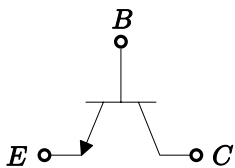


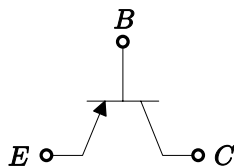
ELETRÔNICA II – FOLHA DE COLSULTA

Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação – Poli/UFRJ

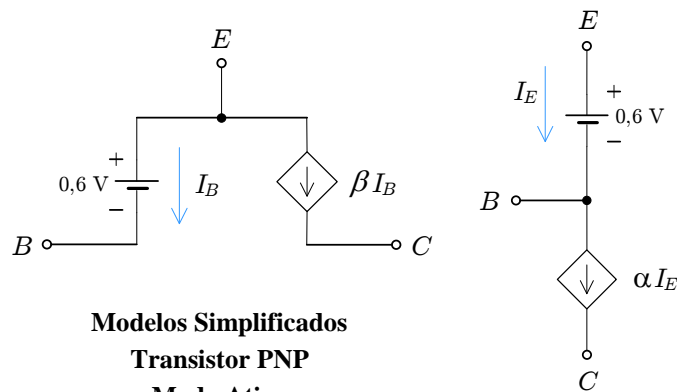
[I] Transistor Bipolar de Junção



Transistor NPN



Transistor PNP



Modelos Simplificados
Transistor PNP
Modo Ativo

[I.1] Modos de Operação:

[I.1.1] Modo de Corte:

Neste modo de operação, todas as junções PN do transistor estarão reversamente polarizadas. Nessa situação, teremos que as correntes serão $I_C = I_B = I_E = 0$.

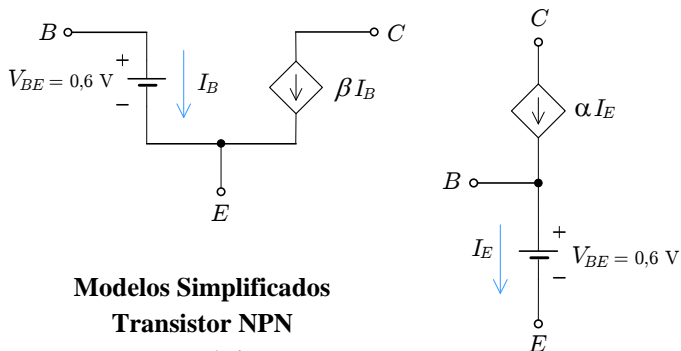
[I.1.2] Modo Ativo:

Neste modo de operação, a junção base-emissor estará diretamente polarizada, enquanto que a junção base-coletor estará reversamente polarizada. Nesse modo de operação, teremos que a corrente de coletor será dada por:

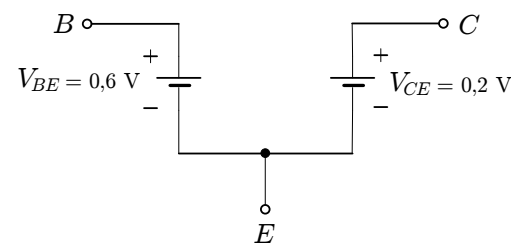
$$I_C = I_S \cdot e^{v_{BE}/v_T}$$

Onde a tensão térmica é $v_T = 25 \text{ mV}$ à temperatura ambiente. Os modelos simplificados para o transistor nesse modo de operação são apresentados a seguir, onde:

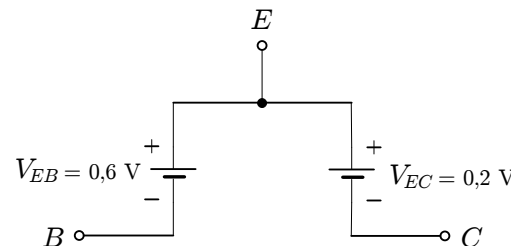
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \text{ e } \alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$



Modelos Simplificados
Transistor NPN
Modo Ativo



Modelo Transistor NPN na Saturação

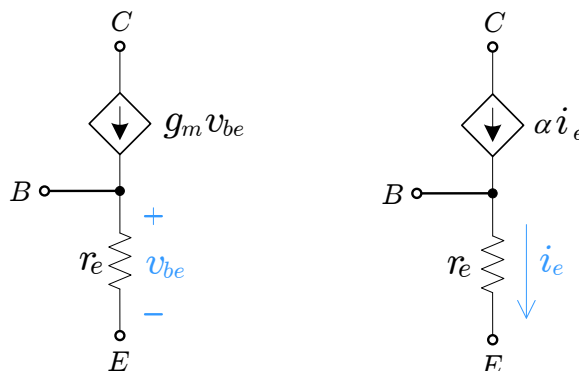


Modelo Transistor PNP na Saturação

[I.2] Modelos para Pequenos Sinais:

Os modelos para pequenos sinais dos transistores NPN e PNP são exatamente iguais e estão representados a seguir. Nesses modelos, temos que:

$$g_m = \left. \frac{di_C}{dv_{BE}} \right|_Q = \frac{I_C}{v_T}, \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \text{ e } r_e = \frac{\alpha}{g_m}$$



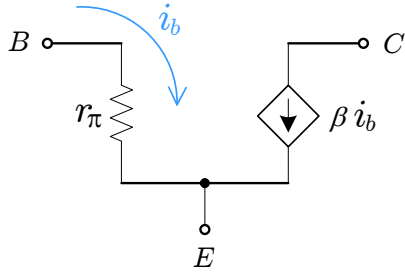
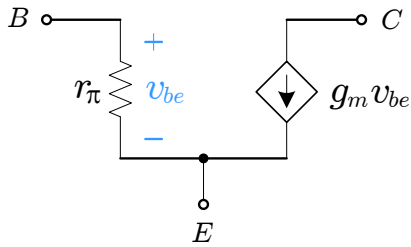
Modelos T

[I.1.3] Modo de Saturação:

Neste modo de operação, ambas as junções do transistor bipolar estarão diretamente polarizadas. Nessa situação, teremos que a relação entre as correntes de base e emissor será:

$$I_C < \beta I_B$$

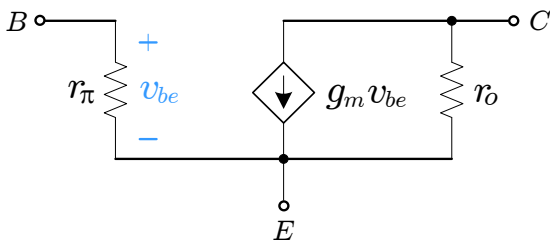
Os modelos simplificados do transistor bipolar operando no modo de saturação estão apresentados a seguir.



Modelos π -Híbridos

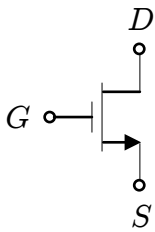
Contabilizando o Efeito Early, o modelo de pequenos sinais do transistor bipolar passará a ser como mostrado abaixo, onde:

$$r_o = \frac{V_A}{I_C}$$

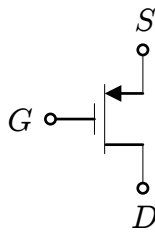


Modelo π -Híbrido com Efeito Early

[II] Transistor de Efeito de Campo MOSFET



MOSFET de Canal N



MOSFET de Canal P

[II.1] Modos de Operação:

[II.1.1] Modo de Corte:

Neste modo de operação, não haverá canal de condução entre as regiões de dreno e fonte do transistor. Para isso ocorrer, deveremos ter que: $V_{GS} < V_{th}$ em transistores de canal N e $V_{GS} > V_{th}$ em transistores de canal P. Lembrando que a tensão de limiar $V_{th} > 0$ em transistores de cana N e $V_{th} < 0$ em transistores de canal P. Dessa forma, nesse modo de operação: $I_D = I_S = 0$.

[II.1.2] Modo de Triodo:

Neste modo de operação, temos que:

$$\begin{cases} 0 < V_{th} < V_{GS} \\ V_{DS} < V_{GS} - V_{th} \end{cases}$$

MOSFET de Canal N

$$\begin{cases} V_{GS} < V_{th} < 0 \\ V_{DS} > V_{GS} - V_{th} \end{cases}$$

MOSFET de Canal P

Onde a corrente de dreno será dada por:

$$I_D = k_N \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (\text{MOSFET Canal N})$$

$$I_D = k_P \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \quad (\text{MOSFET Canal P})$$

[II.1.3] Modo de Saturação:

Neste modo de operação, temos que:

$$\begin{cases} 0 < V_{th} < V_{GS} \\ V_{DS} \geq V_{GS} - V_{th} \end{cases}$$

MOSFET de Canal N

$$\begin{cases} V_{GS} < V_{th} < 0 \\ V_{DS} \leq V_{GS} - V_{th} \end{cases}$$

MOSFET de Canal P

Onde a corrente de dreno será dada por:

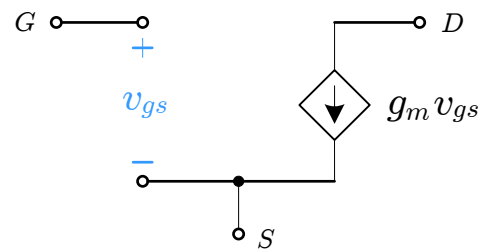
$$I_D = \frac{1}{2} k_N \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (\text{MOSFET Canal N})$$

$$I_D = \frac{1}{2} k_P \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (\text{MOSFET Canal P})$$

[II.2] Modelo para Pequenos Sinais:

Os modelos para pequenos sinais dos transistores de Canal N e P são exatamente iguais e estão representados a seguir. Nesse modelo, temos que:

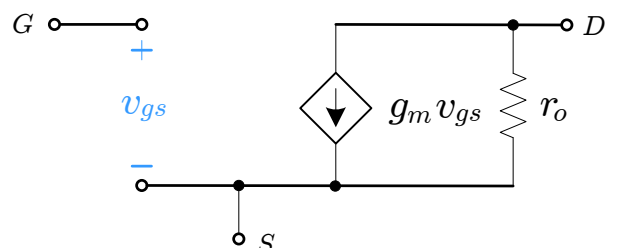
$$g_m = \left. \frac{di_D}{dv_{GS}} \right|_Q = k_{N,P} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{th}) = \sqrt{2 k_{N,P} \frac{W}{L} I_D}$$



Modelo para Pequenos Sinais do MOSFET

Contabilizando o Efeito Early (Efeito de Modulação do Comprimento de Canal), o modelo de pequenos sinais do transistor bipolar passará a ser como mostrado abaixo, onde:

$$r_o = \frac{1}{\lambda I_D}, \quad \text{onde} \quad \lambda = \frac{1}{V_A}$$



Modelo de Pequenos Sinais com Efeito Early