

26ª Aula:

Parte 1: Estudo do Amplificador Coletor Comum

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

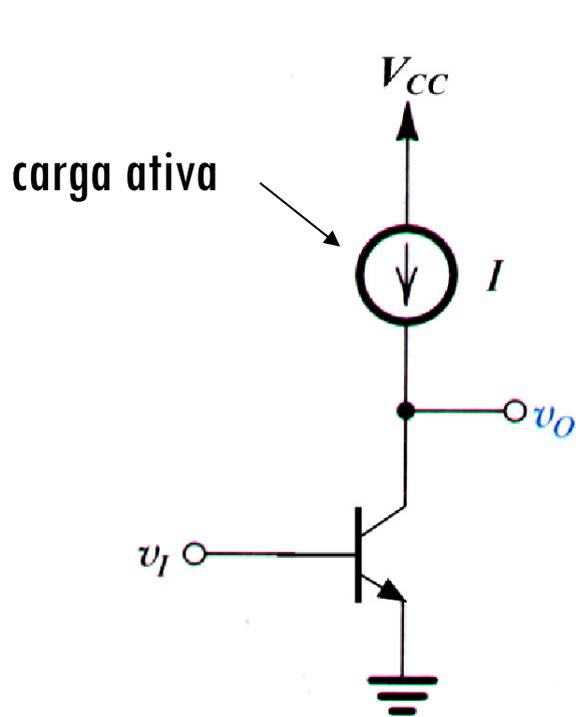
- **Discorrer sobre as diferentes características de amplificação das configurações de amplificadores mais comuns (emissor, base e coletor comum)**
- **Determinar o tipo de configuração de amplificador (emissor, base ou coletor comum) a ser utilizada dependendo das especificações solicitadas (ganhos, impedâncias)**

PSI 3321–Eletrônica I

Programação para a Segunda Prova

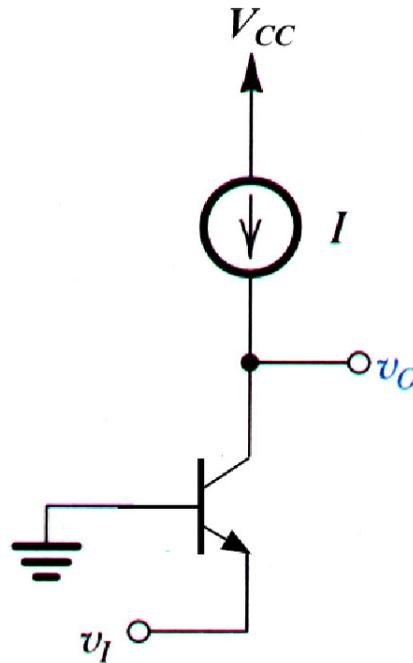
21 ^a 17/05	Análise cc de circuitos com transistores, exercícios selecionados: 5.1, 5.4, 5.10.	Sedra, Cap. 5 p. 246 + 264- 269	Teste 19 7h30-7h45
22 ^a 21/05	O TBJ como amplificador para pequenos sinais (as condições c.c., a corrente de coletor e a transcondutância)	Sedra, Cap. 5, p. 263-264; p. 275-276.	Teste 20 9h20-9h35
23 ^a 24/05	A corrente de base e a resistência de entrada da base, a resistência de entrada do emissor. Ganho de tensão, Exemplo 5.38, modelos equivalentes (modelos π -híbrido e T)	Sedra, Cap. 5, p. 276-279	Teste 21 7h30-7h45
24 ^a 28/05	Aplicação dos modelos equivalentes para pequenos sinais, Efeito Early. O amplificador emissor comum (EC) - Exercício 5.43	Sedra, Cap. 5 p. 290-293	Teste 22 9h20-9h35
25 ^a 31/05	O amplificador emissor comum com resistência de emissor	Sedra, Cap. 5 p.293-295	Teste 23 7h30-7h45
26 ^a 04/06	O amplificador base comum (BC)	Sedra, Cap. 5 p. 296-297	Teste 24 9h20-9h35
27 ^a 07/06	O amplificador coletor comum (CC)	Sedra, Cap. 5 p. 297-302	Teste 25 7h30-7h45
28 ^a 11/06	Aula de Exercícios		
2^a. Semana de Provas (13/06 a 19/06/2019)			
Data: xx/xx/2018 (xxxx-feira) – Horário: xx:xxh			
Prova Substitutiva (24/06 a 28/06/2019)			
Data: xx/xx/2018 (xxxx-feira)– Horário: xx:xxh			
Prova de Recuperação (22/07 a 26/07/2018)			
Data: xx/xx/2019 (xxxx-feira)– Horário: xx:xxh			

Configurações Básicas de Amplificadores TBJ em CIs



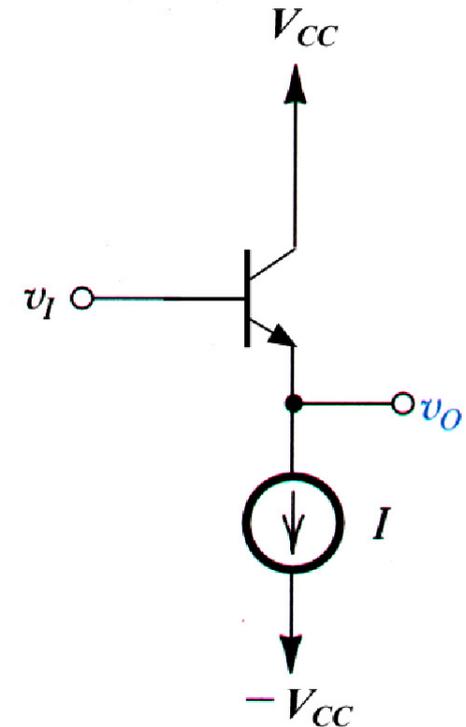
(a)

Emissor Comum
(EC)



(b)

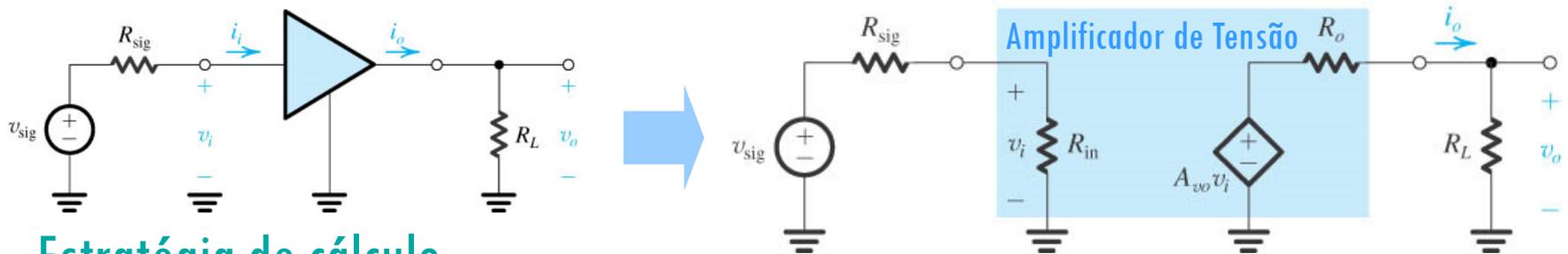
Base Comum
(BC)



(c)

Coletor Comum
(CC)

Uma palavra sobre Circuitos Amplificadores (novamente II)



Estratégia de cálculo:

1. Ganho de Tensão: Determinar diretamente a relação v_o por v_i (ou V_{sig}).
2. Impedância de Entrada: Determinar diretamente a relação v_i por i_i
3. Impedância de Saída: Curto-circuitar a fonte de tensão de entrada (v_{sig}) e determinar a relação v_x por i_x
4. Ganho de Corrente (em curto circuito): Curto-circuitar a saída (R_L) e determinar a corrente i_o

$$A_v = \left. \frac{v_o}{v_i} \right|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$R_{in} = \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$R_{out} = \left. \frac{v_x}{i_x} \right|_{v_{sig}=0}$$

$$A_{is} = \left. \frac{i_{os}}{i_i} \right|_{\text{Carga}=\text{curto}} \quad (\text{max } A_i)$$

$$G_v = \left. \frac{v_o}{v_{sig}} \right|_{\text{Carga}=R_L}$$

Relações

$$\bullet \frac{v_i}{v_{sig}} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}}$$

$$\bullet A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$\bullet A_{vo} = G_m R_o$$

$$\bullet G_v = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{sig}} A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$\bullet G_{vo} = \frac{R_i}{R_i + R_{sig}} A_{vo}$$

$$\bullet G_v = G_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_{out}}$$

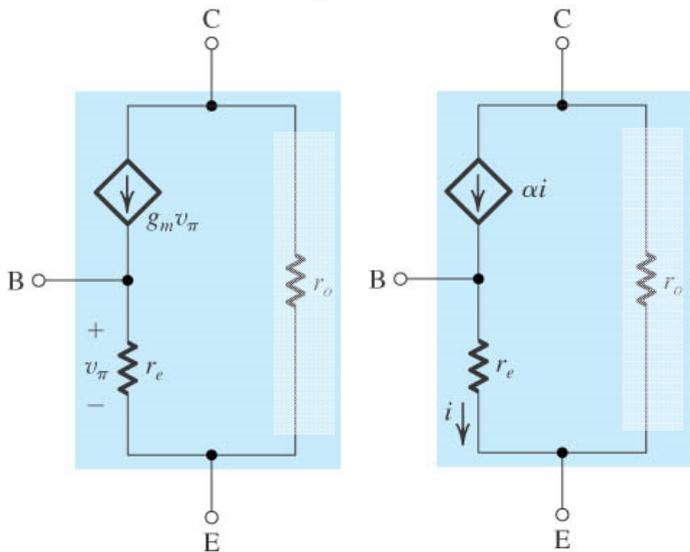
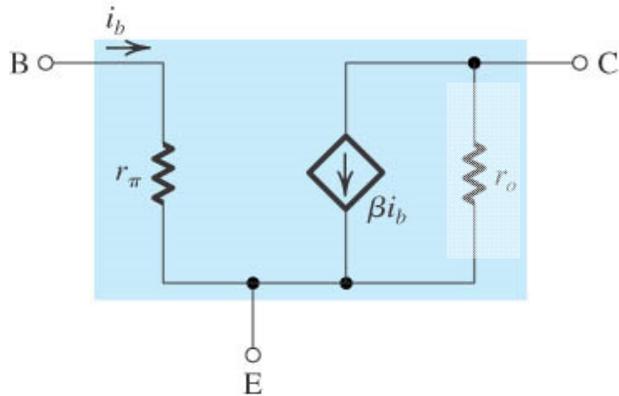
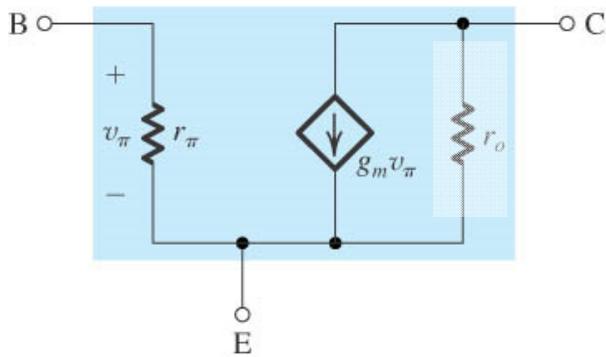


Tabela 4.3 RELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DO MODELO PARA PEQUENOS SINAIS DO TBJ

Parâmetros do Modelo em Termos das Correntes de Polarização cc :

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \qquad r_e = \frac{V_T}{I_E} = \alpha \left(\frac{V_T}{I_C} \right)$$

$$r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \beta \left(\frac{V_T}{I_C} \right) \qquad r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

Em termos de g_m :

$$r_e = \frac{\alpha}{g_m} \qquad r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

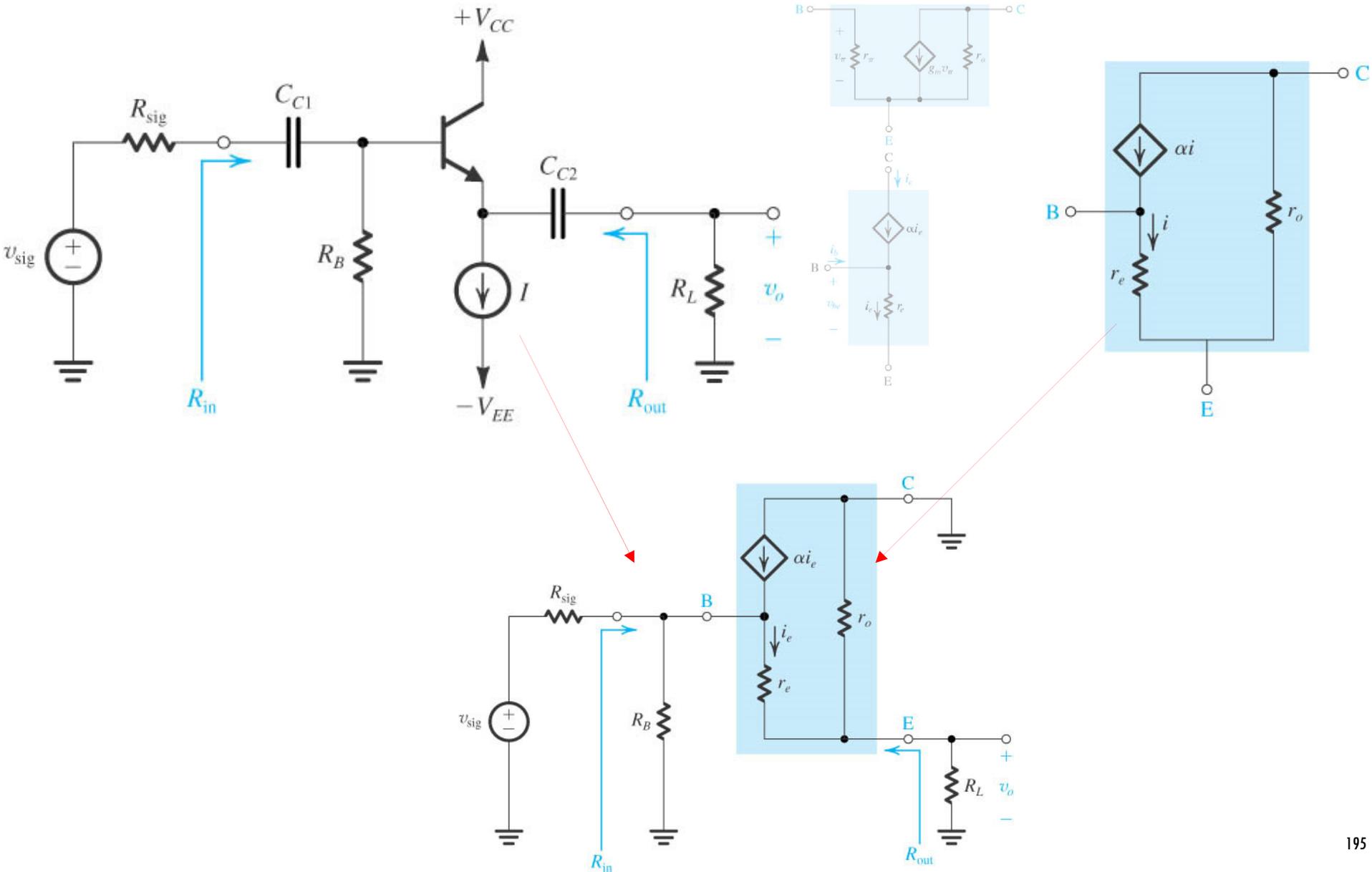
Em termos de r_e :

$$g_m = \frac{\alpha}{r_e} \qquad r_\pi = (\beta + 1)r_e \qquad g_m + \frac{1}{r_\pi} = \frac{1}{r_e}$$

Relações entre α e β :

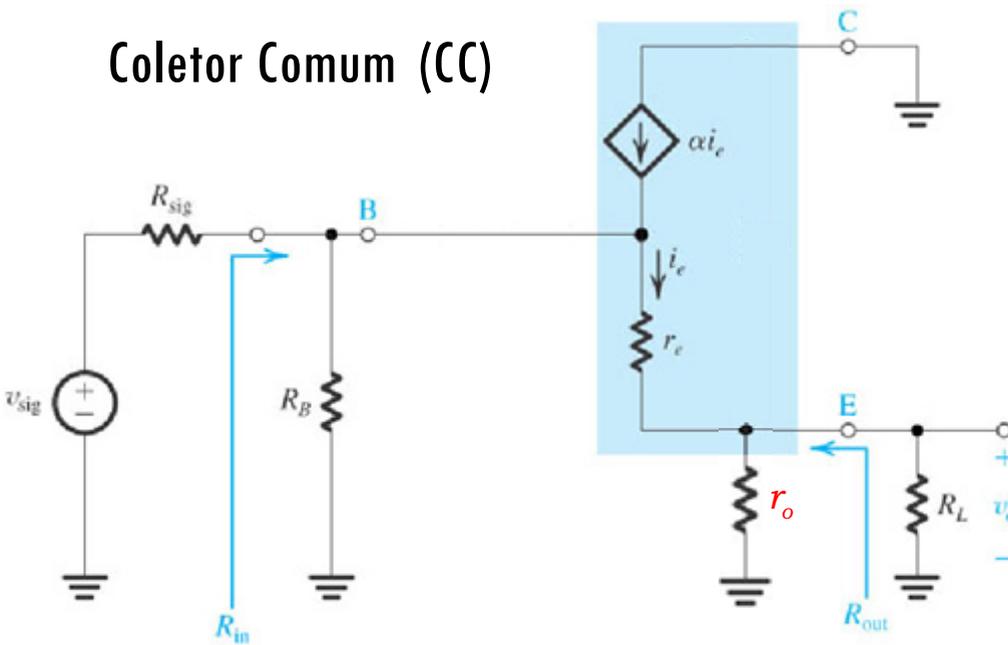
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \qquad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \qquad \beta + 1 = \frac{1}{1 - \alpha}$$

O Amplificador TBJ Coletor Comum

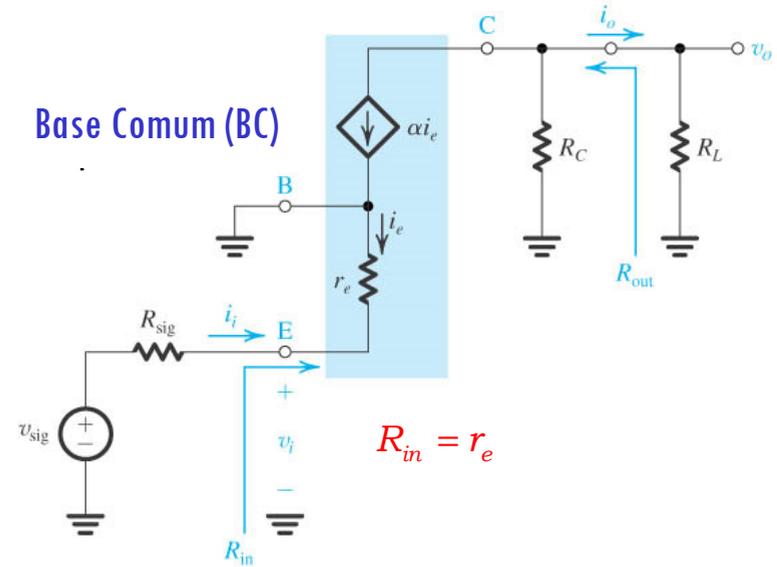


O Amplificador TBJ Coletor Comum ($R_{in} = ?$)

Coletor Comum (CC)



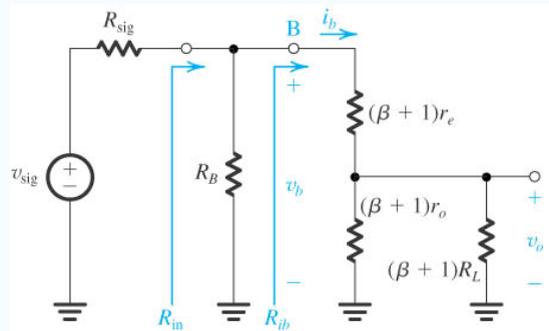
Base Comum (BC)



$$R_{in} = r_e$$

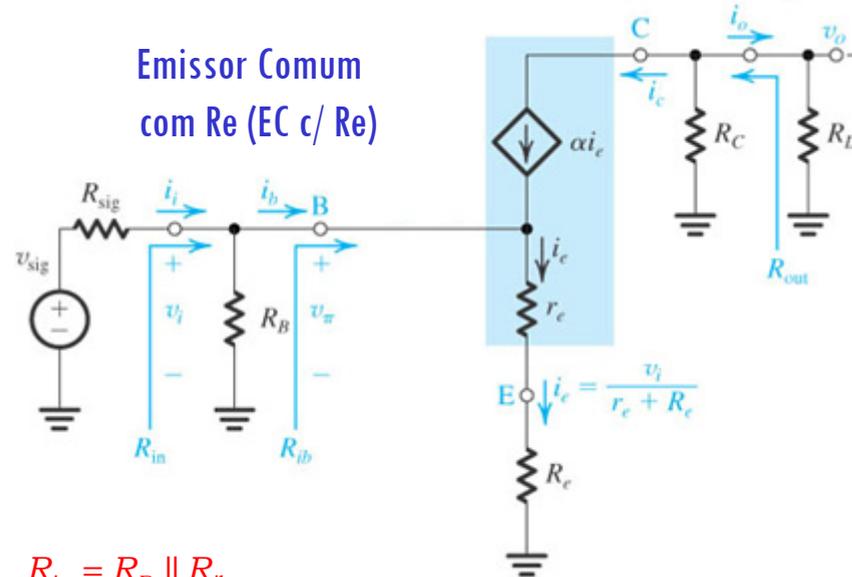
Amplificador Bilateral (saída influencia na entrada)

$$R_{in} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$



$$R_{in} = R_B \parallel R_{ib_{cc}} = R_B \parallel [(\beta + 1)(r_e + r_o \parallel R_L)]$$

Emissor Comum com Re (EC c/ Re)



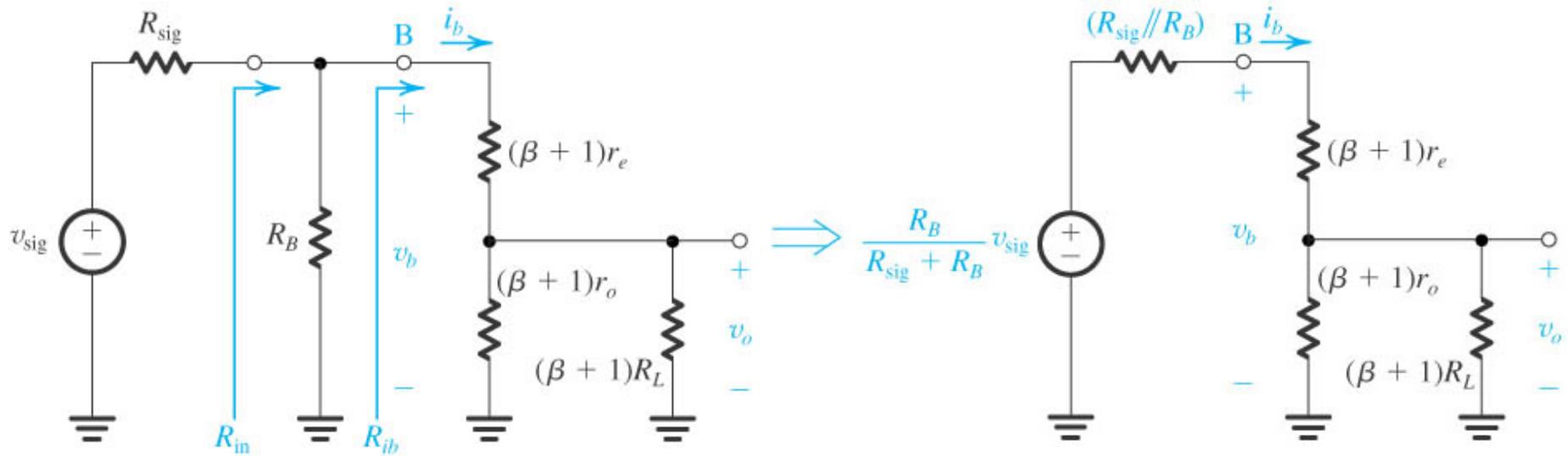
$$R_{in} = R_B \parallel R_{ib} = R_B \parallel [(\beta + 1)(r_e + R_e)]$$

O Amplificador TBJ Coletor Comum ($A_v = ?$)

$$R_{in} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$G_v = \frac{v_o}{v_{sig}} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$



$$R_{in} = R_B \parallel (\beta + 1)[r_e + (r_o \parallel R_L)]$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_i \frac{(\beta + 1)(r_o \parallel R_L)}{(\beta + 1)r_e + (\beta + 1)(r_o \parallel R_L)}}{v_i} = \frac{(r_o \parallel R_L)}{r_e + (r_o \parallel R_L)}$$

$$G_v = \frac{v_o}{v_{sig}} = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} \frac{(\beta + 1)(r_o \parallel R_L)}{(R_{sig} \parallel R_B) + (\beta + 1)[r_e + (r_o \parallel R_L)]}$$

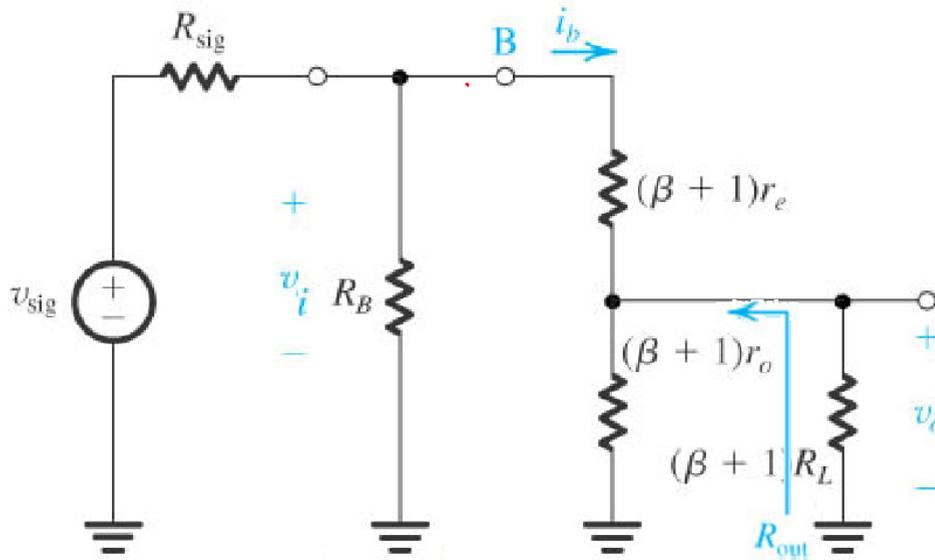
O Amplificador TBJ Coletor Comum ($R_{out} = ?$)

$$R_{in} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$G_v = \frac{v_o}{v_{sig}} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$R_{out} = \frac{v_x}{i_x} \Big|_{v_{sig}=0}$$



$$R_{out} = r_o \parallel \left(r_e + \frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1} \right) \cong r_e + \frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1}$$

O Amplificador TBJ Coletor Comum ($A_{is} = ?$)

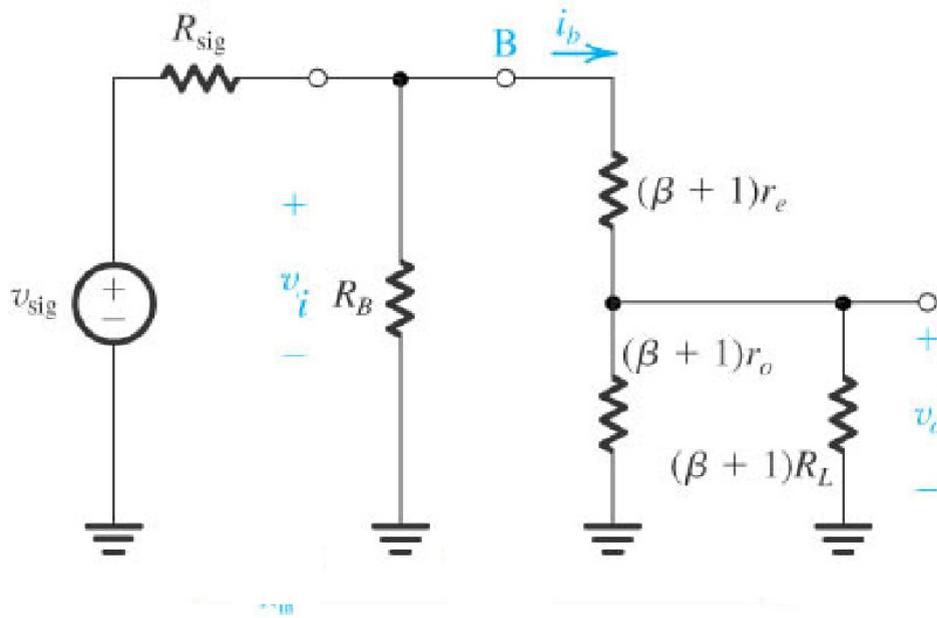
$$R_{in} = \frac{v_i}{i_i} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$G_v = \frac{v_o}{v_{sig}} \Big|_{\text{Carga}=R_L}$$

$$R_{out} = \frac{v_x}{i_x} \Big|_{v_{sig}=0}$$

$$A_{is} = \frac{i_{os}}{i_i} \Big|_{\text{Carga}=\underline{\text{curto}}} \quad (\text{max } A_i)$$



$$i_{os} = i_e$$

$$i_i = i_b + i_{R_B}$$

$$i_{R_B} = \frac{v_i}{R_B} = \frac{i_e r_e}{R_B}$$

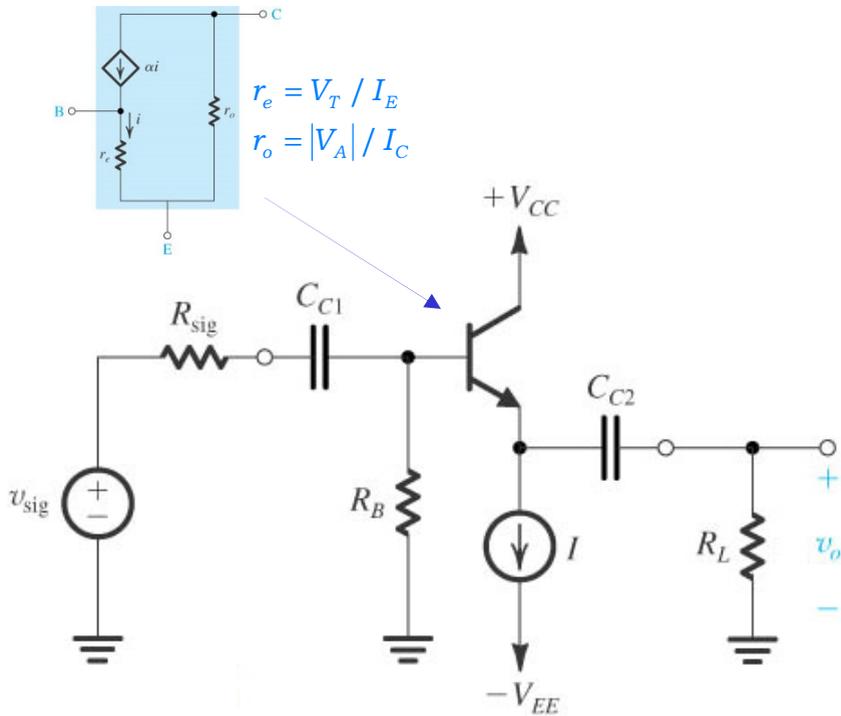
$$i_i = \frac{i_e}{\beta + 1} + \frac{i_e r_e}{R_B}$$

$$i_i = i_{os} \left(\frac{1}{\beta + 1} + \frac{r_e}{R_B} \right)$$

$$\frac{i_{os}}{i_i} = \frac{1}{\frac{1}{\beta + 1} + \frac{r_e}{R_B}}$$

$$A_{is} \cong \beta + 1$$

O Amplificador TBJ Coletor Comum



Amplificador Isolador (Buffer) ou Seguidor de Emissor

$$A_v \cong \frac{(r_o \parallel R_L)}{r_e + (r_o \parallel R_L)} \quad G_v = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} A_v$$

$$A_{is} \cong \beta + 1$$

$$R_{in} = R_B \parallel [(\beta + 1)(r_e + r_o \parallel R_L)]$$

$$R_{out} \cong r_e + \frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1}$$

Qual a excursão máxima do sinal na entrada?

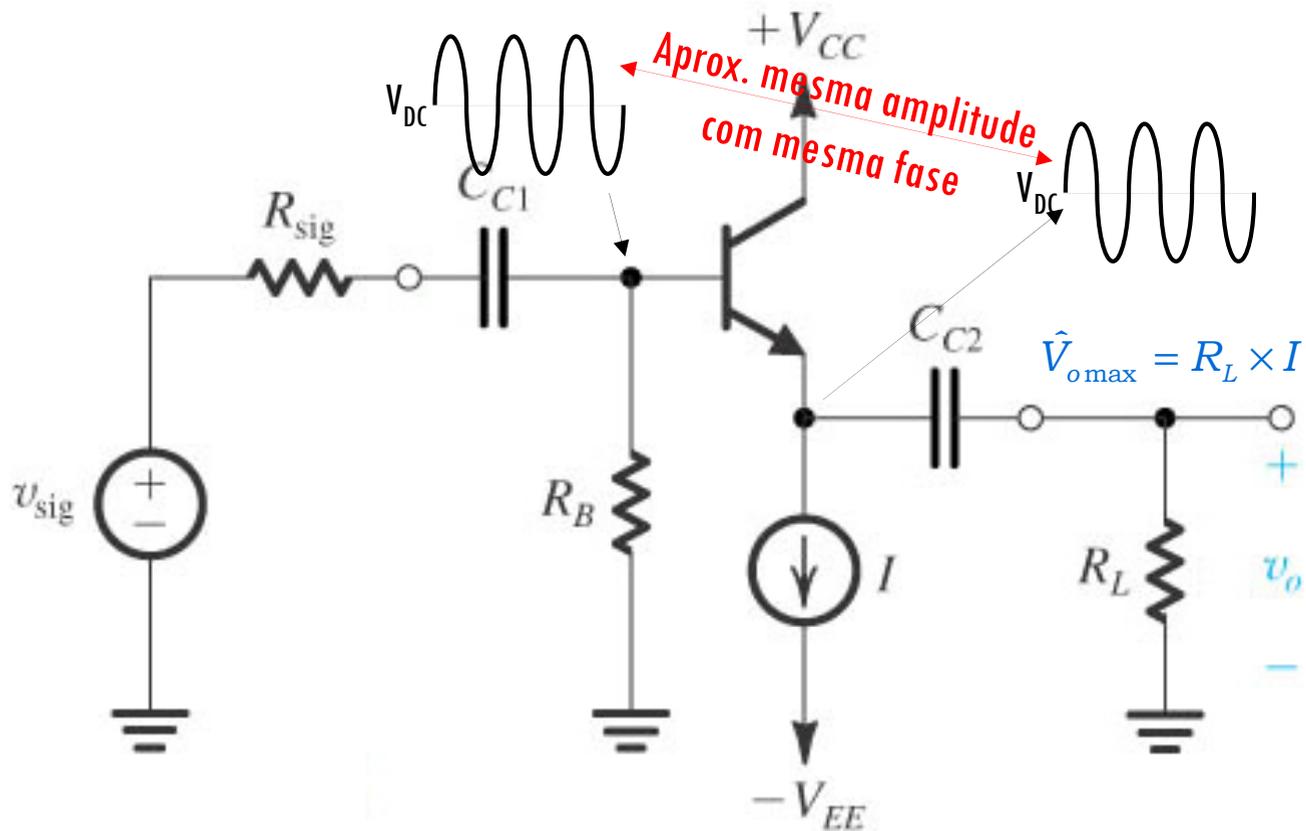
- Para cima, tende a saturar o transistor: $v_{e \max} = v_{o \max} = V_{CC} - 0,2V$
- Para baixo, tende a cortar o transistor: $v_{o \min} = -R_L \times I$

▶ limites

$$v_{sig} = \frac{-R_L \times I}{G_v}$$

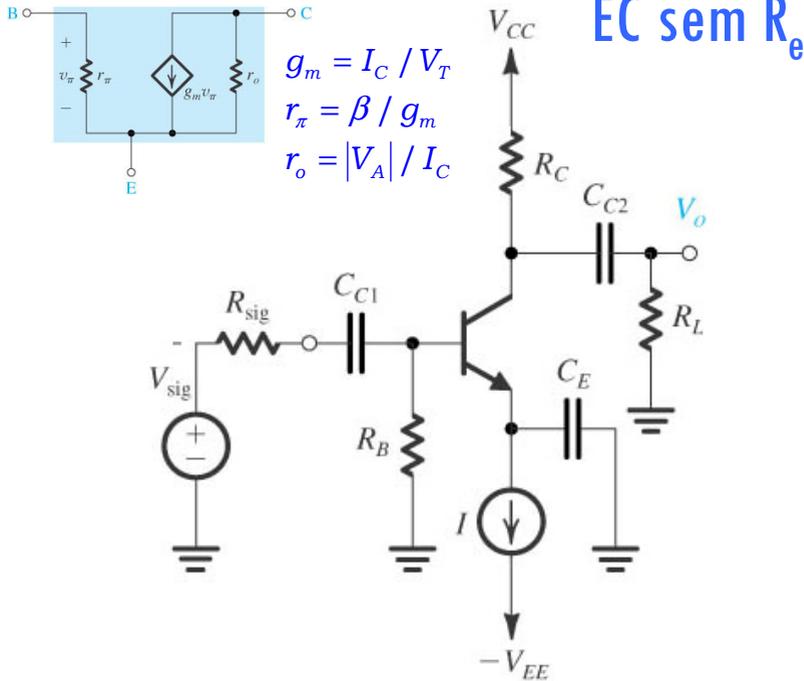
O Amplificador TBJ Coletor Comum

Amplificador isolador (buffer)
ou Seguidor de Emissor



Mas com ganho de corrente = $(\beta + 1)$

Os Amplificadores TBJ Emissor Comum sem e com R_e



$$A_v = -g_m (r_o \parallel R_C \parallel R_L)$$

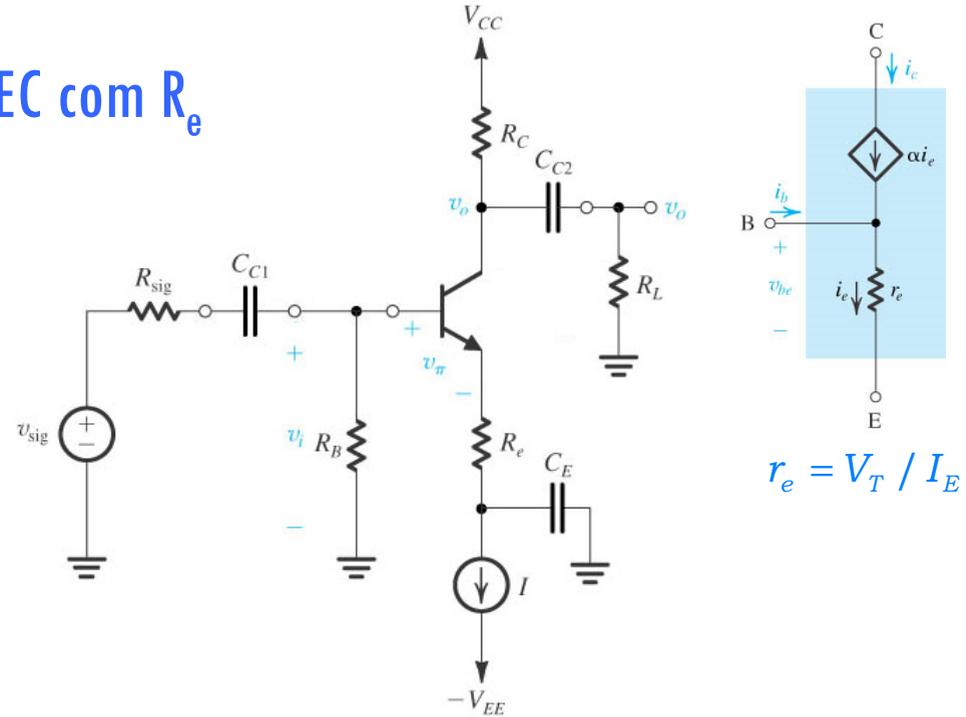
$$G_v = \frac{v_i}{v_{sig}} A_v = \frac{(R_B \parallel r_\pi)}{(R_B \parallel r_\pi) + R_{sig}} A_v$$

$$R_{in} = R_B \parallel r_\pi$$

$$R_{out} = (r_o \parallel R_C)$$

$$A_{is} \approx -g_m r_\pi = -\beta$$

EC com R_e



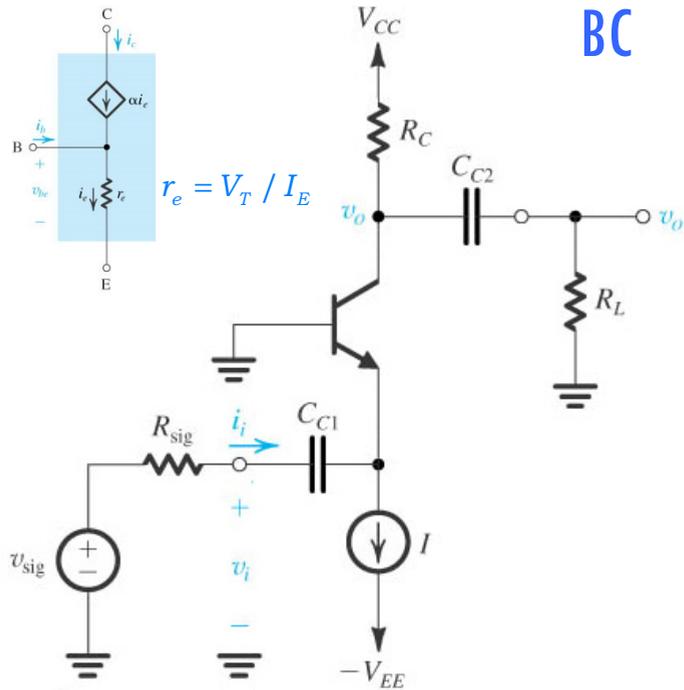
$$A_v = -\frac{\alpha (R_C \parallel R_L)}{r_e + R_e} \cong -\frac{g_m (R_C \parallel R_L)}{1 + g_m R_e}$$

$$G_v = \frac{v_i}{v_{sig}} A_v \cong \frac{\beta (R_C \parallel R_L)}{R_{sig} + (\beta + 1)(r_e + R_e)}$$

$$R_{in} = R_B \parallel R_{ib} = R_B \parallel [R_{ib} = (\beta + 1)(r_e + R_e)]$$

$$R_{out} = R_C \quad A_{is} = -\frac{\alpha (R_B \parallel R_{ib})}{r_e + R_e} \approx -\beta$$

Os Amplificadores TBJ Base Comum e Coletor Comum



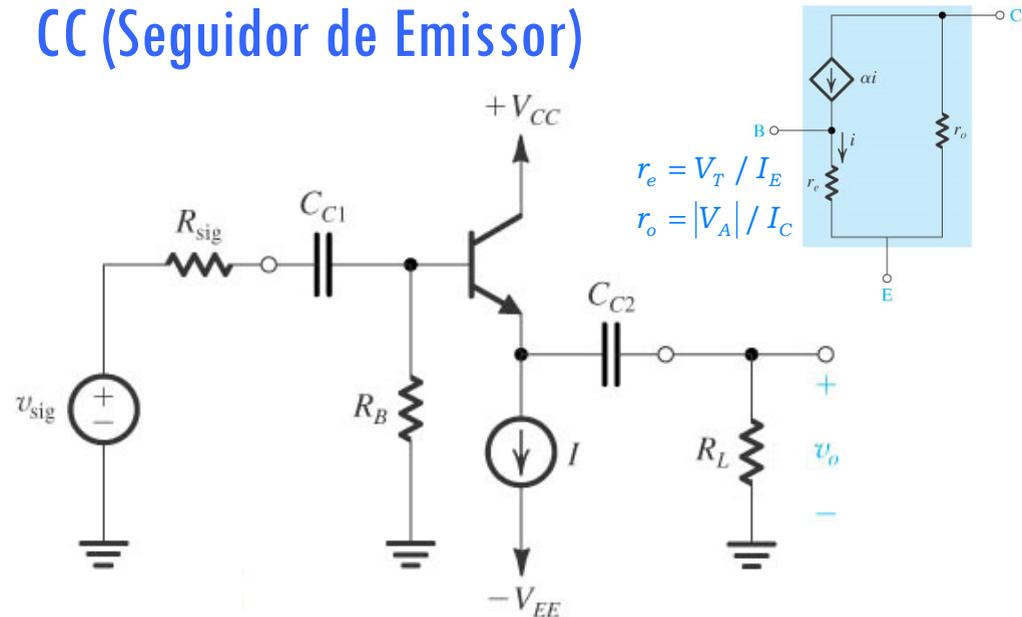
$$A_v = g_m (R_C \parallel R_L) \quad A_{v_o} = g_m R_C$$

$$R_{in} = r_e$$

$$R_{out} = R_C \quad G_v = \frac{\alpha (R_C \parallel R_L)}{r_e + R_{sig}}$$

$$A_{is} \cong \alpha$$

CC (Seguidor de Emissor)



$$A_v \cong \frac{(r_o \parallel R_L)}{r_e + (r_o \parallel R_L)} \quad G_v = \frac{R_B}{R_{sig} + R_B} A_v$$

$$R_{in} = R_B \parallel [(\beta + 1)(r_e + r_o \parallel R_L)]$$

$$R_{out} \cong r_e + \frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1} \quad G_v = \frac{R_B}{R_B + R_{sig}} \frac{(r_o \parallel R_L)}{\frac{R_{sig} \parallel R_B}{\beta + 1} r_e + (r_o \parallel R_L)}$$

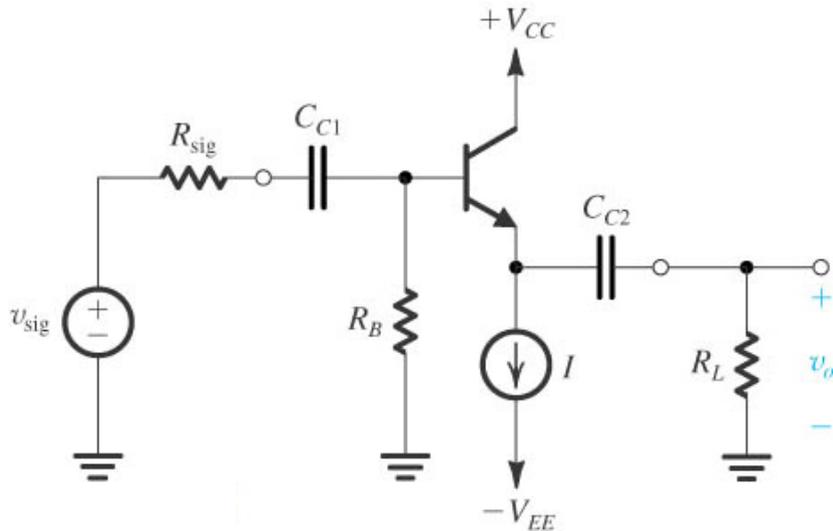
$$A_{is} \cong \beta + 1$$

Comparação entre as montagens de amplificadores TBJ EC sem/com R_e , BC e CC (Seguidor de Emissor)

1. A configuração emissor comum oferece um ganho geral melhor que as outras. Se o ganho a ser obtido é muito elevado, considere utilizar mais que um estágio.
2. A inclusão de um resistor R_e na montagem EC introduz melhoras na impedância de entrada e resposta em frequência mas reduz o ganho.
3. A montagem BC possui baixa impedância de entrada e por isso é utilizada em poucas aplicações. Por outro lado, como possui uma resposta em frequência muito boa, é muito utilizada em amplificadores de alta frequência.
4. O Seguidor de Emissor (CC) é um isolador de tensão, conectando fontes de elevada resistência a cargas de baixa resistência, sendo adequada a estágios de saída de amplificadores

Exemplo 5.47: O amplificador seguidor de emissor abaixo é utilizado para conectar uma fonte com $R_{sig} = 10k\Omega$ em uma carga $R_L = 1k\Omega$. O TBJ (transistor bipolar de junção) é polarizado com $I = 5mA$, utiliza uma resistência $R_B = 40k\Omega$ e possui $\beta = 100$ e $V_A = -100V$.

- Qual a estratégia de análise que você vai usar? Escreva-a antes de ler a estratégia de análise sugerida.
- Determine R_{in} , A_v , G_v e R_{out} . Qual é a máxima amplitude de pico de uma senóide de saída que pode ser obtida sem que ocorra o corte do transistor?
- Se, para limitar a distorção do sinal na saída, chamada de distorção não-linear, o sinal de emissor-base é limitado a 10mV de pico, qual a correspondente amplitude de saída?
- Qual é o ganho global de tensão se R_L for mudado para $2k\Omega$?
- E para 500Ω ?



Estratégia de análise sugerida:

- Determine, se necessário, o ponto de operação cc do TBJ e em particular o valor da corrente cc de coletor, I_C
- Calcule os valores dos parâmetros do modelo para pequenos sinais: $g_m = I_C/V_T$, $r_{\pi} = \beta/g_m$ e/ou outros parâmetros (r_d , $r_e = V_T/I_E$)
- Elimine as fontes cc substituindo cada fonte cc de tensão por um curto-circuito e cada fonte cc de corrente por um circuito aberto. Substitua os capacitores externos por curtos (freq medias).
- Substitua a TBJ por um dos seus modelos equivalentes. Embora qualquer um dos modelos possa ser utilizado, um deles deve ser mais conveniente dependendo do circuito a ser analisado.
- Analise o circuito resultante para determinar as grandezas de interesse (por exemplo, ganho de tensão, resistência de entrada).