

CUESTIONES

(1)

(1.-) a)

$$\frac{dp}{dt} = \frac{d(\delta p)}{dt} = \underbrace{G + g_0}_{\text{generación}} - \underbrace{r}_{\text{recombinación}} = G + \alpha_t n_0 p_0 - \alpha_r n p =$$

$$= G + \alpha_t n_0 p_0 - \alpha_r (n_0 + \delta n) (p_0 + \delta p) = G - \alpha_r (n_0 \delta p + p_0 \delta n + \delta n \delta p)$$

$$\delta n = \delta p$$

Aprox. débil inyección $\Rightarrow \delta n \delta p \ll n_0 \delta p$

$$\text{Tipo N} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} n_0 \simeq N_0 = 10^{15} \text{ cm}^{-3} \\ p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = 2 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3} \end{array} \right\} \Rightarrow n_0 \delta p \gg p_0 \delta n$$

Por tanto:

$$\boxed{\frac{d\delta p}{dt} = G - \frac{\delta p}{\tau_p}}, \text{ donde } \tau_p = \frac{1}{\alpha_r n_0}$$

$$b) \text{ Estado estacionario} \Rightarrow \frac{d\delta p}{dt} = 0 \Rightarrow \delta p = G \cdot \tau_p$$

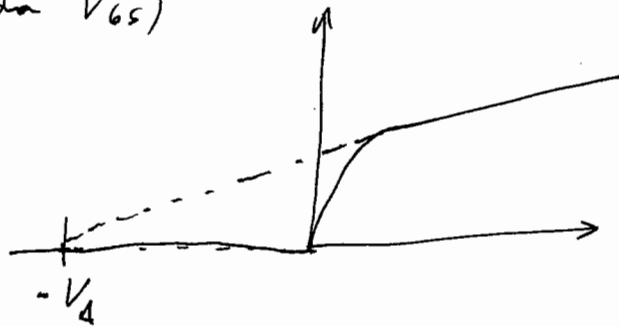
$$\delta p = \delta n = 10^{12} \cdot \frac{1}{\text{cm}^3 \mu\text{s}} \cdot 3 \mu\text{s} = 3 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

$$\text{luego: } n = (10^{15} + 3 \cdot 10^{12}) \text{ cm}^{-3} \simeq n_0$$

$$p = p_0 + \delta p \simeq \delta p = 3 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

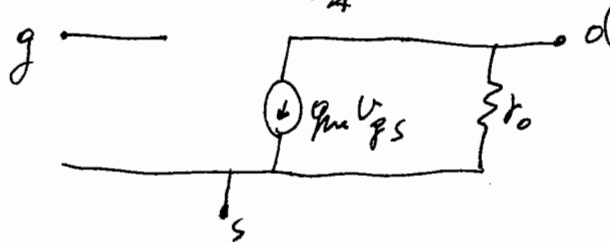
2.- Hay que describir:

- agotamiento del canal y pequeña dependencia de la resistencia del canal con la tensión V_{DS}
- En DC implica que en saturación $I_D = I_0(V_{DS})$ (fijada V_{GS})



- En AC supone además una resistencia r_o de

valor
$$r_o^{-1} = \frac{\beta/2 [V_{GS} - V_T]^2}{V_A} \approx \frac{I_D}{V_A}$$



3.- Transistor saturado si $V_{EC} = 0.2V$. Calculamos

$$V_{EC} = 10V - I_C \cdot R_C$$

Por otro lado
$$I_C = \beta_F \cdot I_B = \beta_F \cdot \frac{V_B - V_{BB}}{R_{BB}} = \beta_F \frac{[(10 - 0.7) - 8]V}{100K} =$$

$$I_C = \beta_F \cdot 13\mu A$$

Por tanto:

$$V_{EC} = 10V - \beta_F \cdot 13\mu A \cdot R_C$$

Cuanto mayor sea β_F , menor es V_{EC} . la tensión mínima que separa saturación de activa es

$V_{EC} = 0.2V$. Si β_F es mayor que el valor con el cual $V_{EC} = 0.2V$, V_{EC} sería menor y en realidad el transistor estaría saturado. Por tanto:

$$0.2V = 10V - \beta_{FMAX} \cdot 13\mu A \cdot R_C \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\beta_{FMAX} = \frac{9.8V}{13\mu A \cdot R_C} = 377}$$

PROBLEMAS

(1.-) a) - Si $V_i < 0$, D1 OFF y D2 ON sólo si $V_i < V_\gamma$. E se como D2 conduce en directa y $V_o = -0.65V$.

- Si $V_i > -0.65V$ y próxima a $0V$, D1 no conduce y D2 tampoco.

- Conforme se incrementa V_i , habrá una tensión que sea suficiente para que o D2 conduzca en inversa o D1 conduzca en directa.

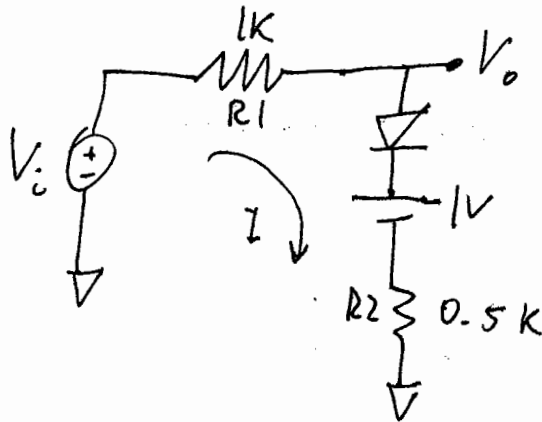
- Veamos cuáles son las condiciones para cada caso y qué se verifica para una tensión de V_i más baja.

• DZ ON (inversa) $\Rightarrow V_i > 6V$

• DI ON $\Rightarrow V_o > 1V + V_g = 1.65V$

\rightarrow Por tanto, se verifica primero la condición para que DI conduzca.

\rightarrow Suponemos, por tanto, DI ON y DZ OFF.



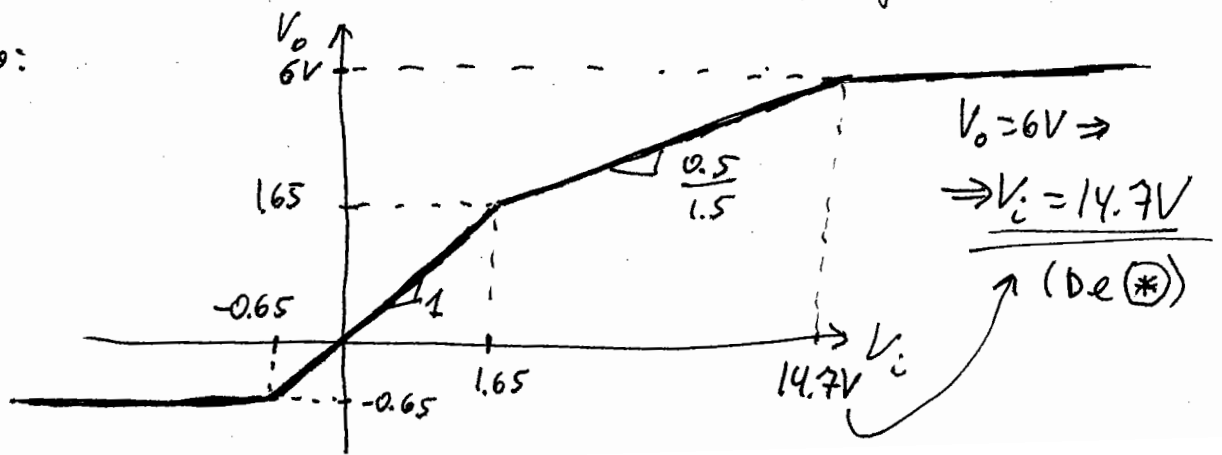
$$V_o = 0.5K \cdot I + 1V + V_g = 0.5K \cdot I + 1.65V$$

$$I = \frac{V_i - V_g - 1}{R1 + R2} = \frac{V_i - 1.65V}{1.5K}$$

$$\underline{V_o = \frac{0.5}{1.5} (V_i - 1.65V) + 1.65V = \frac{0.5}{1.5} V_i + 1.1V} \quad (*)$$

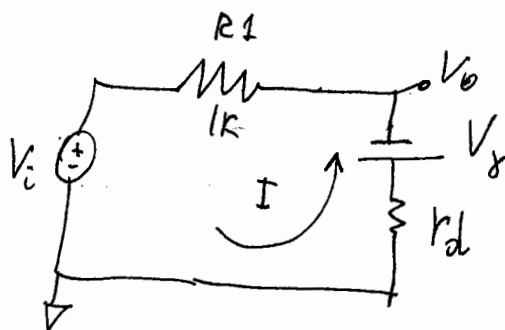
\rightarrow Si V_i se incrementa, tb. lo hace V_o . Cuando V_o alcanza 6V, DZ conduce en inversa y fija $V_o = 6V$.

\rightarrow Por tanto:



b) las condiciones para que conduzcan los diodos son las mismas (puesto que en los puntos límites, cuando un diodo empieza a conducir, la corriente es cero por el diodo y por tanto no influye r_d ni V_z).

- $V_i < 0.65V$. D2 ON (^{DIRECTA} ~~INVERSA~~) y:



$$V_o = -I \cdot r_d - V_f = (V_i + V_f) \cdot \frac{r_d}{R1 + r_d} - V_f \Rightarrow$$

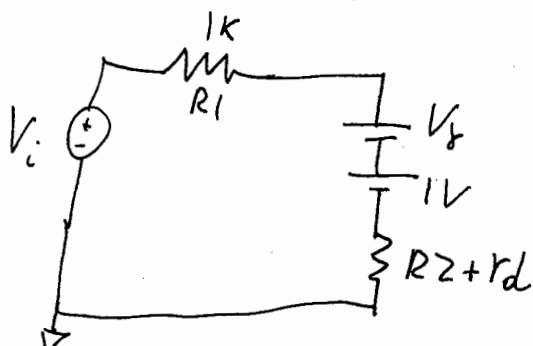
$$-I = \frac{V_i + V_f}{R1 + r_d}$$

$$\Rightarrow V_o = \frac{r_d}{R1 + r_d} V_i + \left(\frac{r_d}{R1 + r_d} - 1 \right) V_f$$

Efectiva, en la frontera:

$$V_i = -0.65V \Rightarrow V_o = -0.65V \text{ (como en a).}$$

- $-0.65 < V_i < 1.65V \rightarrow$ igual que en a) D1 OFF, D2 OFF
- $1.65 < V_i < V_{\text{total}}$ que $V_o = 6V$. D1 ON, D2 OFF



Por tanto, la expresión $V_o(V_i)$ será la misma que en a), cambiando R_2 por $R_2 + r_d$:

$$V_o = \frac{(R_2 + r_d) \cdot (V_i - 1.65V)}{R_2 + r_d + R_1} + 1.65V \Rightarrow$$

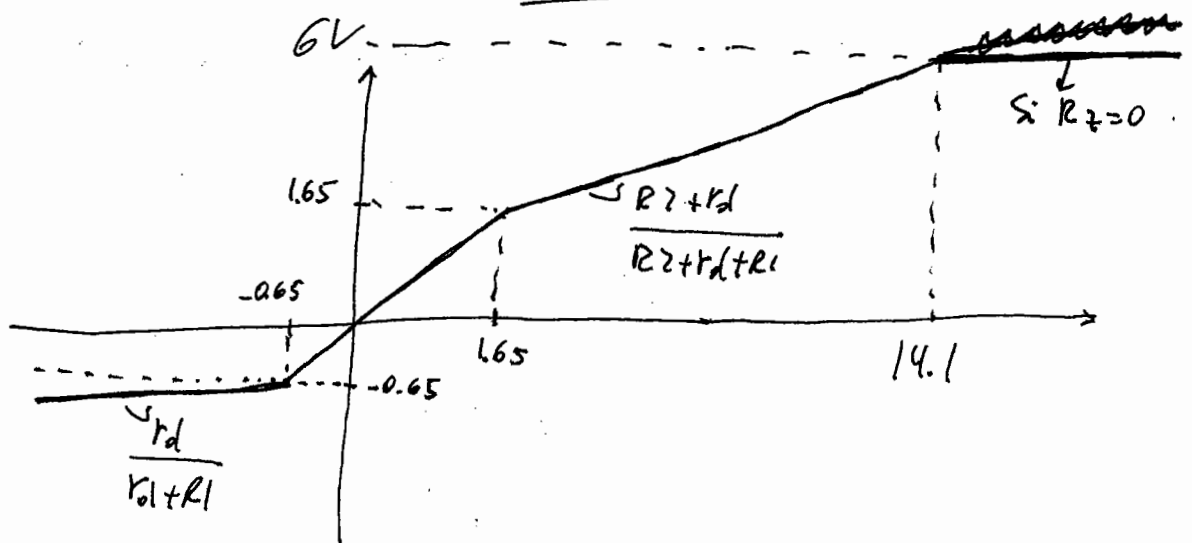
$$\Rightarrow V_o = \frac{R_2 + r_d}{R_2 + r_d + R_1} \cdot V_i + 1.65V \cdot \left(-\frac{R_2 + r_d}{R_2 + r_d + R_1} + 1 \right) \quad (**)$$

Ahora, la condición ~~para~~ para que el zener conduzca sigue siendo $V_o = 6V$, pero se alcanza para una tensión V_i diferente a la del apartado a) y que se obtiene de (**)

$$6V = \frac{R_2 + r_d}{R_2 + r_d + R_1} \cdot V_i + 1.65V \cdot \left(1 - \frac{R_2 + r_d}{R_2 + r_d + R_1} \right)$$

$$6V = 0.35 V_i + 1.07 \Rightarrow \underline{\underline{V_i = 14.1V}}$$

→ Por tanto:



(2.-)

$$a) V_o = 0V \Rightarrow V_{RD} = 10V \Rightarrow I_D = \frac{10V}{5K} = 2mA$$

Para tener $I_D = 2mA$, V_{GS} debe ser:

$$I_D = \frac{\beta}{2} [V_{GS} - V_T]^2 = 2mA$$

$$V_{GS} - V_T = \pm \sqrt{\frac{4mA}{300\mu A} V^2} = \pm 3.65V$$

$$V_{GS} = \pm 3.65V + 2.5V$$

~~$-1.5V$~~
 $V_{GS} = 6.15V$

R_{G1} y R_{G2} debe ser tales que V_G sea

$$V_G = -10V + 6.15V = -3.85V$$

$$V_G = -10V + \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot 20V \Rightarrow \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = 0.31$$

Por ejemplo, si $R_{G1} = 100K \Rightarrow R_{G2} = 44.9K$

Comprobemos finalmente que el transistor está efectivamente en saturación:

$$\left. \begin{array}{l} V_{DS} = 10V \\ V_{GS} - V_T = 3.65V \end{array} \right\} \Rightarrow V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

b) Si $R_D = 0 \Rightarrow V_D = 10V$, $V_{DS} = 20V$ y está en saturación seguía.

Si $R_D \uparrow \Rightarrow V_{DS} \downarrow$ y puede alcanzarse región lineal.
 $I_D \neq I_{D0}(V_{DS})$ (no hay efecto Early).

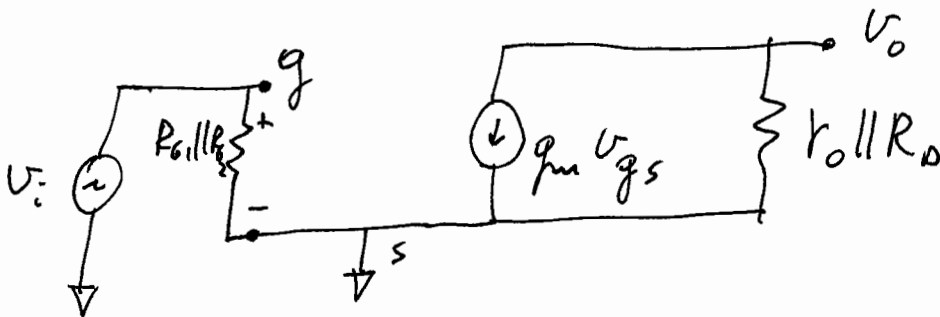
Por tanto, la máxima R_D será tal que:

$$V_{DS} = V_{GS} - V_T = 3.65V \Rightarrow V_D = -6.35V$$

$$\text{Como } I_D = 2mA = \frac{V_{DD} - V_D}{R_D} \Rightarrow R_D = 8.17 K\Omega$$

$$R_D \in [0, 8.17K]$$

c) Circuito pequeña señal:



$$v_o = -g_m r_o \parallel R_D \cdot v_{gs} \quad ; \quad v_{gs} = v_i$$

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = -g_m r_o \parallel R_D$$

$$g_m \approx \beta [V_{GS} - V_T] = 300 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 3.65V = 1.1 \cdot 10^{-3} S$$

$$r_o^{-1} \approx 2 \cdot I_D = \frac{I_D}{V_A} \Rightarrow r_o = 30 K\Omega$$

$$r_o \parallel R_D = 4.78 K\Omega$$

$$\Rightarrow \frac{v_o}{v_i} = -4.7$$

3.- a) Saturación \Rightarrow unión BC en directo $\Rightarrow V_B > V_C$
 Pero $V_B = V_C - I_B \cdot R_B$

y $I_B > 0 \Rightarrow$ siempre $V_B < V_C \Rightarrow$ ACTIVA

b) $I_{RC} = I_C + I_B = I_C + \frac{I_C}{\beta_F} = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right)$

Además $I_{RC} = \frac{10V - 5V \xrightarrow{V_{CE}}}{R_C}$

luego: $\frac{5V}{R_C} = I_C \left(1 + \frac{1}{\beta_F}\right) = 2mA \cdot 1.01 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{R_C = 2.47K}$$

Además R_B debe ser tal que:

$$\frac{V_C - V_B}{R_B} = I_B = \frac{I_C}{\beta_F} = 20\mu A$$

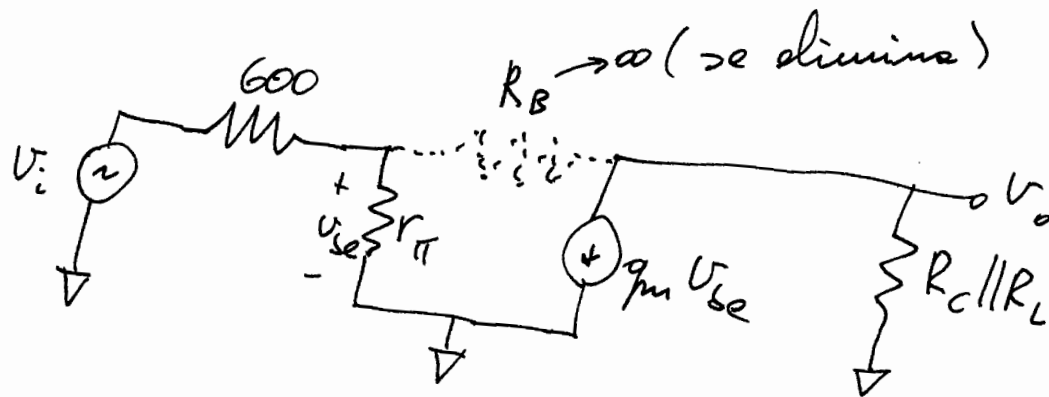
$$V_C = 5V$$

$$V_B = V_{BE} = 0.65V$$

Por tanto

$$\boxed{R_B = \frac{(5 - 0.65)V}{20\mu A} = 218K}$$

c) Circuito en pequeña señal:



$$V_o = -g_m V_{be} \cdot R_C || R_L = -g_m R_C || R_L \cdot \frac{r_\pi}{r_\pi + 600\Omega} V_i$$

$$\Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = -g_m R_C || R_L \cdot \frac{r_\pi}{r_\pi + 600} = -58.0$$

Con $g_m = \frac{I_C}{V_T} = 77 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}$

$$r_\pi = \frac{I_C}{\beta_F V_T} \Rightarrow r_\pi = 1.3 \text{ K}\Omega$$

$$R_C || R_L = 1.1 \text{ K}$$