



**Universidade Federal de Uberlândia
Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações**

- Eletrônica Analógica 1 -

**Capítulo 2: Fundamentos dos transistores
bipolares de junção (TBJ)**

Prof. Alan Petrônio Pinheiro

Sumário

Parta A – Introdução ao TBJ e sua operação

- 1 – Física do TBJ
- 2 – Tipos de ligação do TBJ
 - 2.1 – Configuração base-comum
 - 2.2 – Configuração emissor comum
- 3 – A reta de carga

Parta B – Polarização e Análise DC

- 4 - Polarização da base (fixa)
- 5 - Polarização do emissor
- 6 - Polarização por divisor de tensão
- 7 – Polarização com realimentação de tensão

Parta C – Amplificação e Análise CA

- 8 – Modelagem CA do TBJ
- 9 - Análise CA da polarização da base
- 10 - Análise CA do divisor de tensão
- 11 - Análise CA da polarização do emissor
- 12 - Análise CA do seguidor de emissor
- 13 - Análise CA do base comum
- 14 - Análise CA do realimentação do coletor

Parte D – Ligações multiestágios e efeitos de impedância

Parte E – Amplificação de potência



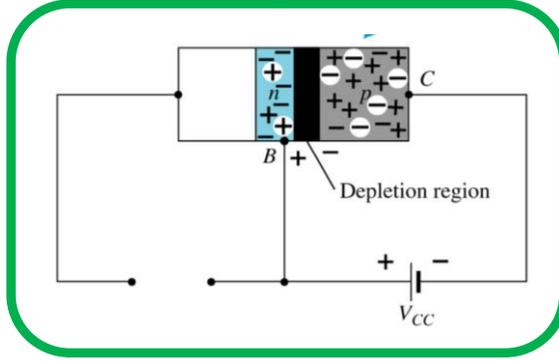
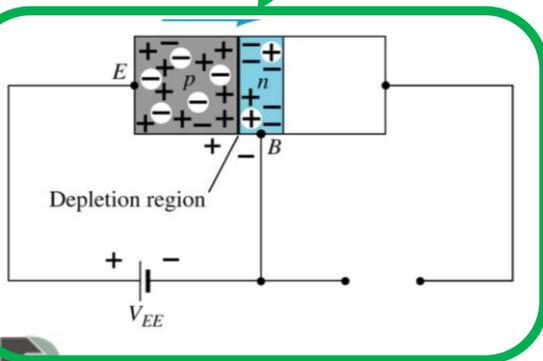
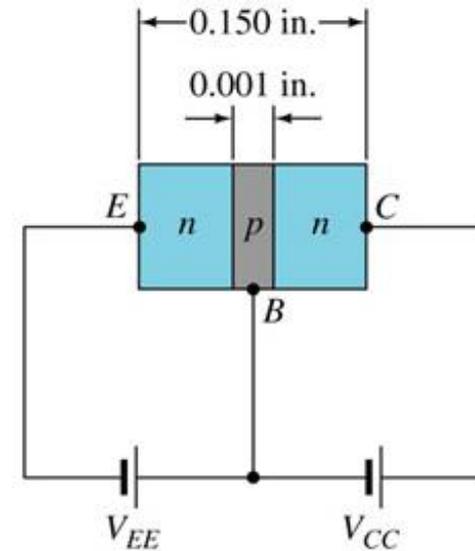
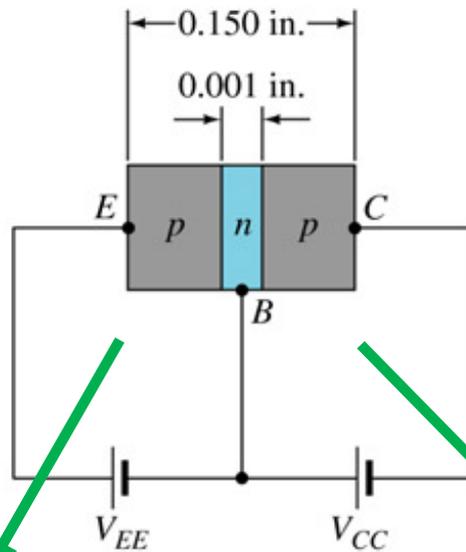
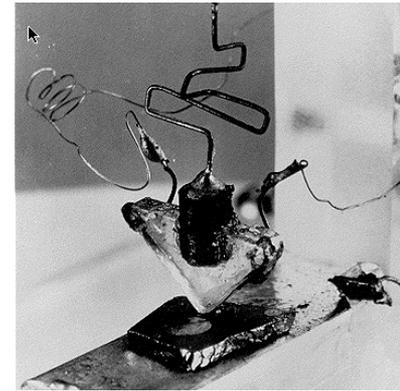
Parte A

Introdução ao TBJ e sua operação

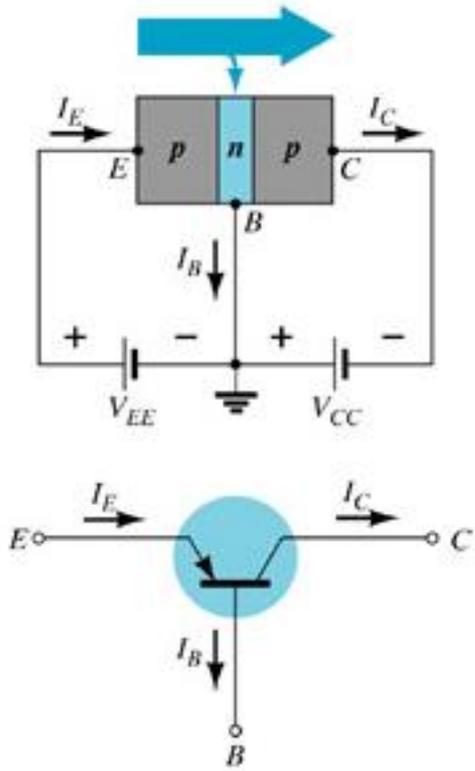


1 – Física do TBJ

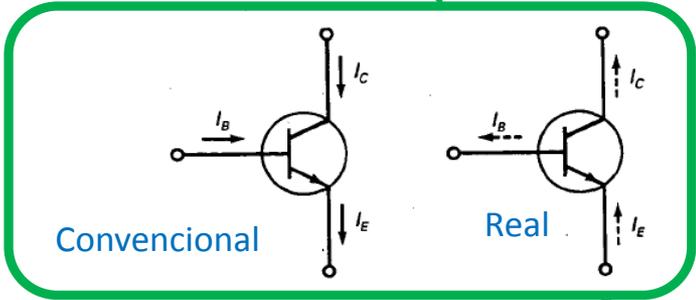
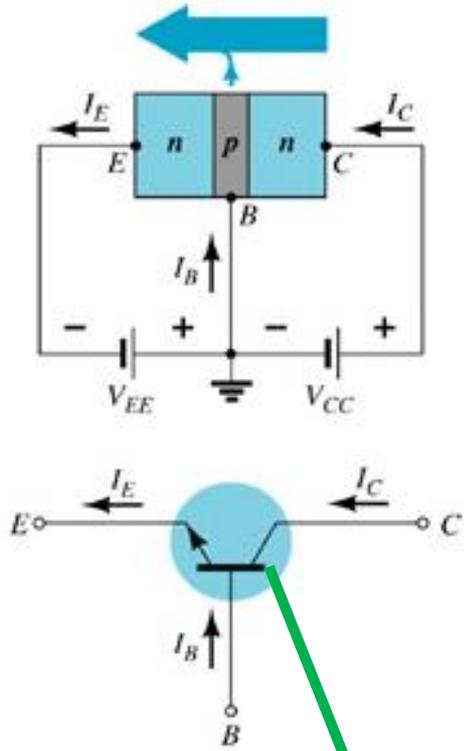
- Transistor npn e pnp e os diodos



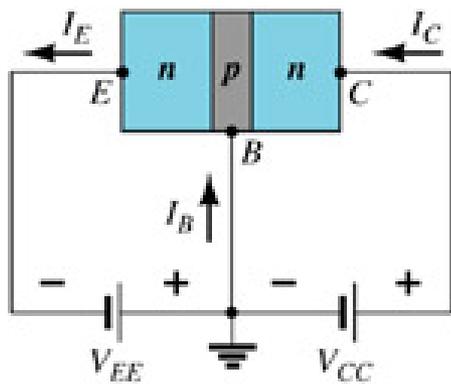
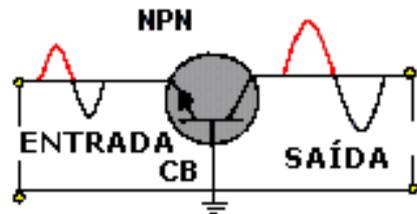
- As correntes no transistor



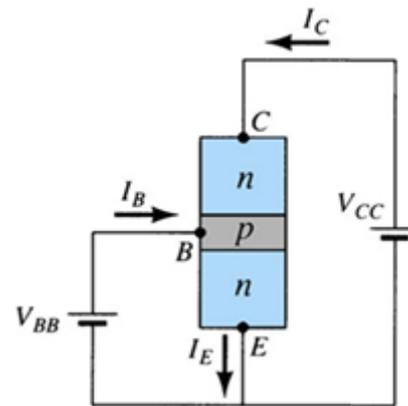
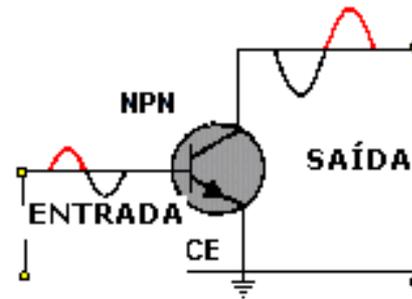
$$I_E = I_C + I_B$$



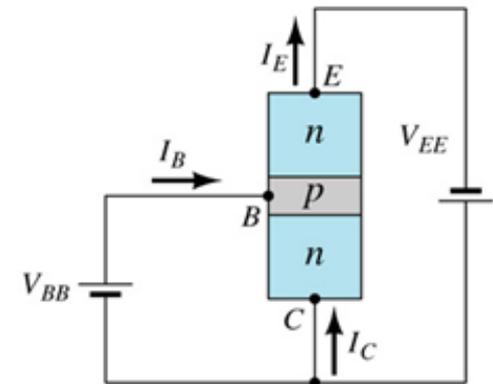
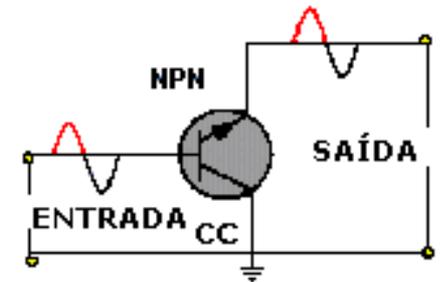
2 - Tipos de ligação do TBJ



Base-comum

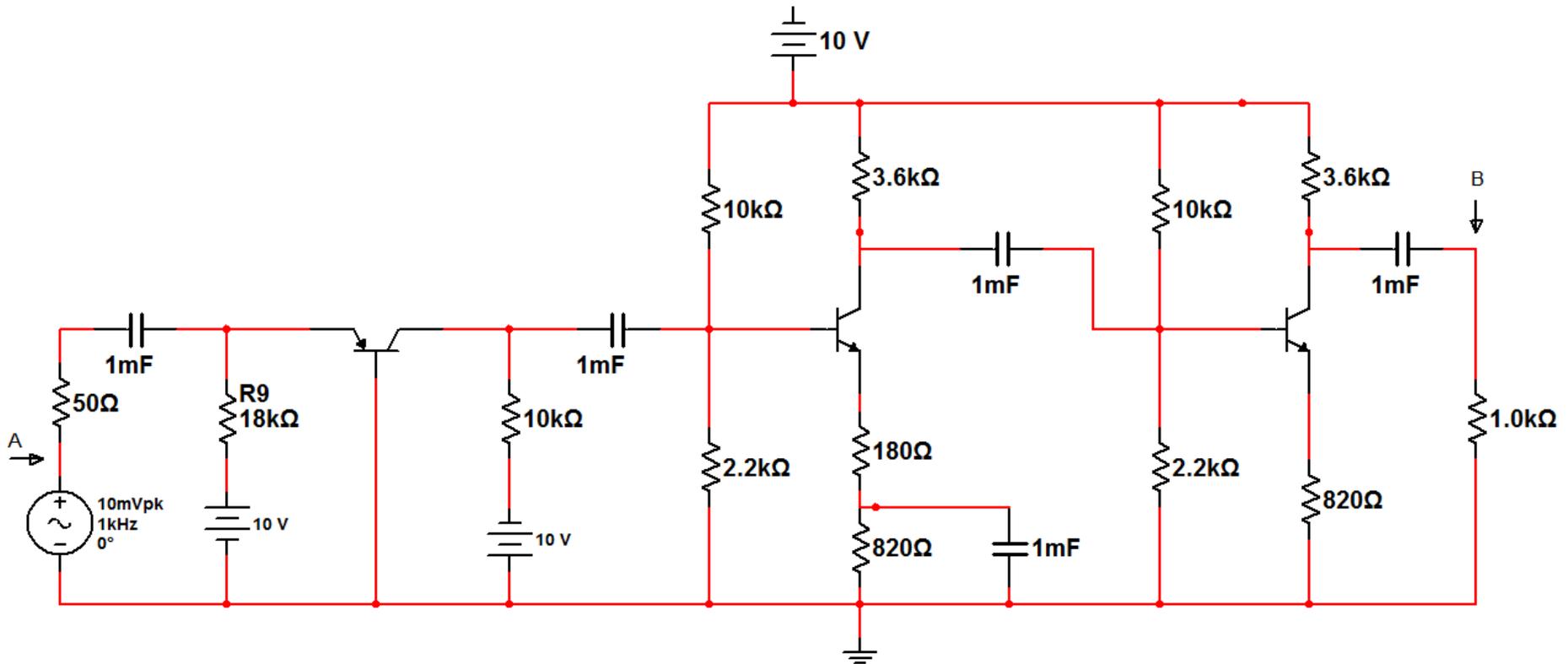


Emissor-comum

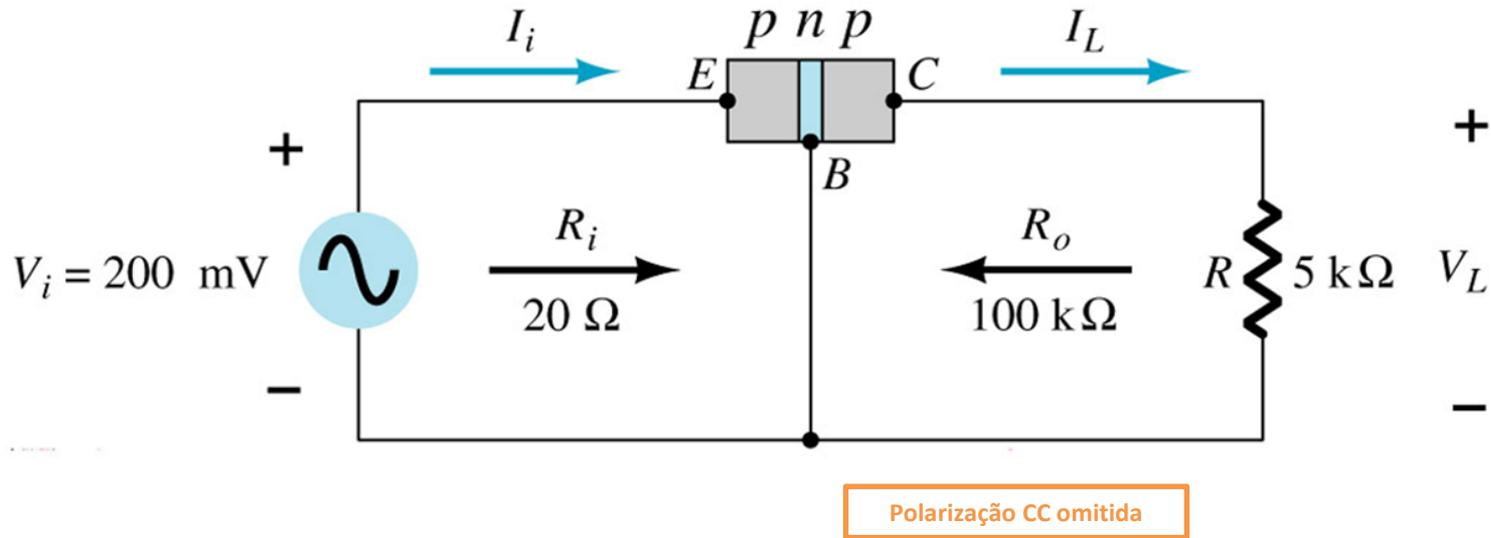


Coletor-comum

- Visão geral:
 - Separar CA de CC (teorema superposição)



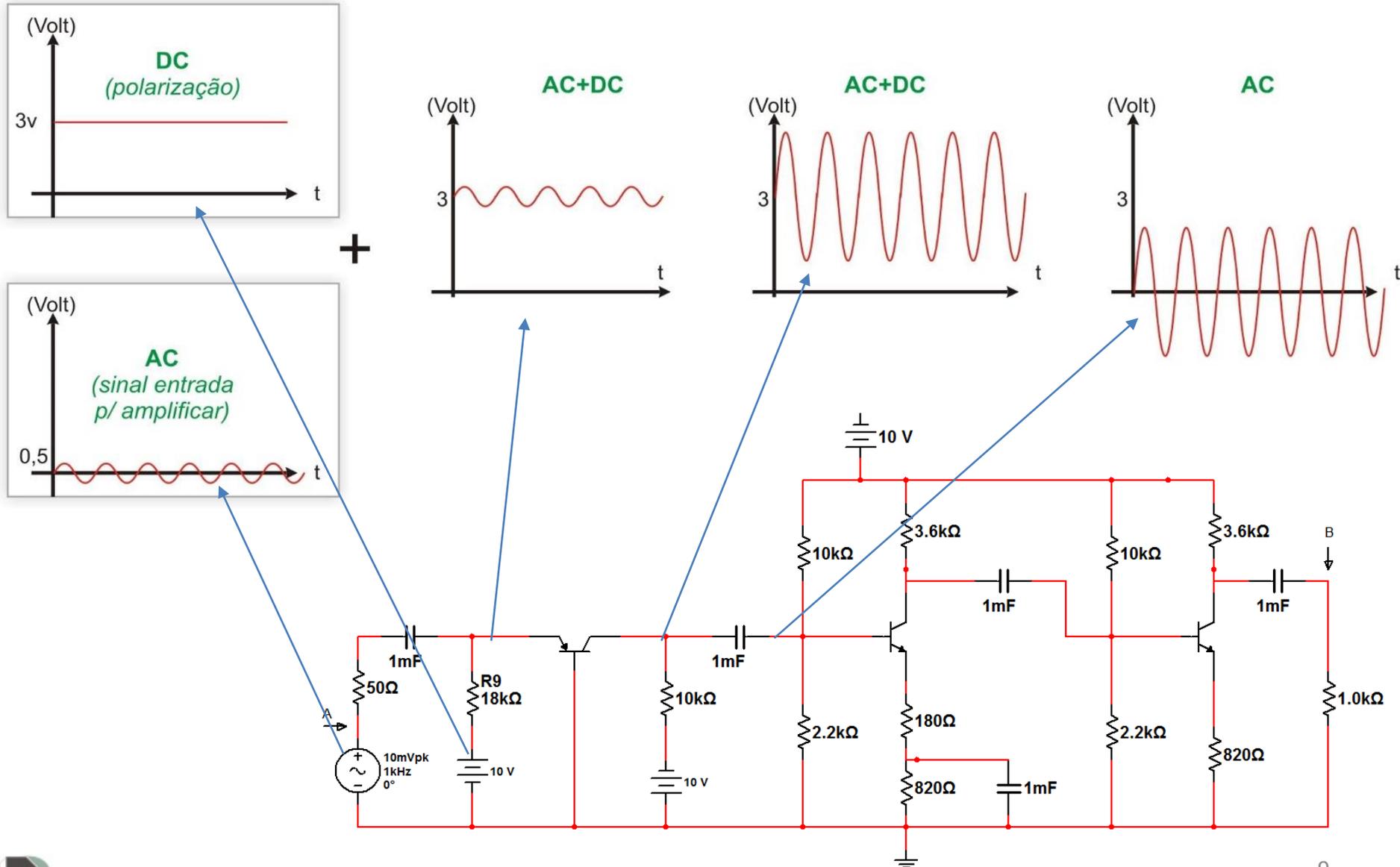
- Como acontece a amplificação ?



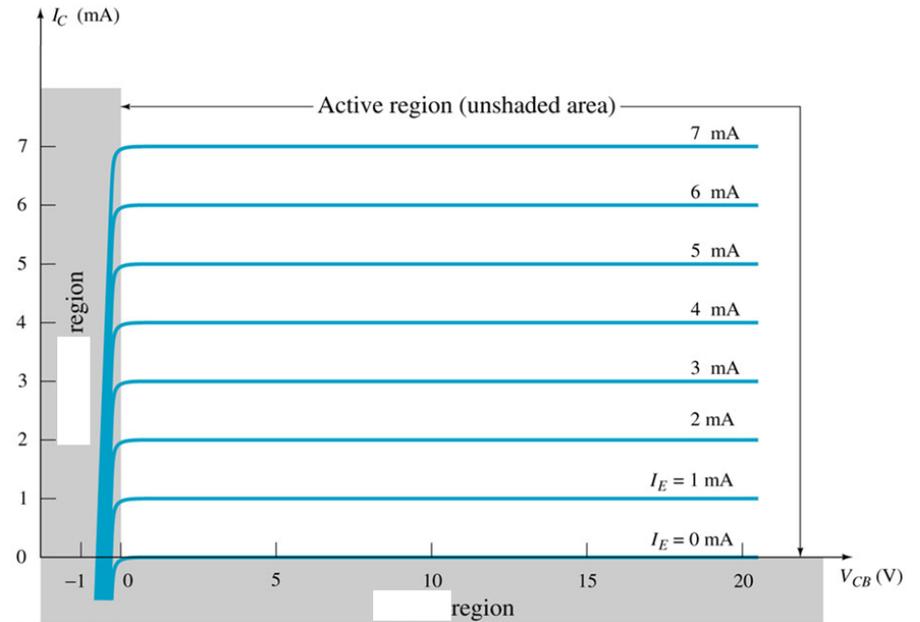
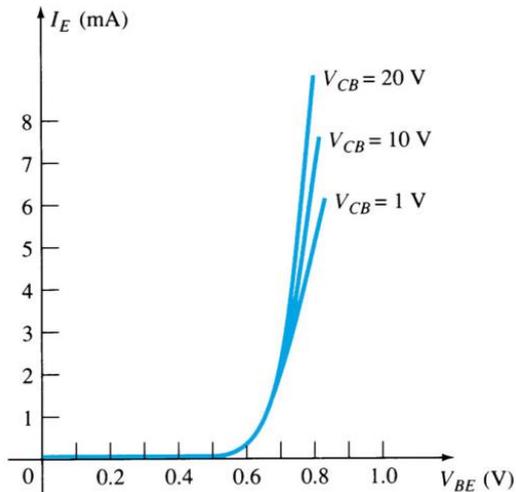
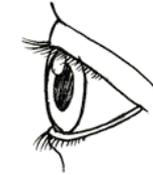
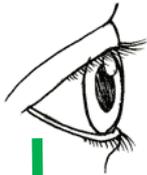
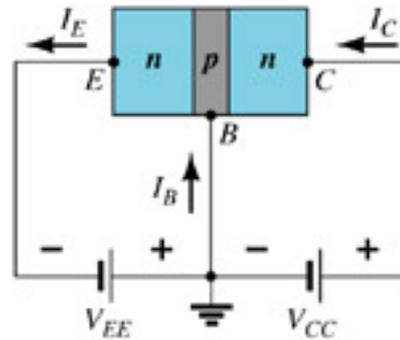
- A amplificação aconteceu porque “transferiu” a corrente de um circuito de baixa resistência para um de alta resistência

TRANSFERÊNCIA + RESISTOR = TRANSISTOR

- Vamos pensar um pouco?



Configuração em base-comum

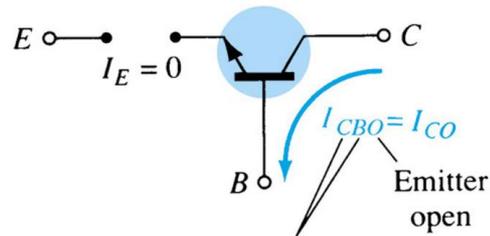


- Observações gerais sobre o base-comum:

- $I_C \approx I_E$

- Para o base-comum temos o parâmetro: $\alpha = \frac{I_C}{I_E} \rightarrow 1$

- Quando $I_E=0$ tem-se uma corrente $I_{CBO} \approx \mu A/nA$

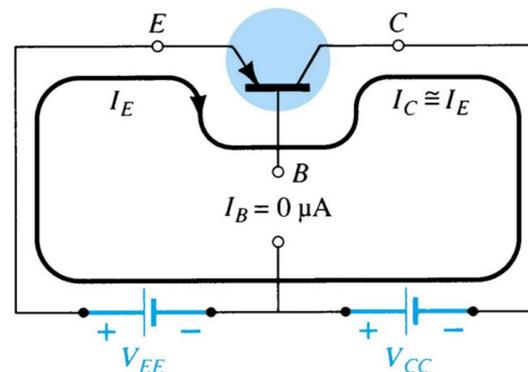


- Na região ativa para o base-comum

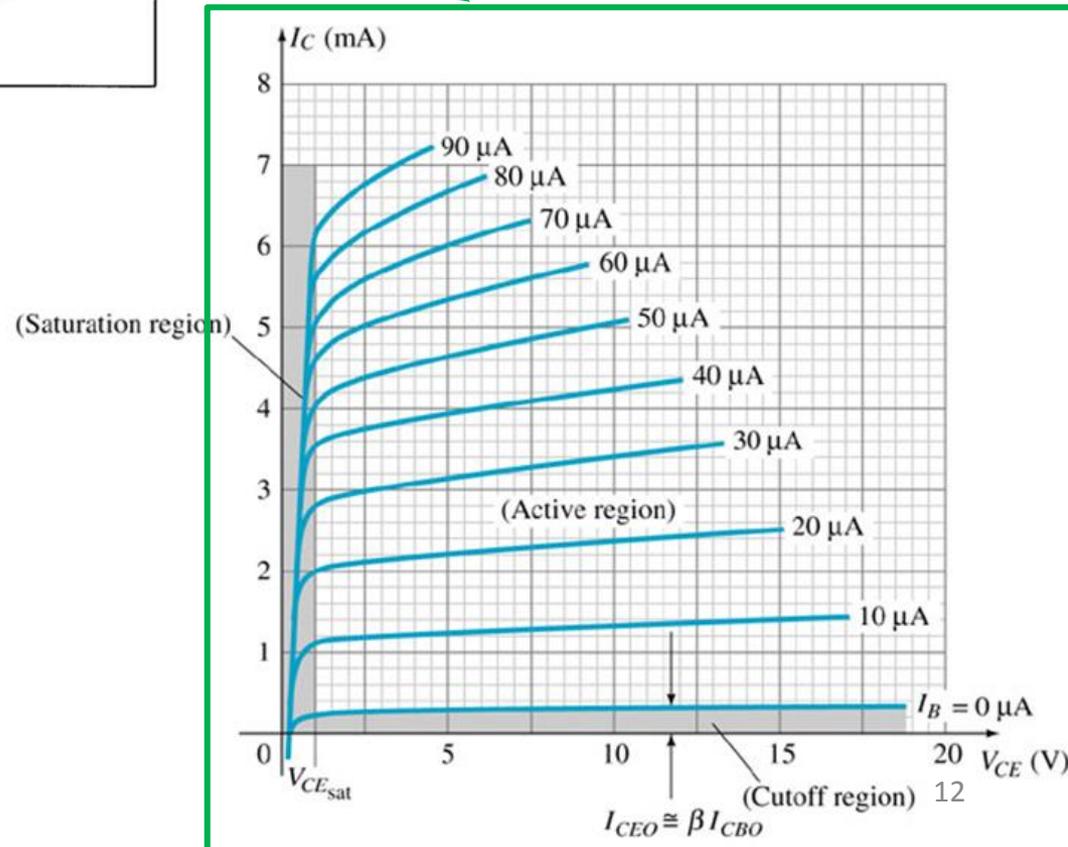
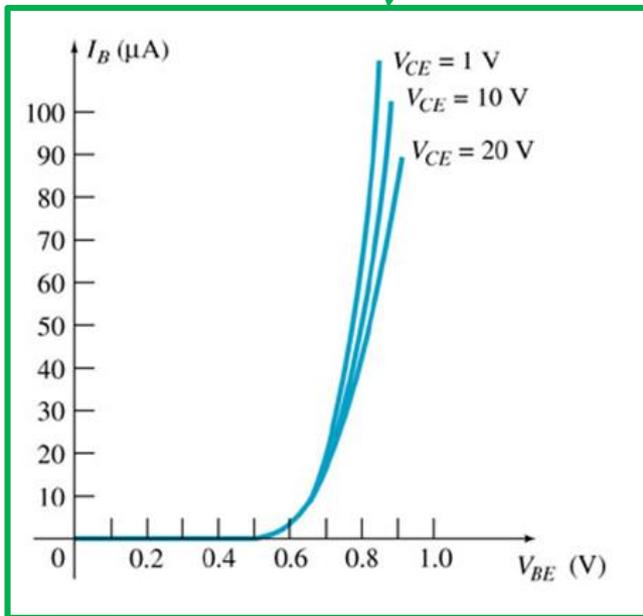
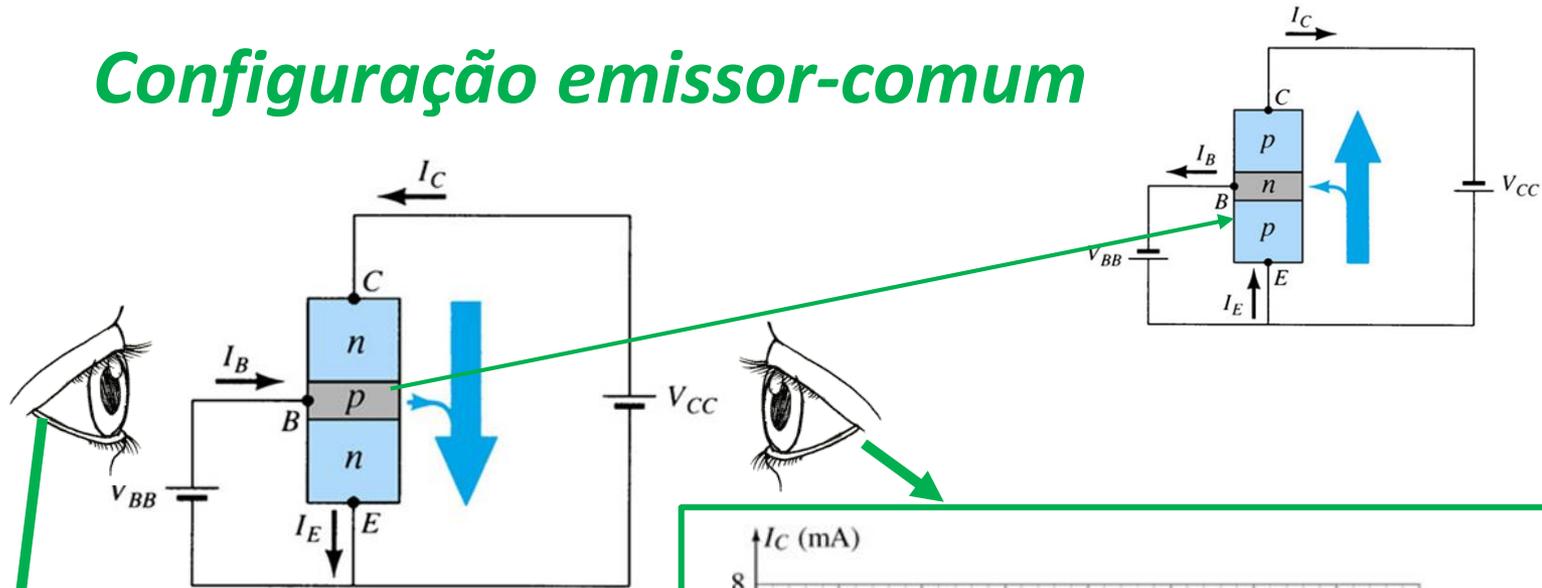
- Polarizar diretamente BASE-EMISSOR
 - Polarizar reversamente BASE-COLETOR

- Modelo simplificado

- ($I_C \approx I_E$ e $I_B \approx 0mA$)



Configuração emissor-comum



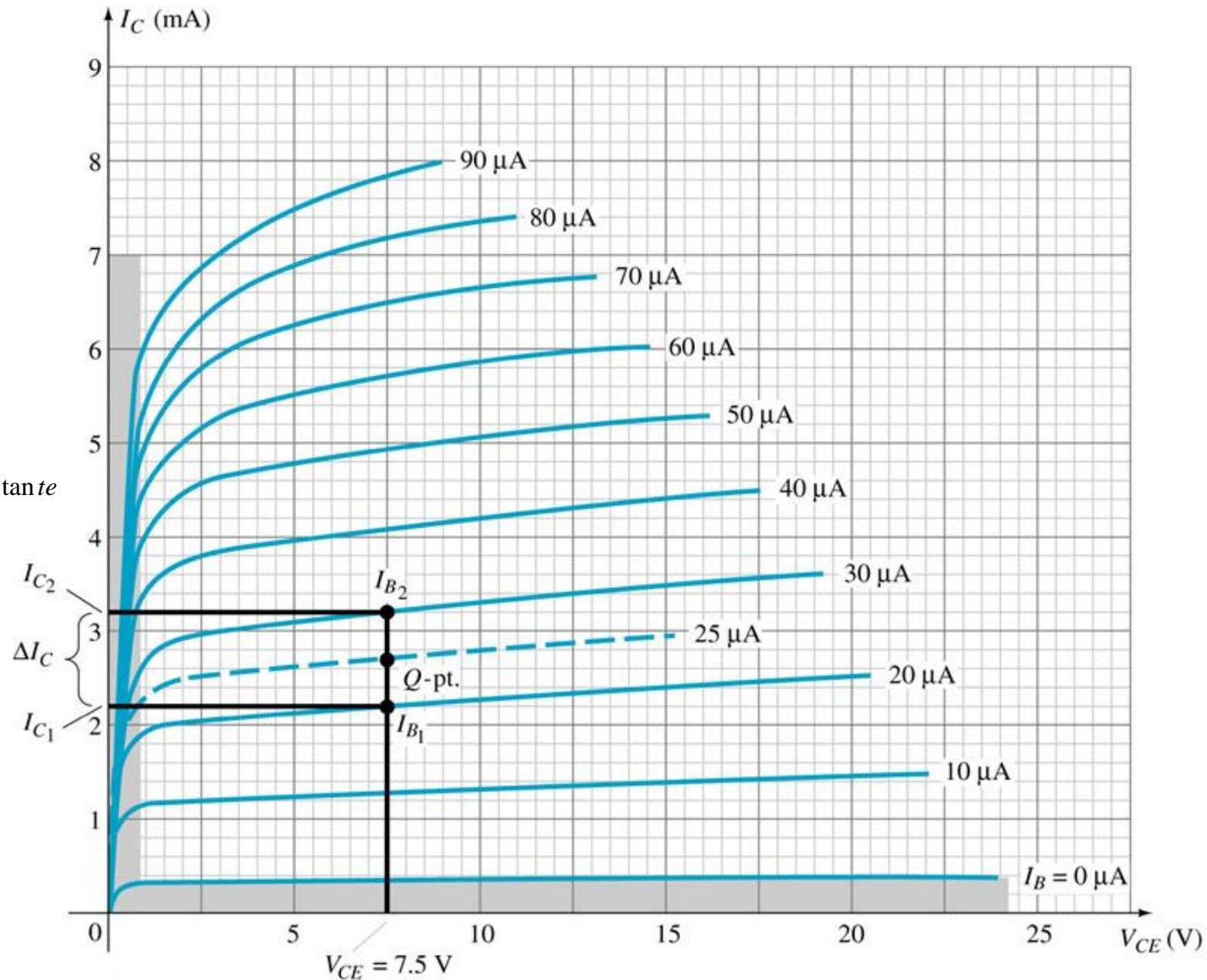
- B_{CC}

$$h_{FE} = \beta_{cc} = \frac{I_C}{I_B}$$

- β_{ca}

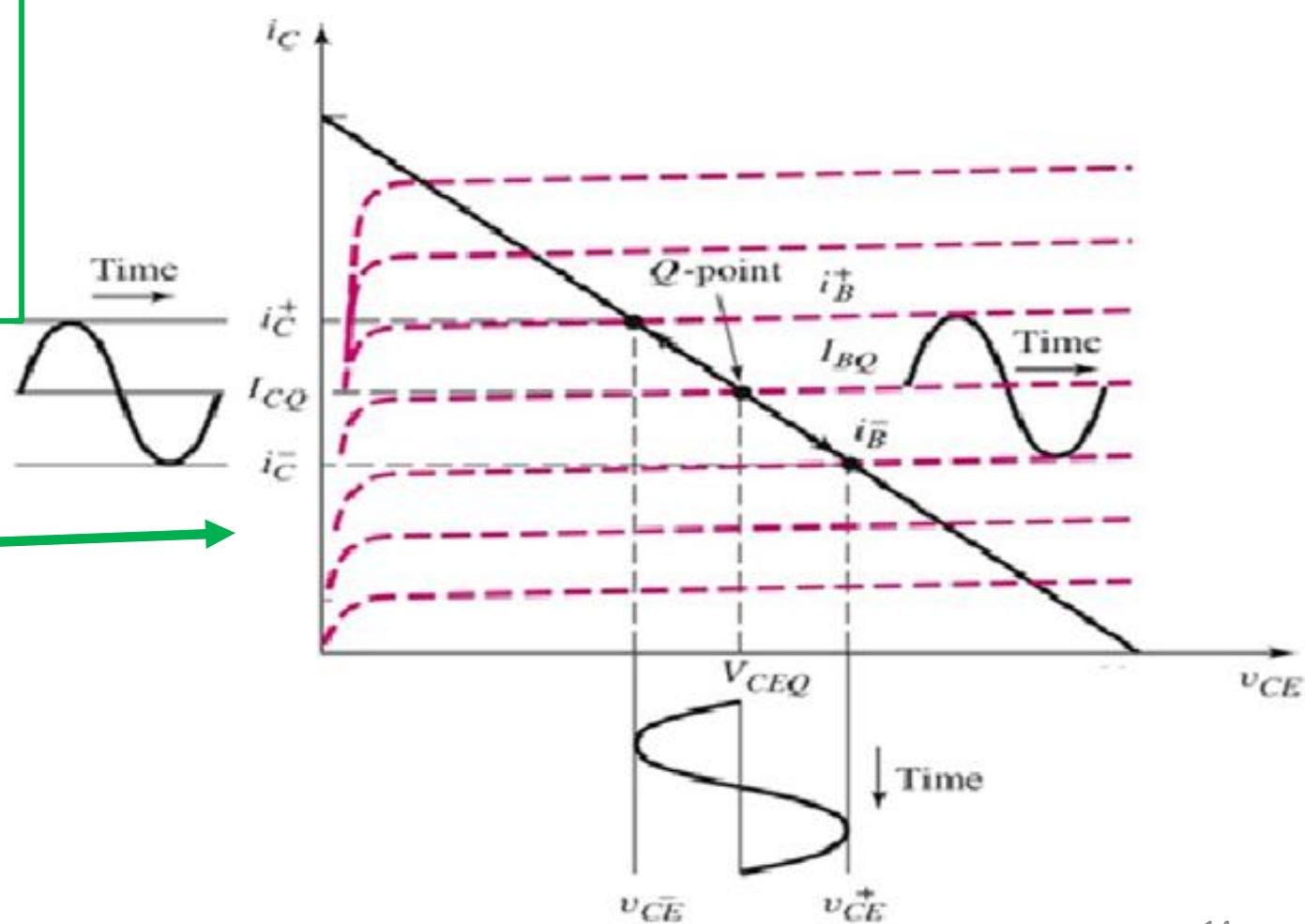
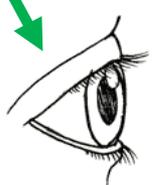
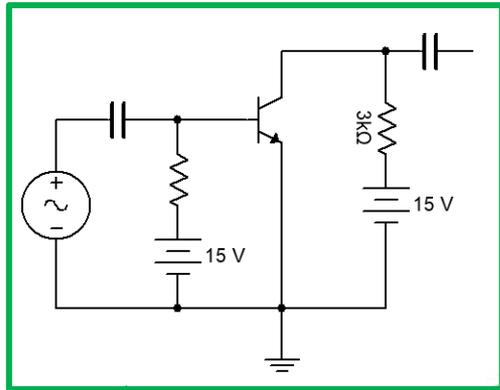
$$h_{fe} = \beta_{ca} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CB} = \text{constante}}$$

- ponto Q

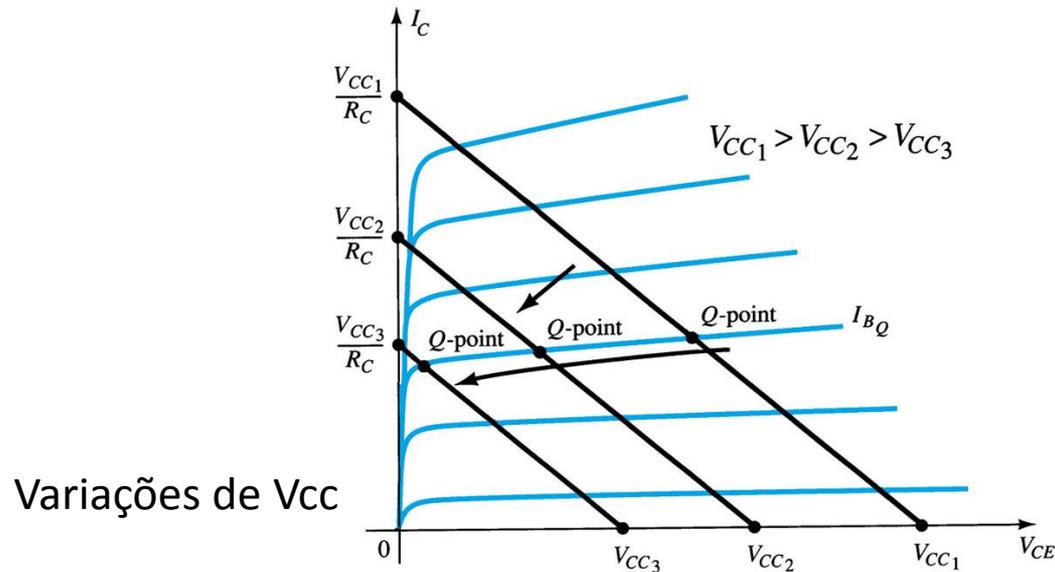
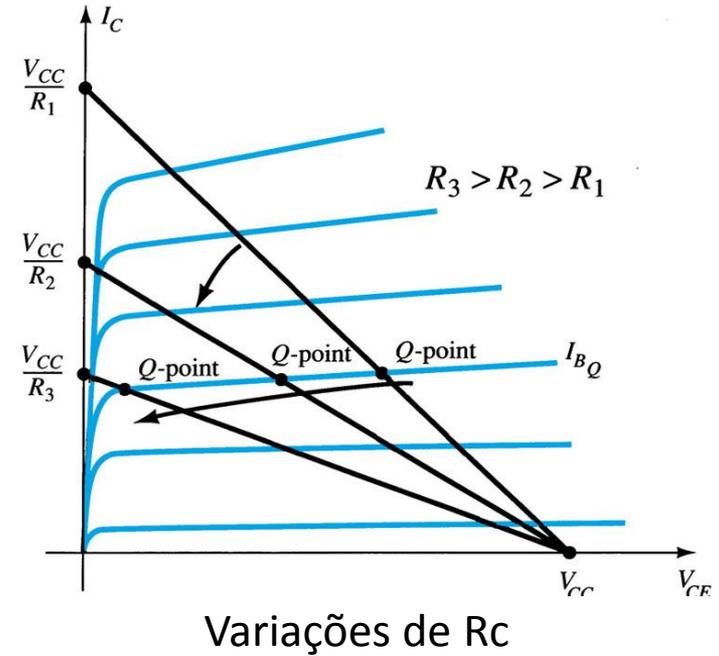
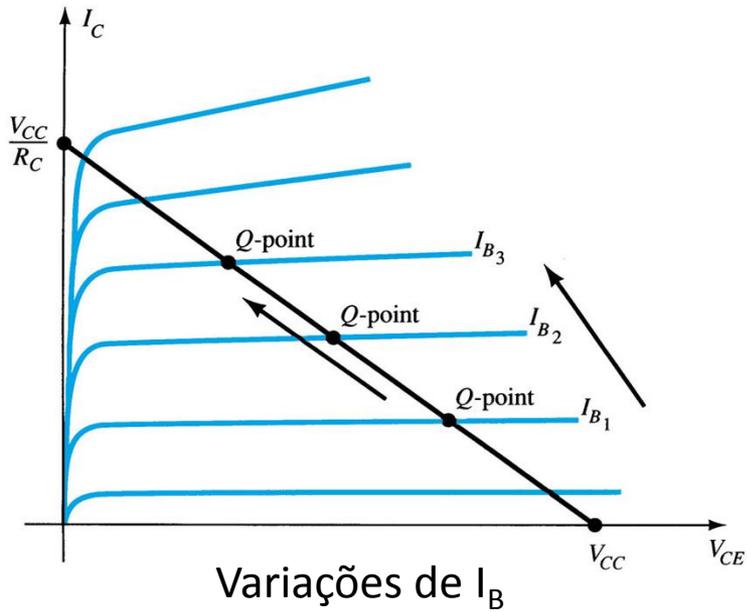


3 - A reta de carga

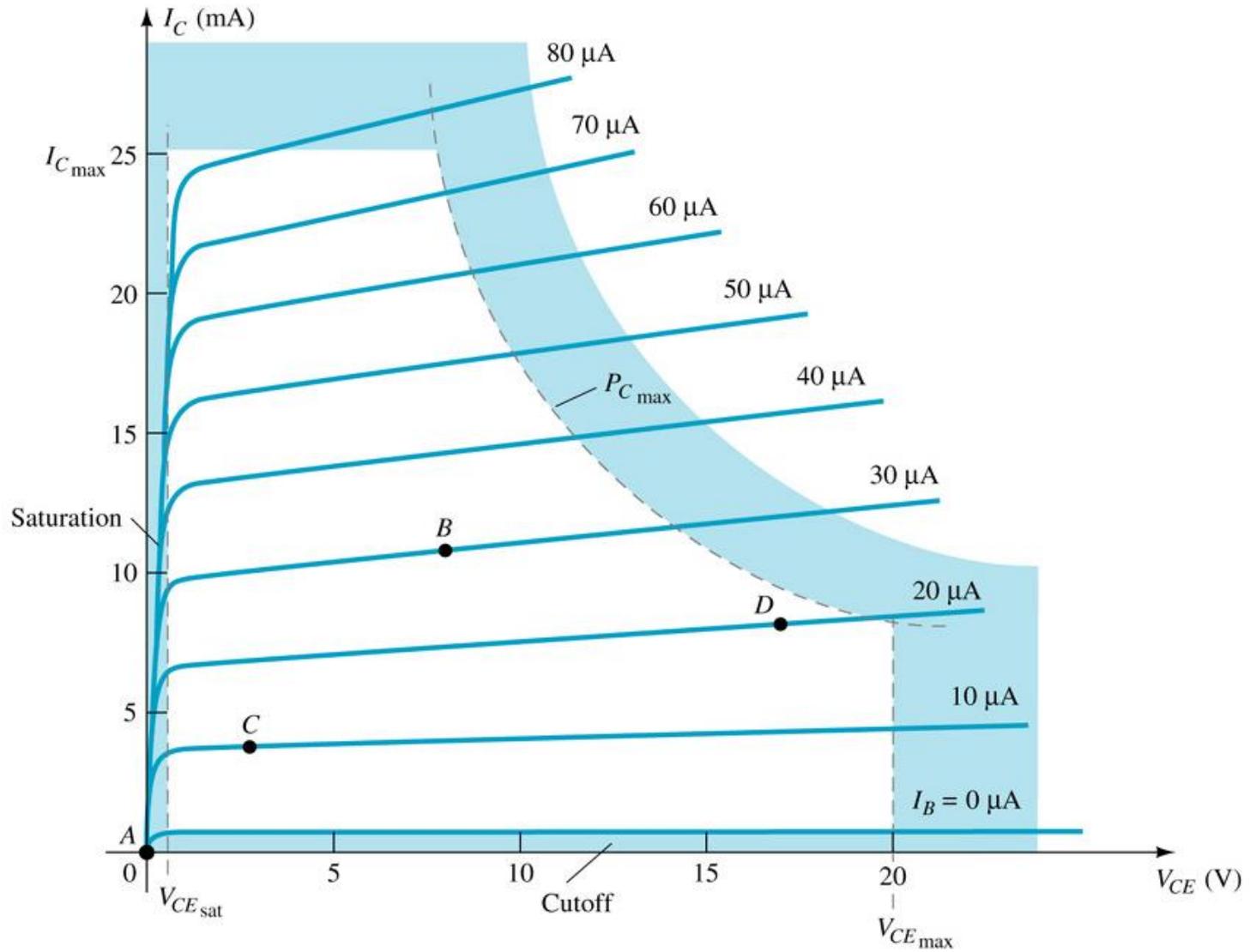
- Como se dá a amplificação?



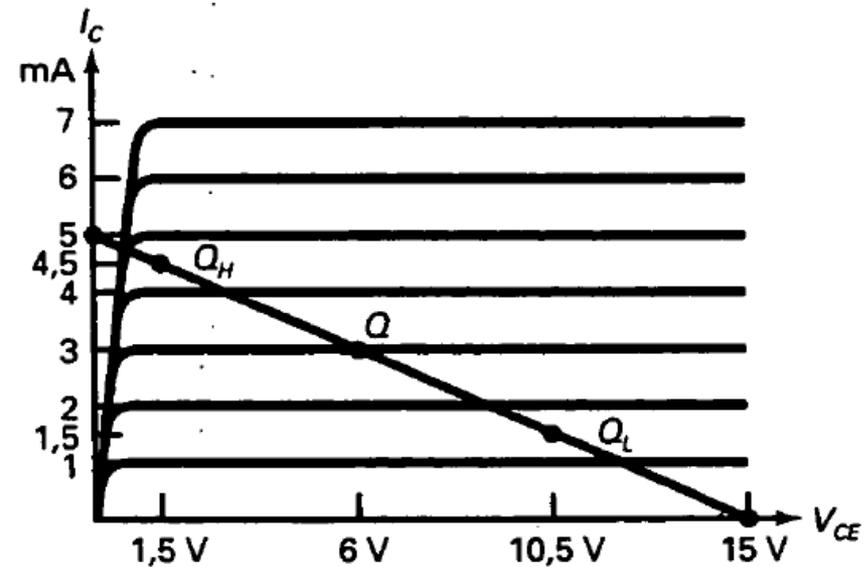
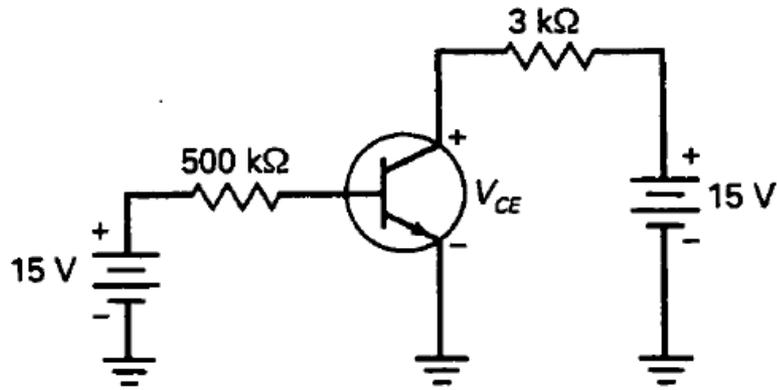
- Variações da reta de carga e Q



- Região ativa



- Variações de Q segundo β :
 - Considere o circuito abaixo de um $\beta = 100$
 - Considere um β variando entre 50 e 150



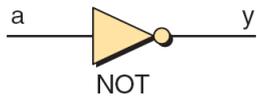
- Corte

- $I_B=0$ e $I_C \approx 0$
- Ambos diodos REVERSAMENTE polarizados
- Resistência entre coletor e emissor infinita!
- Máximo V_{CE} possível

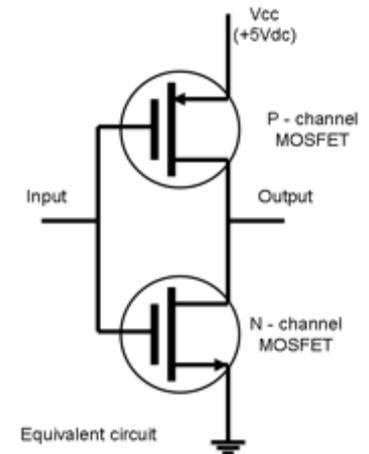
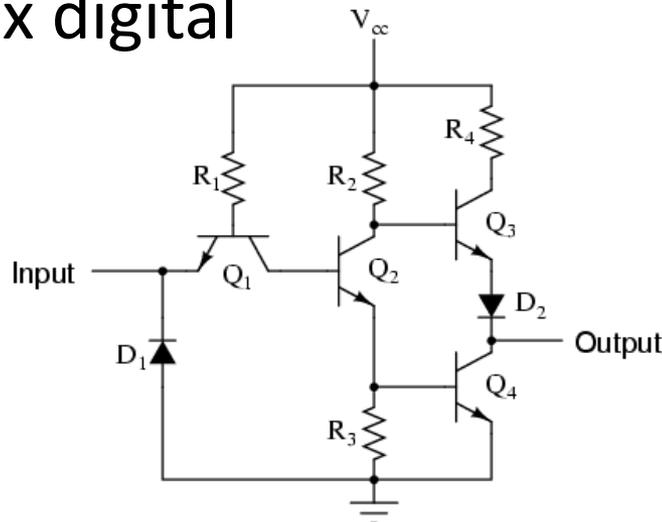
- Saturação

- Ambos diodos DIRETAMENTE polarizados!
- Máxima corrente possível para o coletor
 - Resistência zero entre coletor e emissor

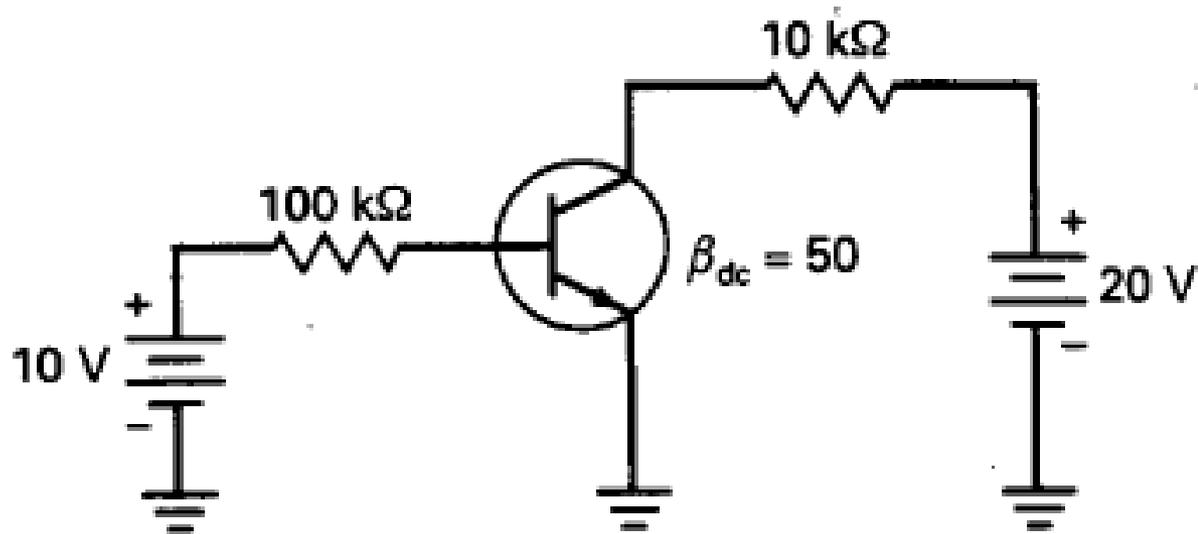
- Eletrônica analógica x digital



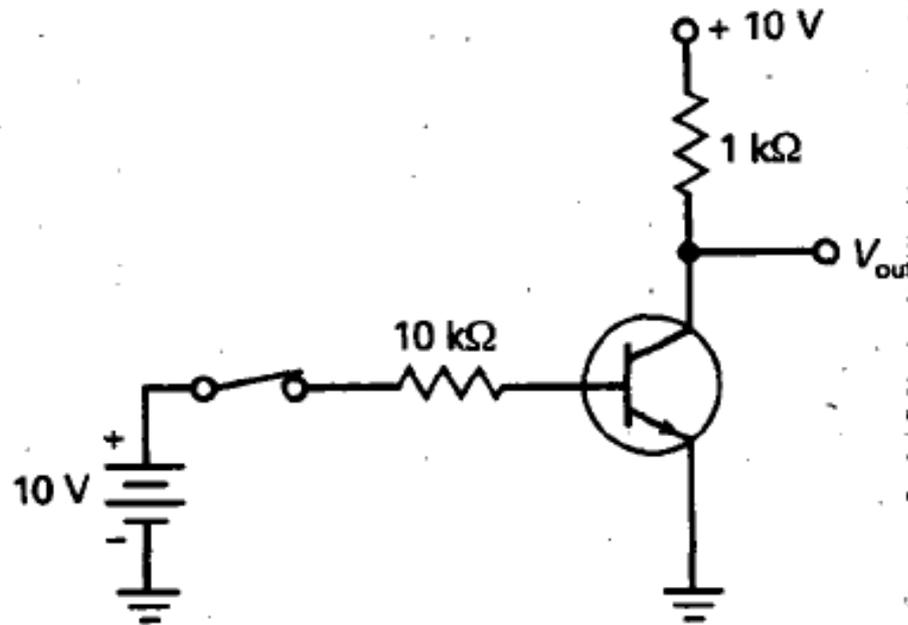
a	y
0	1
1	0



- Identificação da saturação
 - Observe o valor do ganho de corrente!

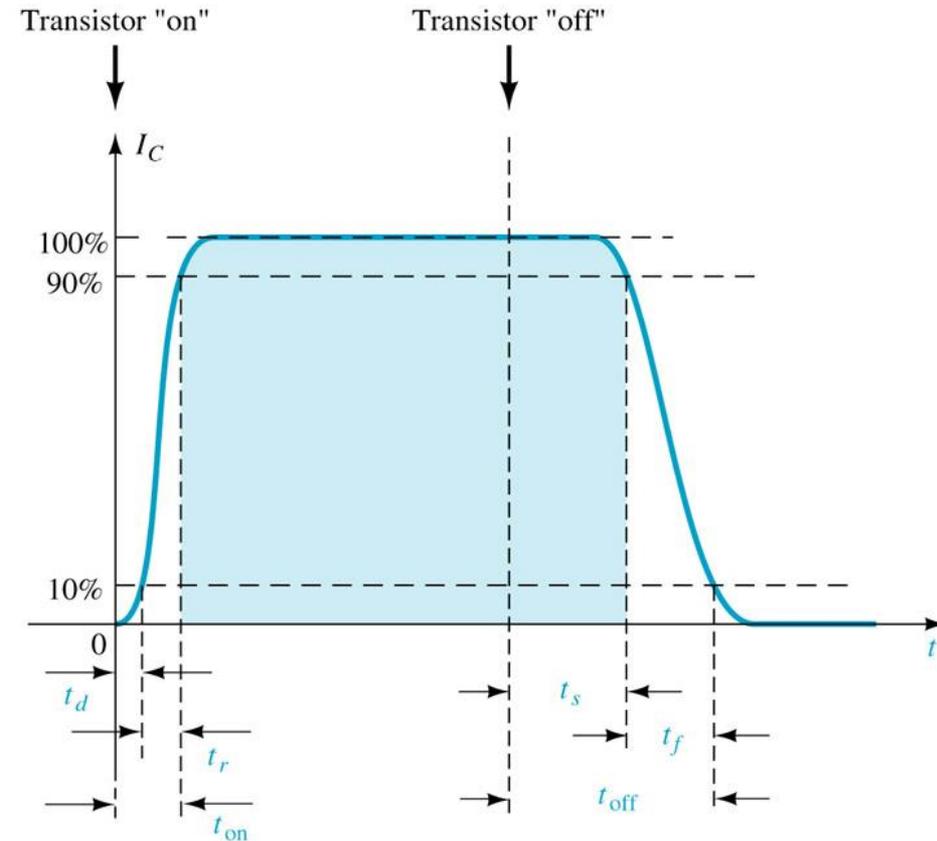
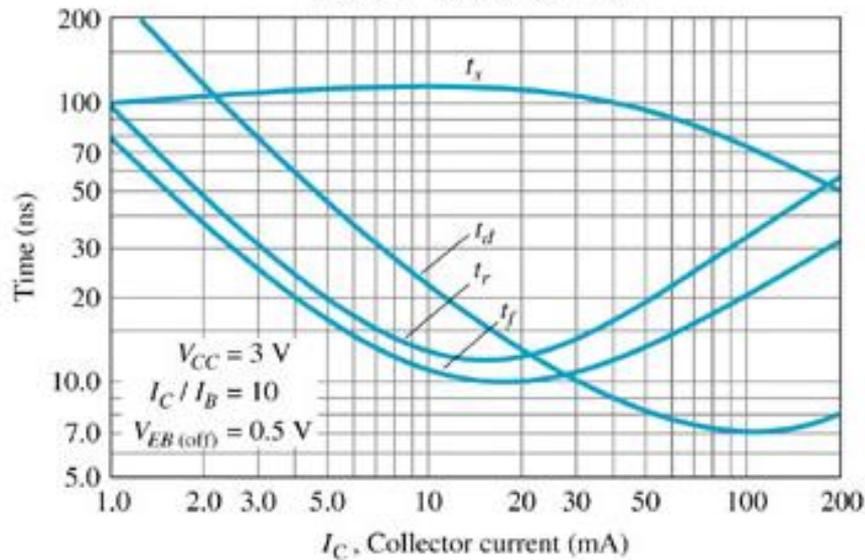


- **Saturação forte:** existe I_B mais do que suficiente para saturar o transistor

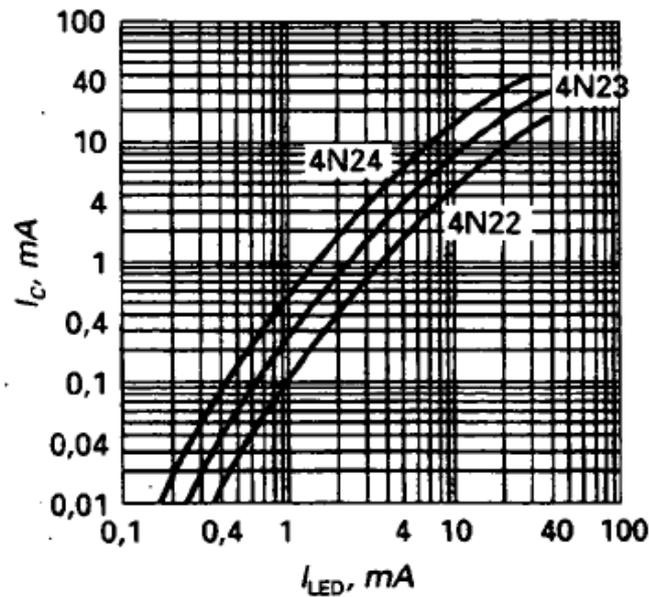
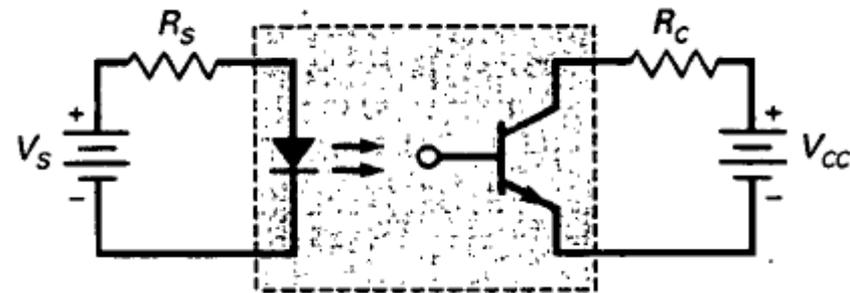
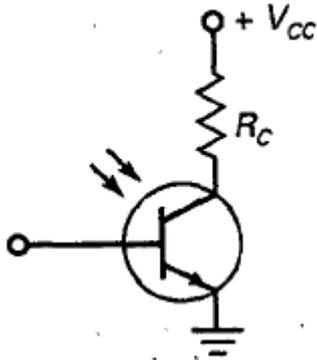


- Tempos do transistor no corte/saturação

Figure 2 – Switching Times



- O fototransistor
 - Mais sensível a luz que o fotodiodo



- Análise de datasheets:

- Ver arquivos anexos dos transistores **BC337/338** e **2N4123** ou consultar os endereços:

<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/2N/2N4123.pdf>

http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/BC337-D.PDF

<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/BC/BC337.pdf>

Parte B

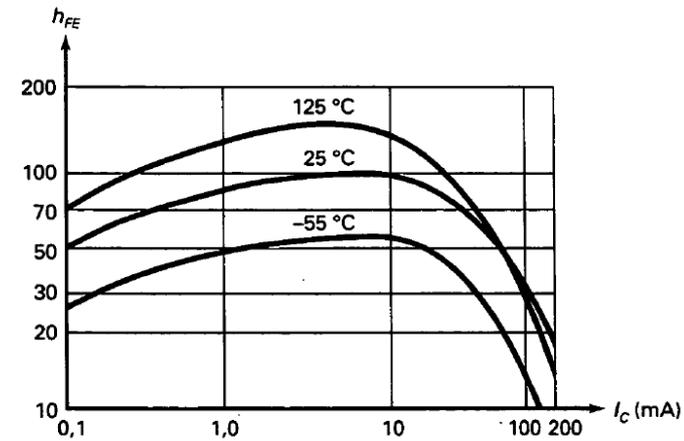
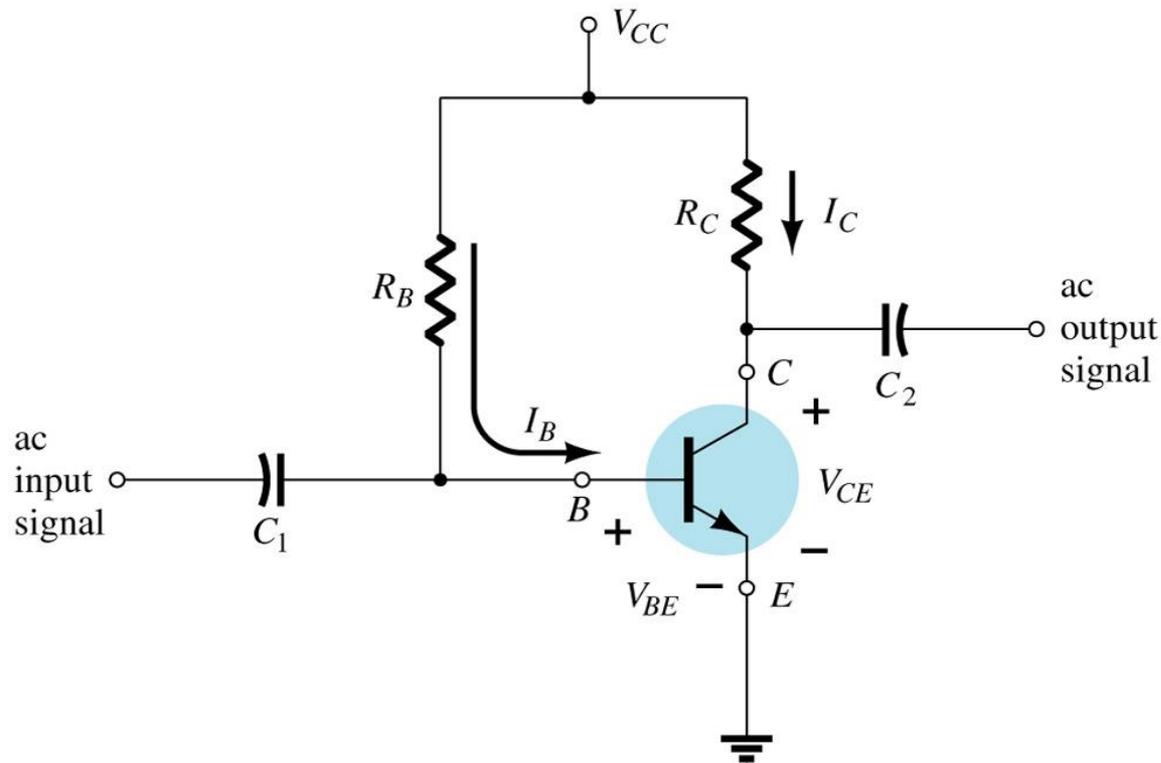
Polarizações

(análise D.C.)



4 - Polarização da base (fixa)

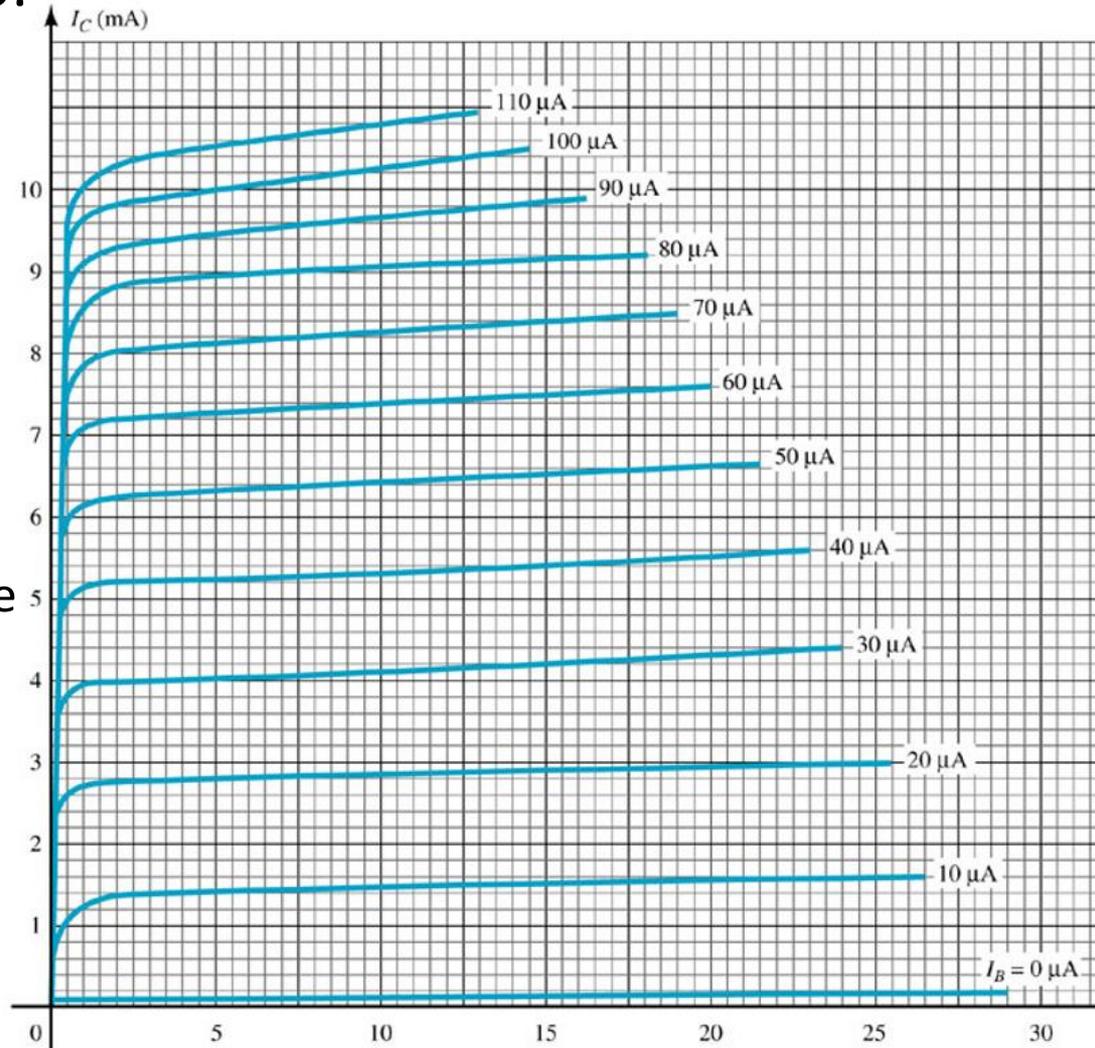
- Mais simples
- Mais usado no corte/saturação
 - Muito sensível a β



Exercício:

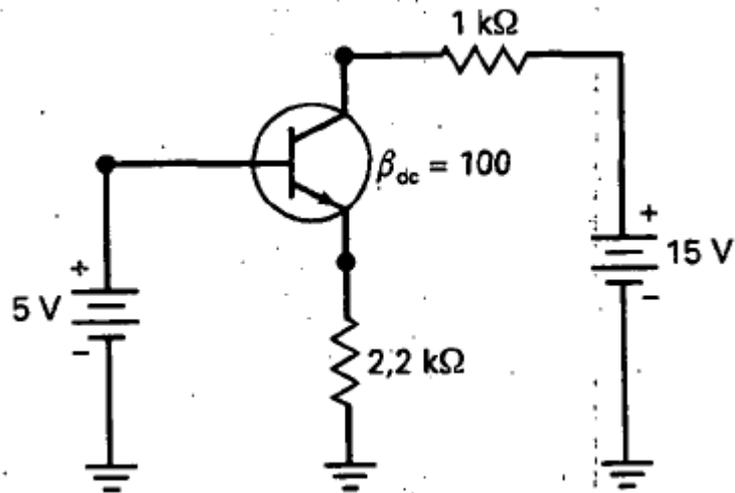
Polarize um transistor na configuração “polarização da base” a partir do gráfico do transistor abaixo:

- Desenhe a reta de carga da sua polarização
- Escolha um ponto de operação e indique I_{CQ} e V_{CEQ} .
- Quanto vale β e α no ponto Q?
- Qual a corrente de saturação neste proj.?
- Qual a potência CC dissipada pelo transistor? E pela fonte? E pelos demais componentes?



5 - Polarização do emissor

- Ponto Q mais estável

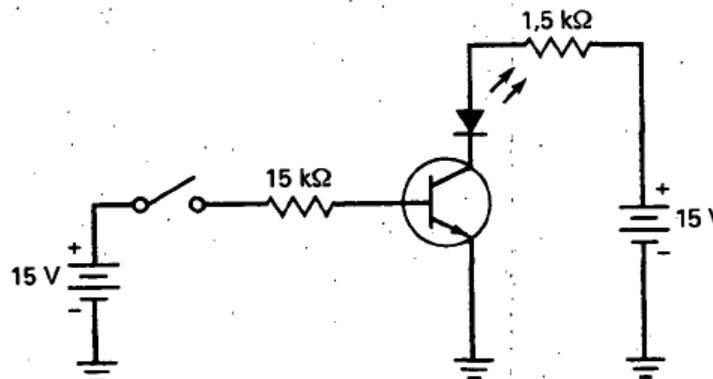


- Polarização base: corrente fixa na base
- Polarização emissor: corrente fixa no emissor
 - Cadê resistência da base ?
- Menor efeito de β pois:

$$I_C = \frac{\beta_{cc}}{\beta_{cc} + 1} I_E$$

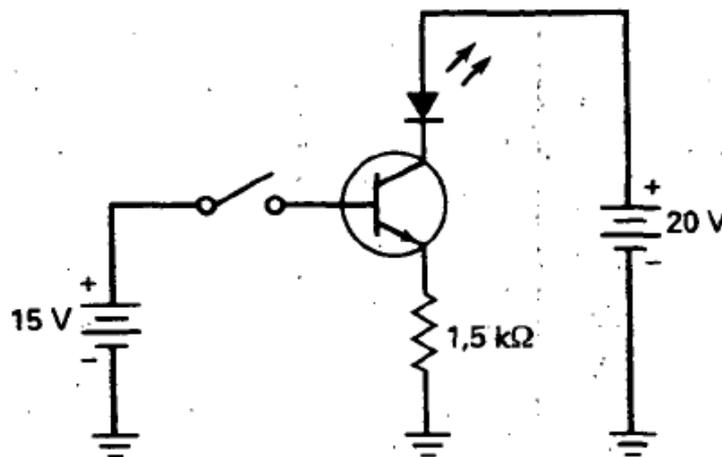
Exemplo: acionador de LED

– Polarização da base fortemente saturado



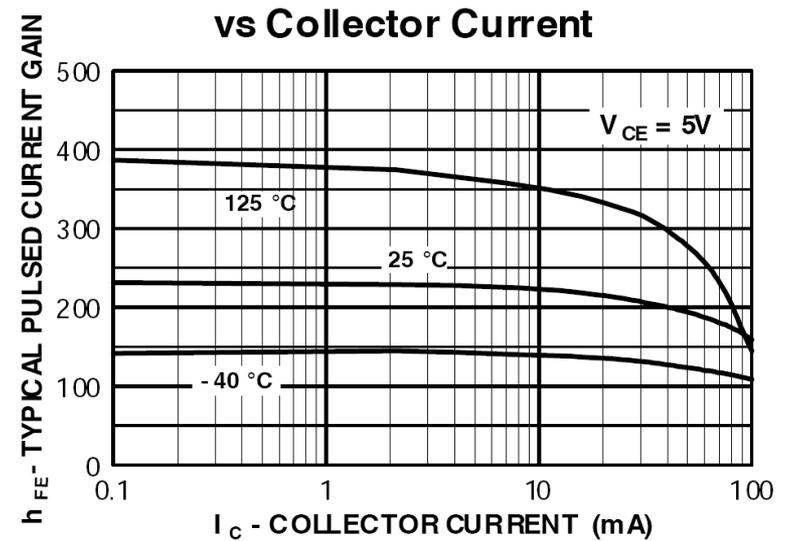
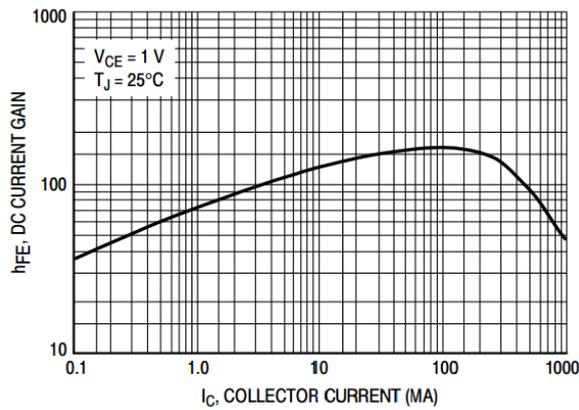
– Polarização emissor

- Independe da queda de tensão no LED



Exercício:

Polarize um transistor na configuração “polarização da base” a partir do gráfico do transistor abaixo: 2N4123



• Tarefas para casa

– “Obrigatórios”:

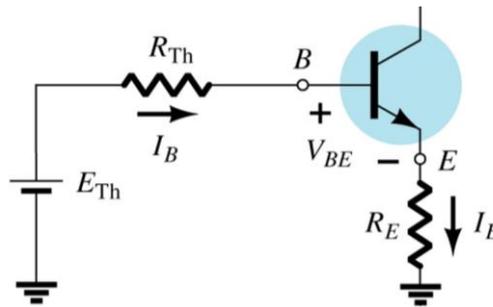
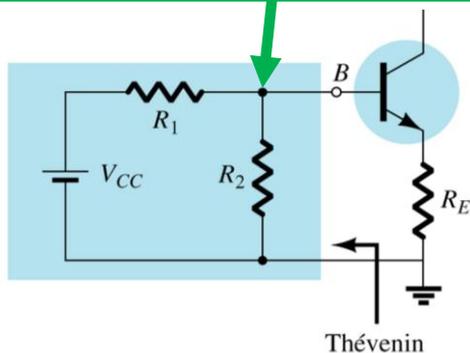
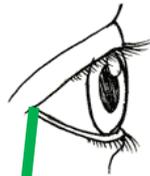
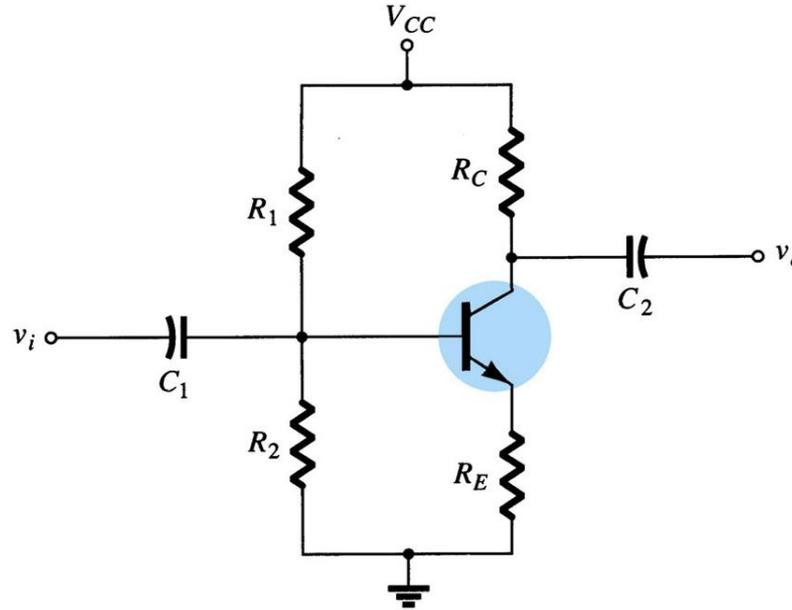
- Polarização da base: 4.1, 4.5
- Polarização do emissor: 4.10, 4.11

– Treino:

- Polarização da base: 4.2, 4.3, 4.4
- Polarização do emissor: 4.6, 4.7, 4.8

6 - Polarização por divisor de tensão

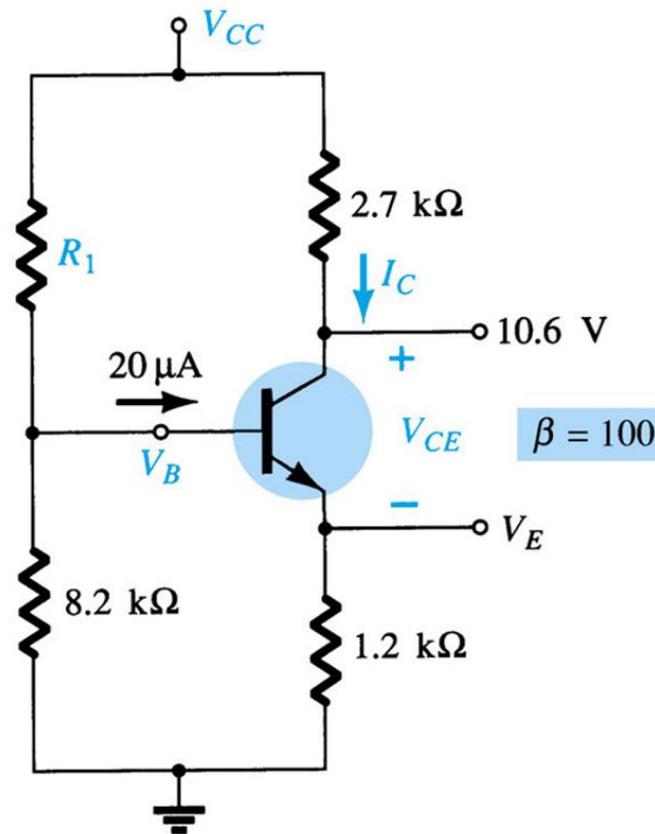
- Maior estabilidade Q que modelos anteriores



$$I_B = \frac{E_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1)R_E}$$

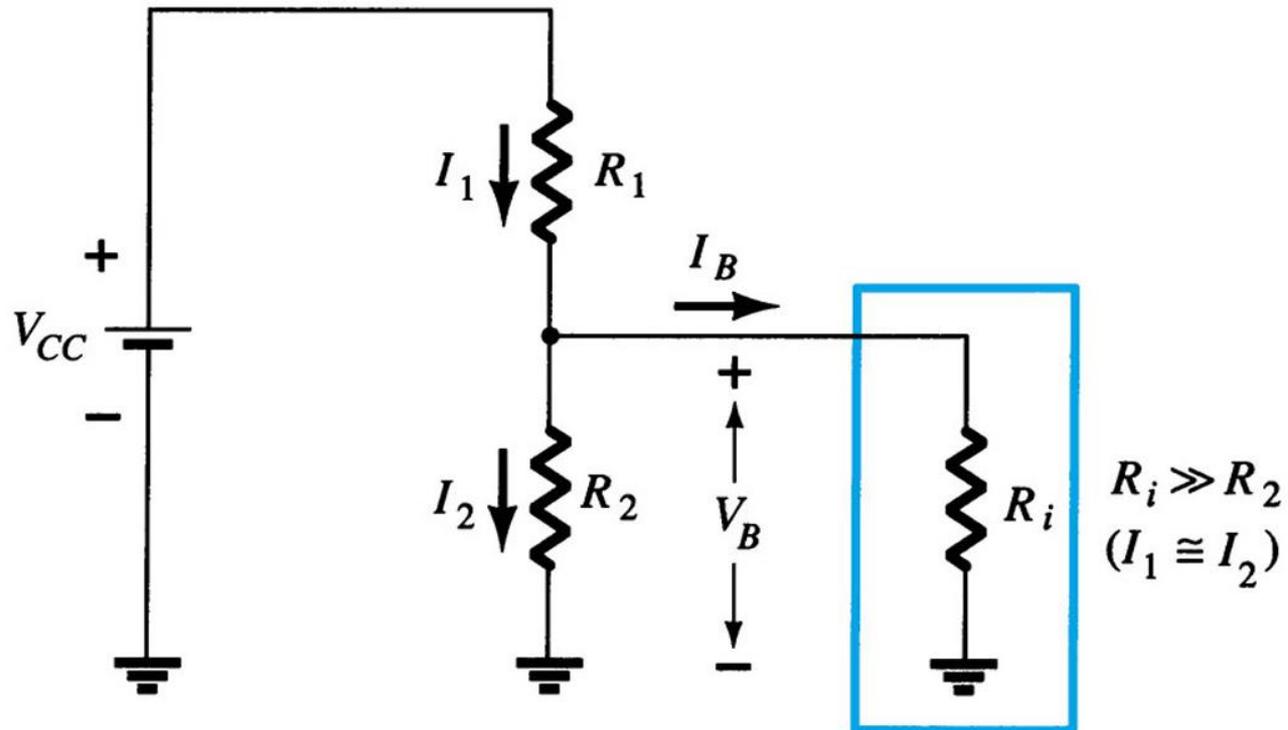
Exercício:

Calcule I_C , V_E , V_{CC} , V_{CE} , V_B , R_1

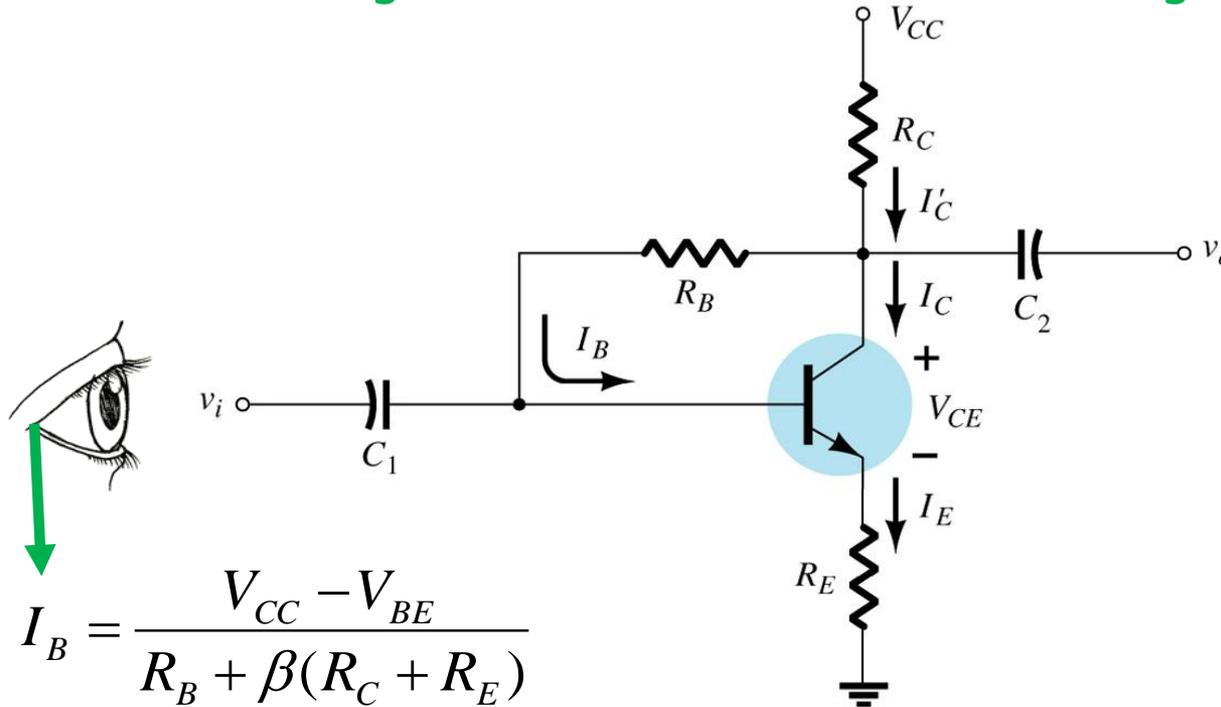


- **Forma alternativa:** análise aproximada
 - Condição para aplicação desta análise

$$\beta R_E \geq 10R_2$$



7 – Polarização com realimentação de tensão



- Melhor estabilização de Q

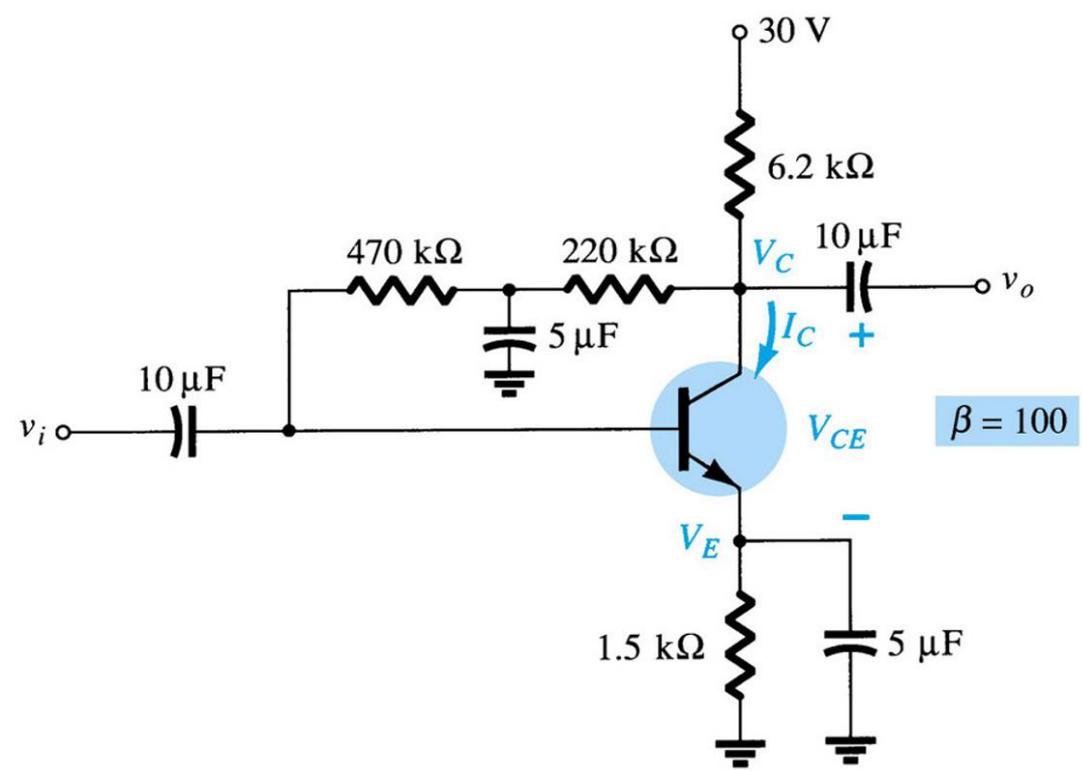
- praticamente independente de β
- Formato geral para I_B e I_C

$$I_B = \frac{V'}{R_B + \beta R'}$$

$$I_C = \frac{\beta V'}{R_B + \beta R'} \rightarrow \frac{V'}{R'}$$

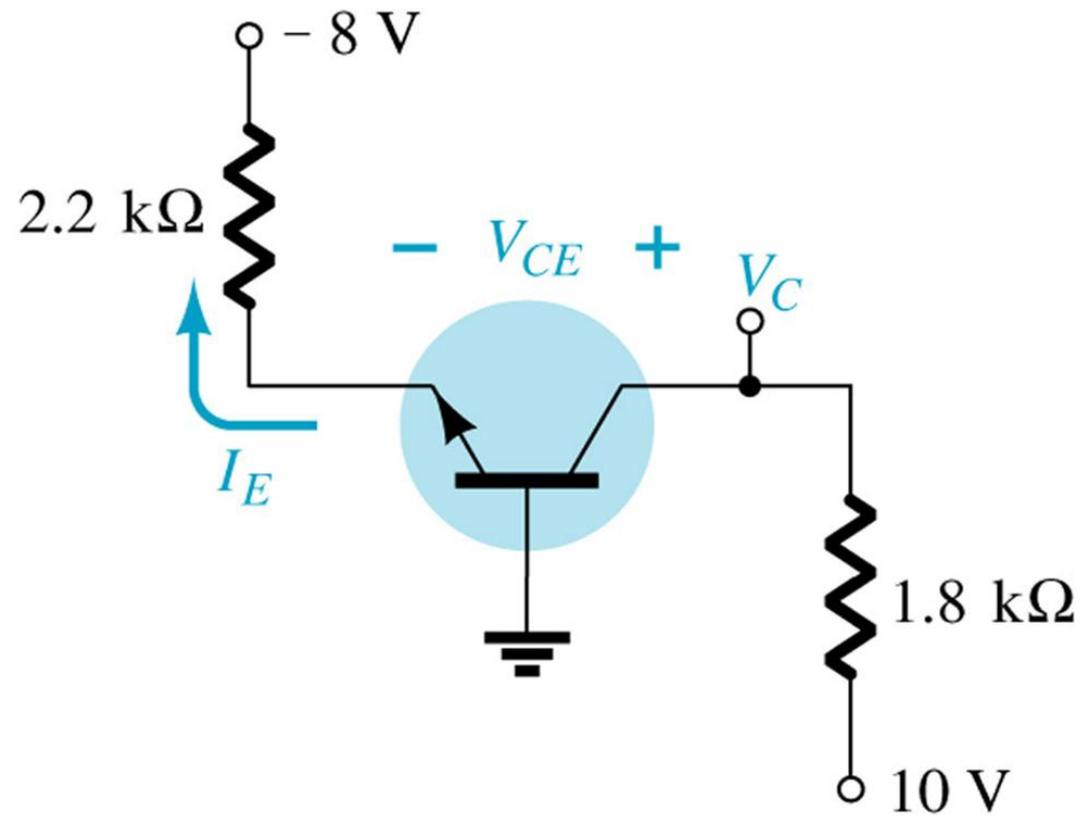
Exercício:

Determine os valores de I_C , V_C , V_E , e V_{CE}



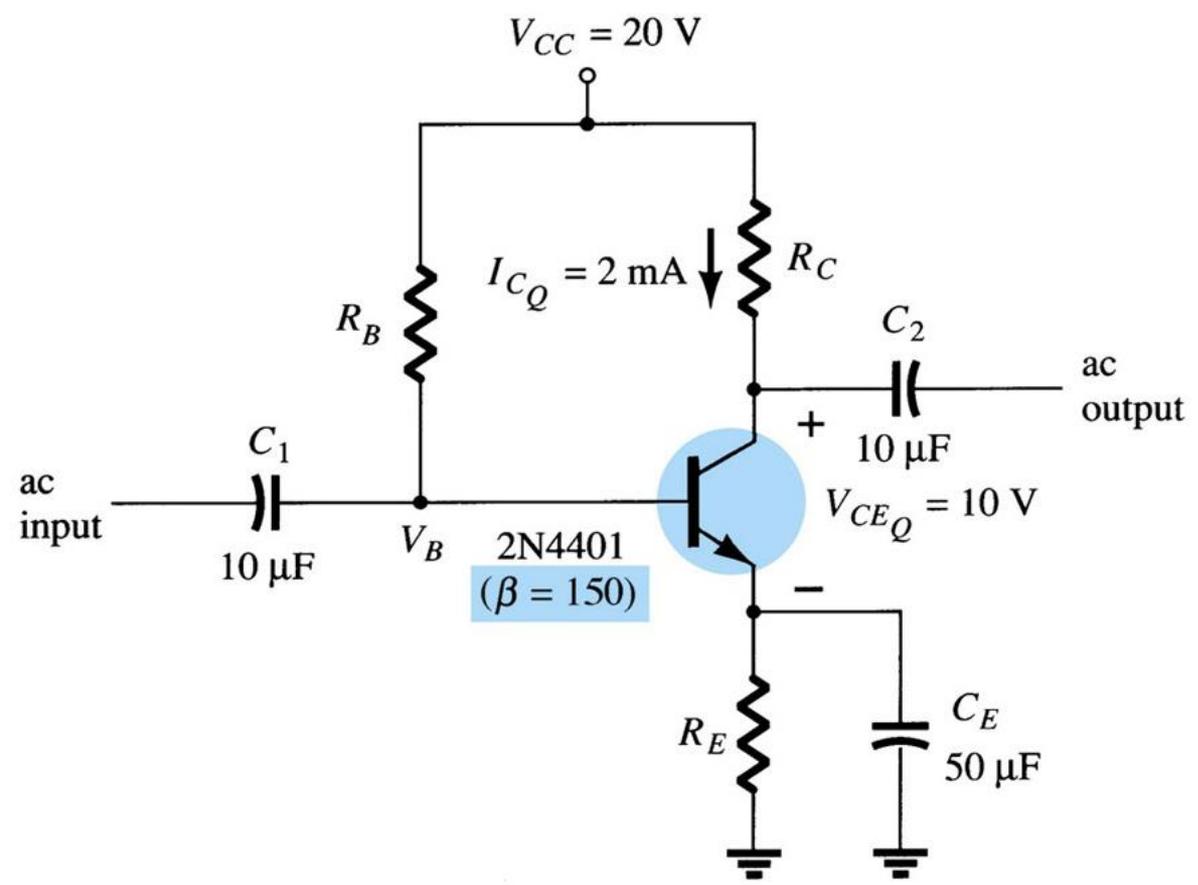
Exercício:

Calcule I_E , V_C e V_{CE}



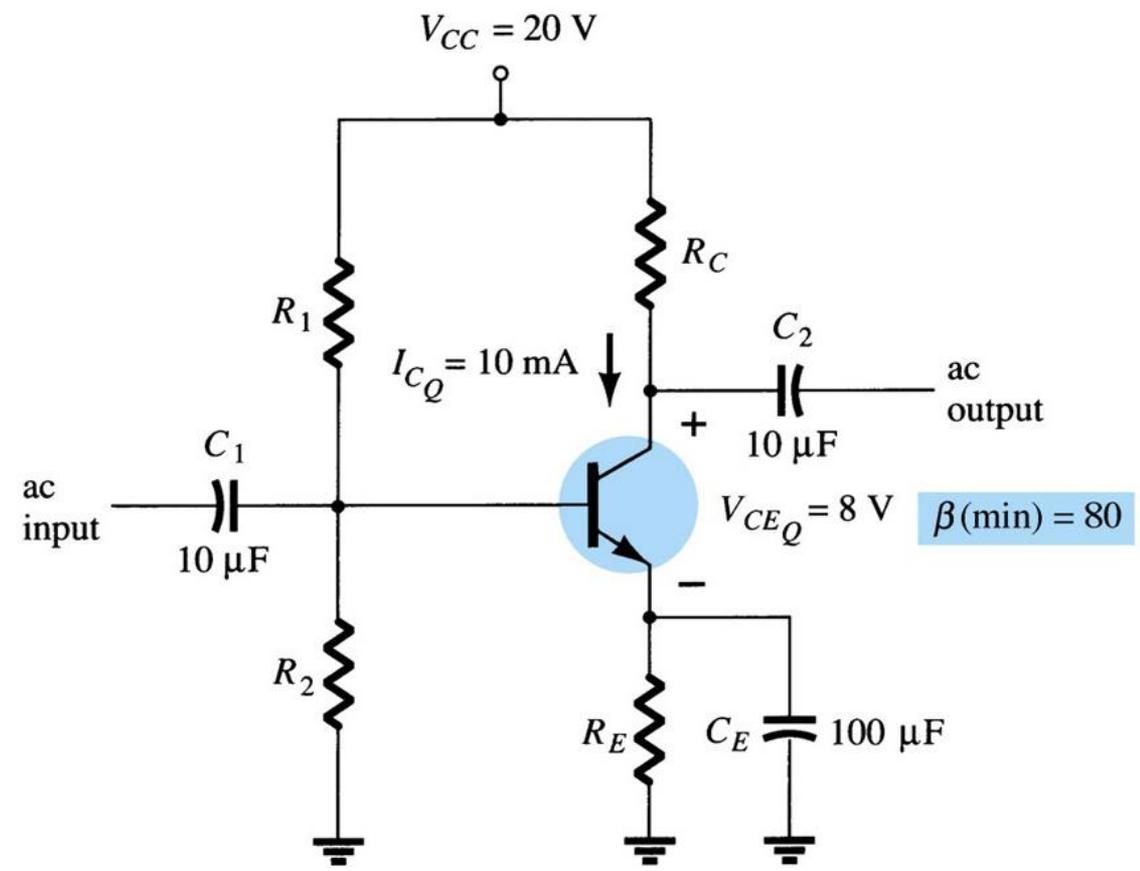
Exercício:

Projete usando os parâmetros da figura



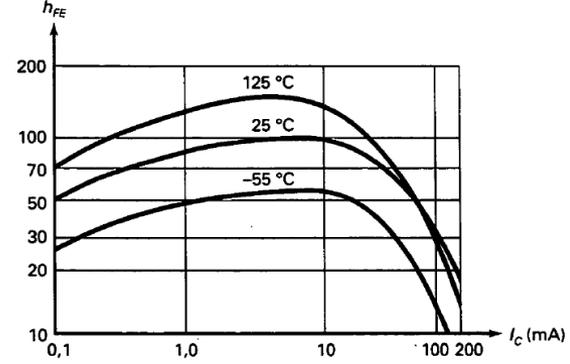
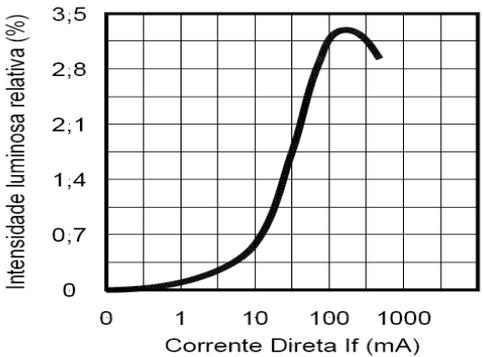
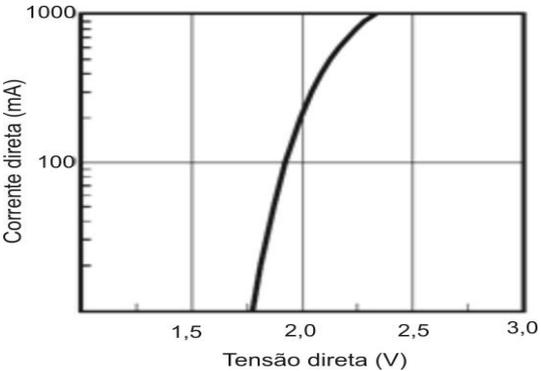
Exercício:

Projete R_1 , R_2 , R_C e R_E para o circuito indicado abaixo. Note que no mesmo já foi indicado um ponto Q.



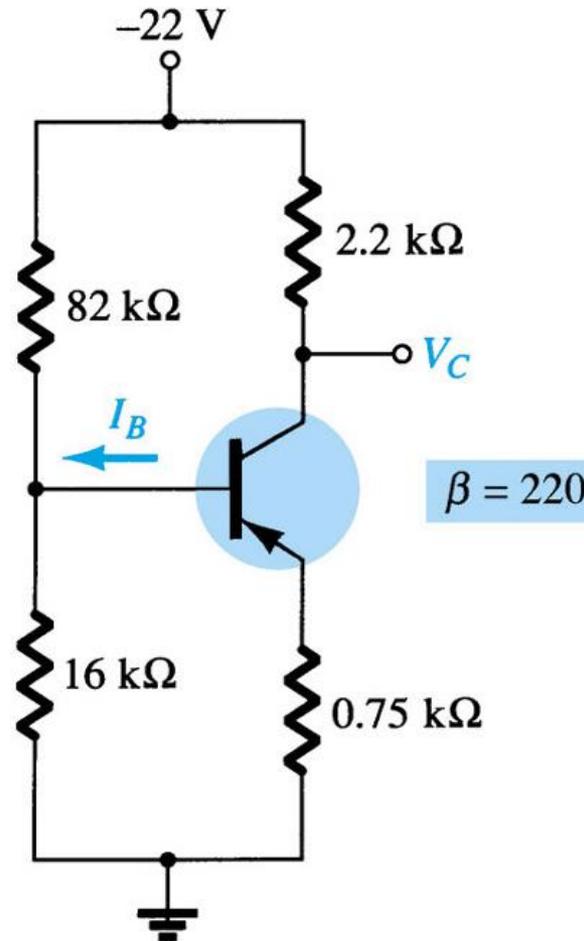
Exercício:

Um microcontrolador deve acionar um LED em sua saída. Considere que este microcontrolador trabalha com a tensão de 3,3V. A partir da análise dos gráficos do LED abaixo, determine como deve ser feito este acionamento sabendo que microcontroladores geralmente não podem fornecer mais do que 10mA por pino.



Exercício:

Determine V_C e I_B na figura abaixo.



• Tarefas para casa

– “Obrigatórios”:

- Polarização divisor tensão: 4.12, 4.13, 4.16 e 4.21.
- Polarização realimentação tensão: 4.22, 4.26
- Polarização mista: 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.35, 4.36

Parte C

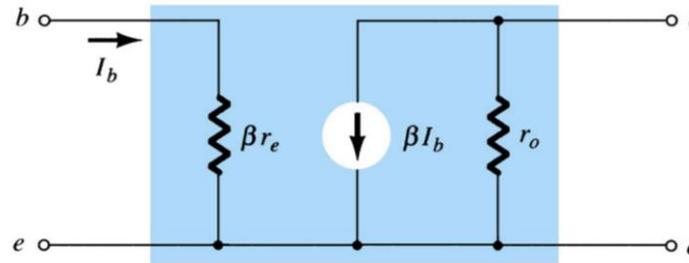
Amplificação

(análise A.C.)

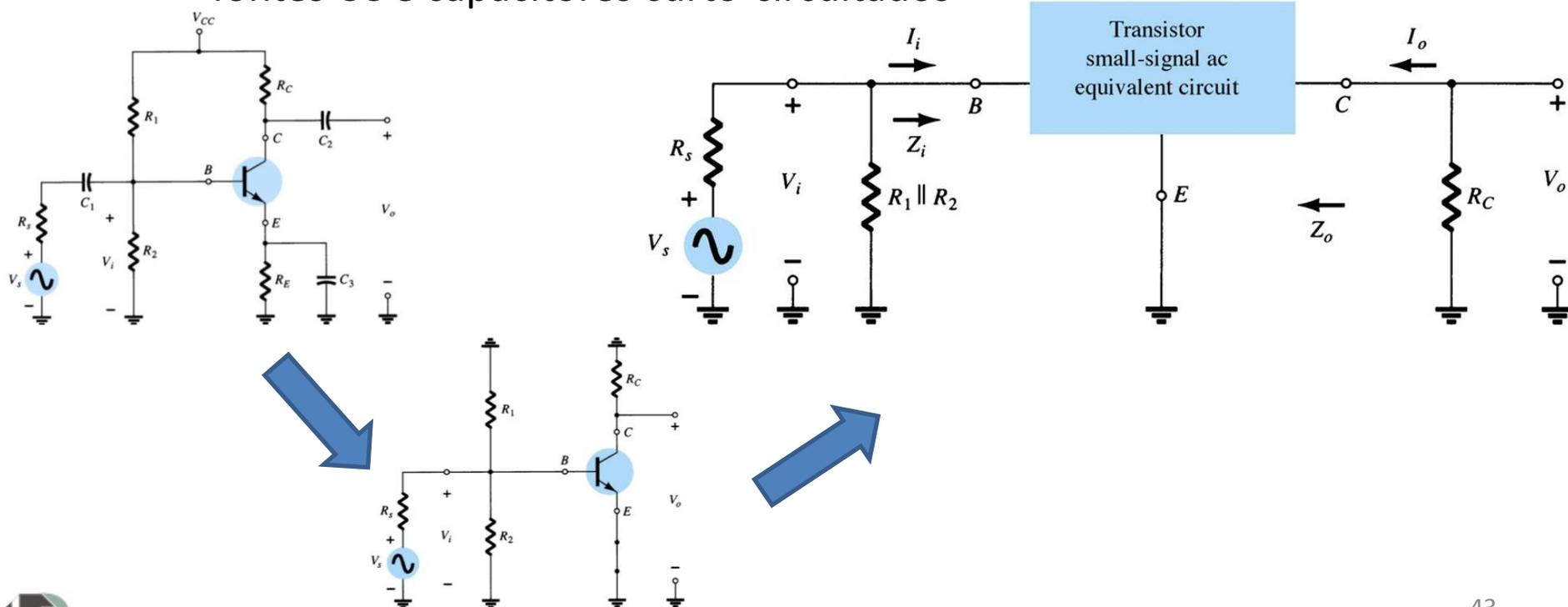


8 – Modelagem CA do TBJ

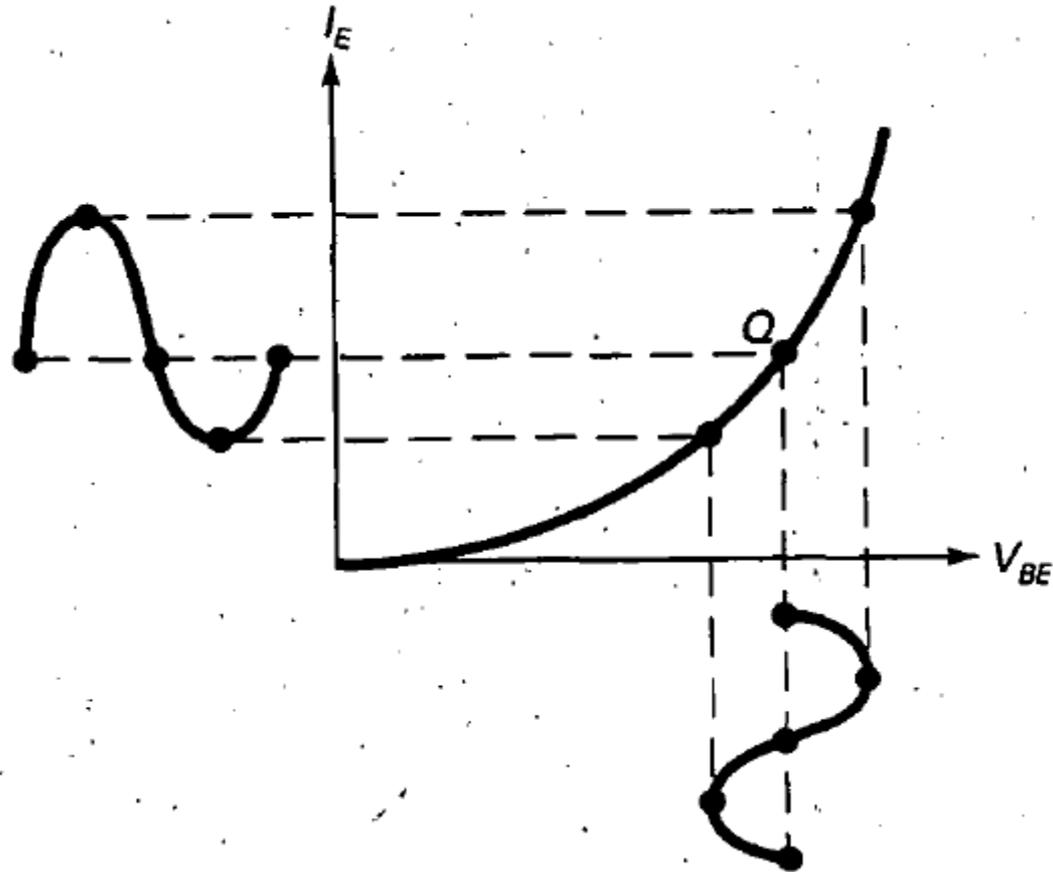
- Modelagem:
 - Modelo r_e
- Análise CA



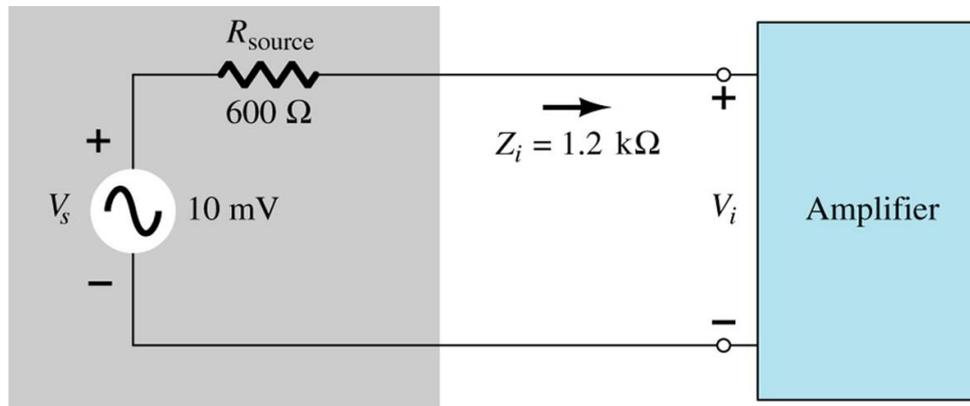
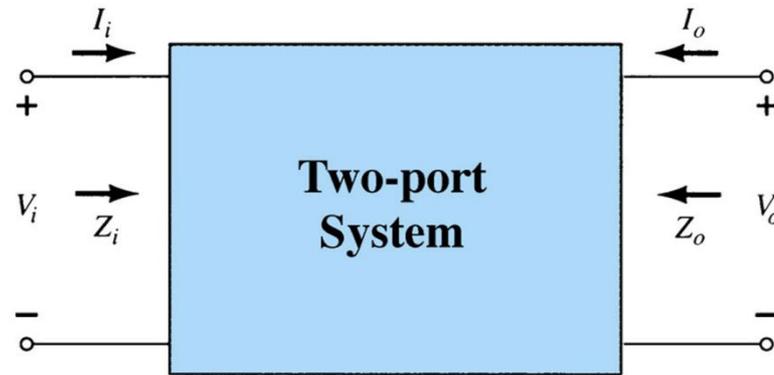
- fontes CC e capacitores curto-circuitados



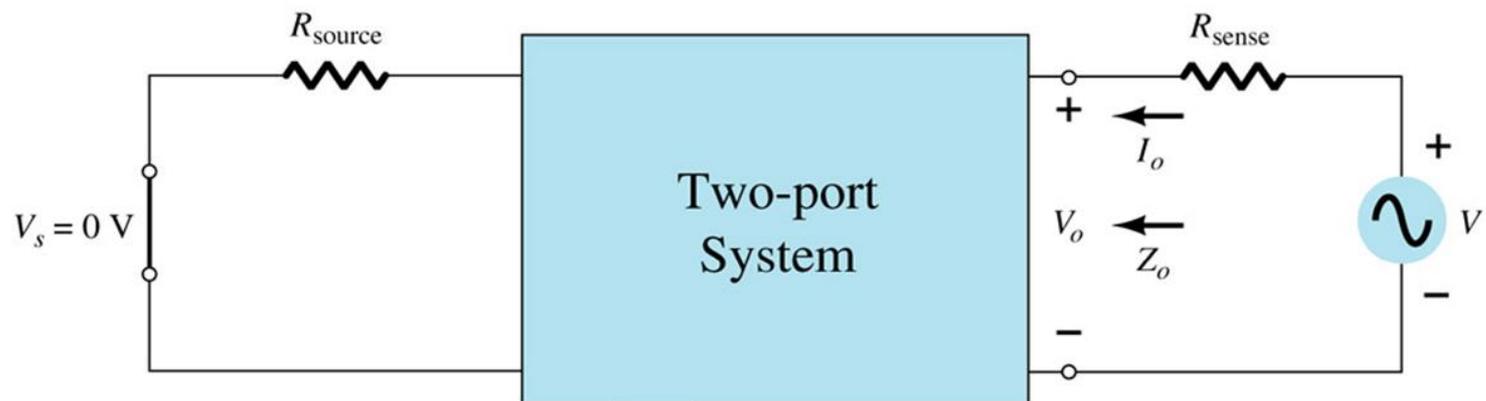
- Distorção



- Impedância de entrada: $Z_i = \frac{V_i}{I_i}$
 - Importância de Z_i



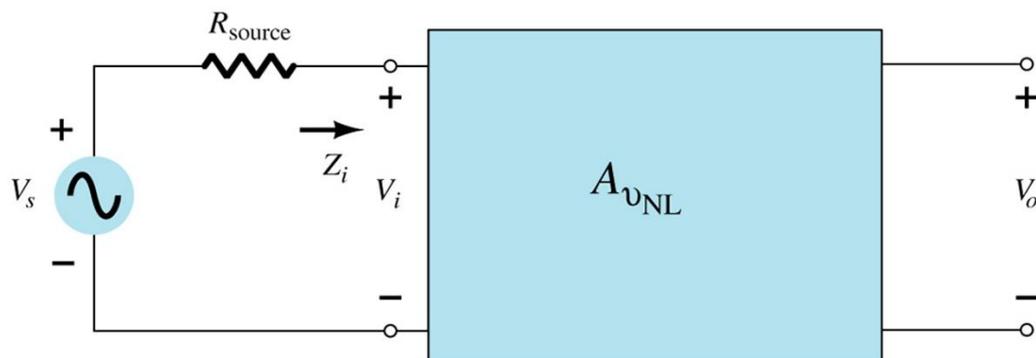
- Impedância de saída



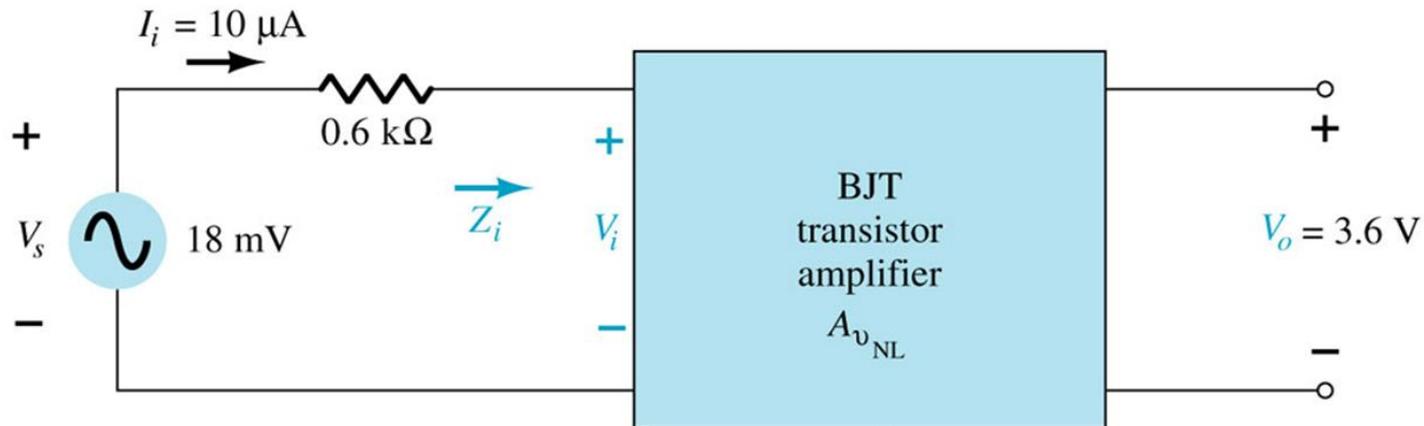
- Ganho de tensão

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

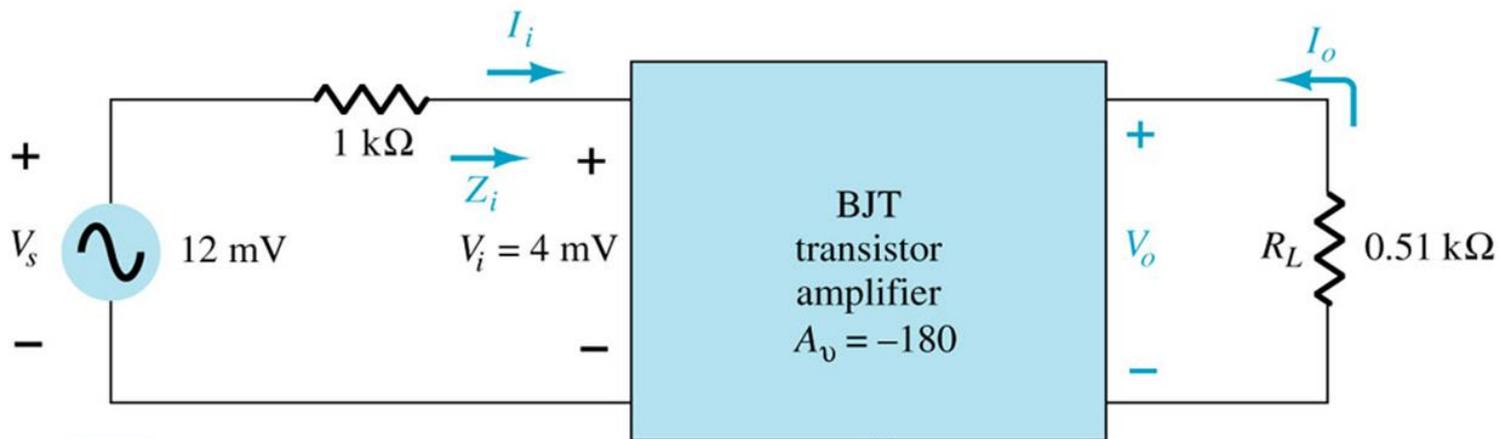
$$A_{vNL} = \left. \frac{V_o}{V_i} \right|_{R_L = \infty}$$



Exemplo : Para o esquema abaixo, determine V_i , Z_i , A_v



- Ganho de corrente: $A_i = \frac{I_o}{I_i}$
- Outro exemplo:



- Capacitores de acoplamento

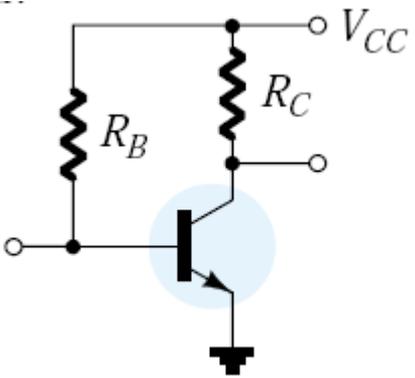
- Transmitir sinais CA isolando CC (geralmente ligado em série)
- Desviar sinais CA para o terra (geralmente ligado em paralelo)

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

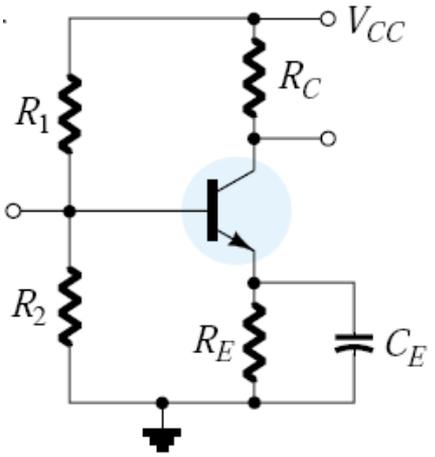
- $X_c < 0,1.R$ onde R = resistência total em série com o capacitor



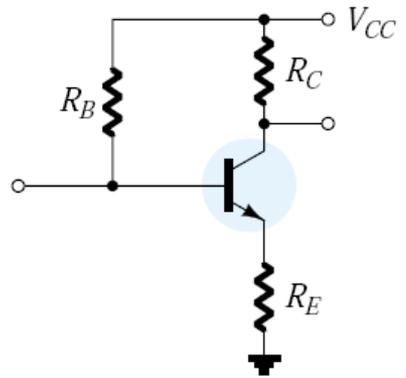
- OVERVIEW:** Configurações e circuitos para o TBJ



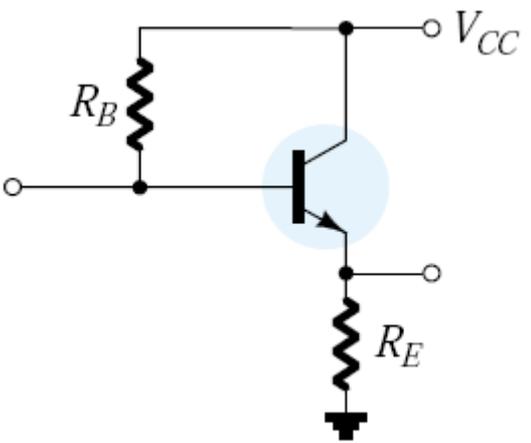
*Polarização fixa
(ou da base)*



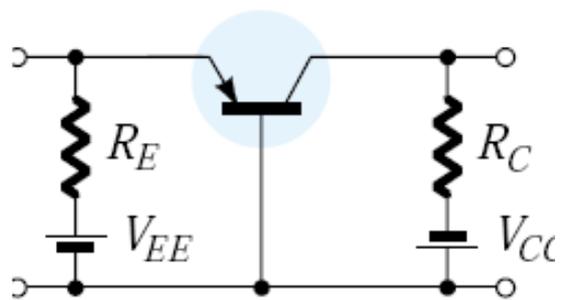
Polarização divisor de tensão



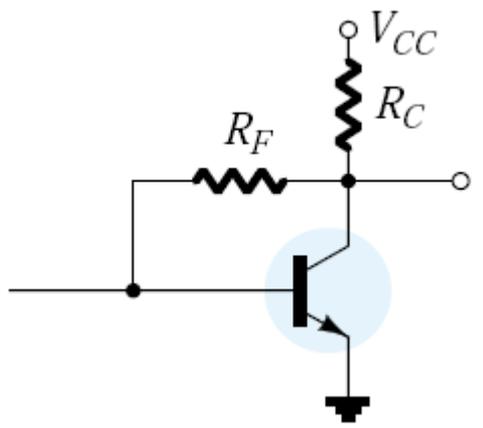
Polarização do emissor



Seguidor de emissor



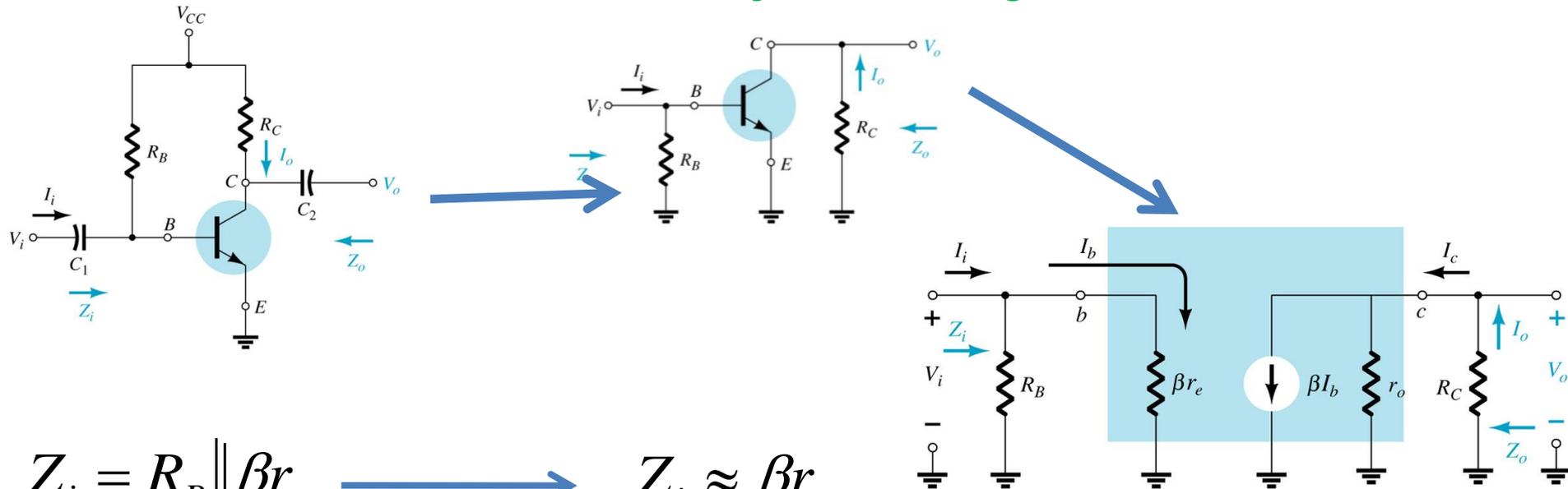
Base comum



Realimentação do coletor



9 - Análise CA da polarização da base



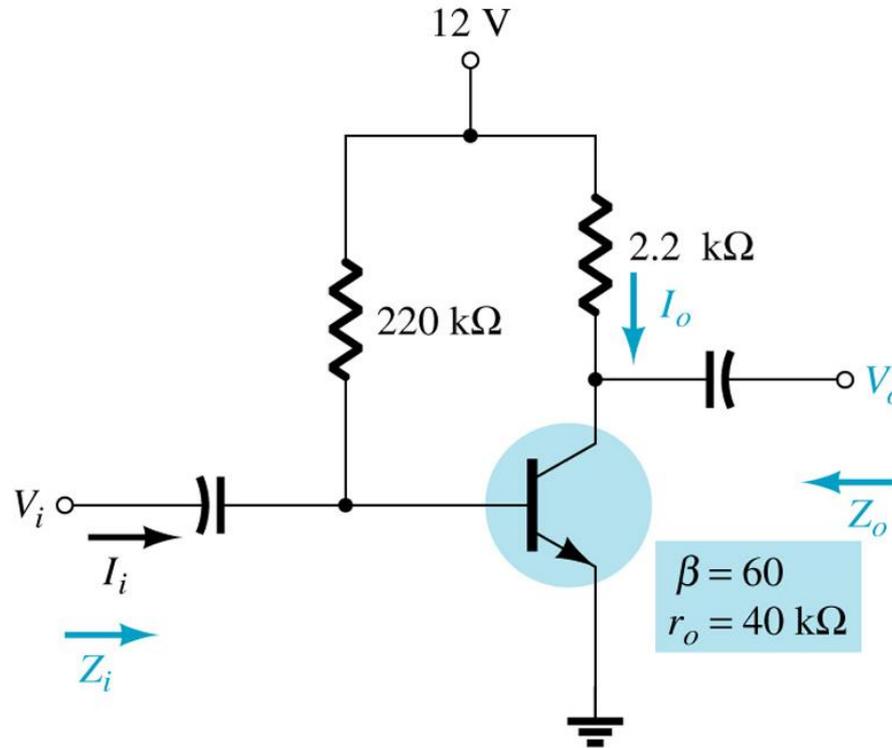
$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e \longrightarrow Z_i \approx \beta r_e$$

$$Z_o = R_C \parallel r_o \longrightarrow Z_o \approx R_C$$

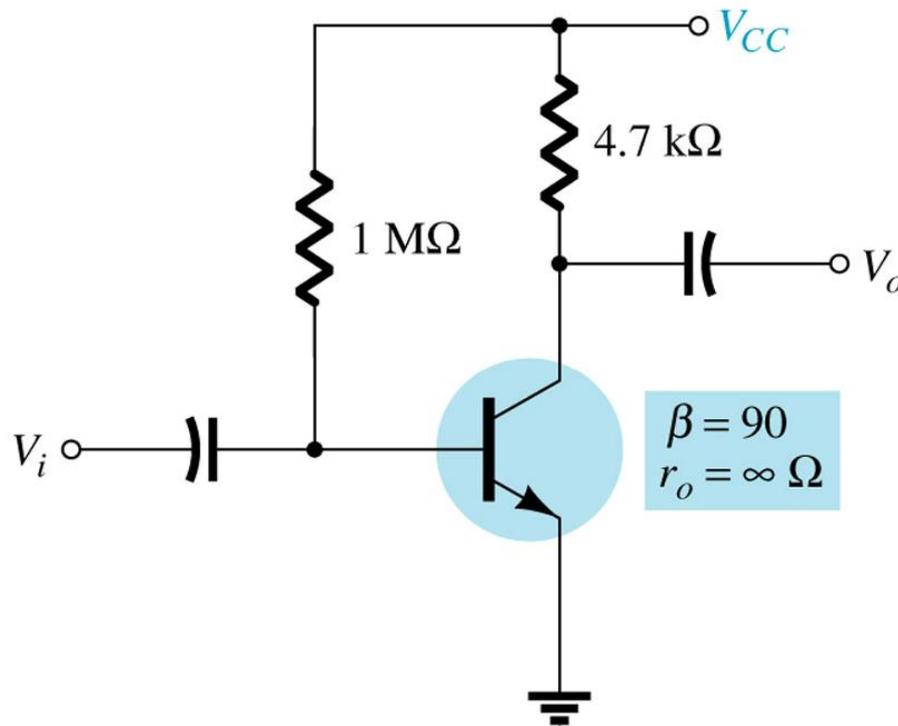
$$A_v = \frac{R_C \parallel r_o}{r_e} \longrightarrow A_v = \frac{R_C}{r_e} \Big|_{r_o \gg R_C}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R_B r_o}{(r_o + R_C)(R_B + \beta r_e)} \approx \beta$$

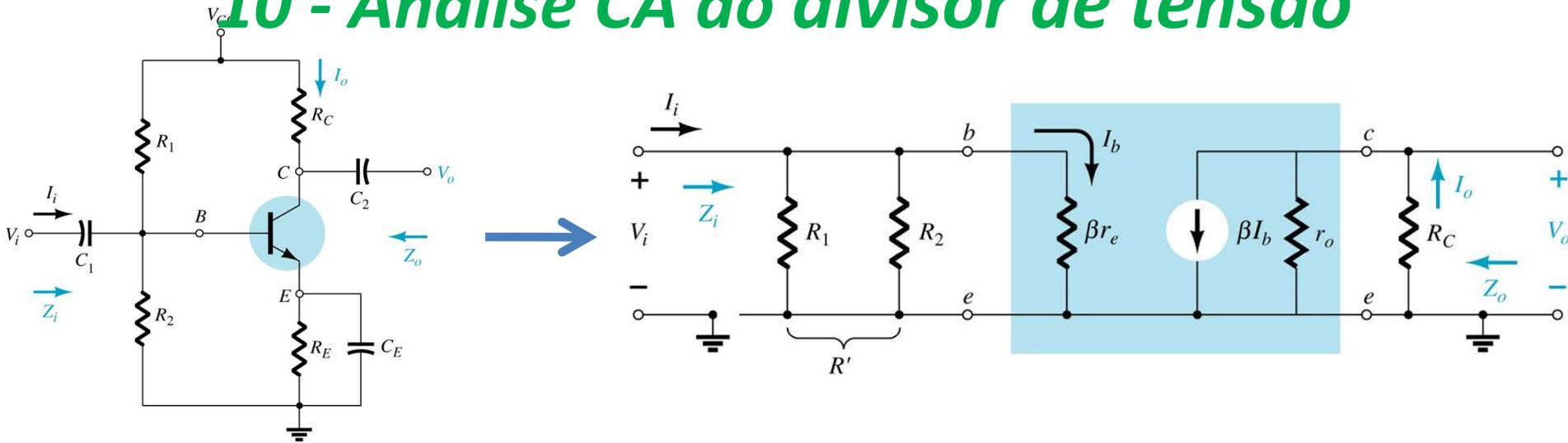
Exemplo: Para o circuito abaixo determine Z_i , Z_o , A_v , A_i . Repita os cálculos para $r_o = 20$ k ohms



Exercício: para o circuito da Figura abaixo, determine V_{CC} para um ganho de tensão de 200 vezes.



10 - Análise CA do divisor de tensão



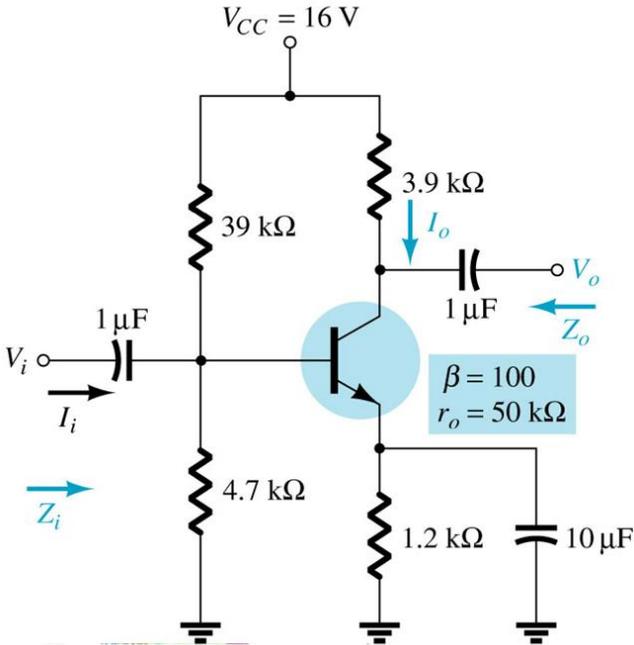
$$Z_i = R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$$

$$Z_o = R_C \parallel r_o \longrightarrow Z_o \approx R_C$$

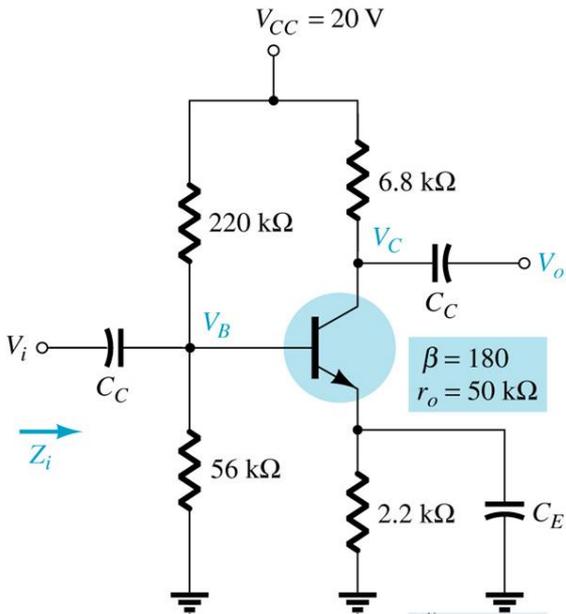
$$A_v = \frac{R_C \parallel r_o}{r_e} \longrightarrow A_v = \frac{R_C}{r_e} \Big|_{r_o \gg R_C}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta(R_1 \parallel R_2)r_o}{(r_o + R_C)(R_1 \parallel R_2 + \beta r_e)} \approx \frac{\beta(R_1 \parallel R_2)}{(R_1 \parallel R_2) + \beta r_e} \approx \beta$$

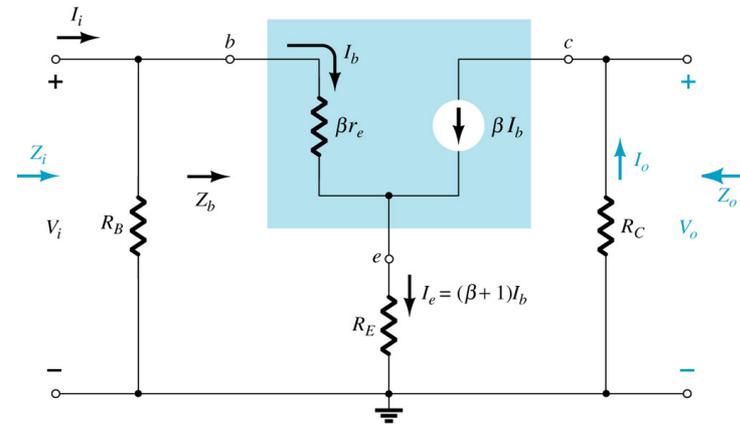
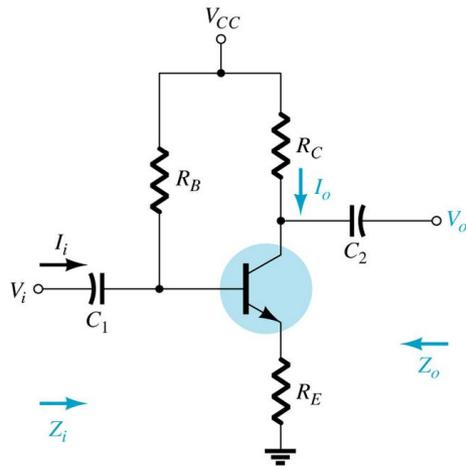
Exemplo: para o circuito ao lado determine Z_i , Z_o , A_v e A_i .



Exercício: para o circuito ao lado determine Z_i , A_v , V_B e V_C .



11 - Análise CA da polarização do emissor



$$Z_i = R_B \parallel Z_b$$

Onde:

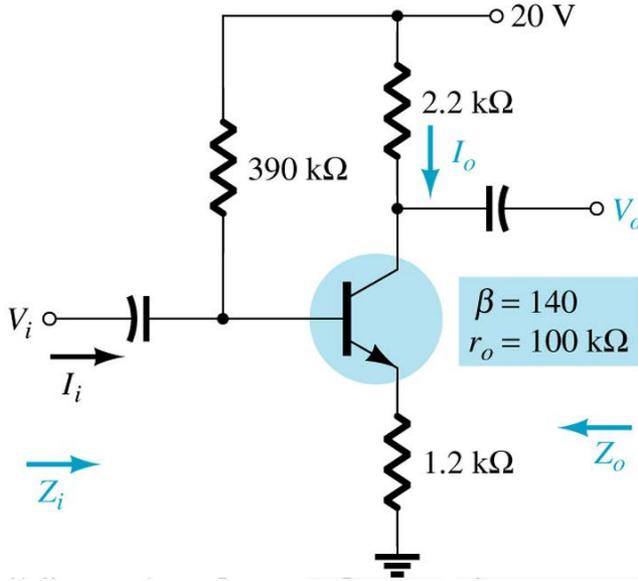
$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E$$

$$Z_o = R_C$$

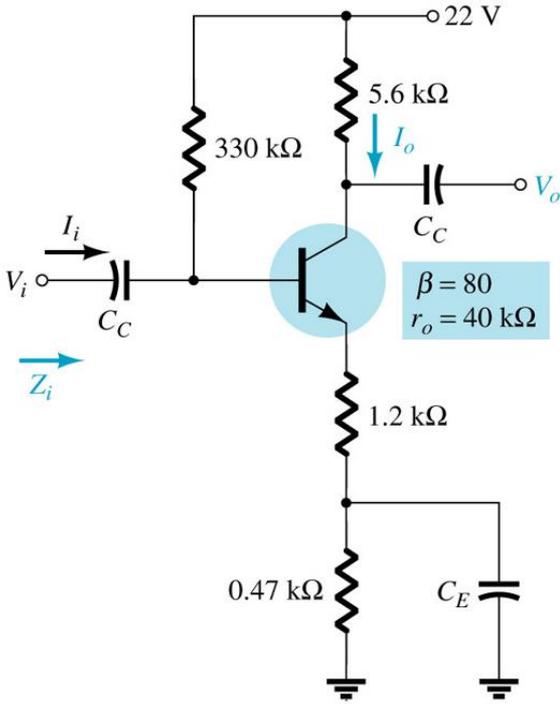
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\beta R_C}{Z_b} \approx \frac{R_C}{r_e + R_E} \approx \frac{R_C}{R_E}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$$

Exemplo: para o circuito da figura ao lado determine Z_i , Z_o , A_v e A_i

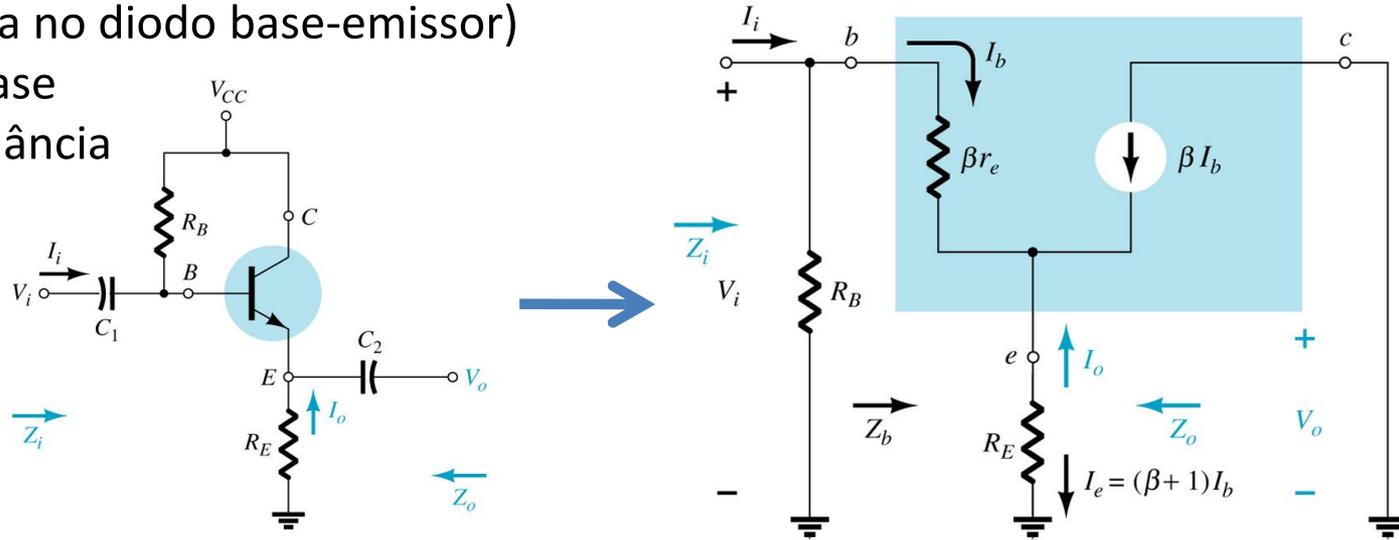


Exercício: para o circuito da figura ao lado determine Z_i , Z_o , A_v e A_i



12 - Análise CA do seguidor de emissor

- Saída no emissor do transistor
 - $A_v \approx 1$ (somente queda no diodo base-emissor)
 - Não há inversão de fase
 - Casamento de impedância



$$Z_i = R_B \parallel Z_b$$

Onde:

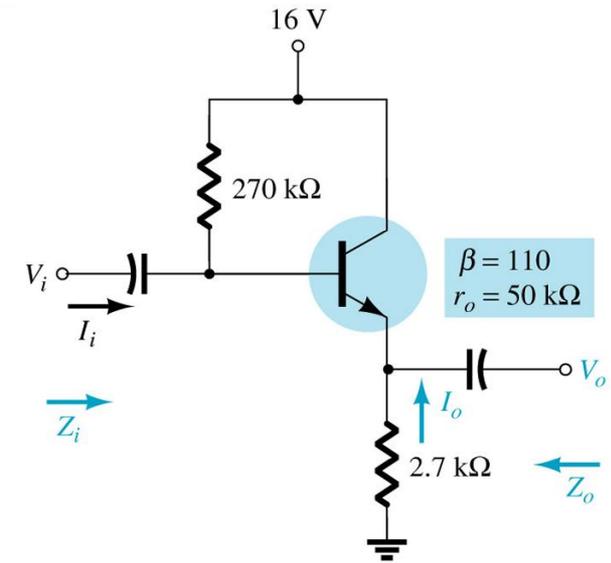
$$Z_b = \beta r_e + (\beta + 1)R_E \approx \beta R_E$$

$$Z_o = R_E \parallel r_e$$

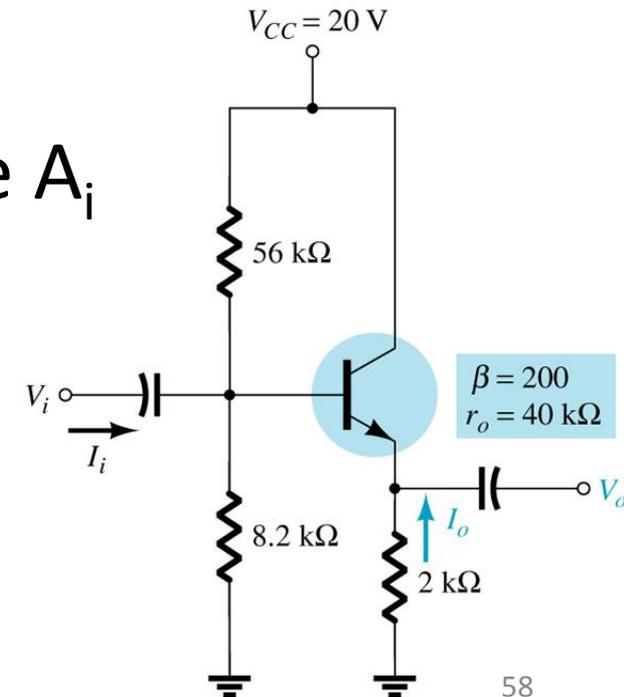
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_E}{R_E + r_e}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$$

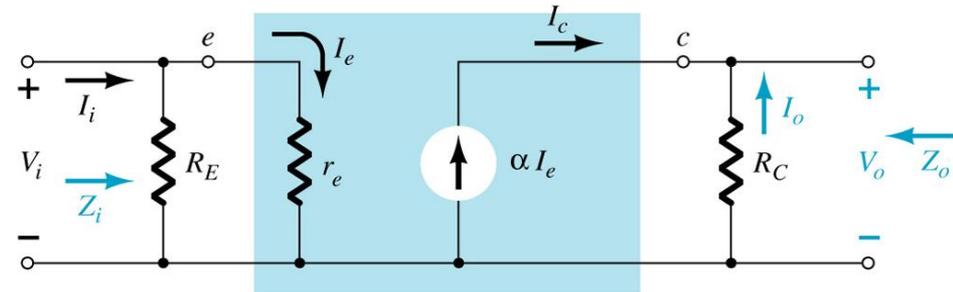
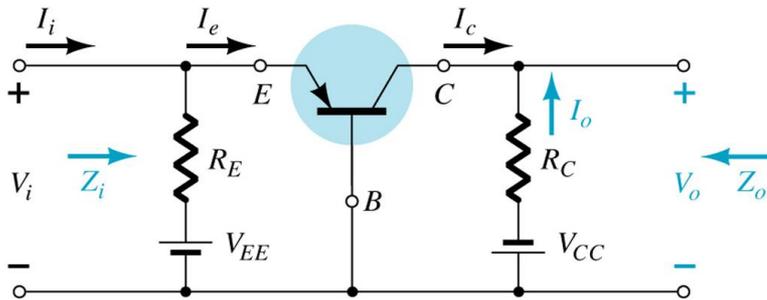
Exemplo: determine Z_i , Z_o , A_v e A_i



Exercício: determine I_B , I_C , Z_i , Z_o , A_v e A_i



13 - Análise CA do base comum



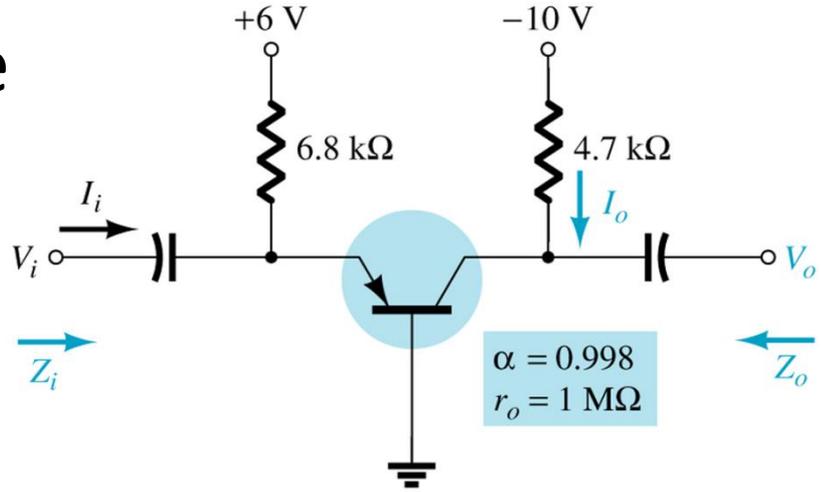
$$Z_i = R_E \parallel r_e$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\alpha R_C}{r_e} \cong \frac{R_C}{r_e}$$

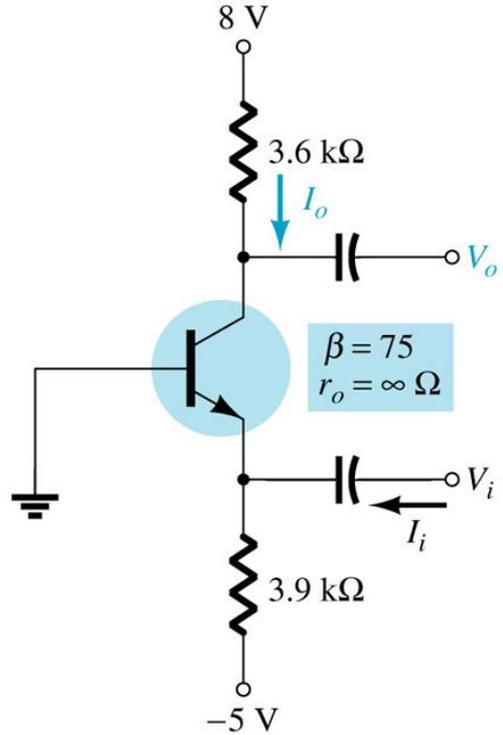
$$Z_o = R_C$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \alpha \cong 1$$

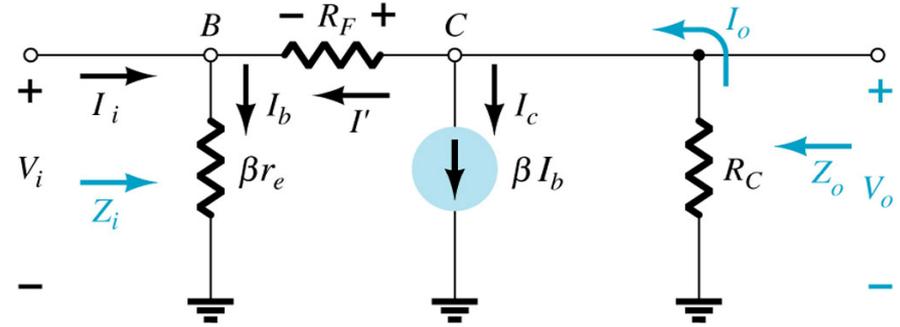
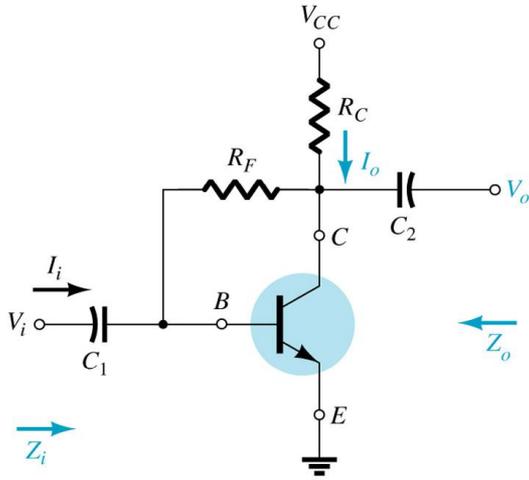
Exemplo: determine Z_i , Z_o , A_v e A_i da figura ao lado.



Exercício: determine Z_i , Z_o , A_v e A_i da figura ao lado.



14 - Análise CA do realimentação do coletor



$$Z_i = \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_F}}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \cong \frac{R_C}{r_e}$$

$$Z_o = R_C \parallel R_F$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\beta R_F}{R_F + \beta R_C} \cong \frac{R_F}{R_C}$$

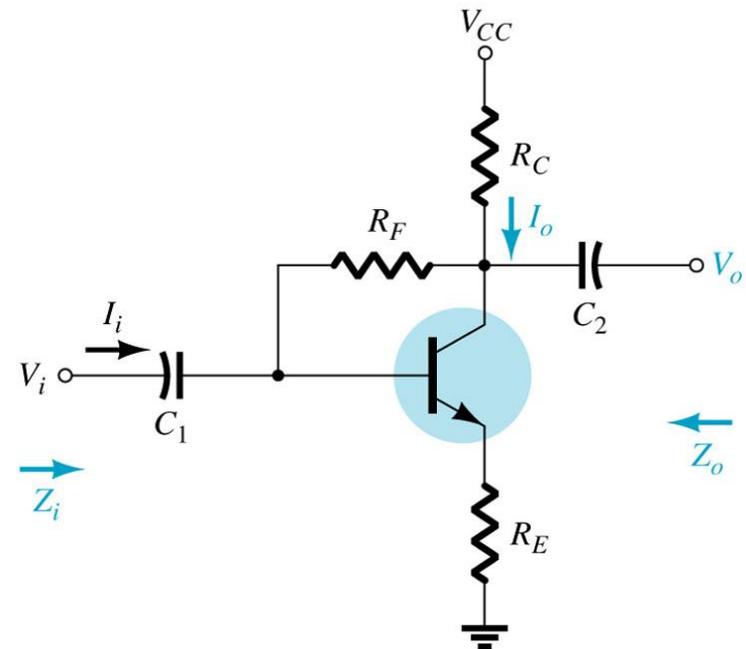
- Observação: no caso de uma inclusão de uma resistência R_E no emissor, as fórmulas passam a ser:

$$Z_i = \frac{R_E}{\frac{1}{\beta} + \frac{(R_C + R_E)}{R_F}}$$

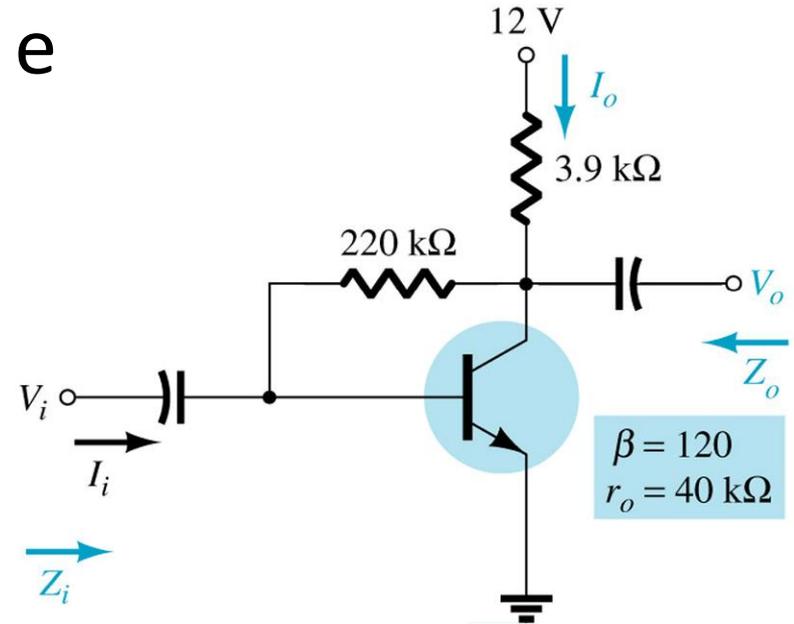
$$Z_o = R_C \parallel R_F$$

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

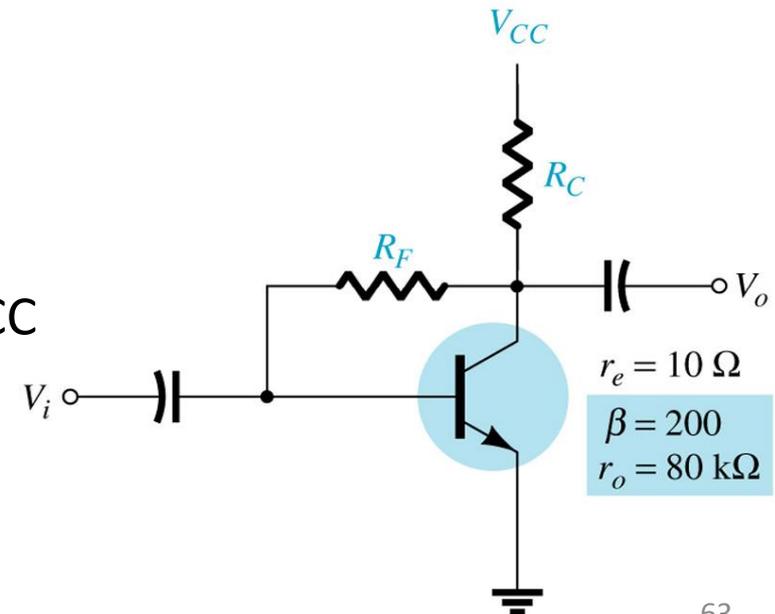
$$A_i \cong \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{(R_C + R_E)}{R_F}}$$



Exemplo: determine Z_i , Z_o , A_v e A_i da figura ao lado.



Exercício: considerando que $r_e = 10\Omega$, $\beta = 200$, $A_v = 160$ e $A_i = 19$, determine R_C , R_F e V_{CC} para a figura ao lado.



Configuration	Z_i	Z_o	A_v	A_i
	Medium (1 kΩ) $R_B \parallel \beta r_e \cong \beta r_e$	Medium (2 kΩ) $R_C \parallel r_o \cong R_C$	High (-200) $\frac{-(R_C \parallel r_o)}{r_e}$ $\cong -\frac{R_C}{r_e}$	High (100) $\frac{\beta R_B r_o}{(r_o + R_C)(R_B + \beta r_e)}$ $\cong \beta$
	Medium (1 kΩ) $R_1 \parallel R_2 \parallel \beta r_e$	Medium (2 kΩ) $R_C \parallel r_o$ $\cong R_C$	High (-200) $\frac{-(R_C \parallel r_o)}{r_e}$ $\cong -\frac{R_C}{r_e}$	High (50) $\frac{\beta (R_1 \parallel R_2) r_o}{(r_o + R_C)(R_1 \parallel R_2 + \beta r_e)}$ $\cong \frac{\beta \ (R_1 \parallel R_2)}{R_1 \parallel R_2 + \beta r_e}$
	High (100 kΩ) $R_B \parallel Z_b$ $Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$ $\cong R_B \parallel \beta R_E$	Medium (2 kΩ) R_C	Low (-5) $\frac{R_C}{r_e + R_E}$ $\cong \frac{R_C}{R_E}$	High (50) $\cong \frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$

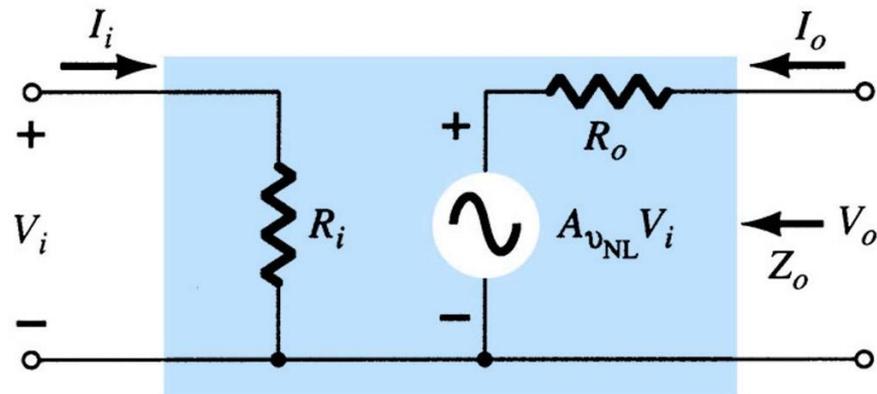
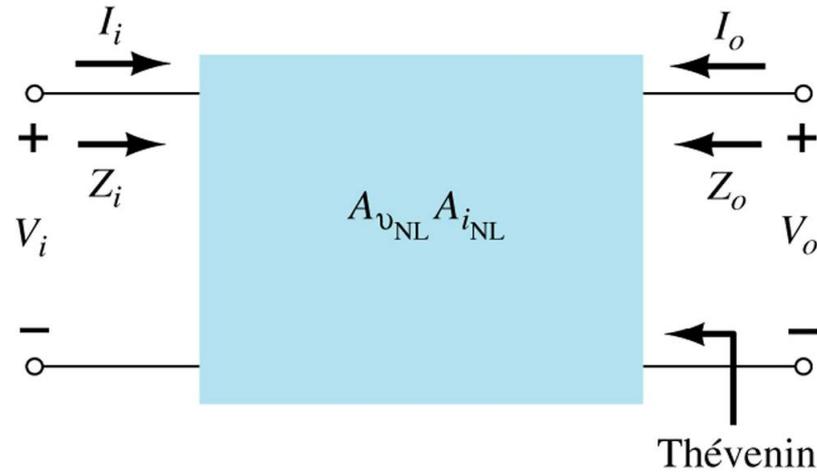
Configuration	Z_i	Z_o	A_v	A_i
	High (100 k Ω) $R_B Z_b$ $Z_b \cong \beta(r_e + R_E)$ $\cong R_B \beta R_E$	Low (20 Ω) $R_E r_e$ $\cong r_e$	Low ($\cong 1$) $\frac{R_E}{R_E + r_e}$ $\cong 1$	High (-50) $\cong -\frac{\beta R_B}{R_B + Z_b}$
	Low (20 Ω) $R_E r_e \cong r_e$	Medium (2 k Ω) R_C	High (200) $\frac{R_C}{r_e}$	Low (-1) -1
	Medium (1 k Ω) $= \frac{r_e}{\frac{1}{\beta} + \frac{R_C}{R_E}}$ $(r_o \geq 10R_C)$	Medium (2 k Ω) $\cong R_C R_F$ $(r_o \geq 10R_C)$	High (-200) $\cong -\frac{R_C}{r_e}$ $(r_o \geq 10R_C)$ $R_F \gg R_C$	High (50) $= \frac{\beta R_F}{R_F + \beta R_C}$ $\cong \frac{R_F}{R_C}$

Parte D

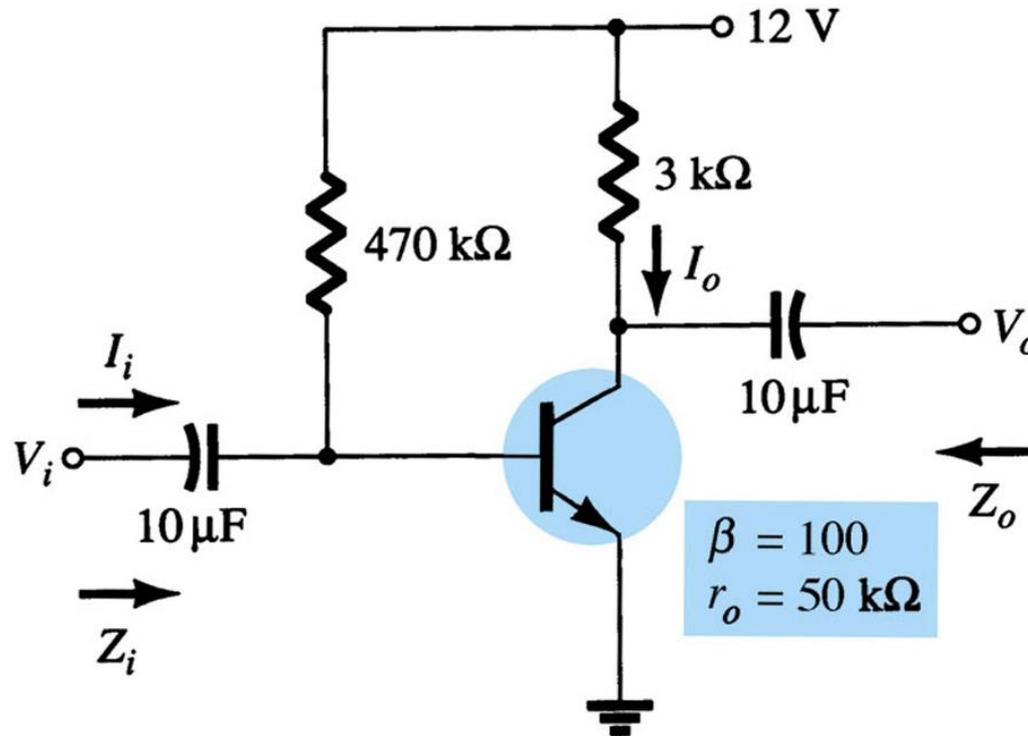
Ligação multi-estágios e efeitos de impedância



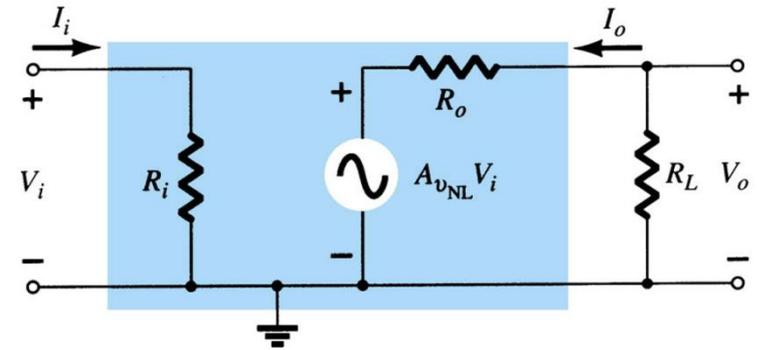
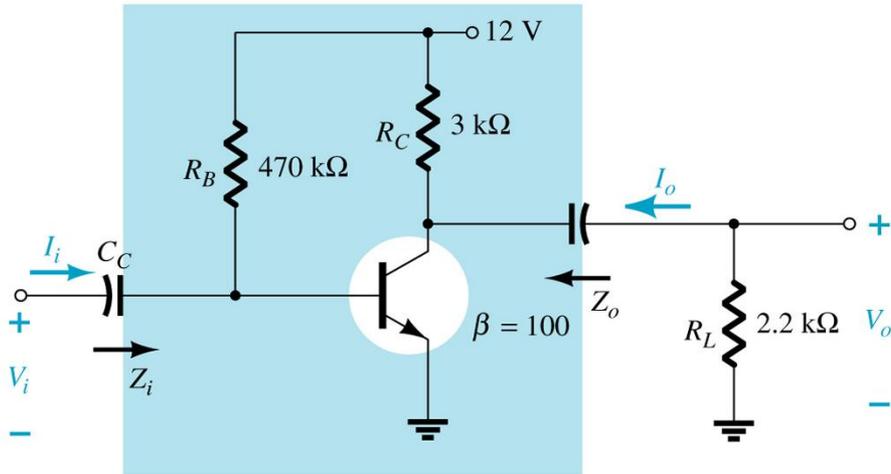
- Considerar o sistema modelado como:



Exemplo: para o circuito abaixo, esboce o modelo equivalente de 2 entradas deste circuito.



- Considerando os efeitos de carga:

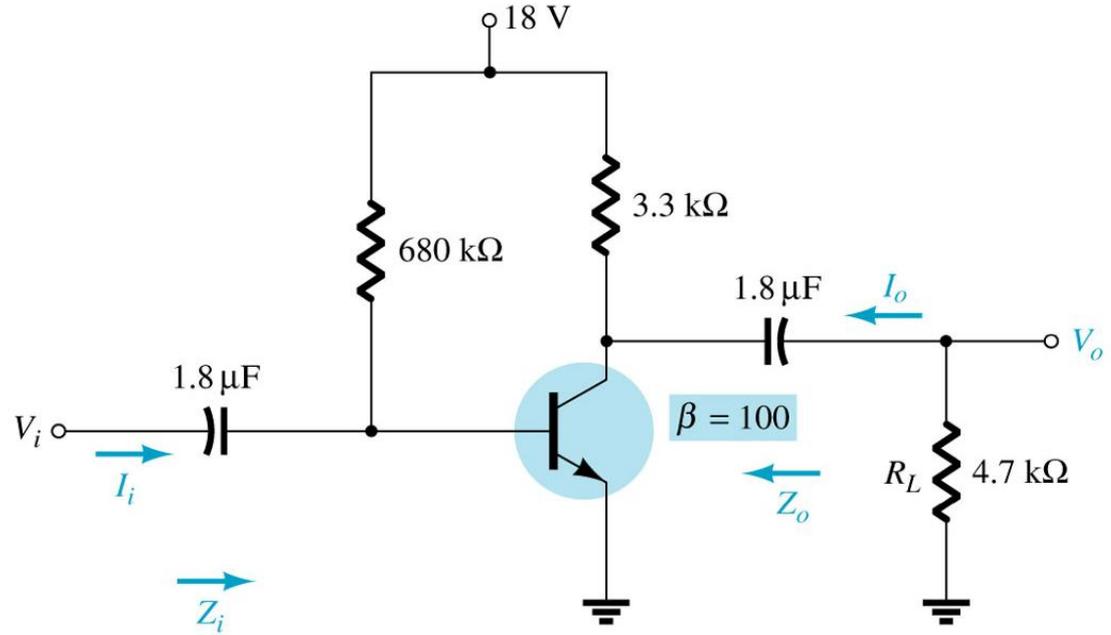


$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_L}{R_L + R_o} A_{v_{NL}}$$

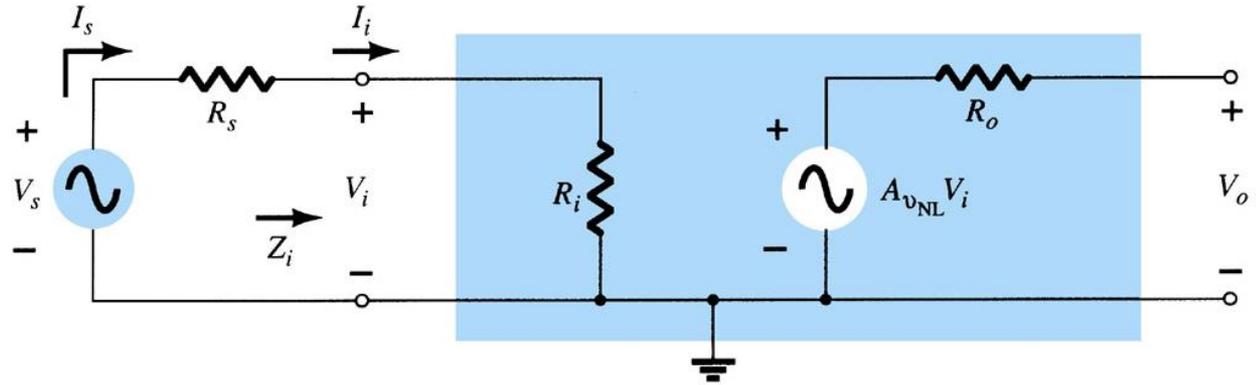
$$A_i = \frac{I_o}{I_i} = \frac{V_o / R_L}{V_i / Z_i} = A_v \frac{R_i}{R_L}$$

Exemplo: baseado no circuito da figura abaixo, determine:

- a) $A_{V_{NL}}$, Z_i e Z_o (esboce o modelo de 2 portas)
- b) Calcule A_V e A_I



- Efeitos de impedância da fonte:
 - Z_i e A_{vNL} não são afetados pela resistência interna da fonte.

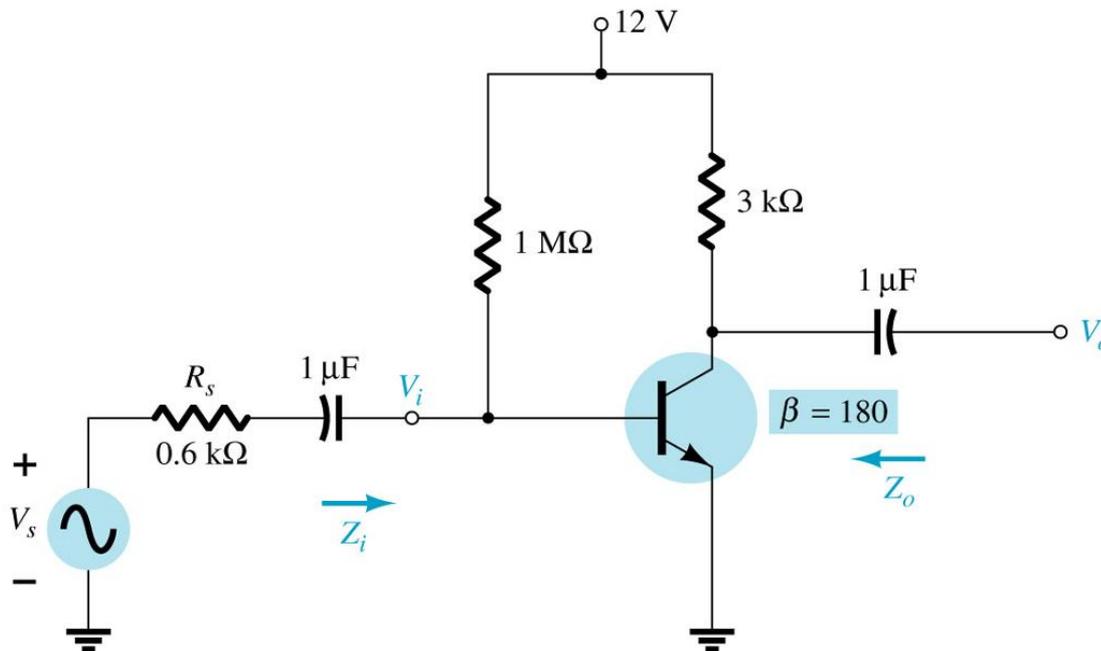


$$V_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} V_s$$

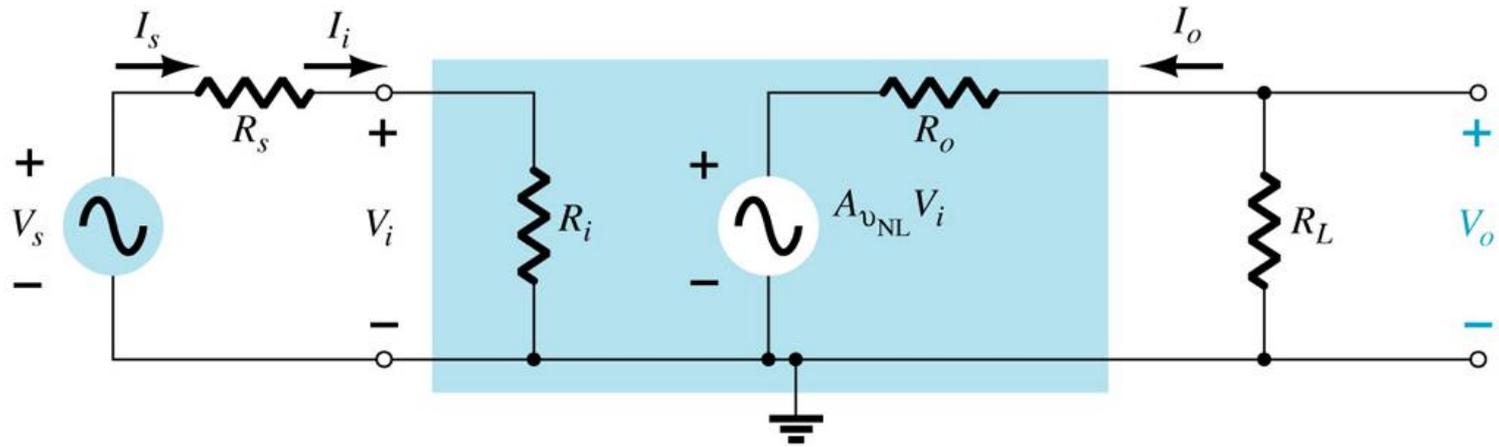
$$A_{v_s} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} A_{v_{NL}}$$

Exemplo: baseado no circuito da figura abaixo, determine:

- $A_{V_{NL}}$, Z_i e Z_o (esboce o modelo de 2 portas)
- Calcule A_{V_S} (ou seja: V_o/V_S)



- Combinação de R_s e R_L

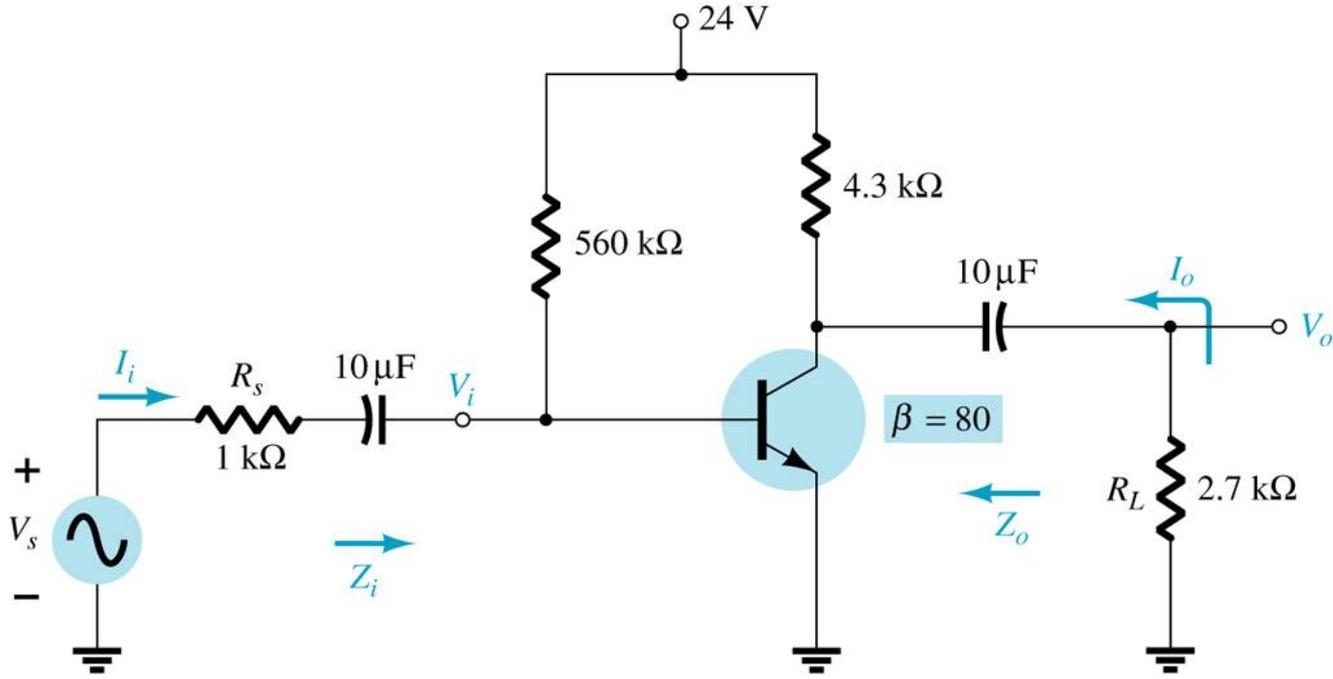


$$A_{v_s} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_o} \cdot A_{v_{NL}}$$

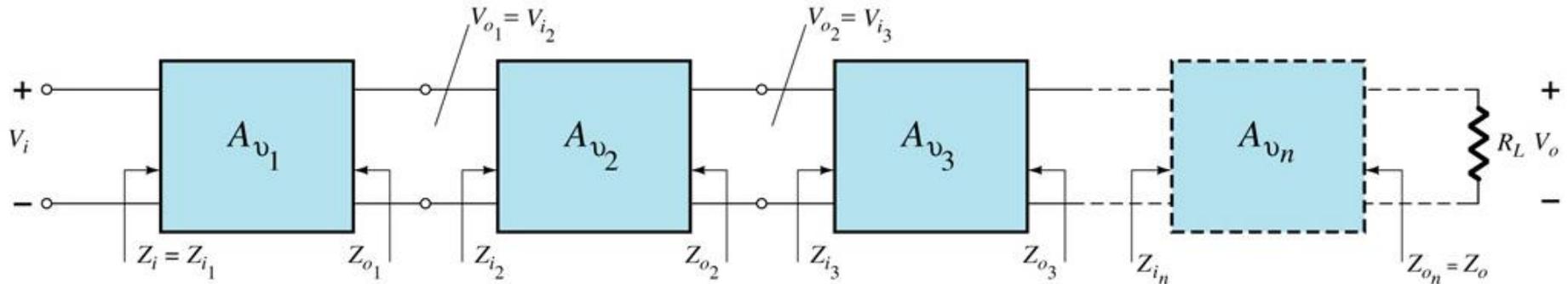
$$A_i = A_v \frac{R_i}{R_L} \quad \longrightarrow \quad A_{i_s} = A_{v_s} \frac{R_s + R_i}{R_L}$$

Exemplo: baseado no circuito da figura abaixo, determine:

- a) $A_{V_{NL}}$, Z_i e Z_o (esboce o modelo de 2 portas)
- b) Calcule A_v e A_{v_s}
- c) Calcule A_i



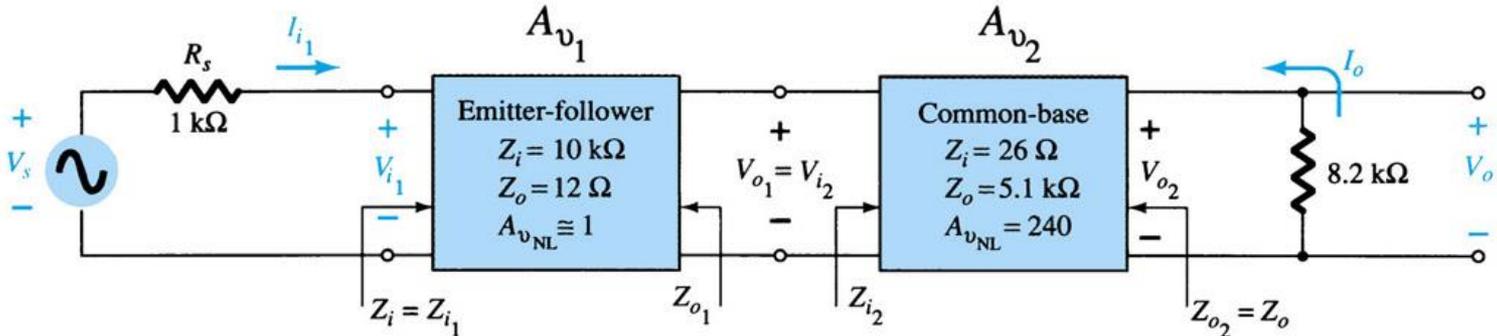
- Cascateamento de estágios



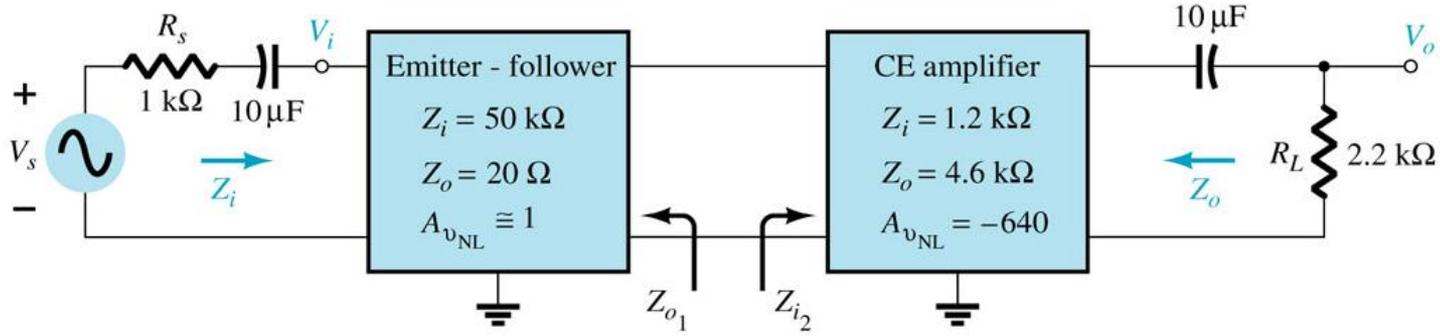
$$A_{v_r} = A_{v_1} \cdot A_{v_2} \cdot A_{v_3} \dots$$

$$A_{i_r} = A_{v_r} \frac{Z_{i1}}{R_L}$$

Exemplo: para o modelo abaixo, determine (i) o ganho com carga para cada estágio, (ii) o ganho A_V e (iii) A_{VS} , (iv) o ganho de corrente total e (v) o ganho A_{VS} se o seguidor-de-emissor for removido



Exemplo: Projete o circuito do diagrama abaixo.



Parte E

Amplificação de potência

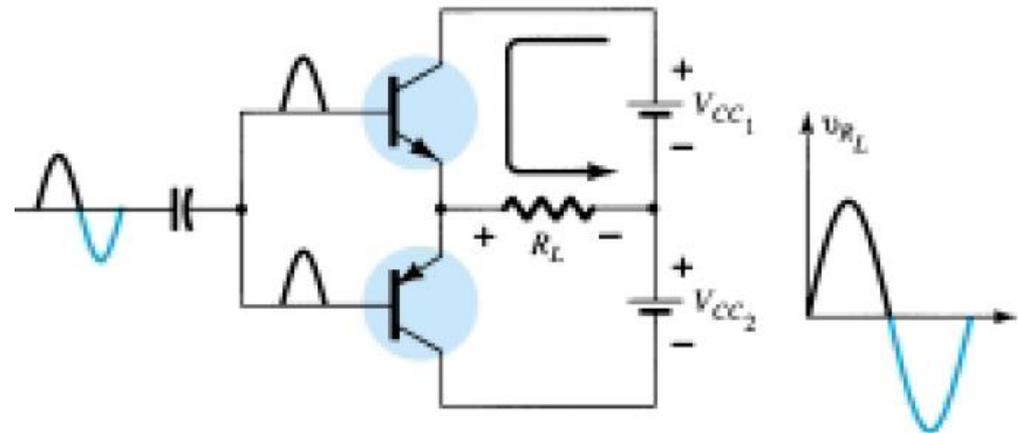


- Amplificação

- Pequeno sinal: linearidade e ganho tensão
- Grandes sinais: ganho de potência
 - Eficácia de potência, casamento de impedância

- Classificação

- Classe A: 360° (sem saturação)
- Classe B: 180° (polarização cc em 0v)
- Classe C: $< 180^\circ$
- Classe D: digital



A

AB

B

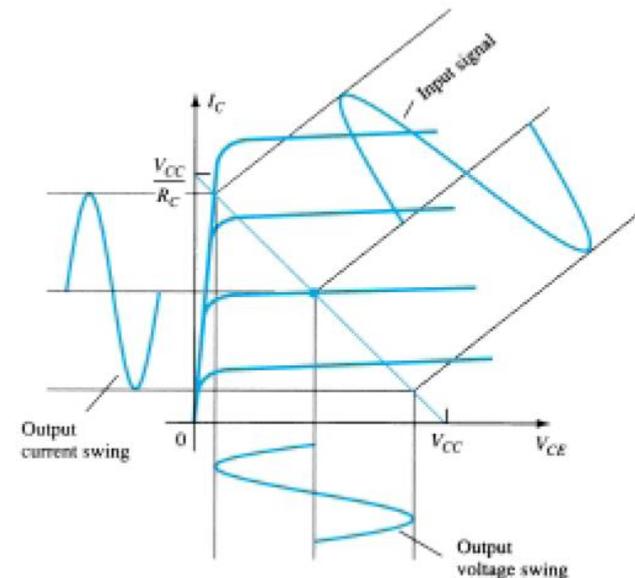
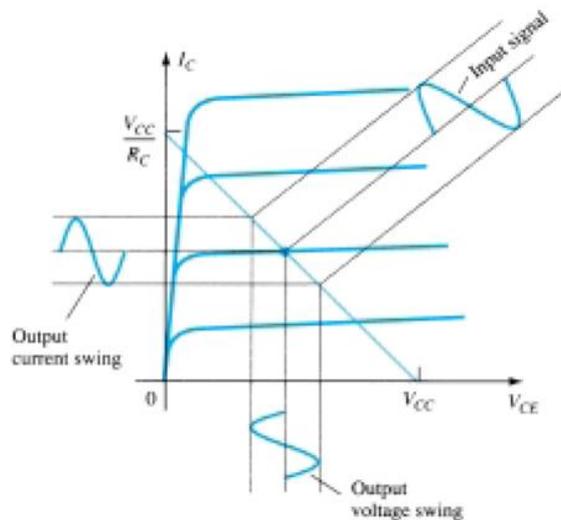
C*

D

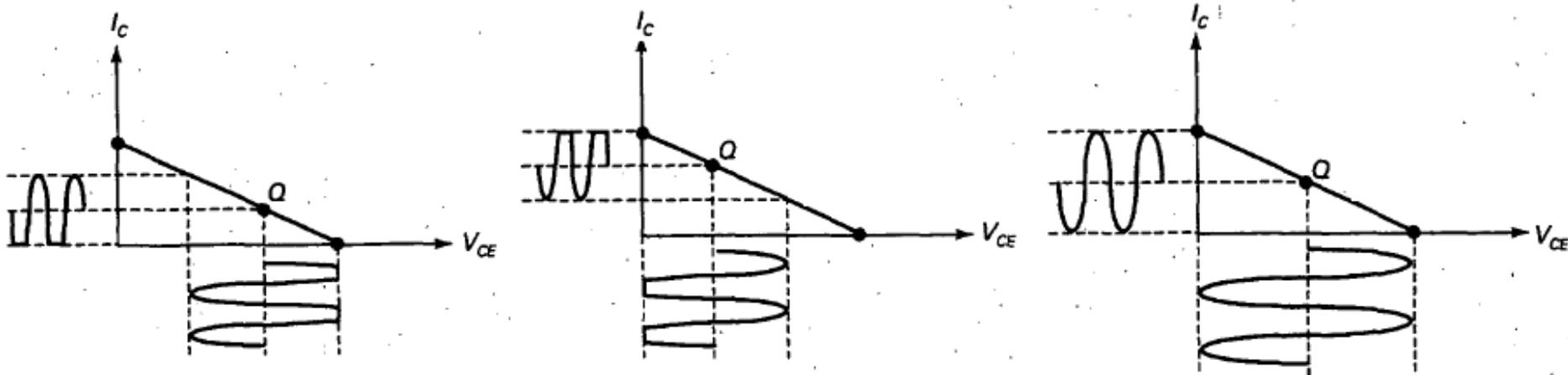
Operating cycle	360°	180° to 360°	180°	Less than 180°	Pulse operation
Power efficiency	25% to 50%	Between 25% (50%) and 78.5%	78.5%		Typically over 90%

• Eficiência do amplificador

- A: muita potência na polarização
- B: sem potência de polarização na ausência de sinal



- Ceifamento:



- Máxima tensão de pico (MP): $\min(I_{CQ}r_c, V_{CEQ})$
- Máxima tensão de pico-a-pico = $2MP$
- Para um bom projeto: $I_{CQ}r_c = V_{CEQ}$

Amplificador classe A

- Potência de entrada: $P_i(cc) = V_{cc} I_{CQ}$
- Potência de saída:

Valores eficazes

$$P_o(ca) = V_{ce} I_C$$

$$P_o(ca) = I_C^2 R$$

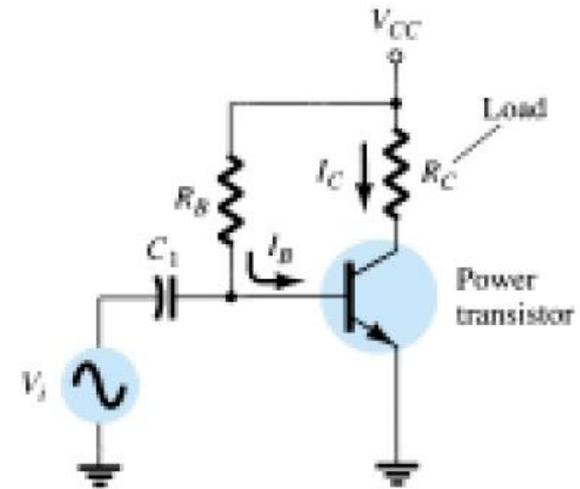
$$P_o(ca) = \frac{V_C^2}{R}$$

Valores de pico

$$P_o(ca) = \frac{V_{ce} I_C}{2}$$

$$P_o(ca) = \frac{I_C^2}{2} R$$

$$P_o(ca) = \frac{V_{CE}^2}{2R}$$



Valores pico-a-pico

$$P_o(ca) = \frac{V_{ce} I_C}{8}$$

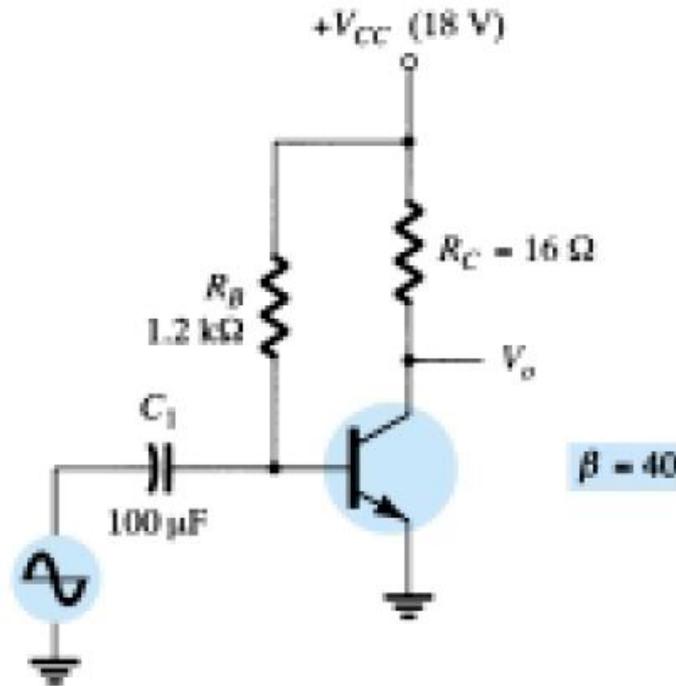
$$P_o(ca) = \frac{I_C^2}{8} R$$

$$P_o(ca) = \frac{V_{CE}^2}{8R}$$

- Eficiência:

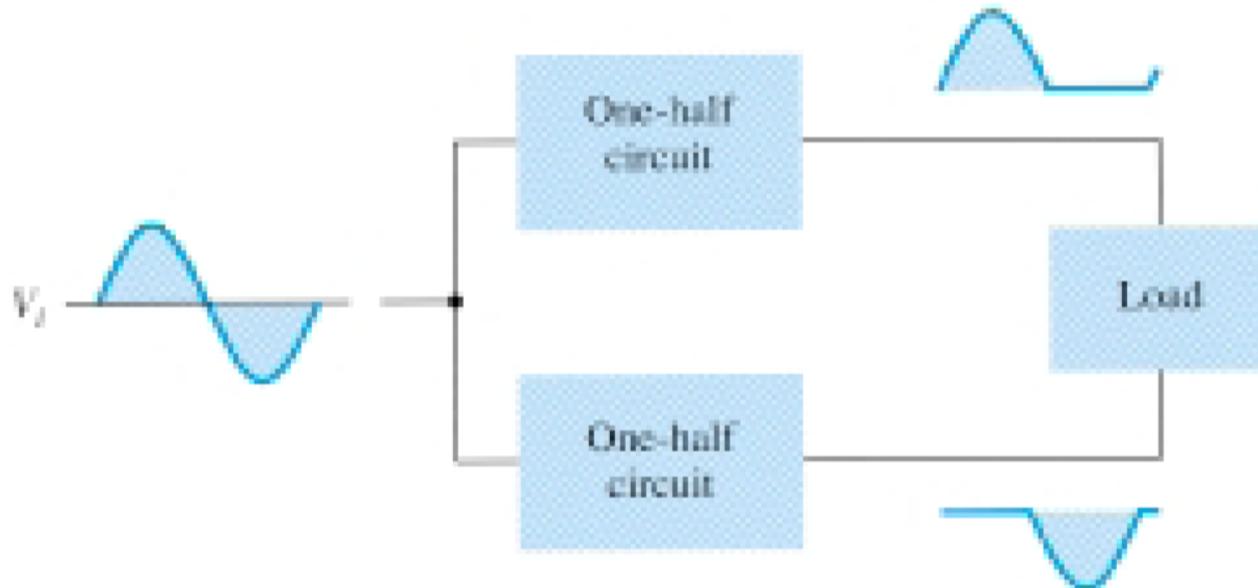
$$\eta = \frac{P_o(ca)}{P_i(cc)}$$

Exemplo: Calcule a potência de entrada e saída para o circuito da figura abaixo. O sinal de entrada resulta em uma corrente de base de 5mA rms.

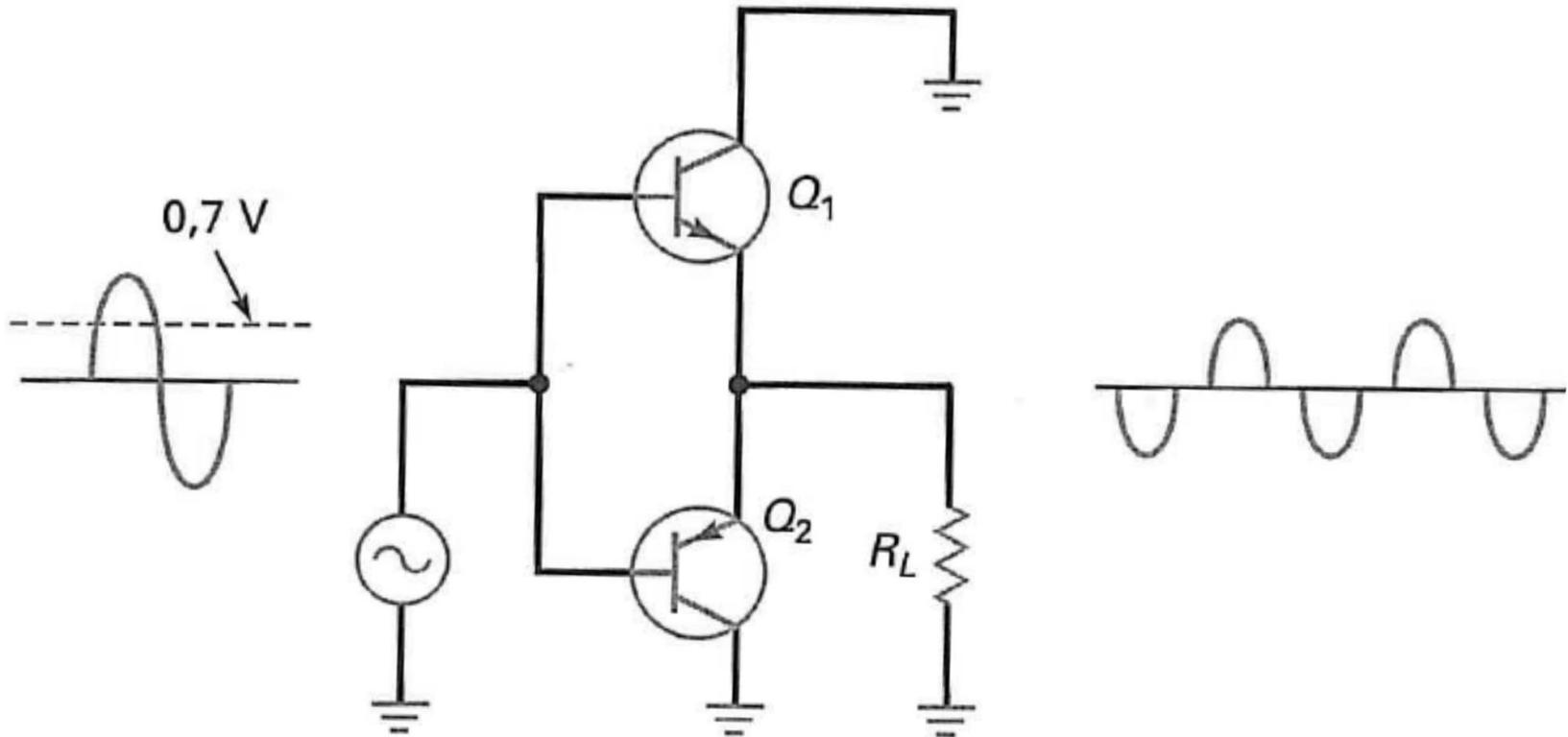


Amplificador classe B

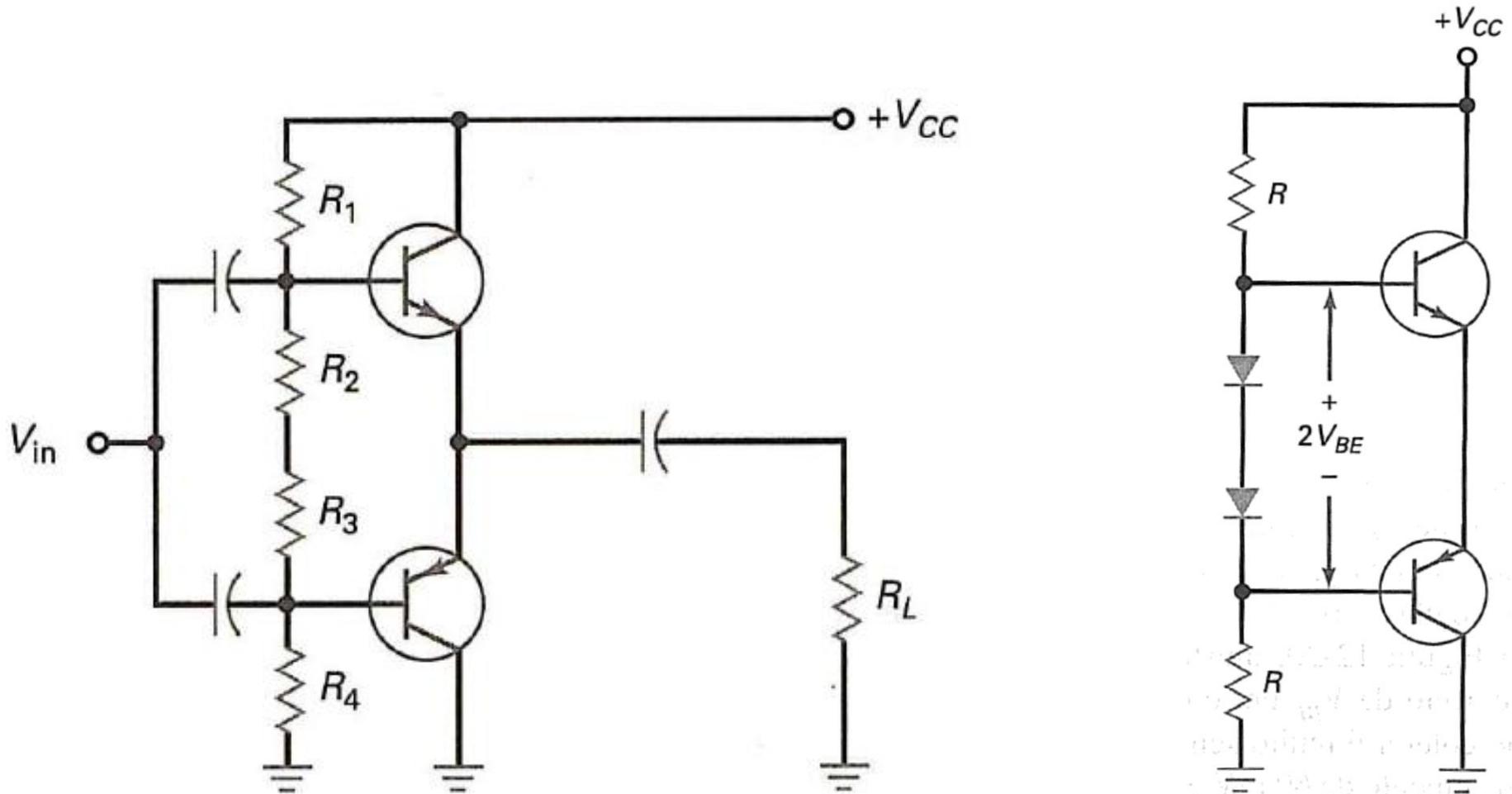
- Praticamente não é polarizado
 - Conduz corrente somente um semi-ciclo do sinal
- 2 transistores: push-pull
 - Cada um conduz um pedaço de semi-ciclo



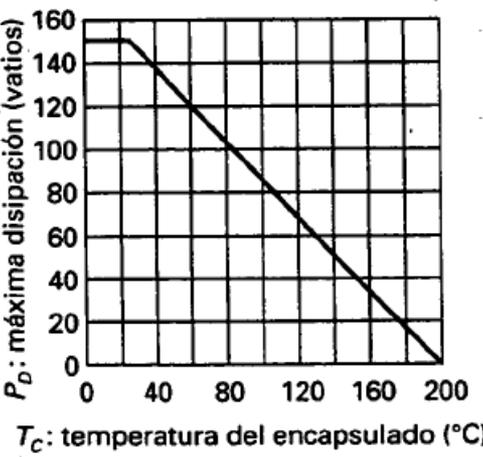
- Distorção de cruzamento



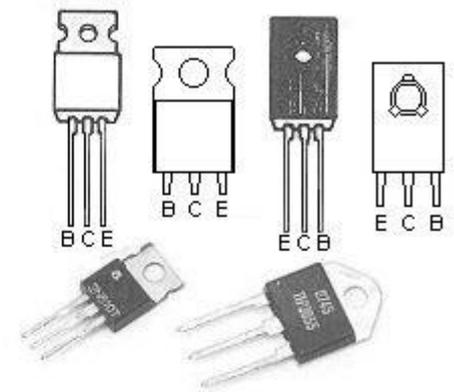
- Classe B com seguidor de emissor simétrico



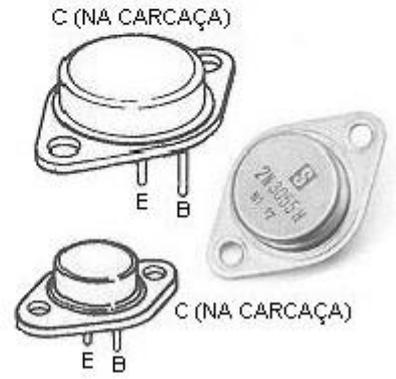
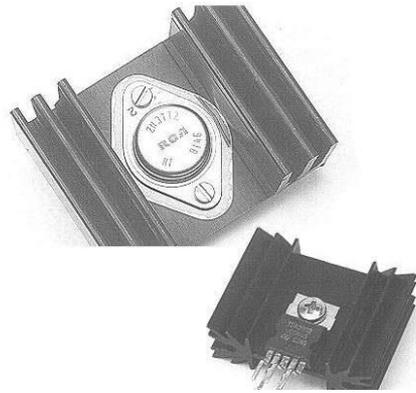
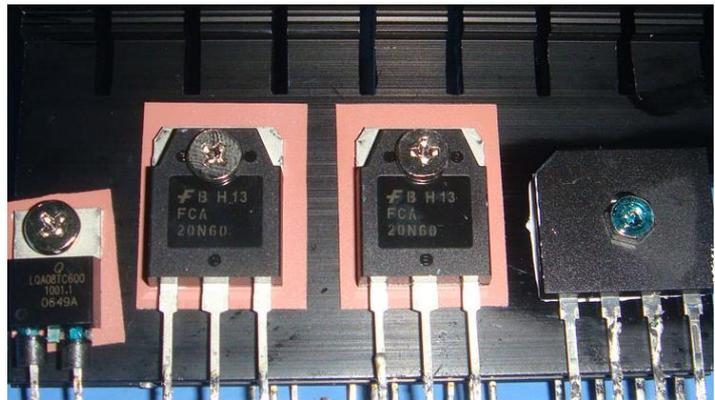
- Dissipador para transistor de potência



TRANSISTORES DE BAIXA POTÊNCIA



TRANSISTORES DE MÉDIA POTÊNCIA



TRANSISTORES DE ALTA POTÊNCIA

Conexão Darlington

- Ganho de corrente = $\beta_1\beta_2$
- Impedância de entrada muito alta
- $V_{BE_darlington} = 2V_{BE}$

