

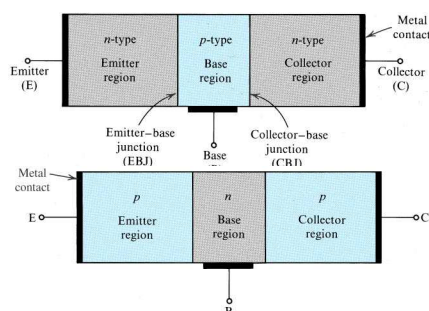
Informática para a Saúde

Electrónica – Transístores de Junção Bipolar

José Brito

Transístores de Junção Bipolar

- Três terminais: Emissor, Base e Colector
- Em electrónica analógica comporta-se como uma fonte controlada - amplificador
- Em electrónica digital comporta-se como um interruptor controlado

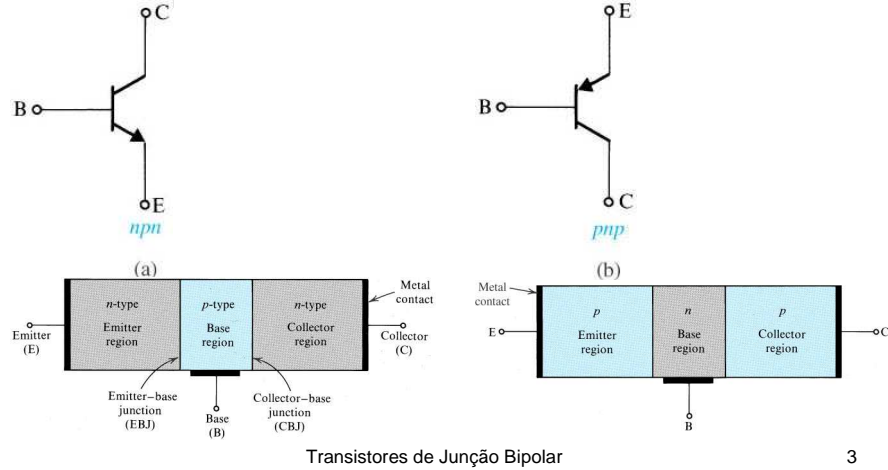


Transistores de Junção Bipolar

2

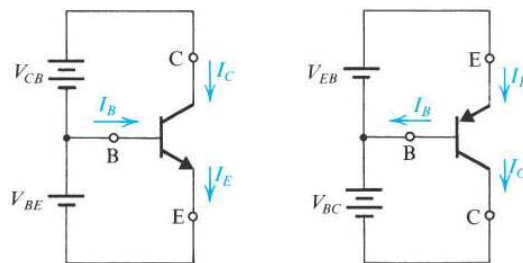
NPN e PNP

- Dois tipos de transístores: NPN e PNP



3

Símbolos e Sentidos de referência



Transistores de Junção Bipolar

4

Zonas de funcionamento

Junção BE	Junção BC	Zona	Aplicação
<0	<0	Corte	Circuitos Digitais
>0	>0	Saturação	
>0	<0	Activa Directa	Circuitos analógicos Amplificadores
<0	>0	Activa Inversa	Circuitos digitais Comutadores analógicos

Transistores de Junção Bipolar

5

Zonas de funcionamento

- Zona de Corte
 - $I_B=0$ $I_C=0$ $I_E=0$
- Saturação
 - NPN - $V_{BE} \approx 0,7V$; $V_{CE \text{ sat}} \approx 0,3 V$
 - PNP - $V_{EB} \approx 0,7V$; $V_{EC \text{ sat}} \approx 0,3 V$

Transistores de Junção Bipolar

6

Zona Activa Directa (NPN)

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

$$i_C = \beta \cdot i_B$$

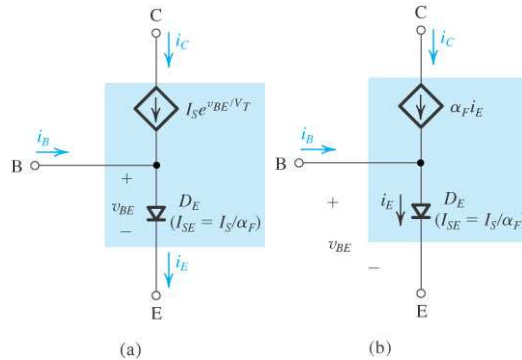
$$i_E = i_B + i_C = (\beta + 1)i_B$$

$$i_E = \frac{\beta + 1}{\beta} i_C$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad i_C = \alpha \cdot i_E \quad \beta \gg 1 \Rightarrow \alpha \approx 1 \Rightarrow i_E \approx i_C$$

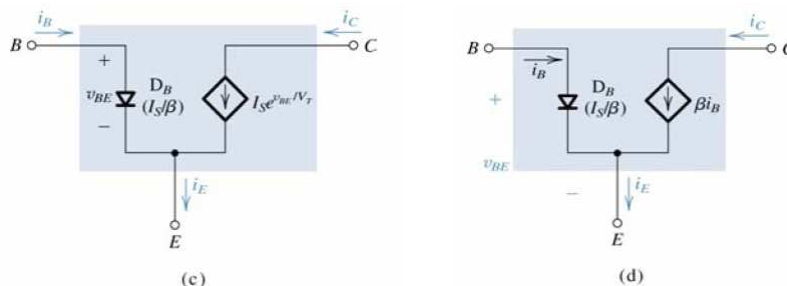
Transistores de Junção Bipolar

7



Zona Activa Directa (NPN)

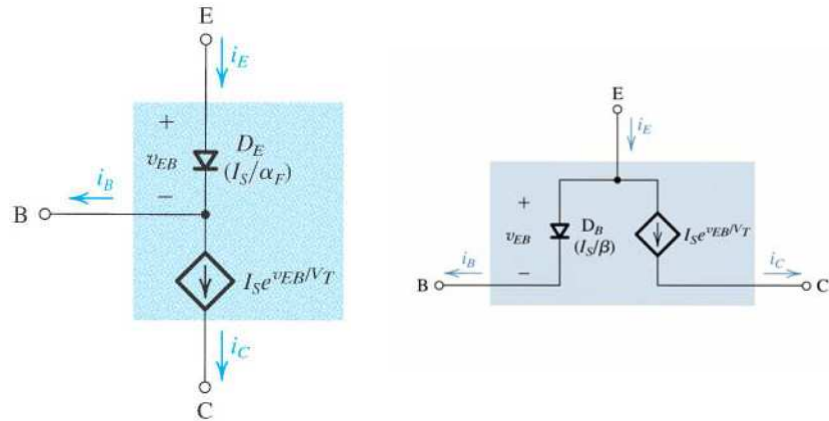
- Modelos Equivalentes (NPN)



Transistores de Junção Bipolar

8

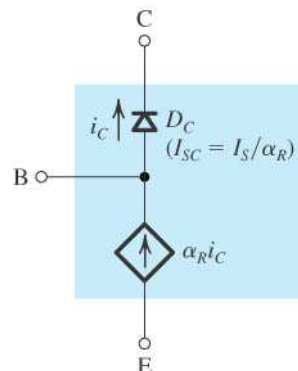
Zona Activa Directa (NPN)



Transistores de Junção Bipolar

9

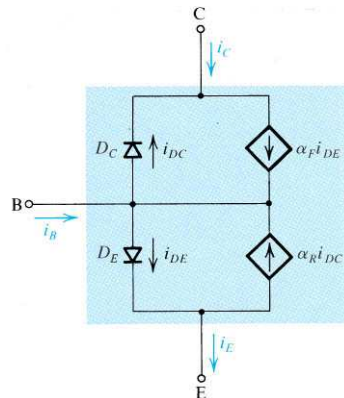
Zona Activa Inversa (NPN)



Transistores de Junção Bipolar

10

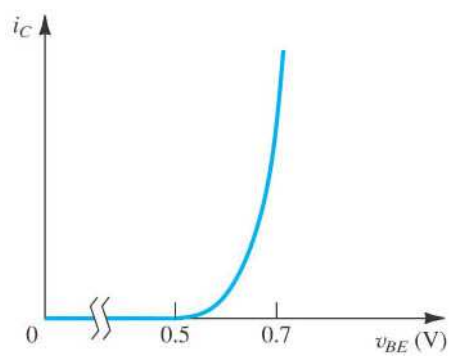
Modelo de Ebers-Moll (NPN)



Transistores de Junção Bipolar

11

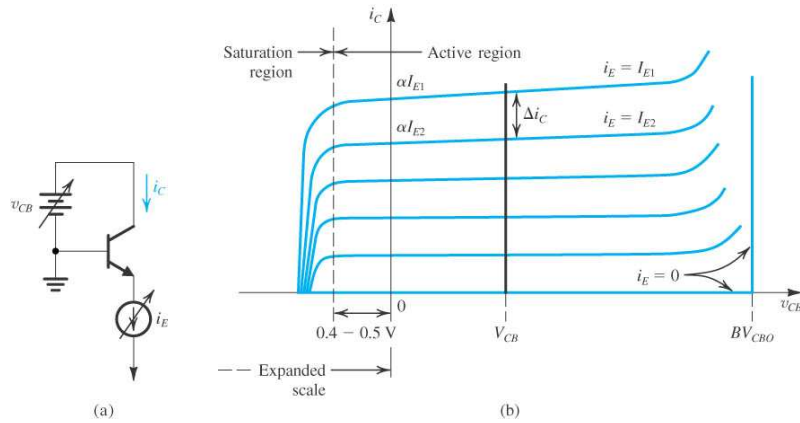
Característica $i_C - v_{BE}$



Transistores de Junção Bipolar

12

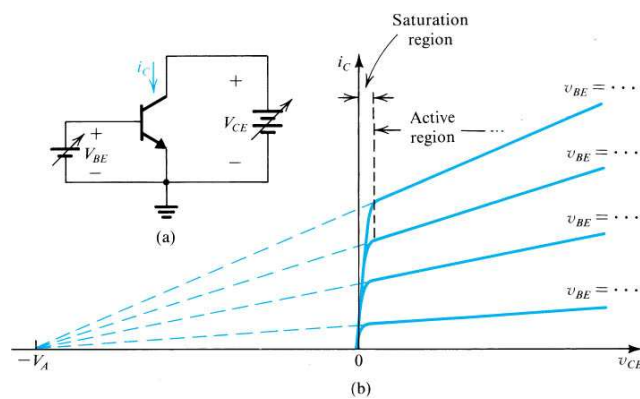
Característica de corrente $i_C - v_{CB}$ (ideal)



Transistores de Junção Bipolar

13

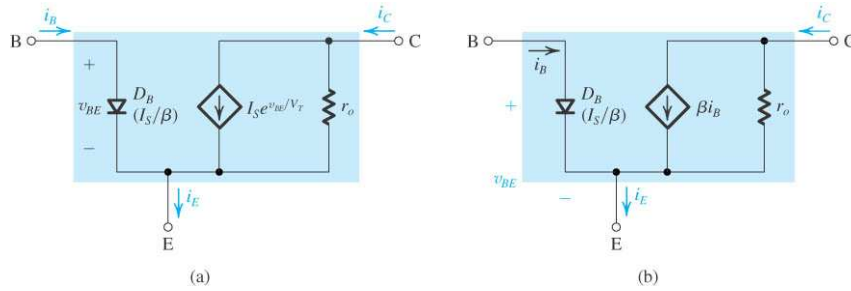
Efeito de Early



Transistores de Junção Bipolar

14

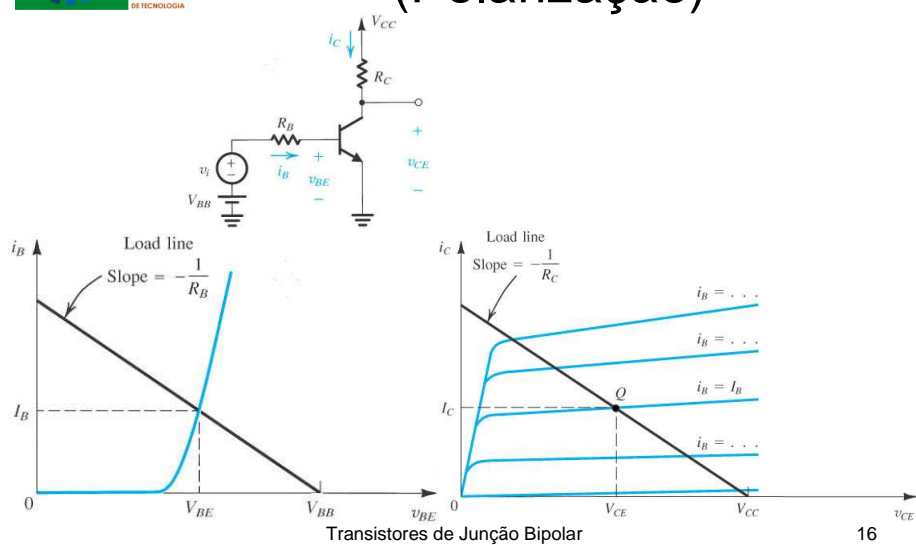
Modelo equivalente com efeito de Early



Transistores de Junção Bipolar

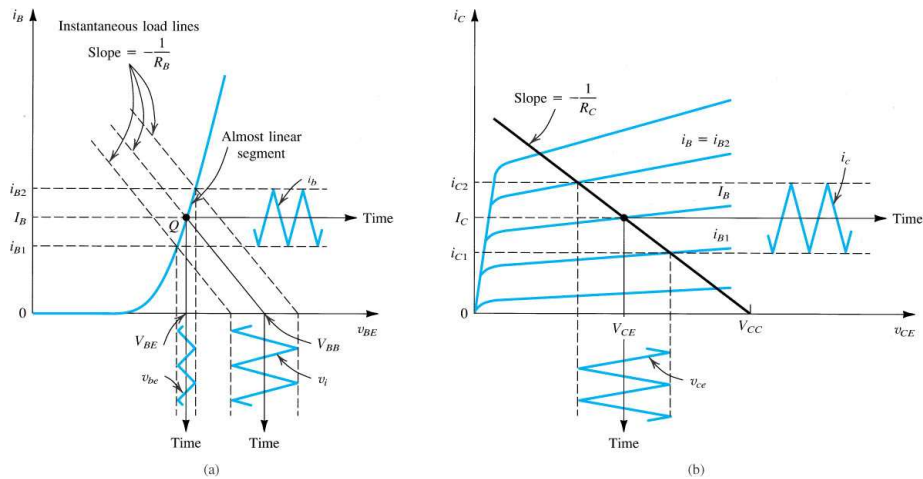
15

Funcionamento Estático (Polarização)



16

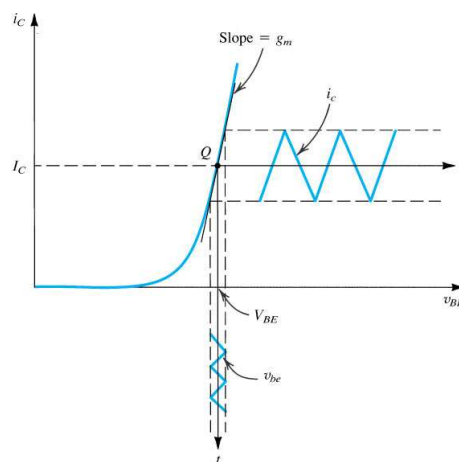
Funcionamento Dinâmico



Transistores de Junção Bipolar

17

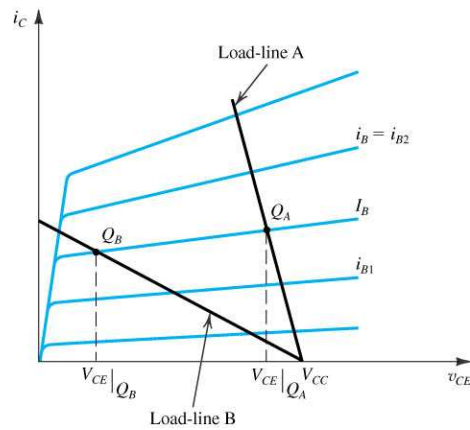
Funcionamento Dinâmico



Transistores de Junção Bipolar

18

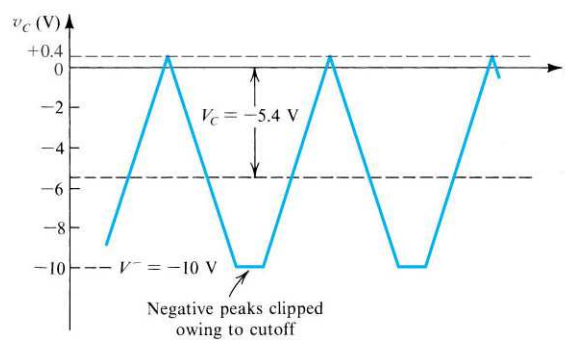
Variação do PFR



Transistores de Junção Bipolar

19

Distorção devido ao corte

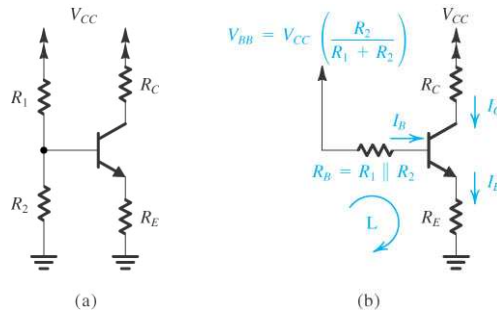


Transistores de Junção Bipolar

20

Polarização Estabilizada

- Método clássico

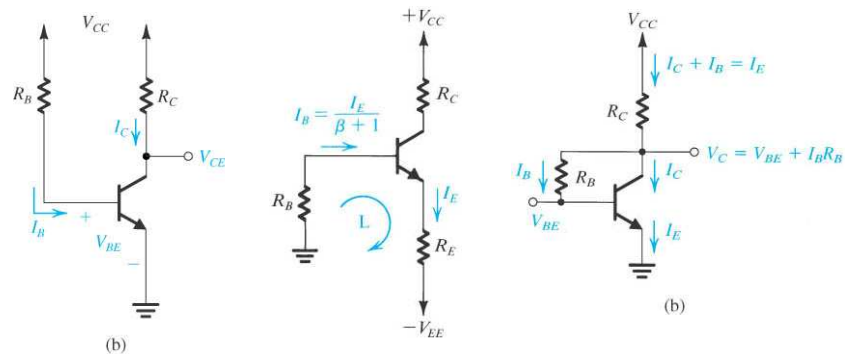


Transistores de Junção Bipolar

21

Polarização Estabilizada

- Métodos alternativos

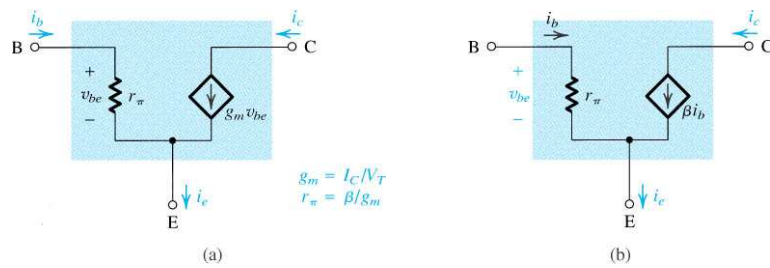


Transistores de Junção Bipolar

22

Modelos Equivalentes para sinais fracos

- Modelo de π híbrido

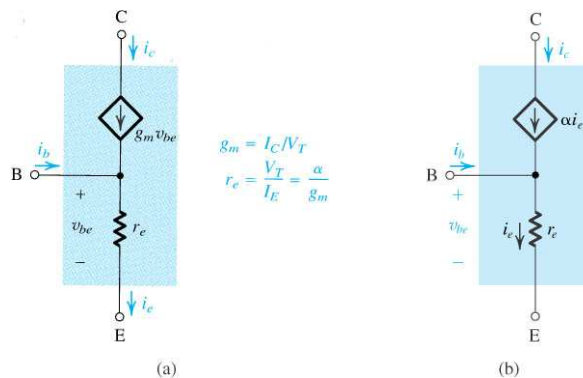


Transistores de Junção Bipolar

23

Modelos Equivalentes para sinais fracos

- Modelo T

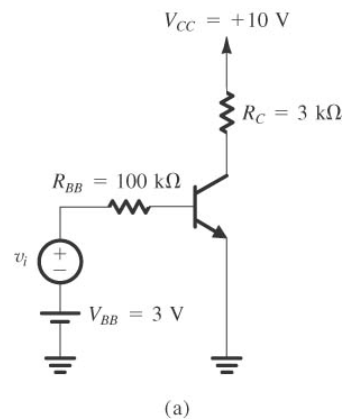


Transistores de Junção Bipolar

24

Exemplo de análise de um amplificador

- Determinar o PFR
- Retirar fontes DC
- Aplicar modelo

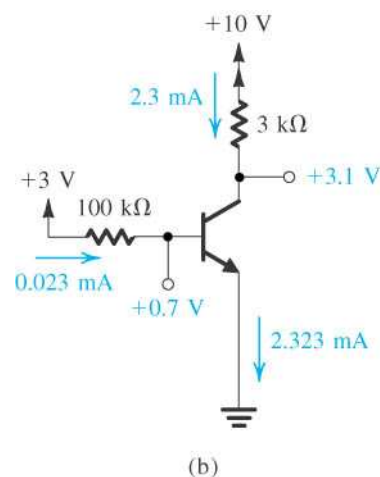


Transistores de Junção Bipolar

25

Análise de um amplificador (1)

- Determinar PFR

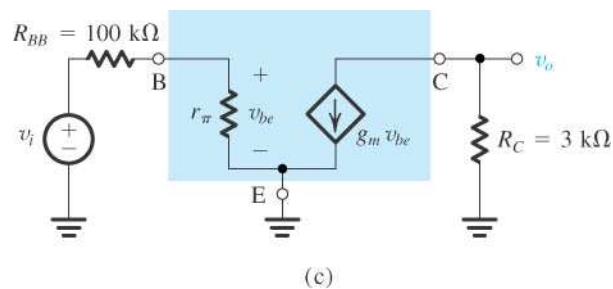


Transistores de Junção Bipolar

26

Análise de um amplificador (2 e 3)

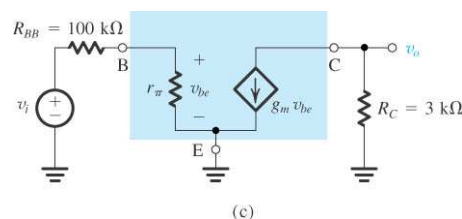
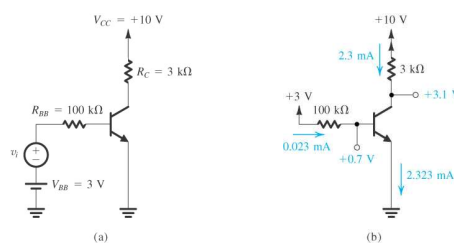
- Retirar fontes DC
- Aplicar modelo



Transistores de Junção Bipolar

27

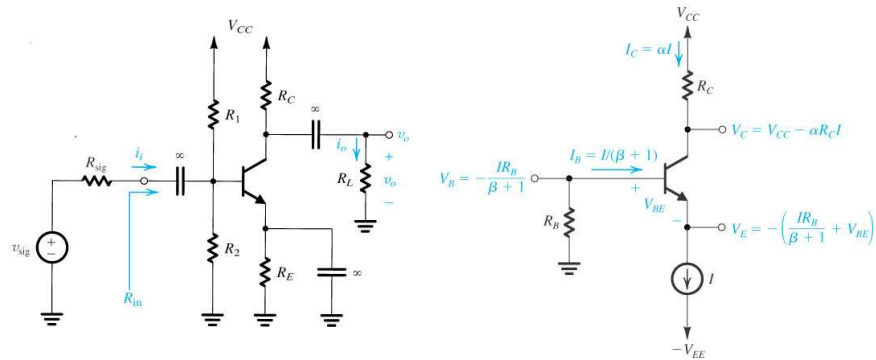
Análise de um amplificador (resumo)



Transistores de Junção Bipolar

28

Amplificadores genéricos

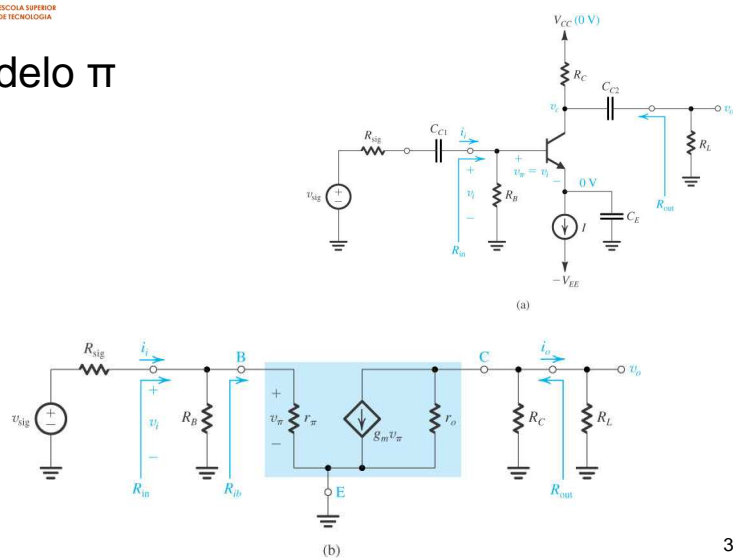


Transistores de Junção Bipolar

29

Emissor Comum

- Modelo π



30

Emissor Comum

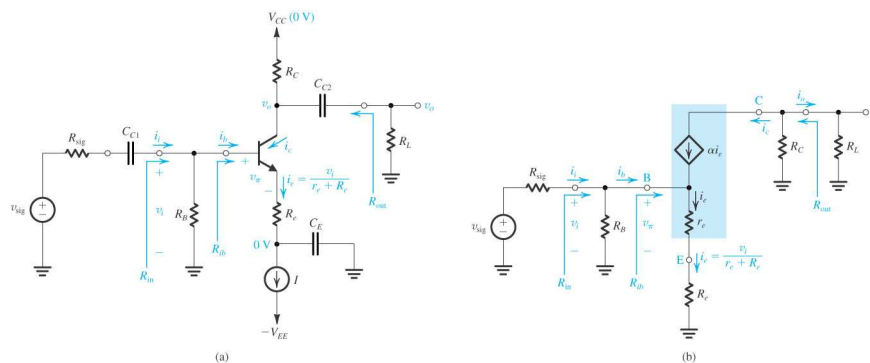
- $R_i = R_B // r_{\pi} \approx r_{\pi}$
- $R_o = R_C // r_o \approx R_C$
- $A_v = - r_{\pi} g_m (R_C // R_L // r_o) / (r_{\pi} + R_s)$
 $\approx -\beta (R_C // R_L // r_o) / (r_{\pi} + R_s)$

Transistores de Junção Bipolar

31

Emissor Comum Degenerado

- Resistência de emissor
 - Modelo T



Transistores de Junção Bipolar

32

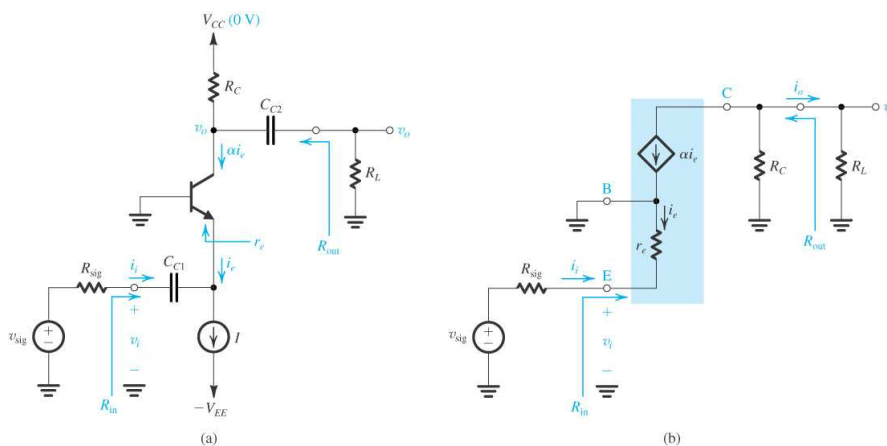
Emissor Comum Degenerado

- $R_i = R_B // (\beta + 1)(r_e + R_E)$
- $R_o \approx R_C$
- $A_v \approx -(R_C // R_L) / (r_e + R_E)$

Transistores de Junção Bipolar

33

Base Comum



Transistores de Junção Bipolar

34

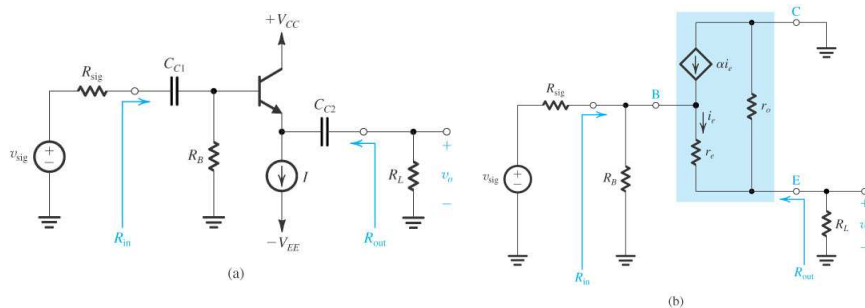
Base Comum

- $R_i \approx r_e$
- $R_o \approx R_C$
- $A_v \approx (R_C // R_L) / (r_e + R_s)$

Transistores de Junção Bipolar

35

Colector Comum – Emitter Follower



Transistores de Junção Bipolar

36

Colector Comum – Emitter Follower

$$\begin{aligned}
 - R_i &= R_B // (\beta + 1) [r_e + (R_E // r_o // R_L)] \\
 - R_o &= R_E // [r_e + (R_S // R_B) / (\beta + 1)] \\
 - A_v &= [R_i / (R_i + R_S)] [(R_E // r_o // R_L) / ((R_E // r_o // R_L) + r_e)] \\
 &= (\beta + 1) R_L / [(\beta + 1) R_L + r_{\pi} + R_S]
 \end{aligned}$$

Transistores de Junção Bipolar

37

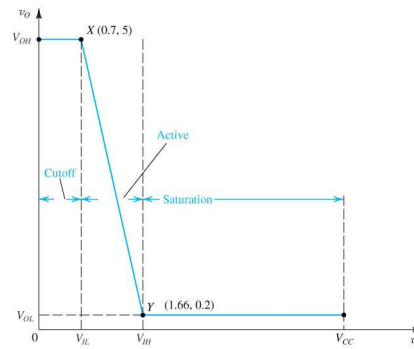
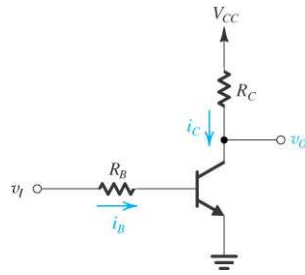
Comparação de amplificadores

	Emissor Comum	Emissor Comum Degenerado	Base Comum	Colector Comum
R_i	Médio	Médio Alto	Muito Baixo	Alto
R_o	Alto	Alto	Alto	Baixo
A_v	Médio	Médio (<)	Baixo	≈ 1
Aplic.	Andar de amplif.	Andar de amplif.	Buffer de corrente	Andar de saída

Transistores de Junção Bipolar

38

O Transístor como interruptor



Transistores de Junção Bipolar

39