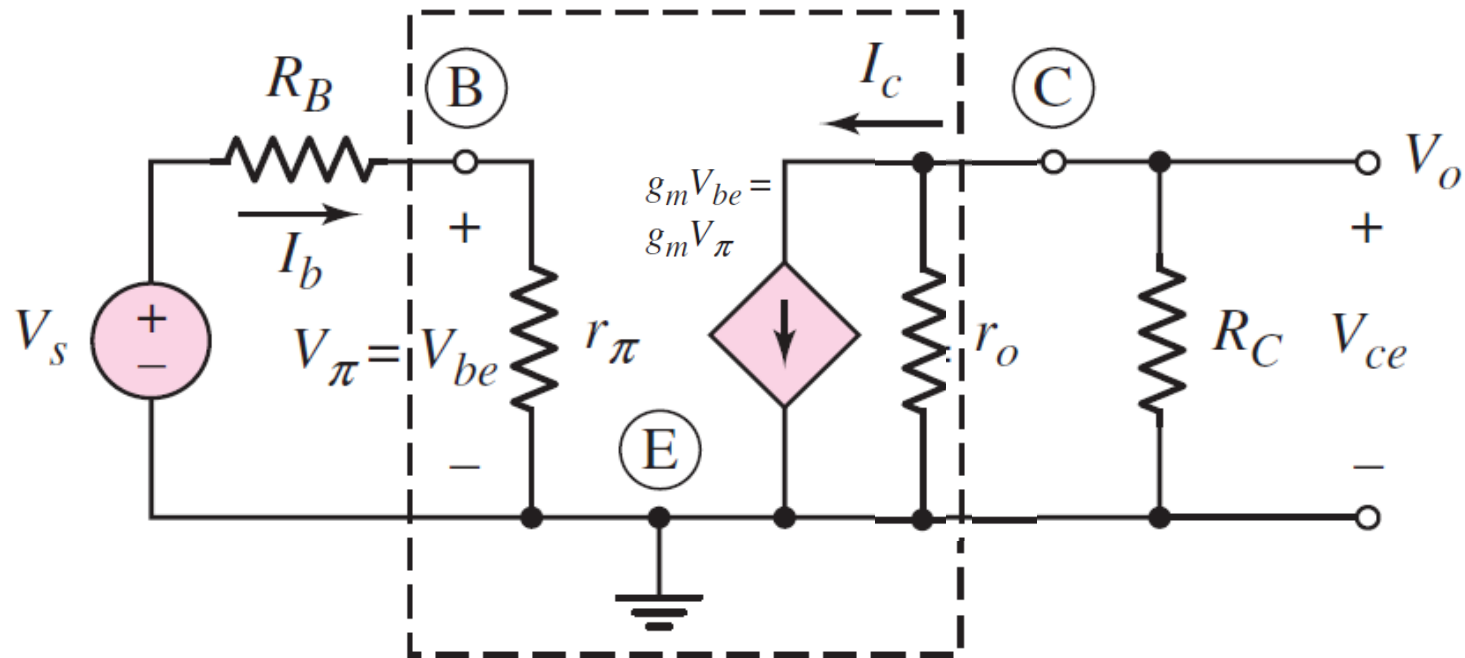
$$V_{BB} = 1.2 \text{ V}$$

$$V_A = 50 \text{ V}$$



Ví dụ 2.14

- Mạch tín hiệu nhỏ tương đương với trở kháng đầu ra r_o :



$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = -g_m (R_C \parallel r_o) \left(\frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + R_B} \right)$$

Ví dụ 2.14

- Trở kháng đầu ra tín hiệu nhỏ tính được như sau:

$$r_o = \frac{V_A}{I_{CQ}} = \frac{50}{1 \text{ mA}} = 50 \text{ k}\Omega$$

- Từ đó tính được hệ số khuếch đại điện áp tín hiệu nhỏ:

$$\begin{aligned} A_v = \frac{V_o}{V_s} &= -g_m(R_C \parallel r_o) \left(\frac{r_\pi}{r_\pi + R_B} \right) \\ &= -(38.5)(6 \parallel 50) \left(\frac{2.6}{2.6 + 50} \right) \\ &= -10.2 \end{aligned}$$



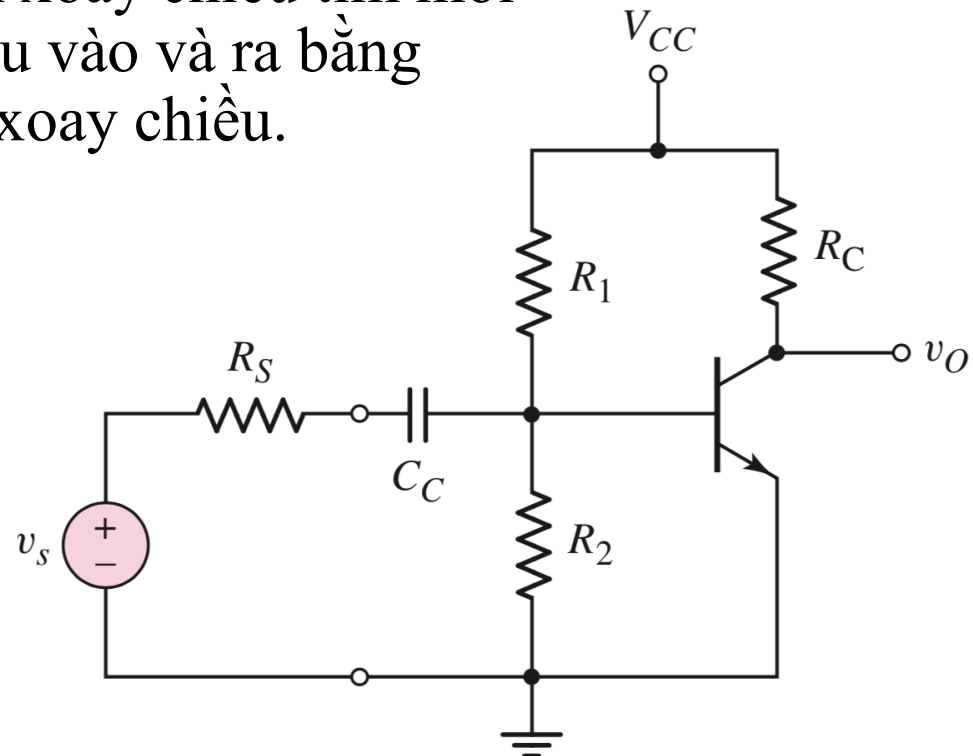
Hệ số khuếch đại điện áp giảm khi xét hiệu ứng Early

2.3 Transistor và ứng dụng

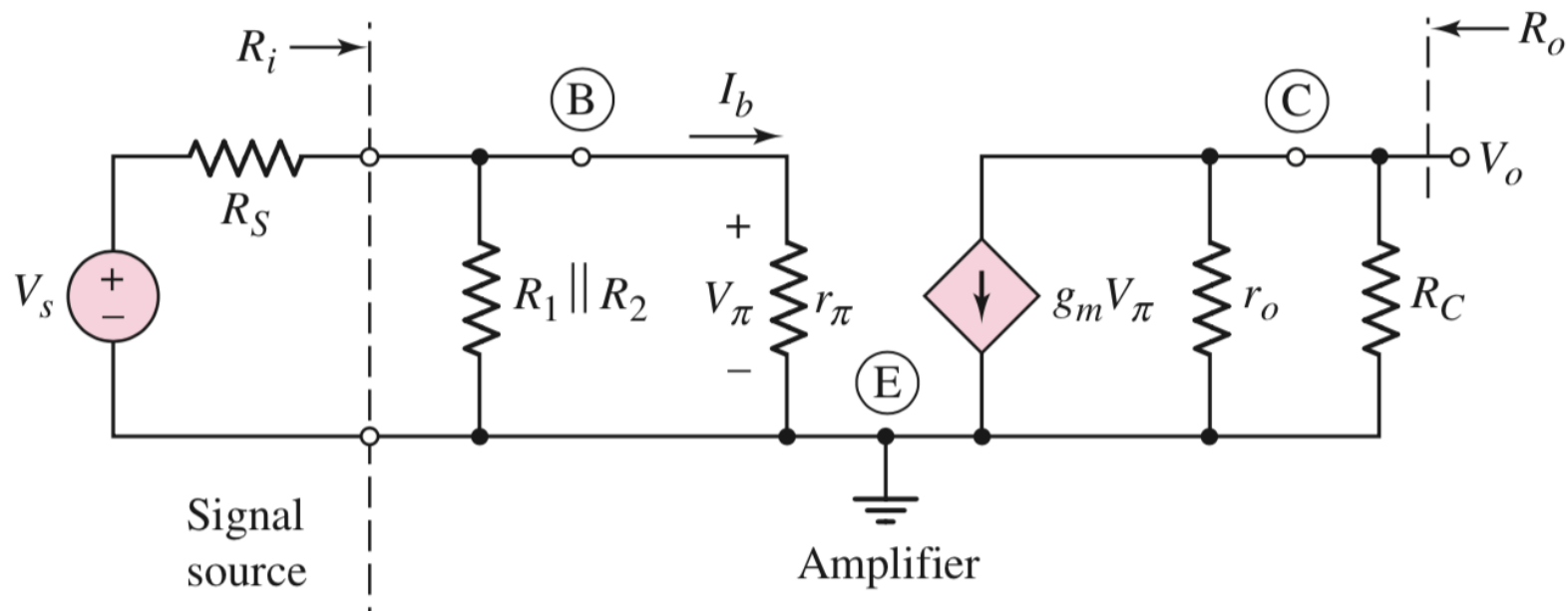
1. Cấu tạo và phân loại
2. Chế độ làm việc
3. Phân tích 1 chiều
4. Phân tích xoay chiều
5. Mạch khuếch đại E chung

Mạch khuếch đại E chung cơ bản

- Mạch như hình vẽ:
 - Thực hiện phân tích 1 chiều tìm điểm làm việc Q.
 - Thực hiện phân tích xoay chiều tìm mối quan hệ giữa tín hiệu vào và ra bằng mạch tương đương xoay chiều.



Mạch khuếch đại E chung cơ bản



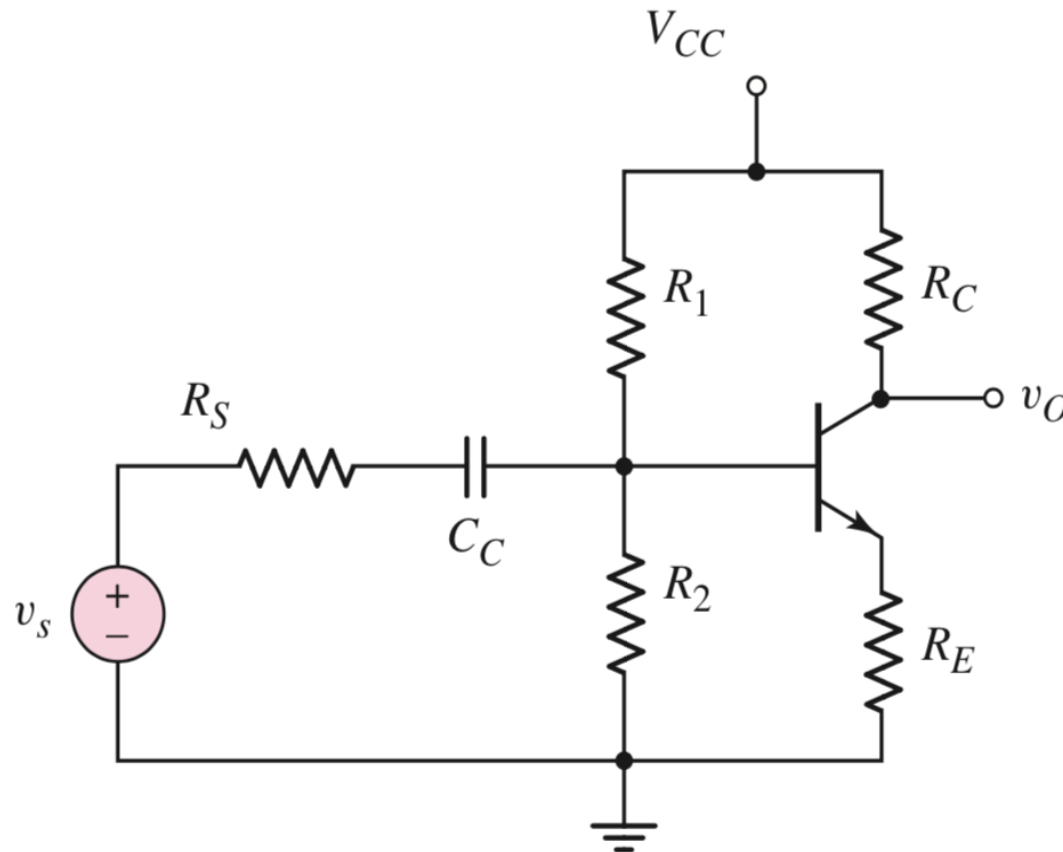
Điện áp đầu ra: $V_o = -g_m V_\pi (r_o \parallel R_C)$

Điện áp điều khiển: $V_\pi = \frac{R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi}{R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi + R_S} \cdot V_s$

Hệ số KĐ điện áp: $A_v = \frac{V_o}{V_s} = -g_m (r_o \parallel R_C) \left(\frac{R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi}{R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi + R_S} \right)$

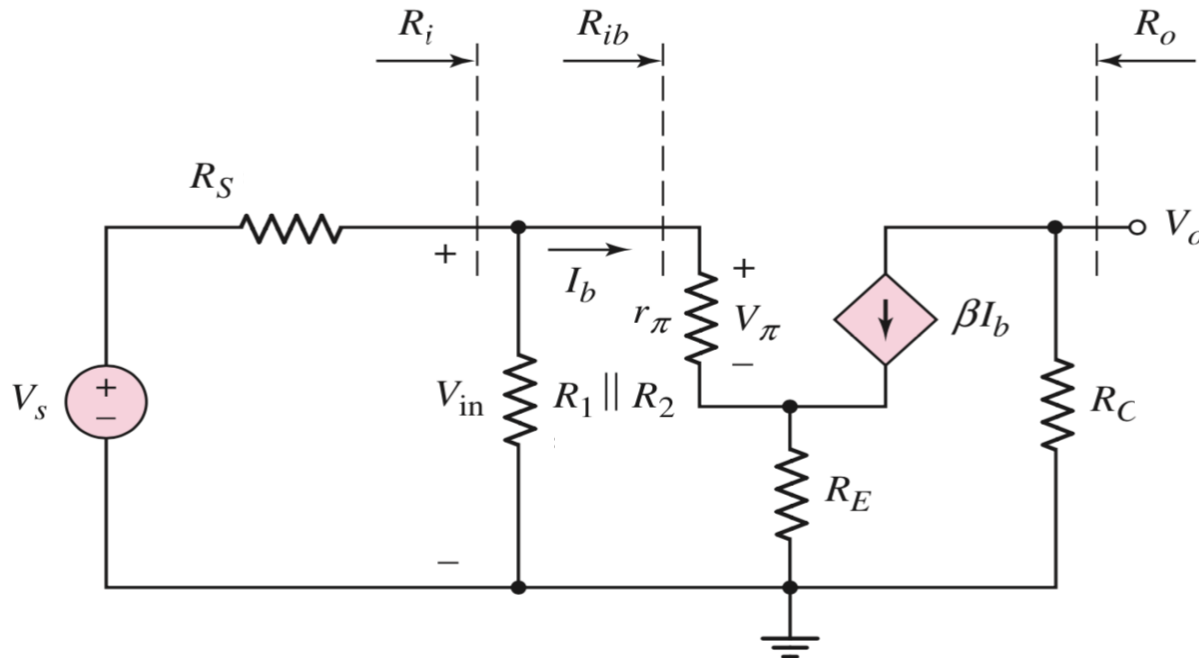
Mạch khuếch đại E chung cơ bản

- Mặc thêm điện trở R_E có tác dụng ổn định điểm làm việc.



Mạch khuếch đại E chung cơ bản

- Mạch xoay chiều tương đương:



Điện áp đầu ra: $V_o = -(\beta I_b) R_C$

Điện trở đầu vào: $R_{ib} = \frac{V_{in}}{I_b} = r_\pi + (1 + \beta) R_E$

Mạch khuếch đại E chung cơ bản

- Điện trở đầu vào bộ khuếch đại: $R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel R_{ib}$

- Điện áp vào: $V_{in} = \left(\frac{R_i}{R_i + R_S} \right) \cdot V_s$

- Từ đó tính được:

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{-(\beta I_b) R_C}{V_s} = -\beta R_C \left(\frac{V_{in}}{R_{ib}} \right) \cdot \left(\frac{1}{V_s} \right)$$

- Hay:

$$A_v = \frac{-\beta R_C}{r_{\pi} + (1 + \beta) R_E} \left(\frac{R_i}{R_i + R_S} \right)$$

Mạch khuếch đại E chung cơ bản

- Hay:

$$A_v = \frac{-\beta R_C}{r_\pi + (1 + \beta)R_E} \left(\frac{R_i}{R_i + R_S} \right)$$

- Nếu:

$$\begin{cases} R_i \gg R_S \\ (1 + \beta)R_E \gg r_\pi \end{cases}$$

- Hệ số khuếch đại:

$$A_v \cong \frac{-\beta R_C}{(1 + \beta)R_E} \cong \frac{-R_C}{R_E}$$

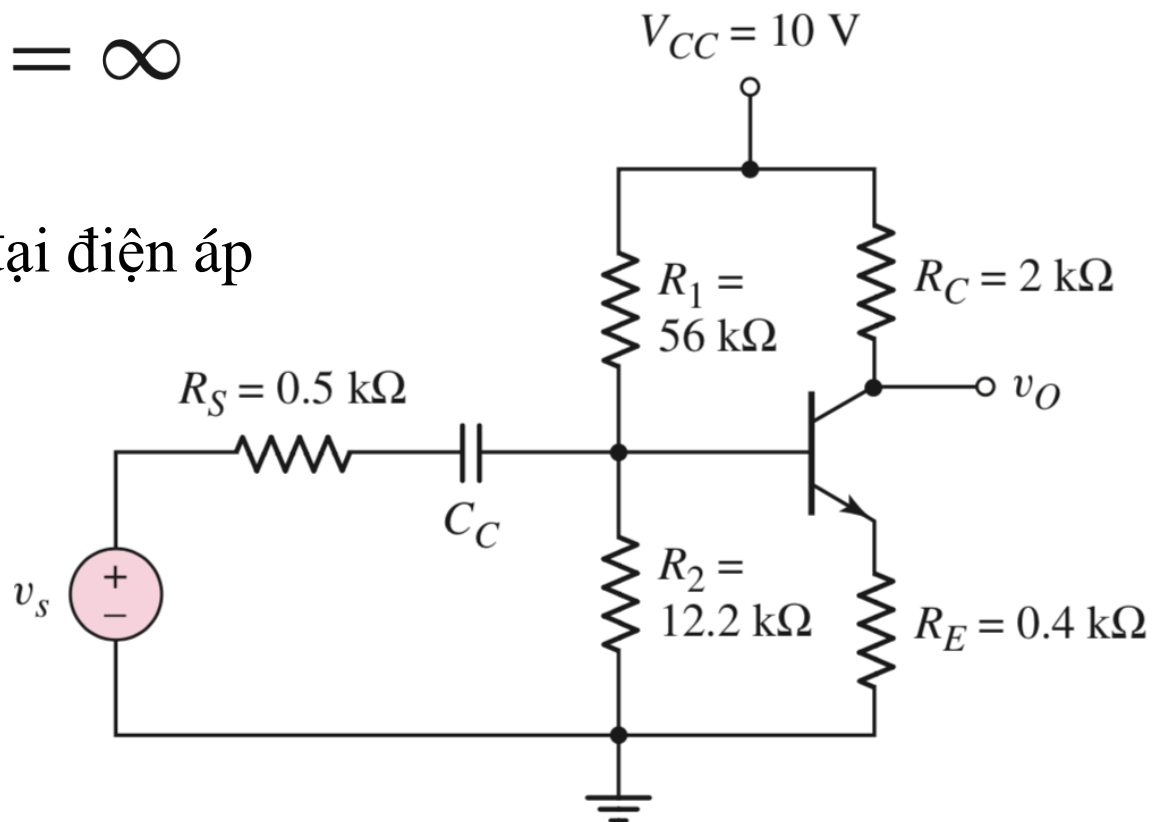
Ví dụ 2.15

- Cho mạch điện như hình vẽ:

$$V_{BE(\text{on})} = 0.7 \text{ V}$$

$$\beta = 100 \quad V_A = \infty$$

- Tìm:
 - Hệ số khuếch đại điện áp
 - Điện trở vào



Ví dụ 2.15: Phân tích 1 chiều

- Tính được:

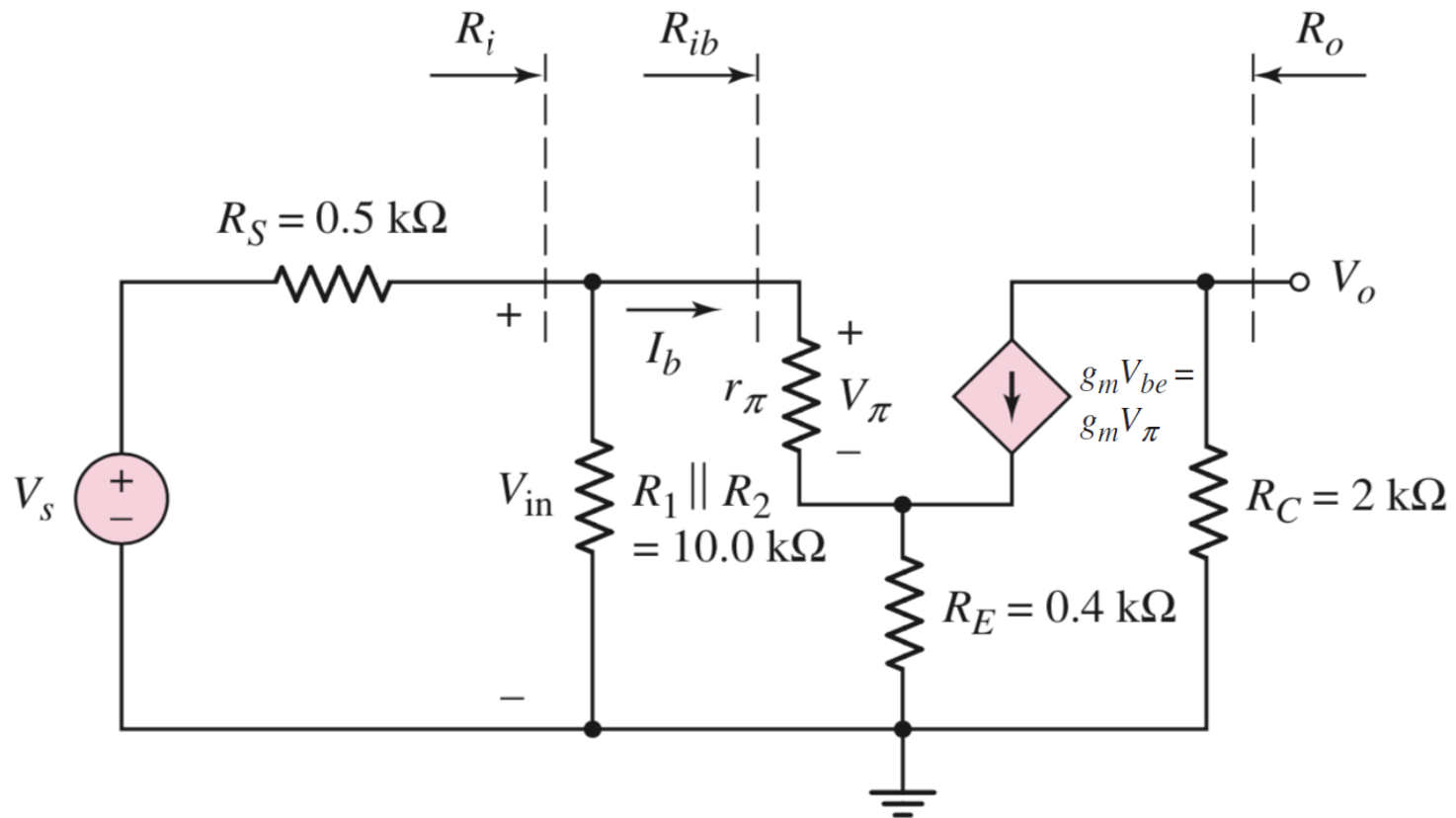
$$V_{CEQ} = 4.81 \text{ V}$$

$$I_{CQ} = 2.16 \text{ mA}$$

➔ Transistor phân cực ở vùng tích cực thuận

Ví dụ 2.15: Mạch tương đương xoay chiều

- Mạch xoay chiều tương đương tín hiệu nhỏ:



Ví dụ 2.15: Phân tích xoay chiều

- Các tham số mạch π lai:

$$r_{\pi} = \frac{V_T \beta}{I_{CQ}} = \frac{(0.026)(100)}{(2.16)} = 1.20 \text{ k}\Omega$$

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{2.16}{0.026} = 83.1 \text{ mA/V}$$

- Điện trở đầu vào cực B:

$$R_{ib} = r_{\pi} + (1 + \beta)R_E = 1.20 + (101)(0.4) = 41.6 \text{ k}\Omega$$

- Điện trở đầu vào bộ khuếch đại:

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel R_{ib} = 10 \parallel 41.6 = 8.06 \text{ k}\Omega$$

Ví dụ 2.15: Phân tích xoay chiều

- Hệ số khuếch đại điện áp:

$$A_v = \frac{-(100)(2)}{1.20 + (101)(0.4)} \left(\frac{8.06}{8.06 + 0.5} \right) \\ = -4.53$$

- Sử dụng công thức xấp xỉ:

$$A_v \cong \frac{-\beta R_C}{(1 + \beta)R_E} \cong \frac{-R_C}{R_E}$$

- Tính được:

$$A_v = \frac{-R_C}{R_E} = \frac{-2}{0.4} = -5.0$$

Ví dụ 2.15: Nhận xét

- Hệ số khuếch đại điện áp giảm nhẹ khi thêm vào điện trở R_E vì $(1 + \beta)R_E$ dưới mẫu số.
- Có thể sử dụng công thức xấp xỉ để tính hệ số khuếch đại điện áp khi thiết kế mạch khuếch đại E chung có điện trở R_E
- Hệ số khuếch đại điện áp gần như độc lập với sự thay đổi của hệ số β .

β	A_v
50	-4.41
100	-4.53
150	-4.57