

# Amplificadores Transistorizados

## Eletrônica para Ciência da Computação

---

**PROFESSOR: RUBENS T. HOCK JR.**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DEE

# Amplificadores Transistorizados

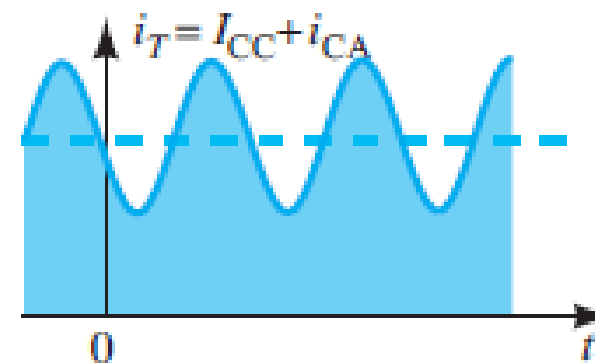
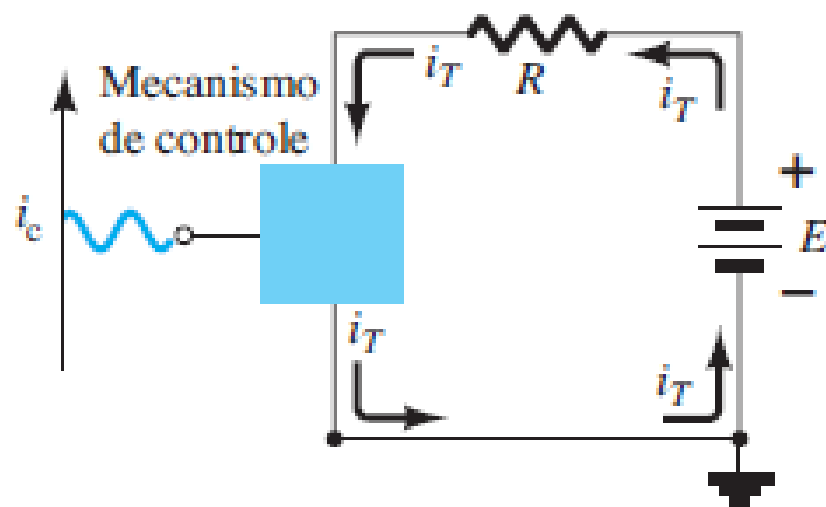
## Introdução

---

# Introdução

Depois da polarização do transistor, a resposta CA do amplificador TBJ utiliza os modelos usados com mais frequência para representar o transistor no domínio CA senoidal.

O teorema da superposição é aplicável à análise e ao projeto das componentes CC e CA de um circuito TBJ, permitindo a separação da análise das respostas CC e CA do sistema.



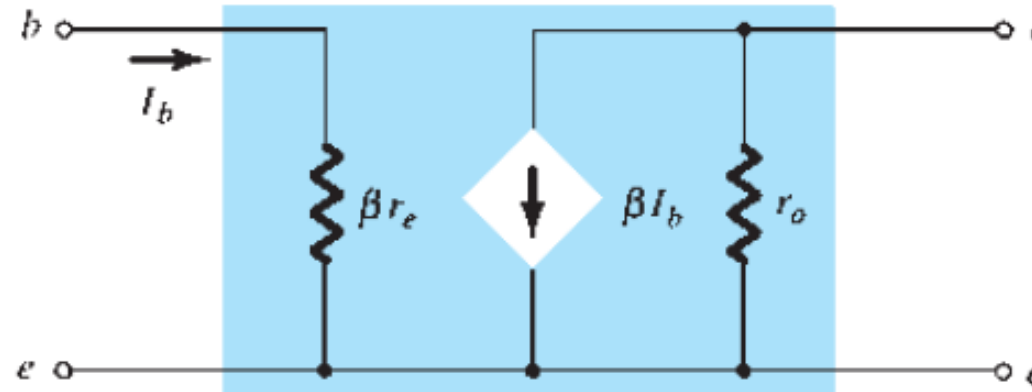
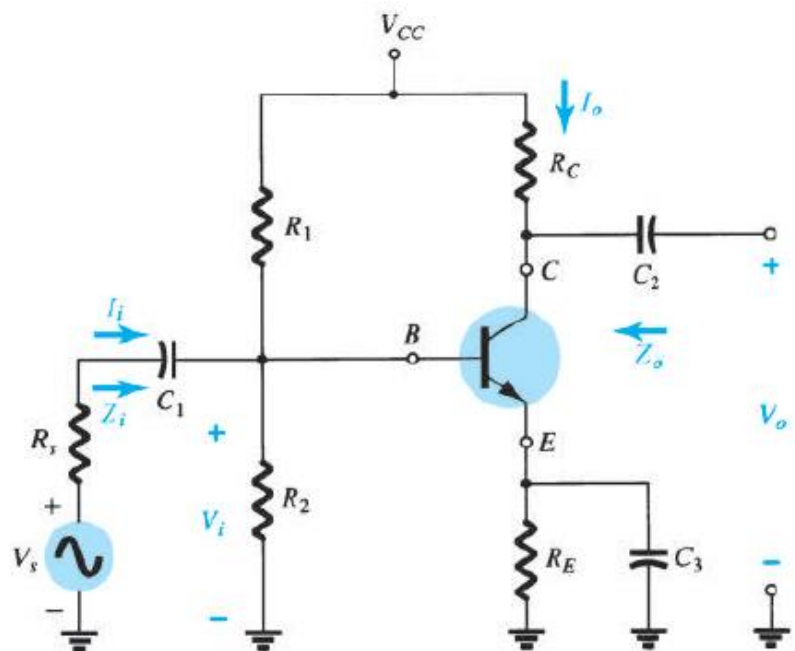
# Amplificadores Transistorizados

# Modelos

---

# Modelos

Um modelo é a combinação de elementos de circuito, apropriadamente selecionados, que se assemelham tanto quanto possível ao funcionamento real de um dispositivo semiconductor sob condições específicas de operação. O modelo analisado é o modelo  $r_e$ .



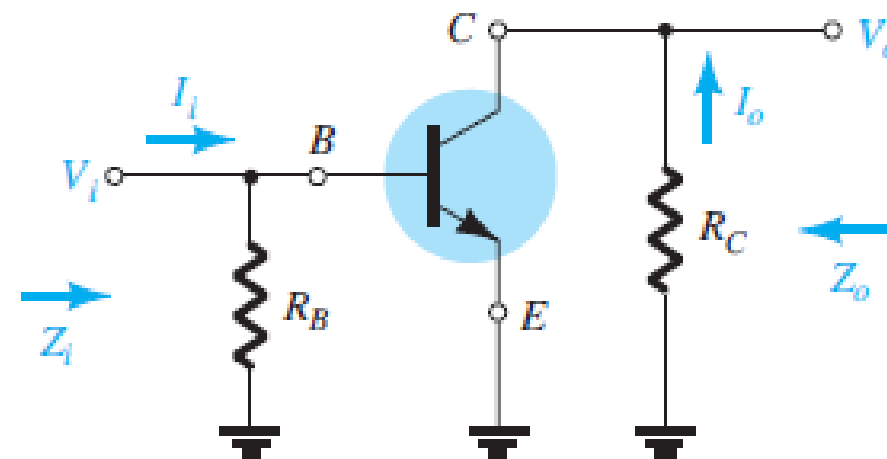
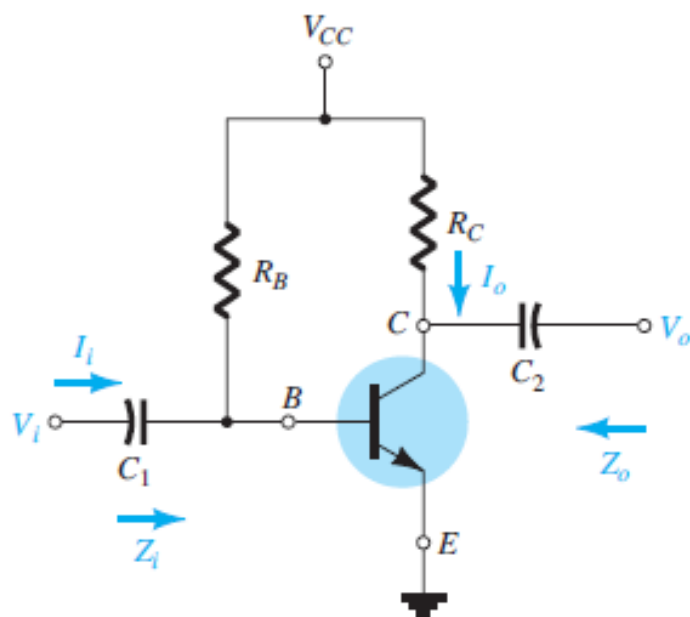
# Transistores

# Configuração Emissor Comum

---

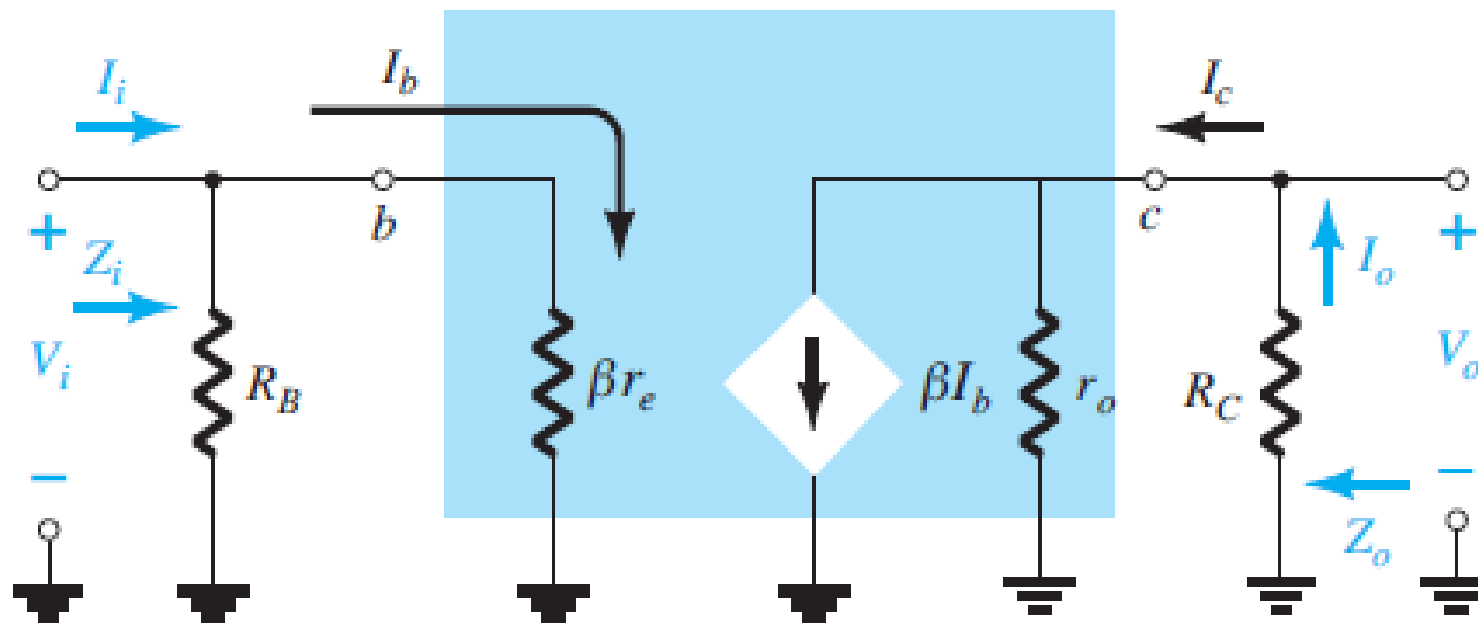
# Configuração Emissor Comum

Considerando polarização fixa e considerando apenas a parcela CA do circuito, o circuito reduzido do amplificador é:



# Configuração Emissor Comum

Substituindo o modelo do transistor no circuito:





# Configuração Emissor Comum

---

Depois de redesenhar o circuito, é preciso determinar  $r_e$ ,  $r_o$  e  $\beta$ .

- O valor de  $\beta$  normalmente é obtido a partir de uma folha de dados ou por medição direta
- O valor de  $r_e$  deve ser determinado por meio de uma análise CC do sistema
- O valor de  $r_o$  normalmente é obtido das folhas de dados ou a partir de curvas características.

# Configuração Emissor Comum

A impedância de entrada é calculada por:

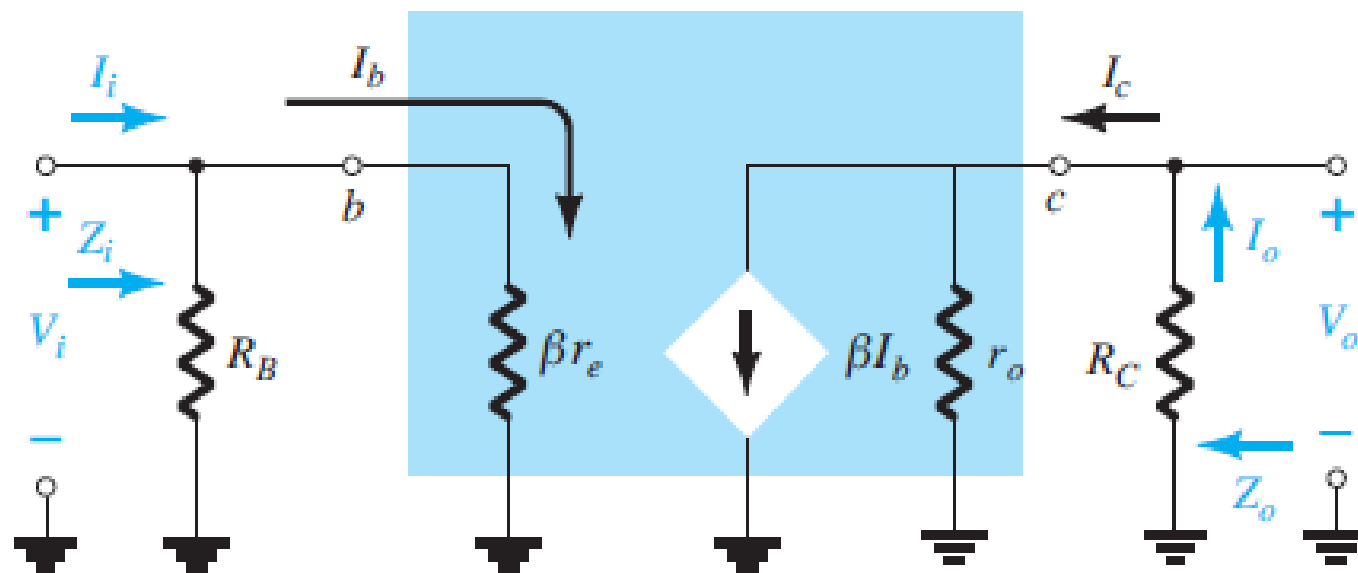
$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e$$

A impedância de saída é calculada por:

$$Z_o = R_C \parallel r_o$$

O ganho de tensão é calculado por:

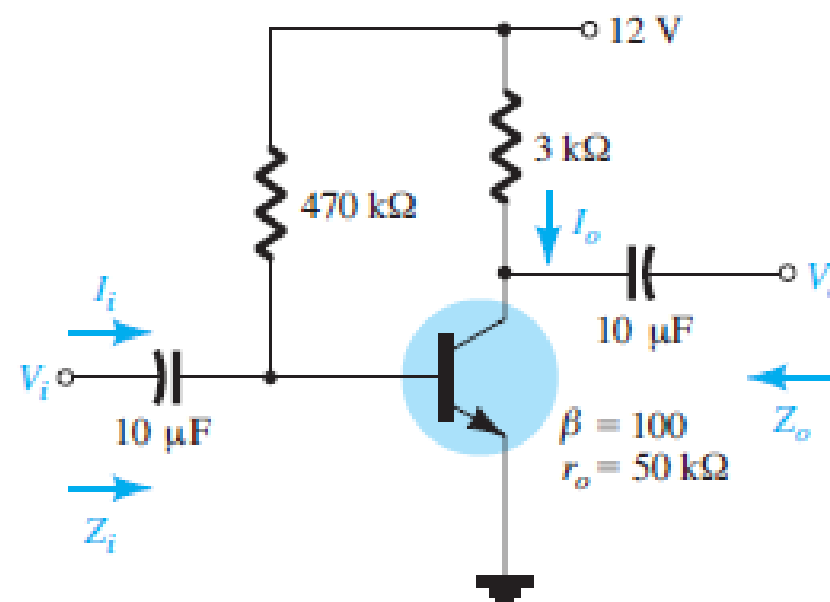
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{(R_C \parallel r_o)}{r_e}$$



# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito

- a) Determine  $r_e$ .
- b) Determine  $Z_i$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- c) Calcule  $Z_o$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- d) Determine  $A_v$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- e) Repita os itens (c) e (d) incluindo  $r_o$ .



# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito

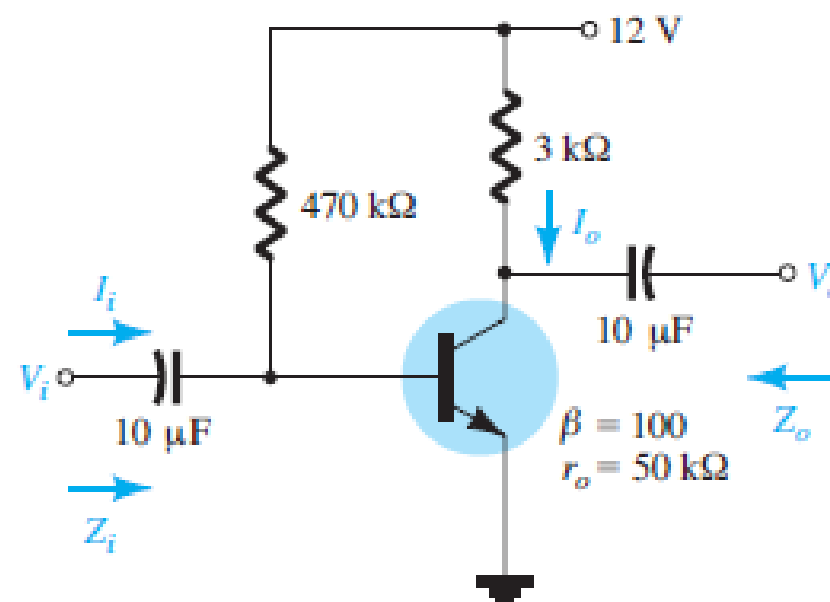
- a) Determine  $r_e$ .
- b) Determine  $Z_i$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- c) Calcule  $Z_o$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- d) Determine  $A_v$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- e) Repita os itens (c) e (d) incluindo  $r_o$

$$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$$

$$I_B = (12 - 0,7) / 470k = 24,04 \mu A$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = 101 \cdot 24,04 \mu = 2,428 \text{ mA}$$

$$r_e = 26 \text{ mV} / I_E = 26 \text{ mV} / 2,428 \text{ mA} = 10,71 \Omega$$

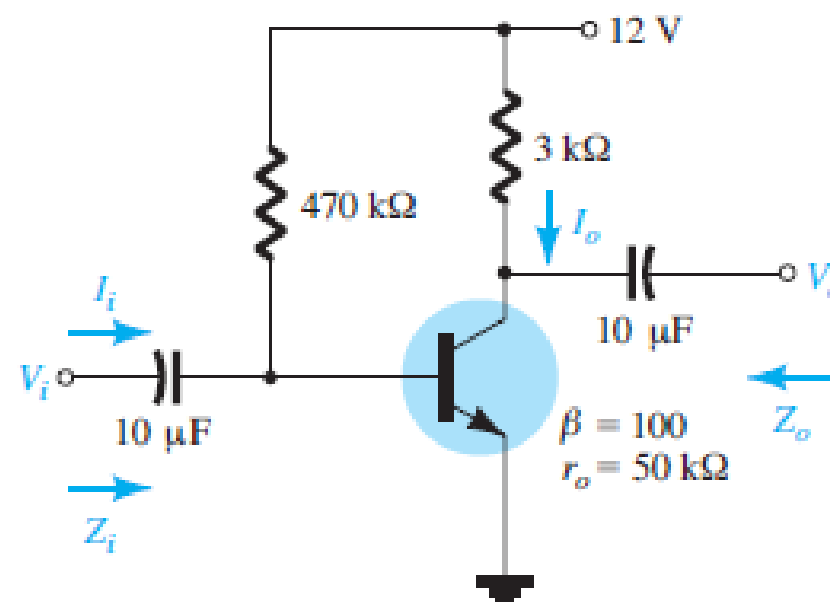


# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito

- a) Determine  $r_e$ .
- b) Determine  $Z_i$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- c) Calcule  $Z_o$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- d) Determine  $A_v$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- e) Repita os itens (c) e (d) incluindo  $r_o$

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e = 470k \cdot 1,071k / (471,071k) = 1,07 \text{ k}\Omega$$

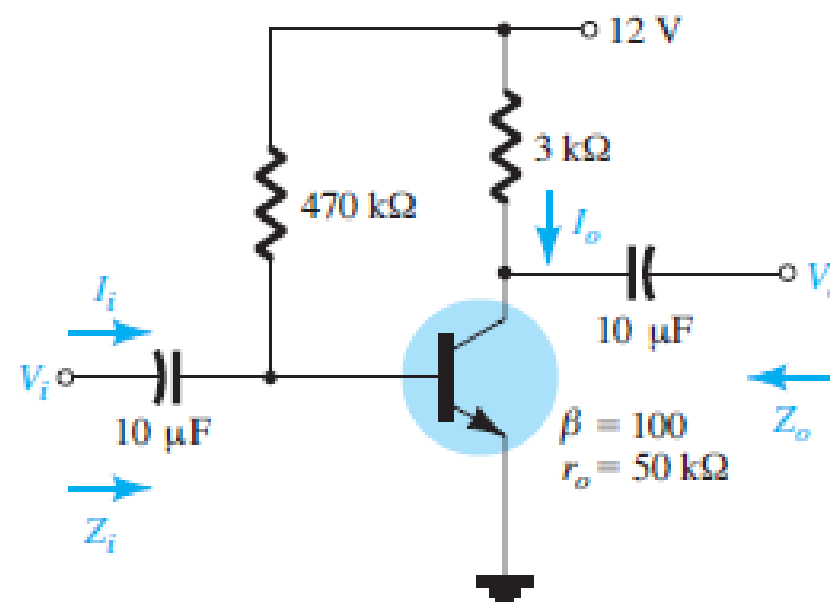


# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito

- a) Determine  $r_e$ .
- b) Determine  $Z_i$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- c) Calcule  $Z_o$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- d) Determine  $A_v$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- e) Repita os itens (c) e (d) incluindo  $r_o$ .

$$Z_o = R_c = 3 \text{ k}\Omega$$



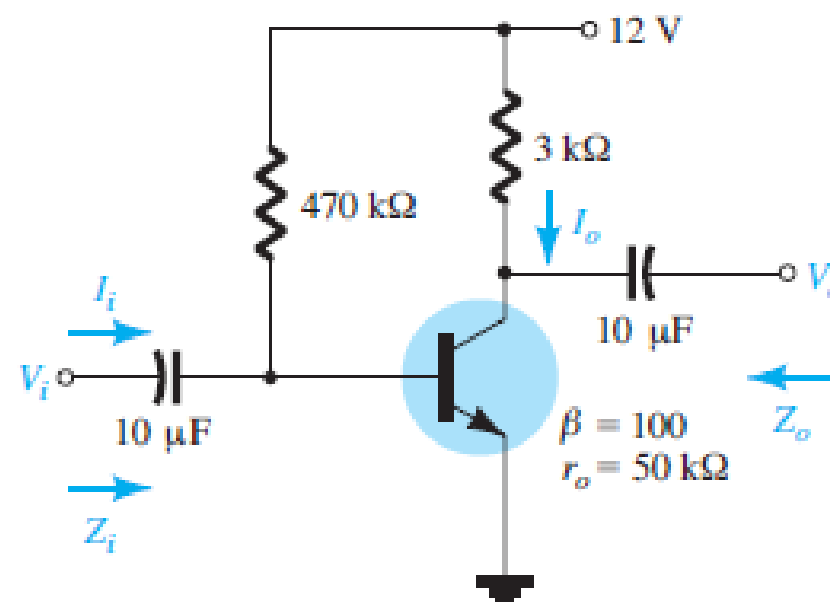
# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito

- a) Determine  $r_e$ .
- b) Determine  $Z_i$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- c) Calcule  $Z_o$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- d) Determine  $A_v$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- e) Repita os itens (c) e (d) incluindo  $r_o$

$$A_v = - R_c / r_e = - 3k / 10,71 = -280,11$$

$$Z_o = R_c || r_o = 3k \cdot 50k / (53k) = 2,83 k\Omega$$



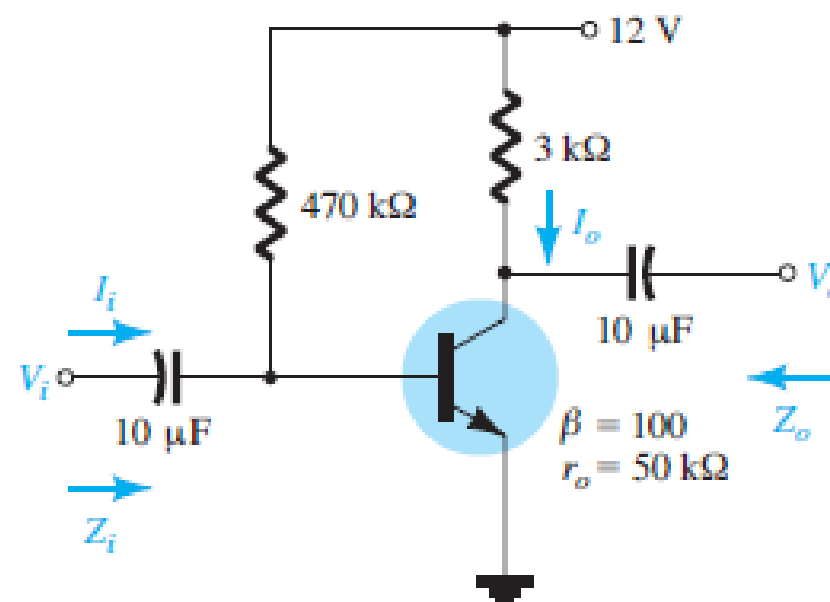
# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito

- a) Determine  $r_e$ .
- b) Determine  $Z_i$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- c) Calcule  $Z_o$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- d) Determine  $A_v$  (com  $r_o = \infty \Omega$ ).
- e) Repita os itens (c) e (d) incluindo  $r_o$

$$Z_o = R_c \parallel r_o = 3k \cdot 50k / (53k) = 2,83 \text{ k}\Omega$$

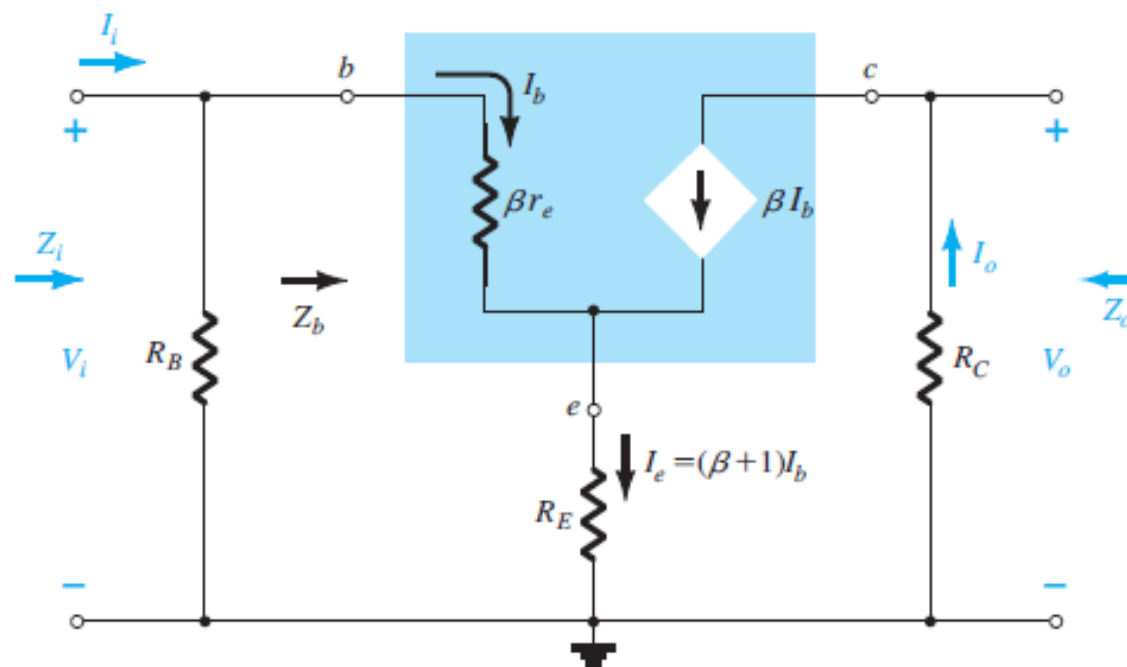
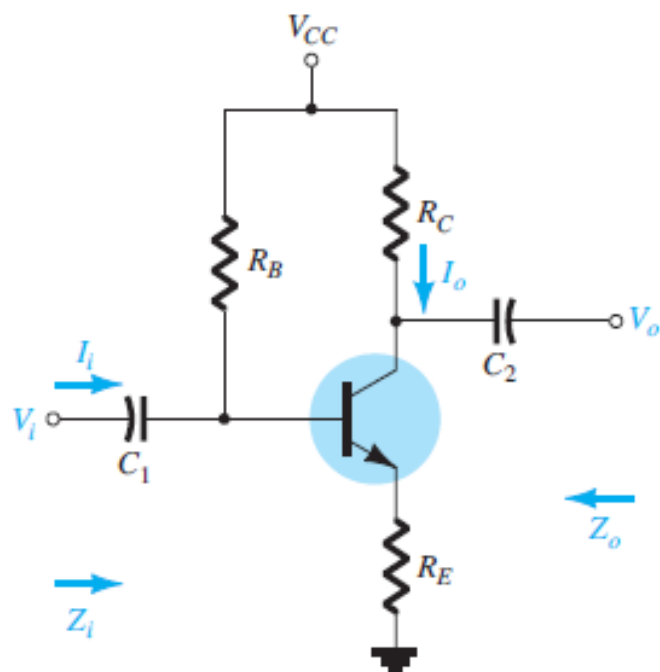
$$A_v = - (R_c \parallel r_o / r_e = - 2,83k / 10,71 = -264,24$$





# Configuração Emissor Comum

Considerando polarização de emissor e considerando apenas a parcela CA do circuito, o circuito reduzido do amplificador é:



# Configuração Emissor Comum

A impedância de entrada é calculada por:

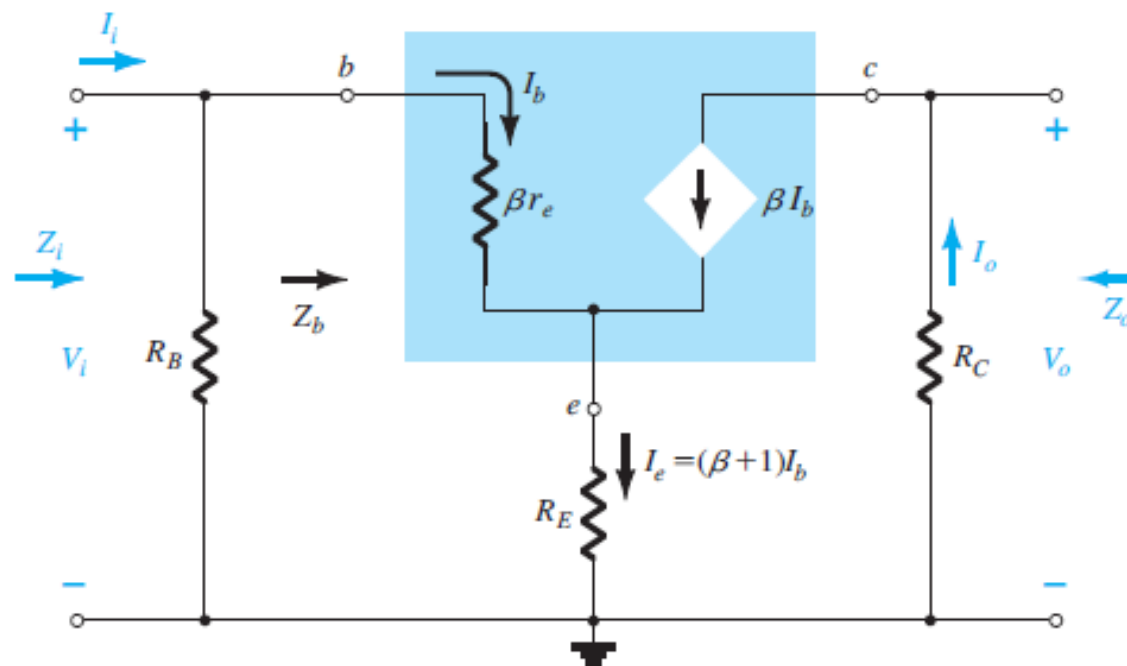
$$Z_i = R_B \parallel Z_b \quad Z_b \cong \beta R_E$$

A impedância de saída é calculada por:

$$Z_o = R_C$$

O ganho de tensão é calculado por:

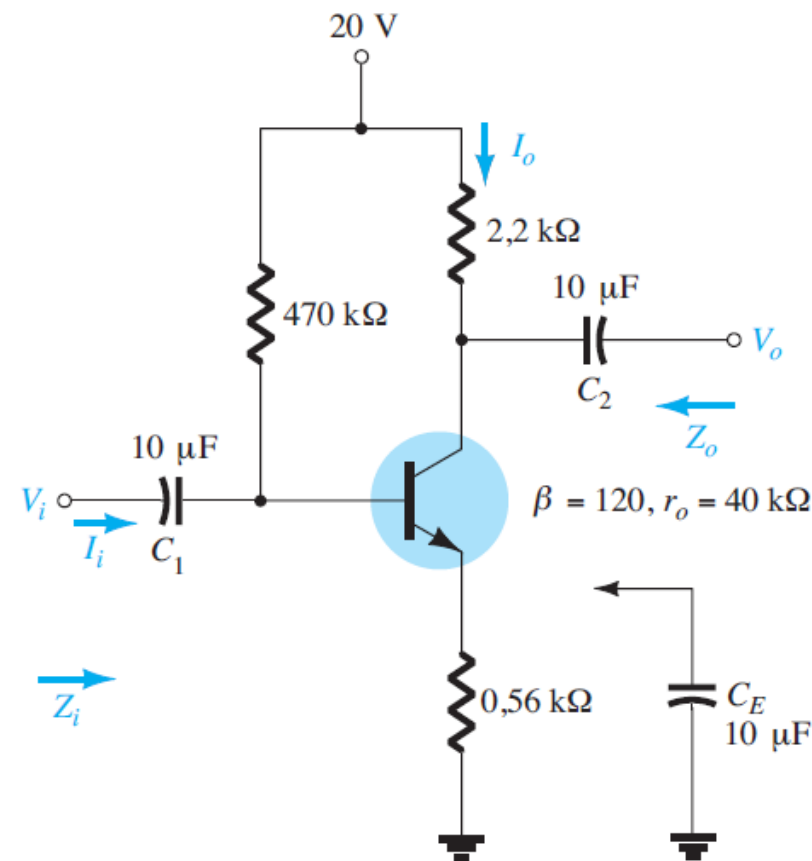
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_C}{R_E}$$



# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito determine

- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .



# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito determine

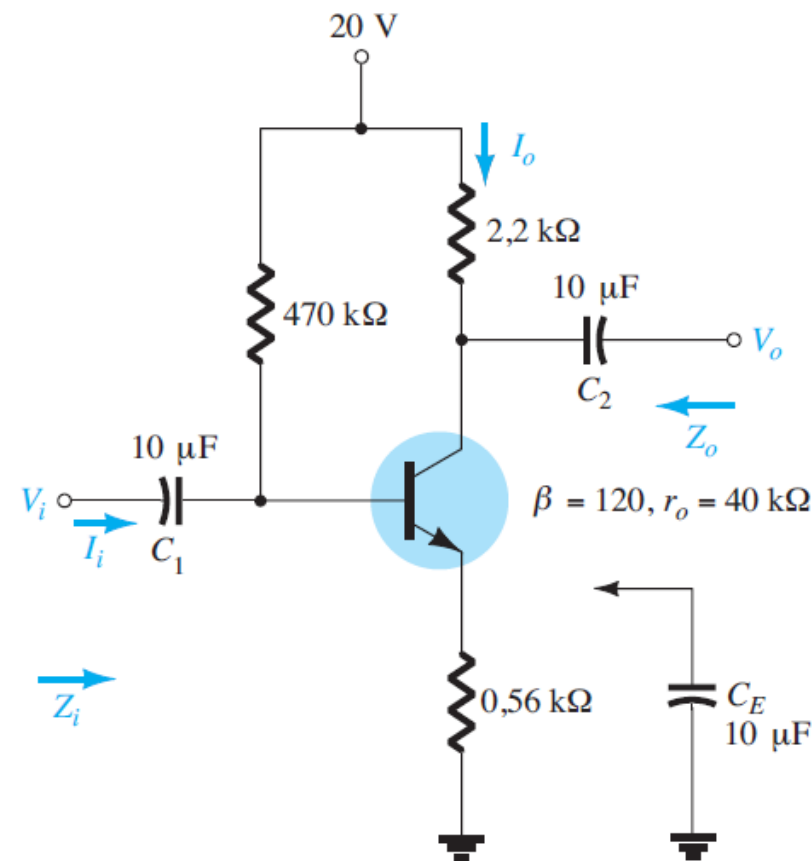
- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .

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

$$I_B = (20 - 0,7) / (470k + (121) 0,56k) = 35,89 \mu A$$

$$I_E = (\beta+1) I_B = 121 \cdot 35,89 \mu = 4,34 \text{ mA}$$

$$r_e = 26m / I_E = 26m / 4,34m = 5,99 \Omega$$



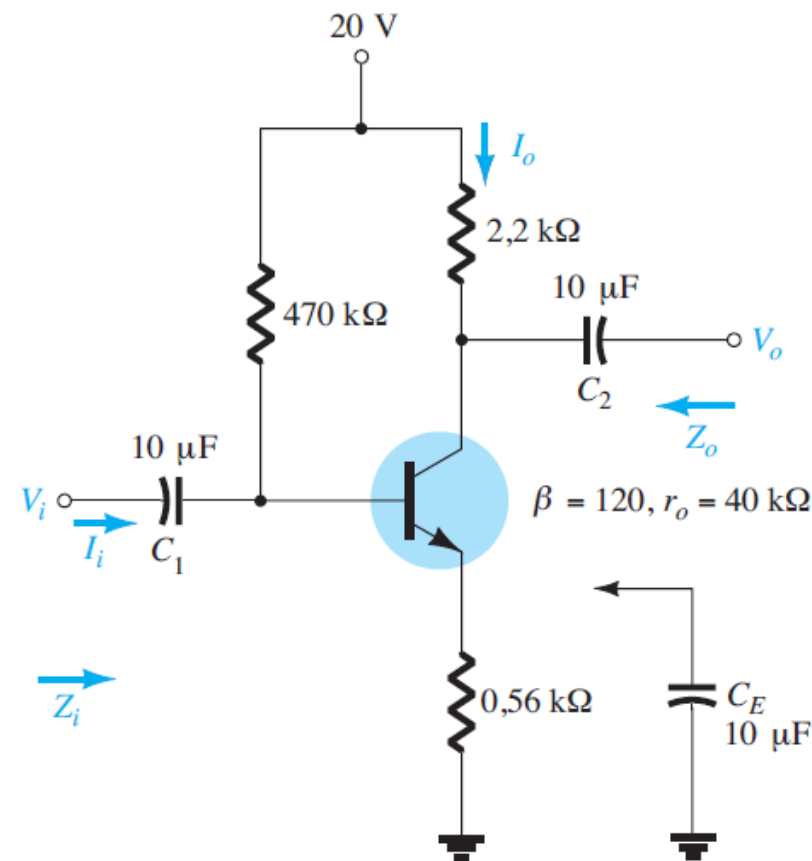
# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito determine

- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .

$$Z_b = \beta R_E = 120 \cdot 0,56k = 67,2 \text{ k}\Omega$$

$$Z_i = R_B \parallel Z_b = 470k \cdot 67,2k / (470k + 67,2k) = 58,8 \text{ k}\Omega$$

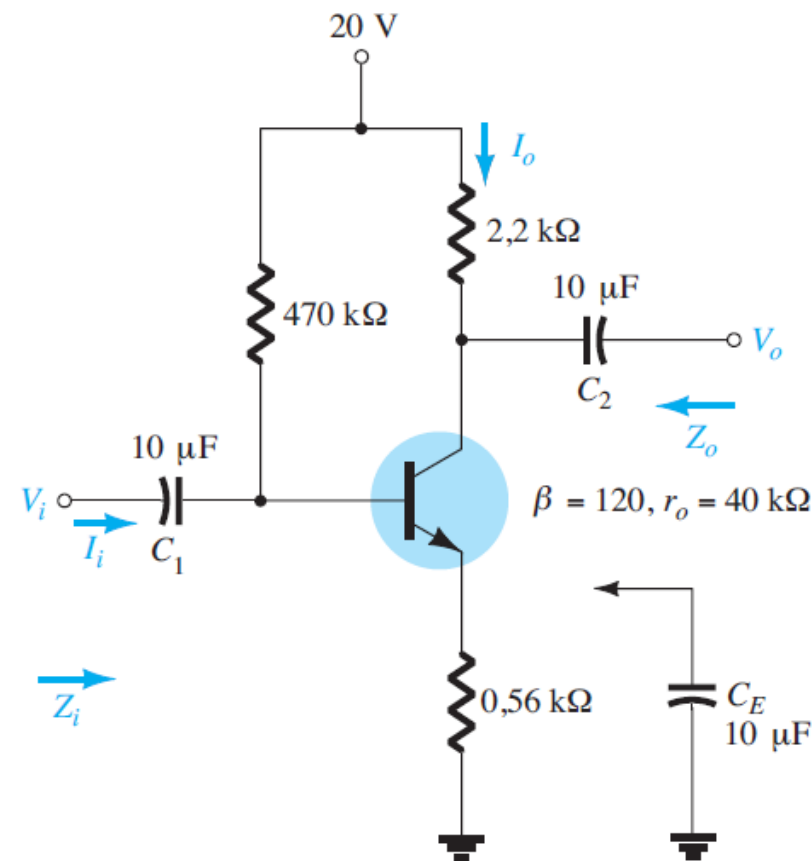


# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito determine

- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .

$$Z_o = R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

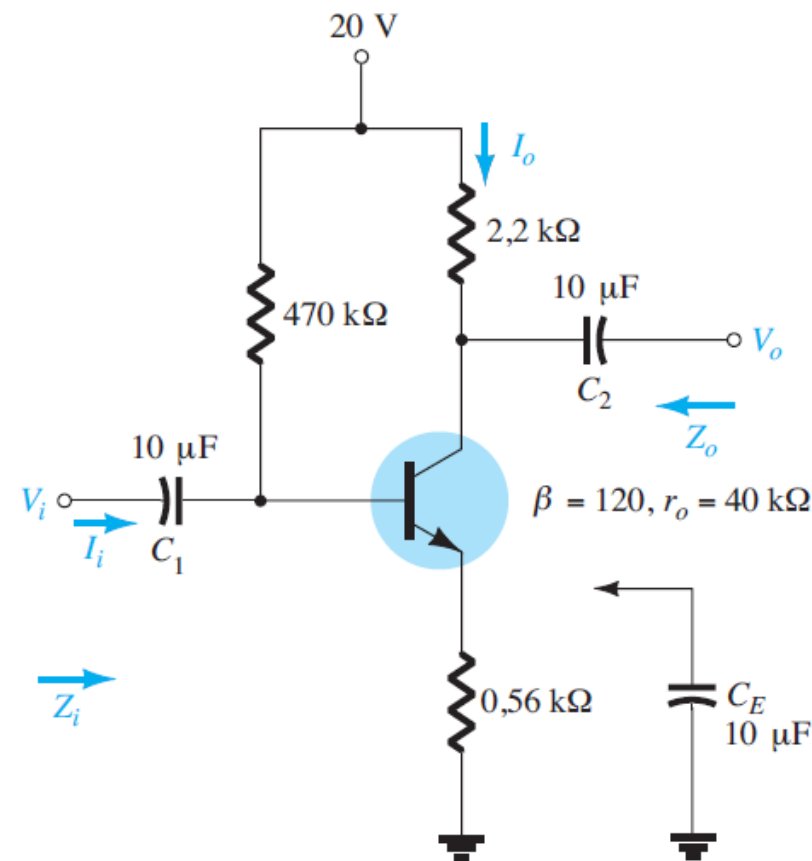


# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito determine

- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .

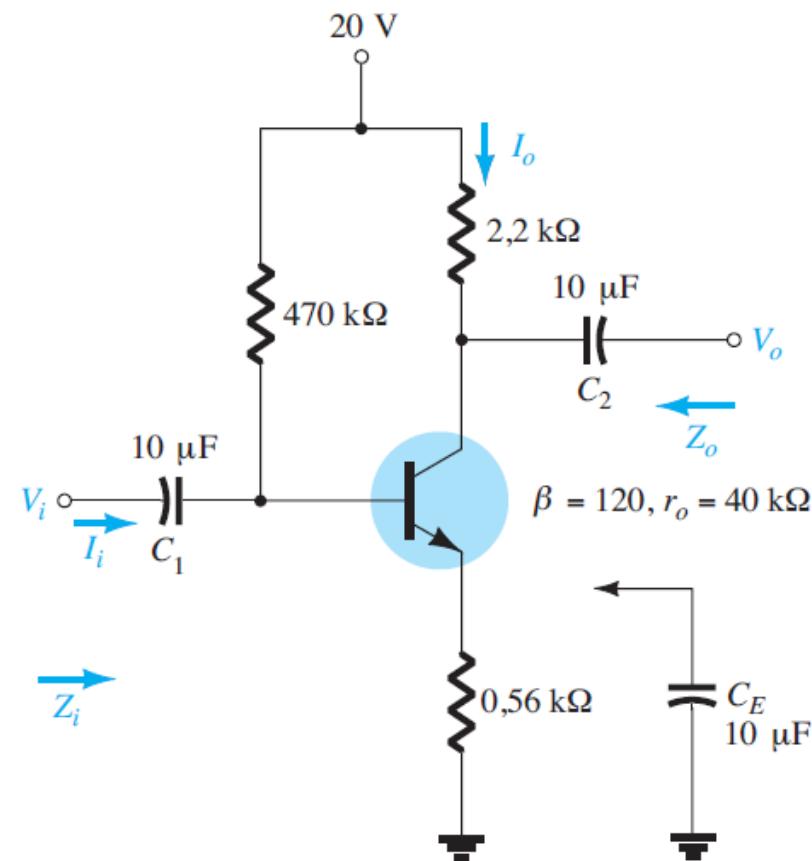
$$A_v = -R_C / R_E = -2,2k / 0,56k = -3,93$$



# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito com o capacitor  $C_E$  determine

- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .





# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito com o capacitor  $C_E$  determine

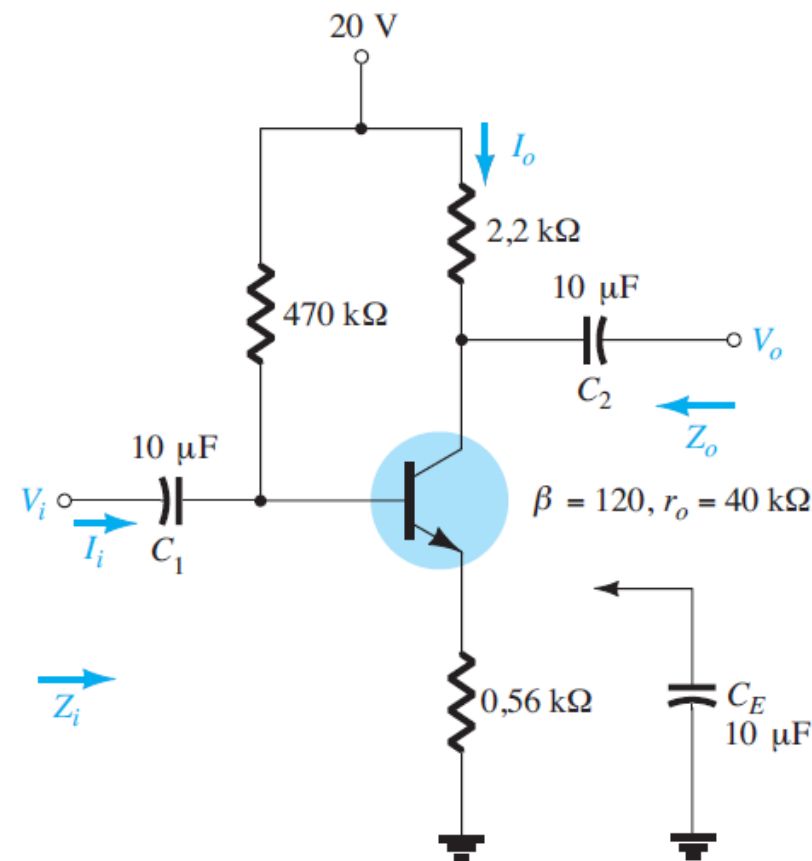
- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .

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

$$I_B = (20 - 0,7) / (470k + (121) 0,56k) = 35,89 \mu A$$

$$I_E = (\beta+1) I_B = 121 \cdot 35,89 \mu = 4,34 \text{ mA}$$

$$r_e = 26m / I_E = 26m / 4,34m = 5,99 \Omega$$



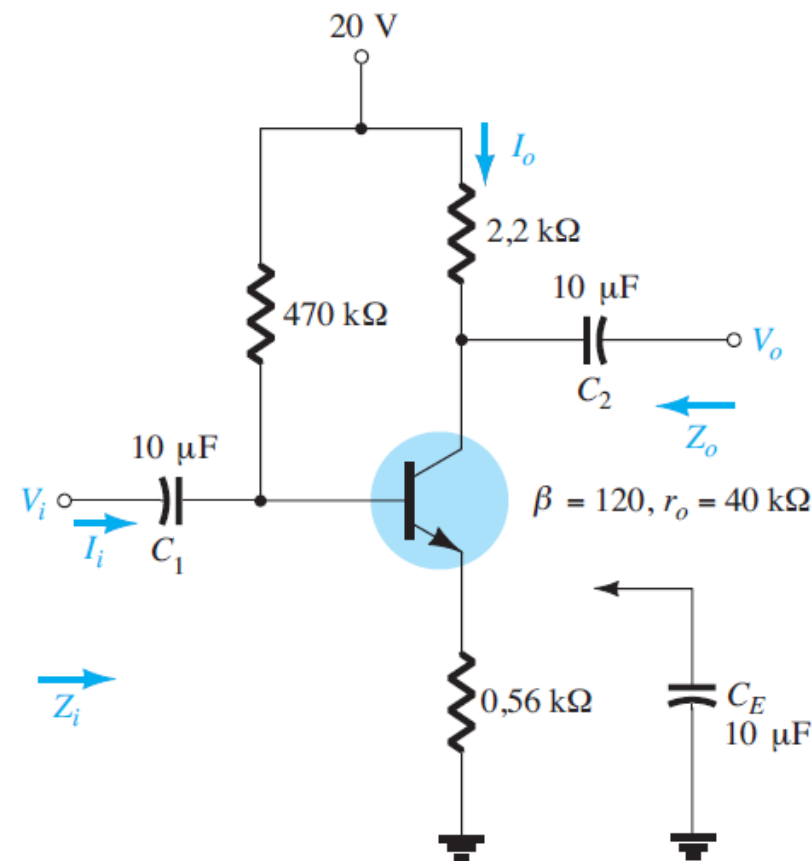
# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito com o capacitor  $C_E$  determine

- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .

$$Z_b = \beta r_E = 120 \cdot 5,99 = 718,8 \, \Omega$$

$$Z_i = R_B \parallel Z_b = 470k \cdot 718,8 / (470k + 718,8) = 717,7 \, \Omega$$

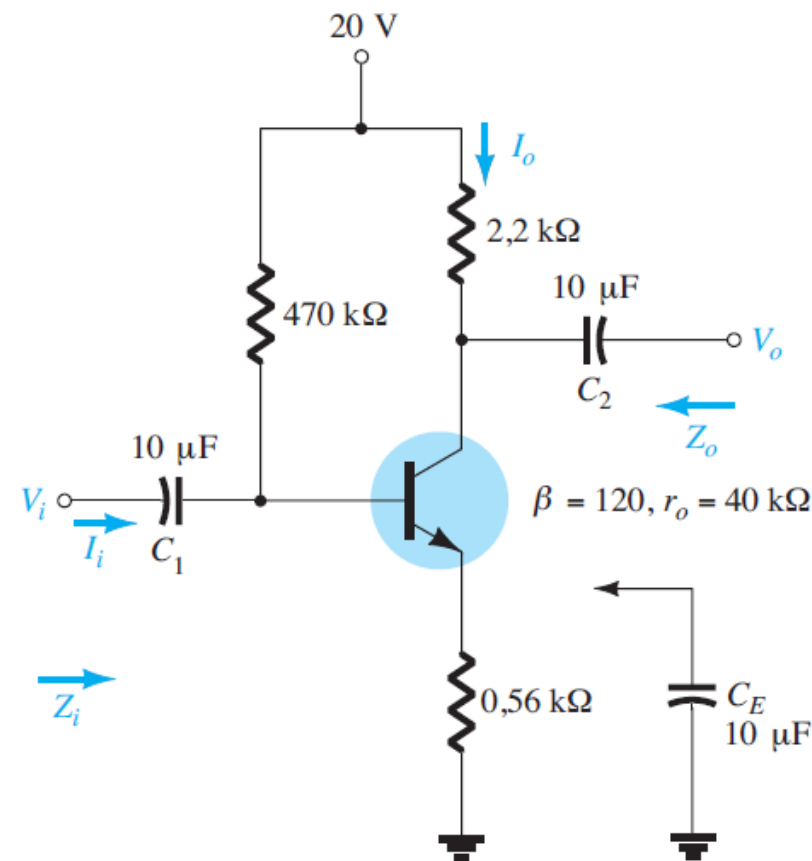


# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito com o capacitor  $C_E$  determine

- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .

$$Z_o = R_C = 2,2 \text{ k}\Omega$$

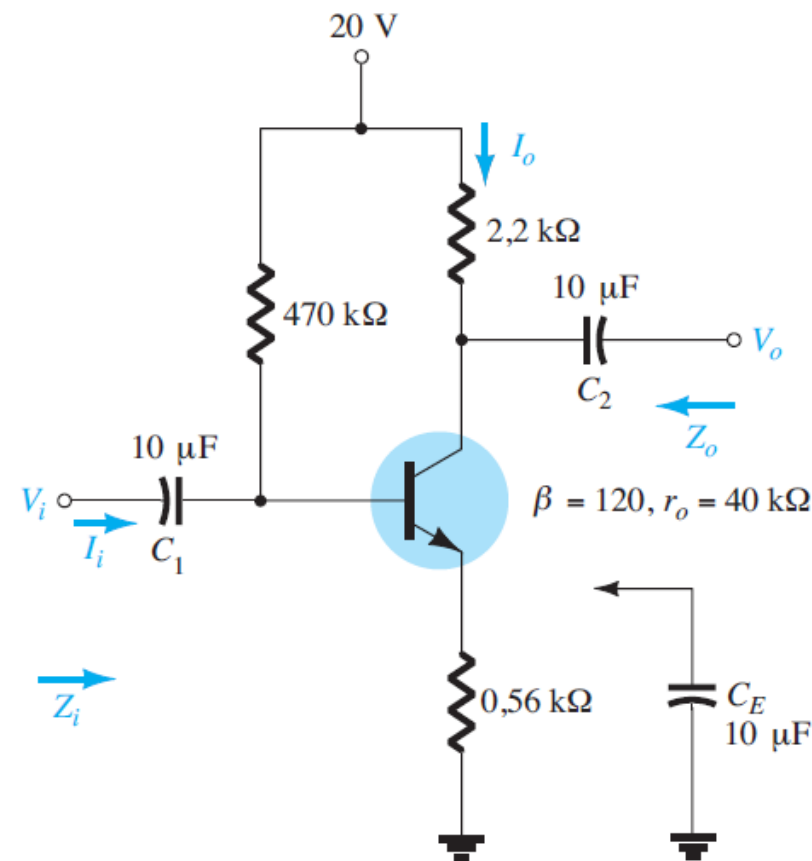


# Configuração Emissor Comum

Exemplo: Para o circuito com o capacitor  $C_E$  determine

- a)  $r_e$ .
- b)  $Z_i$ .
- c)  $Z_o$ .
- d)  $A_v$ .

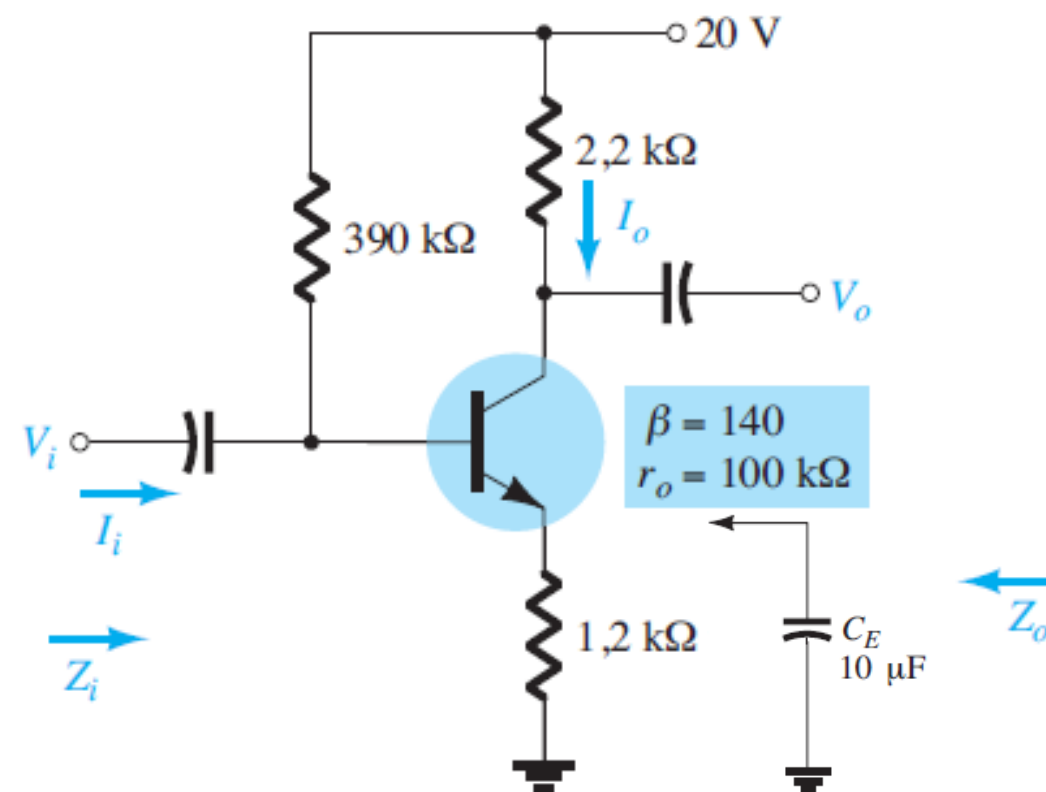
$$A_v = -R_C / r_E = -2,2k / 5,99 = -367,28$$



# Exercício

Para o circuito com e sem  $C_E$ , determine

- a) Determine  $r_e$ .
- b) Calcule  $Z_i$  e  $Z_o$ .
- c) Calcule  $A_v$ .
- e) Repita os itens (a) (b) e (c) com a inclusão de  $C_E$ .



# Bibliografia

---

BOYLESTAD, R. L. Introdução à Análise de Circuitos. Prentice-Hall. São Paulo, 2004.

BOYLESTAD, R.; NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 6ª edição, Prentice Hall do Brasil, 1998.

CIPELLI, Antonio Marco Vicari; MARKUS, Otavio; SANDRINI, Waldir João. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. 18 ed. São Paulo: Livros Erica, 2001. 445 p. ISBN 8571947597.