

Ecuaciones Transistor MOS

Rev. 1.0, Fernando Silveira, Mayo 2008

Parámetros generales:

μ : Movilidad de los portadores (electrones para nMOS y huecos para pMOS)

C_{ox} : Capacidad del óxido por unidad de área (igual a ϵ_{ox}/t_{ox} , siendo ϵ_{ox} la constante dieléctrica del óxido y t_{ox} el espesor del óxido)

W: ancho del canal

L: largo del canal

$$\beta = \mu \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{L}$$

V_{t0} : tensión umbral a tensión source sustrato nula

δ : parámetro de linealización del efecto de sustrato; ($(1+\delta)$ también es denominado λ y n).

Ecuaciones Referidas al Sustrato, transistor nMOS

Variables:

V_G : tensión gate – sustrato

V_S : tensión source – sustrato

V_D : tensión drain – sustrato

I_D : corriente drain – source

Magnitudes auxiliares:

V_P : tensión de “pinch-off” (también denominada tensión de saturación V_{DSAT}) dada por:

$$V_P = \frac{V_G - V_{t0}}{1 + \delta}$$

Zona de Corte:

$$I_D = 0$$

Condición: $V_S \geq V_P \Leftrightarrow V_G \leq V_{t0} + (1 + \delta) \cdot V_S$

Zona Lineal:

$$I_D = \beta \left[(V_G - V_{t0}) \cdot (V_D - V_S) - \frac{(1 + \delta)}{2} (V_D^2 - V_S^2) \right]$$

Condiciones: $V_S < V_P \Leftrightarrow V_G > V_{t0} + (1 + \delta) \cdot V_S$
 $V_D < V_P$

Zona Saturación:

$$I_D = \frac{\beta}{2(1 + \delta)} (V_G - V_{t0} - (1 + \delta) \cdot V_S)^2$$

Condiciones: $V_S < V_P \Leftrightarrow V_G > V_{t0} + (1 + \delta) \cdot V_S$
 $V_D \geq V_P$

Ecuaciones Referidas a la Source, transistor nMOS

Variables:

V_{GS} : tensión gate – source

V_{SB} : tensión source – sustrato

V_{DS} : tensión drain – source

I_D : corriente drain – source

Magnitudes auxiliares:

V_t : tensión umbral con tensión source sustrato V_{SB} , dada por:

$$V_t = V_{t0} + \delta \cdot V_{SB}$$

V_{DSSAT} : tensión de saturación drain source dada por:

$$V_{DSSAT} = \frac{V_{GS} - V_t}{1 + \delta}$$

Zona de Corte:

$$I_D = 0$$

Condición: $V_{GS} \leq V_t$

Zona Lineal:

$$I_D = \beta \left[(V_{GS} - V_t) \cdot V_{DS} - \frac{(1 + \delta)}{2} V_{DS}^2 \right]$$

Condiciones: $V_{GS} > V_t$
 $V_{DS} < V_{DSSAT}$

Zona Saturación:

$$I_D = \frac{\beta}{2(1 + \delta)} (V_{GS} - V_t)^2$$

Condiciones: $V_{GS} > V_t$
 $V_{DS} \geq V_{DSSAT}$

Transistor pMOS

En un transistor pMOS en conducción todas las tensiones tienen signo contrario al caso del nMOS (V_G , V_D , V_S , V_{GS} , V_{DS} , V_{SB}) y también la corriente I_D pues ésta circula en sentido contrario (de source a drain) al caso del nMOS. La tensión umbral V_{t0} es negativa.

Una manera sencilla de obtener las ecuaciones del transistor pMOS es usar las del transistor nMOS invirtiendo las tensiones involucradas (como se muestra en la tabla siguiente) y considerando para V_{t0} el valor absoluto. De esta manera se obtendrá una corriente I_D positiva que representa a la corriente de source a drain.

Variable usada en ecuaciones nMOS	Variable a usar en su lugar para obtener las ecuaciones del transistor pMOS a partir de las ecuaciones del transistor nMOS
$V_G=V_{GB}$	$V_G=V_{BG}$
$V_S=V_{SB}$	$V_S=V_{BS}$
$V_D=V_{DB}$	$V_D=V_{BD}$
V_{GS}	V_{SG}
V_{DS}	V_{SD}
V_{SB}	V_{BS}

Tabla 1

Utilizando este criterio se escriben a continuación las ecuaciones del transistor pMOS

Ecuaciones Referidas al Sustrato, transistor pMOS

Variables:

V_G : tensión sustrato-gate (V_{BG})

V_S : tensión sustrato-source (V_{BS})

V_D : tensión sustrato -drain (V_{BD})

I_D : corriente circulando de source a drain

Magnitudes auxiliares:

V_{t0} : valor absoluto de la tensión de umbral para $V_{BS} = 0$.

V_p : tensión de "pinch-off" (también denominada tensión de saturación V_{DSAT}) dada por:

$$V_p = \frac{V_G - V_{t0}}{1 + \delta}$$

Con estas definiciones valen las mismas ecuaciones que para el transistor nMOS.

Ecuaciones Referidas a la Source, transistor pMOS

Variables:

V_{SG} : tensión source – gate

V_{BS} : tensión sustrato – source

V_{SD} : tensión source – drain

I_D : corriente circulando de source a drain

Magnitudes auxiliares:

V_{t0} : valor absoluto de la tensión de umbral para $V_{BS} = 0$.

V_t : tensión umbral con tensión sustrato – source V_{BS} , dada por:

$$V_t = V_{t0} + \delta \cdot V_{BS}$$

V_{SDSAT} : tensión de saturación source-drain dada por:

$$V_{SDSAT} = \frac{V_{SG} - V_t}{1 + \delta}$$

Con estas definiciones valen las mismas ecuaciones que para el transistor nMOS, cambiando las variables según se muestra en la Tabla 1.

Zona de Corte:

$$I_D = 0$$

Condición: $V_{SG} \leq V_t$

Zona Lineal:

$$I_D = \beta \left[(V_{SG} - V_t) \cdot V_{SD} - \frac{(1 + \delta)}{2} V_{SD}^2 \right]$$

Condiciones: $V_{SG} > V_t$, $V_{SD} < V_{SDSAT}$

Zona Saturación:

$$I_D = \frac{\beta}{2(1 + \delta)} (V_{SG} - V_t)^2$$

Condiciones: $V_{SG} > V_t$
 $V_{SD} \geq V_{SDSAT}$