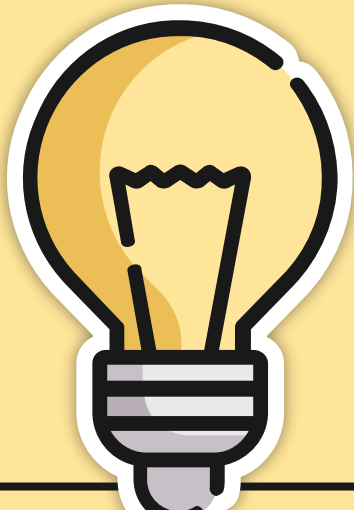


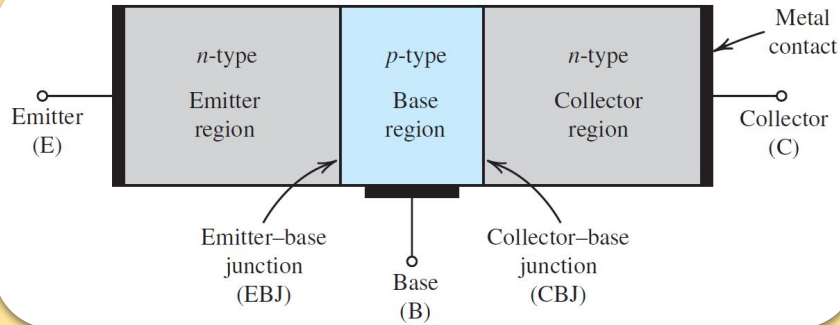
PETEE apoio acadêmico

Conteúdos

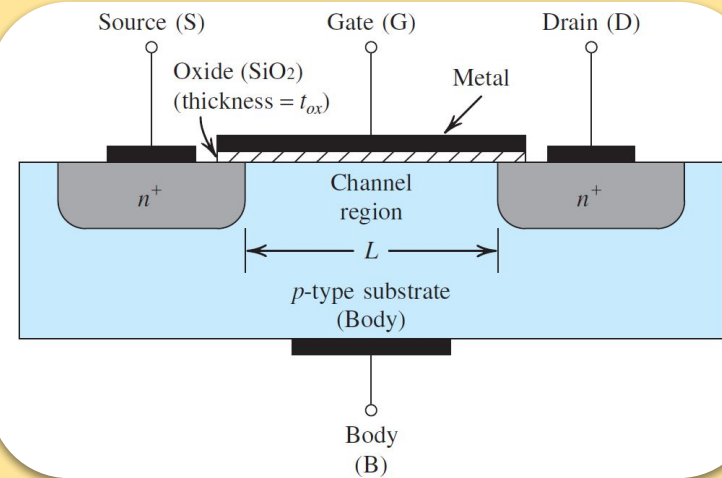
ELT084 - Dispositivos e Circuitos Eletrônicos Básicos
Transistores



Transistores



BJT



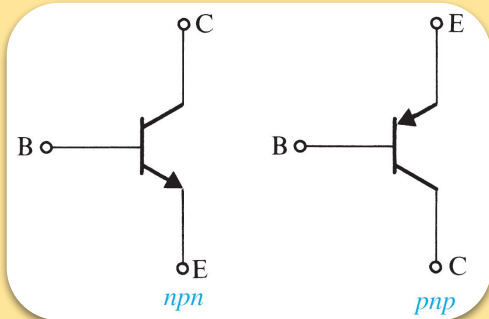
MOSFET

Página anterior

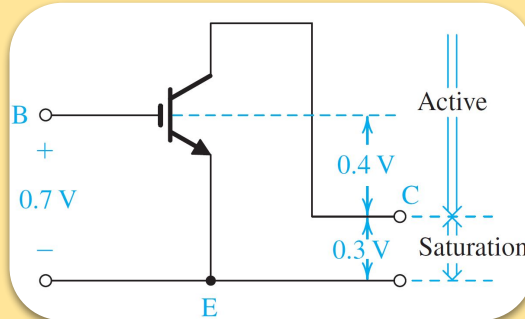


Transistores BJT

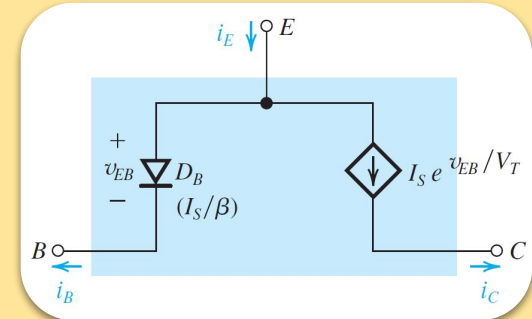
Página inicial



Tipos de BJT



Modos de operação

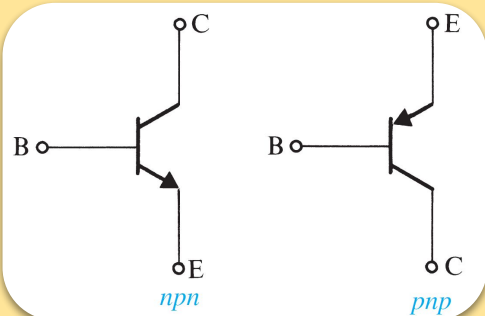


Modelos

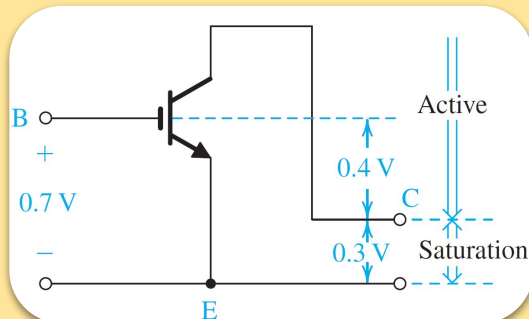


Transistores BJT

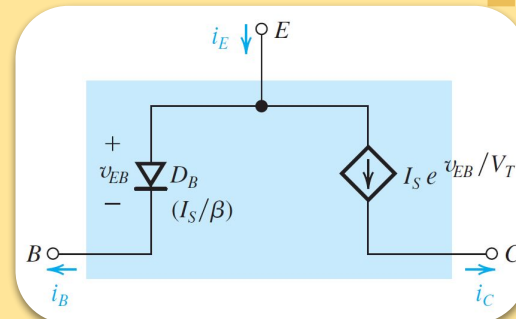
Página inicial



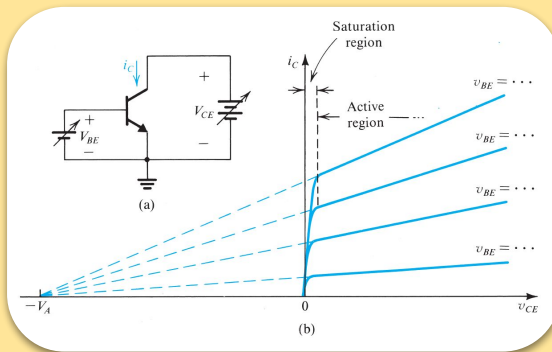
Tipos de MOSFET



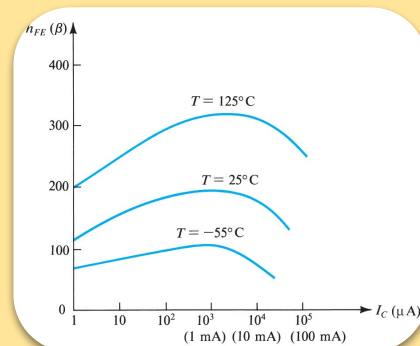
Modos de operação



Modelos



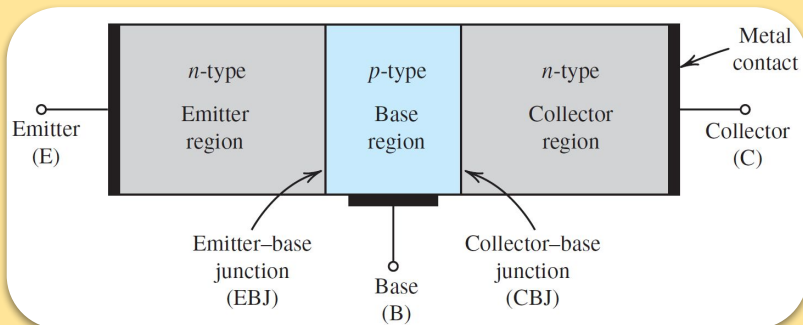
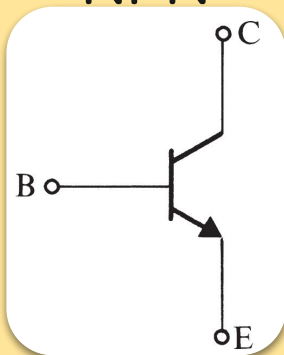
Efeito Early



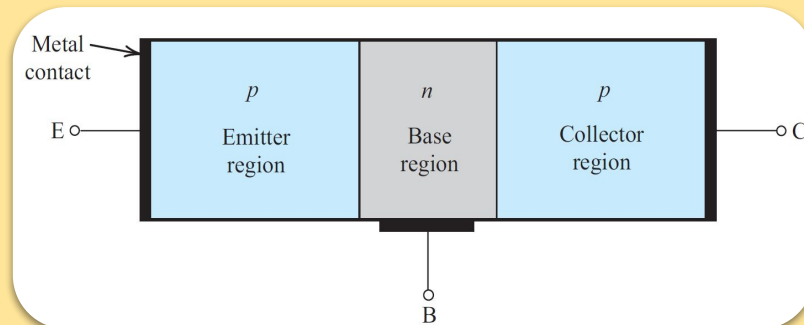
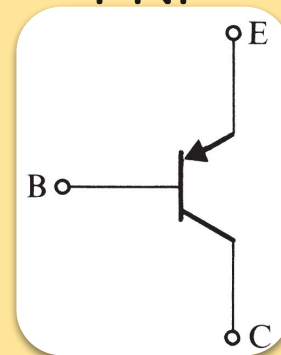
Outros tópicos

Tipos de BJT

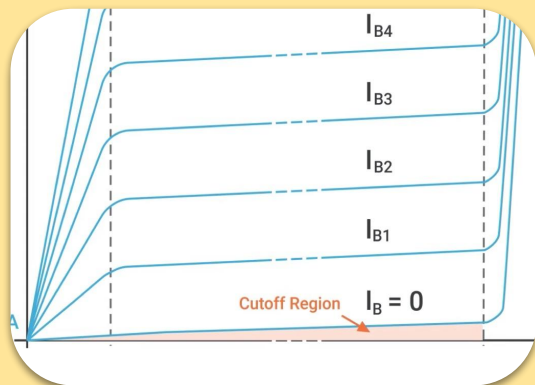
NPN



PNP

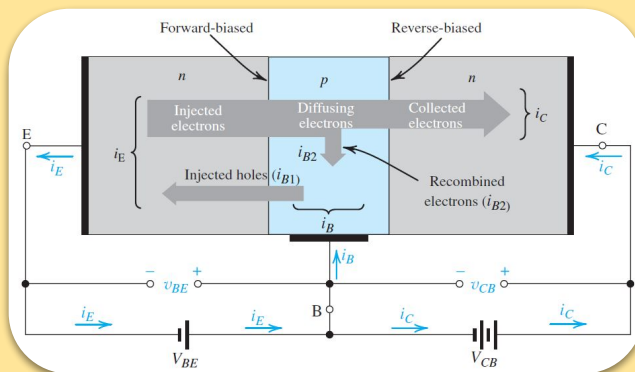


Corte



Nenhuma corrente flui, porque ambas as junções (diodos) estão polarizadas reversamente

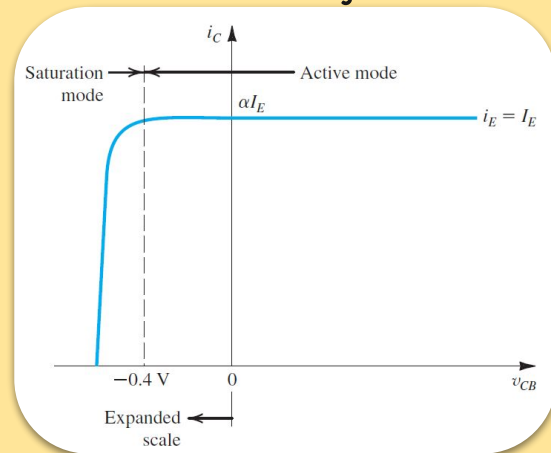
Ativo



É aquele usado se o transistor for operar como um amplificador, operação linear.

Modo Ativo

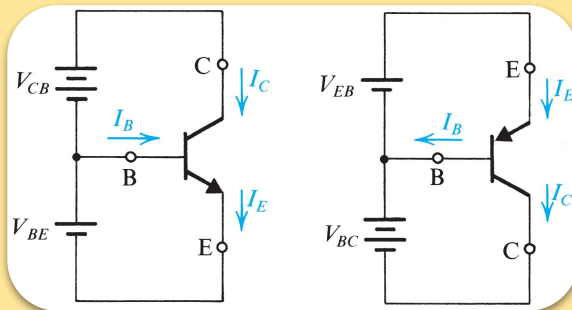
Saturação



Para valores de V_{CB} abaixo de aproximadamente $-0,4\text{V}$, o BJT entra em

saturação

Saturação



Corrente de coletor

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

 I_S : corrente de saturação

I_C é independente do valor de V_{CB} , ou seja, garantindo o coletor mais positivo que a base, a corrente sempre flui.

Corrente de base

$$i_B = \frac{i_C}{\beta}$$

β é chamado de ganho de corrente de emissor comum.

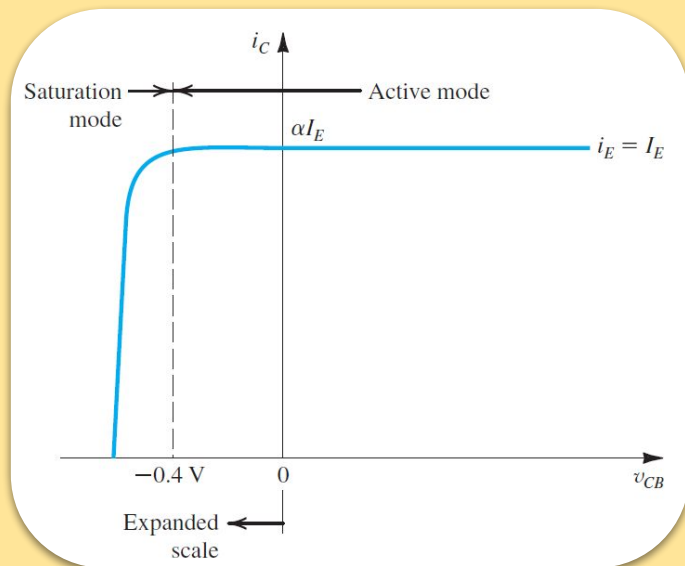
Corrente de emissor

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

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

α é chamado de ganho de corrente de base comum.

A saturação ocorre quando o transistor está completamente “ligado”, e a corrente de coletor não aumenta mais significativamente, mesmo com o aumento da tensão entre coletor e emissor.

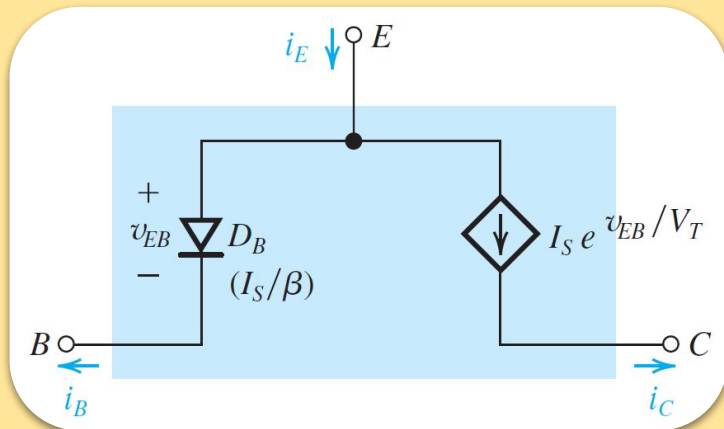


Como I_C/I_B de um transistor saturado pode ser configurado para qualquer valor desejado menor do que β ajustando V_{BC} , esse raio é conhecido como β forçado.

$$\beta_{\text{forced}} = \left. \frac{i_C}{i_B} \right|_{\text{saturation}} \leq \beta$$

Modelos

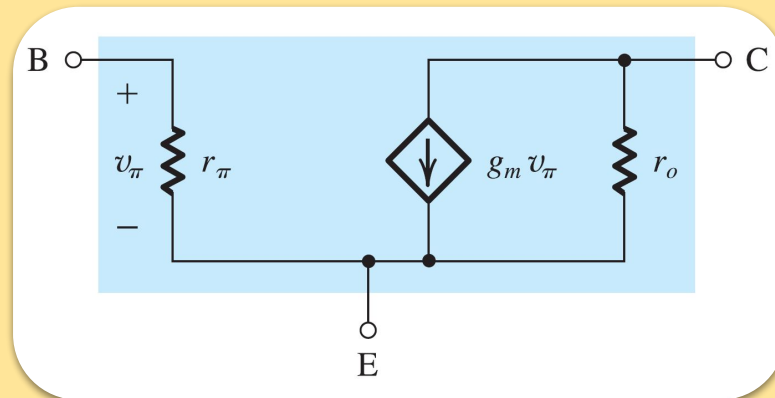
Grandes sinais



Aplicado quando o transistor opera com sinais fortes, considerando comportamentos não lineares.

Grandes Sinais

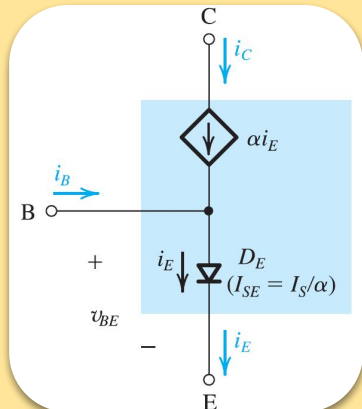
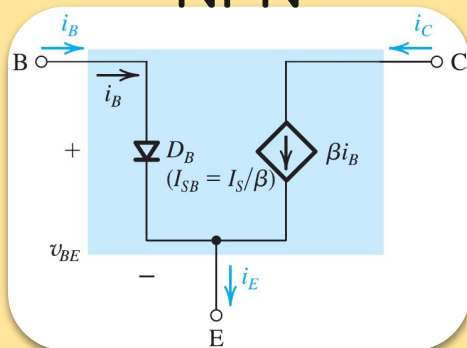
Pequenos sinais



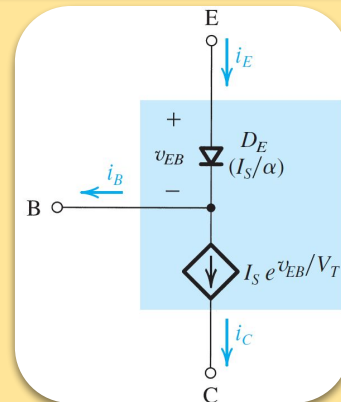
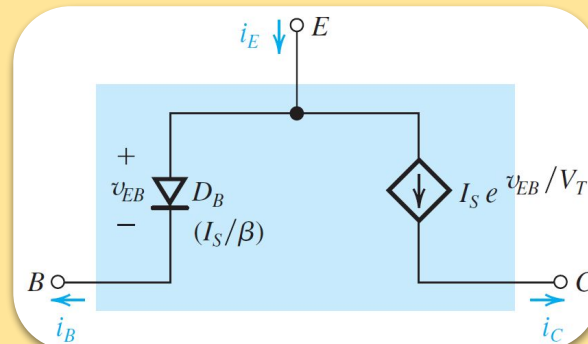
Utilizado para analisar circuitos com sinais fracos e variações lineares

Pequenos Sinais

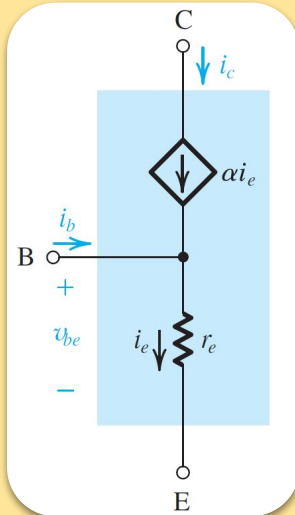
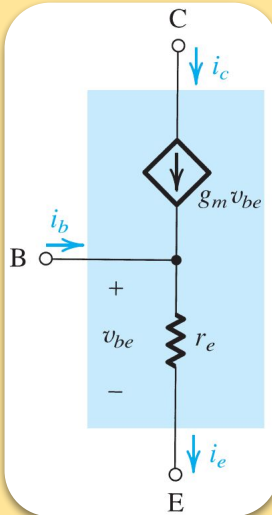
NPN



PNP



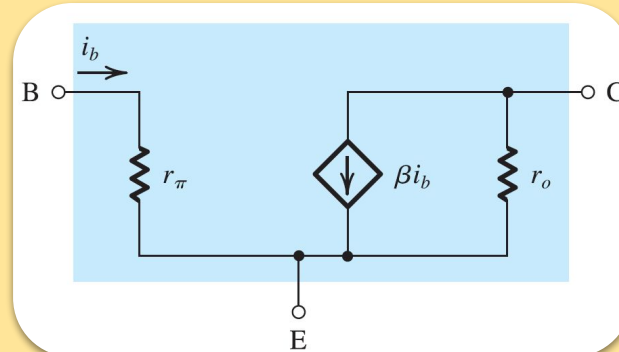
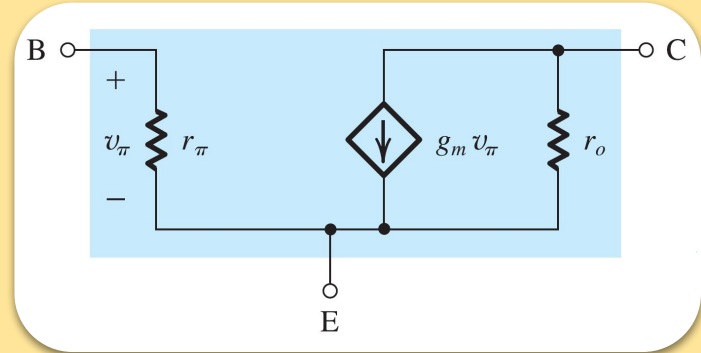
Modelo T



$$g_m = I_C / V_T$$

$$r_e = \frac{V_T}{I_E} = \frac{\alpha}{g_m}$$

OBS: ambos os modelos podem ser usados tanto para o NPN quanto para o PNP.

Modelo π 

$$g_m = I_C / V_T$$

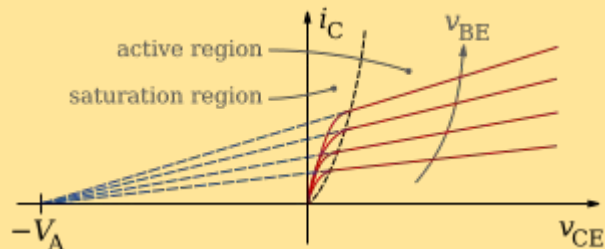
$$r_\pi = V_T / I_B = \beta / g_m$$

$$r_o = V_A / I_C$$



Efeito Early

Página inicial



Quando operam no modo ativo, BJTs práticos apresentam certa dependência da corrente de coletor com a tensão de coletor.

O resultado desse efeito no gráfico **corrente de coletor x tensão coletor-base** é que as linhas deixam de ser perfeitamente horizontais.

Quando extrapoladas, as linhas características se encontram em um ponto no eixo negativo de V_{ce} , em $V_{ce} = -V_A$ (Tensão de Early).

A inclinação não negativa das retas da curva **corrente de coletor x tensão coletor-base** indica que a resistência de saída vista do coletor não é infinita. Na verdade, ela é definida por:

$$r_o \equiv \left[\left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \right|_{v_{BE} = \text{constant}} \right]^{-1}$$

A resistência de saída finita tem um efeito significativo no ganho de amplificadores transistorizados.

No modelo do transistor, a resistência de saída é modelada por uma resistência R_o colocada em paralelo com a fonte de corrente dependente.

Raramente é necessário incluir a dependência de I_c em V_{ce} no projeto e análise de polarização DC realizados manualmente.



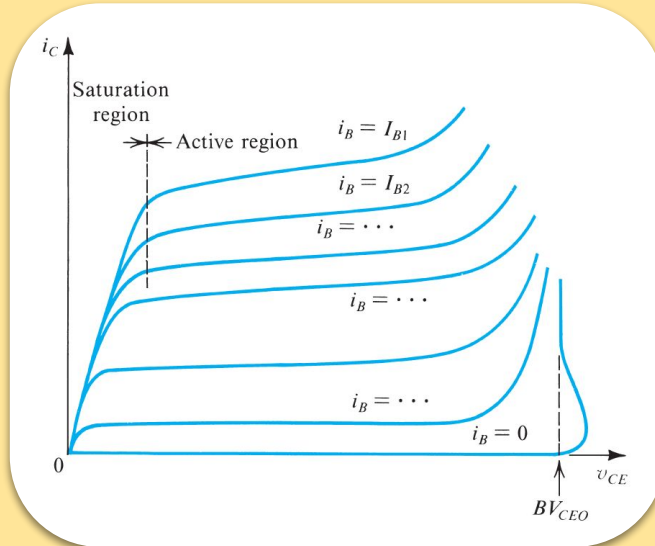
Outros tópicos

[Página inicial](#)

Tensão de ruptura

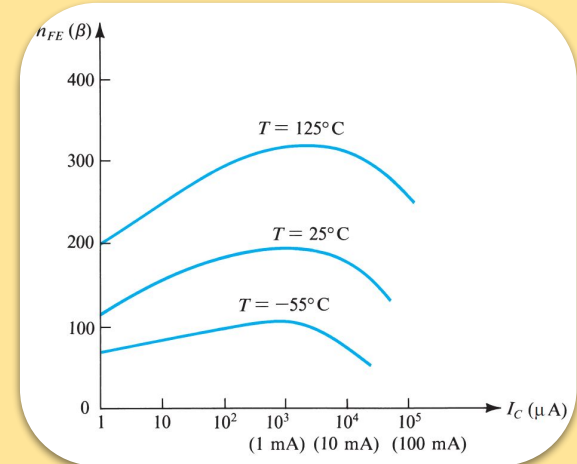
A tensão máxima que pode ser aplicada depende dos efeitos de ruptura nas junções EB e CB.

A medida que a corrente de base aumenta, a tensão de ruptura diminui.



Dependência com a temperatura

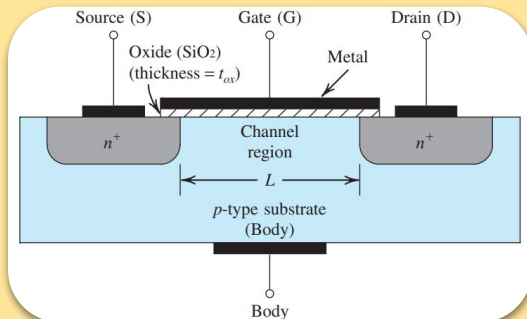
Há uma faixa de temperatura na qual β é máximo.



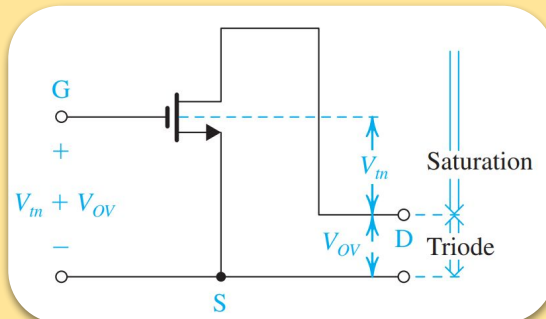


Transistores MOSFET

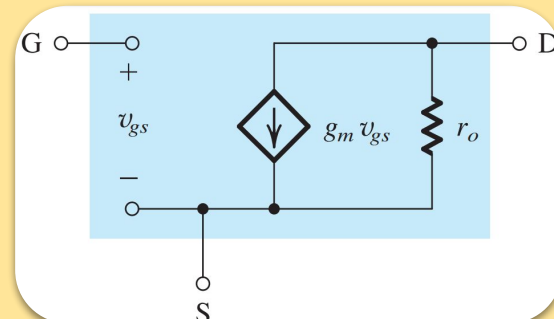
Página inicial



Tipos de MOSFET



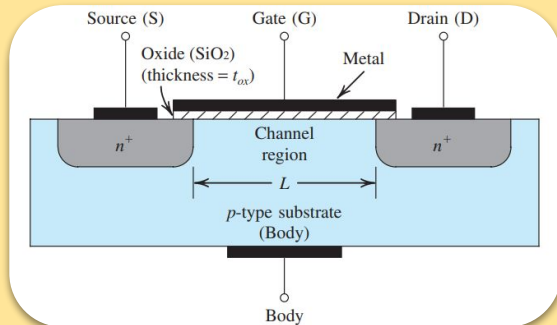
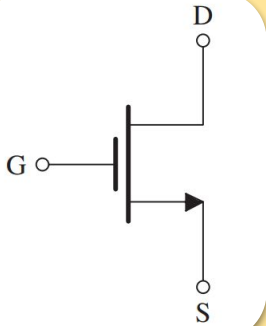
Modos de operação



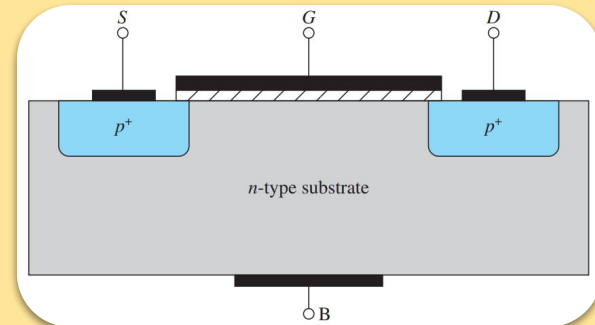
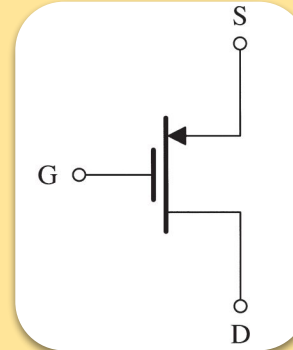
Modelos

Tipos de MOSFET

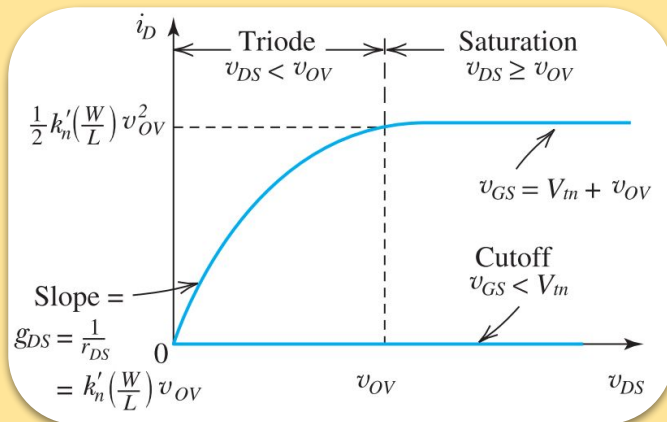
NMOS



PMOS



Modos de operação



Corte

Nenhuma corrente flui,
porque $V_{gs} < V_{th}$

Triodo

É aquele usado se o
transistor for operar como
uma chave fechada.

Triodo

Saturação

É aquele usado se o transistor
for operar como um
amplificador, operação linear.

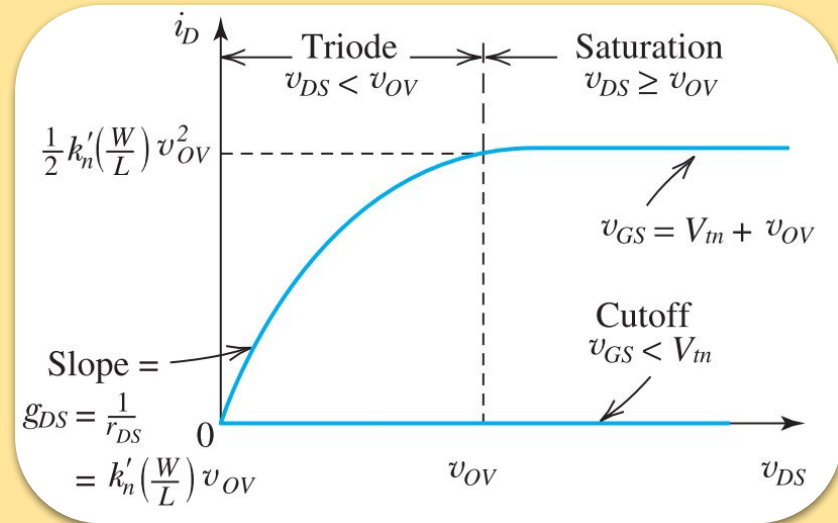
Saturação

O transistor está neste modo caso a seguinte condição seja estabelecida:

$$v_{DS} < v_{OV}$$

Onde $V_{ov} = V_{gs} - V_{th}$ (para NMOS) ou $V_{ov} = V_{sg} - V_{th}$ (para PMOS). A corrente drenada pelo transistor pode ser expressa por:

$$i_D = k'_n \left(\frac{W}{L} \right) \left(v_{OV} - \frac{1}{2} v_{DS} \right) v_{DS}$$

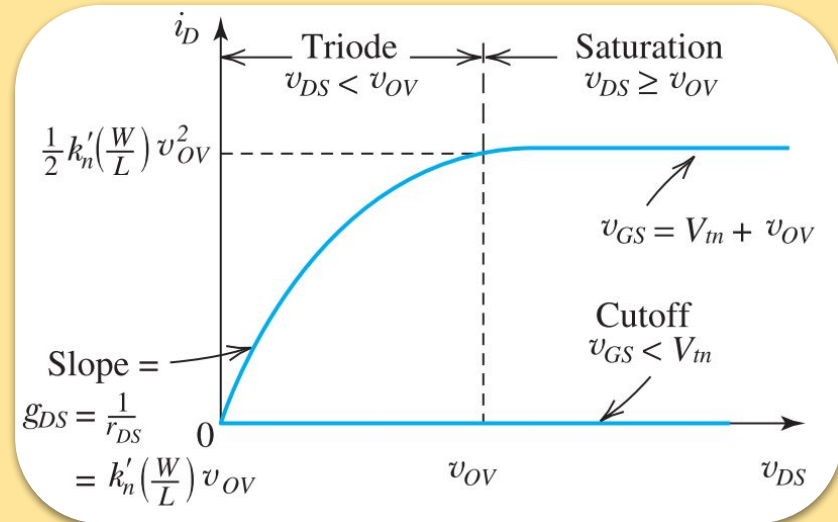


O transistor está neste modo caso a seguinte condição seja estabelecida:

$$v_{DS} \geq v_{OV}$$

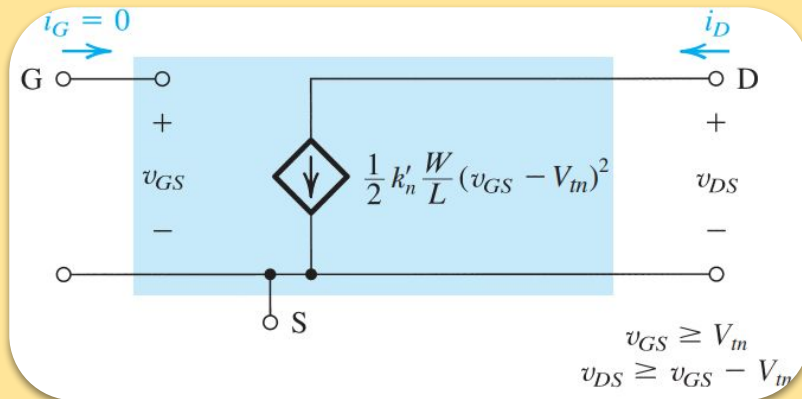
Onde $V_{ov} = V_{gs} - V_{th}$ (para NMOS) ou $V_{ov} = V_{sg} - V_{th}$ (para PMOS). A corrente drenada pelo transistor pode ser expressa por:

$$i_D = \frac{1}{2} k'_n \left(\frac{W}{L} \right) v_{OV}^2$$



Modelos

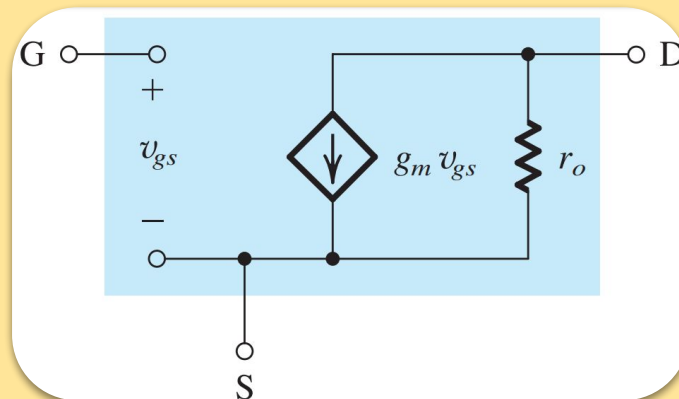
Grandes sinais



Aplicado quando o transistor opera com sinais fortes, considerando comportamentos não lineares.

Grandes Sinais

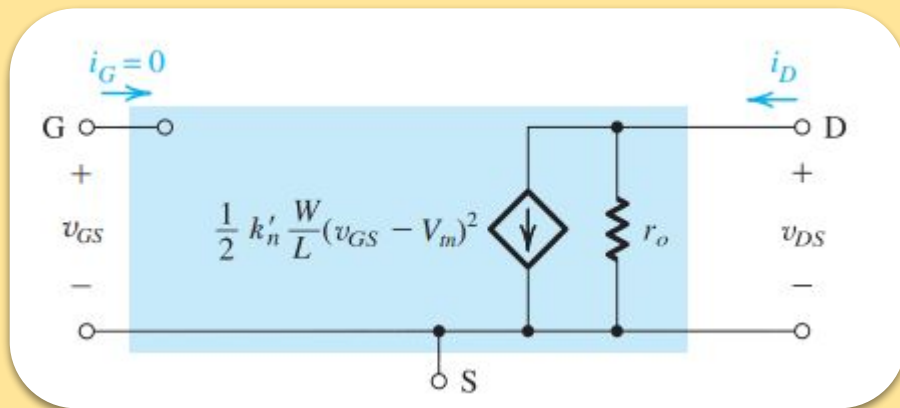
Pequenos sinais



Utilizado para analisar circuitos com sinais fracos e variações lineares

Pequenos Sinais

NMOS

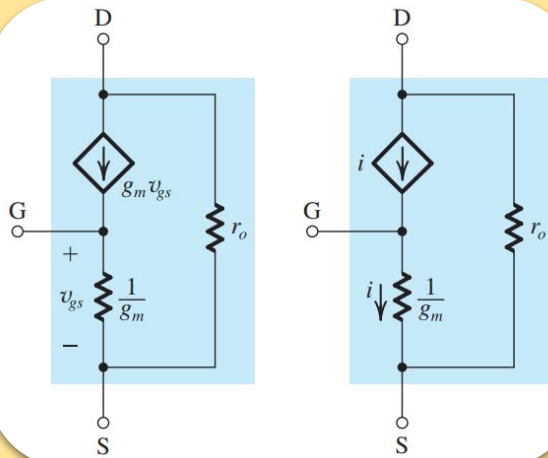


Obs: A expressão para o módulo da corrente I_d depende do modo de operação do transistor

PMOS

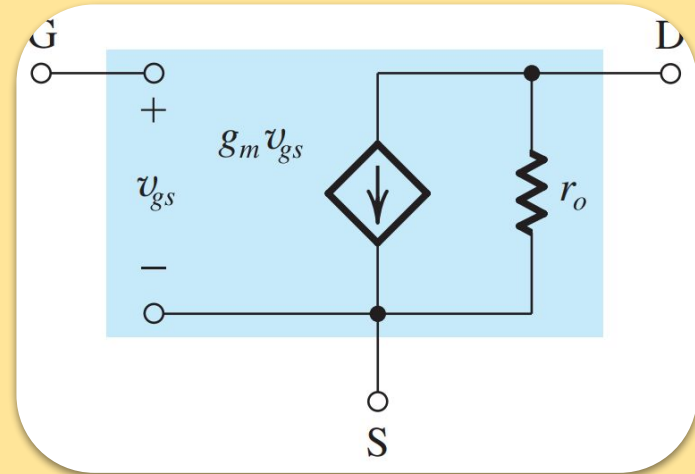
Para o transistor PMOS é utilizado o mesmo modelo, porém apresentando sentido das corrente invertida e o módulo da corrente é dado em função V_{sg} em vez de V_{gs} .

Modelo T



OBS: ambos os modelos podem ser usados tanto para o NMOS quanto para o PMOS. No caso do PMOS a fonte de corrente ficará invertida

$$g_m = \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} V_{OV} = \sqrt{2\mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_D} = \frac{2I_D}{V_{OV}}$$

Modelo π 

$$r_o = V_A / I_D = 1 / \lambda I_D$$