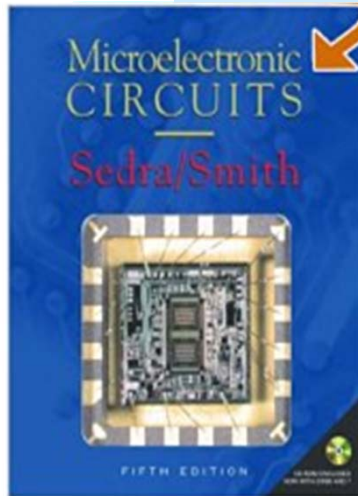


Transistor Bipolar de Junção TBJ



Cap. 4 Sedra/Smith
Cap. 8 Boylestad
Cap. 10 Malvino

Amplificador EC



Notas de Aula SEL 313 Circuitos Eletrônicos 1 Parte 6

1º Sem/2017 Prof. Manoel

Análise de Amplificadores Básicos

Amplificador de **estágios simples** : 1 TBJ por amplificador.

Configurações básicas :

Emissor Comum	EC
Base-Comum	BC
Coletor-Comum	CC

Objetivos :

Impedância de Entrada	R_i	(Z_i)
Impedância de Saída	R_0	(Z_0)
Ganho de Tensão	A_v	
Ganho de Corrente	A_i	
Resposta em Frequência	(→ Circuitos Eletrônicos 2)	

Procedimentos : Modelos Pequenos Sinais e Análise de Circuitos Elétricos CA

Amplificador Emissor-Comum

Esta configuração já foi estudada em vários exemplos. A seguir é mostrada uma configuração com polarização por fonte de corrente CC no emissor. Os capacitores são considerados de capacitância infinita.

O capacitor C_E conecta portanto o emissor ao Terra para qualquer sinal CA. O sinal da fonte é aplicado entre a Base e Terra(Emissor) e é retirado entre Coletor e Terra(Emissor).

As impedâncias de entrada e de saída são indicadas por R_{in} e R_{Out} ou por R_i e R_o .

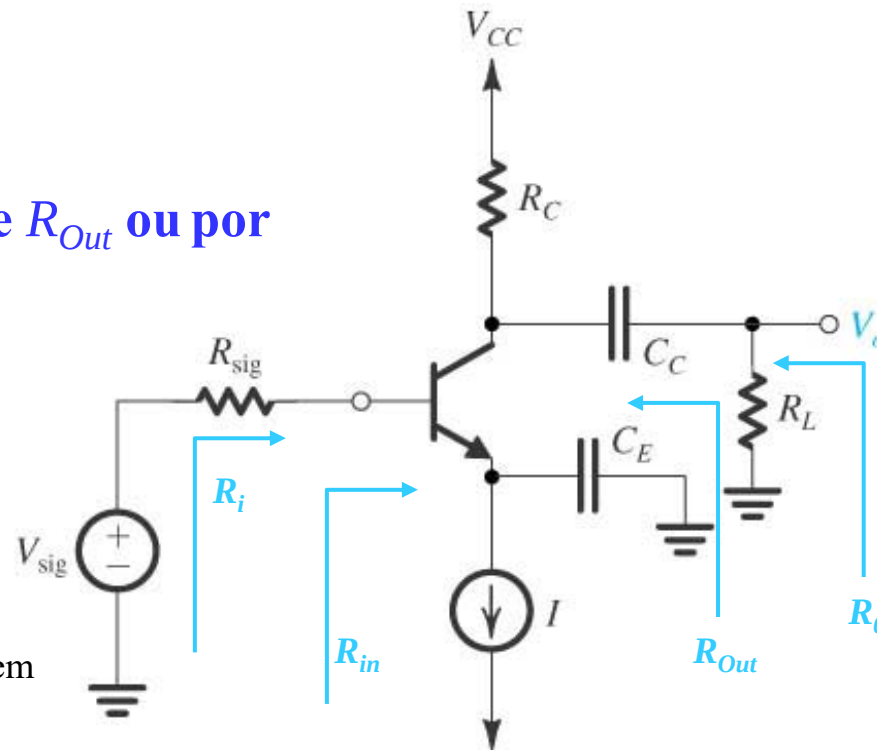


Figura 2.65 Configuração de Amplificador em Emissor-Comum.

Análise do caso Emissor-Comum

Para o circuito em questão o equivalente modelo e disposição para pequenos sinais é tal como a seguir. Aqui usou-se v_π para v_{be} e R_{in}/R_{out} para R_i/R_o .

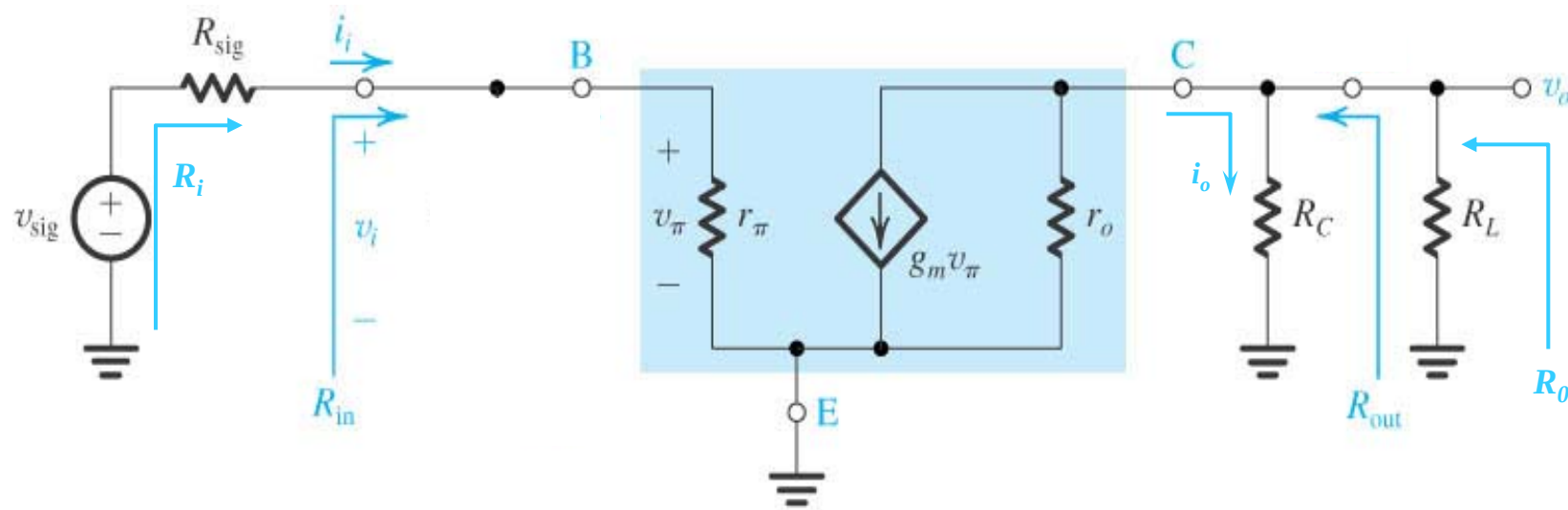


Figura 2.66 Circuito equivalente da Configuração de Amplificador em Emissor-Comum para análise CA.

Neste caso, o ganho de tensão será obtido em relação a v_s , portanto incluindo a resistência interna da fonte. OBS. A fonte v_s e R_s podem ser o equivalente de Thévenin de um estágio amplificador anterior, com saída v_s e impedância de saída R_s (as quais se tornam entrada deste estágio).

Ganho de Tensão

Pela inspeção do circuito, observa-se que v_π ou (v_{be}) é uma parcela da tensão da fonte CA no divisor resistivo ($R_S + r_\pi$).

$$v_\pi = \frac{r_\pi}{R_S + r_\pi} v_s \quad (2.44)$$

No circuito a resistência R_C é a única carga do amplificador, embora pudesse haver uma carga R_L conectada ao coletor através do capacitor C_C , portanto :

$$v_0 = -(g_m v_\pi)(R_C // r_0) \quad \Rightarrow \quad A_{v_\pi} = \frac{v_0}{v_\pi} = -g_m (R_C // r_0) \quad (2.45)$$

Usando v_π de (2.45) , e lembrando que $r_\pi = \beta / g_m$, chega-se ao ganho de tensão da fonte $v_s(t)$ para o coletor saída $v_0(t)$:

$$A_{vs} = \frac{v_0}{v_s} = -(g_m)(R_C // r_0) \frac{r_\pi}{R_S + r_\pi} = \frac{-\beta (R_C // r_0)}{R_S + r_\pi} \quad (2.46)$$

Se a fonte ou o estágio anterior tiver $R_S \ll r_\pi$, como desejável, então A_v será independente de β :

$$A_{vs} \cong \frac{v_0}{v_s} = -(g_m)(R_C // r_0) \quad (2.47)$$

Ganho de Corrente

Observando-se que a corrente de carga é uma parcela fonte de corrente no coletor através do divisor de corrente ($r_o // R_C$), chega-se a :

$$\begin{aligned} A_i &= \frac{i_o}{i_i} = \frac{i_o}{i_b} = \frac{-(g_m v_\pi) \cdot \frac{r_o}{R_C + r_o}}{\frac{v_\pi}{r_\pi}} \\ &= -\beta \frac{r_o}{R_C + r_o} \end{aligned} \quad (2.48)$$

Impedâncias de Entrada e de Saída

Por inspeção direta do circuito, obtém-se :

$$R_{in} = r_\pi \quad (2.49)$$

$$R_{out} = (r_o // R_C) \quad (2.50)$$

Resumo da Configuração Emissor-Comum

No caso de $r_o \gg R_C$, como é geralmente o caso, pode-se obter expressões aproxi-madas dos índices de desempenho do amplificador EC :

$$A_v = -g_m R_C \quad (2.51-a)$$

$$A_i = -\beta \quad (2.51-b)$$

$$R_{Out} = R_C \quad (2.51-c)$$

Tal como já esclarecido anteriormente, o β do TBJ representa o Ganho de Corrente em Emissor-Comum.

Em resumo pode-se delinear a seguintes propriedades do caso da configuração em Emissor –Comum (EC) :

A_v : de nível elevado;

A_i : também de valor elevado;

R_{in} : de valor moderado;

R_{Out} : de valor elevado (desvantagem !!).

Exemplo 2.12

Se na figura 2.65 $\beta = 100$, $I = 1\text{mA}$, $R_C = R_S = 5\text{k}\Omega$ e $V_A = 100\text{V}$, obter :

(a) os ganho de tensão e de corrente e as impedâncias de entrada e de saída;

(b) Se uma carga $R_L = 5\text{k}\Omega$ for ligada no capacitor C_C , re-avale o ganho de tensão.

Solução :

Parâmetros do modelo π :

$$I_C = \alpha I_E = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E = 0,99 \text{ mA}$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = 39,6 \text{ mA/V}$$

$$r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \beta \frac{V_T}{I_C} = 2525 \text{ } \Omega$$

$$r_0 = \frac{V_A}{I_C} = 101 \text{ k}\Omega$$

Ganho de Tensão Total : (eq. (2.46))

$$A_v = \frac{-\beta(R_C // r_0)}{R_S + r_\pi} = \frac{-100(5 // 101)\text{k}}{(5 + 2,525)\text{k}} = -63,3 \text{ V/V}$$

Ganho de Corrente : (eq.(2.48))

$$A_i = -\beta \frac{r_0}{R_C + r_0} = -100 \frac{101\text{k}}{(101 + 5)\text{k}} = -95,3 \text{ A/A}$$

Impedância de Entrada e Saída : eqs. (2.49) e (2.50)

$$R_{in} = r_\pi = 2525 \text{ } \Omega$$

$$R_{Out} = (R_C // r_0) = 4,76 \text{ k}\Omega$$

Exemplo 2.12 Cont.

Solução (b) – Carga R_L :

A configuração do estágio de saída do amplificador passa a ser como a seguir, onde R_L aparece em paralelo com R_C e com r_o para efeito da análise CA de pequenos sinais:

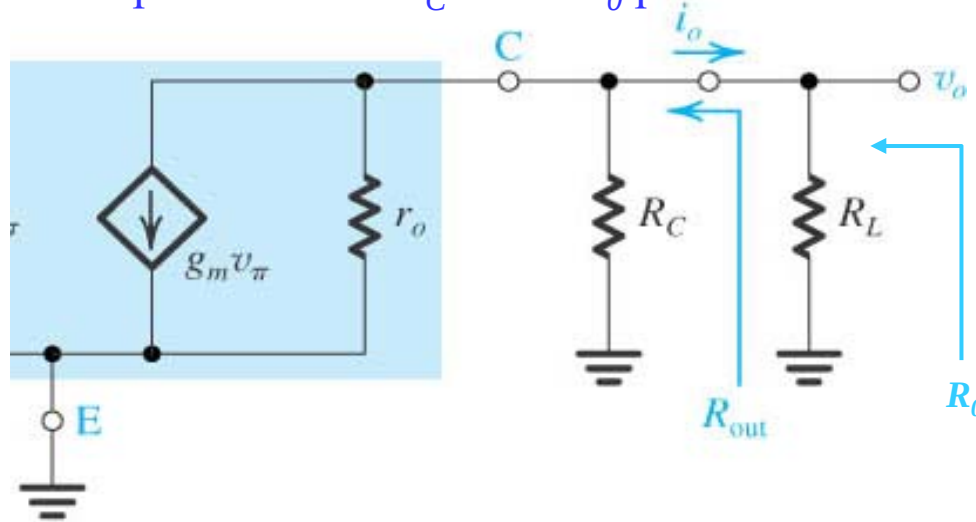


Figura 2.67 Estágio de saída do exemplo 2.12 com R_L .

$$A_v = \frac{-\beta(R_L // R_C // r_o)}{R_s + r_\pi} = \frac{-100(5 // 5 // 101)\text{k}}{(5 + 2,525)\text{k}} = -32,42 \text{ V/V}$$

O ganho de corrente A_i e a impedância de saída também são afetadas por esta mudança.

Obter A_i e R_o

Amplificador EC com resistência de emissor

A inclusão de um resistor no terminal de emissor permite alterar alguns índices de desempenho do Amplificador EC. No circuito a seguir o terminal de emissor não é mais ligado diretamente ao Terra, mas através de R_E e C_E . Uma carga R_L pode ou não estar conectada no coletor.

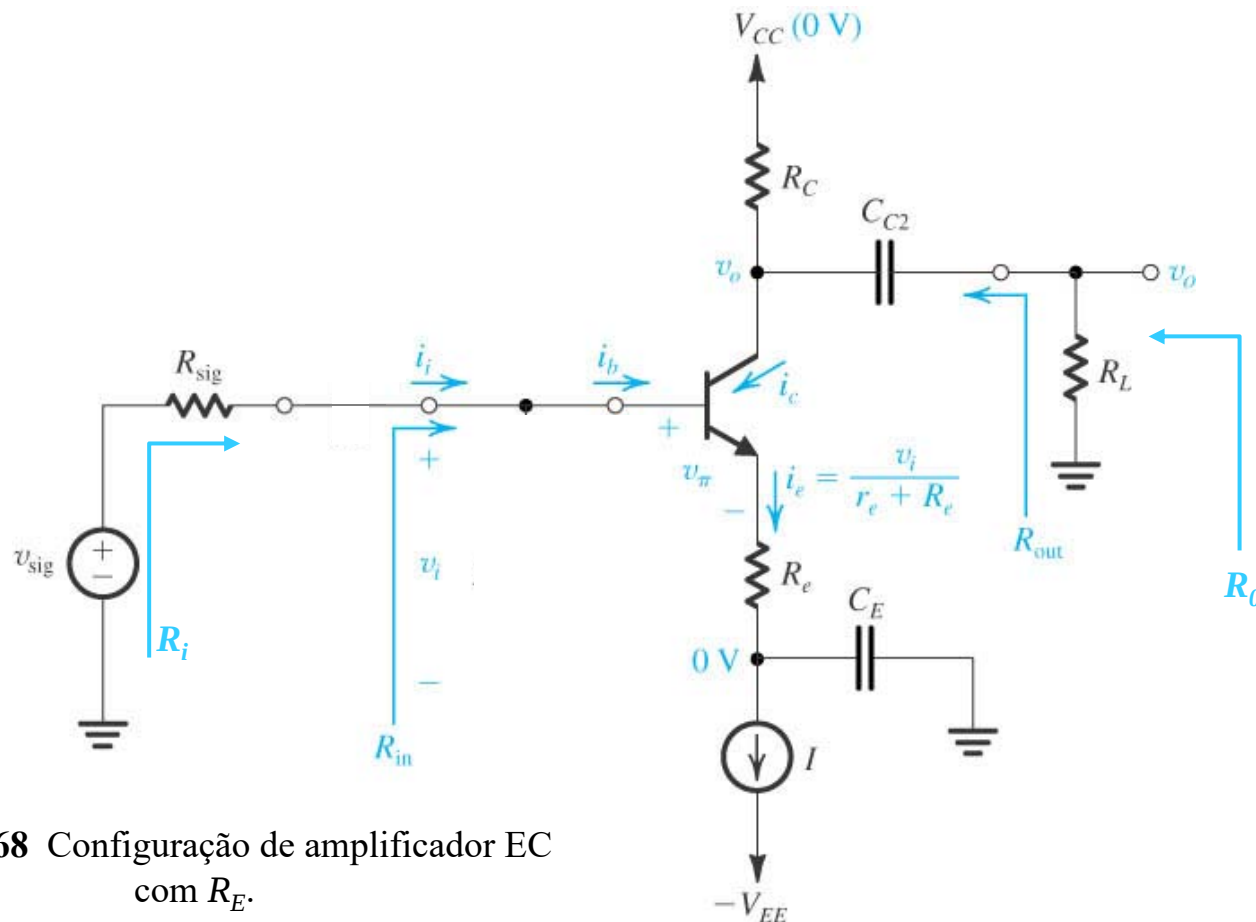


Figura 2.68 Configuração de amplificador EC com R_E .

Análise do caso EC com R_E

Neste caso, é mais adequado o uso de um dos modelos tipo T. Desde que r_o é normalmente grande, seu efeito pode ser desprezado e a configuração de modelo CA de pequenos sinais com modelo tipo T com fonte de corrente controlada por corrente fica sendo :

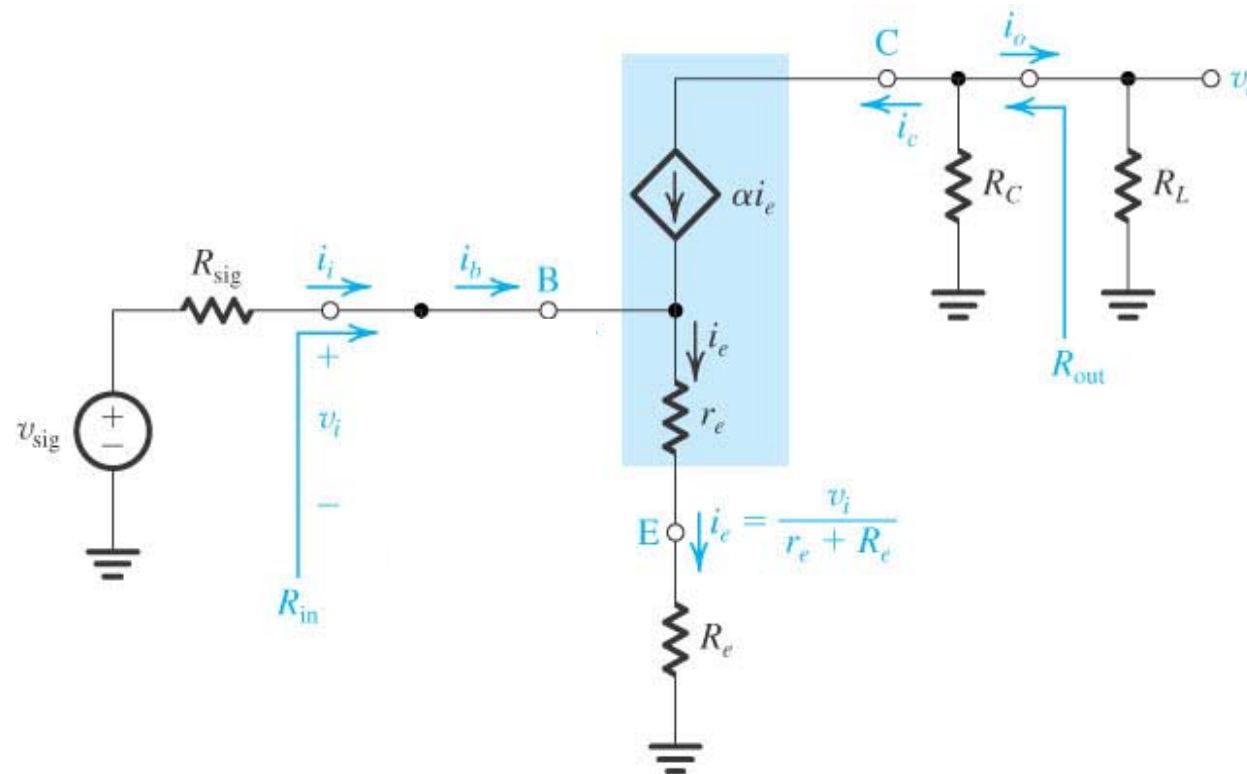


Figura 2.69 Circuito equivalente CA.

Análise do caso EC com R_E

No estágio de Emissor-Base, tem-se :

$$v_i = i_e (R_E + r_e) \quad (2.52)$$

e, se :

$$i_b = (1 - \alpha) i_e = \frac{i_e}{(\beta + 1)} \quad (2.53)$$

então :

$$R_{in} = \frac{v_b}{i_b} = \frac{v_i}{i_i} = (\beta + 1)(R_E + r_e) \quad (2.54)$$

ou seja, R_{in} se torna $(\beta+1)$ vezes maior que o caso sem R_E . Pode se mostrar ainda :

$$R_{in \text{ com } R_E} = 1 + \frac{R_E}{r_e} (R_{in \text{ sem } R_E}) \cong (1 + g_m R_E) (R_{in \text{ sem } R_E}) \quad (2.55)$$

Uma impedância de entrada elevada em um amplificador é sempre desejada.

Análise do caso EC com R_E

Para o ganho de tensão, tem-se inicialmente (com $R_L = \infty$):

$$v_0 = -(\alpha i_e) R_C \quad (2.56)$$

e,

$$A_{vb} = \frac{v_0}{v_i} = \frac{-\alpha R_C}{R_E + r_e} \cong \frac{-R_C}{R_E + r_e} \quad (2.57)$$

Desde que v_i é uma parcela da tensão da fonte v_s , pode-se obter o ganho total em relação à fonte como sendo :

$$\frac{v_i}{v_s} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} \quad (2.58)$$

$$A_v = \frac{v_0}{v_s} = \frac{v_0}{v_i} \frac{v_i}{v_s} = \frac{-\beta R_C}{R_s + (\beta + 1)(R_E + r_e)} \quad (2.59)$$

Observa-se aqui que o ganho é um pouco menor, porém é mais imune à variações de β . Já que v_{π} é uma parcela de v_s , esta tensão pode ser grande.

Pode-se ainda demonstrar que o ganho de corrente e a impedância de saída não se alteram.

Resumo do caso EC com R_E

Do estudo anterior, as características do amplificador EC com R_E em relação ao caso sem R_E podem ser citadas como sendo :

R_{in} : aumenta por uma fator $\cong (1 + g_m R_E)$;

R_{Out} : não se altera;

A_v : ganho de tensão diminui;

: menos dependente de β ;

A_i : não se altera;

Resposta em frequência melhor.

Exercício 2.10

Usando os dados do Exemplo 2.12, avalie qual deverá ser o valor de R_E na figura 2.68 para que o amplificador apresente uma impedância de entrada 4 vezes maior que a da fonte. Para esta configuração, avalie A_v , A_i e R_o e R_{Out} .

Se v_π deve ser no máximo 5mV, avalie qual o valor máximo de v_s no caso SEM e COM R_E . *(Exercício 4.32-Sedra . Pg.274)*

Exercício 2.11

Para o circuito EC a seguir :

- (a) – Avalie as expressões de ganhos e de impedâncias;
- (b) – Se r_o for desprezado, calcule os ganhos e impedâncias;
- (c) – Se r_o for tal como indicado, recalcule os resultados em (b).

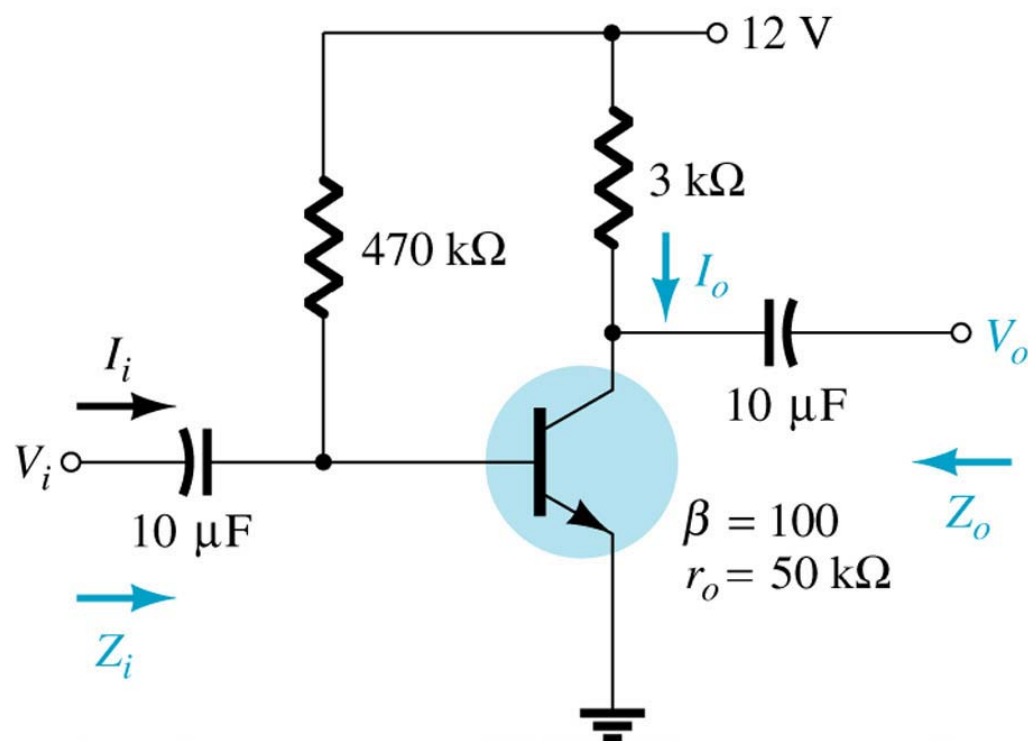


Figura 2.70 Exercício 2.11.

Exercício 2.12

Para o circuito EC a seguir :

- (a) – Avalie as expressões de ganhos e de impedâncias;
- (b) – Se r_o for desprezado, calcule os ganhos e impedâncias;
- (c) – Se $V_A=125\text{V}$, obtenha r_o e recalcule os resultados em (b).

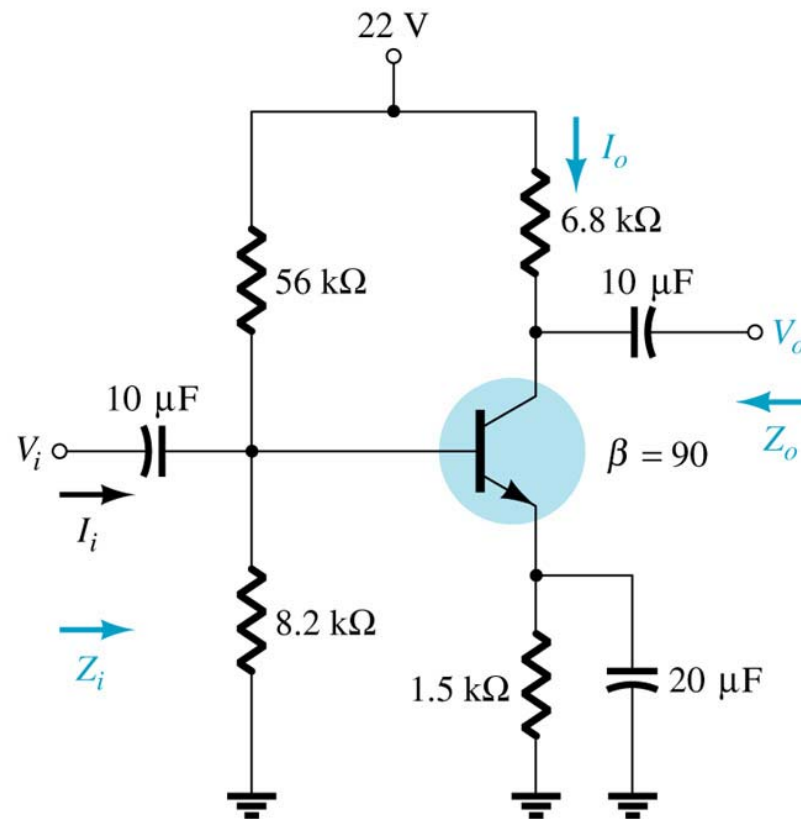


Figura 2.71 Exercício 2.12.

Exercício 2.13-a

O amplificador a seguir é formado por dois estágios idênticos em EC. Se $V_{CC}=15V$, $R_1=100k\Omega$, $R_2=47k\Omega$, $R_E=3k9\Omega$, $R_C=6k8\Omega$ e $\beta=100$, obtenha:

- a) – A tensão e corrente nos coletores de Q_1 e Q_2 ;
- b) – circuito completo equivalente de pequenos sinais;
- c) – R_{in1} e (v_{b1}/v_s) com $R_s=5k\Omega$;
- d) – R_{in2} e (v_{b2}/v_{b1}) ;
- e) – (v_o/v_{b2}) com $R_L=2k\Omega$;
- f) – Ganho global (v_o/v_s) .

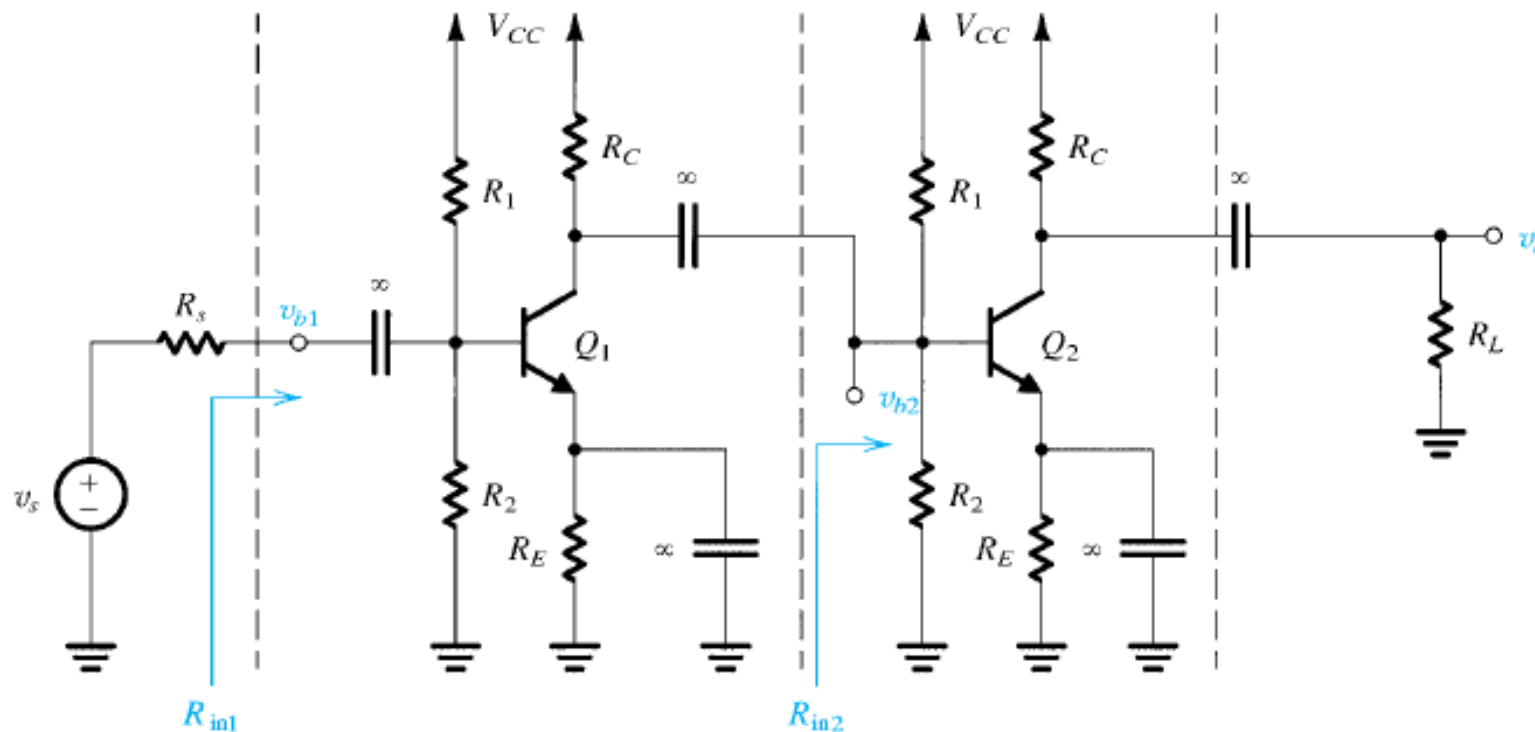


Figura 2.72 – (a) : Exercício 2.13-a.

Exercício 2.13-b

O Amplificador abaixo usa um TBJ com $\beta = 200$.

- (a) – Encontre a Tensão CC de coletor V_C ;
- (b) – Encontre as impedâncias de entrada R_{i1} e R_{i2} ;
- (c) – Encontre o ganho de tensão global (v_o/v_s);
- (d) – Se é desejado que v_o seja $\pm 0,4V$ que valores são requeridos para v_s e para v_b indicados na figura

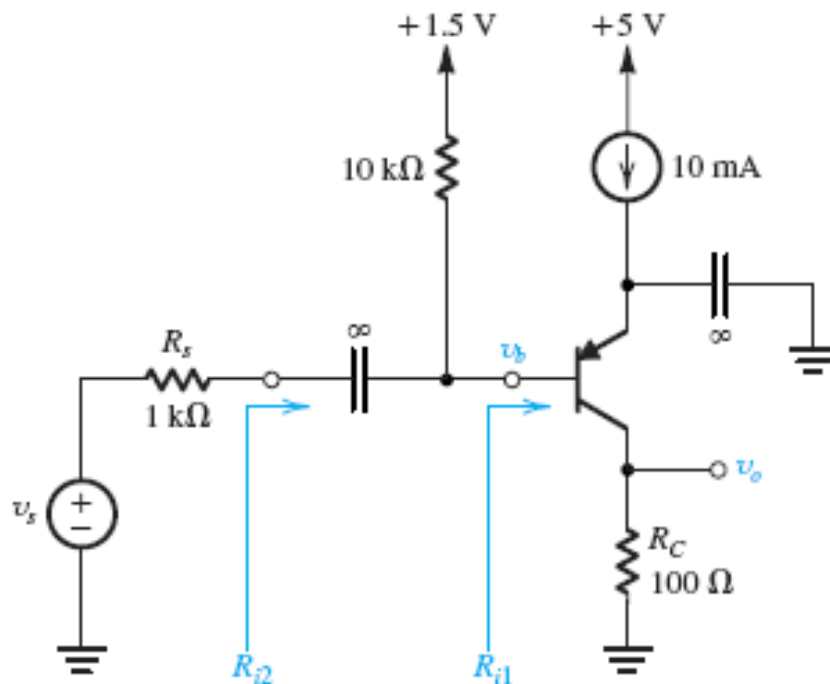


Figura 2.72 – (b) : Exercício 2.13-b.

Exercício 2.13-c

O para o amplificador abaixo:

- (a) – Encontre a corrente I_{CQ} e a tensão de coletor V_{CQ} ;
- (b) – Usando modelo equivalente T para pequenos sinais, encontre o ganho (v_o/v_i).

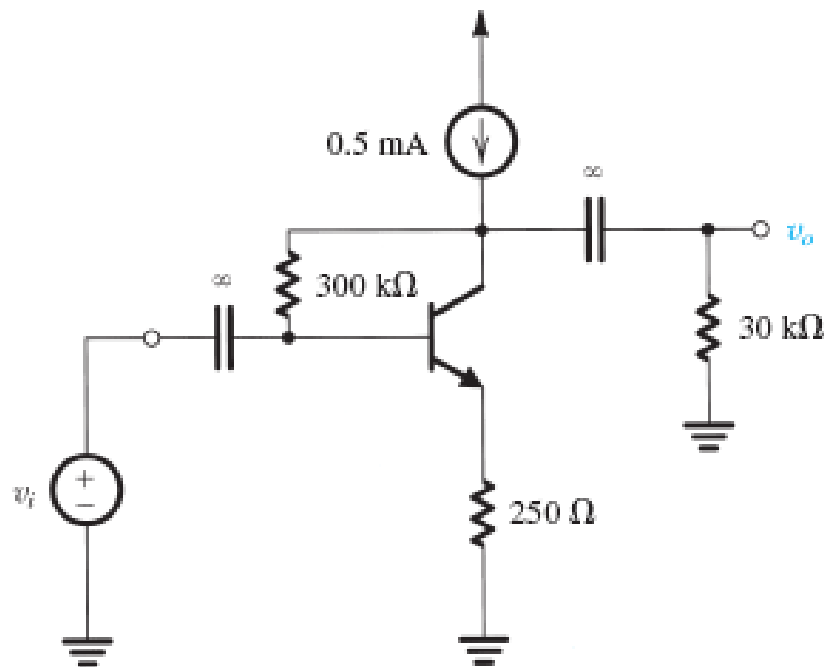


Figura 2.73 – (c) : Exercício 2.13-c.

Bibliografia

Conteúdo :

SEDRA : Pgs. 268 a 274

BOYLESTAD : (Cap. 8)

MALVINO : 318 a 343

Exercícios :

SEDRA : Exs 29 ao 33 Pgs. 323 - 324

BOYLESTAD : Exs. 1 ao 10 Pgs. 315 - 316

MALVINO : 1 ao 17 Pgs. 341 - 343