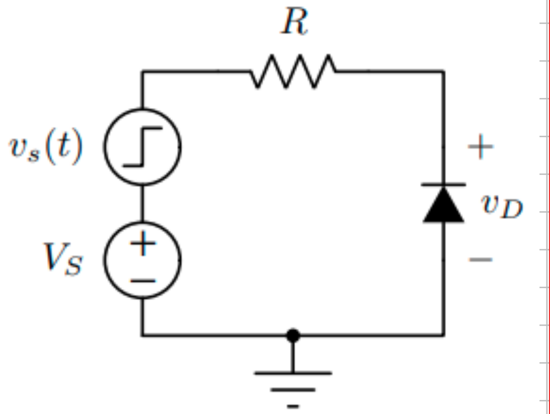
Ejercicio 26 - Guía Diodo N3

26. Un diodo N^+P con $N_D = 10^{19}\text{cm}^{-3}$, área $A = 0.01\text{mm}^2$ y con parámetros $\phi_b = 900\text{mV}$ y $\tau_T = 18\,\text{ns}$. Considere el circuito de la figura 6a donde $V_S = 8\text{V}$ y

$$v_s(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < t_0 \\ 500\,\text{mV} & \text{si } t \geq t_0 \end{cases}$$

con $t_0 = 1\,\text{ns}$ y $R = 4.7\,\text{k}\Omega$.



a) Calcular la polarización.

b) Hallar el modelo de pequeña señal.

c) ¿Cuál es la corriente predominante, la de huecos o la de electrones?

d) Encuentre la respuesta temporal de la tensión $v_D(t)$.

e) Si V_S disminuye a la mitad, ¿cómo se modifica la respuesta temporal de $v_d(t)$?

Datos

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

$A = 0.01\,\text{mm}^2$

$\tau_T = 18\,\text{ns}$

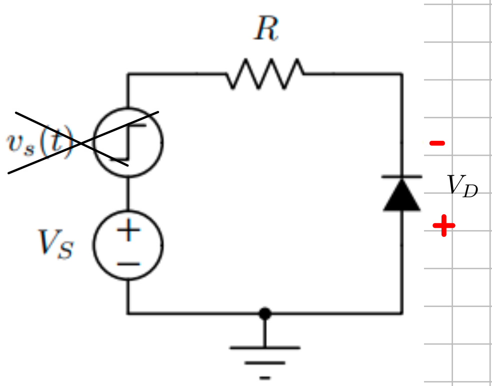
$V_S = 8\,\text{V}$

$v_s(t) = u(t - t_0)500\,\text{mV}$

$t_0 = 1\,\text{ns}$

$R = 4.7\,\text{k}\Omega$

$a)$ Calcular la polarización.



Inversa:

$$I_D = -I_0 \approx 0$$

$$V_S = \cancel{V_R}^{\,0} - V_D$$

$$V_D = -V_S = -\cancel{8}^{\,-4V}\,\mathrm{V}$$

Datos

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

$A = 0.01\,\mathrm{mm}^2$

$\tau_T = 18\,\mathrm{ns}$

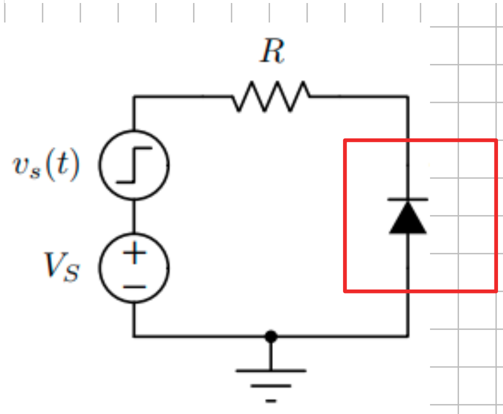
$V_S = 8\,\mathrm{V}$

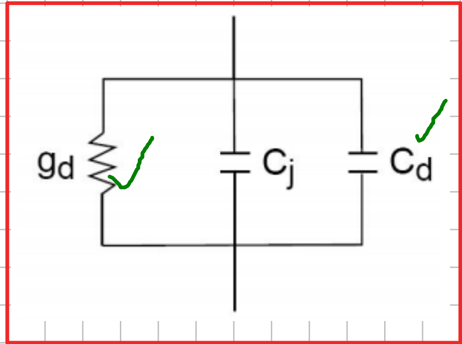
$v_s(t) = u(t - t_0)500\,\mathrm{mV}$

$t_0 = 1\,\mathrm{ns}$

$R = 4.7\,\mathrm{k\Omega}$

b) Hallar el modelo de pequeña señal.





$I_D = -I_0 \approx 0$

$V_D = -V_S = -8\,\mathrm{V}$

Datos

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

$A = 0.01\,\mathrm{mm}^2$

$\tau_T = 18\,\mathrm{ns}$

$V_S = 8\,\mathrm{V}$

$v_s(t) = u(t - t_0) 500\,\mathrm{mV}$

$t_0 = 1\,\mathrm{ns}$

$R = 4.7\,\mathrm{k\Omega}$

$\phi_B = 0.9\,\mathrm{V}$

$\mathrm{PN}^+ \longrightarrow N_a << N_d$

Inversa

$C_d << C_j$

Directa

No siempres es válido

$C_j << C_d$

$$g_d = \frac{(\cancelto{0}{I_D} + \cancelto{0}{I_0})}{\frac{kT}{q}} \approx 0 \longrightarrow r_d = \frac{1}{g_d} = \infty$$

$$\boxed{C_d = \frac{q}{kT}\tau_T (I_D + I_0) \approx 0}$$

$$C_D = C_j + C_d$$

$$\boxed{C_j'(V) = \frac{\epsilon_s}{x_d(V)} = \sqrt{\frac{q\epsilon_s N_a \cancel{N_d}}{2(\phi_B - V)\cancel{(N_a + N_d)}}} = \frac{C_{jo}'}{\sqrt{1 - \frac{V}{\phi_B}}}}$$

$$C_j(V) = A \cdot C_j'(V)$$

$$C_j'(V) = \sqrt{\frac{q\epsilon_s N_a}{2(\phi_B - V_D)}} \quad C_j(V) = A\sqrt{\frac{q\epsilon_s N_a}{2(\phi_B - V_D)}}$$

$A = 0.01\,\mathrm{mm}^2 = 0.0001\,\mathrm{cm}^2$

$\phi_n \approx 9 * 60\,\mathrm{mV} = 540\,\mathrm{mV}$

$$\phi_B = 0.9\,\mathrm{V} = \phi_n - \phi_p$$

$p_0 \approx N_a$

$n_0 \approx N_d$

$\phi_p = -\phi_B + \phi_n = -360\,\mathrm{mV}$

$$0.9\,\mathrm{V} = \frac{kT}{q}\log\frac{n_0}{n_i} - (-1)\frac{kT}{q}\log\frac{p_0}{n_i}$$

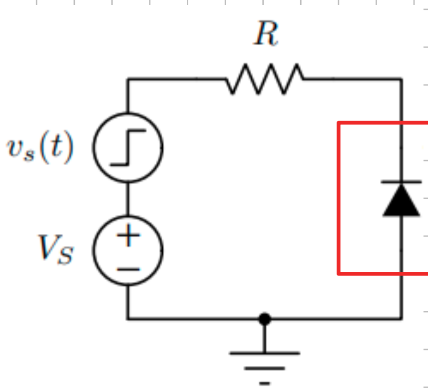
$$\frac{360\,\mathrm{mV}}{60\,\mathrm{mV}} = 6 \longrightarrow N_a = 10^{16}\,\mathrm{cm}^{-3}$$

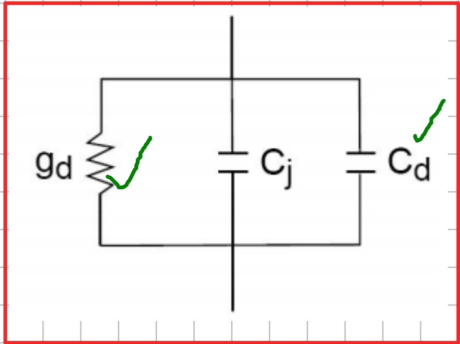
$$C_d = 0$$

$$C_D = C_j = 0.965\,\mathrm{pF}$$

$$r_d = \infty$$

b) Hallar el modelo de pequeña señal.





$I_D = -I_0 \approx 0$

$V_D = -V_S = -8\,\mathrm{V}$

Inversa

$C_d << C_j$

Directa

No siempres es válido

$C_j << C_d$

Datos

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

$A = 0.01\,\mathrm{mm}^2$

$\tau_T = 18\,\mathrm{ns}$

$V_S = 8\,\mathrm{V}$

$v_s(t) = u(t-t_0)500\,\mathrm{mV}$

$t_0 = 1\,\mathrm{ns}$

$R = 4.7\,\mathrm{k\Omega}$

$\phi_B = 0.9\,\mathrm{V}$

$\mathrm{PN}^+ \longrightarrow N_a << N_d$

$$g_d = \frac{(\cancelto{0}{I_D} + \cancelto{0}{I_0})}{\frac{kT}{q}} \approx 0 \longrightarrow r_d = \frac{1}{g_d} = \infty$$

$$C_d = \frac{q}{kT}\tau_T(I_D + I_0) \approx 0$$

$$C_D = C_j + C_d$$

$$C_j'(V) = \frac{\epsilon_s}{x_d(V)} = \sqrt{\frac{q\epsilon_s N_a \cancel{N_d}}{2(\phi_B - V)\cancel{(N_a + N_d)}}} = \frac{C_{jo}'}{\sqrt{1 - \frac{V}{\phi_B}}}$$

$$C_j(V) = A \cdot C_j'(V)$$

$$C_j'(V) = \sqrt{\frac{q\epsilon_s N_a}{2(\phi_B - V_D)}} \quad C_j(V) = A\sqrt{\frac{q\epsilon_s N_a}{2(\phi_B - V_D)}}$$

$A = 0.01\,\mathrm{mm}^2 = 0.0001\,\mathrm{cm}^2$

$$\phi_n \approx 9 * 60\,\mathrm{mV} = 540\,\mathrm{mV}$$

$$\phi_B = 0.9\,\mathrm{V} = \phi_n - \phi_p$$

$p_0 \approx N_a$

$$\phi_p = -\phi_B + \phi_n = -360\,\mathrm{mV}$$

$$0.9\,\mathrm{V} = \frac{kT}{q}\log\frac{n_0}{n_i} - (-1)\frac{kT}{q}\log\frac{p_0}{n_i}$$

$n_0 \approx N_d$

$$\frac{360\,\mathrm{mV}}{60\,\mathrm{mV}} = 6 \longrightarrow N_a = 10^{16}\,\mathrm{cm}^{-3}$$

$$C_d = 0 \qquad 1.3\mathrm{pF}$$

$$C_D = C_j = 0.965\,\mathrm{pF}$$

$$r_d = \infty$$

c) ¿Cuál es la corriente predominante, la de huecos o la de electrones?

$$J = \boxed{J_n + J_p} = \boxed{q n_i^2} \left(\frac{1}{N_a} \frac{D_n}{W_p - x_p} + \frac{1}{N_d} \frac{D_p}{W_n - x_n} \right) \left(\exp \frac{qV}{kT} - 1 \right)$$

$$I = \boxed{q A n_i^2 \left(\frac{1}{N_a} \frac{D_n}{W_p - x_p} + \frac{1}{N_d} \frac{D_p}{W_n - x_n} \right)} \left(\exp \frac{qV}{kT} - 1 \right)$$

~0

$$I = \boxed{I_o} \left(\exp \frac{qV}{kT} - 1 \right)$$

Datos

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

$A = 0.01\,\mathrm{mm}^2$

$\tau_T = 18\,\mathrm{ns}$

$V_S = 8\,\mathrm{V}$

$v_s(t) = u(t - t_0) 500\,\mathrm{mV}$

$t_0 = 1\,\mathrm{ns}$

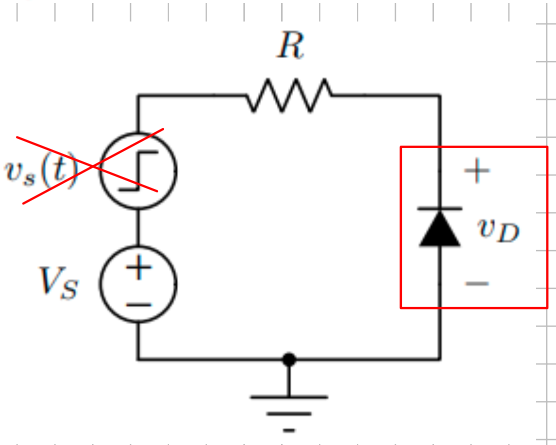
$R = 4.7\,\mathrm{k\Omega}$

$\phi_B = 0.9\,\mathrm{V}$

$\mathrm{PN^+} \longrightarrow N_a << N_d$

La corriente predominante será la de electrones.

$d)$ **Encuentre la respuesta temporal de la tensión $v_D(t)$.**

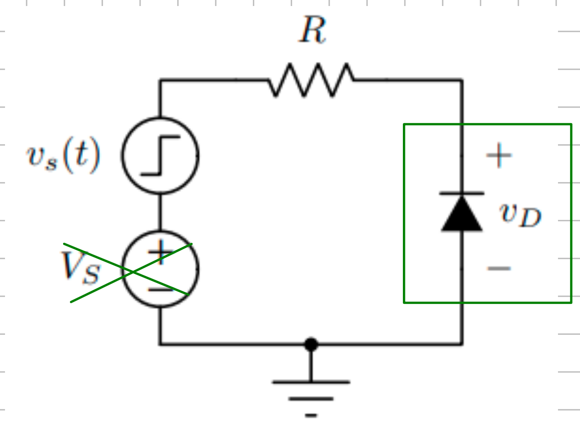


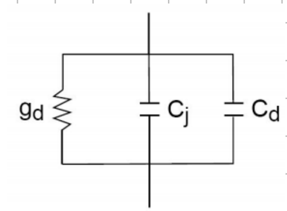
1. Polarización.
2. Encontramos el circuito equivalente de pequeña señal.

Modelo de orden 0.

$$I_D, V_D$$

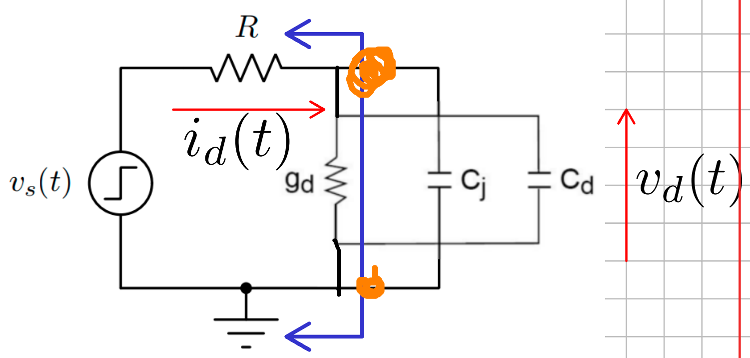
3. Encontrar el modelo de pequeña señal
4. Resolver el circuito equivalente.





$$i_d(t), v_d(t)$$

d) Encuentre la respuesta temporal de la tensión $v_D(t)$.



$i_d(t)/v_d(t)$

$C_d = 0$

$C_D = C_j = 0.965\,\mathrm{pF}$

$r_d = \infty$

Datos

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

$A = 0.01\,\mathrm{mm}^2$

$\tau_T = 18\,\mathrm{ns}$

$V_S = 8\,\mathrm{V}$

$v_s(t) = u(t - t_0) 500\,\mathrm{mV}$

$t_0 = 1\,\mathrm{ns}$

$R = 4.7\,\mathrm{k\Omega}$

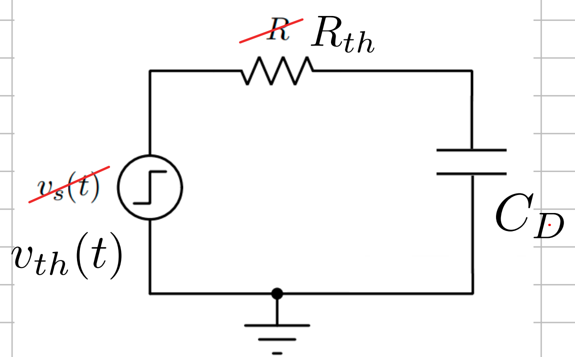
$\phi_B = 0.9\,\mathrm{V}$

$\boxed{\mathrm{PN}^+ \longrightarrow N_a << N_d}$

$$\boxed{v_D(t) = V_D + v_d(t)}$$

$$\boxed{v_{th}(t) = v_s(t)}\frac{r_d}{r_d + R} \rightarrow 1$$

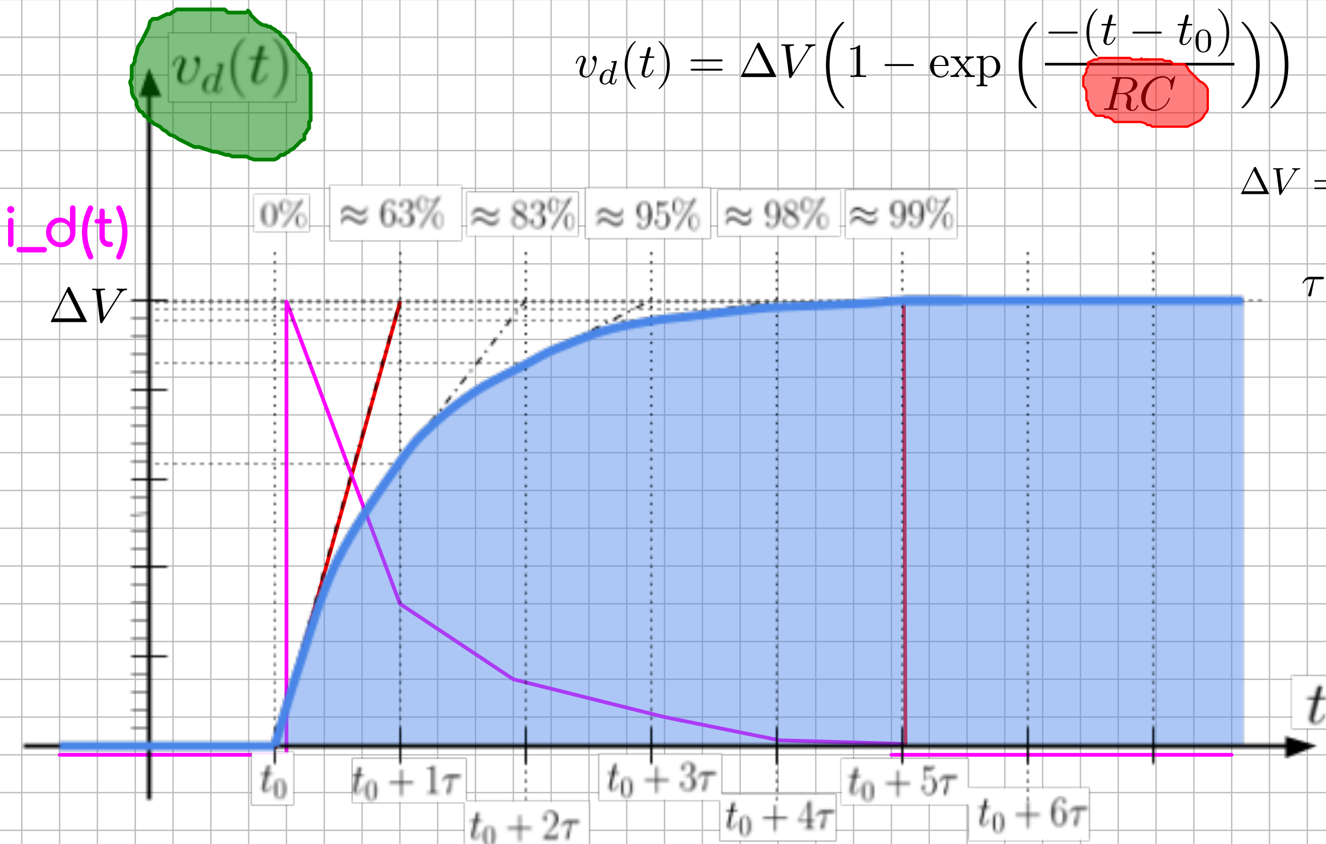
$$R_{th} = R//r_d = \frac{R\,r_d}{r_d + R}$$



$$v_d(t) = \Delta V\left(1 - \exp\left(\frac{-(t - t_0)}{RC}\right)\right)$$

$\Delta V = 500\,\mathrm{mV}$

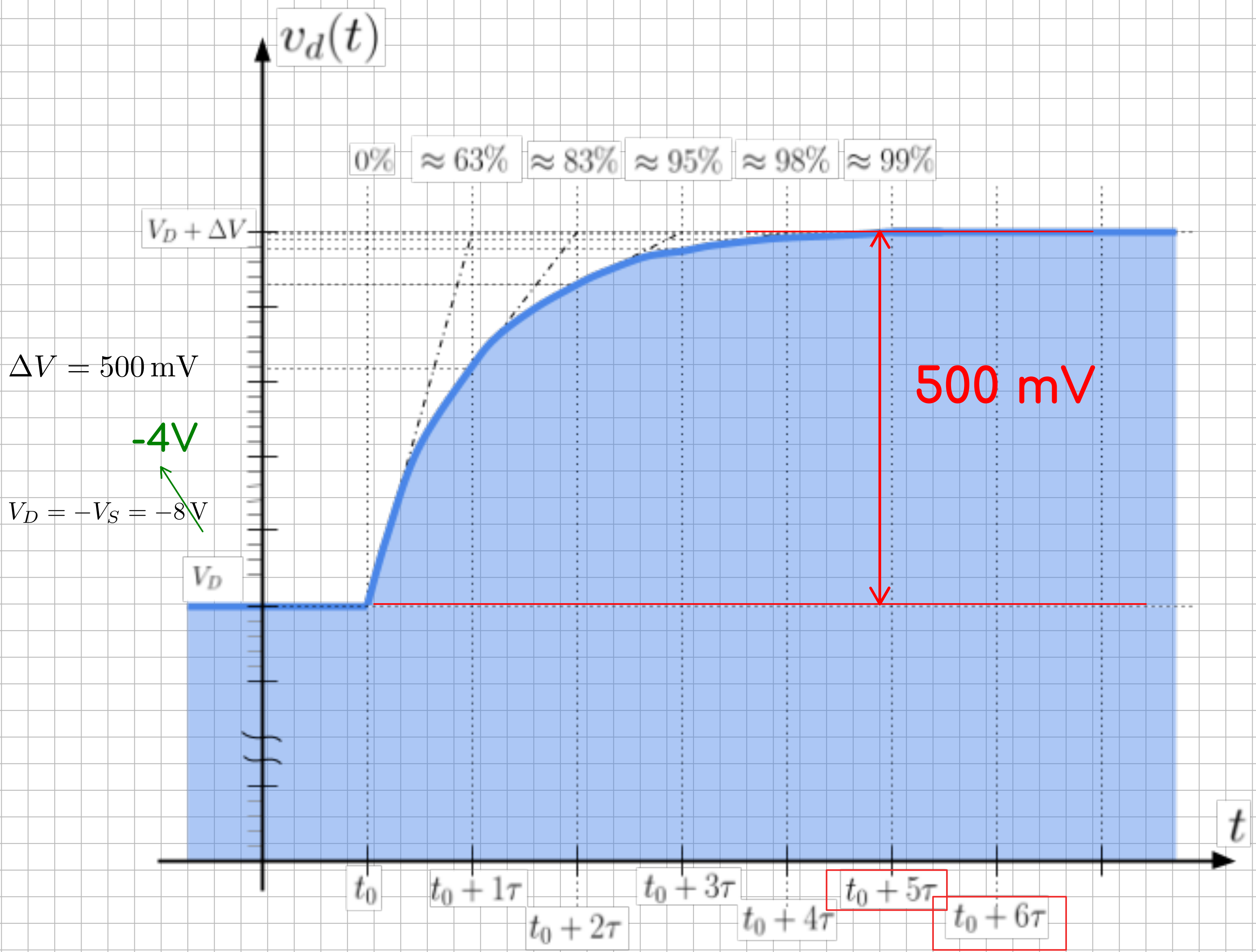
$\tau = RC$



$$v_d(t) = V_F + (V_0 - V_F)\exp\left(\frac{-(t - t_0)}{RC}\right)$$

$$i_d(t) = \frac{v_{th}(t) - v_d(t)}{R_{th}}$$

$d)$ Encuentre la respuesta temporal de la tensión $v_D(t)$.



Rango de validez del modelo de pequeña señal

¿A qué nos referimos cuando decimos "si $v(t)$ es lo suficientemente pequeña"?

El error que cometemos entre el valor estimado de señal i_d y el valor real $i_D - I_D$ debe ser pequeño.

Aplicaremos el criterio del 10%:

$$i_D(t) - (I_D + i_d(t)) < 10\% \; (i_D(t) - I_D)$$

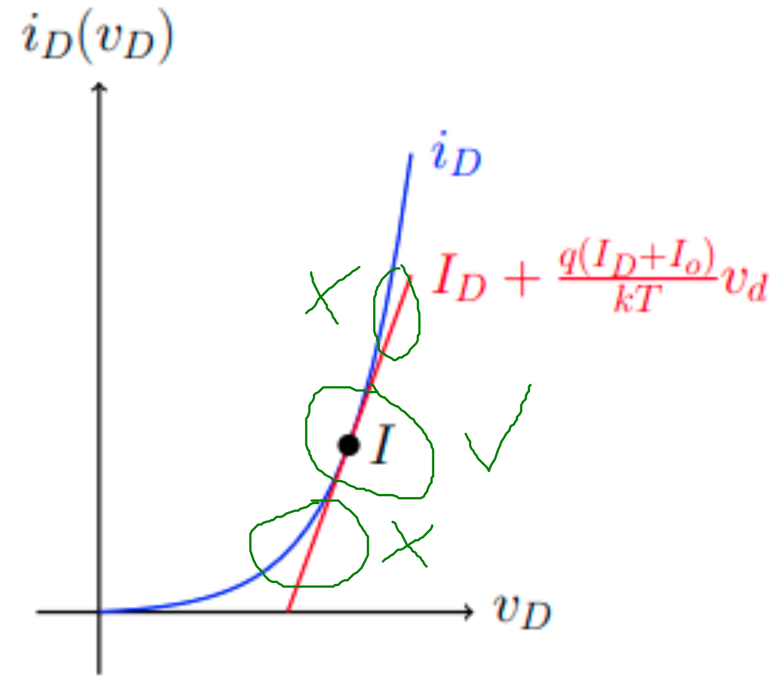
Como esta inecuación no tiene solución $\Rightarrow$ pedimos que el término de segundo órden de Taylor (primer término de error) sea despreciable frente al término lineal:

$$\frac{1}{2}\frac{\partial^2 i_D}{\partial v_D^2}\Big|_{V_D} \cdot v_d^2 < 10\% \; i_d(t)$$

$$\frac{1}{2}\frac{q^2(I_D + I_o)}{(kT)^2} \cdot v_d^2 < 0,1 \left(\frac{q(I + I_o)}{kT} \, v\right)$$

En inversa ($I_D \approx -I_o$), no tiene sentido evaluar este error y siempre puede aplicarse el modelo de pequeña señal

$$0 < 0$$



En directa ($I_D \gg I_o$):

$$\frac{1}{2}\frac{q^2 I_D}{(kT)^2} \cdot v_d^2 < 0,1 \, \frac{qI_D}{kT} \cdot v_d$$

$$v_d < 0,2 \, \frac{q}{kT}$$

Considerando temperatura ambiente se obtiene:

$$v_d \approx 5,2 \, \mathrm{mV}$$

En la práctica se tolera:

$$|v_d| < 10 \, \mathrm{mV} \text{ (pico)}$$