

CALCULAR V_0

J1: $V_p = 2V$, $I_{DSS} = 32 \text{ mA}$

M1: $V_T = 2V$, $K = 2 \text{ mA/V}^2$

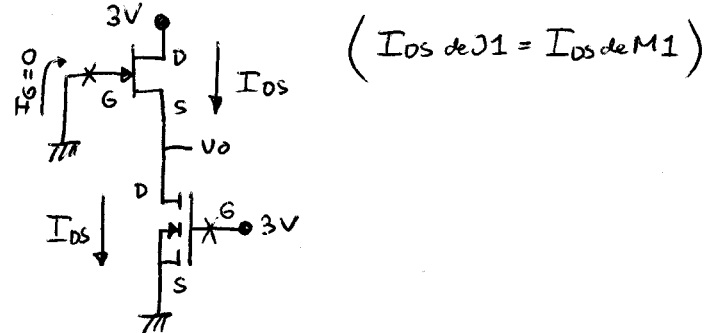
1 INSPECCION

- M1 VE EN $V_{GS} = (3V - \phi) = 3V > V_T = 2V \Rightarrow$ NO ESTA EN CORTE, SUPONDRE EN SATURACION
- J1 SUPONGO EN SATURACION

2 SUPOSICION

J1 SAT	M1 SAT
$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{-V_p}\right)^2$ ($I_G = 0$)	$I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$ ($I_G = 0$)
$(-1.5V) = V_{GS} \stackrel{?}{\leq} -V_p \xrightarrow{\text{si}} \text{CORTE}$ \downarrow NO	$(3V) = V_{GS} \stackrel{?}{\leq} V_T \xrightarrow{\text{si}} \text{CORTE}$ \downarrow NO
$(-3V) = (V_{GS} - V_{DS}) \stackrel{?}{\leq} -V_p \xrightarrow{\text{si}} \text{SAT}$ \downarrow NO LINEAL	$(1.5V) = (V_{GS} - V_{DS}) \stackrel{?}{\leq} V_T \xrightarrow{\text{si}} \text{SAT}$ \downarrow NO LINEAL

3 APLICAR MODELO



— Si M1 en SAT $\Rightarrow I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$, como
 $V_{GS} = (V_G - V_S) = 3V \Rightarrow I_{DS} = 2 \text{ mA/V}^2 \cdot (3V - 2V)^2 = 2 \text{ mA}$

— SE I_{DS} de J1 = I_{DS} de M1 = 2 mA, como J1 LO HE SUPUESTO EN SATURACION \Rightarrow

$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{-V_p}\right)^2 = 2 \text{ mA} = 32 \text{ mA} \left(1 + \frac{V_{GS}}{2V}\right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{1}{16} = \left(1 + \frac{V_{GS}}{2}\right)^2 \Rightarrow \left(1 + \frac{V_{GS}}{2}\right) = \pm \frac{1}{4} \Rightarrow V_{GS} = \begin{cases} -5/2 \\ -3/2 \end{cases}$$

$\triangleright V_{GS} = -5/2 = -2.5V$ PARECE UNA SOLUCION CREIBLE, YA QUE SI $V_G = \phi V$ (ESTAMOS EN J1) $\Rightarrow V_0 = V_S = +2.5V$. LO DEFINITIVO ES PENSAR QUE $V_{GS} = -2.5V \leq -V_p = -2V \Rightarrow$ J1 EN CORTE, QUE CONTRADICE LA HIPOTESIS INICIAL DE J1 en SAT.

\triangleright POR TANTO $V_{GS} = -3/2 = -1.5V$.

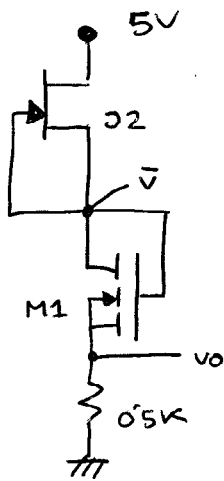
si V_G (de J1) = $\phi V \Rightarrow V_S$ de J1 = $V_0 = 1.5V$
 $\vee V_{GS} = (V_G - V_S)$

— ASI $V_0 = 1.5V \Rightarrow V_{DS}$ de M1 = $(V_0 - \phi) = 1.5V$

$\Rightarrow V_{DS}$ de J1 = $(3V - V_0) = 1.5V$

4 COMPROBACION

M1: $(V_{GS} - V_{DS}) = (3V - 1.5V) = 1.5V$
 J1: $(V_{GS} - V_{DS}) = (-1.5 - 1.5) = -3V$



CALCULAR V_0

$$M1: K = 2 \text{ mA/V}^2, V_T = 1 \text{ V}$$

$$J2: I_{DSS} = 2 \text{ mA}, V_p = 1 \text{ V}$$

1 INSPECCION

— J2 NO ESTÁ EN CORTE, ya que $V_{GS2} = V_G - V_S = \phi \text{ V}$
 $\Rightarrow V_{GS} = 0 \text{ V} > -V_p = -1 \text{ V}$. LO SUPONDRE EN SATURACION

— M1 TIENE $(V_{GS} - V_{DS}) = (V_G - V_S) - (V_D - V_S) = (V_G - V_D) = \phi \text{ V}$

NO SE CUANTO VALE \bar{V} , ni $V_0 \Rightarrow$ NO SE $V_{GS1} = (\bar{V} - V_0)$

PERO SI ES $> V_T = 1 \text{ V}$ ESTARÁ EN SATURACION, NO EN ZONA LINEAL $[(V_{GS} - V_{DS}) = 0 \text{ V} < V_T = 1 \text{ V}]$. SUPONGO EN SATURACION

2 SUPOSICION

J2 SAT

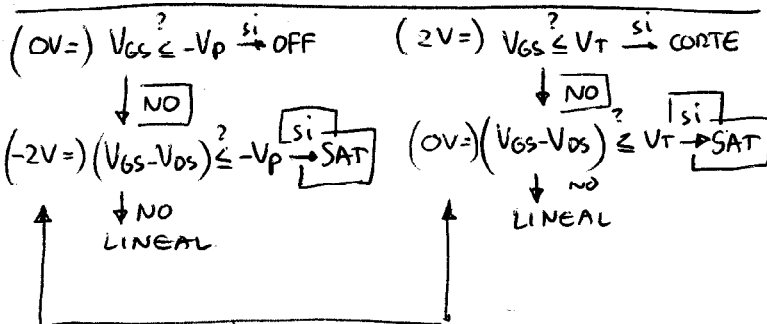
M1 SAT

$$I_{D2} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS2}}{-V_p} \right)^2$$

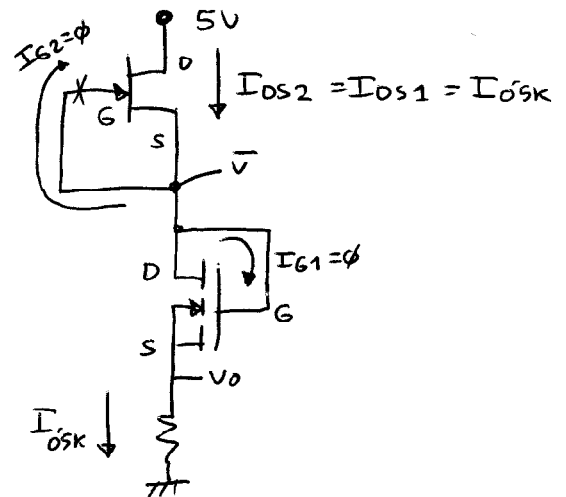
$(I_{G2} = 0)$

$$I_{D1} = K (V_{GS1} - V_T)^2$$

$(I_{G1} = \phi)$



3 APLICAR MODELO



— J2:

$$V_{GS2} = \phi \text{ V} \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow I_{D2} = I_{DSS} \left(1 - \frac{\phi}{-1 \text{ V}} \right)^2 = 2 \text{ mA} = I_{D1} \\ \text{J2 en SAT} \end{array} \right.$$

— M1:

$$I_{D1} = 2 \text{ mA} = K (V_{GS1} - V_T)^2 \Rightarrow (V_{GS1} - 1) = \pm 1 \Rightarrow V_{GS1} = \left. \begin{array}{l} +2 \text{ V} \\ +0 \text{ V} \end{array} \right\}$$

$\triangleright V_{GS1} = \phi \text{ V}$ NO ES SOLUCION, ya que $V_{GS1} = 0 \text{ V} < V_T = 1 \text{ V} \Rightarrow$
M1 en CORTE, LO QUE CONTRADICE LA HIPOTESIS INICIAL de M1 en SAT.

$$\Rightarrow V_{GS1} = 2 \text{ V}$$

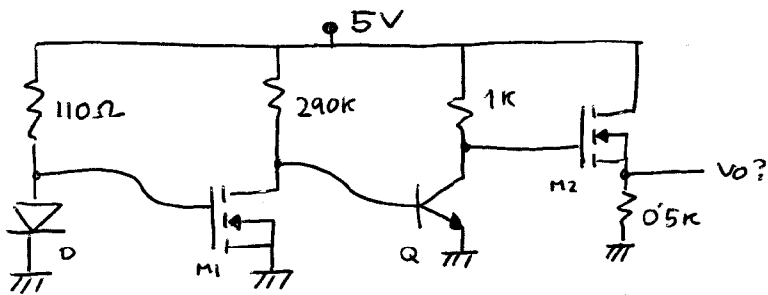
$$\text{— } 0.5 \text{ k: } I_{0.5 \text{ k}} = I_{D1} = I_{D2} = 2 \text{ mA} = \frac{V_0 - \phi}{0.5 \text{ k}} \Rightarrow V_0 = 1 \text{ V}$$

$$\text{— COMO } V_0 = V_S \text{ de M1 } \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow V_{GS1} = 2 \text{ V} = (V_G - V_S) = (\bar{V} - V_0) \Rightarrow \bar{V} = 3 \text{ V} \\ \text{y } V_{GS1} = 2 \text{ V} \end{array} \right.$$

$$\text{— } V_{DS1} = (V_D - V_S) = (\bar{V} - V_0) = (3 - 1) = 2 \text{ V} \quad (V_{GS1} - V_{DS1}) = (2 \text{ V} - 2 \text{ V}) = 0 \text{ V}$$

$$\text{— } V_{DS2} = (V_D - V_S) = (5 \text{ V} - \bar{V}) = (5 - 3) = 2 \text{ V} \quad (V_{GS2} - V_{DS2}) = (0 - 2 \text{ V}) = -2 \text{ V}$$

4 COMPROBACION



CALCULAR V_O

$$V_D = 0.6V$$

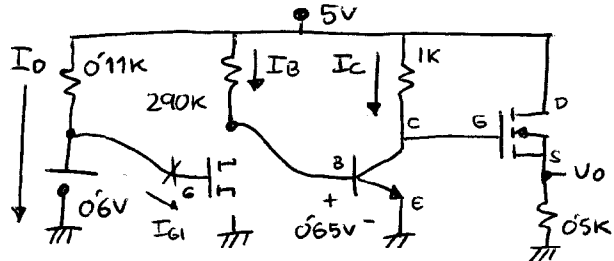
$$V_T = 1V, K = 4mA/V^2$$

$$V_{BE} = 0.65V, \beta = 200$$

1 INSPECCION

- COMO $I_{G1} = \emptyset \Rightarrow$ LA CORRIENTE QUE BAJA POR 110Ω , PONE AL DIODO EN ON (MAY $5V \gg V_D = 0.6V$)
- SI EL DIODO ESTÁ EN ON \Rightarrow EQUIVALE A UNA BATERIA DE $0.6V \Rightarrow V_{GS1} = 0.6V$ QUE ES MENOR QUE $V_T \Rightarrow M1$ EN CORTE
- EL TRANSISTOR BIPOLAR "VE" $5V$ EN LA UNIÓN BE, SEPARADOS POR RESISTENCIA MUY ALTA ($290K$) \Rightarrow BJT QUIZAS EN ZAD
- $M2$ LO SUPONDRE EN SATURACION

3 APLICAR MODELO



$$I_{G1} = 0 \Rightarrow I_{0.11K} = I_D = \frac{5 - 0.6V}{0.11K} = 40mA$$

$$I_{DS1} = \emptyset \Rightarrow I_{290K} = I_B$$

— EC de RAMA:

(de 5V a 0V, PASANDO POR $290K$ y V_{BE})

$$(5 - 0) = I_B \cdot 290K + V_{BE} \rightarrow I_B = 0.015mA$$

$$I_C = \beta I_B = 3mA$$

$$I_G = \emptyset \Rightarrow I_{1K} = I_C = 3mA$$

— EC de RAMA:

(de 5V a 0V, PASANDO POR $1K$ y V_{CE})

$$(5 - 0) = I_C \cdot 1K + V_{CE} \rightarrow V_{CE} = 2V$$

— PERO $V_{CE} = 2V = V_G$ (de $M2$) y como $M2$ en SAT:

$$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2 = 4([2 - V_O] - 1)^2$$

TAMBIEN

$$I_{DS} = I_{0.5K} = \frac{V_O - 0}{0.5K} \rightarrow 2V_O^2 - 5V_O + 2V = 0$$

$$V_O = \begin{cases} 2/4 = 2V \\ 2/4 = 0.5V \end{cases}$$

$V_O = 0.5V$ ES LA SOLUCION, YA QUE

$V_O = 2V$ ES IMPOSIBLE, PUES $V_{GS} = (2V - 2V) = 0V < V_T = 1V$, LO

QUE PONDRÍA A $M2$ EN CORTE, Y NO EN SATURACION (HIPÓTESIS INICIAL)

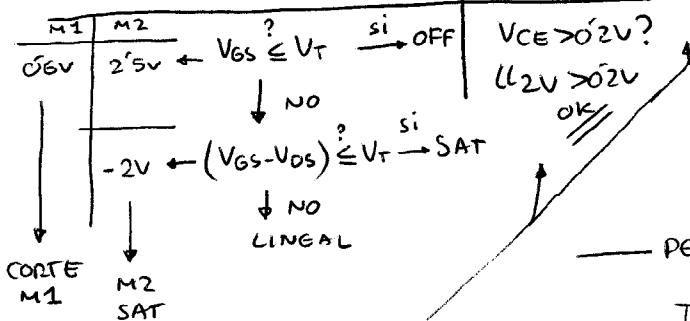
$$V_{DS} = (V_D - V_S) = (5V - V_O) = 4.5V$$

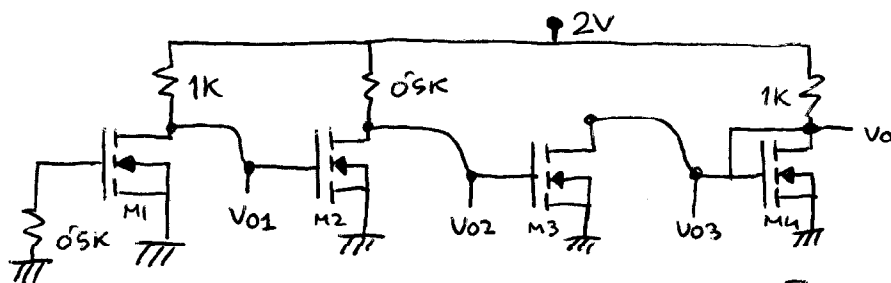
$$V_{GS} = (V_G - V_S) = (3V - V_O) = 2.5V$$

$$\begin{pmatrix} V_{GS} = V_{GS} \text{ de } M2 \\ V_{DS} = V_{DS} \text{ de } M2 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow (V_{GS} - V_{DS} = -2V)$$

4 COMPROBACION



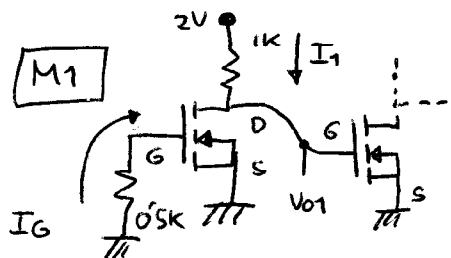


CALCULAR

$V_{01}, V_{02}, V_{03}, V_0$

TODOS: $V_T = 1V, K = 1mA/V^2$

$$[K \text{ en } mA/V^2 \Rightarrow I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2 \text{ (SAT)}]$$

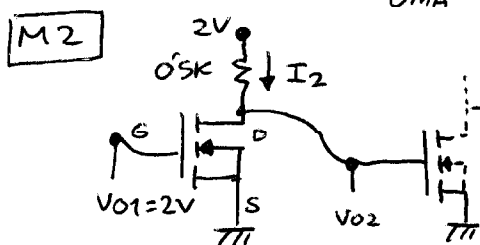


$$\triangleright V_{GS} = (\phi - \phi) = \phi V \text{ (YA QUE } I_G = 0 \Rightarrow V_G = \phi V)$$

COMO $V_{GS} = 0V$, Y ES MENOR QUE $V_T = 1V \Rightarrow$

M1 EN CORTE $\Rightarrow I_{DS} = \phi$

$$\text{— COMO } I_1 = I_{DS_{M1}} + I_{G_{M2}} \Rightarrow I_1 = \phi = \frac{2V - V_{01}}{1K} \Rightarrow V_{01} = 2V$$

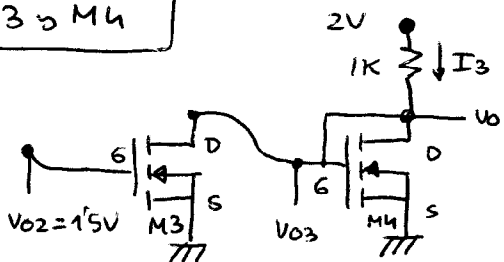


\triangleright COMO $V_{01} = 2V = V_G \Rightarrow V_{GS} = (2V - 0V) = 2V$
SUPONGO M2 EN SATURACION;

$$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2 = 1 \cdot (2 - 1)^2 = 1mA$$

$$\text{— COMO } I_2 = I_{DS_{M2}} + I_{G_{M3}} \Rightarrow I_2 = 1mA = \frac{2 - V_{02}}{0.5K} \Rightarrow V_{02} = 1.5V$$

M3 y M4



\triangleright COMO $V_{02} = 1.5V = V_{G_{M3}} \Rightarrow V_{GS_{M3}} = (1.5V - 0) = 1.5V$

SUPONGO M3 EN SATURACION

$$I_{DS3} = K(V_{GS} - V_T)^2 = 1 \cdot (1.5 - 1)^2 = 0.25mA$$

$$\text{— COMO } I_3 = I_{DS4} + I_{G_{M4}} + I_{DS3} \text{ e } I_3 = \frac{2V - V_0}{1K} \text{ (} V_0 = V_{03} \text{)}$$

SUPONGO M4 EN SATURACION

$$I_{DS4} = K(V_{GS} - V_T)^2 = (V_0 - 1)^2$$

$$(2 - V_0) = (V_0 - 1)^2 + 1/4$$

$$V_0^2 - V_0 - 3/4 = 0 \rightarrow V_0 = \begin{cases} 3/2 = 1.5V \\ -1/2 = -0.5V \end{cases}$$

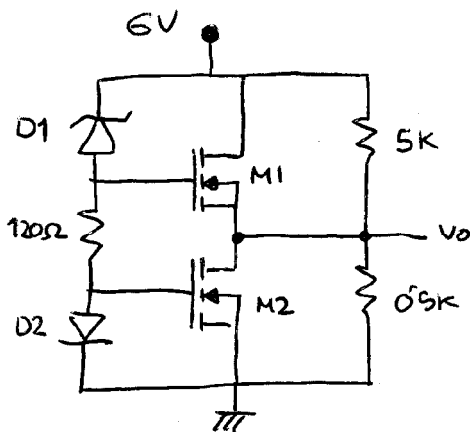
$V_0 = -0.5V$ ES SOLUCION IMPOSIBLE, YA QUE PONDRIA A M4 ENCORTE (LO CONTRARIO DE LO SUPUESTO) $\Rightarrow V_0 = 1.5V$ y COMO

$$V_0 = V_{DS4} = V_{GS4} = V_{DS3} = 1.5V = V_{03} \text{ (4)}$$

FALTA COMPROBAR QUE M2, M3, M4 EN SAT

M2	M3	M4
2V	1.5V	1.5V
0.5V	0V	0V
SAT	SAT	SAT

$V_{GS} \leq V_T \rightarrow$ si OFF
 \downarrow NO
 $(V_{GS} - V_{DS}) \leq V_T \rightarrow$ si SAT
 \downarrow NO OHMICA
 $(V_T = 1V)$



CALCULAR V_O

$D1, D2: V_Z = 0.6V$

$D1: V_{Z1} = 3V$

$M1, M2: V_T = 1V$

$K = 1mA/V^2$ PARA (SAT):

$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$

1 INSPECCION

— LAS CORRIENTES PARECEN FLUIR HACIA ABAJO.
POR LA RAMA IZDA PONDRIA A D1 EN ZENER.
Y A D2 EN ON. NECESITARIAN MAS DE
 $3V + 0.6V$, Y TIENEN DE SOBRA (6V)

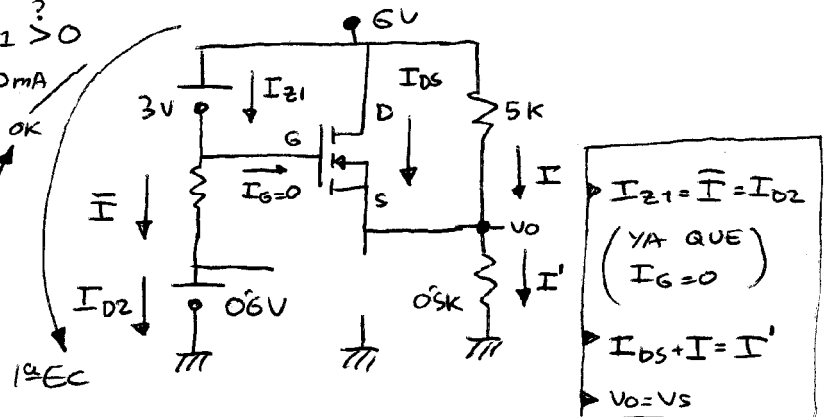
— COMO D2 EN ON $\Rightarrow V_G \text{ de } M2 = 0.6V \Rightarrow V_{GS} \text{ de } M2 = 0.6V$. COMO ES MENOR DE $V_T = 1V \Rightarrow M2$ EN CORTE (SI REALMENTE RESULTA D2 EN ON)

2 SUPOSICION

M1 SAT	D2 ON	D1 ZENER
$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$ ($I_G = 0$)	$I_{D2} > 0$ $\approx 20mA$	$I_{Z1} > 0$ $\approx 20mA$

3 APLICAR MODELOS

(2V) $V_{GS} \leq V_T?$ $\xrightarrow{\text{si}} \text{CORTE}$
 $\downarrow \text{NO}$
(2-5) $(V_{GS} - V_{DS}) \leq V_T \xrightarrow{\text{si}} \text{SAT}$
 $\downarrow \text{NO LINEAL}$



$I_{Z1} = \bar{I} = I_{D2}$
(YA QUE $I_G = 0$)
 $I_{DS} + I = I'$
 $V_O = V_S$

— 1ª EC de RAMA

$(6-0) = 3V + \bar{I} \cdot 0.120K + 0.6V \Rightarrow \bar{I} = I_{Z1} = I_{D2} = 20mA$

$\therefore V_G = 3V$

— COMO $I_{DS} + I = I'$ y SE QUE:

$\triangleright I_{DS} = 1(V_{GS} - V_T)^2 = (\{3V - V_O\} - V_T)^2 = (2 - V_O)^2$

$\triangleright I = \frac{6V - V_O}{5K}$

$\triangleright I' = \frac{V_O - 0}{0.5K}$

TENGO QUE:

$(2 - V_O)^2 + \frac{6 - V_O}{5K} = \frac{V_O}{0.5K}$

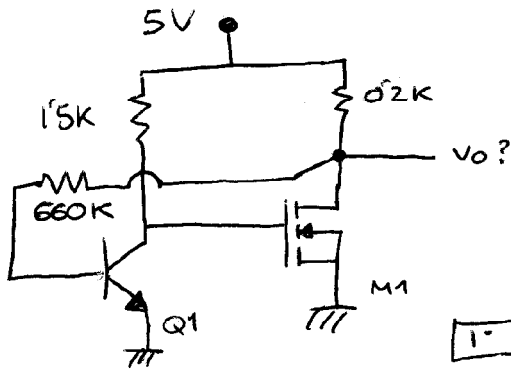
$5V_O^2 - 31V_O + 26 = 0 \Rightarrow V_O = \begin{cases} 5.2V \\ 1V \end{cases}$

$V_O = 5.2V$ ES SOLUCION IMPOSIBLE, YA QUE V_{GS} SERIA
 $V_{GS} = (V_G - V_S) = (3V - 5.2V) = -2.2V < V_T \Rightarrow$ ESTARIA EN
CORTE, QUE CONTRADICE LA HIPOTESIS DE PARTIDA.

$\Rightarrow V_O = 1V \Rightarrow V_{GS} = 2V$

$\Rightarrow V_{DS} = (6V - V_S) = 5V$

⑤



CALCULAR V_O

Q1: $V_{BEZAO} = 0.7V$, $\beta = 400$

M1: $V_T = 1V$, $K = 5mA/V^2$

▷ K en $mA/V^2 \Rightarrow$ UTILIZAR

$I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$ EN SAT.

1° INSPECCION

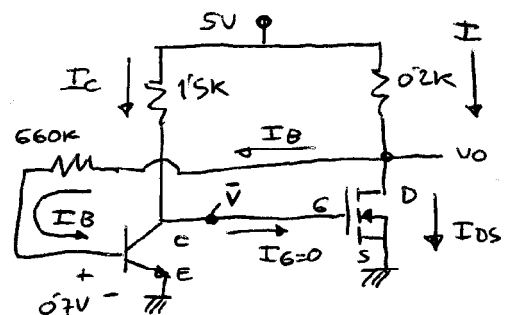
- EN LA BASE DE Q1 APARECE UNA RESISTENCIA LLAMATIVAMENTE GRANDE (660K) \Rightarrow PROBABLEMENTE Q1 en ZAO.

- Si V_{CE} de Q1 $> 1V$ M1 FUERA DE CORTE. POR AHORA SUPONDRE M1 EN SATURACION

2° SUPOSICION

3° APLICAR MODELO

M1 SAT	Q1 ZAO
$I_{DS} = K (V_{GS} - V_T)^2$ ($I_G = 0$)	$V_{BE} = 0.7V$ $I_C = \beta I_B$
$(2V) = V_{GS} \leq V_T \xrightarrow{si} OFF$ \downarrow NO	$V_{CE} > 0.2V?$ $1.2V > 0.2V$
$(-2V) = (V_{GS} - V_{DS}) \leq V_T \xrightarrow{si} SAT$ \downarrow NO LINEAL u OHMICA	



— COMO $I_G = 0 \Rightarrow I_{1.5K} = I_C$

— TAMBIEN $I = I_B + I_{DS}$

— $I_{DS} = 5 (V_{GS} - V_T)^2 = 5(\bar{V} - 1)^2$

VEO QUE $\left\{ \begin{array}{l} V_{CE} = (\bar{V} - 0) = \bar{V} \\ V_{GS} = (V_G - V_S) = (\bar{V} - 0) = \bar{V} \end{array} \right.$

— 1ª EC de RAMA [DE 5V A TIERRA, PASANDO POR 1.5K y V_{CE}]

$(5-0) = I_C \cdot 1.5K + V_{CE}$ ($I_C = \beta I_B = 400 I_B$) $\Rightarrow 5 = 600 I_B + \bar{V}$

— 2ª EC de RAMA [de 5V A TIERRA, PASANDO POR 0.2K, 660K y V_{BE}]

$(5-0) = (I_B + I_{DS}) \cdot 0.2K + I_B \cdot 660K + V_{BE}$ $\xrightarrow{0.7V}$

$4.3V = 660.2 I_B + 0.2 I_{DS}$

$4.3V = 660.2 \left[\frac{5-\bar{V}}{600} \right] + 0.2 \left[5(\bar{V}-1)^2 \right]$

$600\bar{V}^2 - 1360.2\bar{V} + 1321\bar{V} = 0 \Rightarrow \bar{V} = \left. \begin{array}{l} +2V \\ -1.1V \end{array} \right\}$

▷ $\bar{V} = -1.1V$ ES SOLUCION IMPOSIBLE, YA QUE $\bar{V} = V_{GS} = -1.1V$ Y COMO ES MENOR QUE V_T , EL MOSFET ESTARIA EN CORTE (CONTRADIENDO LA HIPOTESIS INICIAL DE SATURACION)

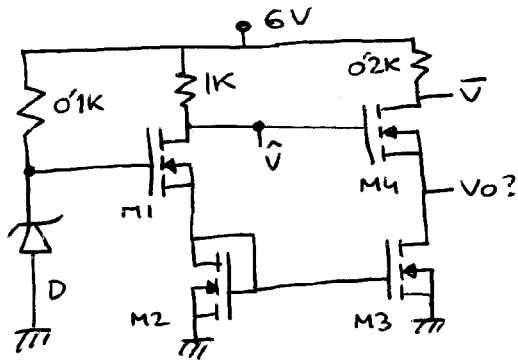
▷ $\bar{V} = 2V \Rightarrow V_{GS} = 2V$, $V_{CE} = 2V$, $I_C = \frac{5-2V}{1.5K} = 2mA$, $I_B = 0.005mA$, $I_{DS} = 5mA$

PARA CALCULAR V_{DS} :

$(5-0) = I \cdot 0.2K + V_{DS}$
 $5.006mA$

$V_{DS} = 4V$

⑥



CALCULAR \hat{V} , \bar{V} , V_0

D: $V_Z = 0.6V$, $V_Z = 3V$

M1 y M2: $K = 8mA/V^2$, $V_T = 1V$

M3 y M4: $K = 5mA/V^2$, $V_T = 0.5V$

1 INSPECCION

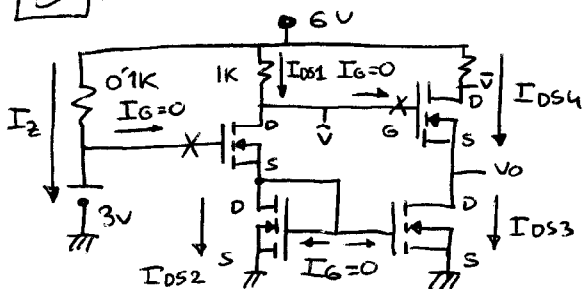
- DIODO ESTARA EN ZENER ya que LA CORRIENTE FLUIRA DE 6V a 0V (H) y ADEMÁS VE UNA POLARIZACION INVERSA DE 6V ($>> V_Z = 3V$)
- LOS MOSFET LOS SUPONGO EN SATURACION

2 SUPOSICION

M1 SAT	M2 SAT	$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$ $\uparrow 8mA/V^2$ $\uparrow 1V$	M3 SAT	M4 SAT	$I_{DS} = K(V_{GS} - V_T)^2$ $\uparrow 5mA/V^2$ $\uparrow 0.5V$	D ZENER
1.5	1.5V $\leftarrow V_{GS} \leq V_T = 1V \xrightarrow{si} OFF$		1.5	1.5V $\leftarrow V_{GS} \leq V_T = 0.5V \xrightarrow{si} CORTE$		$I_Z > 0?$
-1	0 $\leftarrow (V_{GS} - V_{DS}) \leq V_T = 1V \xrightarrow{si} SAT$	NO LINEAL	-1	-1 $\leftarrow (V_{GS} - V_{DS}) \leq V_T = 0.5V \xrightarrow{si} SAT$	NO LINEAL	$\leq 30mA$
M1 SAT OK	M2 SAT OK		M3 SAT OK	M4 SAT OK		OK

COMPROBACION

3 APLICAR MODELOS



$$I_Z = \frac{6V - 3V}{0.1K} = 30mA$$

$$I_{DS1} = I_{DS2} \quad \left. \begin{array}{l} \text{M1 y M2 en SAT} \end{array} \right\} \Rightarrow 8(V_{GS1} - 1)^2 = 8(V_{GS2} - 1)^2$$

$$\Rightarrow (V_{GS1} - 1) = \pm (V_{GS2} - 1)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_{GS1} + V_{GS2} = 2V \rightarrow \text{IMPOSIBLE! ya que } V_{GS1} + V_{GS2} = 3V \\ V_{GS1} - V_{GS2} = 0V \end{cases} \quad (\text{por el diodo ZENER})$$

$$\text{si } V_{GS1} + V_{GS2} = 3V \quad \text{y} \quad V_{GS1} - V_{GS2} = 0V \Rightarrow V_{GS1} = V_{GS2} = 1.5V$$

$$\text{si } V_{GS1} = V_{GS2} = 1.5V \Rightarrow I_{DS1} = I_{DS2} = 8(V_{GS} - 1)^2 = 2mA$$

$$\text{--- COMO } V_{GS2} = V_{GS3}$$

$$\Rightarrow I_{DS3} = K(V_{GS3} - V_T)^2 = 5(1.5 - 0.5)^2 = 5mA \quad \text{PERO } I_{DS4} = I_{DS3} \Rightarrow I_{DS4} = 5mA$$

$$\Rightarrow I_{DS4} = K(V_{GS4} - V_T)^2 = 5mA \Rightarrow (V_{GS4} - V_T)^2 = 1 \Rightarrow (V_{GS4} - 0.5) = \pm 1 \Rightarrow V_{GS4} = \begin{cases} 1.5V \\ -0.5V \end{cases}$$

$V_{GS4} = -0.5V$ ES IMPOSIBLE, YAQUE PONDRÍA A M4 EN CORTE ($V_{GS} = -0.5V < V_T = 0.5V$)

$$\Rightarrow V_{GS4} = 1.5V$$

$$\text{--- } I_{DS1} = 2mA = \frac{6V - \hat{V}}{1K} \Rightarrow \hat{V} = 4V$$

$$V_{GS4} = (\hat{V} - V_0) = 1.5V \Rightarrow V_0 = 2.5V \Rightarrow V_{DS3} = V_0 - 0 = 2.5V$$

$$I_{DS4} = 5mA = \frac{6V - \bar{V}}{0.2K} \Rightarrow \bar{V} = 5V$$

$$V_{DS4} = (\bar{V} - V_0) = 2.5V \quad V_{DS1} = \hat{V} - V_{GS2} = 2.5V$$

$$V_{DS2} = V_{GS2} = 1.5V$$