[86.03/66.25] Dispositivos Semiconductores

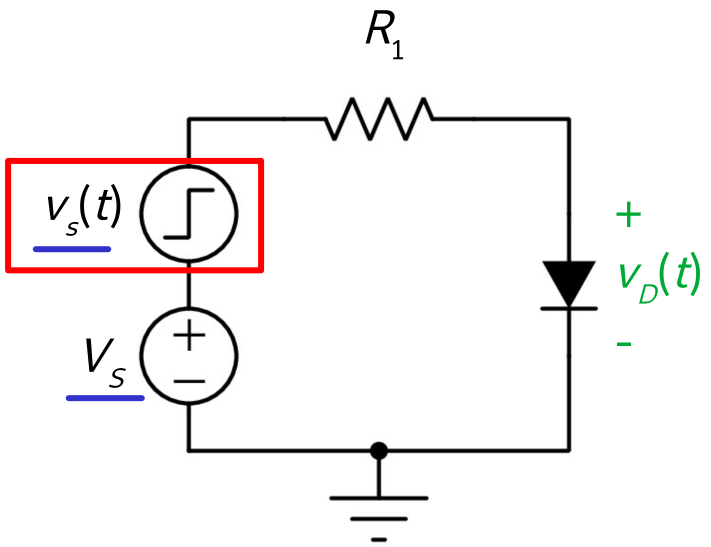
1er Cuatrimestre 2020

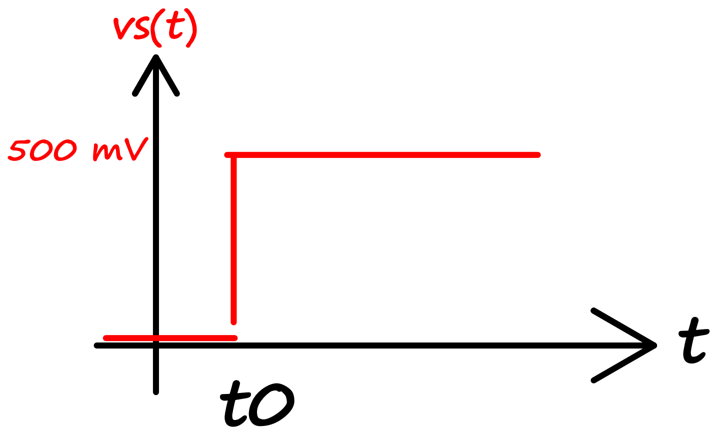
Diodo de Juntura PN

1. Modelo de Pequeña Señal: Transitorio en directa

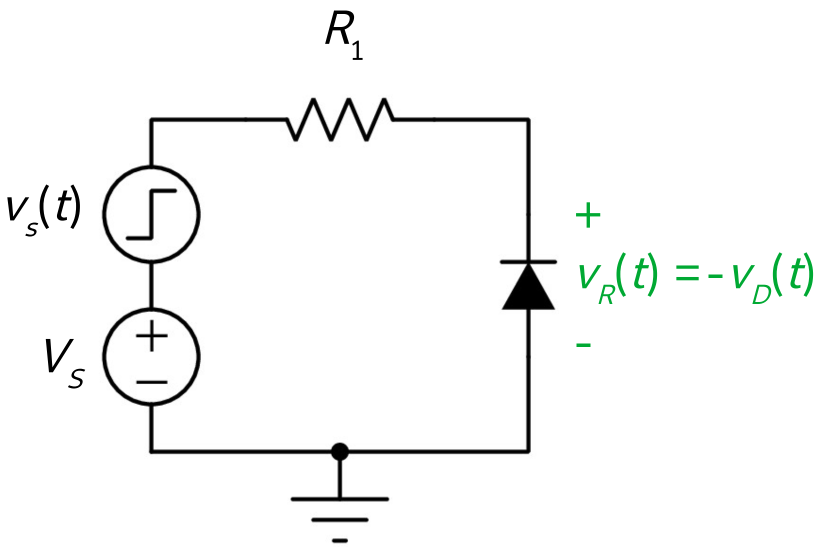
Un diodo N$^+$P con $N_D = 10^{19}$ cm^{-3}, A = 0.01 mm^2 y parámetros ϕ_B = 900 mV y τ_T = 18 ns conectado como se muestra en la figura donde R_1 = 4.7 kΩ, V_S = 8V y $v_s(t)$ es un escalón de 500 mV en t_0 = 1 ns.

- Encontrar la respuesta temporal del a tensión $v_D(t)$.





Recordemos el ejercicio de la semana pasada
Cambia solamente la conexión del diodo.



<u>1. Polarización:</u> Aplicamos el modelo de orden 0

Inversa: $\boxed{I_D = 0\ \text{A};}$ $\boxed{V_R = -V_D = 8\ \text{V};}$ $\boxed{V_D = -8\ \text{V}}$

<u>2. Parámetros de pequeña señal:</u>

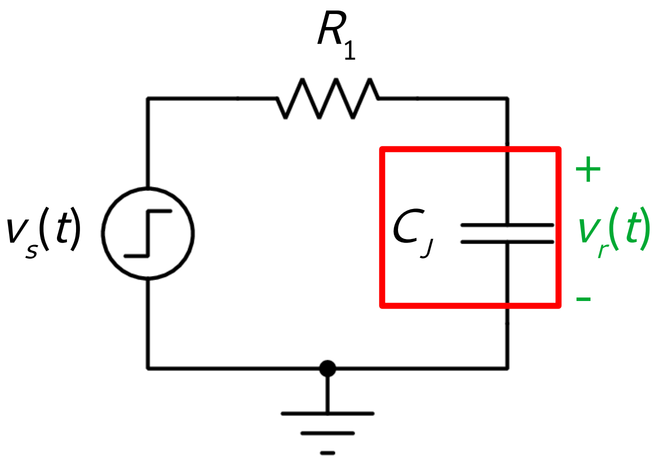
$$g_m = \left.\frac{\partial i_D}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = \frac{\cancel{I_D} + I_0}{V_{th}} = 0 \quad \sim 0$$

$$C_{dif} = \left.\frac{\partial q_{QNR}}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = \boxed{\frac{\tau_T}{V_{th}}(\cancel{I_D} + I_0) = \tau_T\, g_m} = 0$$

$$C_J = \left.\frac{\partial q_{SCR}}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = A\sqrt{\frac{q\,\epsilon_{Si}\,N_A\,\cancel{N_D}}{2(\phi_B - V_D)(\cancel{N_A} + N_D)}} = \boxed{0.965\ \text{pF}}$$

Recordemos el ejercicio de la semana pasada

3. Análisis del circuito de pequeña señal



El circuito de pequeña señal resulta un circuito RC serie
(respuesta dinámica de la carga de un capacitor)

$$g_m = 0 \Rightarrow r_d \rightarrow \infty$$

$$C_{dif} = 0$$

$$\boxed{C_J = 0.965 \text{ pF}}$$

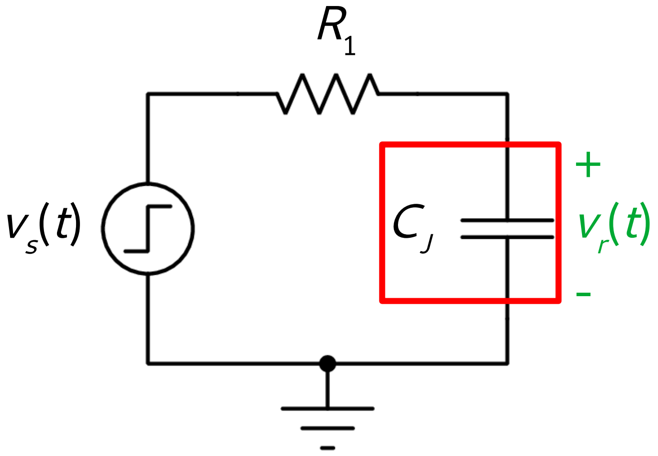
$$\tau_{RC} = R_1 C_J = 4.54 \text{ ns}$$

$$v_r(0) = 0$$

$$v_r(\infty) = v_s(t_0^+) = 500 \text{ mV}$$

Recordemos el ejercicio de la semana pasada

3. Análisis del circuito de pequeña señal



El circuito de pequeña señal resulta un circuito RC serie
(respuesta dinámica de la carga de un capacitor)

$g_m = 0 \Rightarrow r_d \rightarrow \infty$

$C_{dif} = 0$

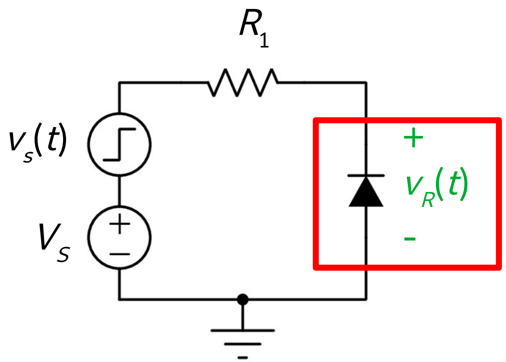
$\boxed{C_J = 0.965 \text{ pF}}$

$\tau_{RC} = R_1 \, C_J = 4.54 \text{ ns}$

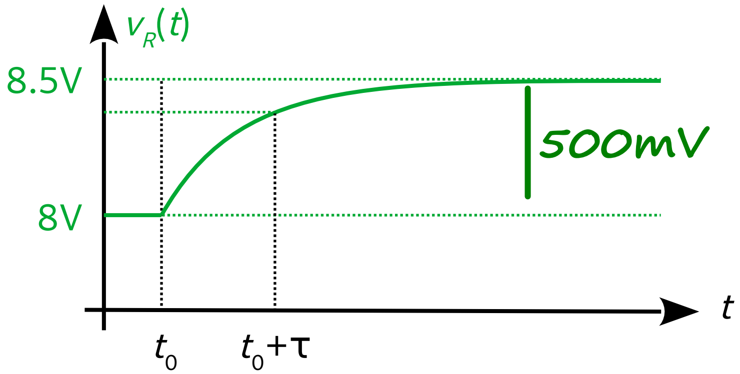
$v_r(0) = 0$

$v_r(\infty) = v_s(t_0^+) = 500 \text{ mV}$

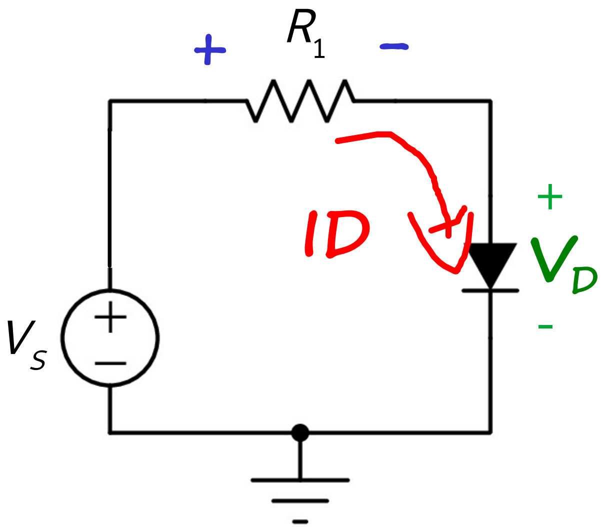
4. Respuesta total del circuito



$\underline{v_R(t)} = \underline{V_R} + \underline{v_r(t)}$



Volvemos a nuestro ejercicio: Encontrar la respuesta temporal de $v_D(t)$.



DATOS

$N^+P \rightarrow N_D >> N_A$

$N_D = 10^{19}\ cm^{-3}$,

$A = 0.01\ mm^2$

$\phi_B = 900\ mV$

$\tau_T = 18\ ns$

$R_1 = 4.7\ k\Omega$,

$V_S = 8V$

$v_s(t)$ 500 mV; $t_0 = 1$ ns.

1. Polarización:

Suponer Directa

$$\boxed{VD = VD(ON) = 0.7V}$$

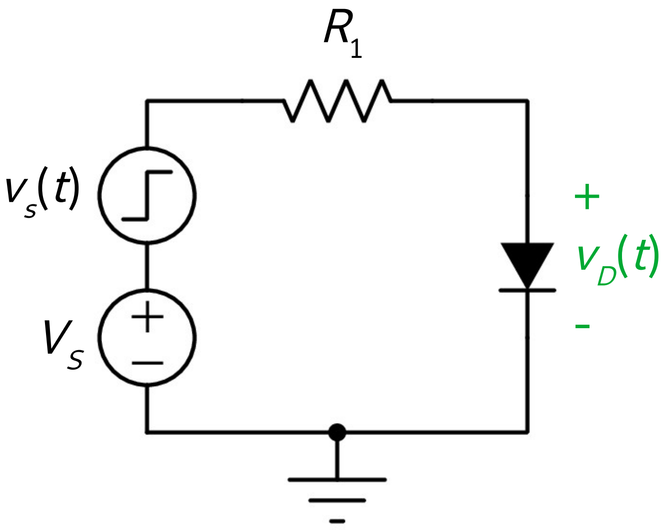
$$VS - VR1 - VD = 0$$

$$VR1 = ID \times R1 = VS - VD$$

$$ID = \frac{VR1}{R1} = \frac{VS - VD(ON)}{R1} = \frac{8V - 0.7V}{4.7\ kOhm}$$

$$\boxed{ID = 1.55\ mA} > 0 \Rightarrow \text{Directa!}$$

Volvemos a nuestro ejercicio: Encontrar la respuesta temporal de $v_D(t)$.



DATOS

$N^+P \rightarrow N_D >> N_A$

$N_D = 10^{19}$ cm^{-3},

A = 0.01 mm^2

ϕ_B = 900 mV

τ_T = 18 ns

R_1 = 4.7 kΩ,

V_S = 8V

$v_s(t)$ 500 mV; t_0 = 1 ns.

1. Polarización:

Directa: $V_D = 0.7$ V; $I_D = 1.55$ mA

2. Parámetro de pequeña señal:

$$g_m = \left.\frac{\partial i_D}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = \frac{I_D + \cancel{I_0}}{V_{th}} = \boxed{60 \text{ mS}}$$

$$C_{dif} = \left.\frac{\partial q_{QNR}}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = \frac{\tau_T}{V_{th}}(I_D + \cancel{I_0}) = \boxed{1.08 \text{ nF}}$$

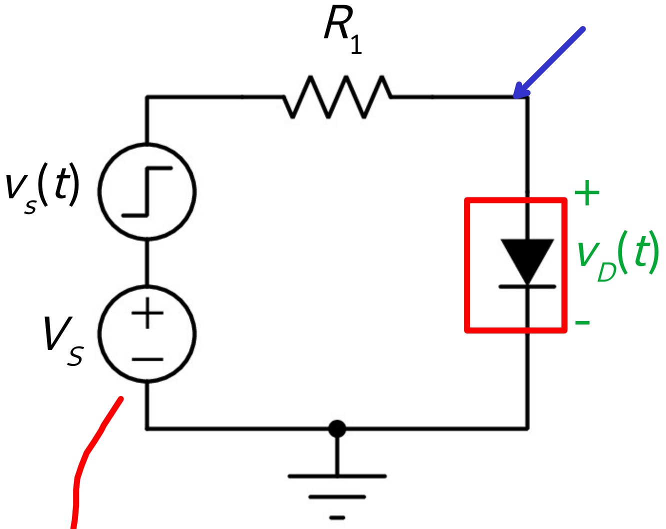
$$\boxed{N_A = \frac{n_i^2}{N_D}\exp\left(\frac{\phi_B}{V_{th}}\right)} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$C_J = \left.\frac{\partial q_{SCR}}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = A\sqrt{\frac{q\,\epsilon_{Si}\,N_A\,\cancel{N_D}}{2(\phi_B - \underbrace{V_D}_{=0})\cancel{(N_A + N_D)}}} =$$

$$C_{J0} = A\sqrt{\frac{q\epsilon_{Si}\boxed{N_A}}{2\phi_B}} = 3.2 \text{ pF}$$

$$\boxed{C_J = \sqrt{2}C_{J0} = 4.5 \text{ pF}}$$

Volvemos a nuestro ejercicio: Encontrar la respuesta temporal de $v_D(t)$.



DATOS

$N^+P \rightarrow N_D >> N_A$

$N_D = 10^{19}$ cm^{-3},

A = 0.01 mm^2

ϕ_B = 900 mV

τ_T = 18 ns

R_1 = 4.7 kΩ,

V_S = 8V

$v_s(t)$ 500 mV; t_0 = 1 ns.

1. Polarización:

Directa: $V_D = 0.7$ V; $I_D = 1.55$ mA

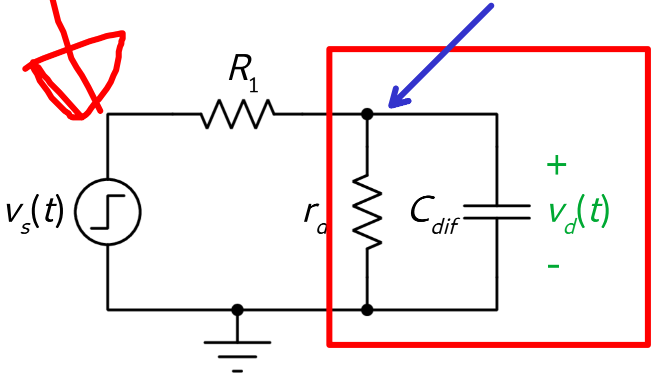
2. Parámetro de pequeña señal:

$g_m = 60$ mS $\Rightarrow r_d = 16.7\,\Omega$

$C_{dif} = 1.08$ nF >> CJ

$C_J = \sqrt{2}\,C_{J0} = 4.5$ pF

3. Análisis del circuito de pequeña señal



El circuito de pequeña señal resulta ***otra vez*** un RC serie

$\tau_{RC} = R_{eq}\,C_{dif}$ = rd x Cdif =18 ns

$$R_{eq} = R_1//r_d \simeq r_d$$

R1 >> rd

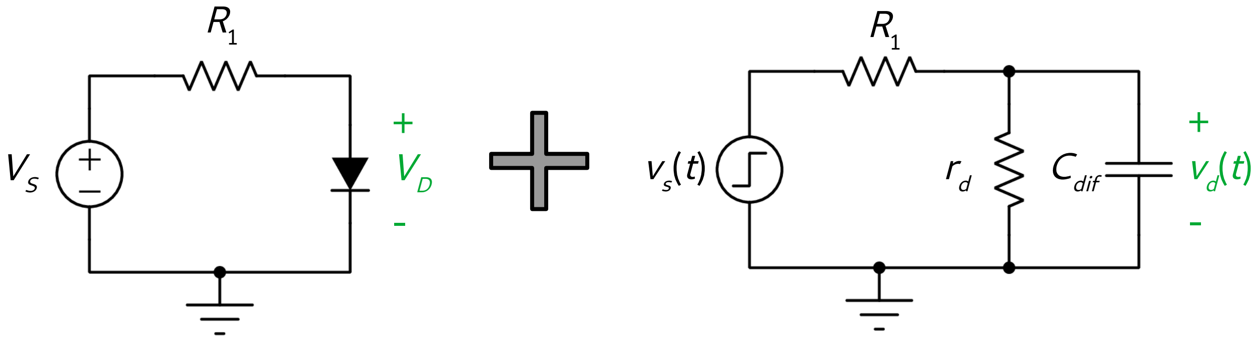
$v_r(0) = 0$

$v_r(\infty) \neq v_s(t_0^+)$

$$v_r(\infty) = \frac{r_d}{R_1 + r_d} v_s(t_0^+)$$ = 1.77 mV < 10 mV

Volvemos a nuestro ejercicio: Encontrar la respuesta temporal de $v_D(t)$.

4. Respuesta total del circuito



DATOS

$N^+P \rightarrow N_D >> N_A$

$N_D = 10^{19}$ cm^{-3},

A = 0.01 mm^2

ϕ_B = 900 mV

τ_T = 18 ns

R_1 = 4.7 kΩ,

V_S = 8V

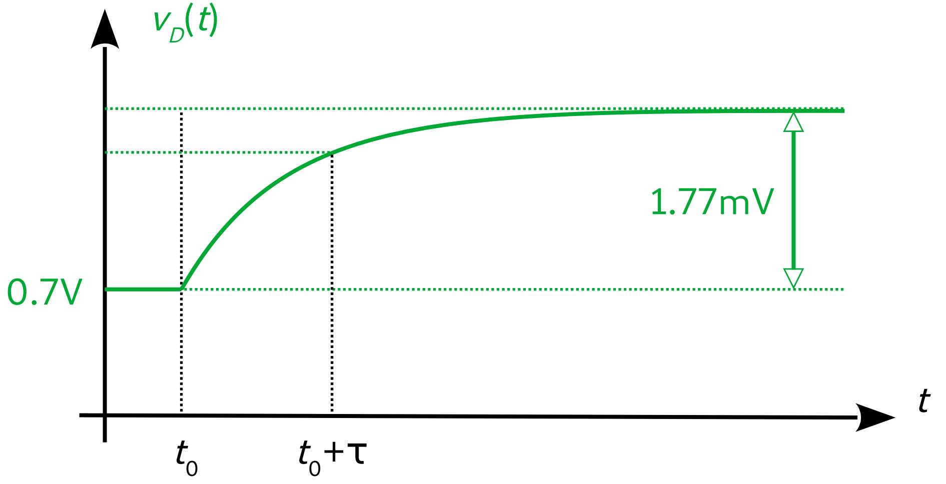
$v_s(t)$ 500 mV; t_0 = 1 ns.

$$v_D(t) = V_D + v_d(t)$$

$$\tau_{RC} \sim r_d\, C_{dif} = 18 \text{ ns}$$

$$v_r(0) = 0$$

$$v_r(\infty) = 1.77 \text{ mV}$$



Comparación de la respuesta de circuito en ambos regímenes

DATOS

$N^+P \rightarrow N_D >> N_A$

$N_D = 10^{19}$ cm^{-3},

A = 0.01 mm^2

ϕ_B = 900 mV

τ_T = 18 ns

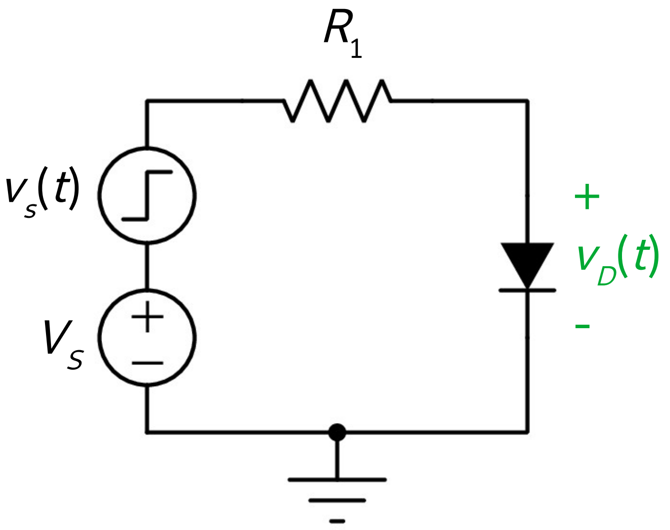
R_1 = 4.7 kΩ,

V_S = 8V

$v_s(t)$ 500 mV; t_0 = 1 ns.

	Directa	Inversa
I_D	1.55 mA	~0
V_D	0.7 V	-8 V
g_d/r_d	60 mS/16.5 Ω	0/∞
C_J	4.5 pF	0.965 pF
C_{dif}	1.08 nF	~0
τ_{RC}	18 ns	4.54 ns
$v_d(\infty)$	1.77 mV	500 mV

Diodo REAL: ¿Cómo cambia el modelo de pequeña señal?



$$i_D = I_{0R}\left(\exp\left(\frac{v_D}{\boxed{n}\,V_{th}}\right) - 1\right)$$

Polarización: Seguimos usando el modelo de orden 0

Directa: $V_D = 0.7$ V; $I_D = 1.55$ mA

Parámetro de pequeña señal:

$$g_m = \left.\frac{\partial i_D}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = \frac{I_D + \cancel{I_0}}{\boxed{n}\,V_{th}} =$$

rd = $\boxed{\text{n}}$ ID/Vth

$$C_{dif} = \left.\frac{\partial \cancel{q_{QNR}}}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = \frac{\tau_T}{\boxed{n}\,V_{th}}(I_D + I_0) =$$

$$C_J = \left.\frac{\partial q_{SCR}}{\partial v_D}\right|_{(I_D;V_D)} = \frac{C_{J0}}{\sqrt{1 - \frac{V_D}{\phi_B}}} = \sqrt{2}\,C_{J0}$$

NO CAMBIA!!!

En inversa:

gd = 0

Cdif = 0

Cj No cambia