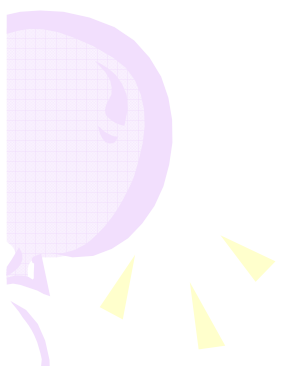




MODELAGEM:

OBJETIVOS:

- Relacionar as variáveis dos terminais elétricos do dispositivo para prever seu comportamento.
- Obter modelos que se usam para equações de projeto e análise manual.
- Compromisso de um modelo:



QUALIDADE DE APROXIMAÇÃO
vs.
COMPLEXIDADE



CARACTERÍSTICAS:

- As características elétricas dependem das variáveis geométricas e/ou físicas do dispositivo.



- As variáveis que aparecem nas equações serão variáveis de processo e de projeto.



- O projetista tem controle de: parâmetros de projeto.



- O projetista NÃO tem controle de: parâmetros de processo.

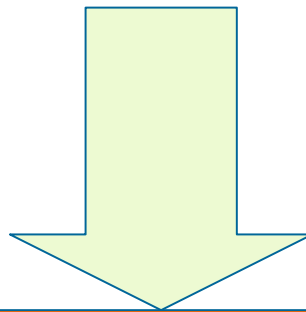


PARA MODELAR É NECESSÁRIO:

- Desenvolver os modelos analiticamente baseados em princípios físicos.
- Modificar empiricamente as expressões resultantes.

MODELO EM DC E AC:

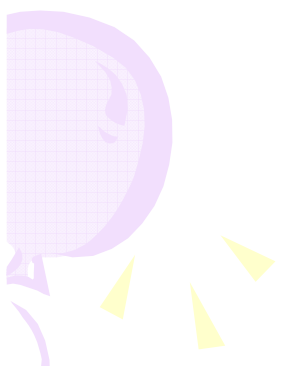
- MODELO EM DC: Relação matemática ou numérica entre voltagens e correntes dos terminais do dispositivo a baixas frequências.



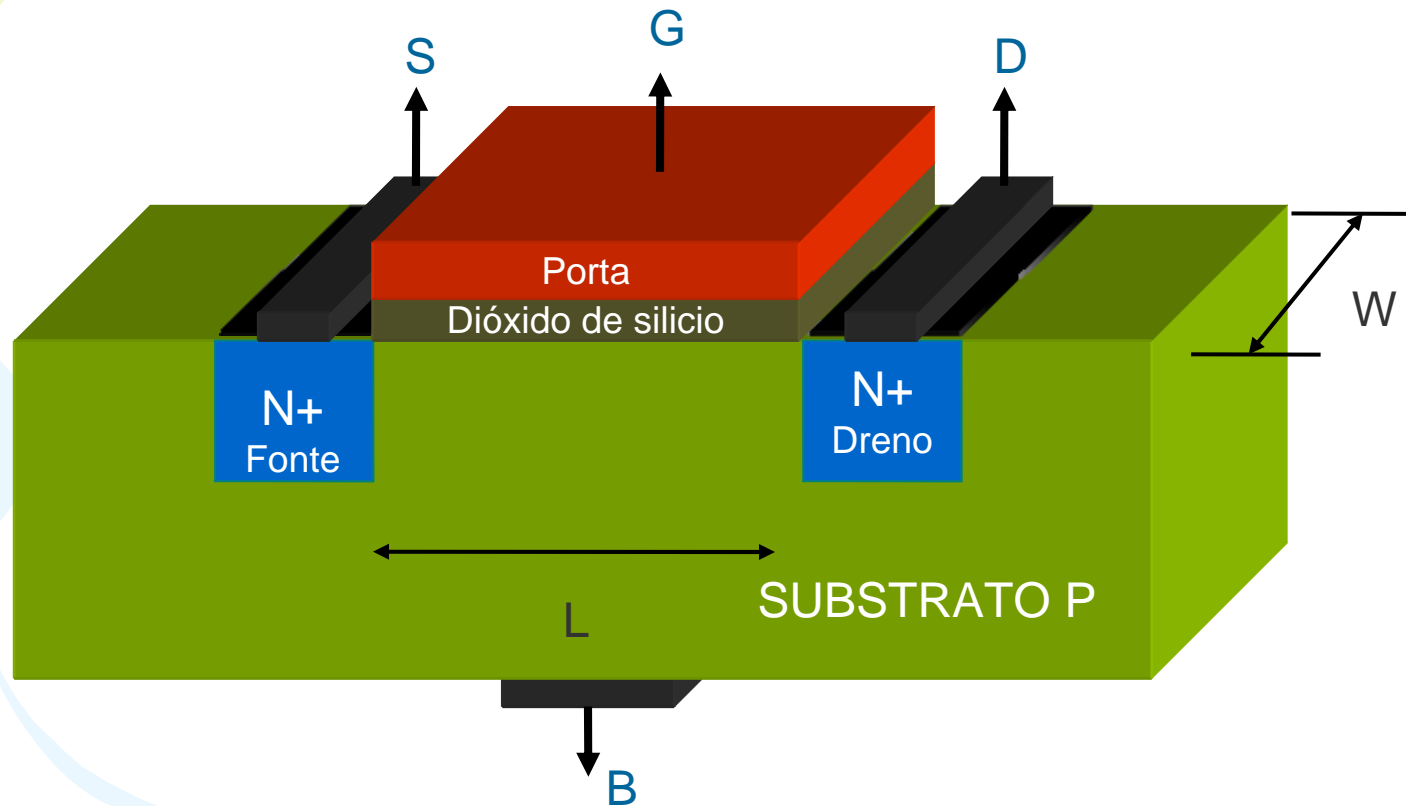
MODELO AC



MODELO EM AC:

- Aqui, os sinais de entrada, na maioria das vezes são senóides de pequena amplitude .
 - Para aplicações de pequeno sinal, normalmente se projeta para que o dispositivo se comporte linearmente.
 - Isto se consegue restringindo os sinais a uma região pequena para obter uma aproximação linear.
- 

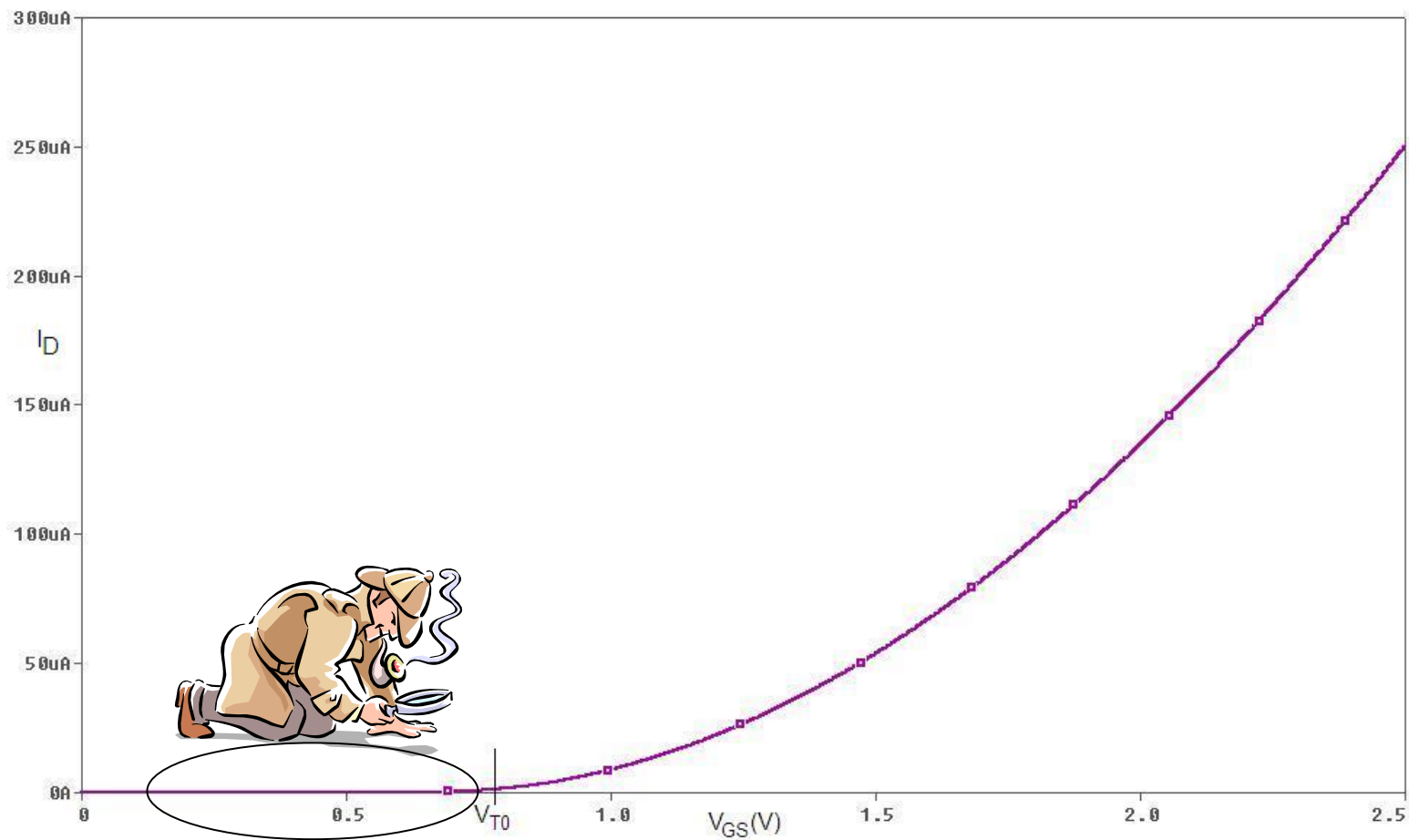
MODELAGEM DO TRANSISTOR MOS:



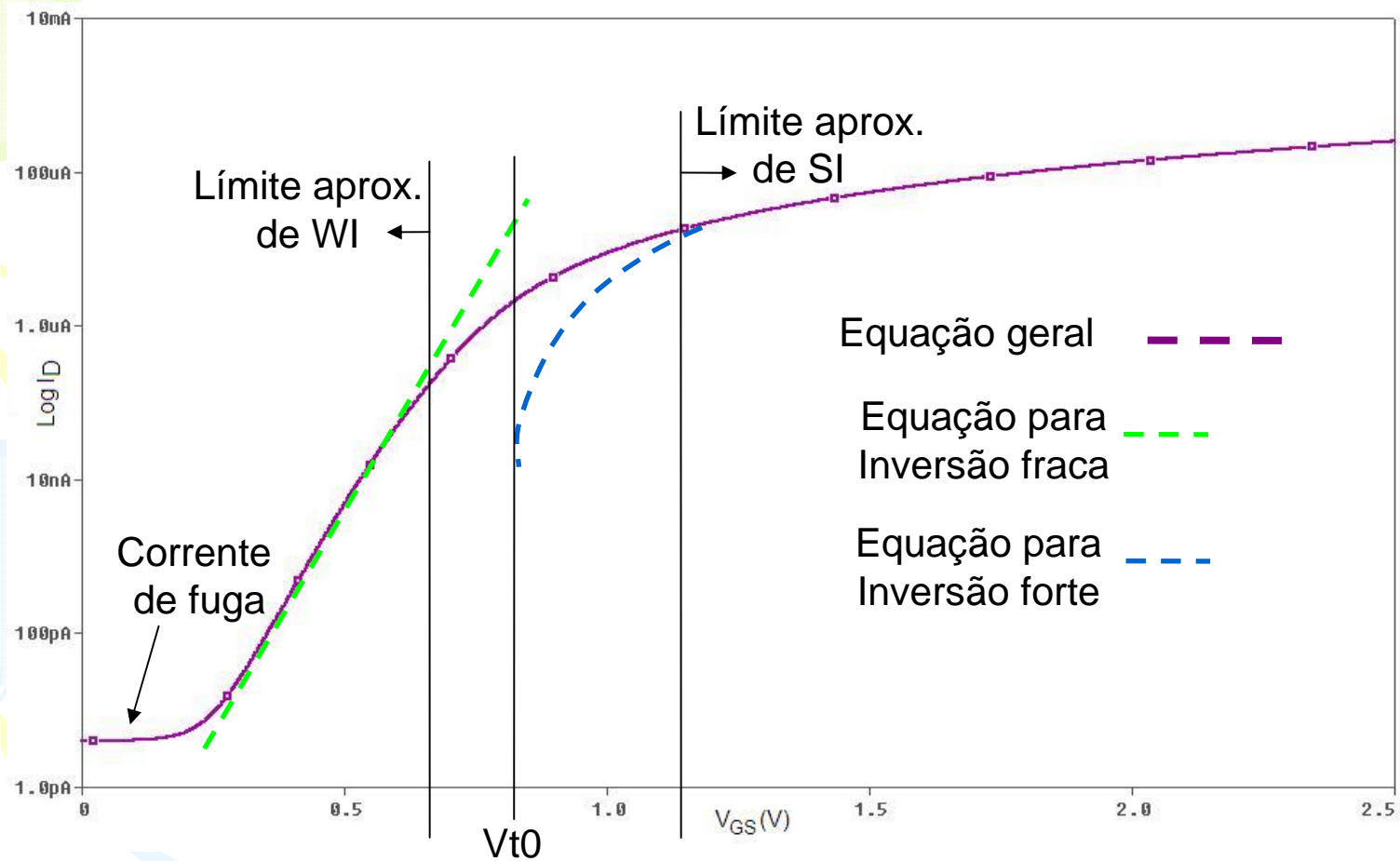
Onde:

$$I_{DS} = I_{ARR} + I_{DIFF} = \mu \frac{W}{L} \left[\int_{\psi_{s0}}^{\psi_{SL}} (-Q'_I) d\psi_s + \Phi_t \int_{Q'_{I0}}^{Q'_{IL}} dQ'_I \right]$$

COMPORTAMENTO DE I_D vs. V_{GS}



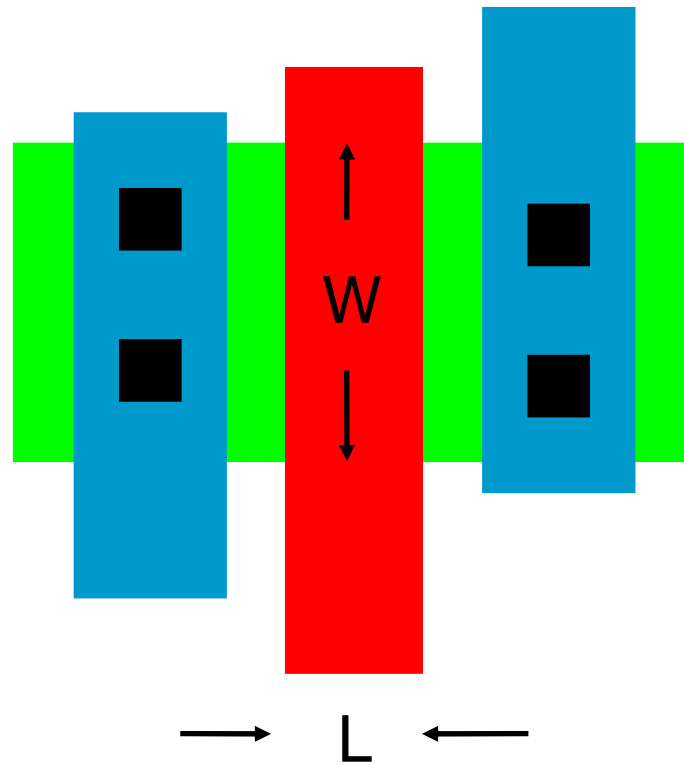
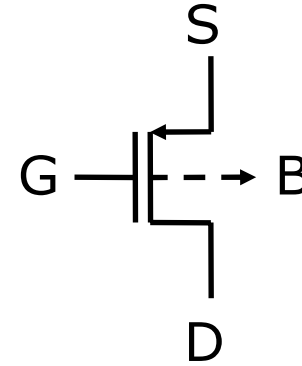
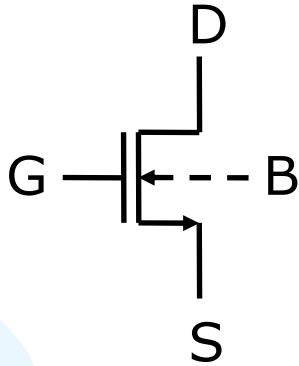
↑
Região sub-threshold



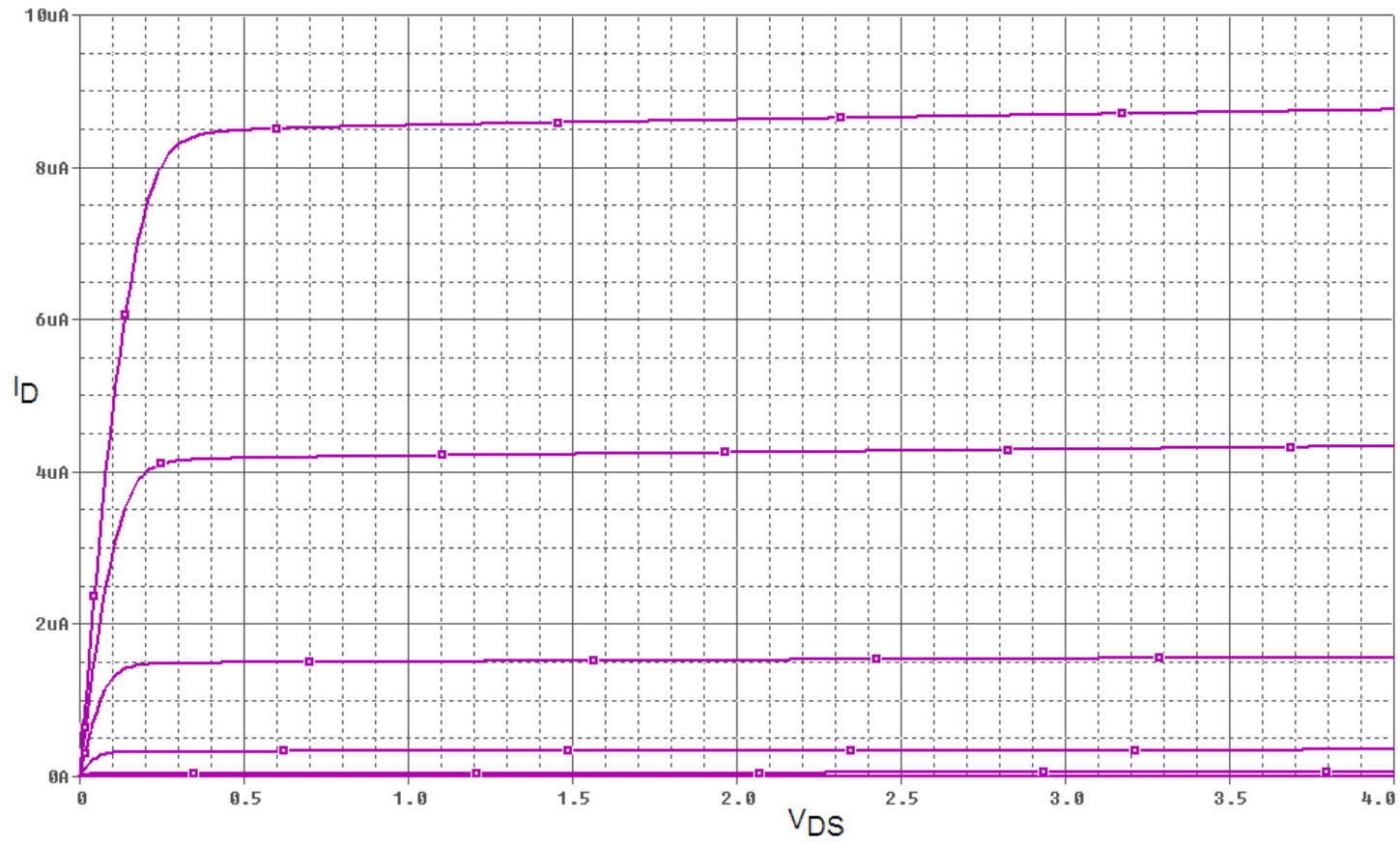
Inversão Fraca (W.I): $I_D \propto \exp^{V_{GS}/(nV_T)}$

Inversão Forte (S.I): $I_D \propto (V_{GS} - V_T)^2$

SÍMBOLOS ELÉTRICOS E LAYOUT:



CURVA ID-VDS





1.- REGIÃO DO TRIODO:

- Zona linear ou ôhmica.
- Aplicação: Resistência controlada por voltagem.



2.- REGIÃO DE SATURAÇÃO:

- Aqui se consegue a amplificação!.



3.- REGIÃO LIMITE:

- Limite entre a região do triodo e a saturação:

$$V_{DS} = V_{GS} - V_T$$



1.- EQUAÇÃO PARA O TRIODO (MOS N):

$$I_D = \frac{K'W}{L} \left[(V_{GS} - V_t) - \frac{V_{DS}}{2} \right] V_{DS}$$

$$V_{GS} > V_t$$

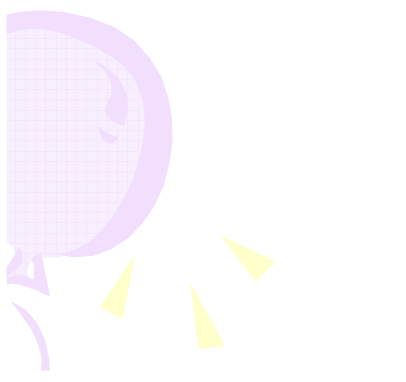
$$0 < V_{DS} < V_{GS} - V_t$$



2.- EQUAÇÃO PARA A SATURAÇÃO (MOS N):

$$I_D = \frac{K'W}{2L} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_t$$

$$V_{GS} > V_t$$


ONDE:

Parâmetros de Projeto:

L, W : Comprimento e Largura do canal .

Parâmetros de processo:

- K : transcondutância= UC_{ox}
- U : mobilidade de elétrons (lacunas).
- C_{ox} : Capacitância do óxido.
- V_t : Voltagem threshold.

$$V_t = V_{T0} + \gamma \left(\sqrt{2\phi_p + V_{BS}} - \sqrt{2\phi_p} \right)$$

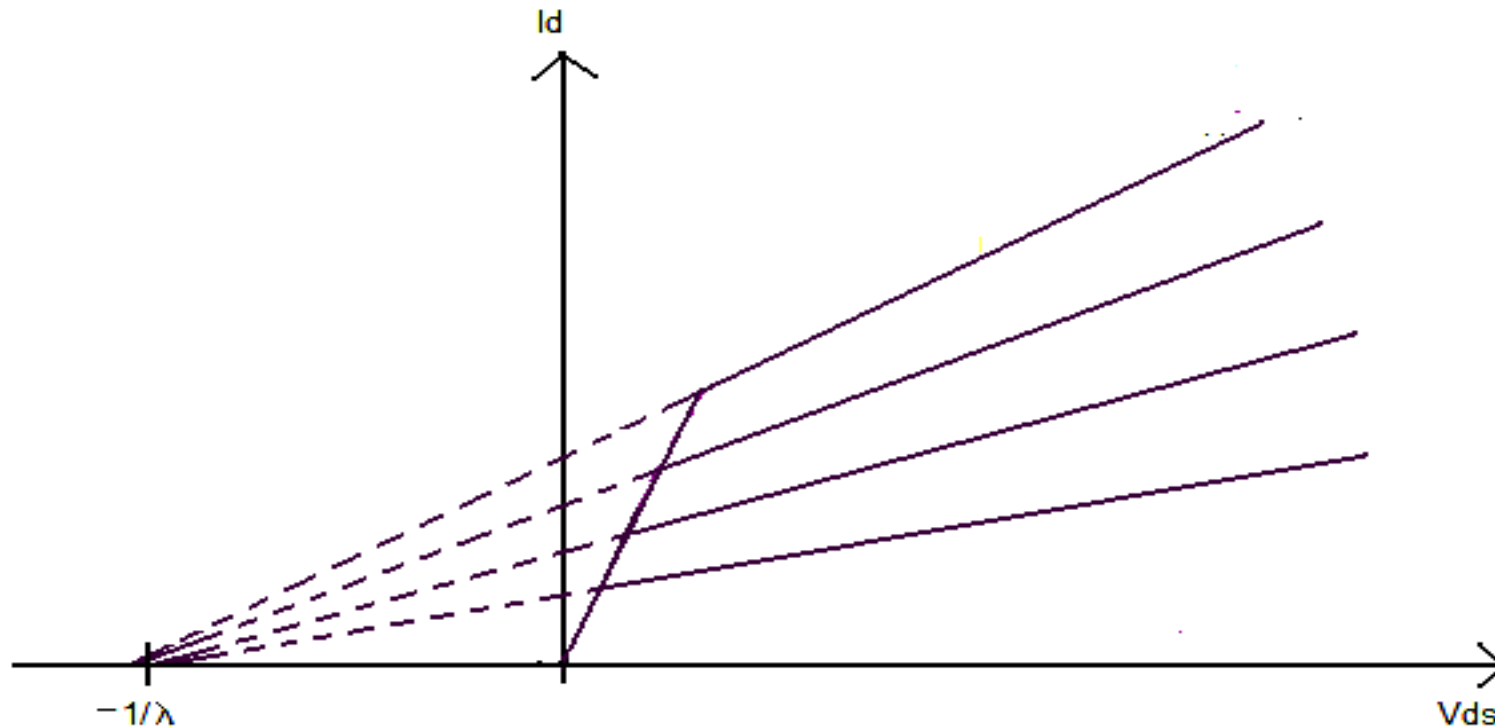
V_{BS} : voltagem body-source.

V_{T0} : voltagem threshold para $V_{BS}=0$.

γ : Parâmetro para o substrato.

Φ : potencial na superfície em inversão forte.

UM MODELO MAIS EXATO:



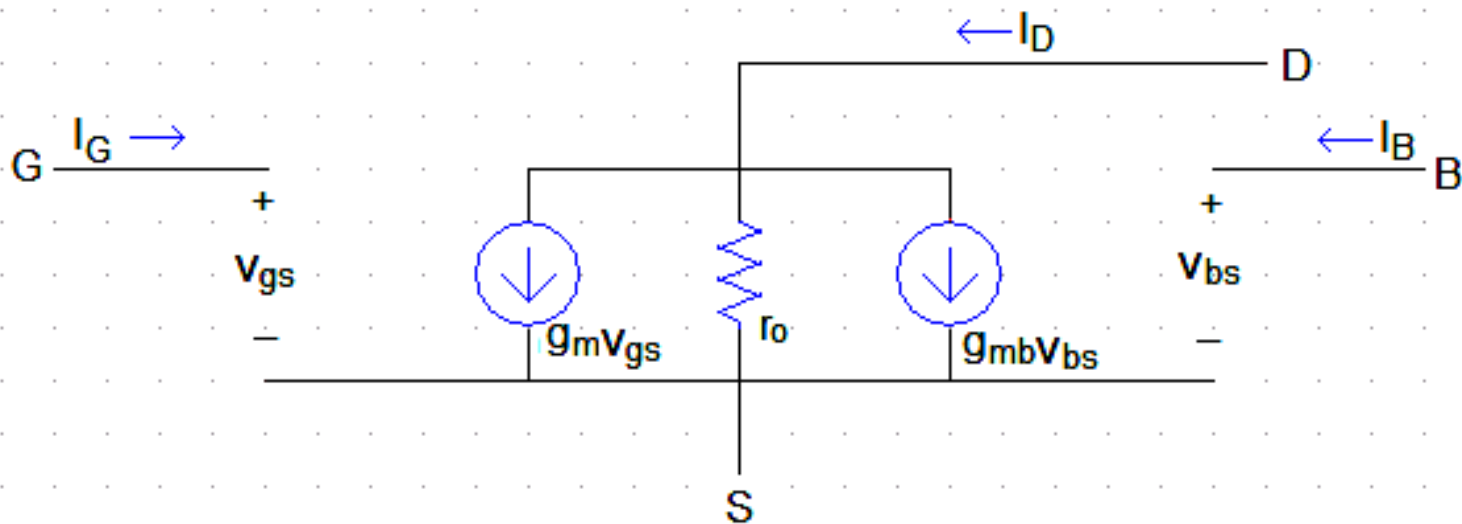
λ : Fator de modulação do comprimento do canal.

- A equação completa será:

$$I_D = \frac{K' W}{2L} (V_{GS} - V_t)^2 (1 + \lambda V_{DS})$$

MODELO DE PEQUENO SINAL (AC):

- Usado para pequenas voltagens na entrada do MOS.
- Normalmente são senóides de pequena amplitude.
- Estas senóides de entrada serão as que amplificarão.



RESUMO DE PARÂMETROS (PS):

Transcondutância: $g_m = \frac{2I_D}{V_{GS} - V_t} = \sqrt{2Kn' \frac{W}{L} I_D}$

Transcondutância do substrato:

$$g_{mb} = \eta g_m$$

donde : $\eta = \frac{\gamma}{2\sqrt{2\phi - V_{BS}}} = 0.1 - 0.3(\text{tip})$

Admitância de saída:

$$g_{ds} = \lambda |I_D|$$

$$g_{ds} = \frac{1}{r_{ds}} = \frac{1}{r_0} = \frac{1}{\left(\frac{V_A}{I_D} \right)}$$

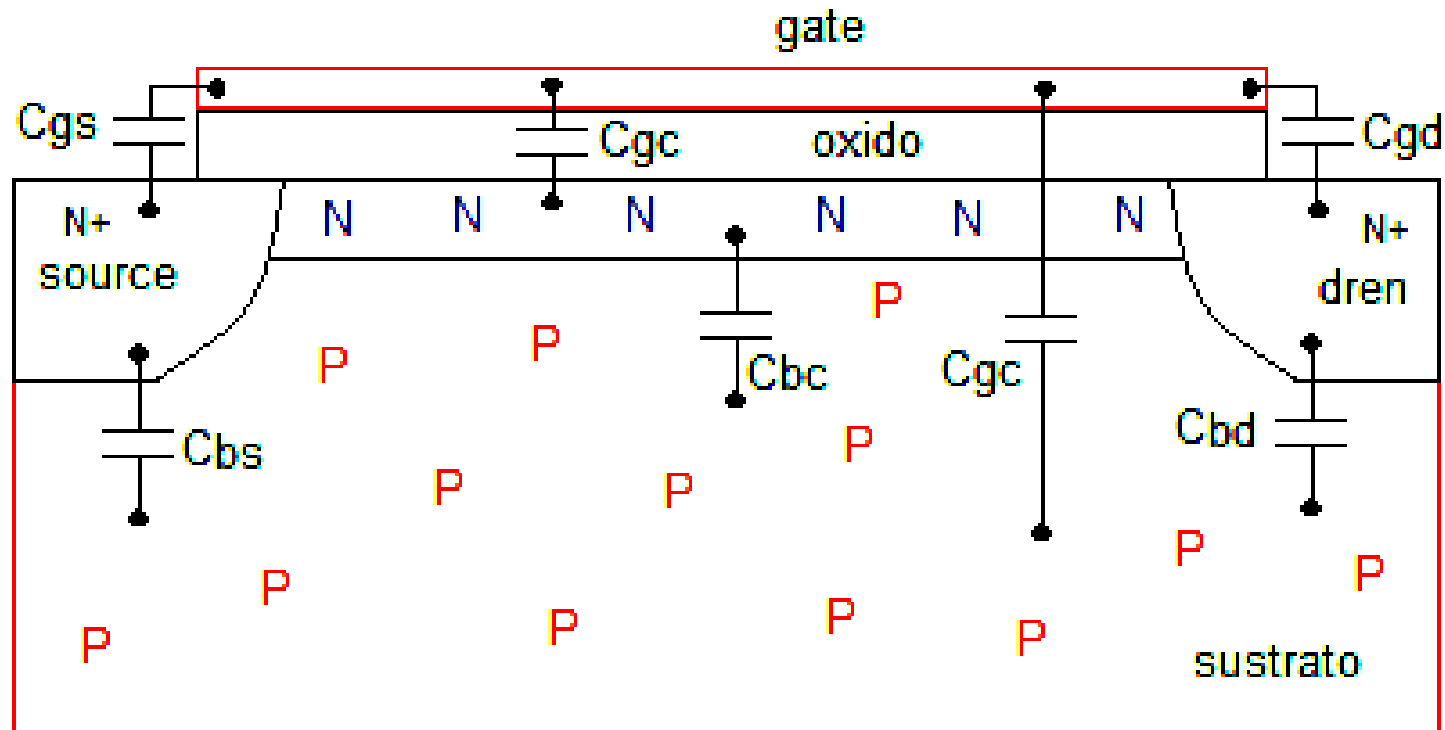
$V_A = \text{Voltaje de Early}$

MODELO EM FREQUÊNCIA E PEQUENO SINAL:

Quando se trabalha em frequência:

- O modelo a PS deverá expandir devido às capacitâncias parasitas formadas nas estruturas MOS.
- Essas capacitâncias se dividem em dois grupos:
 - 1.- Capacitores parasitas "sanduiche".
 - 2.- Capacitores parasitas formados pela separação de cargas associadas às junções PN.

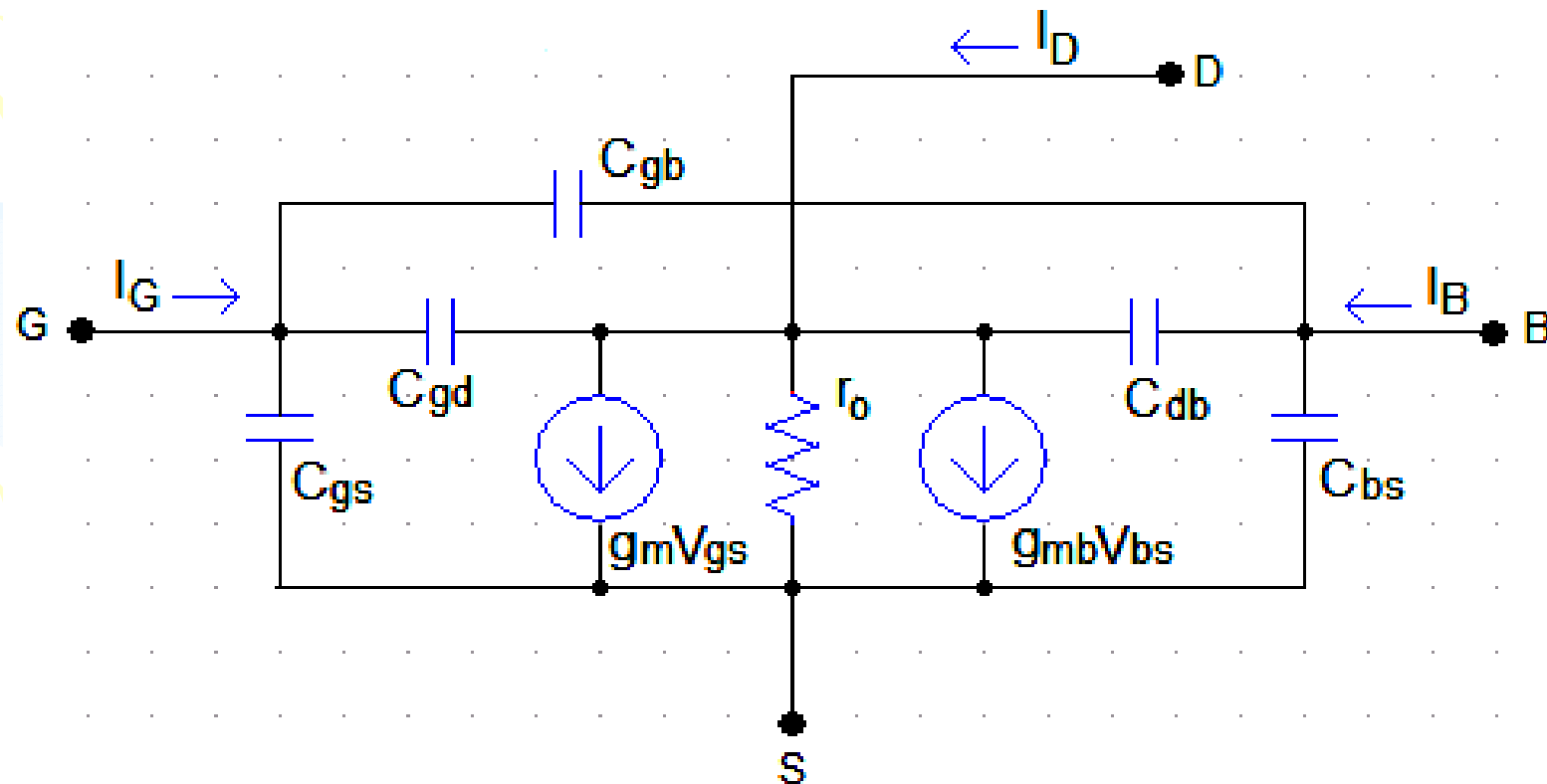
CAPACITORES PARASITAS NO MOS:

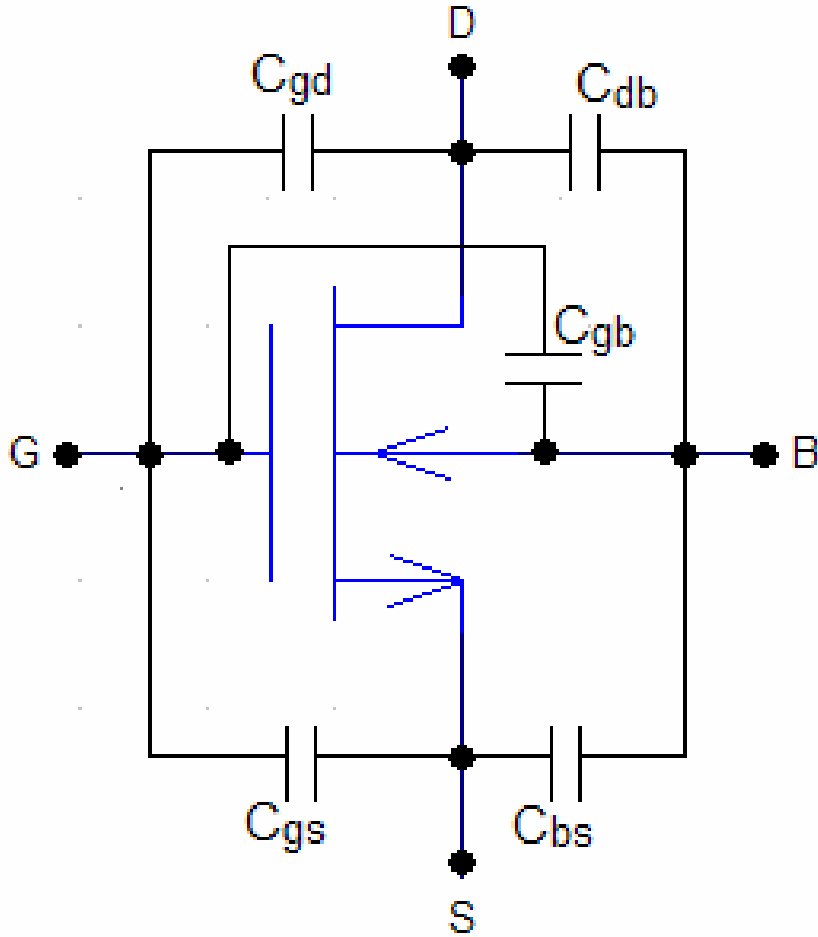
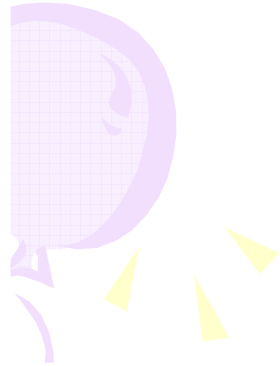
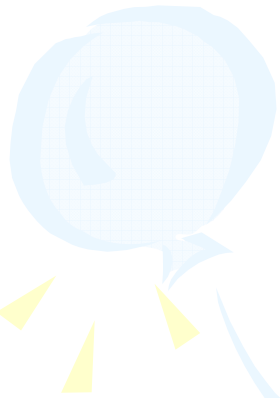
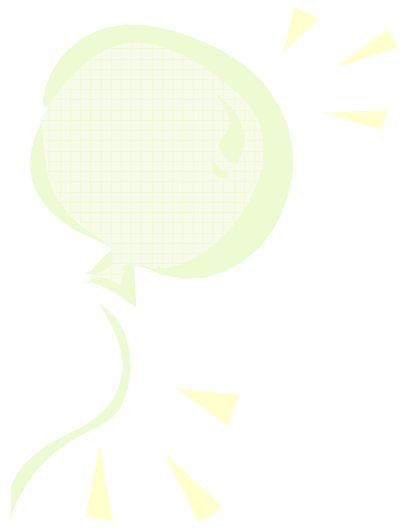


1º Grupo: C_{gd} , C_{gc} , C_{gs} , C_{gb} .

2º Grupo: C_{bd} , C_{bs} , C_{bc} .

MODELO DE CIRCUITO EM FREQUÊNCIA E PEQUENO SINAL:





RUIDO:

- RUIDO TÉRMICO:

- Ruido térmico en la región del triodo:

$$\overline{V_n^2} = \frac{4KT}{R_{fet}} \Delta f$$

- Ruido térmico en la región de saturación:

$$\overline{V_{nT}^2} = \frac{8KT}{3g_m} \Delta f$$

- La densidad espectral estará dada por:

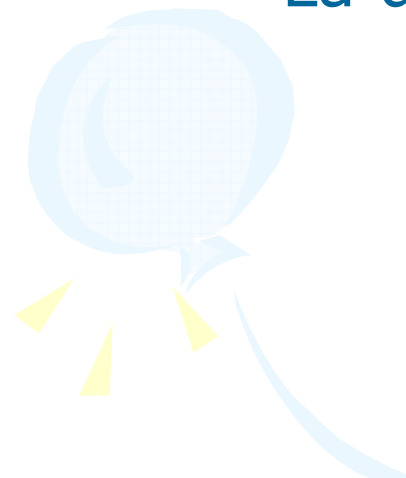
$$S = \frac{\overline{V_{nT}^2}}{\Delta f}$$



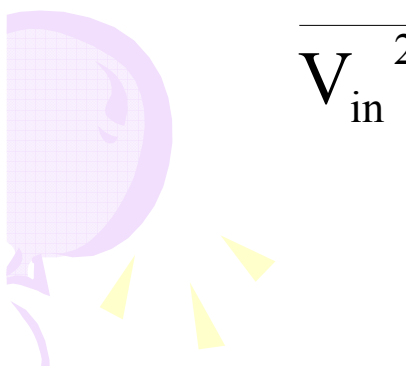
RUIDO FLICKER (1/f):

$$\overline{V_{n\frac{1}{f}}^2} = \frac{K}{C_{ox} WL} \frac{\Delta f}{f}$$

- La densidad espectral estará dada por:


$$S = \frac{\overline{V_{nT}^2}}{\Delta f}$$

- Ruido de entrada total:


$$\overline{V_{in}^2} = \overline{V_{nT}^2} + \overline{V_{nf}^2} = \frac{8KT}{3g_m} \Delta f + \frac{K}{C_{ox} WL} \frac{\Delta f}{f}$$

RUIDO EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA:

