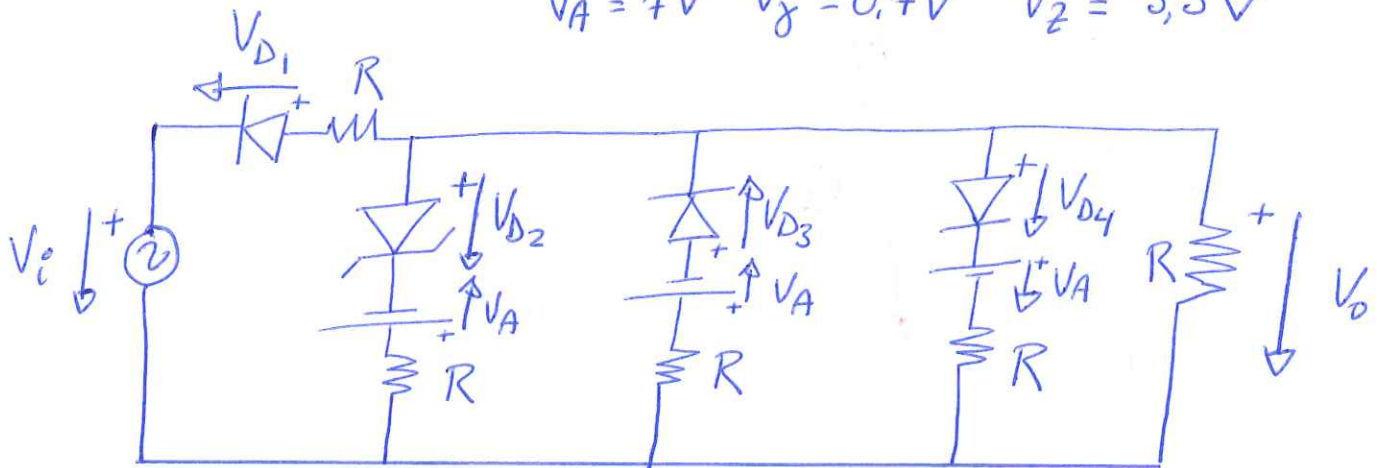


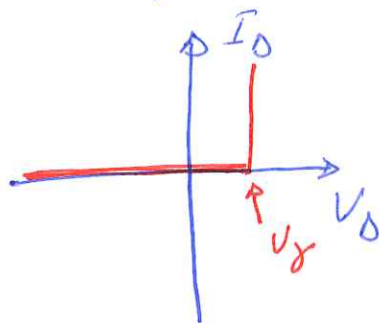
PROBLEMA REFUERZO DIODOS

$$V_A = 7V \quad V_g = 0.7V \quad V_Z = 3.3V$$



CÁLCULO DE LÍMITES DE CONDUCCIÓN DE CADA DIODO

En el límite de conducción de un diodo no pasa corriente por ese diodo ($I_D = 0$)

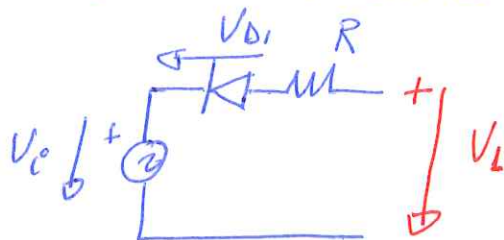


En un diodo en corte (off)

$$I_D = 0$$

$$V_D < V_g$$

LÍMITE DE CONDUCCIÓN DE D1

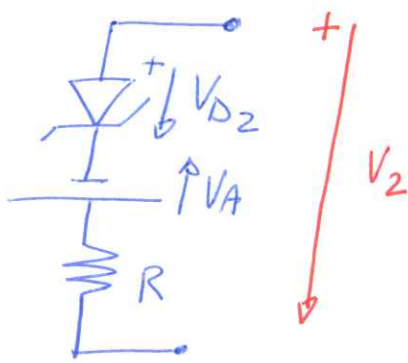


La tensión en la rama del diodo D_1 la llamo V_L

$$V_e + V_{D1} + I_{D1} R = V_L$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } D_1 \text{ off} \Rightarrow I_{D1} = 0 \\ V_{D1} < V_g \end{array} \right\} \Rightarrow V_{D1} = V_L - V_e < V_g \text{ cuando } D_1 \text{ off}$$

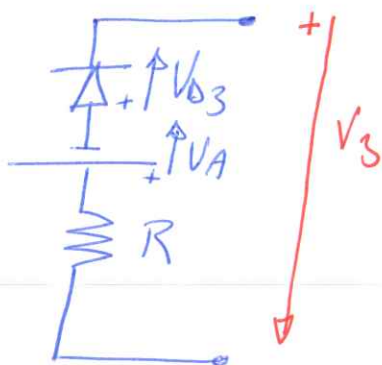
LÍMITE DE CONDUCCIÓN DEL D_2



A la caída de tensión en la rama del D_2 la llamo V_2

$$\begin{aligned} V_A + V_2 + I_{D_2} R &= V_{D_2} \\ \text{Si } D_2 \text{ off} \Rightarrow I_{D_2} &= 0 \\ -V_Z < V_{D_2} < V_Y \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} V_{D_2} &= V_A + V_2 < V_Y \\ \text{cuando } D_2 \text{ off} \\ V_A + V_2 &> -V_Z \end{aligned}$$

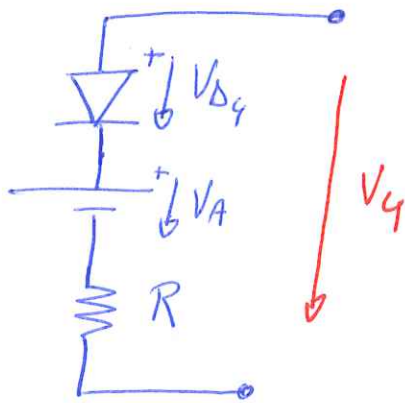
LÍMITE DE CONDUCCIÓN DEL D_3



A la caída de tensión en la rama de D_3 la llamo V_3

$$\begin{aligned} V_{D_3} + V_A + V_3 + I_{D_3} R &= 0 \\ \text{Si } D_3 \text{ off} \Rightarrow I_{D_3} &= 0 \\ V_{D_3} < V_Y \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} V_{D_3} &= -(V_A + V_3) < V_Y \\ \text{cuando } D_3 \text{ off} \end{aligned}$$

LÍMITE DE CONDUCCIÓN DE D_4



La tensión en la rama del diodo D_4
la llamo V_4

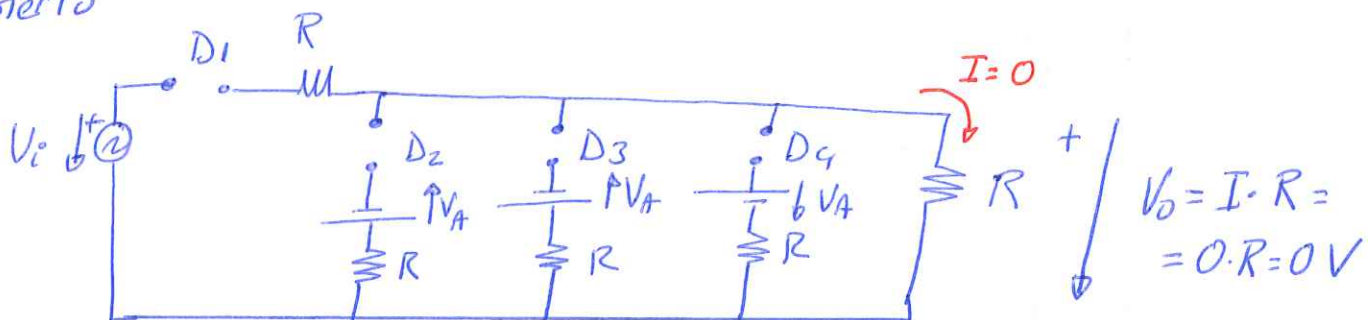
$$V_{D_4} + V_A + I_{D_4} R = V_4$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } D_4 \text{ off } I_{D_4} = 0 \\ V_{D_4} < V_r \end{array} \right\} \Rightarrow V_{D_4} = V_4 - V_A < V_r \text{ cuando } D_4 \text{ off}$$

Primer circuito

Paso 1.- Realizo una suposición razonada del estado de cada diodo.
En este primer circuito considero todos los diodos off.

Paso 2.- Sustituyo los diodos por su modelo, en este caso un circuito abierto



Paso 3.- Calculo V_D de cada diodo en corte, I_D de cada diodo en conducción y V_o .

Según los límites de conducción de cada diodo, calculados al comienzo del ejercicio:

$$V_{D_1} = V_1 - V_i = V_0 - V_i = -V_i$$

$V_1 = V_0$

$$V_{D_2} = V_A + V_2 = V_A + V_0 = V_A$$

$V_2 = V_0$

$$V_{D_3} = -(V_A + V_3) = -(V_A + V_0) = -V_A$$

$V_3 = V_0$

$$V_{D_4} = V_4 - V_A = V_0 - V_A = -V_A$$

$V_4 = V_0$

Paso 4.- Comprobar que las suposiciones realizadas para cada diodo son correctas.

$$D_1 \text{ off} \Rightarrow \text{¿} V_{D_1} < V_\gamma \text{?} \Rightarrow V_{D_1} = -V_i < V_\gamma = V_i > -V_\gamma$$

$$D_2 \text{ off} \Rightarrow \text{¿} -V_\gamma < V_{D_2} < V_\gamma \text{?} \Rightarrow V_{D_2} = V_A < V_\gamma \quad \text{No} / V_A > -V_\gamma \text{ Si}$$

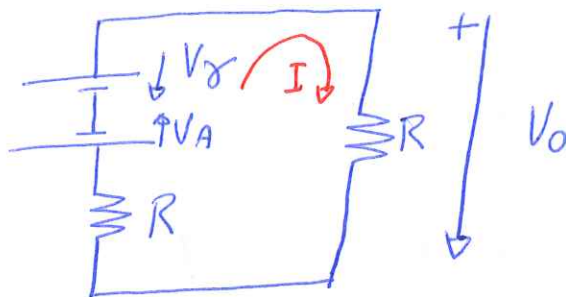
$$D_3 \text{ off} \Rightarrow \text{¿} V_{D_3} < V_\gamma \text{?} \Rightarrow V_{D_3} = -V_A < V_\gamma \quad \text{Si}$$

$$D_4 \text{ off} \Rightarrow \text{¿} V_{D_4} < V_\gamma \text{?} \Rightarrow V_{D_4} = -V_A < V_\gamma \quad \text{Si}$$

La suposición de que el diodo D_2 está off es errónea.
Volvemos al paso 1 y suponemos D_2 on

Paso 1.- Supongo D_2 on y D_1, D_3, D_4 off

Paso 2.-



Paso 3.- Calculo I_{D_2} , V_{D_1} , V_{D_3} , V_{D_4} y V_o

Calculo de V_o :

$$V_A + V_o + I \cdot R = V_g \Rightarrow I = \frac{V_g - V_A - V_o}{R}$$

$$V_o = I R = \frac{V_g - V_A - V_o}{R} \cdot R$$

$$V_o = \frac{V_g - V_A}{2} = -3,15 \text{ V}$$

Calculo de I_{D_2} y V_D

$$I_{D_2} = -I = -\frac{V_g - V_A - V_o}{R} = + \frac{3,15}{R}$$

$$V_{D_1} = V_o - V_i = -3,15 - V_i$$

$$V_{D_3} = -(V_A + V_o) = -3,85 \text{ V}$$

$$V_{D_4} = V_o - V_A = -10,15 \text{ V}$$

Paso 4.-

$$D_2 \text{ on } \text{¿} I_{D_2} > 0? \Rightarrow I_{D_2} = \frac{3,15}{R} > 0 \text{ Si}$$

$$D_1 \text{ off } \text{¿} V_{D_1} < V_g? \Rightarrow -3,15 - V_i < V_g \Rightarrow -3,85 < V_i$$

$$D_3 \text{ off } \text{¿} V_{D_3} < V_g? \Rightarrow V_{D_3} = -3,85 < V_g \text{ Si}$$

$$D_4 \text{ off } \text{¿} V_{D_4} < V_g? \Rightarrow V_{D_4} = -10,15 < V_g \text{ Si}$$

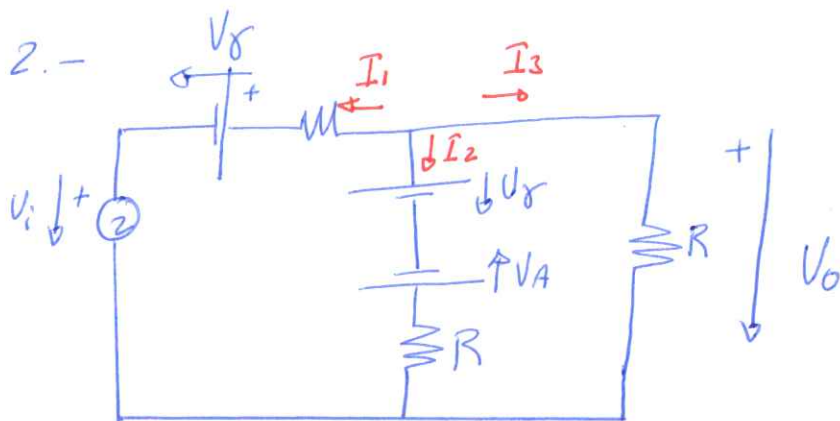
Las suposiciones hechas son correctas si $V_c > -3,85V$

Sol. del primer circuito $\Rightarrow V_o = -3,15$ si $V_i > -3,85V$

Segundo circuito para $V_i \leq -3,85V$

Paso 1. - D_1 on, D_2 on, D_3 y D_4 off

Paso 2.-



Paso 3.- Cálculo I_{D_1} , I_{D_2} , V_{D_3} , V_{D_4} y V_o

Calculo de V_0 :

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

$$I_1: V_c = -V_g - I_1 R + V_0 \Rightarrow I_1 = \frac{-V_c + V_0 - V_g}{R}$$

$$I_2: V_0 + V_A = V_x + I_2 R \Rightarrow I_2 = \frac{V_0 + V_A - V_x}{R}$$

$$I_3: V_0 = I_3 \cdot R \Rightarrow I_3 = \frac{V_0}{R}$$

$$-\frac{V_i + V_o - V_g}{R} + \frac{V_o + V_A - V_g}{R} + \frac{V_o}{R} = 0 \Rightarrow V_o = \frac{2V_g + V_i - V_A}{3}$$

$$\Rightarrow V_0 = -1,87 + \frac{V_i}{3}$$

Paso 4.-

$$D_1 \text{ on } \left[\begin{array}{l} I_{D_1} > 0 \Rightarrow I_{D_1} = I_1 = -\frac{V_i + V_o - V_R}{R} \\ V_o = -1,87 + \frac{V_i}{3} \end{array} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -\frac{V_i + V_o - V_R}{R} > 0 \Rightarrow -V_i + V_o - V_R > 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow -V_i - 1,87 + \frac{V_i}{3} - 0,7 > 0 \Rightarrow -\frac{3V_i + V_i}{3} > 2,57$$

$$\Rightarrow -\frac{2}{3} V_i > 2,57 \Rightarrow V_i < -3,85V \text{ Si}$$

$$D_2 \text{ on } \left[\begin{array}{l} I_{D_2} > 0 \Rightarrow I_{D_2} = I_2 = \frac{V_o + V_A - V_R}{R} > 0 \Rightarrow \\ V_o + V_A - V_R > 0 \Rightarrow -1,87 + \frac{V_i}{3} > -6,3 \end{array} \right]$$

$$\Rightarrow V_o + V_A - V_R > 0 \Rightarrow -1,87 + \frac{V_i}{3} > -6,3$$

$$V_i > -13,29V \text{ Si, pero dependiendo de } V_i$$

$$D_3 \text{ off } \left[\begin{array}{l} V_{D_3} < V_R \Rightarrow V_{D_3} = -(V_A + V_o) < V_R \\ -V_o < 7,7V \Rightarrow 1,87 - \frac{V_i}{3} < 7,7 \Rightarrow -V_i < 17,49V \\ V_i > -17,49V \text{ Si, pero dependiendo de } V_i \end{array} \right]$$

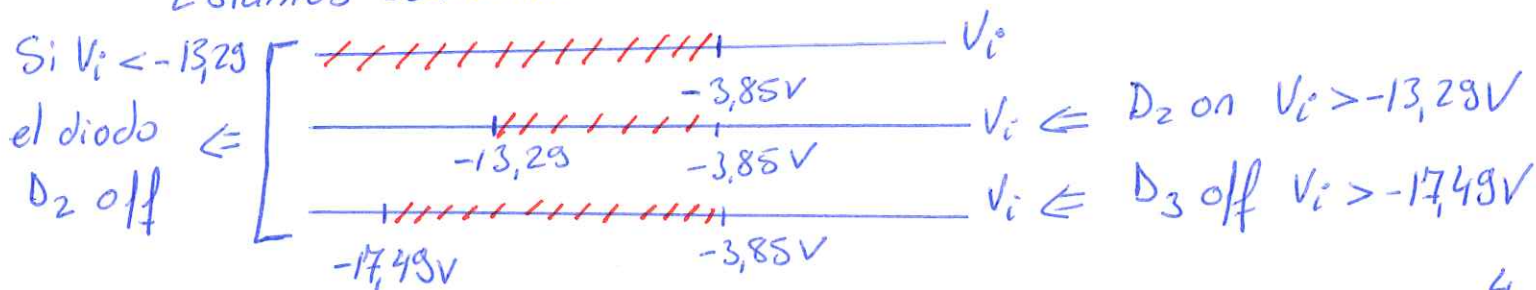
$$-V_o < 7,7V \Rightarrow 1,87 - \frac{V_i}{3} < 7,7 \Rightarrow -V_i < 17,49V$$

$$V_i > -17,49V \text{ Si, pero dependiendo de } V_i$$

$$D_4 \text{ off } \left[\begin{array}{l} V_{D_4} < V_R \Rightarrow V_{D_4} = V_o - V_A < V_R \Rightarrow V_o < V_R + V_A = 7,7V \\ -1,87 + \frac{V_i}{3} < 7,7V \Rightarrow V_i < 28,71V \text{ Si} \end{array} \right]$$

$$-1,87 + \frac{V_i}{3} < 7,7V \Rightarrow V_i < 28,71V \text{ Si}$$

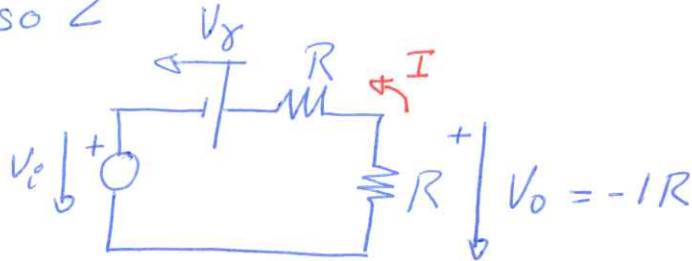
Estamos evaluando el circuito en el intervalo $V_i \leq -3,85V$



Tercer circuito para $V_i < -13,29V$

Paso 1 D_2 off, D_1 on, D_3, D_4 off

Paso 2



Paso 3 calculo $V_{D_2}, V_{D_3}, V_{D_4}, I_{D_1}$ y V_o

Calculo de V_o :

$$\left. \begin{array}{l} V_o = V_i + V_{D_1} + IR \\ V_o = -IR \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} V_i + V_{D_1} - V_o \frac{R}{R} = V_o \\ V_o = \frac{V_i + V_{D_1}}{2} \end{array}$$

Calculo de I_D y V_D

$$D_1 \Rightarrow I_{D_1} = I = \frac{V_o - V_i - V_{D_1}}{R}$$

$$D_2 \Rightarrow V_{D_2} = V_A + V_o = V_A + \frac{V_i + V_{D_1}}{2}$$

$$D_3 \Rightarrow V_{D_3} = -(V_A + V_o) = -V_A - \frac{V_i + V_{D_1}}{2}$$

$$D_4 \Rightarrow V_{D_4} = V_o - V_A = \frac{V_i + V_{D_1}}{2} - V_A$$

Paso 4

$$D_1 \text{ on } \text{¿} I_{D_1} > 0? \Rightarrow \frac{V_o - V_i - V_{D_1}}{R} > 0 \Rightarrow V_o - V_i - V_{D_1} > 0$$

$$\frac{V_i + V_{D_1}}{2} - V_i - V_{D_1} > 0 \Rightarrow -\frac{V_i}{2} - \frac{V_{D_1}}{2} > 0$$

$$-V_i > \frac{V_{D_1} \cdot 2}{2} \Rightarrow V_i < -V_{D_1} \text{ Si}$$

$$D_2 \text{ off} \quad i - V_2 < V_{D_2} < V_8?$$

$$a) \quad - \quad V_A + \frac{V_i + V_8}{2} < V_8$$

$$\frac{V_i}{2} + \frac{V_8}{2} < V_8 - V_A$$

$$V_i < 2(V_8 - V_A) - V_8 = 11,9 \text{ V} \quad \text{Si}$$

$$b) \quad -V_2 < V_A + \frac{V_i + V_8}{2}$$

$$-2(V_2 + V_A) - V_8 < V_i \Rightarrow V_i > -21,3 \text{ V} \quad \text{Si, pero depende del valor de } V_i \text{ en el intervalo estudiado}$$

$$D_3 \text{ off} \quad i \quad V_{D_3} < V_8?$$

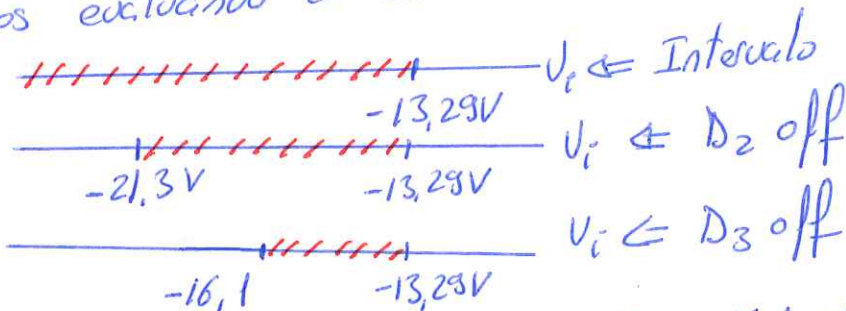
$$V_{D_3} = -V_A - \frac{V_i + V_8}{2} < V_8 \Rightarrow -V_i < 2(V_8 + V_A) + V_8 = 16,1$$

$$V_i > -16,1 \quad \text{Si, pero depende del valor de } V_i \text{ en el intervalo estudiado}$$

$$D_4 \text{ off} \quad i \quad V_{D_4} < V_8? \Rightarrow V_{D_4} = \frac{V_i + V_8}{2} - V_A < V_8$$

$$V_i < 2(V_8 + V_A) - V_8 = 14,7 \text{ V} \quad \text{Si, en todo el intervalo de } V_i \text{ estudiado.}$$

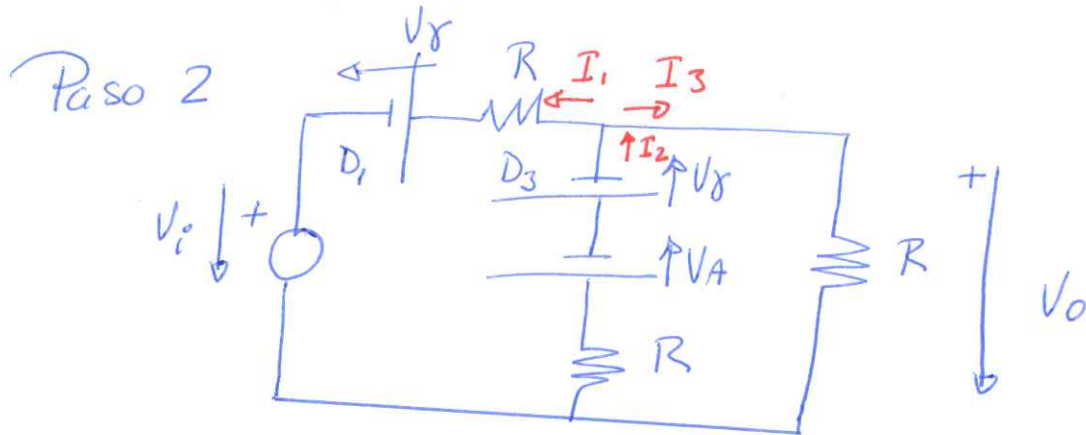
Estamos evaluando el circuito en el intervalo $V_i < -13,29 \text{ V}$



Dentro del intervalo estudiado, si $V_i \leq -16,1$ el diodo 3 entraría en conducción $\Rightarrow$ Nuevo circuito con D_3 on

Cuarto circuito. para $V_e \leq -16,1 \text{ V}$

Paso 1. D_3 on, D_1 on, D_2, D_4 off



Paso 3. Cálculo $I_{D1}, I_{D3}, V_{D2}, V_{D4}$ y V_o

Cálculo de V_o :

$$I_2 = I_1 + I_3$$

$$I_1: V_i + V_x + I_1 R = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{V_o - V_i - V_x}{R}$$

$$I_2: V_o + V_x + V_A + I_2 R = 0 \Rightarrow I_2 = -\frac{V_o + V_A + V_x}{R}$$

$$I_3: V_o = I_3 R \Rightarrow I_3 = \frac{V_o}{R}$$

$$-V_o - V_A - V_x = V_o - V_i - V_x + V_o$$

$$V_o = -\frac{-V_i - V_x + V_A + V_x}{3} = \frac{V_i - V_A}{3} = \frac{V_i}{3} - \frac{7}{3}$$

Cálculo de I_D y V_D

$$D_1 \text{ on} \Rightarrow I_{D1} = \frac{V_o - V_i - V_x}{R}$$

$$D_2 \text{ off} \Rightarrow V_{D2} = V_A + V_o = V_A + \frac{V_i}{3} - \frac{7}{3}$$

$$D_3 \text{ on} \Rightarrow I_{D_3} = I_2 = - \frac{V_0 + V_A + V_X}{R}$$

$$D_4 \text{ off} \Rightarrow V_{D_4} = V_0 - V_A = \frac{V_i}{3} - \frac{7}{3} - V_A$$

Paso 4.

$$D_1 \text{ on} \quad \text{¿} I_{D_1} > 0? \Rightarrow \frac{V_0 - V_i - V_X}{R} > 0 \Rightarrow V_0 - V_i - V_X > 0$$

$$\frac{V_i}{3} - \frac{7}{3} - V_i - V_X > 0 \Rightarrow -\frac{2}{3} V_i > \frac{7}{3} + V_X = 3,03 \text{ V}$$

$$-V_i > 4,55 \text{ V} \Rightarrow V_i < -4,55 \text{ V Si}$$

$$D_2 \text{ off} \quad \text{¿} V_{D_2} < V_X? \Rightarrow V_A + \frac{V_i}{3} - \frac{7}{3} < V_X$$

$$\Rightarrow V_i < (V_X - V_A + \frac{7}{3}) \cdot 3 = -11,9 \text{ Si}$$

$$D_3 \text{ on} \quad \text{¿} I_{D_3} > 0? \Rightarrow - \frac{V_0 + V_A + V_X}{R} > 0 \Rightarrow -V_0 - V_A - V_X > 0$$

$$-\frac{V_i}{3} + \frac{7}{3} > V_A + V_X \Rightarrow -V_i > (V_A + V_X - \frac{7}{3}) \cdot 3 = 16,1 \text{ V}$$

$$V_i < -16,1 \text{ V Si}$$

$$D_4 \text{ off} \quad \text{¿} V_{D_4} < V_X? \Rightarrow V_0 - V_A < V_X \Rightarrow \frac{V_i}{3} - \frac{7}{3} - V_A < V_X$$

$$\Rightarrow V_i < (V_X + V_A + \frac{7}{3}) \cdot 3 = 30,1 \text{ V Si}$$

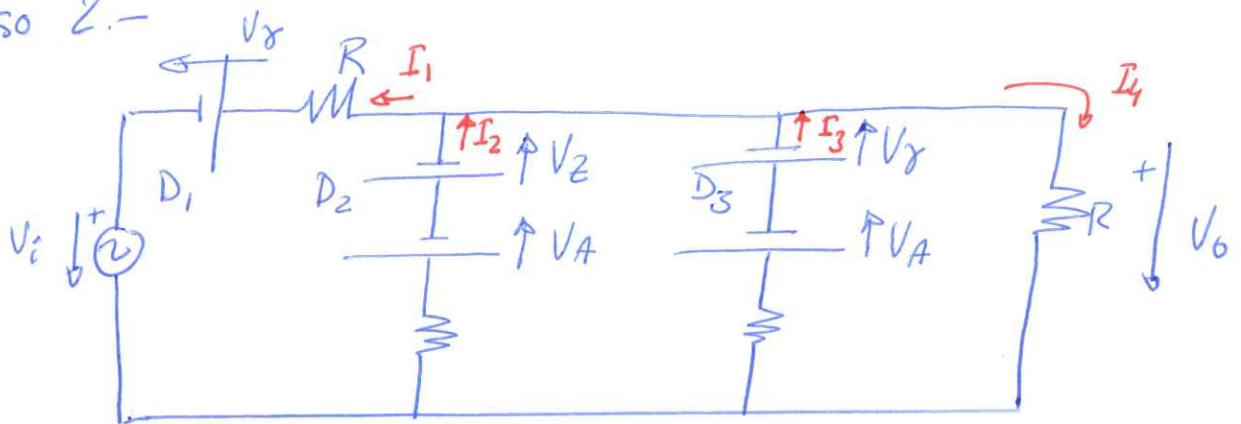
$$D_2 \text{ off} \quad \text{¿} V_{D_2} > -V_Z? \quad V_A + \frac{V_i}{3} - \frac{7}{3} > -V_Z \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_i > (-V_Z - V_A + \frac{7}{3}) \cdot 3 = -23,8 \text{ V Si, pero dentro del intervalo estudiado si } V_i \leq -23,8 \text{ V en diodo entra en ruptura.}$$

Quinto circuito para $V_i \leq -23,9 \text{ V}$

Paso 1.- D_2 ruptura, D_3, D_1 on, D_4 off

Paso 2.-



Paso 3.- Cálculo $I_{D_1}, I_{D_2}, I_{D_3}, V_{D_4}$ y V_o

Cálculo de V_o

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3$$

$$I_1: I_1 R + V_i + V_x = V_o \Rightarrow I_1 = \frac{V_o - V_i - V_x}{R}$$

$$I_2: V_A + V_z + V_o + I_2 R = 0 \Rightarrow I_2 = -\frac{V_o + V_A + V_z}{R}$$

$$I_3: V_A + V_y + V_o + I_3 R = 0 \Rightarrow I_3 = -\frac{V_o + V_A + V_y}{R}$$

$$I_4: V_o = I_4 R \Rightarrow I_4 = \frac{V_o}{R}$$

$$V_o - V_i - V_x + V_o = - (V_o + V_A + V_A + V_o + V_y + V_z)$$

$$V_o = \frac{V_i + V_x - V_A - V_A - V_y - V_z}{4} = \frac{V_i - 2V_A - V_z}{4}$$

$$V_o = \frac{V_i}{4} - 4,325$$

Cálculo de I_D y V_D

$$D_1 \text{ on} \Rightarrow I_{D_1} = I_1$$

$$D_2 \text{ on} \Rightarrow I_{D_2} = I_2$$

$$D_3 \text{ on} \Rightarrow I_{D_3} = I_3$$

$$D_4 \text{ off} \Rightarrow V_{D_4} = V_0 - V_A =$$

$$= \frac{V_i}{4} - 4,325 - 7 =$$

$$= \frac{V_i}{4} - 11,325$$

Paso 4.-

$$D_1 \text{ on } \hat{I}_{D_1} > 0? \Rightarrow \frac{V_0 - V_i - V_x}{R} > 0 \Rightarrow V_i < V_0 - V_x$$

$$\Rightarrow V_i < \frac{V_i}{4} - 4,325 - 0,7 \Rightarrow V_i < \frac{4}{3}(-5,025) = -6,7 \text{ V Si}$$

$$D_3 \text{ on } \hat{I}_{D_3} > 0? \Rightarrow -\frac{V_0 + V_A + V_x}{R} > 0 \Rightarrow -V_0 > V_A + V_x = 7,7 \text{ V}$$

$$-\frac{V_i}{4} + 4,325 > 7,7 \text{ V} \Rightarrow -V_i > (7,7 - 4,325) \cdot 4 = 13,5$$

$$V_i < -13,5 \text{ V Si}$$

$$D_2 \text{ on } \hat{I}_{D_2} > 0? \Rightarrow -\frac{V_0 + V_A + V_z}{R} > 0 \Rightarrow -V_0 > V_A + V_z = 10,3 \text{ V}$$

$$-\frac{V_i}{4} + 4,325 > 10,3 \text{ V} \Rightarrow -V_i > (10,3 - 4,325) \cdot 4 = 23,9 \text{ V}$$

$$V_i < -23,9 \text{ V Si}$$

$$D_4 \text{ off } \hat{V}_{D_4} < V_x? \Rightarrow \frac{V_i}{4} - 11,325 < 0,7 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_i < (0,7 + 11,325) \cdot 4 = 48,1 \text{ Si}$$

En ningún caso la exposición realizada depende del valor de V_i

Solución :

$$V_o = \begin{cases} V_o = -3,15V & \text{si } V_i > -3,85V \\ V_o = -1,87 + \frac{V_i}{3} & \text{si } -13,29V \leq V_i \leq -3,85V \\ V_o = 0,35 + \frac{V_i}{2} & \text{si } -16,1V < V_i < -13,29V \\ V_o = \frac{V_i}{3} - \frac{7}{3} & \text{si } -23,9V < V_i \leq -16,1V \\ V_o = \frac{V_i}{4} - 4,325 & \text{si } V_i \leq -23,9V \end{cases}$$