

7-11-18 Diodos

$$I = I_s (e^{\frac{qV}{nKT}} - 1)$$

$$\begin{aligned} I_s &= 10^{-12} \text{ A} \\ K &= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \\ q &= 1.6 \cdot 10^{-19} \\ T &= 300 \text{ K} \end{aligned}$$

1\*

Despejamos la formula inicial para obtener el voltaje del diodo

$$\begin{aligned} \frac{I}{I_s} + 1 &= e^{\frac{qV}{KT}} \\ \ln\left(\frac{I}{I_s} + 1\right) &= \frac{qV}{KT} \rightarrow V = \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I}{I_s} + 1\right) \end{aligned}$$

Mallas

$$\begin{aligned} 1 &= V_d + I \cdot 1000 \\ 1 &= \frac{KT}{q} \ln\left(\frac{I}{I_s} + 1\right) + I \cdot 1000 \end{aligned}$$

Resolver diodos:

$$\begin{array}{llll} I_d = 0 & \text{Si } V_d < 0.6 \text{ V} & \begin{array}{c} I > 0 \\ \text{-----} > \\ v1 \text{---} \text{---} \text{---} v2 \end{array} & V_d = v1 - v2 \\ I_d \text{ cualquier valor positivo} & \text{Si} & \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \end{array} & V_d = 0.6 \text{ V} \end{array}$$

circuito abierto \_ \_ si  $V_d < 0.6 \text{ V}$

$$I_d \text{ cualquier valor positivo Si } \begin{array}{c} 0.6 \text{ V} \\ | \\ \text{---} \text{---} \text{---} \end{array} \text{ ó } \begin{array}{c} \text{---} \text{---} \end{array}$$

Pasos:

1. Supongo el estado del diodo: On o Off
2. Sustituyo el diodo por una pila de 0.6 v (ojo a la posición) o por un circuito abierto
3. Resuelvo el circuito

4. Si he sustituido por una pila compruebo que la corriente sea positiva. Si he sustituido por un circuito abierto compruebo que  $V_d < 0.6 \text{ V}$

Ejemplo:

suponemos que el diodo de 1\* conduce

1. D ON
2. \*2
3.  $1 - 0.6 = I \cdot 1 \rightarrow I = 0.4 \text{ mA}$
4. Ok

Repetimos el ejercicio suponiendo que el diodo de 1\* no conduce

1. D OFF
2. 3\*
3.  $I = 0$
4.  $V_A = V_B + 1 \quad V_d = 1 \quad \text{No}$

\*4

1. D1 ON      D2 OFF
2. \*5  $\rightarrow$  El diodo 1 conduce pero no hay corriente (el circuito está abierto), por lo que algo falla en la suposición inicial

\*6

1. D1 ON y D2 ON
2. \*7
3.  $5 - 0.6 = 2 R I_1 - R I_2 \quad (1)$   
 $0.6 + 0.6 = - R I_1 + 2 R I_2 \quad (2)$   
 $(1) + (2) \cdot 2$   
 $4.4 + 2.4 = - R I_2 + 4 R I_2$   
 $6.8 = 3 R I_2 \rightarrow I_2 = \frac{6.8}{3} R$

sustituimos en (1)

$$4.4 = 2 R I_1 - R \frac{6.8}{3} R \rightarrow 2 R I_1 = \frac{6.8}{3} + 4.4 = 6.666$$

$$I_1 = \frac{3.3}{R}$$

4. El diodo 2 está mal porque ssale positivo ya que hemos dibujado  $I_2$  en el sentido contrario al diodo, por lo que debería salir una  $I_2$  negativo

Volvemos a empezar

1. D1 ON y D2 OFF
2. \*8
3.  $5 - 0.6 = 2 R I \rightarrow I = \frac{4.4}{2 R}$  como  $I > 0$  la suposición de D1 es correcta

Comprobamos D2

1.  $V_d = 0 - 2.8 = -2.8 < 0.6$  entonces la suposición de D2 es correcta

#### Característica de transferencia

- Gráfica continua
- Tramos rectos
- Siempre hay un  $V_o$  para  $V_i$

\*9

Supongo que D1 ON

\*10

$$V_i - 0.6 = I \cdot 1 \rightarrow I = \frac{V_i - 0.6}{1} > 0 ; V_i > 0$$

Tengo que ver para que valores de  $V_i$  cuadra mi suposición

\*11

$$V_o = 0.6V \text{ si } V_i > 0.6V$$

Supongo que el diodo está cortado

\*12

$$V_o = V_i \\ V_i - 0 < 0.6$$

21-11-18

1\*

3 regiones de funcionamiento

1. Corte  $I_D = 0$  si  $V_{GS} < V_T$   $V_{GS} = V_G - V_S$
2. Lineal/Óhmica/triodo  $I_D = \frac{K}{2} 2[(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$  si  $V_{GS} > V_T$   $V_{DS} < V_{GS} - V_T$

$$3. \text{ Saturación } I_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \text{ si } V_{GS} > V_T \text{ si } V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

Ejercicio transistor

\*2

- Supongo la región de funcionamiento
- Dato:  $I_D$  y sustituimos datos
- Resolvemos
- Comprobamos, ver  $V_D, V_G, V_S$

$$V_S = 0V$$

$$V_G = 1V$$

$$V_D = ?$$

$$V_G - V_S > V_T$$

$$1 - 0 > 1,5$$

No cumple dicha condición, así que descartamos los estados que la incluyen: Lineal y saturación  
El mosfet está en corte

3\* cambiamos la fuente de 1V por una de 2V

$$V_S = 0V$$

$$V_G = 2V$$

$$V_D = ?$$

Ahora cumple  $V_G - V_S > V_T$  por lo que puede ser lineal o saturación.

Empezamos comprobando saturación

$$I_D = \frac{2mA/V^2}{2} (V_G - V_S - V_T) = 0,25mA$$

$$V_D = 4,75$$

$$V_{GS} > V_T \rightarrow 2 > 1,5 \text{ Ok}$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T \rightarrow V_D - V_S > 2 - 1,5 \text{ Ok} \\ 4,75 - 0$$

Está en saturación

Lineal

$$V_G = 2V$$

$$V_S = 0$$

$$I_D = \frac{K}{2} 2[(V_G - V_S - V_T)(V_D - V_S) - (V_D - V_S)^2] = V_D - V_D^2$$

$$2 \quad 0 \quad 1,5$$

$$V_D = 5 - I_{D1} \rightarrow V_D = 5 - (V_D - V_D^2) \rightarrow V_D^2 - 2V_D + 5 = 0$$

$$V_D = \frac{2 \pm \sqrt{4 - 4 \cdot 5}}{2}$$

\*4

$$V_T = 1V$$

$$I = 1mA$$

$$V = 4V$$

Saturación

$$I_D = \frac{2mA/V^2}{2} (4 - 0 - 1) = 9mA$$

Como  $9mA \neq 1mA$ , no está en saturación

Lineal

$$I_D = \frac{K}{2} 2[(V_G - V_S - V_T)(V_D - V_S) - (V_D - V_S)^2]$$

$$1 \quad 4 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0$$

Despejamos  $V_D$

$$V_D = \frac{6 \pm \sqrt{36 - 4}}{2} \quad V_D = \frac{6 + 5,65}{2} = 5,825V$$

$$V_D = \frac{6 - 5,65}{2} = 0,175V$$

$$V_D - V_S > V_G - V_S - V_T$$

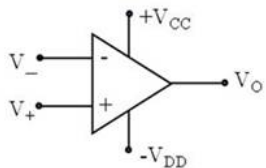
$$0 \quad 4 \quad 0 \quad 1$$

$V_D$  no puede valer 5,825V

28-11-18 Amplificador operacional

Amplificador operacional:

+15v



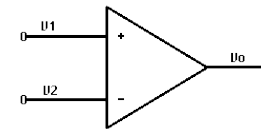
-15v

$$V_0 = A_v (v^+ - v^-)$$

$$A_v \approx 10^5 \rightarrow \infty$$

$$I^+ = I^- = 0$$

Comparador



$$V1 = 1,01V$$

$$V2 = 1$$

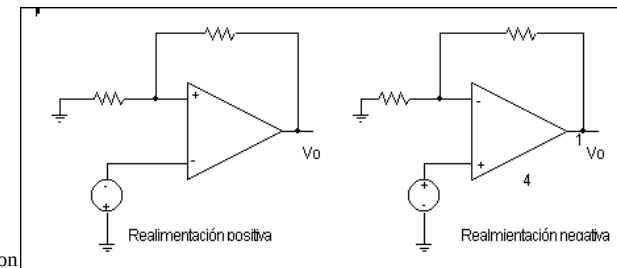
$$V0 = 15V$$

$$V1 = 1V$$

$$V2 = 1,01V$$

$$V0 = -15$$

Amplificador operacional con realimentación



Realimentación positiva

En realimentación positiva la salida vale 0 +15 o -15

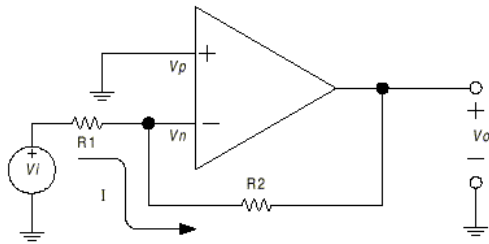
$$V^+ > V^- \rightarrow v_0 \text{ sube} \rightarrow v^+ \text{ sube} \rightarrow v_0 \text{ sube}$$

$$V^+ < V^- \rightarrow v_0 \text{ baja} \rightarrow v^+ \text{ baja} \rightarrow v_0 \text{ baja}$$

Realimentación negativa:

$V^+ = V^-$   
 $v^- \text{ baja} \rightarrow v_o \text{ sube} \rightarrow v^- \text{ sube}$

Se mantiene estable en  $v^+ = v^-$



$V_i = 3\text{V}$   
 $R_1 = 1\text{k}\Omega$   
 $R_2 = 2\text{k}\Omega$

Realimentación negativa

$V^+ = V^-$

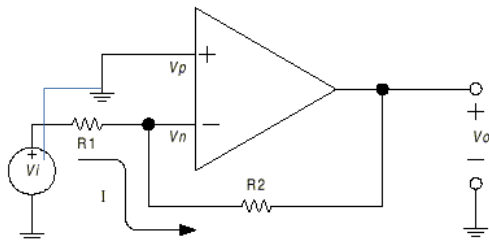
$$V = I \cdot R$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$\frac{3 - 0}{1} = \frac{0 - V_o}{2}$$

$$V_o = -6$$

$$\frac{V_i - 0}{R_1} = \frac{0 - V_o}{R_2}$$



$$V_o = \frac{-R_2}{R_1} V_i$$

Realimentación negativa

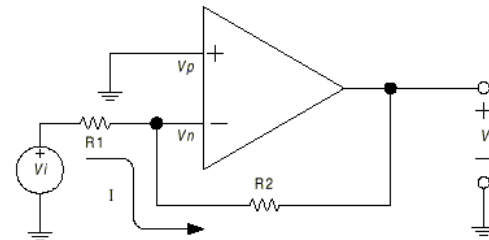
$V^+ = V^-$

$$\frac{(0 - v_i)}{R_1} = \frac{(V_o - V_o)}{R_2}$$

$$\frac{-R_2}{R_1} V_i = V_o - V_o$$

$$V_o = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \text{ modo no inversor}$$

Circuito derivador



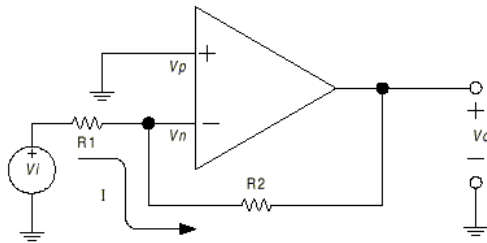
Condensador en lugar de R1

Con derivadas

$$i = C \frac{dv_i}{dt} = \frac{0 - V_o}{R} \rightarrow V_o = -RC \frac{dv_i}{dt}$$

Con fasores

$$\frac{V_i - 0}{\frac{1}{1j\omega C}} = \frac{0 - V_o}{R} \rightarrow V_o = j\omega RC v_i$$



Condensador en lugar de R2

$$V^+ = V^-$$

$$\frac{V_i - 0}{R} = \frac{0 - V_o}{\frac{1}{1j\omega C}} \rightarrow V_o = j\omega RC v_i$$

$$V_o = \frac{-1}{j\omega RC} V_i$$

$$V_o = \frac{-1}{RC} \int V_i dt$$

5-12-18

Realimentación positiva

\*1

$$V_o = A_v (v^+ - v^-)$$

$$\text{Si } v^+ > v^- \rightarrow v_o = 15v$$

$$\text{Si } v^+ < v^- \rightarrow v_o = -15v$$

$$V_i \text{ muy alto} \rightarrow V_o = +15V$$

$$\frac{V_i - V^+}{1} = \frac{V^+ - 15}{5} \rightarrow V_i - V^+ = \frac{V^+}{5} - 3$$

$$V_i + 3 = \frac{V^+}{5} + V^+ \rightarrow V_i + 3 = \frac{6}{5} V^+$$

$$V^+ = \frac{5}{6} (V_i + 3)$$

$$V^- = 0$$

$$\frac{5}{6} (V_i + 3) > 0$$

$$V_i > -3V$$

$$V_i \text{ muy bajo} \rightarrow V_o = -15V$$

$$\frac{V_i - V^+}{1} = \frac{V^+ + 15}{5} \rightarrow V_i - V^+ = \frac{V^+}{5} + 3$$

$$V_i - 3 = V^+ \left(\frac{6}{5}\right)$$

$$V^+ = \frac{5}{6} (V_i - 3)$$

$$V^+ < 0$$

$$\frac{5}{6} (V_i - 3) < 0 \rightarrow V_i < 3$$

\*2

Puertas lógicas

\*3

$$V_{GS} = V_G - V_S > V_{th} \rightarrow \text{interruptor cerrado} \rightarrow V_{th} = 1v$$

$$V_{GS} < V_{th} \rightarrow \text{interruptor abierto}$$

\*4

\*5

\*6

\*7

\*8

PMOS

+ → suma → s → serie

· → producto → p → paralelo

\*9

12-12-18 Ejercicio mosfet

Ejercicio mosfet 2\*

Corte

$$\begin{aligned} I_D &= 0 & V_G &= 0 & V_D &= 5 & V_S &= -10 \text{ V} \\ V_{GS} &< V_T \\ V_G - V_S &< 2 & \rightarrow & \text{no está en corte} \end{aligned}$$

Saturación

$$\begin{aligned} I_D &= \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \\ V_G - V_S &= I_D \cdot 10 \rightarrow V_S + 10 = 0,5(-V_S - 2)^2 \rightarrow V_S + 10 = 0,5[(-V_S)^2 + (-2)^2 + 2 \cdot (-2)(-V_S)] \\ \rightarrow V_S + 10 &= 0,5[V_S^2 + 4 + 4V_S] \\ V_S + 10 &= 0,5V_S^2 + 2 + 2V_S \\ 0,5V_S^2 + V_S - 8 &= 0 \end{aligned}$$

$$V_S = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4 \cdot 0,5 \cdot (-8)}}{1}$$

$$V_S = 3,12 \text{ V} \quad V_S = -5,12$$

$$5 - V_D = I_D \cdot 2,2$$

$$\begin{aligned} V_{GS} &> V_T \\ V_{DS} &> V_{GS} - V_T \end{aligned}$$

$$I_D = \frac{0,1}{2} (-(-5,12) - 2)^2 = 0,49 \text{ mA}$$

$$V_D = 5 - 2,2 \cdot 0,49$$

$$V_D = 3,92 \text{ V}$$

$$V_{DS} > V_{GS} - V_T \rightarrow V_D - V_S > V_G - V_S - V_T \rightarrow \text{Ok}$$

3,92 -5,12 0 -5,12 2

El mosfet está en saturación

Calcular el limite para que un mosfet esté en el limite entre lineal y saturacion

$$I_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \quad V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

$$I_D = \frac{K}{2} [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2] \rightarrow V_{DS} < V_{GS} - V_T$$

$$I_D = \frac{K}{2} [2(V_{GS} - V_T)(V_{GS} - V_T) - (V_{GS} - V_T)^2] = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

19-12-18 Ejercicios Amplificador operacional

\*1

Como hay realimentación negativa  $v^+ = v^-$

$$v^+ = 0 \rightarrow v^- = 0$$

$$R_1 + \frac{1}{j\omega C}$$

$$\frac{V_i - 0}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{0 - V_0}{R_2} \rightarrow \frac{-R_2}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{V_0}{V_i} = T \rightarrow \text{tengo que multiplicar arriba y abajo por } j\omega C$$

$$\text{para dejar numerador y denominador en forma binomial} \rightarrow \frac{-j\omega C R_2}{j\omega R_1 C + 1}$$

$$|T| = \frac{\omega C R_2}{\sqrt{1 + (\omega R_1 C)^2}}$$

$$\arg T = \frac{-\pi}{2} - \arctg\left(\frac{\omega R_1 C}{1}\right)$$

\*2

$$\text{a) } v^A = v^- \text{ y } v^B = v^+ \rightarrow \text{realim negativa}$$

$$\text{b) } v^A = v^+ \text{ y } v^B = v^- \rightarrow \text{realim positiva}$$

$$\text{a) } v^+ = v^-$$

$$\frac{3 - 1}{1} = \frac{1 - v_0}{3} \rightarrow 2 \cdot 3 = 1 - v_0 \rightarrow v_0 = 1 - 6 = -5 \text{ V}$$

$$\text{b) realim positiva}$$

\*3

$$v_- = +15 \text{ si } v^+ > v^-$$

$$-15 \text{ si } v^+ < v^-$$

de mas a menos

$$\frac{v_i - v^+}{1} = \frac{v^+ - 15}{3} \rightarrow v_i - v^+ = \frac{v^+}{3} = -5$$

$$v_i + 5 = v^+ \left(\frac{4}{3}\right); v^+ = \frac{3}{4}(v_i + 5) > 1$$

$$v_i + 5 > \frac{4}{3} \quad v_i > \frac{4}{3} - 5 = \frac{4 - 15}{3} = \frac{-11}{3}$$

de menos a mas

$$\frac{v_i - v^+}{1} = \frac{v^+ - (-15)}{3}$$

$$v_i - v^+ = \frac{v^+}{3} + \frac{15}{3}$$

$$v_i - \frac{15}{3} = \frac{4}{3} v^+$$

$$v^+ = \frac{3}{4}(v_i - 5) < 1 \rightarrow v_i - 5 < \frac{4}{3} \quad v_i < \frac{19}{3}$$

\*4

\*5

realimentación negativa  $\rightarrow v^+ = v^-$

$$\frac{0 - v^+}{1} = \frac{v^+ - v'}{5} \rightarrow -v' - 1/2 = \frac{v'}{5} + \frac{1}{10} - \frac{v'}{5} \rightarrow v' = \frac{-6}{10} = \frac{-3}{5} = -0,6$$

$$\frac{v^+ - v'}{5} = \frac{v' + 1 - v^-}{5} \rightarrow$$

$$\rightarrow v^+ - v^- = v' + 1 - v^+ \rightarrow 2v^+ = 2v' + 1; v^+ = v' + 1/2 \rightarrow v^+ = -0,1 \text{ V} \rightarrow v^- = 0,1 \text{ V}$$

$$\frac{v' + 1 - v^-}{5} = \frac{v^- - v_0}{1} \rightarrow \frac{-0,6 + 1 - (-0,1)}{5} = -0,1 - v_0 \quad v_0 = -0,2 \text{ V}$$

\*6

$$\frac{-0,6 - 0}{1} = \frac{0 - v'}{3} \rightarrow v' = 1,8 \text{ V}$$

$$\frac{0 - 1,8}{3} = -0,6 \text{ mA}$$

$$\frac{1,8 - 0}{2} = 0,9 \text{ mA}$$

aplicamos la primera ley de kirchoff en el nudo de v': lo que entra es igual a lo que sale

$$-0,6 = 0,9 + I$$

$$I = -1,5 \text{ mA}$$

del primer amplificador operacional salen 1,5mA

$$\frac{1,8 - 0}{2} + \frac{0,5 - 0}{1} = \frac{0 - v_0}{2}$$

$$1,4 = \frac{-v_0}{2} \quad ; \quad v_0 = -2,8$$