



CHAPTER 5

Aula 19:

**Equações de corrente no TBJ e modelos para o TBJ
(p.239-243)**

PSI 2223 – Introdução à Eletrônica

Programação para a Terceira Prova

19 ^a 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
19 ^a 20/05	Equações das correntes no transistor (definição do ganho de corrente em emissor comum - β - e do ganho de corrente em base comum - α), modelos de circuitos equivalentes para grandes sinais do transistor npn operando no modo ativo, exercícios.	Sedra, Cap. 5 p. 239-243.
21 ^a 31/05	Análise cc de circuitos com transistores, exercícios selecionados: 5.1, 5.4, 5.10.	Sedra, Cap. 5 p. 246 + 264-269
22 ^a 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.
23 ^a 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 π -híbrido e T)	Sedra, Cap. 5, p. 276-279
24 ^a 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
25 ^a 17/06	Aula de Exercícios	

3^a. Semana de Provas (20/06 a 24/06/2016)
Data: 22/06/2016 (quarta feira) – Horário: 13:10h às 15:10h

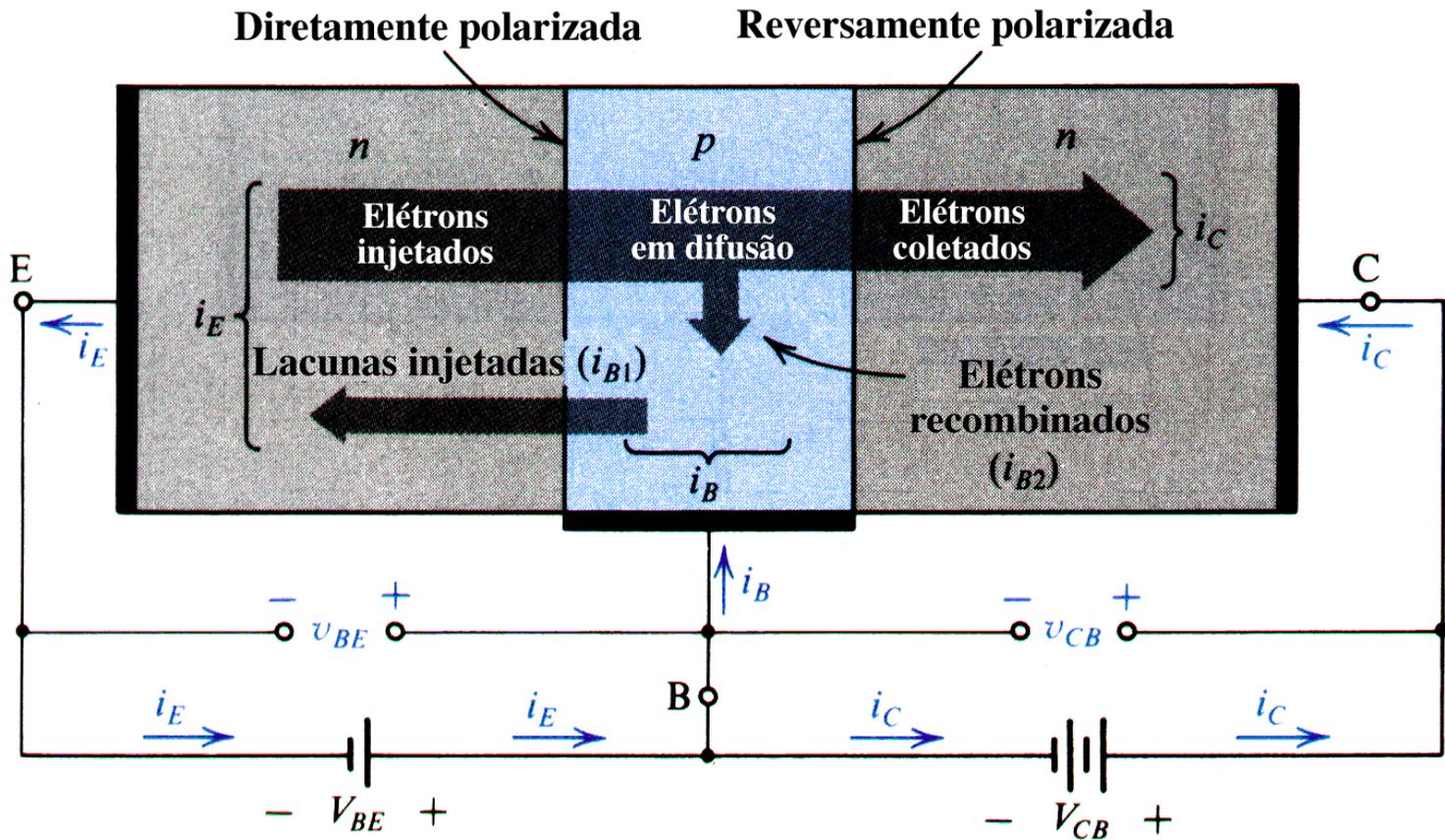
19ª Aula:

O Transistor Bipolar de Junção

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Deduzir as expressões das correntes no transistor na região ativa
- Criar relações simplificadas para essas correntes
- Criar modelos para o transistor que representem as expressões de corrente/tensão

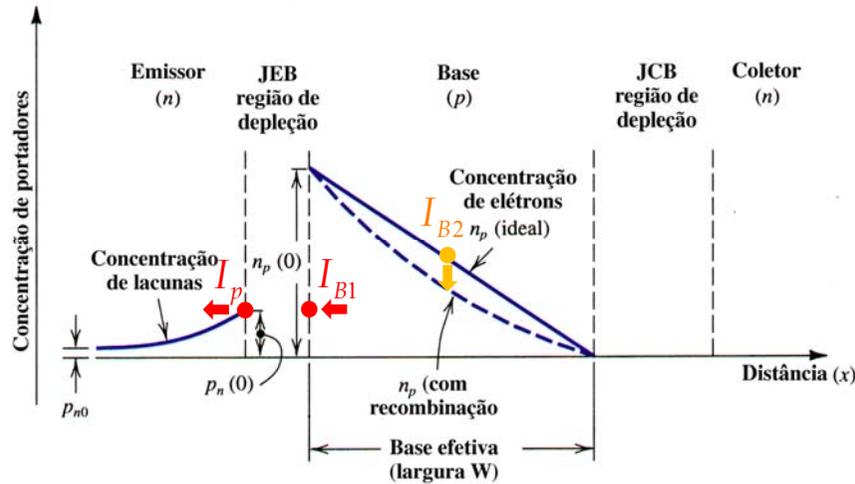
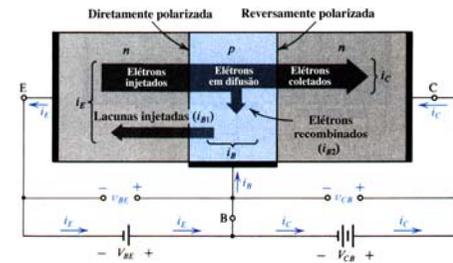
A corrente na base



A corrente na base

Ela possui duas componentes:

-A corrente devido às lacunas injetadas da base para o emissor (I_{B1})



$$i_{B1} = \frac{A_E q D_p n_i^2}{N_D L_p} e^{v_{BE}/V_T}$$

-A corrente devido às lacunas fornecidas pelo circuito externo para compensar as lacunas consumidas por recombinação (I_{B2})

Se τ_b é o tempo de vida de portadores minoritários, em τ_b segundos Q_n cargas se recombina com as lacunas:

$$i_{B2} = \frac{Q_n}{\tau_b} \quad \text{onde} \quad Q_n = A_E q \times \frac{1}{2} n_p(0) W$$

A corrente na base

Ou seja:

$$I_{B1} = \frac{A_E q W n_i^2}{2 N_A} e^{v_{BE}/V_T} \quad \text{e} \quad i_{B2} = \frac{1}{2} \frac{A_E q W n_i^2}{\tau_b N_A} e^{v_{BE}/V_T}$$

Assim:

$$i_B = I_S \left(\frac{D_p N_A W}{D_n N_D L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

Resumindo

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

$$i_B = I_S \left(\frac{D_p N_A W}{D_n N_D L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

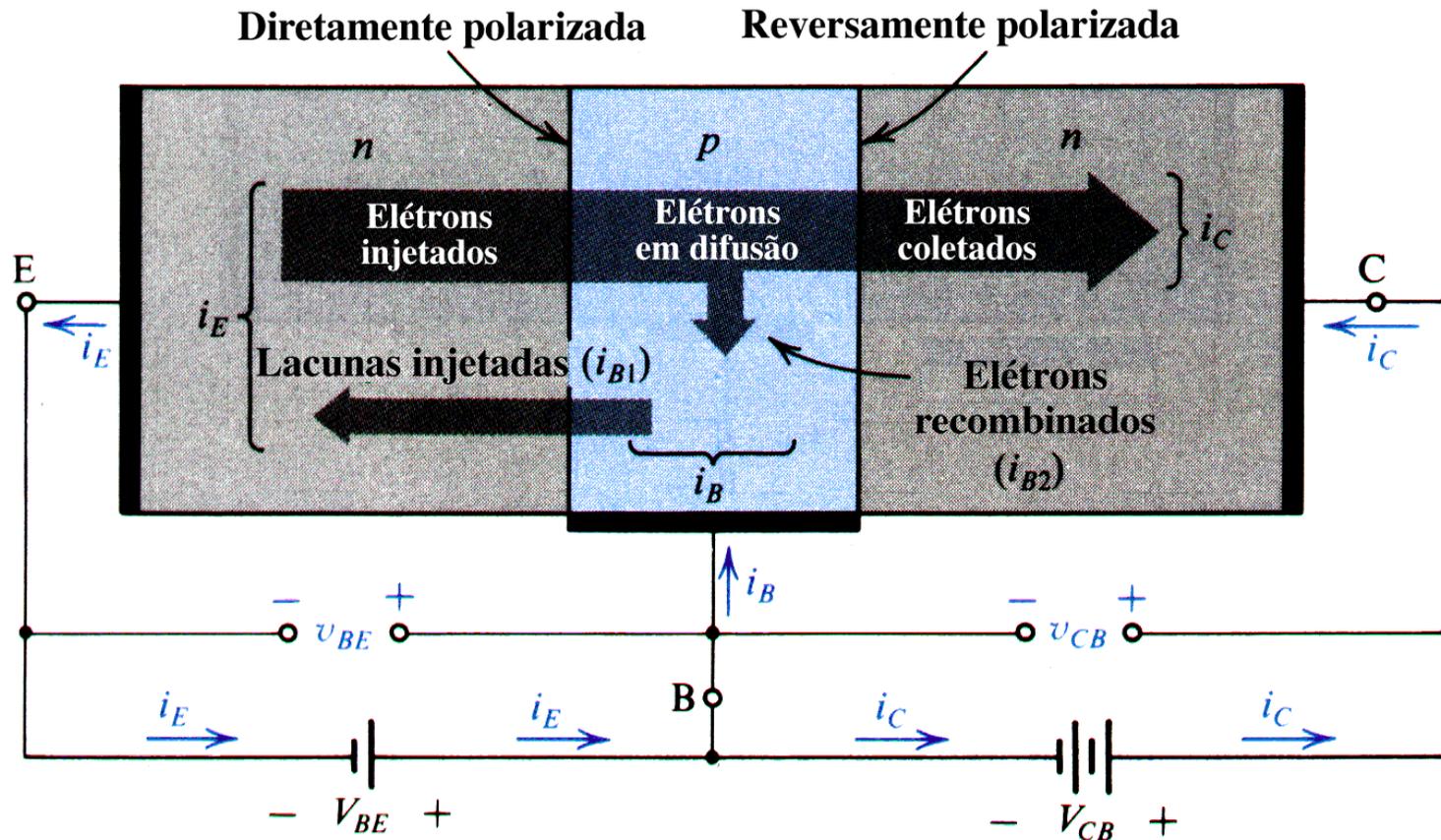
Ou:

$$i_B = i_C \left(\frac{D_p N_A W}{D_n N_D L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right) = \frac{i_C}{\beta}$$

Onde:

$$\beta = 1 / \left(\frac{D_p N_A W}{D_n N_D L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right)$$

A corrente no emissor



A corrente no emissor

$$i_E = i_C + i_B = i_C + \frac{i_C}{\beta} = i_C \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) = I_S e^{v_{BE}/V_T} \left(\frac{\beta + 1}{\beta} \right)$$

se $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$ ou $\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ então $i_C = \alpha i_E$

se $\beta = 100$, então $\alpha \cong 0,99$.

então

$$i_E = \left(I_S / \alpha \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

- É um diodo?
- Não é um diodo?

Expressões para as Correntes em um Transistor Bipolar na Região Ativa

Tabela 5.2 RESUMO DAS RELAÇÕES CORRENTE-TENSÃO PARA O TBJ NO MODO ATIVO

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

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \left(\frac{I_S}{\beta} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \left(\frac{I_S}{\alpha} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V ou, se precisar ajustar, } \Delta V_{BE} = 2,3 V_T \log (I_{E2}/I_{E1})$$

Nota: Nas exp. acima, para o transistor pnp, substitua v_{BE} por v_{EB} e inverta

$$i_C = \alpha i_E \quad i_B = (1 - \alpha) i_E = \frac{i_E}{\beta + 1} \quad \text{o sentido das correntes.}$$

$$i_C = \beta i_B \quad i_E = (\beta + 1) i_B$$

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

$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_T = \text{tensão térmica} = kT/q \cong 25 \text{ mV a temperatura ambiente}$$

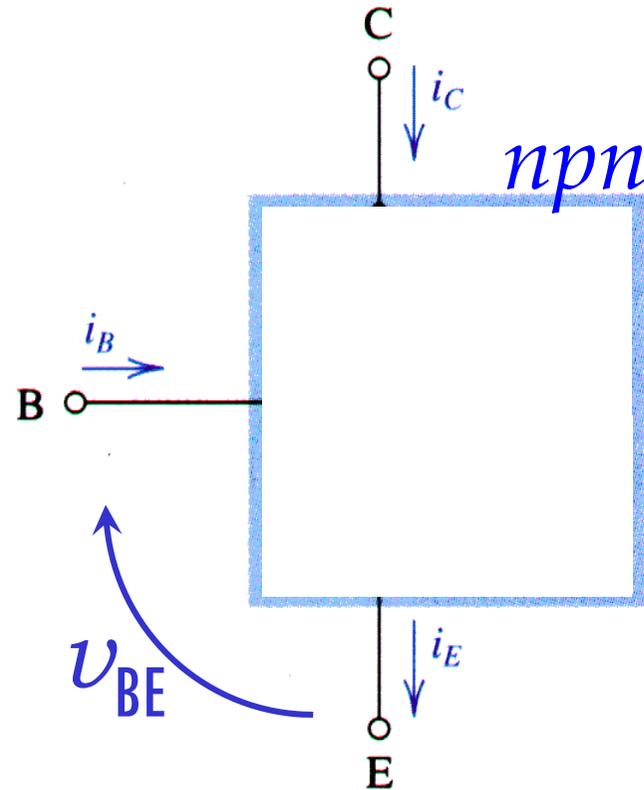
Um modelo para o Transistor NPN na região ativa

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

$$i_E = i_B + i_C$$

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

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



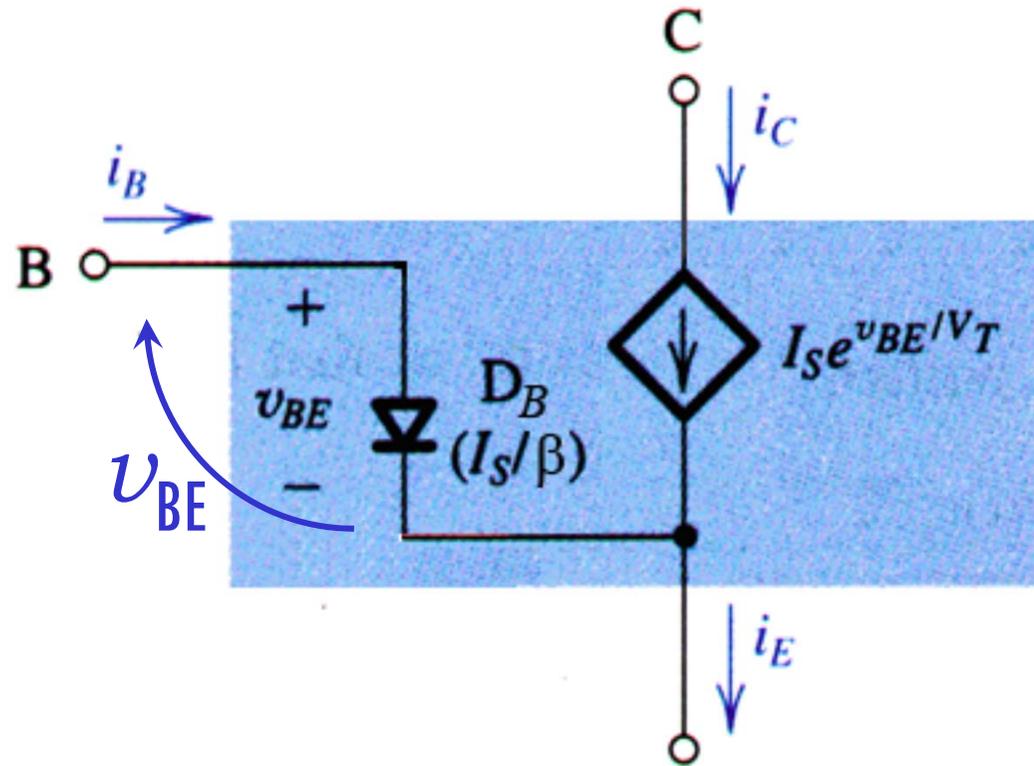
Modelo (nnpn) para grandes sinais na região ativa!

Outro modelo para o Transistor NPN na região ativa

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

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

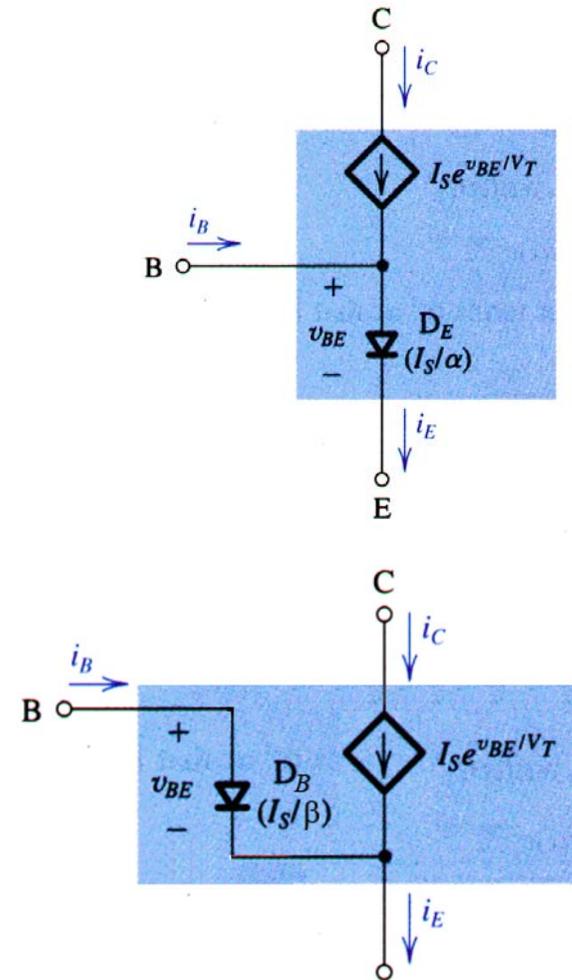
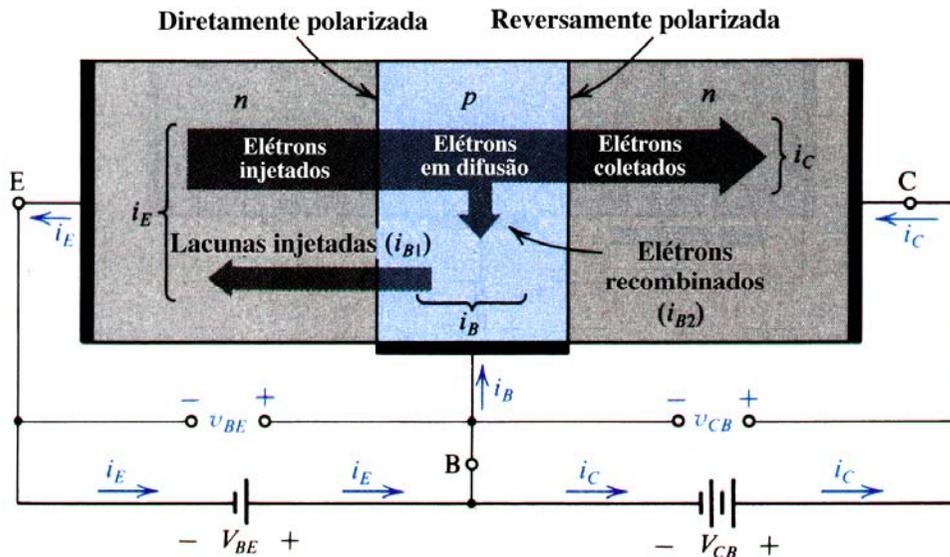
$$i_B = (I_S/\beta) e^{v_{BE}/V_T}$$



Modelo (nnp) para grandes sinais na região ativa!

O Transistor Bipolar

j_{BE} dir. pol. e j_{BC} rev. pol. (modo ativo)



Expressões para as Correntes em um Transistor Bipolar na Região Ativa

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

$$i_E = i_C + i_B$$

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

$$i_C = \beta i_B$$

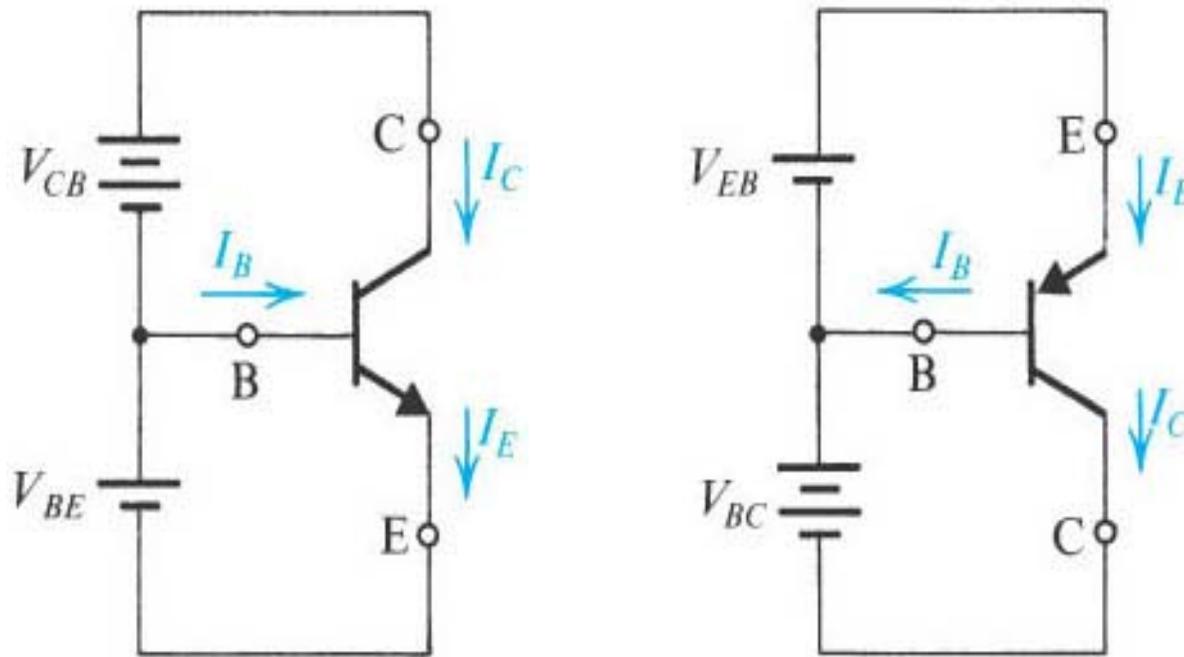
ou

$$\Delta v_{BE} = 2,3V_T \log(I_{E2} / I_{E1})$$

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

$$i_C = \alpha i_E$$

Polarizando transistores bipolares na região ativa



UNIVESP: https://www.youtube.com/watch?v=_jIOS7YqdcY&index=5&list=PLxI8Can9yAHevRkQnSgvilgnzCH3Nss_Y

Polarizando transistores bipolares na região ativa

Tabela 5.2 RESUMO DAS RELAÇÕES CORRENTE-TENSÃO PARA O TBJ NO MODO ATIVO

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

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \left(\frac{I_S}{\beta} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \left(\frac{I_S}{\alpha} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

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

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

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

$V_{BE} = 0,7 V$ ou, se precisar ajustar, $\Delta V_{BE} = 2,3 V_T \log (I_{E2}/I_{E1})$

Nota: Nas exp. acima, para o transistor pnp, substitua v_{BE} por v_{EB} e inverta

$$i_C = \alpha i_E \quad i_B = (1 - \alpha) i_E = \frac{i_E}{\beta + 1}$$

o sentido das correntes.

$$i_C = \beta i_B \quad i_E = (\beta + 1) i_B$$

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

$$I_E = I_C + I_B$$

$V_T =$ tensão térmica $= kT/q \cong 25 \text{ mV}$ a temperatura ambiente

Exemplo 5.1: O transistor no circuito da Figura 4.11(a) tem $\beta = 100$ e exibe um v_{BE} de 0,7 V quando $i_C = 1$ mA. Projete o circuito de modo que uma corrente de 2 mA circule pelo coletor e a tensão no coletor seja de +5 V .

Tabela 5.2 RESUMO DAS RELAÇÕES CORRENTE-TENSÃO PARA O TBJ NO MODO ATIVO

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

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \left(\frac{I_S}{\beta} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \left(\frac{I_S}{\alpha} \right) e^{v_{BE}/V_T}$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V ou, se precisar ajustar, } \Delta V_{BE} = 2,3 V_T \log(I_{E2}/I_{E1})$$

Nota: Nas exp. acima, para o transistor pnp, substitua v_{BE} por v_{EB} e inverta o sentido das correntes.

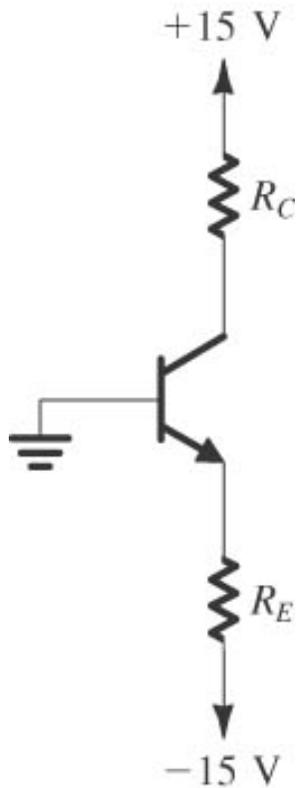
$$i_C = \alpha i_E \quad i_B = (1 - \alpha)i_E = \frac{i_E}{\beta + 1}$$

$$i_C = \beta i_B \quad i_E = (\beta + 1)i_B$$

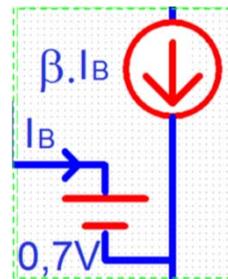
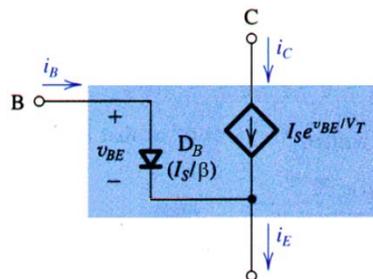
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$V_T =$ tensão térmica $= kT/q \cong 25$ mV a temperatura ambiente



$\beta = 100$
1mA@0,7V



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

$$i_E = i_C + i_B$$

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

$$i_C = \beta i_B$$

ou

$$\Delta v_{BE} = 2,3 V_T \log(I_{E2} / I_{E1})$$

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

$$i_C = \alpha i_E \quad 17$$