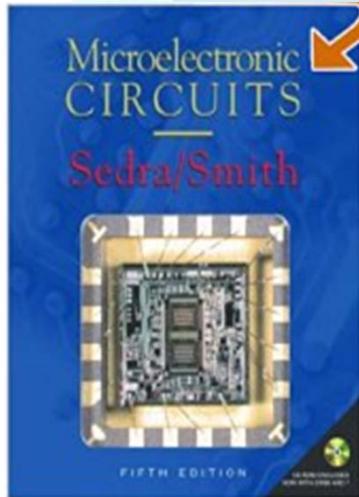
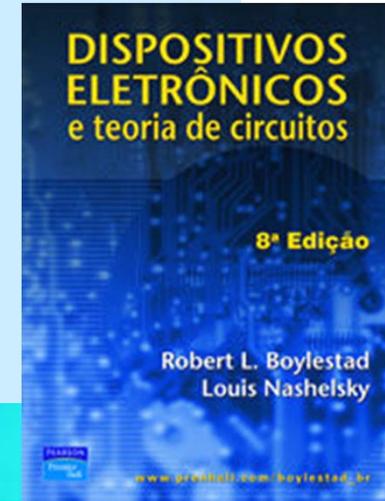


Transistor Bipolar de Junção TBJ



Cap. 4 Sedra/Smith
Cap. 2 Boylestad
Cap. 8 Malvino



TBJ como Amplificador

Notas de Aula SEL 313
Circuitos Eletrônicos 1
Parte 4

1º Sem/2017 Prof. Manoel

TBJ como Amplificador

A operação **Amplificador linear** só ocorre com o TBJ polarizado na **Região Ativa**.

O amplificador entretanto só funcionará de forma correta se o ponto de operação Q for bem conhecido e perfeitamente estável. Portanto, o ponto de operação Q, deve se caracterizar por tensões e correntes constantes.

Nesta análise, os circuitos com TBJ contém a fonte CC para estabelecer o ponto Q e fontes CA de sinais que devem ser manipulados (amplificados) no circuito.

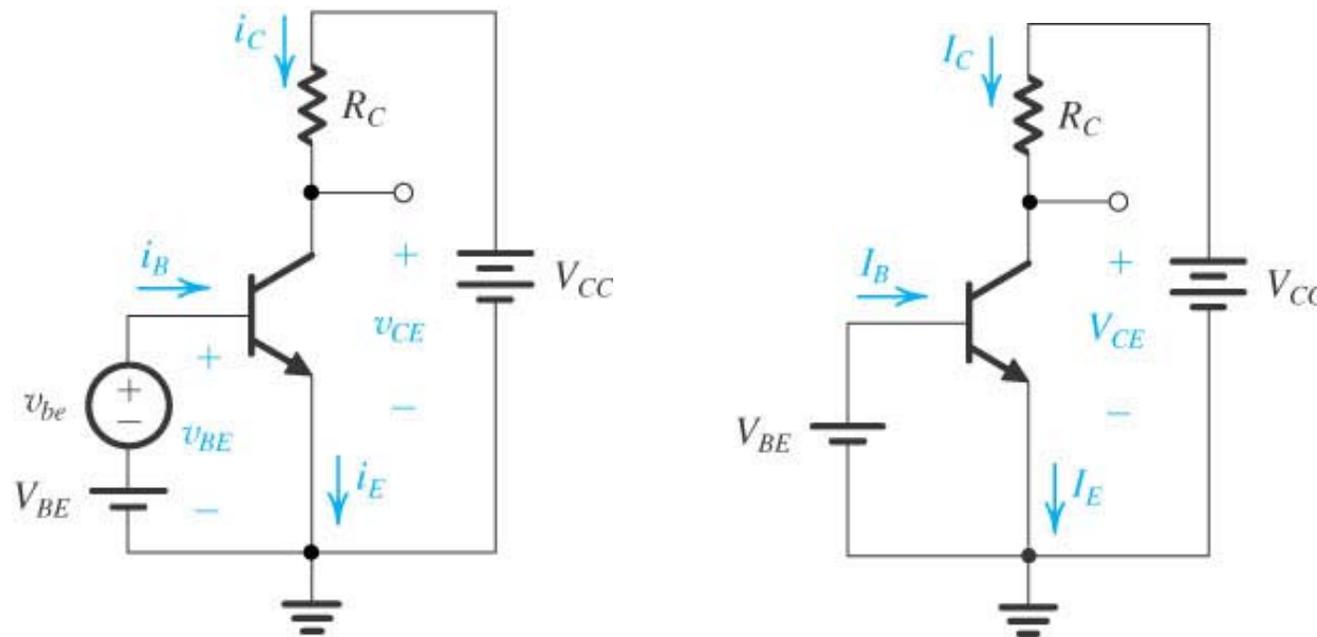


Figure 2. 52 (a) Análise como amplificador; (b) – Análise CC.

Análise CC – Ponto de Operação

Para a análise CC, exclui-se as fontes CA e avalia-se o ponto caracterizado pelas tensões e correntes constantes. No caso em questão, o ponto de operação Q, assumindo $v_{be}(t)=0$, será especificado por :

$$I_C = I_S e^{\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right)} \quad (2.20-a)$$

$$I_E = I_C / \alpha \quad (2.20-b)$$

$$I_B = I_C / \beta \quad (2.20-c)$$

$$V_C = V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \quad (2.20-d)$$

Os símbolos das variáveis e respectivos índices todos em maiúsculo, evidenciam grandezas tipo CC (constantes).

Corrente de coletor e Transcondutância

A partir do circuito completo, tem-se :

$$v_{BE} = V_{BE} + v_{be} \quad (2.21)$$

e

$$\begin{aligned} i_C &= I_S e^{v_{BE}/V_T} = I_S e^{(V_{BE} + v_{be})/V_T} \\ &= I_S \left(e^{V_{BE}/V_T} \right) \left(e^{v_{be}/V_T} \right) \\ &= I_C e^{v_{be}/V_T} \end{aligned} \quad (2.22)$$

se, $v_{be} \ll V_T$ ($v_{be} < 10 \text{ mV}$), vale a aproximação (expansão em série e truncamento) :

$$i_C = I_C \left(1 + \frac{v_{be}}{V_T} \right) = I_C + \frac{I_C}{V_T} v_{be} \quad (2.23)$$

A corrente de coletor é a soma da parte CC e da parte CA !

Transcondutância de coletor

A parcela de corrente CA devido à fonte $v_{be}(t)$ será :

$$i_c(t) = \frac{I_C}{V_T} v_{be}(t) \quad (2.24-a)$$

$$i_c(t) = g_m v_{be}(t) \quad (2.24-b)$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \quad (2.24-c)$$

A Transcondutância g_m é diretamente relacionada com o ponto Q (valor de I_C). Daí a necessidade do ponto Q ser estável e constante. Também é função da temperatura, já que depende da tensão térmica V_T . Uma forma mais correta de g_m é dada por :

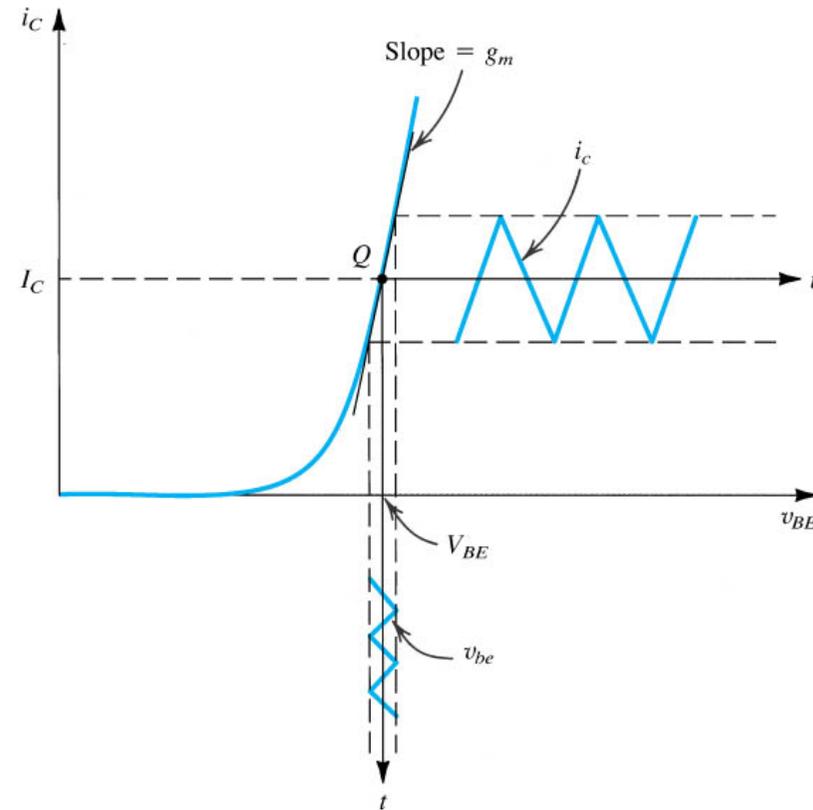


Figure 2.53 - Interpretação de g_m .

$$g_m = \left. \frac{\partial i_c}{\partial v_{be}} \right|_{i_c = I_C} \quad (2.25)$$

Transcondutância de coletor

Novamente o TBJ se comporta aqui como fonte de corrente $i_c(t)$ controlada por tensão $v_{be}(t)$. A transcondutância é considerada elevada nos TBJs (tip. 40mA/V) e a resistência de saída é praticamente infinita, já que V_C pouco influencia I_C (efeito Early !!).

Corrente e Resistência de Base

$$i_B(t) = \frac{i_c}{\beta} = \frac{I_C}{\beta} + \frac{I_C}{V_T \beta} v_{be}(t) = I_B + i_b(t) \quad (2.26)$$

e a componente de sinal CA é dada por:

$$i_b(t) = \frac{I_C}{V_T \beta} v_{be}(t) = \frac{g_m}{\beta} v_{be}(t) \quad (2.27)$$

A resistência de Base, vista do terminal de base, é definida como :

$$r_\pi = \frac{v_{be}(t)}{i_b(t)} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{V_T}{I_B} \quad (2.28)$$

Corrente e Resistência de Emissor

Para o terminal de emissor, pode-se escrever :

$$i_E(t) = \frac{i_C(t)}{\alpha} = \frac{I_C}{\alpha} + \frac{i_c}{\alpha} = I_E + i_e(t) \quad (2.29)$$

sendo a parcela de sinal CA :

$$i_e(t) = \frac{i_c(t)}{\alpha} = \frac{I_C}{\alpha V_T} v_{be}(t) = \frac{I_E}{V_T} v_{be}(t) \quad (2.30)$$

Desta forma, a resistência de emissor (base-emissor) vista no terminal de emissor em pequenos sinais vale:

$$r_e = \frac{v_{be}(t)}{i_e(t)} = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m} \approx \frac{1}{g_m} \quad (2.31)$$

Parâmetros de TBJ em Análise de Sinais

Os três parâmetros r_e , r_π e g_m são valores obtidos para cada transistor e são característica do ponto de operação em região ativa e válidos somente para análises de pequenos sinais. Um mesmo TBJ pode exibir diferentes parâmetros em função do ponto Q, o qual define o ponto de operação CC.

Das análises anteriores, pode-se ainda obter :

$$v_{be}(t) = i_b(t) r_\pi = i_e(t) r_e \quad (2.32)$$

$$r_\pi = \left(\frac{i_e(t)}{i_b(t)} \right) r_e \quad (2.33)$$

$$r_\pi = (\beta + 1) r_e \quad (2.34)$$

Ganho de Tensão (do Amplificador)

No circuito em questão, a saída é obtida no coletor e cujo valor é $v_C(t)$:

$$\begin{aligned}v_C(t) &= V_{CC} - R_C i_C(t) = V_{CC} - [I_C + i_c(t)]R_C \\ &= (V_{CC} - R_C I_C) - i_c(t) R_C \\ &= V_C - i_c(t) R_C\end{aligned}\tag{2.35}$$

e a componente de sinal CA de saída é :

$$v_c(t) = -i_c(t) R_C = -(g_m R_C) v_{be}(t)\tag{2.36}$$

Desde que $v_{be}(t)$ é a componente CA de entrada, o Ganho de Tensão A_v é obtido por :

$$A_v = \frac{v_c(t)}{v_{be}(t)} = -g_m R_C = \frac{-I_C R_C}{V_T}\tag{2.37}$$

e o sinal negativo de A_v revela que ocorre um inversão de fase (180°) no sinal.

Exemplo 2.8

(a) - Para o circuito da figura 52, se $\beta = 100$, $I_C = 1\text{mA}$, obter os parâmetros de pequenos sinais.

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1\text{mA}}{25\text{mV}} = 40\text{mA/V}$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha V_T}{I_C} = \frac{\alpha}{g_m} = \frac{\beta}{(\beta + 1)g_m} = 24,75\Omega$$

ou

$$r_e \approx \frac{1}{g_m} = 25\Omega$$

$$r_\pi = (\beta + 1)r_e = 2525\Omega$$

(ou 2500Ω)

Exemplo 2.8 cont.

(b)- Se $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_C = 10\text{K}\Omega$, V_{BE} é tal que $I_C = 1\text{mA}$ e $v_{be}(t) = 0,005\text{sen}(\omega t)$, obter :

(i) – Ganho de Tensão

(ii) – $v_C(t)$

(iii) – $i_B(t)$

Solução (i)

$$A_v = -g_m R_C = -400 \text{ V/V}$$

Solução (ii)

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C = 5 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow v_C(t) &= V_C + v_c(t) = V_C - g_m R_C v_{be}(t) \\ &= 5 - 2\text{sen}(\omega t) \text{ V} \end{aligned}$$

Solução (iii)

$$I_B = I_C / \beta = 10 \mu\text{A}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow i_B(t) &= I_B + i_b(t) = I_B + \frac{g_m}{\beta} v_{be}(t) \\ &= [10 + 2\text{sen}(\omega t)] \mu\text{A} \end{aligned}$$

Exercício 2.7

Considere o circuito da figura 2.52 com $V_{CC}=5V$ e $R_C = 1k\Omega$. A fonte CC V_{BE} é tal que se obtém $V_C=2V$.

- a) – Qual a corrente de coletor I_C ?
- b) – Encontre o ganho de tensão A_v ;
- c) – Para uma variação $\Delta v_{be} = +5mV$, obtenha a variação Δv_o ;
- d) – Repita o item (c) pra $\Delta v_{be} = -5mV$;
- e) – Repita os itens (c) e (d) usando a relação exponencial da característica do transistor;
- f) – Resuma os resultados dos itens (c) a (e) em uma tabela.

Exercício 2.8

Considere o circuito da figura 2.52 com $V_{CC}=5V$.

- a) – Qual é o máximo ganho linear (teórico) que este amplificador pode fornecer?
- b) – Qual deve ser o valor CC de V_{CE} para se ter ganho de tensão $-100 V/V$?
- c) – Se a corrente I_C deve ser 0.5 mA para o item (b), obtenha o valor de R_C .
- d) – Qual deve ser o valor da fonte V_{BE} para se ter o ponto de operação acima.

Considere $I_S = 10^{-15} \text{ A}$.

- e) – Se a fonte de sinal v_{be} tem $5 \text{ mV}_{\text{pico}}$ de amplitude, encontre qual será a correspondente saída v_{ce} superposta a V_{CE} .
- f) – Caracterize o sinal de corrente i_c superposta a I_C .

Exercício 2.8 cont.

- g) – Se $\beta = 100$ qual é o valor da corrente de base I_B e a correspondente parcela de sinal superposto a I_B .
- h) – Obtenha a impedância de entrada deste amplificador, que pode ser obtida dividindo-se v_{be} por i_b .
- i) – Esquematize os gráficos correspondentes de v_{BE} , v_{CE} , i_C e i_B . Estes gráficos são relativos aos valores do ponto Q acrescido das parcelas de sinal.

Bibliografia

Conteúdo:

SEDRA : Pgs. 239 a 245

BOYLESTAD : Pgs. 250 a 260

MALVINO : Pgs. 287 a 315

Exercícios:

SEDRA : 4.16 a 4.18

BOYLESTAD :

MALVINO : 9.1 a 9.22