

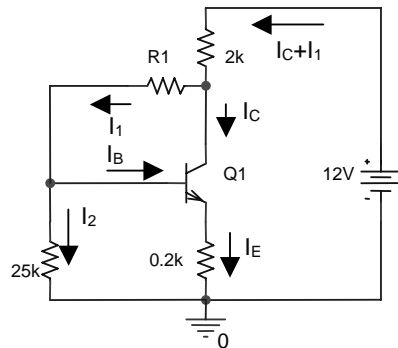
Transistores C.C.

***PROBLEMAS DE ELECTRÓNICA
ANALÓGICA
(Transistores C.C.)***

*Escuela Politécnica Superior
Profesor. Darío García Rodríguez*

Transistores C.C.

1.2.- En el circuito de la figura si $\alpha = 0.98$ y $V_{BE} = 0.7$ Voltios, calcular el valor de la resistencia R_1 , para una corriente de emisor 2 mA



En este circuito tenemos que poner las ecuaciones necesarias para poder resolver el valor de R_1 que nos viene dado por $R_1 = \frac{V_C - V_B}{I_1}$ luego nuestro único objetivo es calcular V_C , V_B y I_1 .

$$I_C = \alpha \cdot I_E = 0.98 \cdot 2 = 1.96\text{mA}$$

$$I_B = I_E - I_C = 2 - 1.96 = 0.04\text{mA}$$

$$V_B = V_{BE} + I_E \cdot R_E = 0.7 + 2 \cdot 0.2 = 1.1\text{Voltios} \quad I_2 = \frac{V_B}{25} = \frac{1.1}{25} = 0.044\text{mA}$$

$$I_1 = I_B + I_2 = 0.04 + 0.044 = 0.084\text{mA}$$

$$V_C = V_{CC} - (I_C + I_1) \cdot 2 = 12 - (1.96 + 0.084) \cdot 2 = 7.912\text{Voltios}$$

Luego ya tenemos todos los datos necesarios para calcular la Resistencia R_1

$$R_1 = \frac{V_C - V_B}{I_1} = \frac{7.912 - 1.1}{0.084} = 81.1\text{K}$$

Aquí hemos calculado todo los valores del circuito, Intensidades, y tensiones en todos los puntos. Lo único que nos falta es $V_{CE} = V_C - V_E = 7.912 - 2 \cdot 0.2 = 7.512$ Voltios

Y efectivamente el transistor está en la zona activa por tener $V_{CE} > 0.2$ Voltios y ser un transistor NPN.

2.2.- En el circuito de la Fig.1 los transistores Q_1 y Q_2 trabajan en la región activa con $V_{BE1} = V_{BE2} = 0.7$ Voltios, $\beta_1 = 100$, $\beta_2 = 50$. Pueden despreciarse las corrientes inversa de saturación.

- Calcular todas las intensidades del circuito.
- Calcular las tensiones en los diferentes puntos.

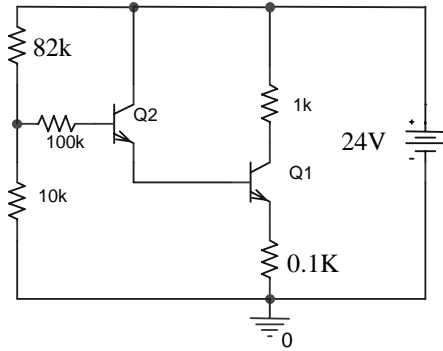


Fig.1

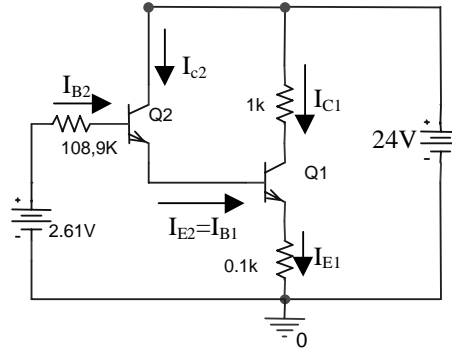


Fig.2

Lo primero que hay que hacer es reducir el circuito a una forma mas simple, para ello se ha calculado el thevening mirado de la base B_2 hacia la izquierda.

$$V_{BB2} = \frac{24 \cdot 10}{82 + 10} = 2.61 \text{ Voltios} \quad R_{B2} = \frac{10 \cdot 82}{10 + 82} + 100 = 108.9 \text{ K}$$

Apartir de aquí analizaremos el circuito de la Fig.2.

Podemos escribir, en la malla de los emisores de los transistores:

$$V_{BB2} = I_{B2} \cdot R_{B2} + V_{BE2} + V_{BE1} + I_{E1} \cdot R_{E1} ; \quad 2.61 = I_{B2} \cdot 108.9 + V_{BE2} + V_{BE1} + I_{E1} \cdot 0.1$$

$$I_{E1} = (\beta_1 + 1) \cdot I_{B1} = (\beta_1 + 1) \cdot I_{E2} = (\beta_1 + 1) \cdot (\beta_2 + 1) \cdot I_{B2} = 51 \cdot 101 \cdot I_{B2} \quad \text{Sustituyendo}$$

esta ecuación en la anterior y despejado I_{B2} tenemos:

$$I_{B2} = \frac{2.61 - V_{BE2} - V_{BE1}}{108.9 + 51 \cdot 101 \cdot 0.1} = \frac{2.61 - 0.7 - 0.7}{624} = 0.0019 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = \beta_2 \cdot I_{B2} = 50 \cdot 0.0019 = 0.095 \text{ mA} \quad I_{B1} = I_{E2} = (\beta_2 + 1) \cdot I_{B2} = 51 \cdot 0.0019 = 0.097 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = \beta_1 \cdot I_{B1} = 100 \cdot 0.097 = 9.7 \text{ mA} \quad I_{E1} = (\beta_1 + 1) \cdot I_{B1} = 101 \cdot 0.097 = 9.8 \text{ mA}$$

$$V_{C1} = V_{CC} - I_C \cdot R_{C1} = 24 - 9.7 \cdot 1 = 14.4 \text{ Voltios}$$

Transistores C.C.

$$V_{E1} = I_{E1} \cdot R_{E1} = 9.8 \cdot 0.1 = 0.98 \text{ Voltios}$$

$$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 14.4 - 0.98 = 13.52 \text{ Voltios}$$

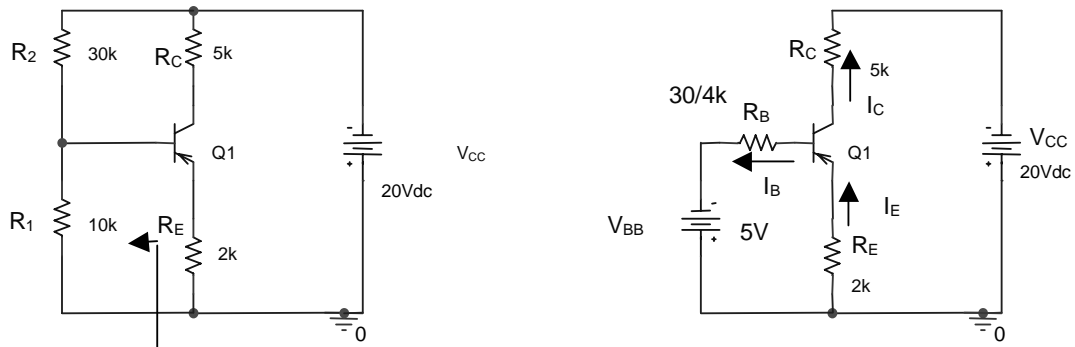
$$V_{C2} = 24 \text{ Voltios}$$

$$V_{E2} = V_{BE1} + V_{E1} = 0.7 + 0.96 = 1.66 \text{ Voltios}$$

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 24 - 1.66 = 22.34 \text{ Voltios}$$

$$V_{B2} = V_{BE2} + V_{E2} = 0.7 + 1.66 = 2.36 \text{ Voltios}$$

3.2.- El circuito de la figura con un transistor PNP tiene un $\beta = 100$, $V_{BE} = -0.7V$. Calcular todas las intensidades y tensiones en los diferentes puntos.



Lo primero que hay que hacer es el thevenin, desde la base del transistor hacia la izquierda, quedando el circuito de la figura de la derecha:

$$V_{BB} = \frac{V_{CC} \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{20 \cdot 10}{10 + 30} = 5V \quad R_{BB} = \frac{R_2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} = \frac{30 \cdot 10}{10 + 30} = \frac{30}{4} K\Omega.$$

A partir de aquí analizaremos el circuito de la parte derecha.

En la malla base emisor podemos escribir:

$$V_{BB} = I_B \cdot R_B + I_E \cdot R_E - V_{BE} = I_B \cdot R_B + (\beta + 1) \cdot I_B - V_{BE} \text{ despejando } I_B \text{ se tiene:}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} + V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) \cdot R_E} = \frac{5 - 0.7}{\frac{30}{4} + (100 + 1) \cdot 2} = \frac{4.3 \cdot 4}{838} = \frac{8.6}{419} = 0.021mA$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = \frac{100 \cdot 8.6}{419} = \frac{860}{4.19} = 2.05mA$$

$$I_E = (\beta + 1) \cdot I_B = \frac{101 \cdot 8.6}{419} = 2.07mA$$

Ahora calcularemos las diferentes tensiones con respecto a masa:

$$V_C = I_C \cdot R_C - V_{CC} = 2.05 \cdot 5 - 20 = -9.75V.$$

Transistores C.C.

$$V_E = -I_E \cdot R_E = -2.07 \cdot 2 = -4.14V.$$

$V_{CE} = V_C - V_E = -9.75 - (-4.14) = -5.61V$ Por ser esta caída de tensión negativa el transistor esta en la zona activa por ser un PNP.

$$V_B = V_{BE} + V_E = -0.7 - 4.14 = -4.84V$$

A continuación calcularemos la intensidad que circular por las resistencias R_1 y R_2 con sentido hacía arriba.

Para la resistencia R_1 $I_1 = \frac{0 - V_B}{R_1} = \frac{4.84}{10} = 0.48mA.$

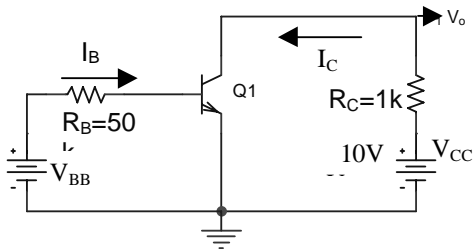
Para la resistencia R_2 $I_2 = I_1 + I_2 = 0.48 + 0.02 = 0.50 \text{ mA}.$

También podría calcularse: $I_2 = \frac{V_B - (-V_{CC})}{R_2} = \frac{-4.84 - (-20)}{30} = 0.5mA$

4.2.- En el circuito de la fig. el transistor tiene una $\beta = 60$. Expresar los valores posibles de V_{BB} para que el transistor se encuentre:

- Zona de corte
- Zona activa.
- Zona de saturación.
- Si $V_{BB} = 5$ Voltios y manteniendo el valor de $R_C = 1\text{ K}$. ¿ entre que valores puede variar R_B para que el transistor se encuentre en la zona de activa?
- Si $V_{BB} = 5$ Voltios y manteniendo el valor de $R_B = 50\text{ K}$. ¿ entre que valores puede variar R_C para que el transistor se encuentre en la zona de saturación?

($V_{BE\text{ activa}} = 0.7$ Voltios, $V_{CE\text{ saturación}} = 0.2$ Voltios, $V_{BE\text{ saturación}} = 0.8$ Voltios, y Corriente inversa de saturación despreciable.)



- a) Tal como esta polarizado el transistor, es de una forma correcta, sí las fuentes empleadas son positivas. Suponemos a la vez que el transistor va a conducir cuando entre base emisor haya una caída de tensión igual o superior a 0,7 Voltios aunque en realidad necesite una caída de tensión

aproximadamente de 0,5 Voltios.

Luego para que el transistor este en corte necesita sólo $V_{BB} < 0.7$ Voltios
Ya que el diodo de emisor y colector están polarizado inversamente.

- b) y c) Aquí vamos a ver para que tensión V_{BB} estará en saturación, luego entre el valor de corte y saturación estará la zona activa.

$$I_{C\text{sat}} = \frac{V_{CC} - V_{CE\text{sat}}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{1} = 9.8\text{mA} \qquad I_{B\text{sat}} = \frac{V_{BB} - V_{BE\text{sat}}}{R_B} = \frac{V_{BB} - 0.8}{50}$$

Si $I_{C\text{sat}} \leq \beta \cdot I_{B\text{sat}}$ el dispositivo está en saturación en caso contrario en la zona activa.

$$\text{Luego tenemos } 9.8 \leq \frac{V_{BB} - 0.8}{50} \cdot 60 \qquad V_{BB} \geq \frac{9.8 \cdot 50}{60} + 0.8 = 8.97\text{voltios}$$

Entonces para $0.7 \leq V_{BB} \leq 8.97\text{Voltios}$ el transistor estará en zona activa.

$V_{BB} \geq 8.97\text{voltios}$ el transistor estará en saturación.

Transistores C.C.

d) En este caso la zona de corte no varía, solo varían las zonas de saturación y activa. Calcularemos la zona de saturación para saber la zona activa.

$$I_{Csat} \leq \beta \cdot I_{Bsat} \quad \text{zona de saturación}$$

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{1} = 9.8mA$$

$$I_{Bsat} = \frac{V_{BB} - V_{BEsat}}{R_B} = \frac{5 - 0.8}{R_B}$$

$$9.8 \leq \frac{5 - 0.8}{R_B} = \frac{4.2}{R_B} \cdot 60$$

$$R_B \leq \frac{4.2}{9.8} \cdot 60 = 25.71K.$$

Luego cuando R_B sea mayor que 27,71 K el transistor va a estar en la zona activa.

e) En este caso la zona de corte no varía solo varían las zonas de saturación y activa. Calcularemos la zona de saturación..

$$I_{Csat} \leq \beta \cdot I_{Bsat} \quad \text{zona de saturación}$$

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{R_C} = \frac{9.8}{R_C} ; \quad I_{Bsat} = \frac{V_{BB} - V_{BEsat}}{R_B} = \frac{5 - 0.8}{50} = 0.084mA$$

$\frac{9.8}{R_C} \leq 0.084 \cdot 60 ; \quad R_C \geq \frac{9.8}{5.04} = 1.94k\Omega$ con estos valores estará en zona de saturación.

Luego cuando $R_C \leq 1.94K\Omega$ el transistor estará en la zona activa.

5.2.- En el circuito de la Fig.1 Q_1 y Q_2 se encuentra en la zona Activa, siendo $\beta_{F1} = \beta_{F2} = 100$, $V_{BE1} = -V_{BE2} = 0.7$ voltios.

Calcular las tensiones en los diferentes puntos e intensidades.

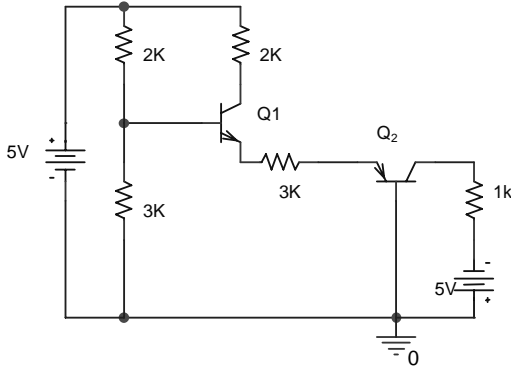


Fig.1

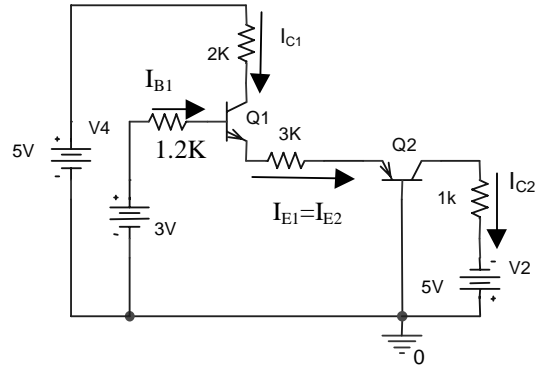


Fig.2

El transistor Q_1 es un NPN y el Q_2 un PNP y ambos aparentemente bien polarizado. Lo primero que tengo que hacer es realizar el thevening mirado desde la base de Q_1 hacia la izquierda, teniendo el circuito de la Fig.2.

$$V_{BB1} = \frac{5 \cdot 3}{2 + 3} = 3 \text{ Voltios}$$

$$R_{B1} = \frac{2 \cdot 3}{2 + 3} = 1.2 \text{ K}\Omega$$

En la malla B_1, E_1, E_2 y B_2 , se puede escribir:

$$V_{BB1} = I_{B1} \cdot R_{B1} + V_{BE1} + I_{E1} \cdot R_{E1} + V_{EB2}$$

$$I_{E1} = (\beta_F + 1) I_{B1} \text{ sustituyendo esta}$$

ecuación en la anterior y despejando I_{B1} se obtiene:

$$I_{B1} = \frac{V_{BB1} - V_{BE1} - V_{EB2}}{R_{B1} + (\beta_{F2} + 1) \cdot R_{E1}}; \quad I_{B1} = \frac{3 - 0.7 - 0.7}{1.2 + 101 \cdot 3} = \frac{1.6}{304.2} = 0.0053 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = \beta_F \cdot I_{B1} = 100 \cdot 0.0053 = 0.53 \text{ mA}$$

$$I_{E1} = I_{E2} = (\beta_{F1} + 1) \cdot I_{B1} = 101 \cdot 0.0053 = 0.54 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = \frac{\beta_{F2}}{\beta_{F2} + 1} \cdot I_{E2} = \frac{100}{101} \cdot 0.54 = 0.53 \text{ mA}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta_{F2} + 1} = \frac{0.54}{101} = 0.0053 \text{ mA}$$

Ya tenemos calculadas todas las intensidades, ahora calcularemos las tensiones en los diferentes puntos.

$$V_{C2} = -V_{CC2} + I_{C2} \cdot R_{C2} = -5 + 0.53 \cdot 1 = -4.47 \text{ Voltios}$$

$$V_{E2} = V_{EB2} = 0.7 \text{ Voltios}$$

Transistores C.C.

$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = -4.47 - 0.7 = -5.15\text{Voltios}$ En zona activa, por ser un PNP y dar negativo la tensión entre colector y emisor.

$$V_{E1} = I_{E1} \cdot R_{E1} + V_{E2} = 0.54 \cdot 3 + 0.7 = 2.32\text{Voltios}$$

$$V_{C1} = V_{CC1} - I_{C1} \cdot R_{C1} = 5 - 0.53 \cdot 2 = 3.94\text{Voltios}$$

$V_{CE1} = V_{C1} - V_{E1} = 3.94 - 2.32 = 1.62\text{Voltios}$ En zona activa, por ser un NPN y dar positiva la tensión entre colector y emisor.

$$V_{B1} = V_{BE1} + V_{E1} = 0.7 + 2.32 = 3.02\text{Voltios}$$

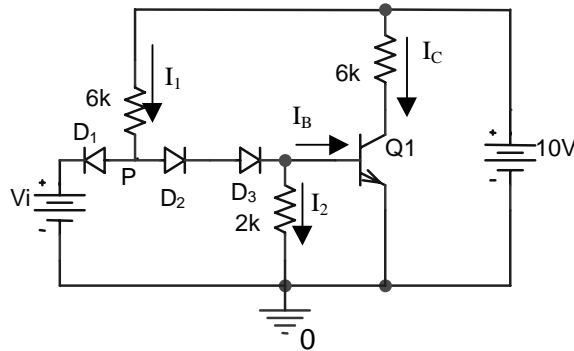
6.2- En el circuito de la figura Calcular:

a) La salida V_{CE} cuando la entrada es de 0.2 Voltios.

b) Lo mismo apartado anterior cuando la entrada es de 10 Voltios.

$\beta_F = 20$ $V_{Dcond.} = 0.7$ Voltios $V_\gamma = 0.5$ voltios.

($V_{BE activa} = 0.7$ Voltios, $V_{CEsaturación} = 0.2$ Voltios, $V_{BE saturación} = 0.8$ Voltios, y Corriente inversa de saturación despreciable.).



a) Si la entrada $V_i = 0.2$ Voltios conducirá el diodo D_1 , por existir una Tensión entre ánodo y cátodo, a través de la resistencia de 6 k , de $(10-0.2)$ Voltios, lo que hace a la vez que la tensión en el punto P sea $0.2 + 0.7 = 0.9$ Voltios insuficiente tensión para que D_2, D_3 y El transistor pueda conducir ya que necesitaría como mínimo $0.5 + 0.5 + 0.7 = 1.7$ voltios, al no conducir el transistor, la salida $V_{CE} = V_{CC} = 10$ voltios.

b) Si la entrada es de 10 Voltios el diodo que no conduce es D_1 , y los otros dispositivos sí. Vamos a suponer que Q_1 , esté en saturación Entonces $V_{CE} = 0.2$ Voltios:

$$V_P = V_{D2} + V_{D1} + V_{BEsat} = 0.7 + 0.7 + 0.8 = 2.2 \text{ Voltios}$$

$$I_1 = \frac{V_{CC} - V_P}{6} = \frac{10 - 2.2}{6} = \frac{7.8}{6} \text{ mA} \quad I_2 = \frac{V_{BEsat}}{2} = \frac{0.8}{2} = 0.4 \text{ mA}$$

$$I_B = I_1 - I_2 = \frac{7.8}{6} - 0.4 = \frac{7.8 - 2.4}{6} = \frac{5.4}{6} \text{ mA}$$

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C} = \frac{10 - 0.2}{6} = \frac{9.8}{6} \text{ mA}$$

Condición para que esté en la zona de saturación:

$$I_{Csat} \leq \beta \cdot I_B \quad \frac{9.8}{6} \leq 20 \cdot \frac{5.4}{6}$$

lo cumple luego Q_1 está en saturación y $V_{CE} = 0.2$ Voltios

7.2.- a) Esbozar la característica de transferencia V_{CE} en función de V_i del circuito de la figura, (suprimiendo el diodo zener), indicando las diferentes zonas del transistor. El transistor tiene una $\beta = 100$ y la corriente inversa de saturación despreciable.

b) Igual que en el apartado a) con el diodo zener, suponiendo que este es ideal, cuya tensión zener es igual a 4 Voltios.

($V_{BE activa} = 0.7$ Voltios, $V_{CE saturación} = 0.2$ Voltios, $V_{BE saturación} = 0.8$ Voltios,)

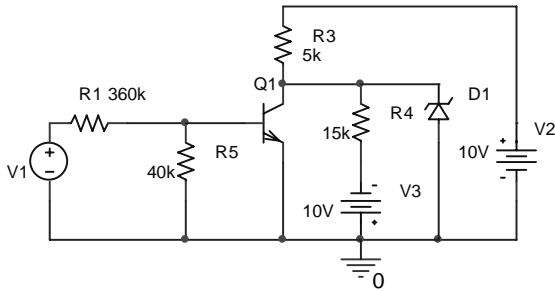


Fig.1

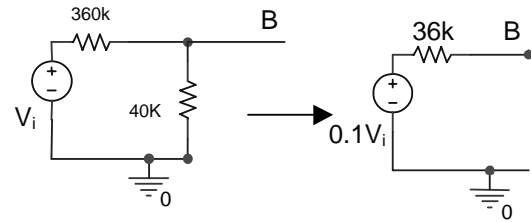


Fig.2

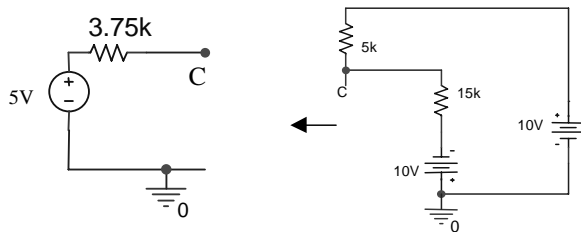


Fig.3

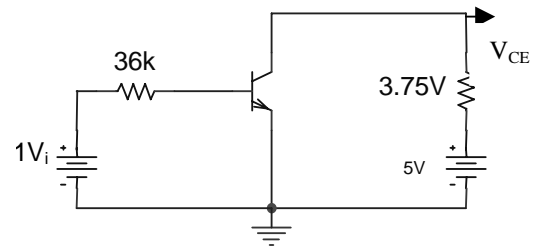


Fig.4

Lo primero que tenemos que hacer en este circuito es, tanto en la entrada como en la salida, reducirlo a su thevening correspondiente.

$$\text{En la entrada tenemos la Fig.2 } V_{BB} = \frac{V_i \cdot 40}{360 + 40} = 0.1V_i \quad R_B = \frac{360 \cdot 40}{360 + 40} = 36K\Omega$$

$$\text{En la salida Fig.3 } V_{CC} = \frac{10 \cdot 15 - 10 \cdot 5}{15 + 5} = 5 \text{ Voltios} \quad R_C = \frac{15 \cdot 5}{15 + 5} = 3.75k$$

Luego el circuito queda reducido a la Fig.4, donde podemos escribir:

$$\text{Zona de corte del transistor } V_{BB} < 0.7 \text{ Voltios} \quad 0.1 V_i < 0.7 \quad V_i < 7 \text{ voltios}$$

$$\text{Y entonces } V_{CE} = 5 \text{ Voltios}$$

Transistores C.C.

$$\text{Zona de Saturación} \quad I_B \cdot \beta \geq I_{Csat} \quad I_B = \frac{V_{BB} - V_{BEact}}{R_B} = \frac{0.1V_i - 0.8}{36} mA$$

$$I_{Csat} = \frac{V_{CC} - V_{CEsat}}{R_C} = \frac{5 - 0.2}{3.75} mA$$

$$\frac{0.1V_i - 0.8}{36} \cdot 100 \geq \frac{5 - 0.2}{3.75} \quad 0.1V_i \geq \frac{4.8 \cdot 36}{100 \cdot 3.75} + 0.8 \quad V_i \geq 12.6 \text{ Voltios}$$

Luego la zona activa estará comprendida entre 7 y 12.6 Voltios y en esa zona se cumple:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{0.1V_i - 0.7}{36} \quad I_C = \beta \cdot I_B = \frac{0.1V_i - 0.7}{36} \cdot 100$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 5 - \frac{10 \cdot V_i - 70}{36} \cdot 3.75 = \frac{-37.5V_i + 442.5}{36}$$

Conclusión:

$$V_i < 7 \text{ Voltios} \quad \text{transistor en corte} \quad V_{CE} = V_{CC} = 5 \text{ Voltios}$$

$$7 < V_i < 12.6 \text{ Voltios transistor en activa} \quad V_{CE} = \frac{-37.5V_i + 442.5}{36}$$

$$V_i > 12.6 \text{ Voltios Transistor en saturación} \quad V_{CE} = 0.2 \text{ Voltios}$$

Su representación gráfica en la Fig. 5

c) Si le colocamos el diodo zener ente el colector y emisor del transistor, como se ve en la figura 1, este empieza a actuar cuando la tensión entre sus terminales es superior a 4 Voltios que entonces su caída de tensión se mantiene a esos 4 Voltios.

Vamos a calcular el valor de V_i cuando cumple estas condiciones, ocurre en la zona activa:

$$V_{CE} = \frac{-37.5V_i + 442.5}{36} = 4 \text{ Voltios} \quad V_i = \frac{442.5 - 4 \cdot 36}{37.5} = 7.96 \text{ Voltios}$$

Su representación gráfica Fig.6

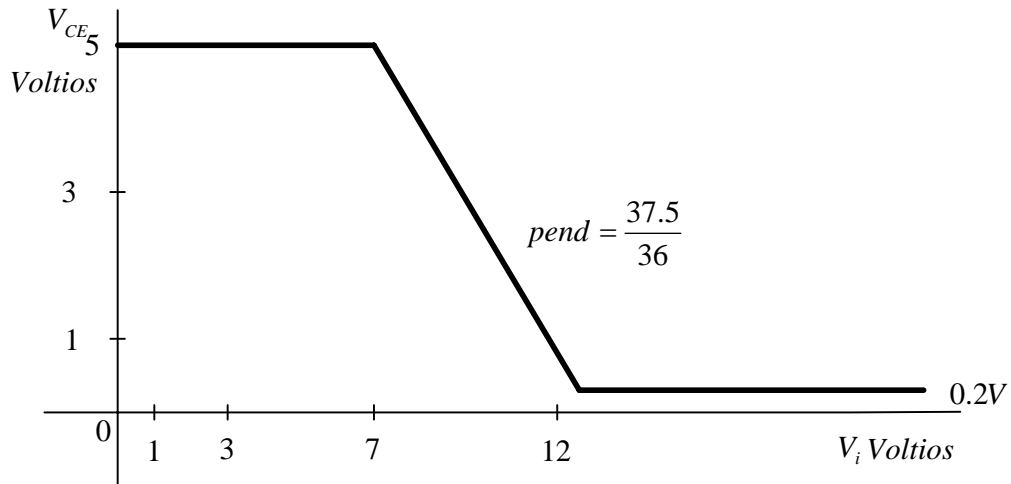


Fig.5

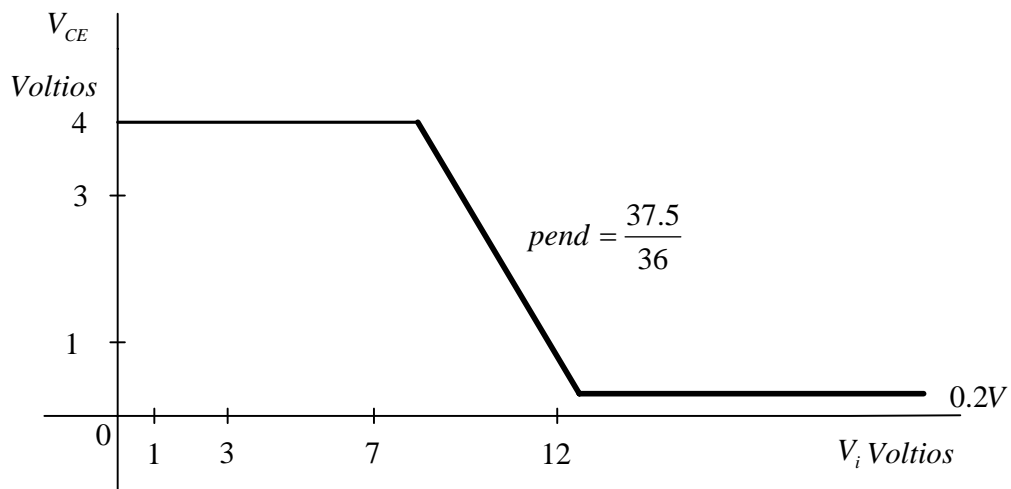
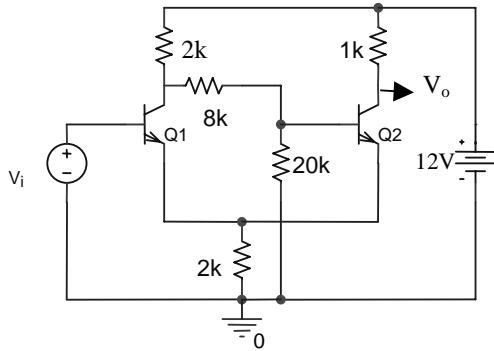


Fig.6

8.2.- Los transistores de la Fig son idénticos con $\beta_F = 100$ y corriente inversa de saturación despreciable.

- Hallar V_o cuando la entrada varía entre 0 y 12 Voltios
- Hallar V_o cuando la entrada varía entre 12 y 0 Voltios
- Representar gráficamente los resultados de los apartados anteriores.



a) Para que pueda conducir un transistor necesita 0.7 Voltios, entre la base y el emisor, caso del NPN y si le introducimos inicialmente 0 Voltios el transistor Q_1 no conduce y queda el circuito de la Fig. 2 que es un transistor con resistencia en emisor. Lo primero que tenemos que hacer es el thevening correspondiente, mirado desde base de Q_2 hacia la izquierda.

Su thevening nos viene expresado por:

$$V_{BB2} = \frac{12 \cdot 20}{2 + 8 + 20} = 8 \text{ Voltios}$$

$$R_{B2} = \frac{(2 + 8) \cdot 20}{2 + 8 + 20} = \frac{20}{3} \text{ K}\Omega$$

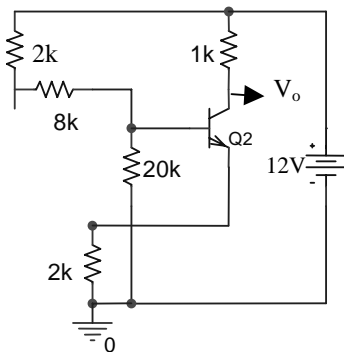


Fig.2

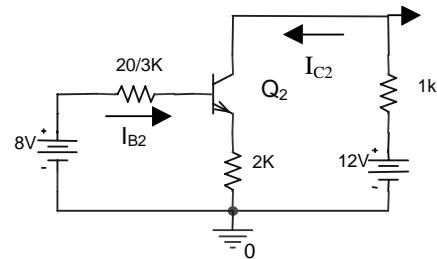


Fig.3

El circuito equivalente es el de la Fig.3 que podemos decir que el transistor está en la zona activa o saturación, por la forma de su polarización.

$$I_{B2} = \frac{V_{BB2} - V_{BE2}}{R_{B2} + (\beta_F + 1) \cdot R_{E2}} = \frac{8 - 0.7}{\frac{20}{3} + (100 + 1) \cdot 2} = \frac{7.3 \cdot 3}{626} = 0.035 \text{ mA}$$

$$I_{C2} = \beta_F \cdot I_{B2} = 100 \cdot 0.035 = 3.50 \text{ mA} \quad I_{E2} = (\beta_F + 1) \cdot I_{B2} = 101 \cdot 0.035 = 3.53 \text{ mA}$$

$$V_o = V_{C2} = V_{CC2} - I_{C2} \cdot R_{C2} = 12 - 3.50 \cdot 1 = 8.5 \text{ Voltios} \quad V_{E2} = I_{E2} \cdot R_{E2} = 3.53 \cdot 2 = 7.06 \text{ Voltios}$$

Transistores C.C.

$$V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 8.5 - 7.06 = 1.44 \text{ Voltios}$$

Por ser positiva V_{CE} y mayor que 0.2 Voltios el dispositivo esta en la zona activa, y ser un NPN. La salida vale $V_o = 8.5$ Voltios

Para que Q_1 empiece a conducir necesita una tensión:

$$V_1 \geq (V_{BE1} + V_{E2}) = 0.7 + 7.06 = 7.76 \text{ Voltios}$$

y entonces Q_2 estará en corte (se demostrará en el apartado posterior) y la salida $V_o = 12$ Voltios.

b) Si la entrada V_1 es de 12 Voltios Q_2 estará en corte (lo demostraremos posteriormente) y veremos como estará Q_1 , y nos quedaría el circuito de la fig.4. Siendo $V_o = 12$ Voltios

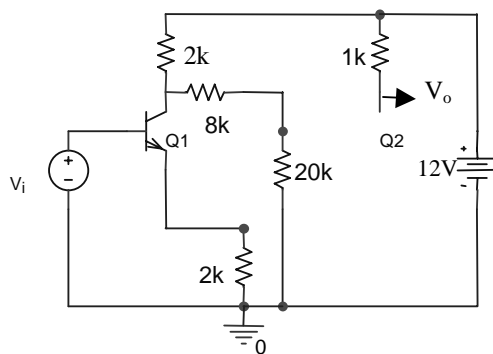


Fig.4

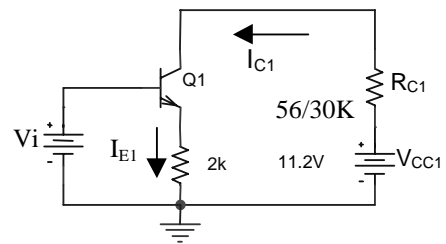


Fig.5

Si miramos el circuito thevening de la Fig 4 desde el colector a masa obtenemos el circuito de la Fig. 5.

$$V_{CC1} = \frac{12 \cdot 28}{28 + 2} = 11.2 \text{ Voltios}$$

$$R_{C1} = \frac{28 \cdot 2}{28 + 2} = \frac{56}{30} = 1.87 \text{ K}\Omega$$

En el circuito de la Fig. 5 si la entrada vale 12 Voltios el dispositivo seguramente estará en saturación y entonces $V_{CE} = 0.2$ Voltios con lo que nos quiere decir que V_E y V_C tienen aproximadamente la misma tensión, luego el transistor Q_2 estará en corte ya que. $V_{B2} = \frac{V_{C1} \cdot 20}{28} < V_E$ (Por la rama de las resistencias de 20 y 8 K. circulan la misma intensidad de ahí el reparto, directamente proporcional, de las tensiones en ambas resistencias).

Transistores C.C.

$$I_{B1} = \frac{V_i - V_{BEact}}{R_E \cdot (\beta_F + 1)} = \frac{12 - 0.7}{2 \cdot (100 + 1)} = 0.056mA$$

$$I_{Csat} \approx \frac{V_{CC1} - V_{CEsat}}{R_E + R_{C1}} = \frac{11.2 - 0.2}{\frac{56}{30} + 2} = \frac{11 \cdot 30}{56 + 60} = 2.84mA$$

Sí $I_B \cdot \beta \geq I_{Csat}$ $0.056 \cdot 100 \geq 2.84$ el transistor está en saturación. En este caso lo cumple.

Sí la entrada la vamos disminuyendo el transistor pasará a la zona activa y si seguimos disminuyendo aun más llegará un instante en que se corte, ya que V_{BE2} hace igual a 0.7 Voltios por lo que Q_2 empieza a conducir y el Q_1 pasa a corte.

Vamos a calcular ese punto.

$$V_{E1} = V_i - V_{BE1} = V_i - 0.7 \text{ Voltios}$$

$$V_{C1} = V_{CC1} - I_{C1} \cdot R_{C1} = V_{CC1} - \beta \cdot I_{B1} \cdot R_{C1} = 11.2 - 100 \cdot \frac{V_i - 0.7}{2(100 + 1)} \cdot \frac{56}{30} \text{ Voltios}$$

$V_{B2} = \frac{V_{C1} \cdot 20}{20 + 8} = \frac{20}{28} \cdot \left\{ 11.2 - \frac{100(V_i - 0.7)}{202} \cdot \frac{56}{30} \right\}$ Luego la condición para que Q_2 empiece a conducir es:

$$V_{B2} - V_E \geq 0.7 \text{ Voltios} \quad \frac{20}{28} \cdot \left\{ 11.2 - \frac{100(V_i - 0.7)}{202} \cdot \frac{56}{30} \right\} - (V_i - 0.7) \geq 0.7 \text{ voltios}$$

$$-\frac{100(V_i - 0.7)}{202} \geq \left\{ (V_i \cdot \frac{28}{20} - 11.2) \cdot \frac{30}{56} \right\} \quad -(V_i - 0.7) \geq \left\{ (V_i \cdot \frac{28}{20} - 11.2) \cdot \frac{30}{56} \right\} \cdot \frac{202}{100}$$

$$V_i \leq \frac{6.76}{1.76} = 3.85 \text{ Voltios}$$

Luego a partir de una cantidad inferior a ese valor el transistor Q_1 se corta y Q_2 conduce.

Conclusión: a) Cuando V_i empieza en 0 Voltios Q_1 en corte y Q_2 en la zona activa cuya salida es igual a 8,5 Voltios.

Cuando $V_i \geq 7,76 \text{ voltios}$ Q_2 se corta y Q_1 primero pasa a la zona activa y después a la zona de saturación, y su salida es 12 Voltios.

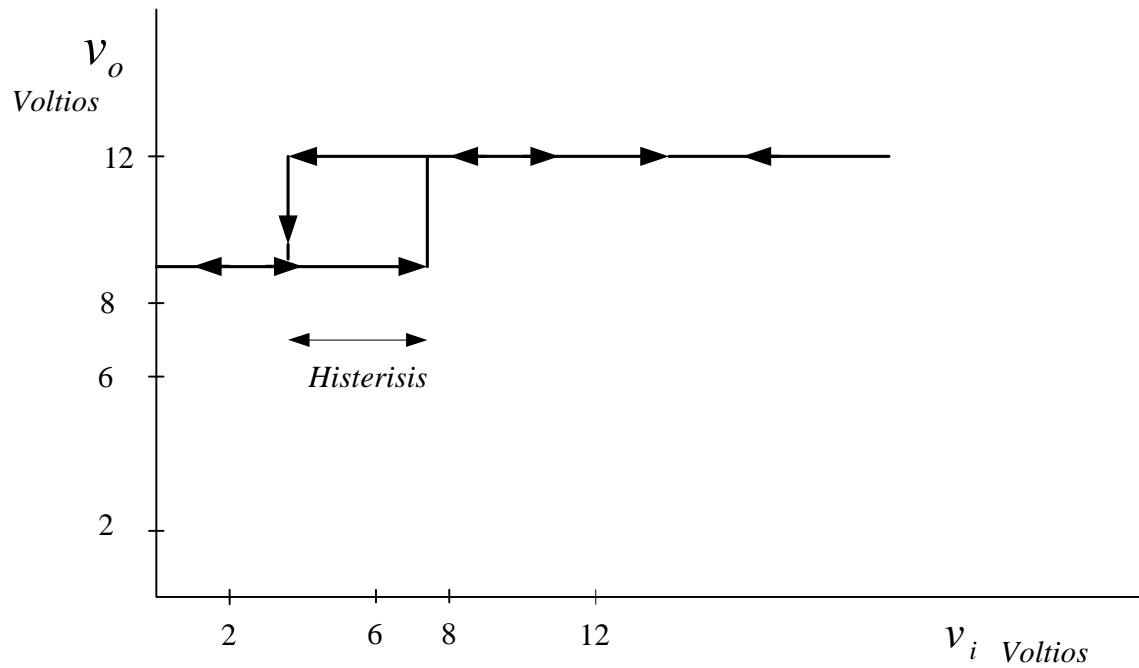
b) Cuando V_i empieza en 12 Voltios Q_1 en saturación y Q_2 en corte, cuya salida es igual a 12 Voltios.

Transistores C.C.

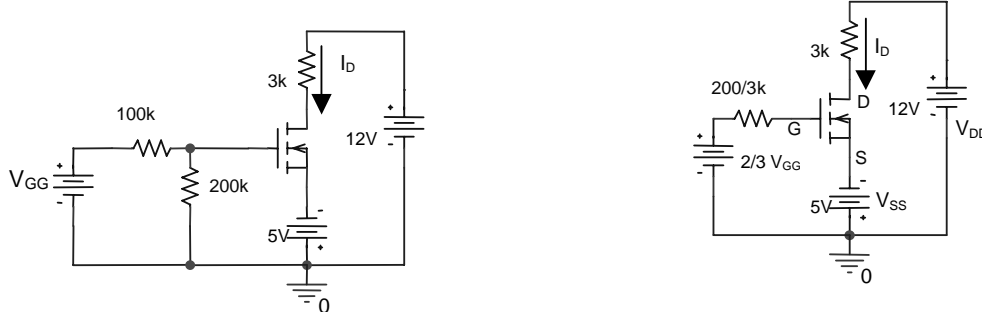
Cuando $V_i \leq 3.85 \text{ Voltios}$ Q_2 se pone en zona activa y Q_1 se corta, y su salida es 8,5 Voltios.

Con estas conclusiones llegamos que los dos transistores no pueden conducir a la vez, como habíamos supuestos en los dos apartados anteriores.

Su representación gráfica la ponemos en la figura de la página siguiente.



9.2.- En el circuito de la figura de la izquierda, explicar(sin llegar a resultados numéricos) como se obtendría las diferentes zonas de funcionamiento del MOS, teniendo de parámetros los siguiente valores: $k=1.25 \text{ mA/V}^2$ y $V_t = 1,5 \text{ Voltios}$.



Lo primero que tengo que decir que el MOS es de canal n, aunque hayamos puesto una figura del dispositivo diferente a las empleadas, por regla general en clase.

En segundo lugar calculamos el thévenin mirado desde Puerta hacia la izquierda obteniendo el circuito de la derecha.

$$V_G = \frac{V_{GG} \cdot 200}{200 + 100} = \frac{2 \cdot V_{GG}}{3} \text{ Voltios} \qquad R_G = \frac{200 \cdot 100}{200 + 100} = \frac{200}{3} \text{ K}\Omega$$

aunque el valor de R_G no lo necesitamos ya que la intensidad que circula por la puerta es nulo.

Las ecuaciones del circuito necesarias son:

$$V_{GS} = \frac{2}{3} \cdot V_{GG} + 5 \qquad V_{DS} = -I_D \cdot R_D + V_{DD} + V_{SS} = -I_D \cdot 3 + 12 + 5 = -I_D \cdot 3 + 17$$

$$V_{GD} = \frac{2}{3} \cdot V_{GG} - 12 + I_D \cdot 3 \qquad V_D = -I_D \cdot 3 + 12$$

Estudiemos ahora las diferentes zonas del MOS.

a) Zona de corte

$$V_{GS} \leq V_t \qquad \frac{2}{3} \cdot V_{GG} + 5 \leq 1.5 \text{ Voltios}$$

$$V_{GG} \leq \frac{4.5 - 15}{2} = -5.25 \text{ Voltios} \quad I_D = 0 \text{ mA} \qquad V_D = 12 \text{ Voltios}$$

b) Zona Ohmica

$$V_{GS} \geq V_t \qquad V_{GD} \geq V_t$$

$$I_D = k \cdot \{ 2 \cdot (V_{GS} - V_t) \cdot V_{DS} - V_{DS}^2 \}$$

Transistores C.C.

$$I_D = 1.25 \cdot \left\{ 2 \cdot \left(\frac{2}{3} V_{GG} + 5 - 1.5 \right) \cdot (-I_D \cdot 3 + 17) - (-I_D \cdot 3 + 17)^2 \right\}$$

De la segunda condición. $V_{GD} \geq 1.5$ $\frac{2}{3} V_{GG} - 12 + 3 \cdot I_D \geq 1.5 \text{ Voltios}$ en esta última ecuación se sustituiría el valor de I_D de la ecuación anterior y se calcularía El valor de V_{GG} sería menor que un cierto valor, luego el valor de V_{GG} estaría comprendido entre este valor y -5,25 Voltios.

c) Zona Activa o de saturación

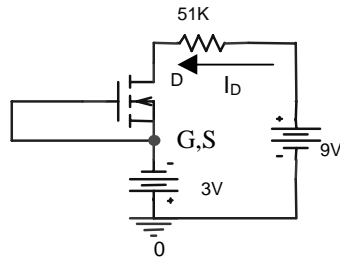
$$\begin{aligned} V_{GS} &\geq V_t & V_{GD} &\leq V_t & I_D &= k \cdot (V_{GS} - V_t)^2 \\ \frac{2}{3} V_{GG} + 5 &\geq 1.5 \text{ Voltios}, & V_{GG} &\geq -5.25 & \left(\frac{2}{3} V_{GG} - 12 + I_D \cdot 3 \right) &\leq 1.5 \text{ Voltios} \end{aligned}$$

$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = 1.25 \cdot \left(\frac{2}{3} V_{GG} + 5 - 1.5 \right)^2$, sustituyendo en esta última ecuación, la ecuación anterior, obtenemos un valor de $V_{GG} \geq \text{valor}$, luego a partir de dicho valor es dispositivo estará en la zona activa.

Nota: la resolución de estas ecuaciones no son complicadas pero sí largas de resolver, ya que para el calculo de I_D , nos sale una ecuación de segundo grado con dos soluciones, siendo solo una la correcta, y despues sustituirla en la ecuación de V_{GD} que es función de I_D .

Transistores C.C.

10.2.- En el circuito de la figura calcular el punto de trabajo, sabiendo que trabaja en la zona activa y sus parametros son: $k = 0.025 \text{ mA/V}^2$ y $V_t = -2 \text{ Voltios}$.



En primer lugar por ser V_t menor que cero es un MOS de deplexi3n. La puerta y el sumidero est3n unida, luego $V_{GS}=0 \text{ Voltios}$ y este es mayor que V_t , luego est3 en la zona activa o ohmica.

Si suponemos seg3n el enunciado que se encuentra en la zona activa.

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = 0.025(0 - (-2))^2 = 0.1 \text{ mA}$$

$$V_D = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 9 - 0.1 \cdot 51 = 3.9 \text{ Voltios} \quad V_G = V_S = -3 \text{ Voltios}$$

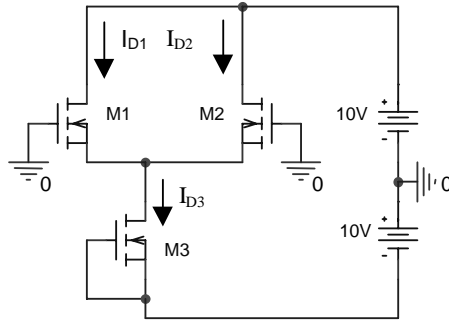
$$V_{GD} = V_G - V_D = -3 - 3.9 = -6.9 < V_t \text{ luego est3 en la zona activa}$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 3.9 - (-3) = 6.9 \text{ Voltios}$$

Su punto de trabajo es: $I_D = 0.1 \text{ mA}$, y $V_{DS} = 6.9 \text{ Voltios}$

11.2- En el circuito de la figura los MOS de la parte superior (M_1 y M_2) son de enriquecimiento y sus parámetros iguales son: $k = 0.25 \cdot 10^{-4} \text{ A/V}^2$ y $V_t = 3 \text{ Voltios}$, el otro MOS (M_3) es de deplexión cuyos parámetros son: $k=0.05 \text{ mA/V}^2$ y $V_t = -2 \text{ Voltios}$. Calcular los puntos de funcionamiento, suponiendo que están en la zona activa y comprobar la suposición.

Calcular también la potencia que disipa cada MOS.



Observando la figura, M_1 y M_2 están funcionando en el mismo punto Q, por ser el circuito simétrico y tener iguales características.

Se cumple las siguientes ecuaciones en el circuito:

$$I_{D1} = I_{D2} = I_D \qquad I_{D1} + I_{D2} = I_{D3} = 2 \cdot I_D \qquad V_{DS1} = V_{DS2}$$

$$V_{DS1} + V_{DS3} = 10 + 10 = 20 \text{ Voltios} .$$

Suponemos que los tres dispositivos están en la zona activa donde conocemos $V_{GS3} = 0 \text{ Voltios}$, pudiendo calcular el valor de I_{D3} .

$$I_{D3} = k \cdot (V_{GS} - V_t)^2 = 0.05 \cdot \{0 - (-2)\}^2 = 0.2 \text{ mA} \qquad I_D = \frac{I_{D3}}{2} = \frac{0.2}{2} = 0.1 \text{ mA}$$

Sabiendo el valor de I_D podemos calcular el valor de $V_{GS1} = V_{GS2}$ de la ecuación

$$I_D = k \cdot (V_{GS1} - V_{t1})^2 = 0.025 \cdot (V_{GS1} - 3)^2 = 0.1 \text{ mA}$$

$$V_{GS1} - 3 = \sqrt{\frac{0.1 \cdot 2}{0.05}} = 2 \qquad V_{GS1} = 2 + 3 = 5 \text{ Voltios}$$

$$V_{GS1} = V_{G1} - V_{S1} \qquad V_{S1} = -V_{GS1} + V_{G1} = -5 + 0 = -5 \text{ Voltios} , \text{ ya conocemos las}$$

Transistores C.C.

tensiones en todos los puntos, luego conocemos todas las diferencias de tensiones.

Voy a probar que están en la zona activa todos los MOS.

En M_1 y en M_2 . $V_{GS1} = V_{G1} - V_{S1} = 0 - (-5) = 5 > V_{t1} = 3$ Voltios

$V_{GD1} = V_{G1} - V_{D1} = 0 - 10 = -10 < V_{t1} = 3$ Voltios luego cumple las condiciones de la zona activa.

En el M_3 $V_{GS3} = 0 > V_{t3} = -2$ Voltios y

$V_{GD3} = V_{G3} - V_{D3} = -10 - (-5) = -5 < V_{t3} = -2V$ Luego está en zona Activa.

$V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = 10 - (-5) = 15$ Voltios $V_{DS3} = V_{D3} - V_{S3} = -5 - (-10) = 5$ Voltios

El punto de funcionamiento de M_1 y M_2 es ($V_{DS} = 15$ Voltios, $I_D = 0.1$ mA)

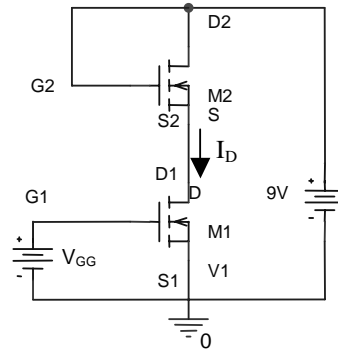
El punto de funcionamiento de M_3 es ($V_{DS} = 5$ Voltios, $I_D = 0.2$ mA)

M_1 y M_2 disipan la misma potencia ya que circulan por ello la misma intensidad y tienen la misma tensión entre drenador y sumidero y esta es:

$$P_1 = P_2 = I_D \cdot V_{DS1} = 0.1 \cdot 15 = 1.5 \text{ mW.}$$

$$\text{En } M_3 \text{ Tenemos } P_3 = I_{D3} \cdot V_{DS3} = 0.2 \cdot 5 = 1 \text{ mW.}$$

12.2- En El circuito de la figura calcular el punto de funcionamiento de los MOS, siendo sus parámetros $k_2 = 2 \text{ mA/V}^2$, $V_{t2} = 2 \text{ Voltios}$, $k_1 = 4.5 \text{ mA/V}^2$ y $V_{t1} = 1 \text{ Voltios}$, para los diferentes valores de la entrada V_{GG} .



En el Circuito de la figura cumple:

$$V_{DS1} + V_{DS2} = 9 \text{ Voltios} \quad I_{D1} = I_{D2} = I_D$$

$V_{GD2} = 0 < V_{t2} = 2 \text{ Voltios}$ luego solo puede estar en activa o corte.

Cuando $V_{GS1} = V_{GG} < V_{t1} = 1 \text{ Voltios}$ el dispositivo estará en corte lo mismo que M_2 .

$$I_D = 0 \text{ mA}$$

Cuando se inicia la zona óhmica es lo que vamos a calcular:

$V_{GG} > V_{t1} = 1 \text{ Voltios}$ el dispositivo entra en la zona activa u óhmica, en la zona activa se cumple:

$I_D = k(V_{GS} - V_t)^2$, $I_{D1} = I_{D2}$, $2(V_{GS2} - 2)^2 = 4.5(V_{GG} - 1)^2$ extrayendo la raíz cuadrada a ambos miembros nos queda (se ha multiplicado por dos ambos miembros de la ecuación y después se ha calculado la raíz cuadrada): $2(V_{GS2} - 2) = 3(V_{GG} - 1)$

y $V_{GS2} = (9 - V_{D1})$ de esta dos ecuaciones obtenemos:

$$V_{D1} = \frac{17 - 3 \cdot V_{GG}}{2} \text{ ahora podemos saber para que valores de } V_{GG} \text{ está en la zona activa.}$$

$$\text{En activa } V_{GD1} < V_t \quad V_{GD1} = V_{G1} - V_{D1} \quad V_{GG} - \frac{17 - 3 \cdot V_{GG}}{2} < 1$$

luego $V_{GG} < 3.8 \text{ Voltios}$

Cuando $1 < V_{GG} < 3.8 \text{ Voltios}$ los dispositivos está en la zona activa.

$$\text{Y sus puntos de funcionamientos son: } V_{DS1} = \frac{17 - 3 \cdot V_{GG}}{2}, \quad I_D = 4.5(V_{GG} - 1)^2$$

Transistores C.C.

$$V_{DS2} = 9 - \frac{17 - 3 \cdot V_{GG}}{2}, \quad I_D = 4.5(V_{GG} - 1)^2$$

Cuando $V_{GG} > 3.8$ Voltios M1 en saturación y M2 en la zona Ohmica. Cumpliéndose:

$$I_D = k\{(V_{GS} - V_t) \cdot V_{DS} - V_{DS}^2\} = 4.5\{2(V_{GG} - 1) \cdot V_{DS1} - V_{DS1}^2\} = 2(V_{DS2} - 2)^2 = \frac{4}{2}(9 - V_{DS1} - 2)^2$$

de esta ecuación obtendríamos $13V_{DS1}^2 - V_{DS1}(38 + 18V_{GG}) + 196 = 0$

Donde se calcula V_{DS1} , y con ello todos los demás valores. Hagamos un ejemplo concreto por ejemplo $V_{GG} = 5$ Voltios.

$$13V_{DS1}^2 - V_{DS1}(38 + 18V_{GG}) + 196 = 0$$

$$13V_{DS1}^2 - 128V_{DS1} + 196 = 0$$

$$V_{DS1} = \frac{128 \pm \sqrt{128^2 - 4 \cdot 13 \cdot 196}}{2 \cdot 13} = 7,95 \text{ Voltios} \quad \text{y} \quad 1,90 \text{ Voltios}$$

ambos valores no son correctos sólo uno de ellos.

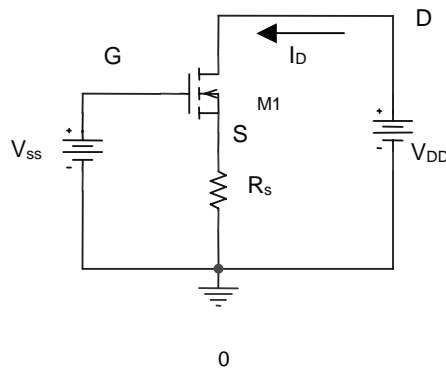
Como $V_{GD1} > V_{t1}$ $(V_{G1} - V_{D1}) > V_{t1}$ $(5 - V_{D1}) > 1$ $V_{D1} < 4$ luego el valor que cumple solo es el de $V_{DS1} = 1,90$ Voltios. Y $V_{DS2} = 9 - V_{DS1} = 9 - 1.9 = 7.1$ Voltios

$I_D = k(V_{GS} - V_t)^2 = k \cdot (V_{DS2} - V_{t2})^2 = 2(7.1 - 2)^2 = 52.02mA$ luego el punto de funcionamiento son:

M_1 (V_{DS1}, I_{D1}) (1,90 Voltios, 52.02mA) y M_2 (V_{DS2}, I_{D2}) (7.1 Voltios, 52.02mA)

13.2.- El transistor unipolar de la figura posee las siguientes características $V_t=3\text{V}$ y $k=2\text{mA/V}^2$. Se desea que en corriente continua el sumidero tome un valor de $V_{DD}/2$ con una corriente de drenador de 2mA . a) Encuentre los valores de tensión de puerta a masa y la resistencia R_s de sumidero si $V_{DD}=12\text{V}$.

a) Suponiendo que $R_s = 5\text{K}\Omega$ determine que margen de valores tiene que tener la tensión de puerta a masa para que el dispositivo se encuentre en la zona ohmica.



Las ecuaciones que podemos expresar en el circuito son las siguientes:

$$V_{DD} = V_{DS} + V_S \quad ; \quad V_{GS} = V_{SS} - V_S = V_{SS} - I_D \cdot R_S \quad ; \quad I_D = k \cdot (V_{GS} - V_t)^2$$

Esta última para zona activa:

Según los datos del problema podemos escribir:

$$V_S = \frac{V_{DD}}{2} = \frac{12}{2} = 6\text{V} \quad ; \quad R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{6}{2} = 3\text{K}\Omega$$

$$I_D = k \cdot (V_{SS} - V_S - V_t)^2 = 2\text{mA} = 2\text{mA/V}^2 \cdot (V_{SS} - 6\text{V} - 3\text{V})^2$$

despejando V_{SS} obtenemos: $\sqrt{\frac{2}{2}} = V_{SS} - 9$ luego $V_{SS}=10\text{ Voltios}$.

b) Para que se encuentre en la zona ohmica tiene que cumplirse que:

$$V_{GS} > V_t \quad V_{GD} > V_t \quad \text{y en nuestro caso } V_{GS} \text{ es siempre mayor que } V_{GD}$$

Ya que: $V_{GD} = V_{SS} - V_{DD}$ y $V_{GS} = V_{SS} - V_S$ y siempre cumple que $V_{DD} > V_S$

Luego nuestro problema queda resuelto con tal que cumpla que $V_{GD} > V_t$

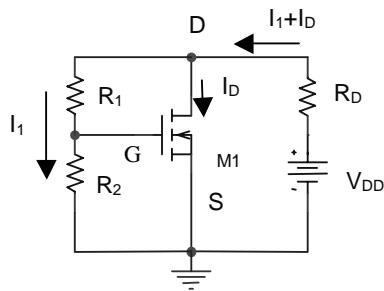
Transistores C.C.

$$V_{GD} = (V_{SS} - V_{DD}) > V_t \quad V_{SS} > (V_t + V_{DD}) = 3 + 12 = 15 \text{ Voltios.}$$

Luego cuando $V_{SS} > 15 \text{ V}$ El dispositivo estará en saturación.

14.2.- En el circuito de la figura las resistencias R_1 , R_2 y R_D , tienen un valor de $1K\Omega$ y su alimentación $V_{DD} = 10V$. a) Calcular el punto de trabajo del NMOs si $k=5 mA/V^2$ y $V_t = 4,5$ Voltios.

b) Se desea calcular el valor de V_t y k realizando las siguientes medidas: 1) variando la tensión V_{DD} desde cero Voltios empieza a conducir con un valor de 6 Voltios. 2) Y con un valor de 10 Voltios se obtiene una tensión de drenador a sumidero de 5 Voltios.



Sabemos que por la puerta no circula intensidad.

Las ecuaciones que podemos expresar en el circuito son las siguientes:

$$V_{DD} = (I_D + I_1) \cdot R_D + V_{DS}$$

$$V_{DS} = I_1 \cdot (R_1 + R_2) \quad V_{GS} = I_1 \cdot R_2$$

a) Para que el transistor esté en la zona ohmica o activa necesita que se cumpla:

$$V_{GS} > V_t \text{ siendo las tres resistencias iguales se cumple que } V_{GS} = V_{DS}/2,$$

Siendo $V_t = 4,5$ Voltios, se necesita una tensión como mínimo de V_{DS} de

9 Voltios lo cual es imposible ya que por la resistencia de R_D debe circular una intensidad de $I_1 + I_D$. (y el valor de $I_{min} = 9V/2K = 4.5$ mA. que la tensión a través de la resistencia R_D es de 4,5 V lo cual es imposible, ya que la máxima es de 1V).

Si repartimos la tensión de 10 Voltios entre las tres resistencias iguales resulta que a cada una le corresponde una tensión de 3,33 Voltios, es decir:

$$V_{GS} = 3,33 \text{ Voltios El dispositivo en corte}$$

$$V_{DS} = 6,66 \text{ Voltios y la intensidad } I_D = 0 \text{ mA.}$$

b) El dispositivo empieza a conducir cuando $V_t = V_{GS}$ lógicamente en la zona ohmica.

$$V_{GS} = \frac{V_{DD}}{3} = \frac{6}{3} = 2 \text{ Voltios} = V_t$$

Cuando $V_{DD} = 10$ Voltios vamos a suponer que se encuentra en la zona de saturación y apliquemos las formulas y después comprobemos lo anterior mente supuesto.

$$V_{GS} = \frac{V_{DS}}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ Voltios} > V_t \text{ luego en saturación o ohmica}$$

$$I_D + I_1 = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D} = \frac{10 - 5}{1} = 5 \text{ mA}$$

$$I_1 = \frac{V_{DS}}{R_1 + R_2} = \frac{5}{1 + 1} = 2,5 \text{ mA}$$

Transistores C.C.

luego $I_D = 5 - I_1 = 5 - 2,5 = 2,5mA$

Ahora $V_{GD} = -I_1 \cdot R_1 = -2,5 \cdot 1 = -2,5 \text{ Voltios} < V_t = 2,5 \text{ Voltios}$ luego el dispositivo se encuentra en la zona de saturación o activa.

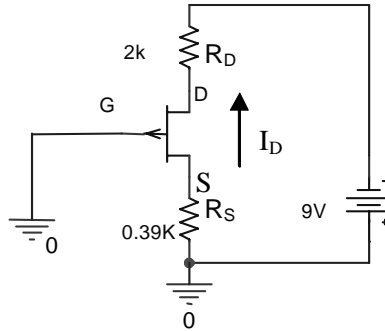
Vamos a calcular el valor de k del dispositivo:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_t)^2 \text{ en zona de saturación}$$

$$k = \frac{I_D}{(V_{GS} - V_t)^2} = \frac{2,5}{(2,5 - 2)^2} = \frac{2,5}{0,25} = 10 \text{ mA/V}^2$$

Las características del dispositivo son: $V_t = 2 \text{ Voltios}$ y $k = 10 \text{ mA/V}^2$.

15.2- El Transistor FET de la figura tiene un valor de $\beta = 2.5\text{mA}/\text{V}^2$ y $V_p = 2$ Voltios
 Calcular el punto de funcionamiento.



El FET es de canal P, luego la polarización realizada es la correcta.
 Si está en la zona activa tiene que cumplir:

$$V_{GS} < V_p \quad V_{GD} > V_p \quad I_D = \beta \cdot (V_{GS} - V_p)^2$$

En el circuito tenemos: $V_{GS} = I_D \cdot R_S = I_D \cdot 0.39$

$$I_D = \beta \cdot (V_{GS} - V_p)^2 = 2.5 \cdot (V_{GS} - 2)^2$$

Tenemos dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$\frac{V_{GS}}{0.39} = 2.5 \cdot (V_{GS} - 2)^2 \quad 0.975 \cdot V_{GS}^2 - 4.9 \cdot V_{GS} + 3.9 = 0$$

$$V_{GS} = \frac{4.9 \pm \sqrt{24.01 - 15.21}}{1.95} = 4.04 \text{ Voltios} \text{ --- y } -0.99 \text{ Voltios}$$

ambas soluciones no son correctas sólo una de ellas. Y en este caso es 0.99 por ser inferior a $V_p = 2$ Voltios.

$$I_D = \frac{V_{GS}}{0.39} = \frac{0.99}{0.39} = 2.54 \text{ mA}$$

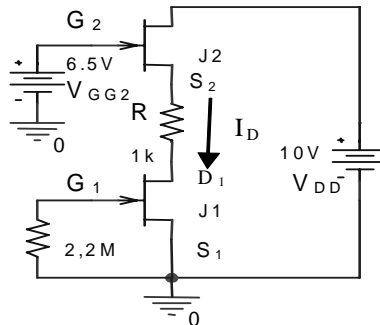
$$V_S = -I_D \cdot R_S = -2.54 \cdot 0.39 = V_{SG} = -V_{GS} = -0.99 \text{ Voltios} \quad V_{GS} = 0.99 \text{ Voltios}$$

$$V_D = -V_{DD} + I_D \cdot R_D = -9 + 2.54 \cdot 2 = -3.92 \text{ Voltios}$$

$V_{GD} = V_G - V_D = 0 - (-3.92) = 3.92$ Voltios que es mayor que $V_p = 2$ Voltios luego está en la zona activa.

Su punto de funcionamiento es: $V_{DS} = V_D - V_S = -3.92 - (-0.99) = -2.93$ Voltios y su intensidad $I_D = 2.54$ mA.

16.2.- En el circuito de la figura los FET tiene unos parámetros iguales de $V_P = -3$ Voltios, $\beta = 0.222 \text{ mA/V}^2$. Indicar en que estado se encuentran los FET, calculando sus puntos de funcionamiento.



En el circuito de los dos FET de canal N, podemos poner las siguientes ecuaciones:

$$I_{D1} = I_{D2} = I_D \quad V_{DD} = V_{DS2} + I_D \cdot R + V_{DS1} \rightarrow 10 = V_{DS2} + I_D \cdot 1 + V_{DS1}$$

En J_1 se cumple $V_{GS1} = 0 > V_P = -3$, luego se encuentra en la zona activa u ohmica. Supongamos que se encuentra en la zona Activa. (Ecuación de la zona activa).

$$I_D = \beta \cdot (V_{GS1} - (-V_P))^2 = 0.222(0+3)^2 = 2 \text{ mA.}$$

Cumpliendo la misma ecuación en J_2 , si lo suponemos también que está en la zona activa, por tener iguales parámetros, entonces llegamos que $V_{GS1} = V_{GS2}$.

$$V_{GS2} = V_{GG2} - V_{S2}; \quad V_{S2} = V_{G2} - V_{GS2} = 6.5 - 0 = 6.5 \text{ Voltios.}$$

La caída de tensión a través de la resistencia es: $V_R = I_D \cdot R = 2 \cdot 1 = 2$ Voltios.

Con todos estos datos tenemos, las diferentes tensiones en los diferentes puntos del circuito.

$$V_{D2} = 10 \text{ Voltios} \quad V_{S2} = 6.5 \text{ Voltios} \quad V_{D1} = V_{S2} - V_R = 6.5 - 2 = 4.5 \text{ Voltios.}$$

Comprobemos que están en la zona activa ambos, tiene que cumplirse que:

$V_{GS} > V_P$ esta condición se cumple y que $V_{GD} < V_P$.

$$V_{GD2} = V_{G2} - V_{D2} = 6.5 - 10 = -3.5 \text{ Voltios luego cumple}$$

$V_{GD1} = V_{G1} - V_{D1} = 0 - 4.5 = -4.5$ Voltios luego cumple, se encuentran ambos en zona activa.

Sus puntos de funcionamiento son: J_1 (3,5Voltios, 2 mA) y J_2 (4.5 Voltios, 2 mA).