

# CHAPTER 5

## Aula 22:

### O Transistor como Amplificador

(p.263-264, p.275-276)

88  
88

## PSI 3321– Eletrônica Programação para a Terceira Prova

19ª 17/05	Estruturas e símbolos dos transistores bipolares de junção, definição dos modos de operação (corte, ativo, saturação) do TBJ, operação do transistor npn no modo ativo (polarização e distribuição de portadores minoritários).	Sedra, Cap. 5 p. 235-238
20ª 20/05	Equações das correntes no transistor (definição do ganho de corrente em emissor comum - $\beta$ - e do ganho de corrente em base comum - $\alpha$ ), modelos de circuitos equivalentes para grandes sinais do transistor npn operando no modo ativo, exercícios.	Sedra, Cap. 5 p. 239-243.
21ª 31/05	Análise cc de circuitos com transistores, exercícios selecionados: 5.1, 5.4, 5.10.	Sedra, Cap. 5 p. 246 + 264-269
22ª 03/06	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.
23ª 07/06	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 $\pi$ -híbrido e T)	Sedra, Cap. 5, p. 276-279
24ª 14/06	Aplicação dos modelos equivalentes para pequenos sinais, Efeito Early. O amplificador emissor comum (EC) - Exercício 5.43	Sedra, Cap. 5 p. 290-293
25ª 17/06	Aula de Exercícios	
3ª. Semana de Provas (20/06 a 24/06/2016) Data: 22/06/2016 (quarta feira) – Horário: 13:10h às 15:10h		

89  
1

# 22ª Aula: Amplificadores com TBJ

Criando Modelos para Pequenos Sinais para o TBJ

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Explicar como os modelos de transistores TBJ para pequenos sinais são criados
- Criar modelos para pequenos sinais do TBJ
- Determinar ganhos de tensão para pequenos sinais em circuitos simples que empreguem transistor TBJ

90

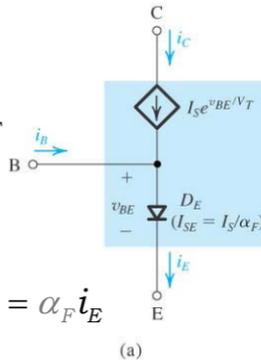
## Adequando Modelos

Alguns modelos para o Transistor NPN na região ativa

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

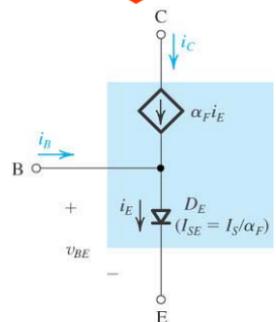
$$i_E = \underbrace{(I_S / \alpha_F)}_{I_{SE}} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_C = \alpha_F (I_S / \alpha_F) e^{v_{BE}/V_T} = \alpha_F i_E$$



(a)

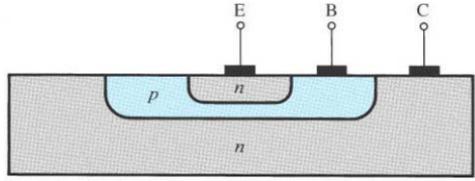
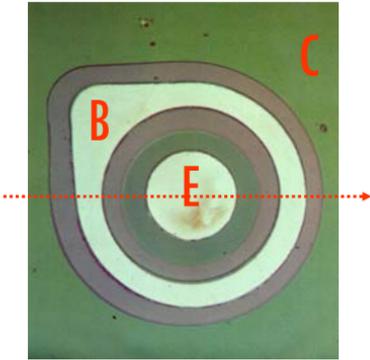
**modo ativo**



(b)

91

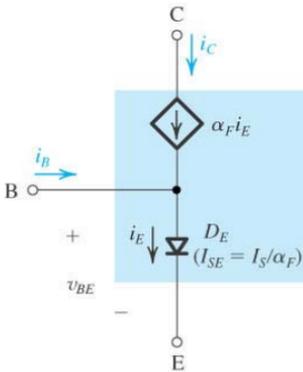
# Um Transistor npn Real



92

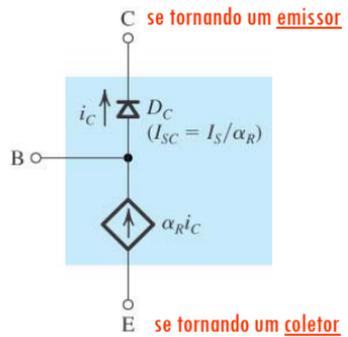
## Incluindo a Assimetria do Transistor npn Real no modelo para grandes sinais

**modo ativo ( $j_{BE}$  dir pol  
 $j_{BC}$  rev pol)**



(b)

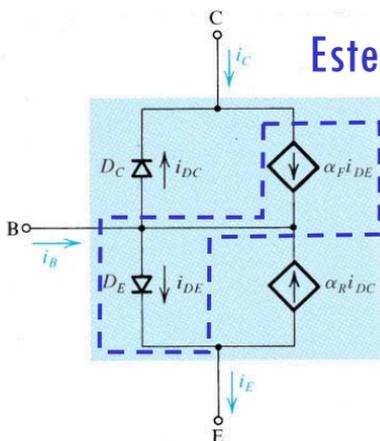
**modo inverso ( $j_{BE}$  rev pol  
 $j_{BC}$  dir pol)**



93

3

# O modelo de Ebers-Moll (EM-npn)



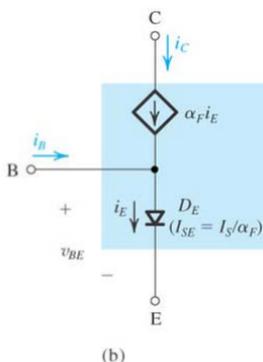
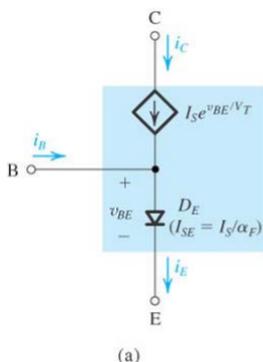
Este é o modelo do SPICE!!!

Exercício:  
Qual o Modelo EM-pnp???

Modelo para grandes sinais para todas as regiões!

94

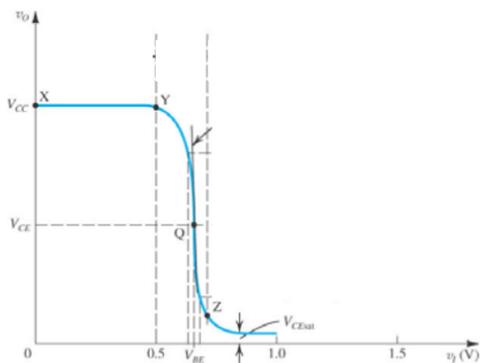
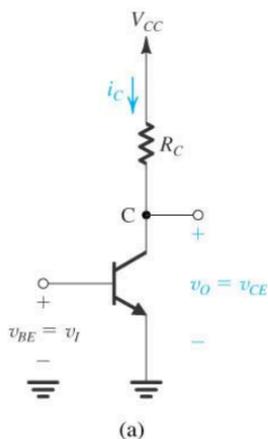
## Alguns modelos para o Transistor NPN na região ativa



Modelos (npn) para grandes sinais na região ativa!  
A escolha de um deles é por conveniência

95

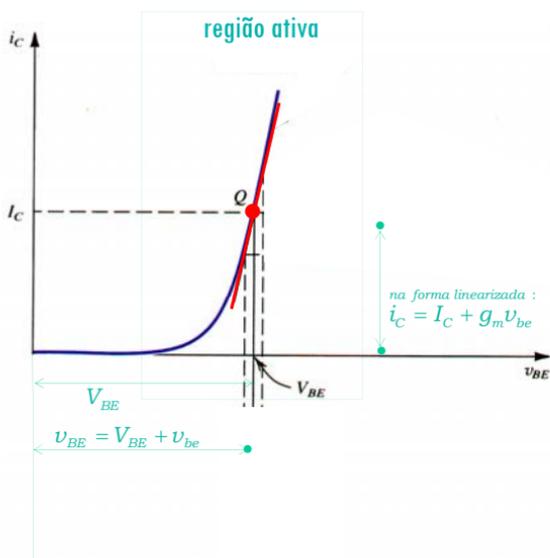
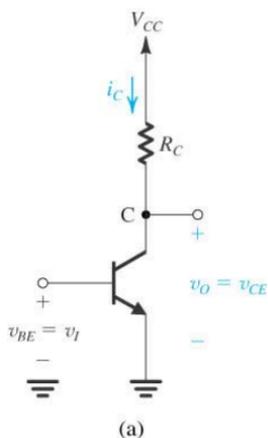
# O Transistor TBJ como Amplificador



(b)

96

## Criando um Modelo para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ



97

# Criando um Modelo para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ: A transcondutância

Entrada:  $v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$

Saída:  $i_C = I_C + i_c$

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_C = I_S e^{(V_{BE} + v_{be})/V_T} = I_S e^{V_{BE}/V_T} e^{v_{be}/V_T} = I_C e^{v_{be}/V_T}$$

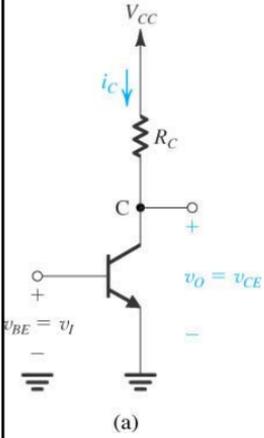
Expandindo  $e^{v_{be}/V_T}$  em série de Taylor:

$$e^{v_{be}/V_T} = \left( 1 + \frac{v_{be}}{V_T} + \frac{v_{be}^2}{2V_T^2} + \dots \right)$$

$$i_C = I_C e^{v_{be}/V_T} = I_C \left( 1 + \frac{v_{be}}{V_T} + \frac{v_{be}^2}{2V_T^2} + \dots \right)$$

$$i_C \cong I_C \left( 1 + \frac{v_{be}}{V_T} \right) \quad \text{se} \quad \frac{v_{be}^2}{2V_T^2} \ll \frac{v_{be}}{V_T} \quad \text{ou} \quad v_{be} \ll 2V_T$$

$v_{be} < 10\text{mV}$  <sup>98</sup>



(a)

# Criando um Modelo para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ: A transcondutância

Entrada:  $v_{BE} = V_{BE} + v_{be}$

Saída:  $i_C = I_C + i_c$

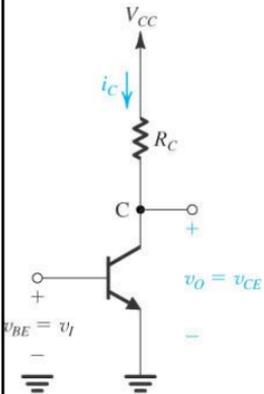
$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_C \cong I_C \left( 1 + \frac{v_{be}}{V_T} \right) \quad \text{Se } v_{be} < 10\text{mV}$$

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

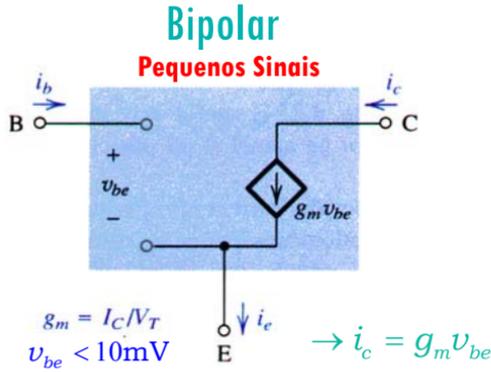
$$i_C = I_C + \frac{I_C}{V_T} v_{be} \quad \text{e} \quad i_c = \frac{I_C}{V_T} v_{be}$$

$$\therefore \frac{i_c}{v_{be}} = \frac{I_C}{V_T} = g_m \quad \text{ou seja, } i_c = g_m v_{be}$$

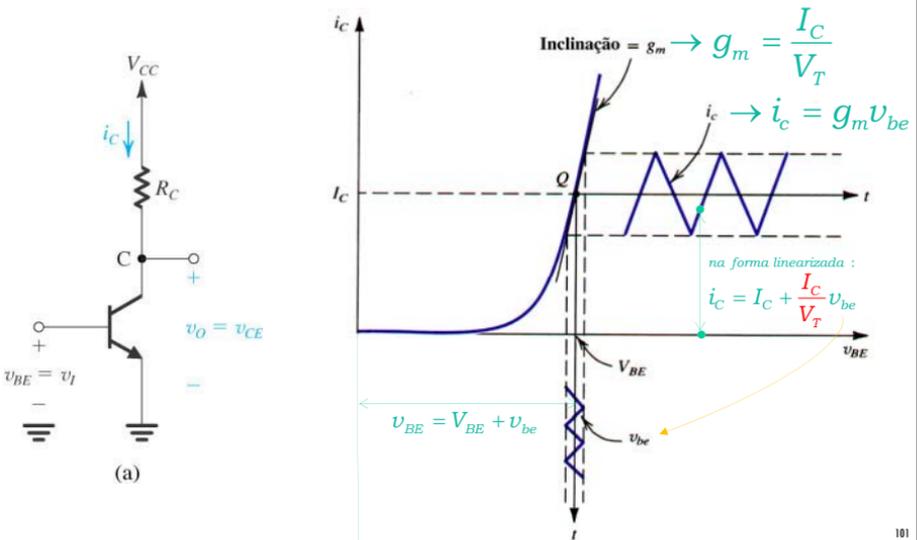


(a)

# Criando um Modelo para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ: A transcondutância



# Criando um Modelo para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ: A transcondutância



# Aula passada: O Modelo para Pequenos Sinais para o Transistor TBJ

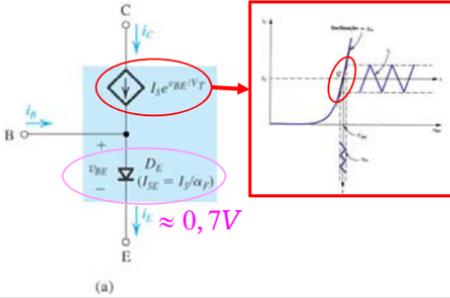
## Região ativa (npn) p/ Grandes Sinais!

$$v_{BE} \approx 0,7V$$

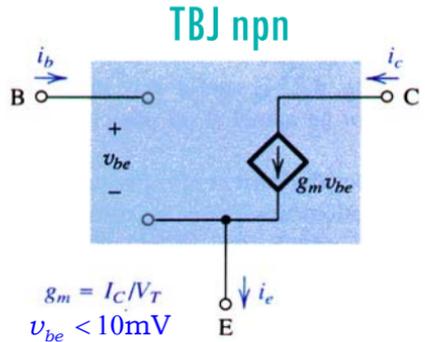
$$i_E = i_C + i_B$$

$$I_C = \beta I_B = \alpha \left( = \frac{\beta}{\beta + 1} \right) I_E$$

$$I_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

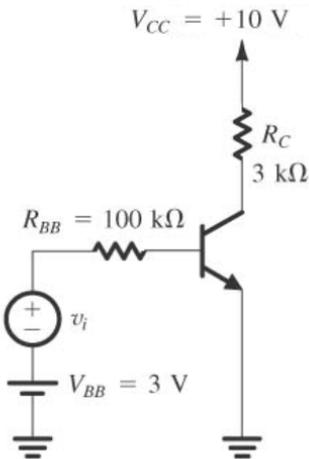


## Região ativa (npn) p/ Pequenos Sinais



102

**Exemplo 5.14:** Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha  $\beta = 100$

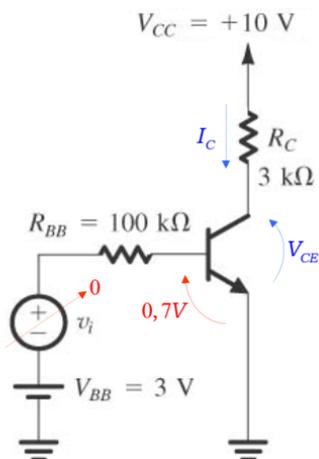


### Estratégia de análise:

1. Determine o ponto de operação  $cc$  do TBJ e em particular o valor da corrente  $cc$  de coletor,  $I_C$
2. Calcule os valores dos parâmetros do modelo para pequenos sinais:  $g_m = I_C / V_T$
3. Elimine as fontes  $cc$  substituindo cada fonte  $cc$  de tensão por um curto-circuito e cada fonte  $cc$  de corrente por um circuito aberto.
4. Substitua o 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.
5. Analise o circuito resultante para determinar as grandezas de interesse (por exemplo, ganho de tensão, resistência de entrada).

103

**Exemplo 5.14:** Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha  $\beta = 100$



1. Determine o ponto de operação  $cc$  do TBJ e em particular o valor da corrente  $cc$  de coletor,  $I_C$

$$I_B = \frac{3 - 0,7V}{100k} \approx 23\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 23\mu A = 2,3mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C = 10V - 2,3m \times 3k = 3,1V$$

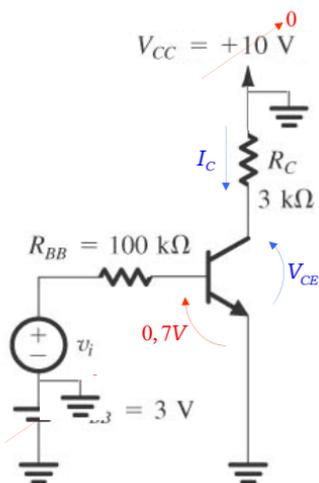
$$\text{Na ativa? } V_C = 3,1V; V_B = 0,7V; V_E = 0V$$

2. Calcule os valores dos parâmetros do modelo para pequenos sinais:  $g_m = I_C / V_T$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2,3m}{25m} = 92mS = 92 \frac{mA}{V}$$

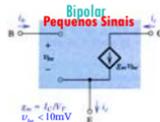
104

**Exemplo 5.14:** Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha  $\beta = 100$



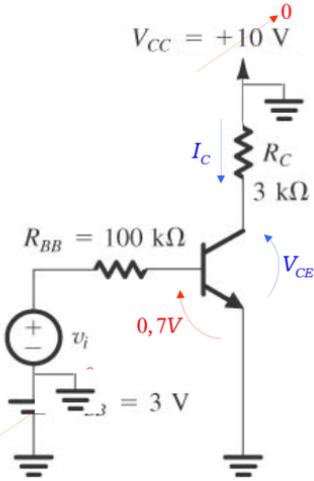
3. Elimine as fontes  $cc$  substituindo cada fonte  $cc$  de tensão por um curto-circuito e cada fonte  $cc$  de corrente por um circuito aberto.

4. Substitua o 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.

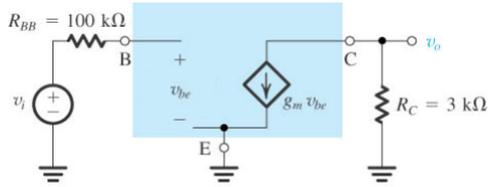


105

**Exemplo 5.14:** Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar seu ganho de tensão. Suponha  $\beta = 100$



5. Analise o circuito resultante para determinar as grandezas de interesse (por exemplo, ganho de tensão, resistência de entrada).



$$v_o = -g_m v_{be} \times R_C \quad v_{be} = v_i$$

$$A_v|_{\text{Carga}=\infty} = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{\text{Carga}=\infty} = -g_m R_C$$

$$A_v|_{\text{Carga}=\infty} = -g_m R_C = -92m \times 3k = -276V/V$$