

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Departamento Acadêmico de Elétrica (DAELE)  
Curso de Engenharia de Computação



## Modelagem do Transistor BJT no Domínio CA

Prof. Marcelo Flavio Guepfrih  
<guepfrih@gmail.com>



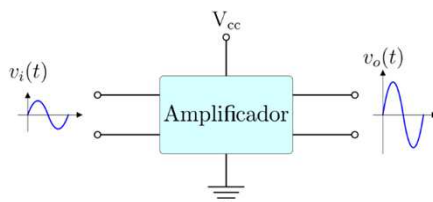
Pato Branco, Março de 2021.

### Conteúdo

- 1) Princípios da Amplificação
- 2) Considerações para Análise
- 3) Resistência de entrada e Resistência de saída
- 4) Resistência de Entrada ( $R_i$ )
- 5) Resistência de Saída ( $R_o$ )
- 6) Características Intrínsecas do Emissor Comum
- 7) Características Intrínsecas do Base Comum
- 8) Modelo  $R_e$
- 9) Modelo Híbrido
- 10) Modelo  $R_e$  X Modelo Híbrido
- 11) Metodologia para determinação de  $Z_i$  e  $Z_o$

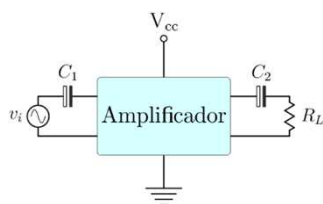
## Princípios da Amplificação

— Como ocorre a separação do sinal CC do sinal CA?



— Em alta frequência, o capacitor é um curto-circuito

— Em tensão contínua, o capacitor é um circuito aberto



13/07/2021

Aula 2

- $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$
- A parte contínua fica "presa" dentro do circuito amplificador, através do capacitor  $C_2$ .
- O capacitor  $C_1$  não deixa a parte contínua interferir na tensão de entrada.

3

## Considerações para Análise

— As análises efetuadas são válidas apenas para pequenos sinais

— O princípio de superposição é válido dada a consideração da linearidade imputada aos amplificadores — com isso é possível fazer a análise em CC separada da análise em CA

— Dada como verdadeira a superposição, isso permite estabelecer para as análises:

- Fonte de tensão se transforma em curto-circuito
- Fonte de corrente torna-se circuito aberto

— Serão considerados para afins de análise:

- Modelo Re
- Modelo Híbrido

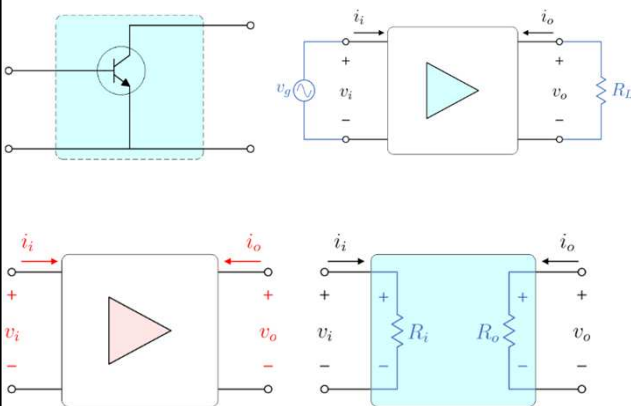
13/07/2021

Aula 2

4

## Resistência de entrada e Resistência de saída

### — Obter as características intrínsecas do BJT



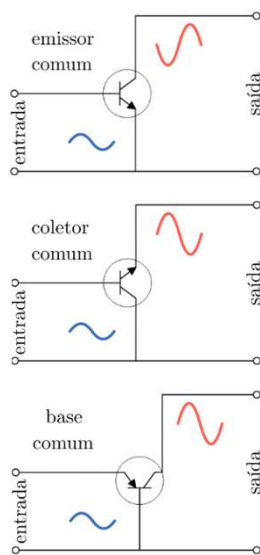
13/07/2021

Aula 2

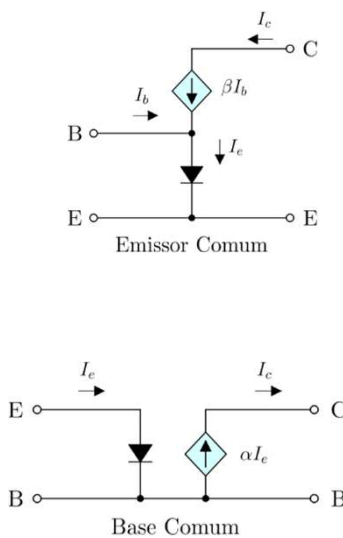
5

- Identificar e quantificar as resistências  $R_i$  e  $R_o$
- Definir as impedâncias de entrada e de saída em cada configuração

## Resistência de Entrada ( $R_i$ )



13/07/2021



### — Primeira consideração:

- O modelo para análise na **Configuração Emissor Comum** é válida para a **Configuração Coletor Comum**

### — Segunda consideração:

- A junção BE pode ser analisada como um diodo

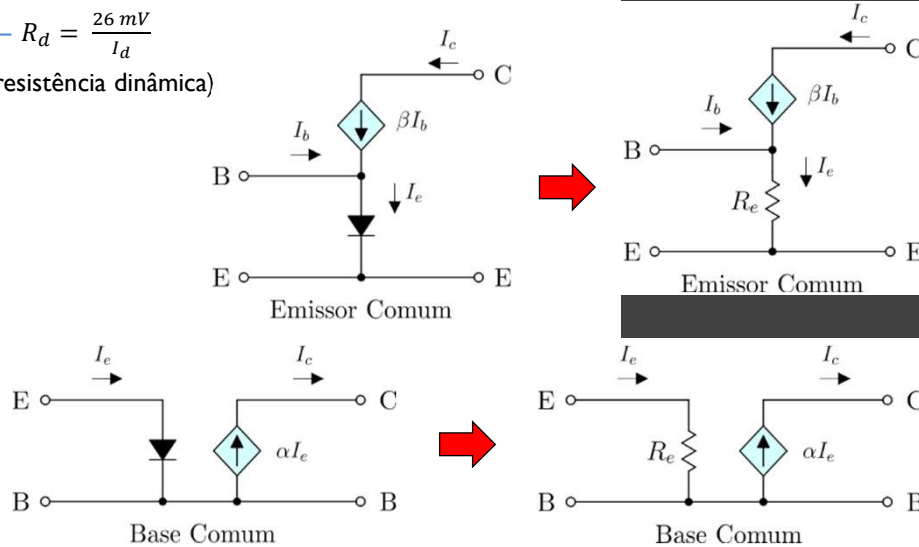
### — Terceira consideração:

- O transistor BJT é uma fonte de corrente, controlada por corrente

6

## Resistência de Entrada ( $R_i$ )

—  $R_d = \frac{26 \text{ mV}}{I_d}$   
(resistência dinâmica)



13/07/2021

Aula 2

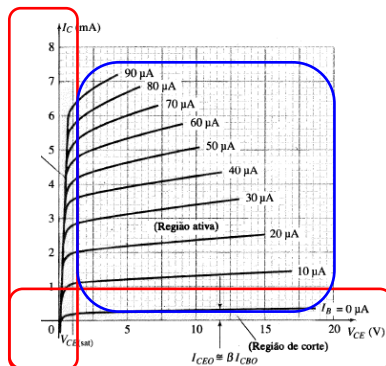
7

## Resistência de Saída ( $R_o$ )

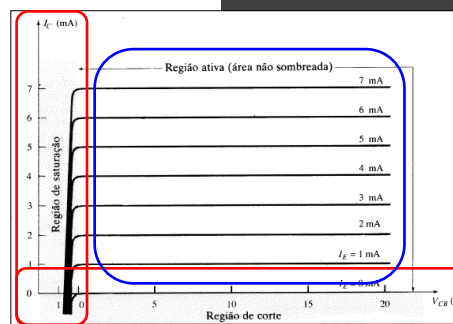
### Curvas características (EC) e (BC)

#### — Pontos de Operação

#### — Verificando em simulação



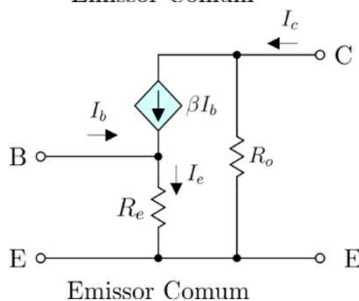
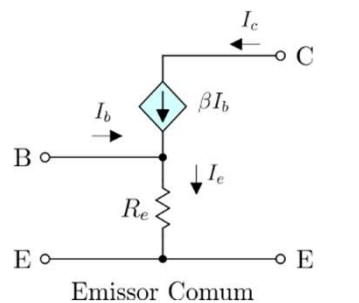
Emissor-comum



Base-comum

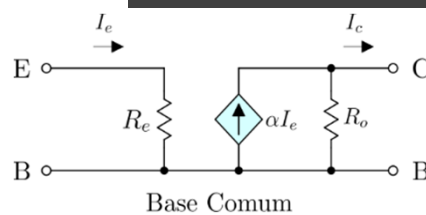
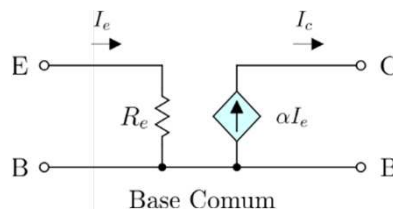
13/07/2021

8

Resistência de Saída ( $R_o$ )

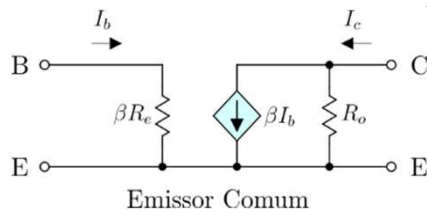
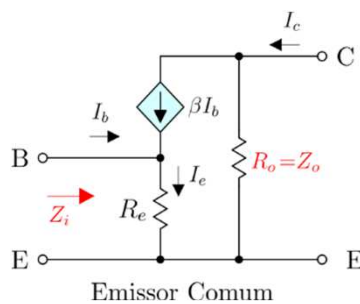
13/07/2021

Aula 2



9

## Características do Emissor Comum



13/07/2021

Aula 2

- Modelo  $R_e$
- Configuração T

$$Z_i \triangleq \frac{V_i}{I_i} = \frac{I_e \times R_e}{I_b}; \quad \text{com } I_c \approx I_e,$$

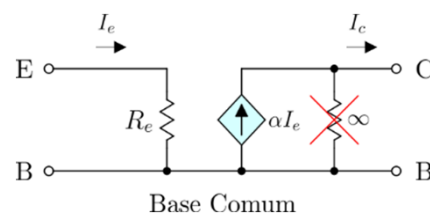
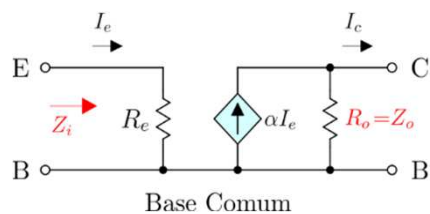
$$Z_i = \frac{I_c \times R_e}{I_b} = \frac{\beta I_b \times R_e}{I_b} \rightarrow = \beta \times R_e,$$

$$Z_o = R_o$$

- Configuração  $\pi$

10

## Características do Base Comum



13/07/2021

Aula 2

– Modelo  $R_e$

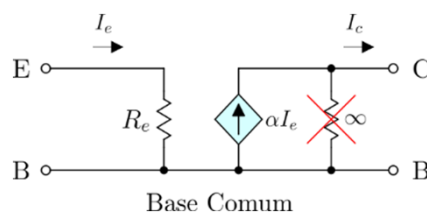
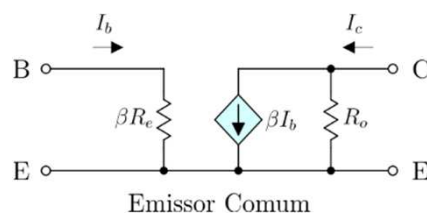
$$Z_i = R_e,$$

$$Z_o = \infty,$$

– Configuração  $\pi$

11

## Modelo $R_e$ (Emissor Comum) (Base Comum)



13/07/2021

Aula 2

– Modelo  $R_e$  equivalente  
válido para as  
configurações:

- Emissor Comum
- Base Comum

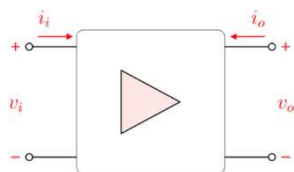
– Os modelos aqui obtidos  
podem ser empregados para  
as análises em EC, com:

- Polarização fixa
- Polarização divisor de tensão
- Realimentação de coletor
- Polarização do emissor
- Polarização seguidor de emissor

12

## Modelo Híbrido Equivalente

— Considera as características de um quadripolo



$$h_{11} = \left. \frac{V_i}{I_i} \right|_{V_o=0} \rightarrow \text{impedância de entrada } (\Omega) [h_i].$$

$$h_{12} = \left. \frac{V_i}{V_o} \right|_{I_i=0} \rightarrow \text{razão de transferência reversa de tensão } [h_r].$$

$$h_{21} = \left. \frac{I_o}{I_i} \right|_{V_o=0} \rightarrow \text{razão de transferência direta de corrente } [h_f].$$

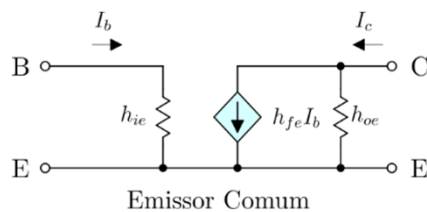
$$h_{22} = \left. \frac{I_o}{V_o} \right|_{I_i=0} \rightarrow \text{admitância de saída } (\mathcal{S}) [h_o].$$

13/07/2021

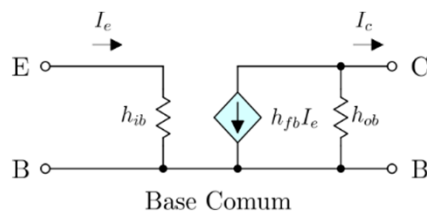
Aula 2

13

## Parâmetros do Modelo Híbrido



$$\begin{aligned} h_i &\rightarrow h_{ie} \\ h_r &\rightarrow h_{re} \\ h_f &\rightarrow h_{fe} \\ h_o &\rightarrow h_{oe} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} h_i &\rightarrow h_{ib} \\ h_r &\rightarrow h_{rb} \\ h_f &\rightarrow h_{fb} \\ h_o &\rightarrow h_{ob} \end{aligned}$$

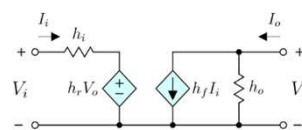
13/07/2021

Aula 2

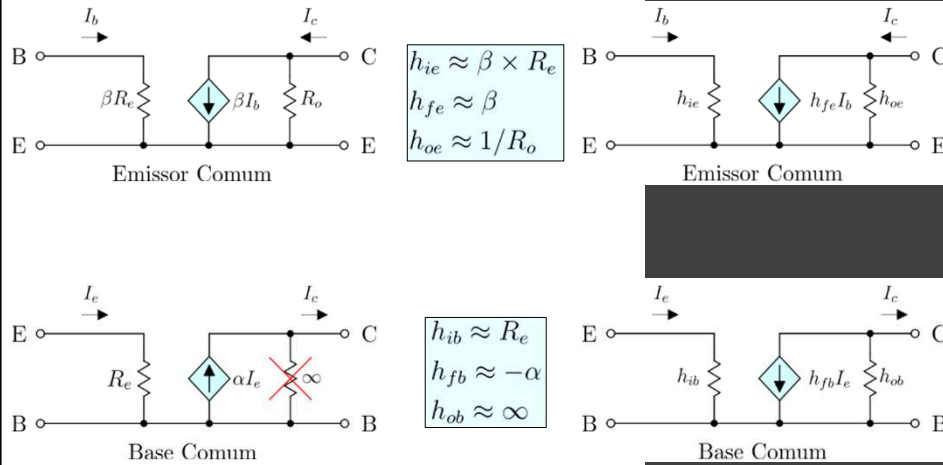
14

— Utiliza os parâmetros  $h$ .

— O parâmetro  $h_r$  tem um valor pequeno, podendo ser desprezado



## Modelo $R_e$ X Modelo Híbrido

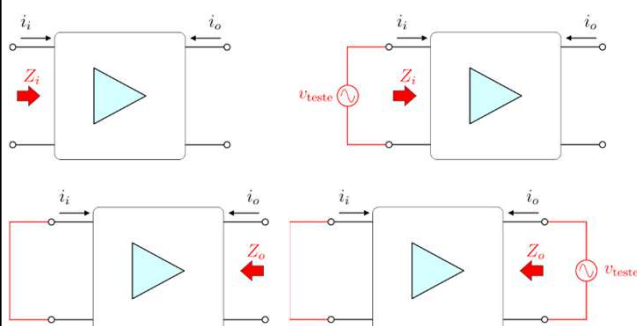


13/07/2021

Aula 2

15

## Metodologia para determinação de $Z_i$ e $Z_o$



$$h_{11} = \left. \frac{V_i}{I_i} \right|_{V_o=0} \rightarrow \text{impedância de entrada } (\Omega) [h_i].$$

$$h_{22} = \left. \frac{I_o}{V_o} \right|_{I_i=0} \rightarrow \text{admitância de saída } (\mathcal{U}) [h_o].$$

13/07/2021

Aula 2

16



## Referências

- BOYLESTAD, Robert & NASHELSKY, Louis. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos – Rio de Janeiro, Editora Prentice-Hall do Brasil Ltda.
- MALVINO, Albert Paul. Eletrônica – São Paulo, McGraw-Hill do Brasil. Vol. 2.
- PERTENCE JUNIOR, Antônio. Amplificadores operacionais e filtros ativos: teoria, projetos, aplicações e laboratório. São Paulo: Ed. Mc Graw-Hill, 1996.
  
- DUNN, William C. Introduction to instrumentation, sensors, and process control. Boston: Artech House, 2006.
- MOHAN, N., UNDELAND, T. M., and ROBBINS, W. P. Power Electronics: Converters, Applications, and design, 3a Edition, New York, John Wiley & Sons, 2002.
- JUNG, Walter G. Op amp applications handbook. Burlington, MA: Elsevier, 2006. xvi, 878 p. (analog devices series).
- MILLMAN, Jacob. Eletrônica: Dispositivos e Circuitos - São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil, 1981, 2 Vol;
- SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth Carless. Microeletrônica. 5.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- WEBSTER, John G., editor-in-chief, THE MEASUREMENT, instrumentation, and sensors handbook. Boca Raton, Fla.: CRC, IEEE, c1999. 2 v (Electrical engineering handbook series).

13/07/2021

Aula 2

17

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Departamento Acadêmico de Elétrica (DAELE)  
Curso de Engenharia de Computação

## Modelagem do Transistor BJT no Domínio CA

Prof. Marcelo Flavio Guepfrih  
<guepfrih@gmail.com>

Pato Branco, Março de 2021.

