



Electrónica Analógica

Ejercicios

Versión: 2014-12-02

Tema 4: **'Transistores'**

Referencias:

Texto base: *Circuitos Electrónicos. Análisis simulación y diseño*,
de Norbert R. Malik.

BJTs: Capítulo 4, secciones 3 a 7, y 9.

MOSFET: Cap. 5, secciones 1, 2, 4, 7 y 9.

Circuitos de polarización: Cap. 6, secciones 1 a 5, y 7.2

Control de versiones

- 2014-12-02: versión inicial.

Sección 1: ejercicios de estudio. Enunciados.

Configuraciones y propiedades básicas

1.-Transistores BJT

Nota: Todos los problemas están extraídos del texto base (Malik). En consecuencia, la numeración seguida se corresponde con la usada en dicho texto. Algunos enunciados han sido cambiados ligeramente.

P4.1.- (4.11 Malik) Dibujar las curvas características de salida en emisor común del primer cuadrante para un transistor con parámetros $\beta_F=10$ y $V_{CE,sat}=0.1V$. Utilizar incrementos de 1 mA en la corriente de base para la representación de las curvas.

P4.2.- (4.13 Malik) Suponiendo que el transistor del circuito de la figura 4.13a tiene las curvas características de salida de la figura 4.13b, utilizar el método de la recta de carga para obtener los valores de la corriente de colector y la tensión colector-emisor en los siguientes casos

- $i_B=0.04mA$
- $i_B=0.1mA$
- $i_B=0.085mA$

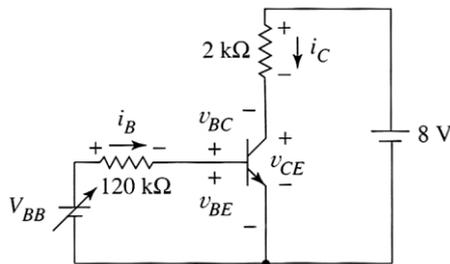


Figura 4.13a

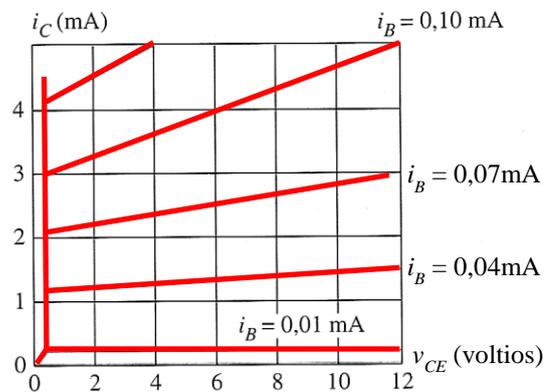


Figura 4.13b

P4.3.- (4.21 Malik) Para los transistores del circuito de la figura P4.21, tome la ganancia $\beta=99$.

- Utilizar el modelo activo para obtener los valores de la corriente de colector y las tensiones de emisor, colector y base de cada transistor.
- Representar cada punto Q en un sistema de coordenadas $v_{CE}-i_C$

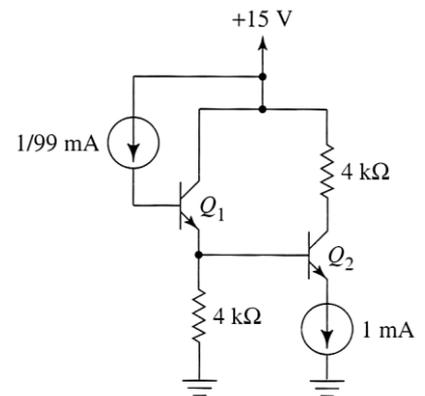


FIGURA P4.21

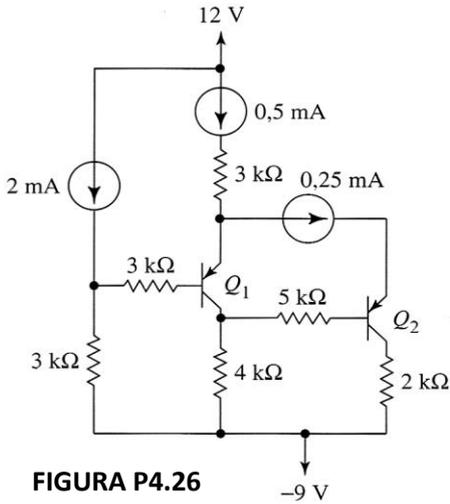


FIGURA P4.26

P4.4.- (4.26 Malik) Utilizar el análisis de ganancia (β) infinita para obtener el punto de funcionamiento de cada uno de los transistores de la figura P4.26. Obtener cada punto de trabajo Q_i (I_{CQi} , V_{CEi}).

P4.5.- (4.34 Malik) En el circuito de la figura P4.33, puede suponerse que el transistor opera en zona activa directa y el diodo conduce. Comprobar ambas suposiciones empleando el modelo equivalente del circuito. En caso de ser necesario, exponer claramente cualquier contradicción que se encuentre.

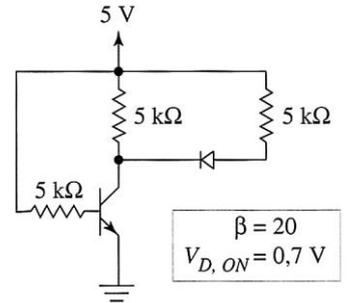


FIGURA P4.33

P4.6.- (4.44 Malik) En la figura P4.44, el transistor se encuentra operando en la zona activa directa con los valores de β y V_{CE} indicados para una temperatura de 27°C .

- a) Utilizar el circuito equivalente del transistor para obtener el punto Q a esa temperatura, sabiendo que el cambio de la ganancia β con la temperatura T responde a la siguiente ley de variación:

$$\beta(T) = \beta(T_R) \left(\frac{T}{T_R} \right)^{XTB}$$

en donde T_R es la temperatura de referencia de 27°C .

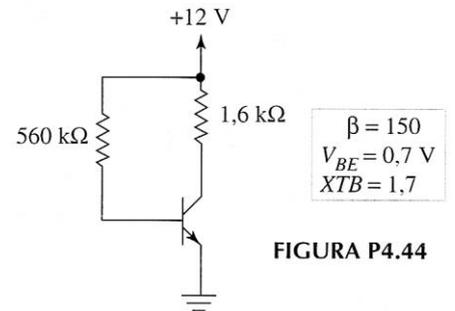


FIGURA P4.44

- b) Utilizar las reglas de variación de temperatura para calcular los nuevos parámetros del modelo a 60°C y recalcula el punto de trabajo Q en este caso. ¿Cuál es en este caso la zona de trabajo del transistor?
- c) Repetir el cálculo del apartado anterior en el caso de que la temperatura sea de -25°C

2.-Transistores MOSFET

P4.7.- (5.10 Malik) Hallar el punto de trabajo Q del transistor en el circuito de la figura P5.10.

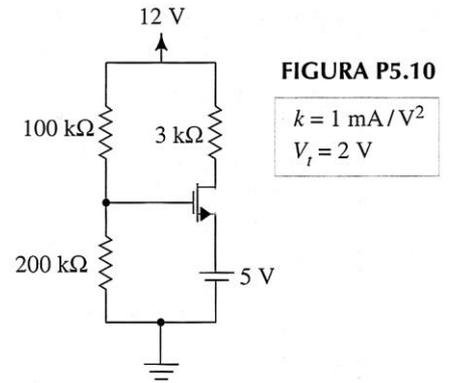


FIGURA P5.10

$$k = 1 \text{ mA/V}^2$$

$$V_t = 2 \text{ V}$$

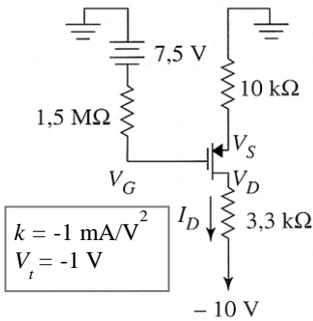


FIGURA 5.26 (a)

P4.8.- (Ejemplo 5.12 Malik) Hallar el punto de trabajo Q para el transistor de la figura 5.26a

P4.9.- (5.26 Malik) Un MOSFET de canal p tiene como parámetros:
 $V_t = -2\text{V}$ y $k = -3\text{mA/V}^2$.

- Indicar razonadamente si es un dispositivo de acumulación o de depleción.
- Representar las características de entrada y salida así como la función de transferencia.

P4.10.- (Ejercicio 5.4, y ejemplo 5.4, Malik)

- Determine el punto de trabajo Q (I_D , V_{DS}) del transistor de depleción de la figura 5.12(a).
- En el circuito de la figura 5.12(b), halle el valor de la tensión continua que cae en el resistor y el punto de trabajo Q del transistor.

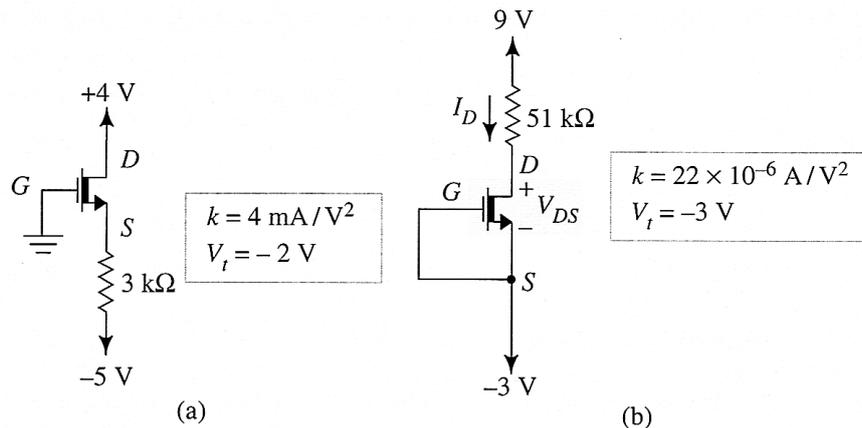


FIGURA 5.12

3.-Circuitos de polarización

P4.11.- (6.17 Malik) En los circuitos de la figura 4.11, el transistor tiene $\beta = 40$. Diseñe cada circuito para que esté polarizado en $Q = (V_{CEQ}, I_{CQ}) = (5V, 0.5 \text{ mA})$. Para el caso del circuito (c) la condición adicional es que R_C soportará 3 V.

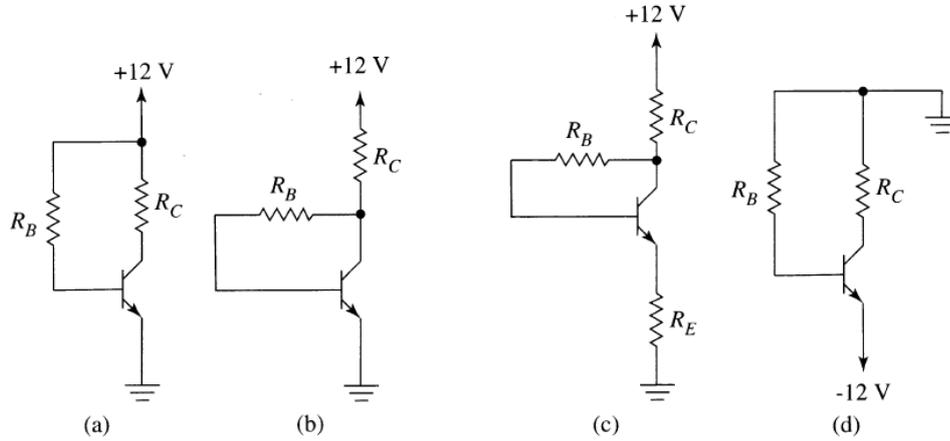


FIGURA 4.11

P4.12.- (6.24 Malik) La figura 4.12 muestra un circuito de polarización y las características de salida del transistor.

- Mediante la recta de carga, halle el valor necesario de R_B para situar al transistor cerca de $V_{CE} = 2.5 \text{ V}$ suponiendo $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$.
- Suponga que V_{BE} cambia a razón de $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ pero las características de salida no cambian. Si la temperatura sube a 75°C , halle el nuevo valor de la corriente de base. ¿Cómo cambiaría el punto Q en la línea de carga?

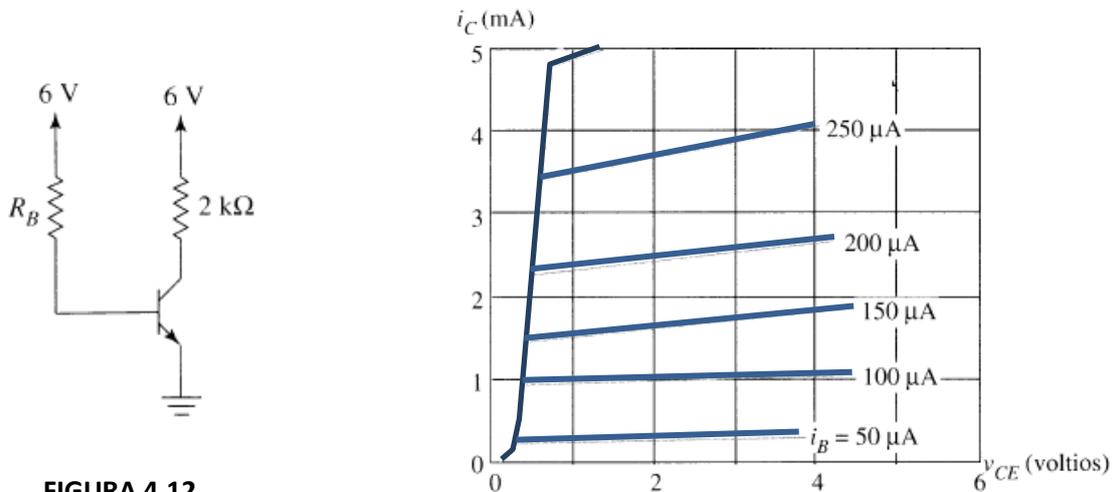
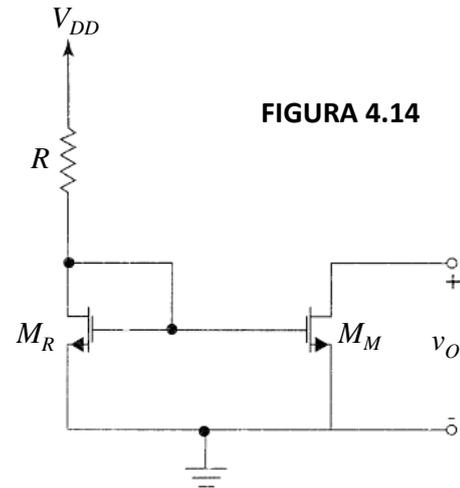
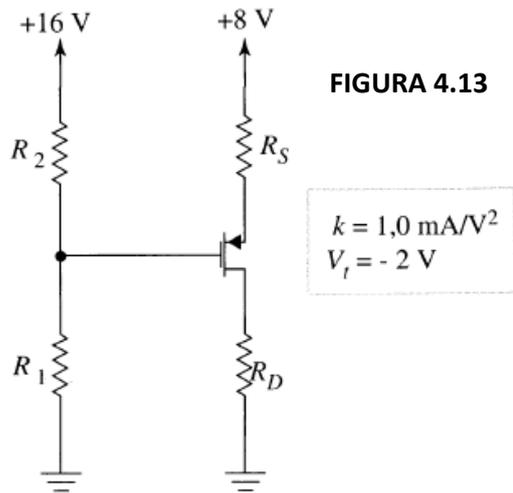


FIGURA 4.12



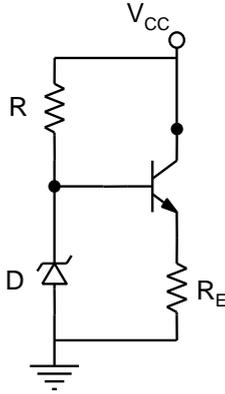
P4.13.- (6.24 Malik) Polarizar el transistor de la figura 4.13 en $Q = (-3\text{V}, -2.5\text{mA})$, haciendo que la caída de tensión en R_s sea de 3 V.

P4.14.- (6.50 Malik)

- Diseñar una fuente de corriente MOS como la de la figura P4.14 que dé 0.2mA de corriente de salida con una alimentación de 17 V. Los parámetros del transistor son $k=0.3 \cdot 10^{-3} \text{ A/V}^2$ y $V_t = 1.1\text{V}$.
- Hallar la tensión mínima de salida
- Calcular la resistencia de salida de la fuente si la tensión Early del transistor es 110 V.
- Determinar el valor de I_o utilizando r_o cuando la tensión en la salida de la fuente es 12 V.

Sección 2: ejercicios complementarios. Enunciados

C1.- Considerando el transistor polarizado como muestra la figura, calcular:



Datos:

$$\begin{aligned} V_{BE\gamma} &= 0.6V & V_{CC} &= 15V \\ V_{CEsat} &= 0.2V & R_E &= 1k\Omega \\ \beta &= 99, & V_Z &= 5.6V \\ & & I_{Zmin} &= 0.1mA \end{aligned}$$

- El máximo valor que debe tener R para que el diodo trabaje en la zona Zener.
- El punto de trabajo del transistor para $R=10k\Omega$ y $R=500k\Omega$.

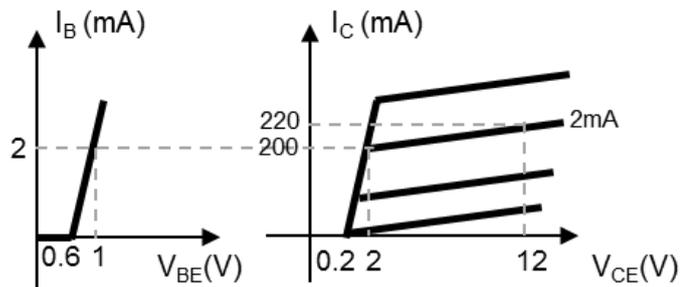
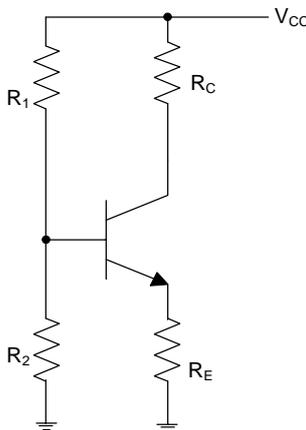
C2.- A partir del análisis del circuito de la figura y de la gráfica adjunta, responda a las preguntas que se formulan.

- Obtenga el modelo en continua, y el valor de los parámetros del transistor de la figura para el funcionamiento en la región activa directa y en saturación.

Parámetros: V_{γ} , r_D , β_F , $V_{CEsat-min}$, r_{CEsat} , r_0

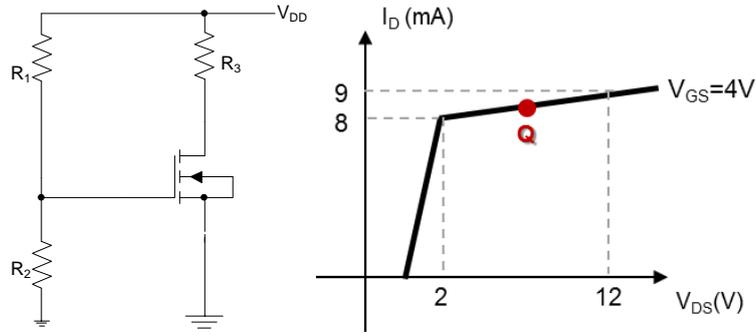
- Suponiendo que el transistor es ideal, esto es: $r_D \rightarrow 0$, $r_{CEsat} \rightarrow 0$, $V_A \rightarrow \infty$; obtenga el punto de trabajo del circuito de la figura.

Datos: $V_{CC}=12V$, $R_1=2k\Omega$, $R_2=2k\Omega$, $R_C=2k\Omega$, $R_E=1k\Omega$



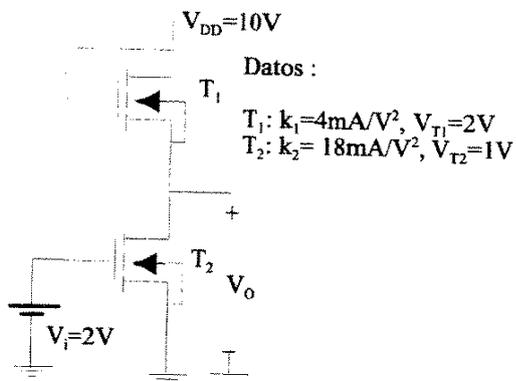
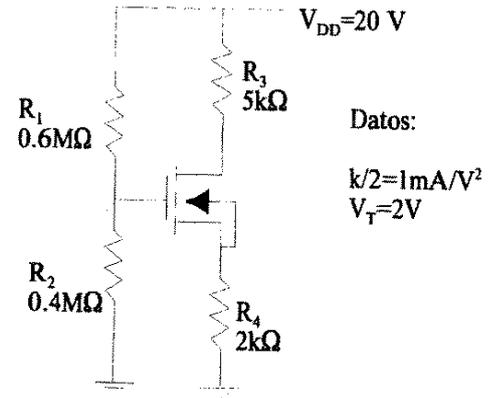
C3.- Dado el circuito de la figura y la característica de salida de la figura siguiente, se pide:

- Obtener a partir de la figura los parámetros del transistor: k , V_i y V_A (tensión Early). Calcúlese a partir de los valores obtenidos anteriormente el valor de r_o .
- Obténgase el punto de funcionamiento del transistor de la figura 2 suponiendo que no existe efecto Early.



Datos: $R_1=20k\Omega$; $R_2=10K\Omega$; $R_3=1K\Omega$; $V_{DD}=12V$.

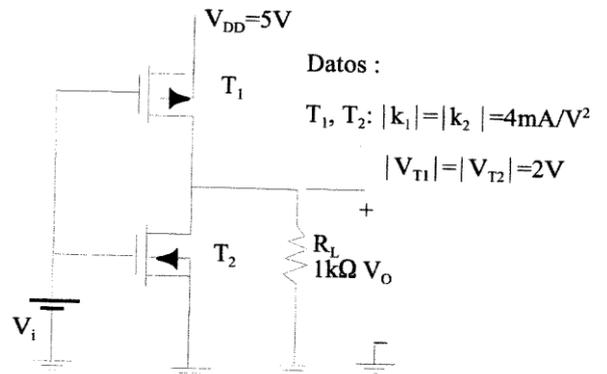
C4.- Calcúlese el punto de funcionamiento del transistor de la figura adjunta (derecha):



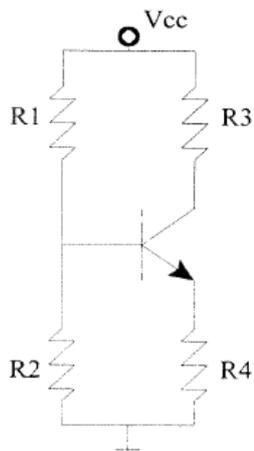
C5.- Dado el circuito de la figura adjunta (izquierda) obtener el punto de funcionamiento de ambos transistores y el valor de la tensión de salida en continua V_o .

C6.- En el circuito de la figura adjunta (derecha), y con los datos que se indican para los transistores, obténgase el valor de V_o e indíquese la zona de funcionamiento de ambos para los valores:

- a) $V_i = 7 V$
- b) $V_i = -5 V$



C7.- En el circuito amplificador autopolarizado de la figura siguiente se pide:



Datos (a 25°C):

$V_{CC} = 12V$

$R1 = R2 = 400K$

$R3 = 2K$

$R4 = 1K$

Transistor:

$\beta = 100$

$V_{BEY} = 0.6V$

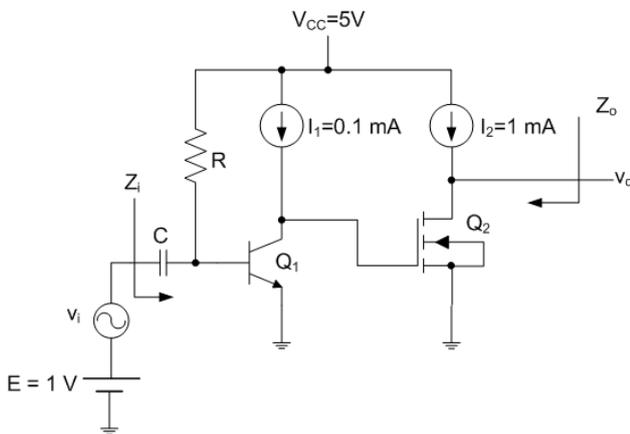
$V_{CEsat} = 0.2V$

- Todas las resistencias tienen un CTR nulo.
- La variación de V_{CC} con la temperatura es nula.
- La variación de V_{BE} con la temperatura es $-2.5 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$.
- La variación de β con la temperatura es del $0.1 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$.
- La variación de I_{CO} con la temperatura es nula.

- Fórmula de la sensibilidad
$$S_P^X = \frac{P}{X} \frac{\partial X}{\partial P}$$

- a) Calcúlese el punto de trabajo si $T = 25^{\circ}\text{C}$
- b) Obténgase la variación relativa de la corriente de colector (I_C) a 50°C a partir del estudio de la sensibilidad del circuito.

C9.- A partir del análisis del circuito de la figura siguiente, y suponiendo que Q_1 está en zona activa y Q_2 en saturación, respóndase a las siguientes preguntas:



- Punto de polarización de los transistores.
- Parámetros del modelo en pequeña señal.
- Circuito equivalente en pequeña señal.
- Expresión literal y valor de la ganancia de tensión (v_o/v_i).
- Expresión literal y valor de la impedancia de entrada, Z_i .
- Expresión literal y valor de la impedancia de salida del circuito, Z_o .

Datos: Q_1 : $V_{BE} = 0.5V$, $\beta_F = 160$, $V_{CEsat} = 0.2V$, $V_{AF} = 100V$ $v_i = A \text{ sen } (\omega t)$
 Q_2 : $V_t = 2V$, $k_I = 1 \text{ mA/V}^2$, $V_A = 100V$ $C \rightarrow \infty$

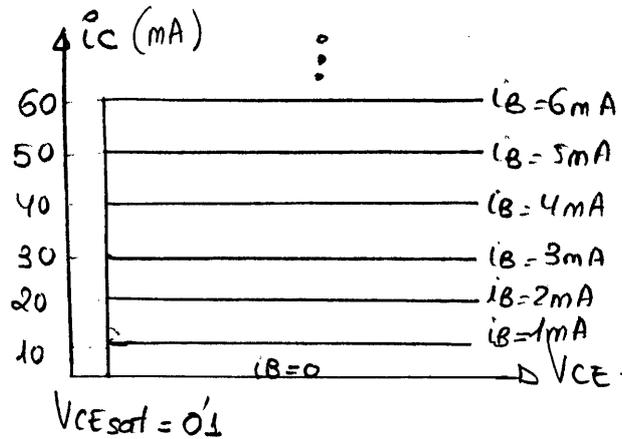
Tema 4. TRANSISTORES

Sección 1: ejercicios de estudio. Soluciones.

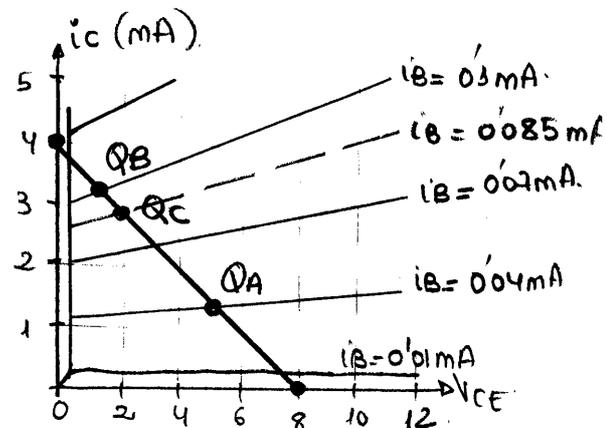
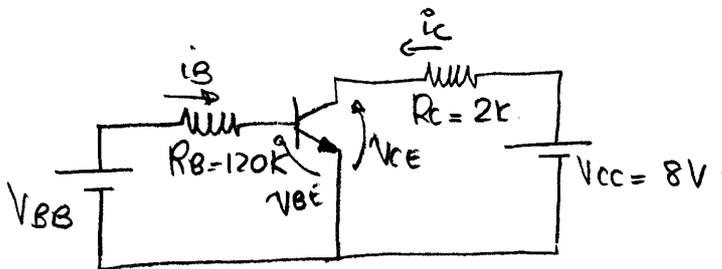
Py. 1

$$\beta_F = 10$$

$$V_{CE\text{sat}} = 0.1\text{V}$$



Py. 2



a) $i_B = 0.04\text{ mA}$

La recta de carga de la red de salida (colector) es igual para todos los apartados.

$$V_{CC} = R_C i_C + V_{CE} \quad \text{Corte en } \begin{cases} V_{CE} = V_{CC} = 8 \\ i_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = 4\text{ mA} \end{cases}$$

El corte con $i_B = 0.04\text{ mA}$ se produce en Q_A .

$$Q_A = (4\text{V}, 1.3\text{ mA}) \quad (\text{aproximadamente})$$

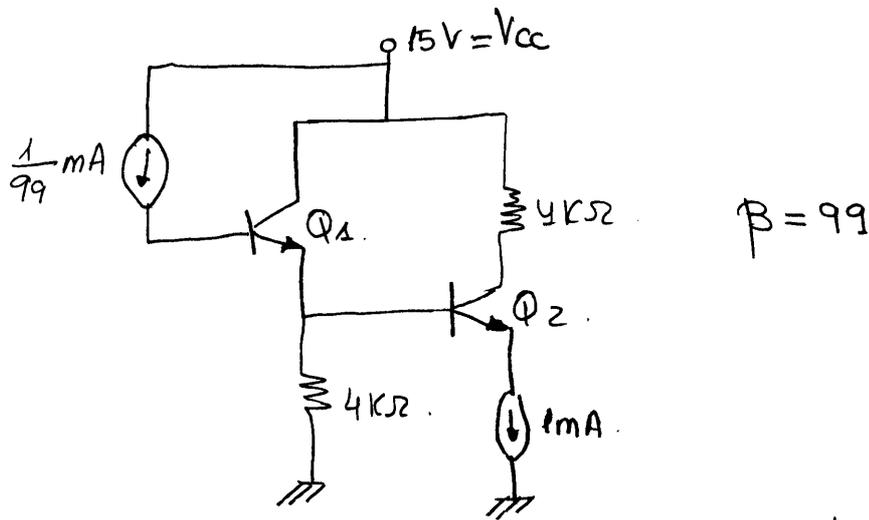
b) $i_B = 0.3\text{ mA}$ El corte con $i_B = 0.3\text{ mA}$ se produce en Q_B

$$Q_B = (1.5\text{V}, 3.2\text{ mA}) \quad (\text{aproximadamente})$$

c) $i_B = 0.085\text{ mA}$. Esta recta no está dibujada, tenemos que interpolarla a partir de las demás de forma aproximada, se muestra en línea discontinua. Corte en Q_C

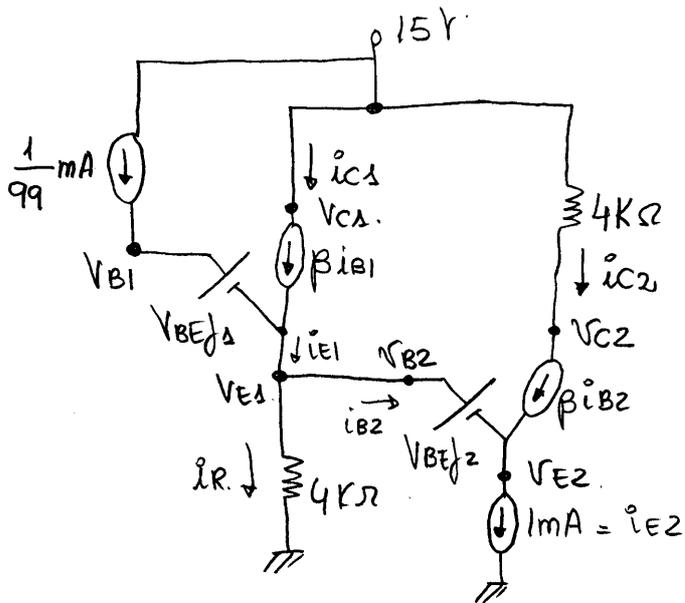
$$Q_C = (2\text{V}, 3\text{ mA}) \quad (\text{aproximadamente})$$

Py. 3



a) Usar el modelo activo para obtener i_c y V_E, V_C y V_B de cada transistor.

Sustituimos los transistores por su equivalente en activa:



* Para el transistor Q_1 .

$$i_{C1} = \beta i_{B1} = 99 \cdot \frac{1}{99} \text{ mA} = 1 \text{ mA}$$

Calculamos el resto de corrientes por el cto, para poder determinar las tensiones V_{C1}, V_{E1} y V_{B1} .

$$i_{E1} = (\beta + 1) i_{B1} = 1.01 \text{ mA}$$

Por otro lado, como $i_{E2} = 1 \text{ mA}$,

$$\text{tenemos que } \begin{cases} i_{C2} = 0.99 \text{ mA} \\ i_{B2} = \frac{i_{E2}}{(\beta + 1)} = 0.01 \text{ mA} \end{cases}$$

y por último, $i_R = i_{E1} - i_{B2} = 1 \text{ mA}$.

$$\text{Por lo tanto } \begin{cases} * V_{E1} = 4 \text{ k}\Omega \cdot i_R = 4 \cdot 1 = 4 \text{ V} \\ * V_{B1} = 4 \text{ V} + V_{BE1} = 4 + 0.7 = 4.7 \text{ V} \\ * V_{C1} = V_{CC} = 15 \text{ V} \end{cases}$$

Por lo tanto, en Q_1 tenemos

$i_{C1} = 1 \text{ mA}$
$V_{E1} = 4 \text{ V}$
$V_{B1} = 4.7 \text{ V}$
$V_{C1} = 15 \text{ V}$

* Para el transistor Q_2 A partir de los cálculos anteriores,

tenemos:

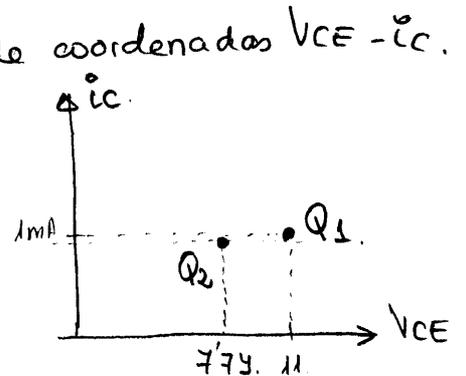
- $i_{c2} = 0.99 \text{ mA}$.
- $V_{B2} = V_{E1} = 4 \text{ V}$.
- $V_{E2} = V_{B2} - V_{BEF2} = 4 - 0.7 = 3.3 \text{ V}$
- $V_{C2} = -4 \cdot i_{c2} + 15 = -4 \cdot 0.99 + 15 = 11.04 \text{ V}$

Q_2	$i_{c2} = 0.99 \text{ mA}$
	$V_{E2} = 3.3 \text{ V}$
	$V_{B2} = 4 \text{ V}$
	$V_{C2} = 11.04 \text{ V}$

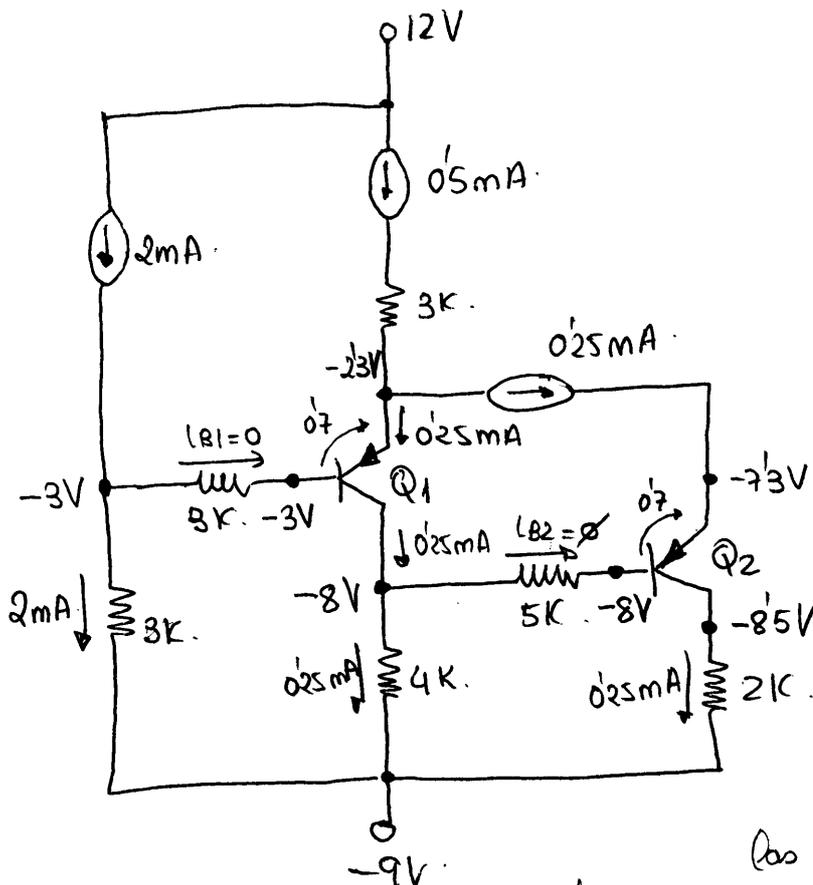
b) Representar cada punto Q en un sistema de coordenadas $V_{CE} - i_c$.

$$Q_1 = (V_{CE1}, i_{c1}) = (11 \text{ V}, 1 \text{ mA})$$

$$Q_2 = (V_{CE2}, i_{c2}) = (7.74 \text{ V}, 0.99 \text{ mA})$$



P4.4



① Marcamos $i_{B1} = i_{B2} = 0$

② Teniendo en cuenta que en cada trt $i_c = i_e$, vamos obteniendo las corrientes del circuito con la 2ª ley de Kirchhoff

③ Desde la pila de -9V subimos hacia arriba por cada rama marcando las tensiones en cada nodo,

teniendo en cuenta que $V_{BE} = V_{BEF} = -0.7$

②

Por lo tanto, nos queda:

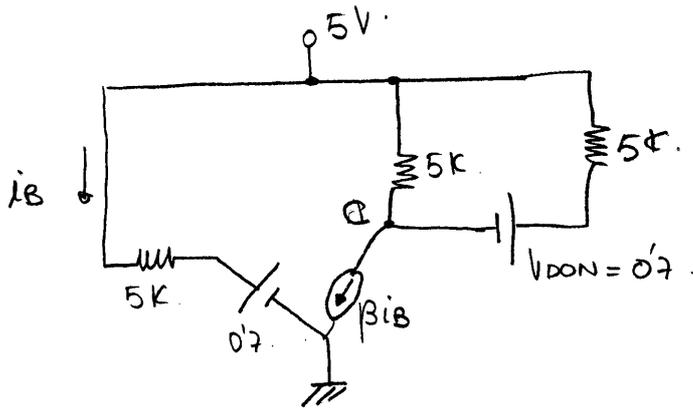
$$Q_1 = (V_{CE1}, i_{C1}) = (-5.7V, -0.25mA)$$

$$Q_2 = (V_{CE2}, i_{C2}) = (-1.2, -0.25mA)$$

Efectivamente, está en activa ya que $V_{CEsat} > -0.2$

P4.5

Circuito equivalente:



$$i_B = \frac{5 - 0.7}{5k} = 0.86 \text{ mA}$$

$$i_C = \beta i_B = 17.2 \text{ mA}$$

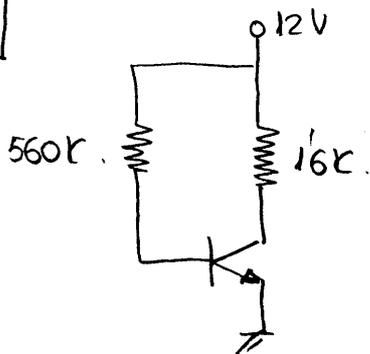
Ley de corrientes en nodo C (colector)

$$17.2 \text{ mA} = \frac{5 - V_C}{5k} + \frac{5 - 0.7 - V_C}{5k}$$

Despejando, $V_C = -38.35V$

Esto significa que $V_{CE} = -38.35V$, que es incompatible con la condición $V_{CE} > V_{CEsat} \Rightarrow V_{CE} > 0.2V$ para que el trt esté en activa \Rightarrow SUPOSICIÓN INCORRECTA sobre el estado de los dispositivos.

P4.6

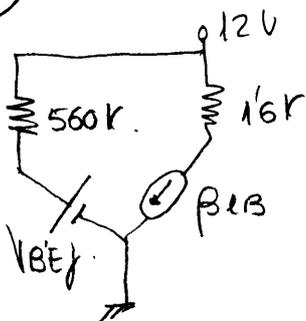


$$\beta(27^\circ C) = 150$$

$$V_{BEf}(27^\circ C) = 0.7V$$

$$\alpha_{TB} = 0.7$$

a) Obtener Q a $27^\circ C$, suponiendo trt en activa



$$i_B = \frac{12 - V_{BEf}}{560} = \frac{12 - 0.7}{560} = 0.02017 \text{ mA}$$

$$i_C = \beta i_B = 3.0267 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = -16 \cdot 3.0267 + 12 = 7.1571 \text{ V} \quad (\text{OK activa})$$

Despues Q

$$\left\{ \begin{array}{l} I_B = 0'02017 \text{ mA} \quad I_C = 3'0267 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0'7 \quad V_{CE} = 7'1571 \text{ V} \end{array} \right.$$

b) Nuevo Q a 60°C

$$V_{BE}(60^\circ\text{C}) = V_{BE}(27^\circ\text{C}) - 0'002(60 - 27) = 0'634 \text{ V}$$

$$\beta(333^\circ\text{K}) = \beta(300^\circ\text{K}) \left(\frac{333}{300} \right)^{1.7} = 179'1184$$

Mismas fórmulas que antes:

$$I_B = \frac{12 - 0'634}{560} = 0'02029 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta I_B = 3'635 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = -1'6 \cdot 3'635 + 12 = 6'183 \text{ V} \quad (\text{OK activa})$$

Despues Q

$$\left\{ \begin{array}{l} I_B = 0'02029 \text{ mA} \quad I_C = 3'635 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0'634 \text{ V} \quad V_{CE} = 6'183 \text{ V} \end{array} \right.$$

c) Nuevo Q a -25°C

$$V_{BE}(-25^\circ\text{C}) = V_{BE}(27^\circ\text{C}) - 0'002(-25 - 27) = 0'804 \text{ V}$$

$$\beta(248^\circ\text{K}) = 150 \left(\frac{248}{300} \right)^{1.7} = 108'530$$

$$I_B = \frac{12 - 0'804}{560} = 0'01999 \text{ mA}$$

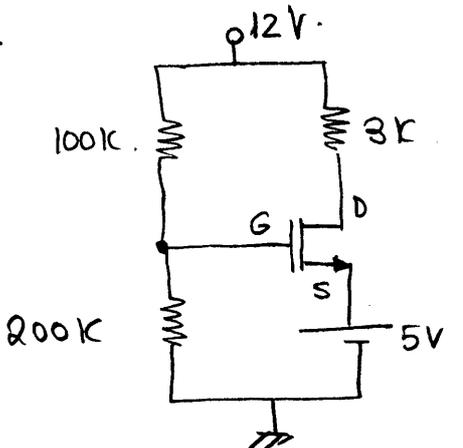
$$I_C = \beta I_B = 2'169 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = -1'6 \cdot 2'169 + 12 = 8'528 \text{ V} \quad (\text{OK activa})$$

Despues Q

$$\left\{ \begin{array}{l} I_B = 0'01999 \text{ mA} \quad I_C = 2'169 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0'804 \text{ V} \quad V_{CE} = 8'528 \text{ V} \end{array} \right.$$

Py. 7

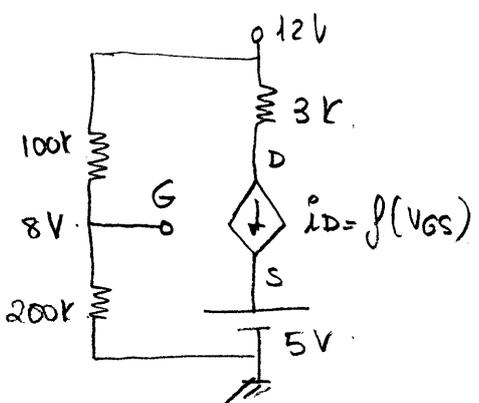


Acumulación canal n

$V_t = 2V$
 $K = 1mA/V^2$

Como $i_G = 0$, $V_G = \frac{12 \cdot 200}{300} = 8V$.

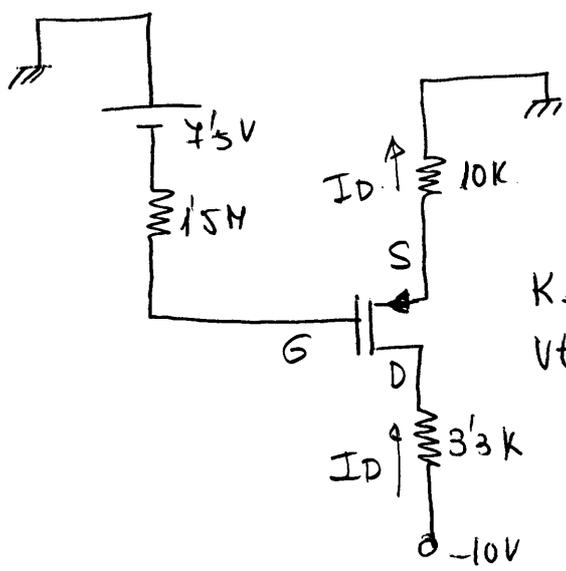
- * Suponemos corte (ninguna corriente por el transistor)
 Tendríamos $V_{GS} = V_G - V_S = 8 - 5 = 3V > V_t \rightarrow$ NO ESTÁ EN CORTE
- * Suponemos saturación (actúa)



$V_{GS} = 3V$
 $i_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_t)^2 = 0.5 (3 - 2)^2 = 0.5 mA$
 $V_{DS} = -3 \cdot 0.5 + 12 - 5 = 5.5V$
 Como $V_{DSsat} = V_{GS} - V_t = 3 - 2 = 1$
 entonces $V_{DS} > V_{DSsat} \rightarrow$ SI ESTÁ EN ACTIVA

luego } $V_{GS} = 3V$
 $V_{DS} = 5.5V$
 $i_D = 0.5 mA$

Py. 8



$K = -1mA/V^2$
 $V_t = -1V$

Obtener Q

* Si supongo CORTE, sale. $V_{GS} = -7.5V \rightarrow$ no compatible con. corte para MOS acumul. canal p ($V_t = -1$)

* Supongo ACTIVA

$$\left. \begin{aligned} V_{GS} &= -7.5 - 10 I_D \\ I_D &= \frac{K}{2} (V_{GS} - V_t)^2 = -0.5 (V_{GS} + 1)^2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} V_{GS} &= -7.5 + 5 (V_{GS} + 1)^2 = \\ &= 5 V_{GS}^2 + 10 V_{GS} - 2.5 \end{aligned}$$

$$5 V_{GS}^2 + 9 V_{GS} - 2.5 = 0$$

$$V_{GS} = \frac{-9 \pm 11.44}{10} \left\{ \begin{aligned} V_{GS1} &= 0.244V \rightarrow \text{no posible, cortado} \\ V_{GS2} &= -2.044V \end{aligned} \right.$$

Substituyendo, $I_D = -0.544mA$

Comprobamos condición sat: $V_{DS} = -3.3 I_D - 10 - 10 I_D = -2.764V$

Como $V_{DSsat} = V_{GS} - V_t = -1.044V \rightarrow V_{DS} < V_{DSsat}$ OK saturación

$$Q = \left\{ \boxed{V_{GS} = -2.044V ; V_{DS} = -2.764V ; I_D = -0.544mA} \right\}$$

Py. 9

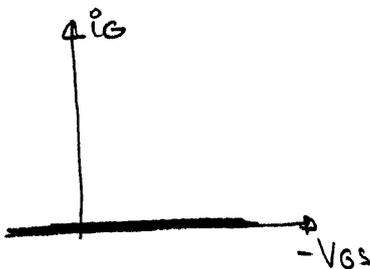
Mosfet canal p $\left\{ \begin{aligned} V_t &= -2V \\ K &= -3mA/V^2 \end{aligned} \right.$

a) ¿Acumulación o deplexión?

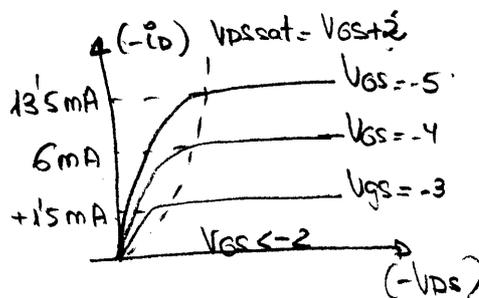
Acumulación ya que V_t es negativo

b) Características de entrada, salida y función de transferencia.

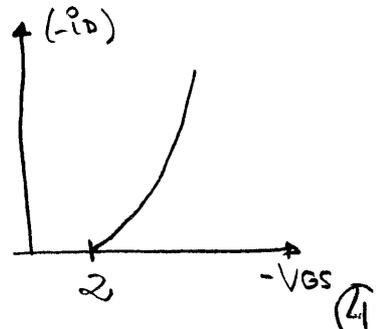
* ENTRADA.



* SALIDA.

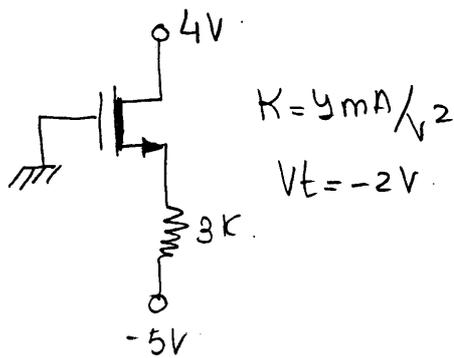


* F. TRANSFERENCIA



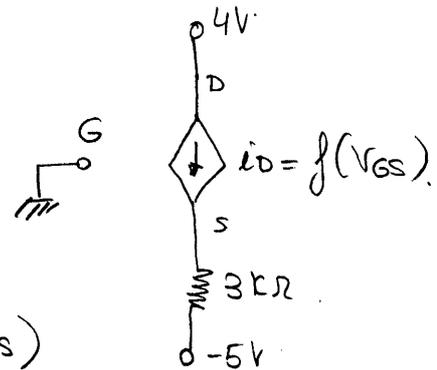
Py. 10

a) Obtener Q del siguiente transistor:



* Si suponemos corte, sale.
 $V_{GS} = 0 - (-5) = 5V \rightarrow$ no posible.
 en corte, ya que $V_{GS} > -2V$.

* Suponemos ACTIVA (saturación)
 ↓



$$\left. \begin{aligned} V_{GS} &= 5 - 3i_D \\ i_D &= 2(V_{GS} + 2)^2 \end{aligned} \right\} \text{ Sistema con } 2 \text{ ecs. y } 2 \text{ incógnitas}$$

Resolvemos la 2ª en la 1ª:

$$V_{GS} = 5 - 6(V_{GS} + 2)^2 = 5 - 6(V_{GS}^2 + 4 + 4V_{GS})$$

$$V_{GS} = 5 - 6V_{GS}^2 - 24 - 24V_{GS}$$

$$6V_{GS}^2 + 25V_{GS} + 19 = 0$$

$$V_{GS} = \frac{-25 \pm 13}{12} < \begin{cases} V_{GS} = -1 \\ V_{GS} = -3.166 \end{cases} \rightarrow \text{no compatible con activa.}$$

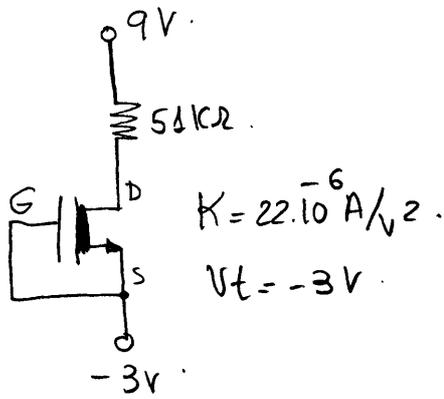
Después tomando $V_{GS} = -1$, $\rightarrow i_D = 2mA$ y obtenemos

$$V_{DS} = 4 + 5 - 3i_D = 3V$$

Como $V_{DSsat} = V_{GS} - V_t = -1 + 2 = 1$, $V_{DS} > V_{DSsat}$ **SI ESTAMOS EN SATURACIÓN**

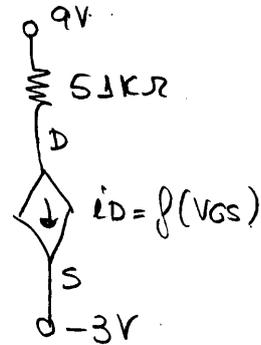
Por lo tanto Q $\left\{ \boxed{V_{GS} = -1, V_{DS} = 3, i_D = 2mA} \right.$

b) Para el siguiente do, obtener el punto Q del transistor y la tensión continua que cae en el resistor.



Como $V_{GS} = 0$, sabemos que está en conducción.

* Suponemos ACTIVA (saturación)



$$i_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_t)^2 = 11 \cdot 10^{-6} (0 + 3)^2 = 0.099 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = -51 \cdot 0.099 + 9 + 3 = 6.95 \text{ V}$$

$$V_{DSsat} = V_{GS} - V_t = 0 - (-3) = 3$$

Como $V_{DS} > V_{DSsat}$ si está en ACTIVA

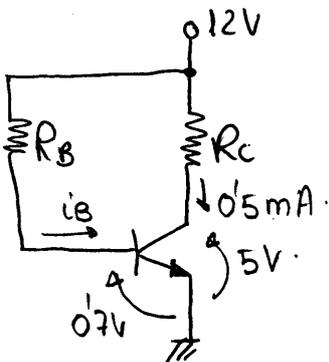
luego $Q = \left\{ \begin{array}{l} V_{GS} = 0, \quad V_{DS} = 6.95 \text{ V}, \quad i_D = 0.099 \text{ mA} \end{array} \right\}$

Py.11

$$\beta = 40$$

Queremos $Q = (5 \text{ V}, 0.5 \text{ mA})$.

a)

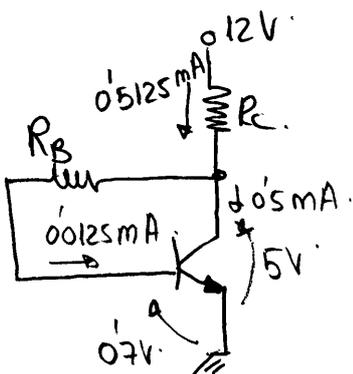


$$R_C = \frac{12 - 5}{0.5} = 14 \text{ k}\Omega = R_C$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0.0125 \text{ mA}$$

$$R_B = \frac{12 - 0.7}{I_B} = \frac{12 - 0.7}{0.0125} = 904 \text{ k}\Omega = R_B$$

b)

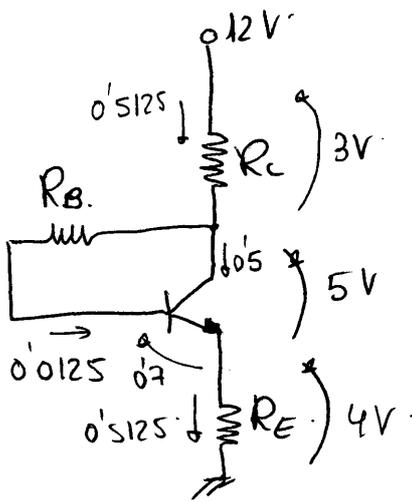


$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0.0125 \text{ mA}$$

$$R_C = \frac{12 - 5}{0.0125} = 1365 \text{ k}\Omega = R_C$$

$$R_B = \frac{5 - 0.7}{0.0125} = 344 \text{ k}\Omega = R_B$$

c)



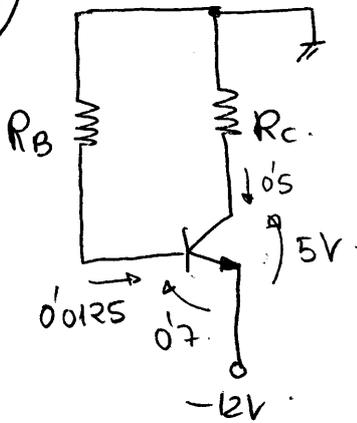
Condición adicional $V_{RC} = 3V$

$$R_C = \frac{3}{0.5125} = \boxed{5.85 \text{ k}\Omega = R_C}$$

$$R_E = \frac{4}{0.5125} = \boxed{7.804 \text{ k}\Omega = R_E}$$

$$R_B = \frac{5 - 0.7}{0.0125} = \boxed{344 \text{ k}\Omega = R_B}$$

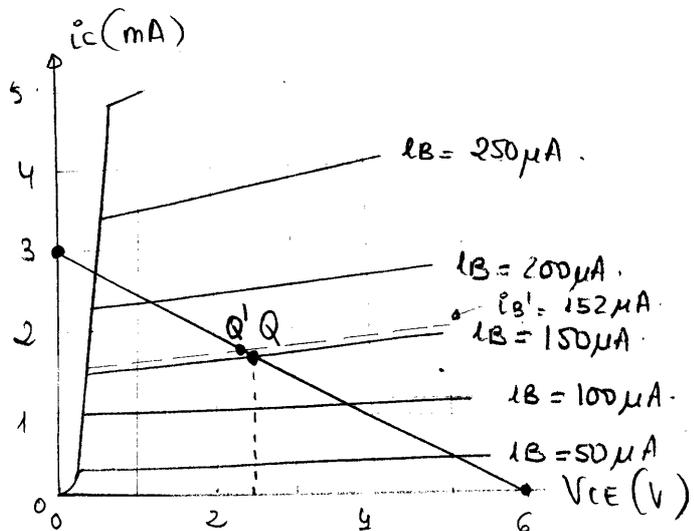
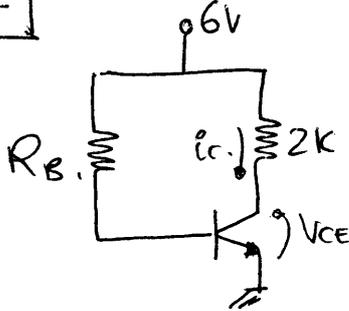
d)



$$R_C = \frac{0 + 12 - 5}{0.5} = \boxed{14 \text{ k}\Omega = R_C}$$

$$R_B = \frac{0 + 12 - 0.7}{0.0125} = \boxed{904 \text{ k}\Omega = R_B}$$

P4.12



a) Mediante recta de carga, valor necesario de R_B para situar al transistor cerca de $V_{CE} = 2.5V$ suponiendo $V_{BE} = 0.7V$.

$$6V = 2I_C + V_{CE} \quad \text{Cortes ejes } \left. \begin{array}{l} 6V \\ 3mA \end{array} \right\}$$

Para leer, $V_{CE} = 2.5$, tomamos el punto Q, que se produce para

$$I_B = 150 \mu A \quad R_B = \frac{6 - 0.7}{150 \mu A} = \boxed{35.3 \text{ k}\Omega = R_B}$$

b) V_{BE} cambia $-2mV/^\circ C$. Si T sube a $75^\circ C$, ¿cambia i_b ?

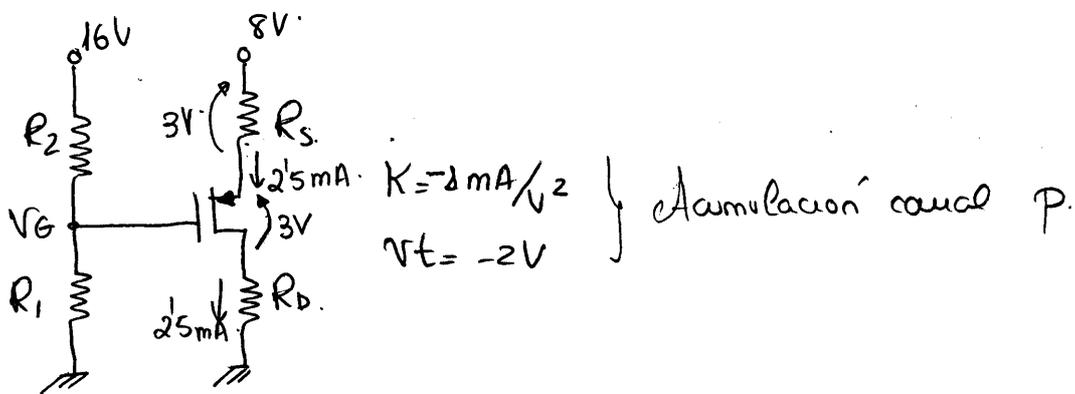
¿Cómo cambia Q en la línea de carga?

$$V_{BE}(75^\circ C) = V_{BE}(27^\circ C) - 0.002(75 - 27) = 0.7 - 0.002 \cdot 48 = 0.604V$$

$$i_b' = \frac{6 - 0.604}{35.3 \cdot 10^3} = 1.528 \cdot 10^{-4} = \underline{152.86 \mu A = i_b'}$$

El cambio de Q a Q' se marca sobre la gráfica (baja un poco V_{BE} y sube un poco i_c).

Py. 13



Polarizado en $Q(-3V, -2.5mA)$, haciendo que V_{RS} sea de $3V$.

Si $V_{RS} = 3V$, como $V_{DS} = -3V$, entonces $V_{RD} = 2V$.

Por lo tanto $R_S = \frac{3}{2.5mA} = \boxed{1.2k\Omega = R_S}$

$R_D = \frac{2}{2.5mA} = \boxed{800\Omega = R_D}$

Para $i_D = -2.5mA$, necesitamos un valor determinado de V_{GS} (activa)

$$i_D = \frac{k}{2}(V_{GS} - V_t)^2 \rightarrow -2.5 = -0.5(V_{GS} + 2)^2 \rightarrow V_{GS} = 0.236 \text{ No válido}$$

$$V_{GS} = -4.23 \text{ OK sat}$$

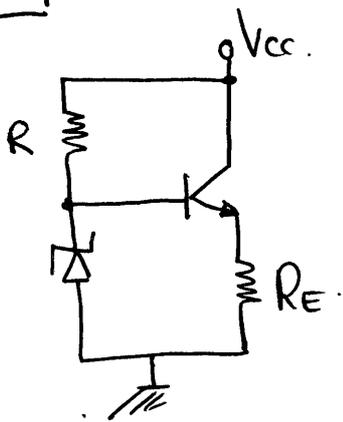
$V_{GS} = V_G - 8 + 3 = -4.23 \rightarrow V_G = 0.77V$

Divisor $V_G = \frac{16 R_1}{R_1 + R_2} = 0.77$. Tomando $R_1 = 10k$, sale $R_2 = 197.79k$

Tema 4. TRANSISTORES.

Sección 2: ejercicios complementarios. Soluciones.

C1



DATOS:

$$R_E = 1K$$

$$V_{CC} = 15$$

$$V_{BE} = 0'6$$

$$V_{CEsat} = 0'2$$

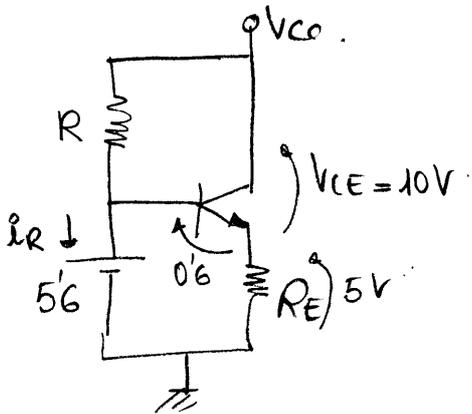
$$\beta = 99$$

$$V_Z = 5'6$$

$$I_{Zmin} = 0'1mA$$

a) Máximo valor de R para diodo en zona Zener.

Si el Zener está en ZENNER, tenemos



Como $V_{CE} = 10V > V_{CEsat} \rightarrow$ ACTIVA.

$$i_E = \frac{5V}{R_E} = \frac{5}{1K} = 5mA$$

$$i_E = (\beta + 1) \cdot i_B \rightarrow i_B = 50\mu A$$

En el peor de los casos, i_R debe ser mayor que i_{Zmin} .

$$i_R = \frac{V_{CC} - 5'6}{R} - i_B = \frac{15 - 5'6}{R} - 50 \cdot 10^{-6} \geq 0'1 \cdot 10^{-3} \rightarrow \boxed{R \leq 62'66K\Omega}$$

b) Q del transistor para:

* $R = 10K\Omega$.

El diodo está en zener, y por lo tanto

$$i_C = \frac{\beta}{\beta + 1} i_E = 4'95mA \rightarrow i_B = 50\mu A$$

$$V_{CE} = 10V \text{ y } V_{BE} = 0'6$$

$$i_E = 5mA$$

$$\boxed{\begin{array}{l} V_{BE} = 0'6 \\ i_B = 50\mu A \\ V_{CE} = 10V \\ i_C = 4'95mA \end{array}}$$

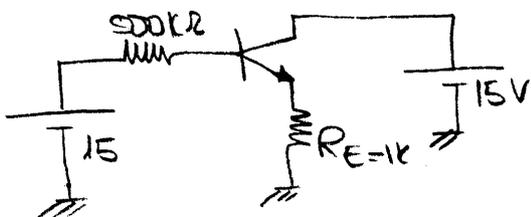
* $R = 500K\Omega \rightarrow$ Zener en OFF.

SUPONGO ACTIVA.

$$15 = 500 i_B + 0'6 + (\beta + 1) i_B$$

$$i_B = 24\mu A \rightarrow i_E = 2'4 \cdot 10^{-3} A$$

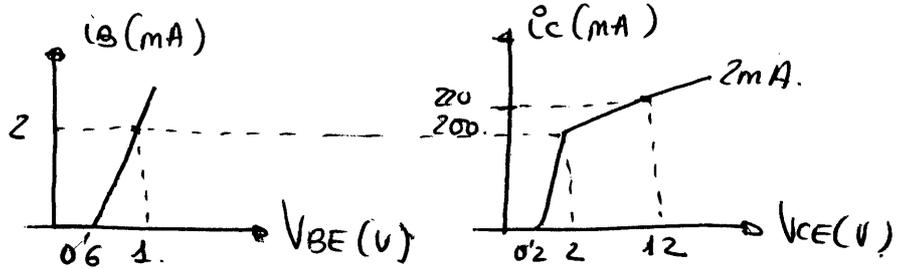
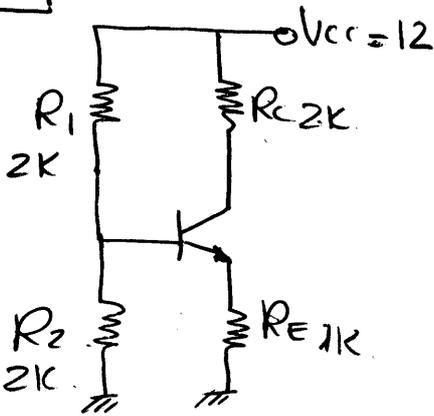
$$V_{CE} = 15 - 1000 \cdot 2'4 \cdot 10^{-3} = 12'6 \rightarrow \underline{OK}$$



después

$$\begin{aligned} V_{BE} &= 0'6 \\ I_B &= 24 \mu A \\ V_{CE} &= 12'6 \\ I_C &= 2'376 \text{ mA} \end{aligned}$$

C.2



a) Modelo y parámetros para activa directa y saturación

$$V_f = 0'6$$

$$r_d = \frac{1 - 0'6}{2 \cdot 10^{-3}} = 200 \Omega$$

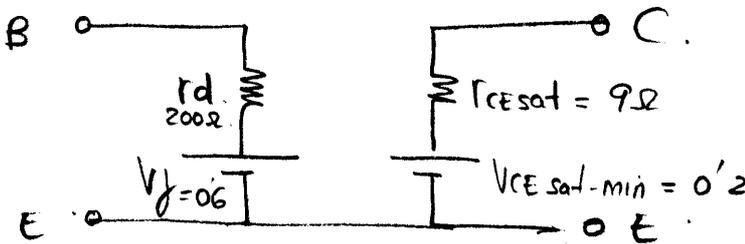
$$\beta_F = \frac{200 \text{ mA}}{2 \text{ mA}} = 100$$

$$V_{CEsat} = 0'2$$

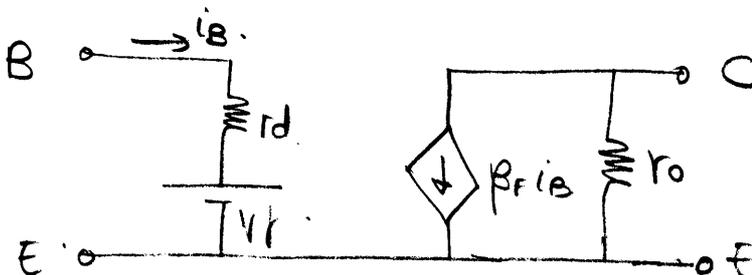
$$r_{CEsat} = \frac{2 - 0'2}{200 \cdot 10^{-3}} = 9 \Omega$$

$$r_o = \frac{12 - 2}{(270 - 200) \cdot 10^{-3}} = 500 \Omega$$

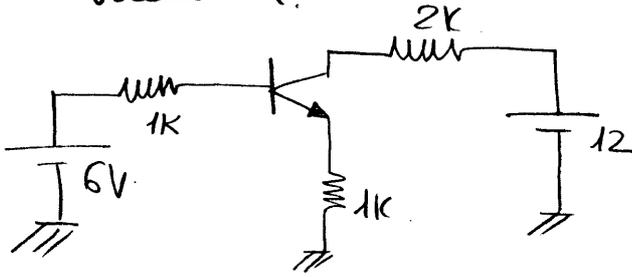
Modelo en saturación



Modelo en activa



b) Suponiendo $r_{d1} \rightarrow 0$, $r_{cesat} \rightarrow 0$, $V_A \rightarrow \infty$, obtener Q.



Suponemos ACTIVA.

$$6 = i_B + 0.6 + (\beta + 1)i_B \rightarrow i_B = 52.94 \mu A$$

$$i_C = 5.29 \text{ mA}, \quad i_E = 5.34 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = -2 \cdot 5.29 + 12 - 5.34 = -3.92 \rightarrow \text{NO ES ACTIVA}$$

Estará en SATURACIÓN

$$\begin{cases} 6 = i_B + 0.6 + i_B + i_C \\ 12 = 2i_C + 0.2 + i_B + i_C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 5.4 = 2i_B + i_C \\ 11.8 = i_B + 3i_C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 5.4 = 2i_B + i_C \\ -23.6 = -2i_B - 6i_C \\ \hline -18.2 = -5i_C \end{cases}$$

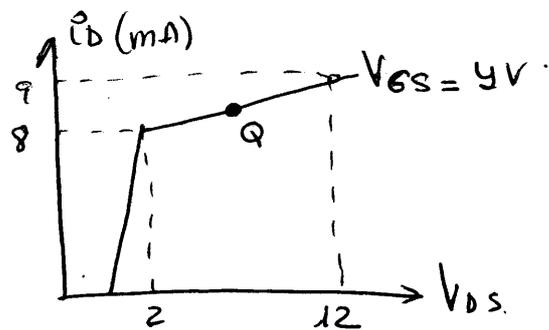
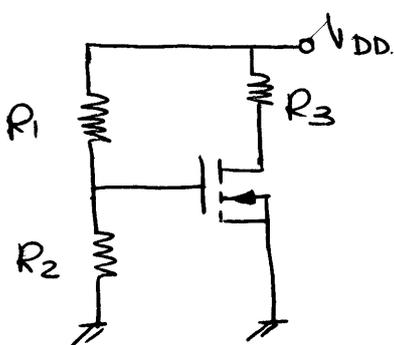
$$i_B = 0.88 \text{ mA}$$

$$i_C = 3.64 \text{ mA}$$

Como $\beta i_B = 88 \text{ mA} > i_C \rightarrow$ ESTÁ EN SATURACIÓN

$$\text{Luego } \boxed{\begin{matrix} i_B = 0.88 \text{ mA} & i_C = 3.64 \text{ mA} \\ V_{BE} = 0.6 \text{ V} & V_{CE} = 0.2 \text{ V} \end{matrix}}$$

C.3



DATOS $R_1 = 20K$, $R_2 = 10K$, $R_3 = 1K$, $V_{DD} = 12$

a) Obtener K , V_T y V_A . También r_o .

$$V_{DSSat} = V_{GS} - V_T \rightarrow 2 = 4 - V_T \rightarrow \boxed{V_T = 2V}$$

$$I_{Dsat} = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \rightarrow 8 \cdot 10^{-3} = \frac{K}{2} (4 - 2)^2 \rightarrow \boxed{K = 4 \text{ mA/V}^2}$$

$V_A \Rightarrow$ Por triángulos semejantes:

$$\frac{1 \text{ mA}}{10 \text{ V}} = \frac{8 \text{ mA}}{V_A + 2} \rightarrow \boxed{V_A = 78 \text{ V}}$$

$$r_o = \frac{10}{1 \text{ mA}} = \boxed{10 \text{ k}\Omega = r_o}$$

b) Obtener Q sin efecto early.

$$V_{GS} = V_G = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{12 \cdot 10}{30} = 4 \text{ V}$$

Supongo ACTIVA

$$i_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2 = 2 \cdot 10^{-3} (4 - 2)^2 = 8 \text{ mA}$$

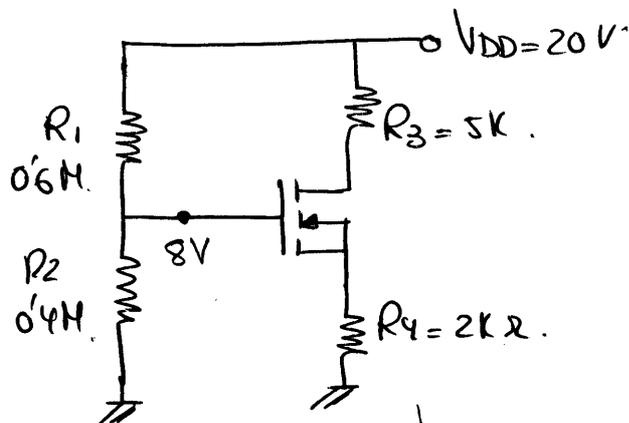
$$V_{DS} = -i_D R_3 + V_{DD} = 4 > \underbrace{V_{GS} - V_T}_2 \Rightarrow \underline{\underline{\text{Si ACTIVA}}}$$

luego

$$\boxed{\begin{array}{l} V_{GS} = 4 \text{ V} \\ V_{DS} = 4 \text{ V} \\ i_D = 8 \text{ mA} \end{array}}$$

C-4

Obtener Q



$$\frac{K}{2} = 1 \text{ mA/V}^2$$

$$V_T = 2 \text{ V}$$

Cortado no puede estar. (saldría $V_{GS} = 8$, que es $> V_T$)

Supongo ACTIVA.

$$V_{GS} = 8 - R_4 \cdot i_D$$

$$i_D = \frac{K}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \rightarrow \begin{cases} V_{GS} = 8 - 2 \cdot 1 \cdot (V_{GS} - 2)^2 \\ V_{GS} = 8 - 2(V_{GS}^2 + 4 - 4V_{GS}) \\ V_{GS} = 8 - 2V_{GS}^2 - 8 + 8V_{GS} \end{cases}$$

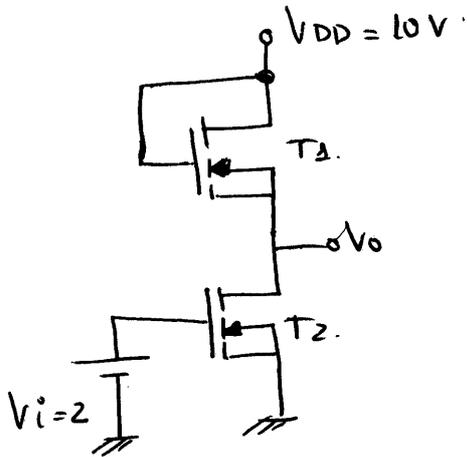
$$2V_{GS}^2 = 4V_{GS} \rightarrow V_{GS} = 3.5 \rightarrow i_D = 2.25 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_3 + R_4) i_D = 4.25 \text{ V} > \underline{\underline{V_{GS} - V_T}} \rightarrow \text{Bien activa}$$

después

$$\begin{aligned} V_{GS} &= 3.5V \\ V_{DS} &= 4.25V \\ i_D &= 2.25mA \end{aligned}$$

C.5 Obtener Q de ambos transistores y V_o



Datos:

$$T_1: K_1 = 4 \text{ mA/V}^2, V_{T1} = 2V$$

$$T_2: K_2 = 18 \text{ mA/V}^2, V_{T2} = 1V$$

T_1 está en ACTIVA por la conexión GD $\Rightarrow V_{GS} = V_{DS} > V_{GS} - V_T$.

Voy a suponer T_2 también en activa.

$$V_{GS2} = 2V \Rightarrow i_{D2} = 9(2-1)^2 = 9 \text{ mA}$$

$$\text{Como } i_{D1} = i_{D2} = 2(V_{GS1} - 2)^2 = 9 \text{ mA} \Rightarrow V_{GS1} = 4.1213V$$

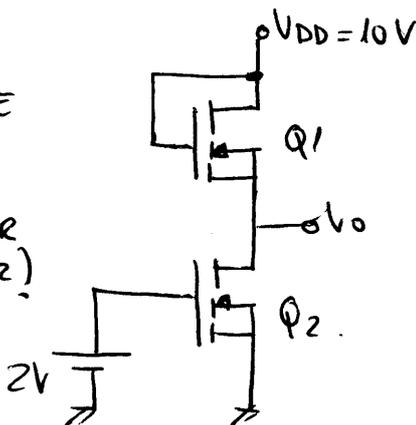
$$V_{DS1} = 4.1213V \text{ y } V_{DS2} = 10 - 4.1213 = 5.87V > \frac{2-1}{V_{GS}-V_T} \text{ Bien en activa}$$

después

$$\begin{aligned} T_1 & \left\{ \begin{array}{l} V_{GS1} = 4.1213V \\ i_{D1} = 9 \text{ mA} \\ V_{DS1} = 4.1213V \end{array} \right. & T_2 & \left\{ \begin{array}{l} V_{GS2} = 2V \\ i_{D2} = 9 \text{ mA} \\ V_{DS2} = 5.87V \end{array} \right. \end{aligned}$$

C.5/b)

¡QUITADO DE COLECCIÓN FINAL POR SER SIMILAR AL ANTERIOR!



$$Q_1 = \left\{ \begin{array}{l} K_1 = 4 \text{ mA/V}^2 \\ V_{T1} = 2V \end{array} \right.$$

$$Q_2 = \left\{ \begin{array}{l} K_2 = 9 \text{ mA/V}^2 \\ V_{T2} = 1V \end{array} \right.$$

Obtener corriente por V_{DD} y zona de funcionamiento de los tr's.

Q_1 está en ACTIVA ($V_{GS1} = V_{DS1}$)

Supongamos Q_2 en activa:

$$V_{GS2} = 2 \rightarrow i_{D2} = 4.5 (2-1)^2 = 4.5 \text{ mA}$$

$$i_{D1} = i_{D2} = 4.5 \text{ mA} = 2 (V_{GS1} - 2)^2 \rightarrow V_{GS1} = 3.5 \text{ V}$$

$$V_{DS1} = 3.5 \text{ V}$$

$$V_{DS2} = V_{DD} - V_{DS1} = 10 - 3.5 = 6.5 \text{ V} > \underbrace{V_{GS2} - V_{T2}}_{=}$$

Correcto en activa.

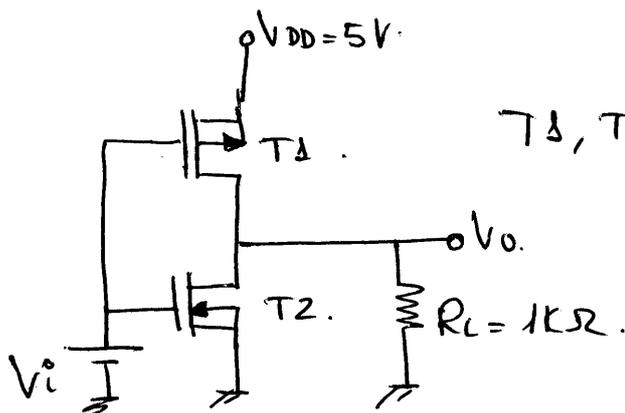
luego

$$i_{VDD} = i_D = 4.5 \text{ mA}$$

$$Q_1 \text{ en activa } \left\{ \begin{array}{l} V_{GS1} = 3.5 \text{ V} \\ i_{D1} = 4.5 \text{ mA} \\ V_{DS1} = 3.5 \text{ V} \end{array} \right.$$

$$Q_2 \text{ activa } \left\{ \begin{array}{l} V_{GS2} = 2 \\ i_{D2} = 4.5 \text{ mA} \\ V_{DS2} = 6.5 \text{ V} \end{array} \right.$$

C6



$$T_1, T_2 : |K_1| = |K_2| = 9 \text{ mA/V}^2$$

$$|V_{T1}| = |V_{T2}| = 2 \text{ V}$$

a) $V_i^0 = 7 \text{ V}$

$$V_{GS1} = V_i^0 - V_{DD} = 7 - 5 = 2 \text{ V} \rightarrow \text{CORTADO (en el límite)}$$

$V_{GS2} = V_i^0 = 7 \text{ V} \rightarrow$ conduce. Supongamos OHMICA, ya que al estar T_1 cortado, se ve que no puede estar en activa ya que V_o saldría negativa.

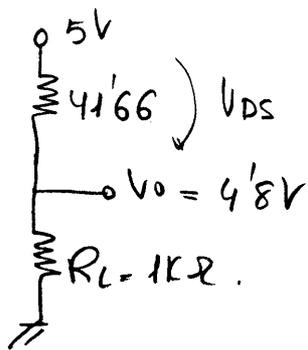
luego $\left\{ \begin{array}{l} T_1 \text{ cortado} \\ T_2 \text{ ohmica} \end{array} \right. \rightarrow \boxed{V_o = 0 \text{ V}}$

b) $V_i = -5 \text{ V}$

$$V_{GS1} = -5 - 5 = -10 \text{ V} \rightarrow \text{conduccion, voy a suponer OHMICA}$$

$$V_{GS2} = V_i^0 = -5 \text{ V} \Rightarrow \text{CORTADO}$$

$$r_{dson} = \frac{1}{\frac{k}{2}(V_{GS} - V_T)} = \frac{1}{-2 \cdot 10^3 (-10 - 2)} = 41'66 \Omega$$



$$V_{DS} = 4'8 - 5 = -0'2 V$$

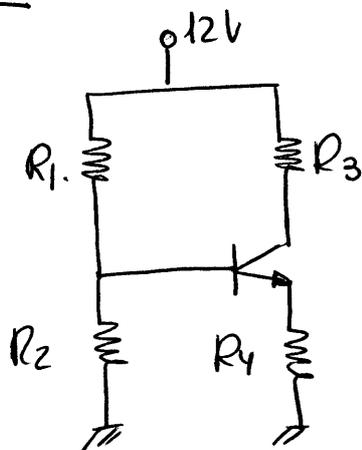
$$|V_{DS}| = 0'2 < \underbrace{|V_{GS} - V_T|}_{12}$$

Buen ohmica

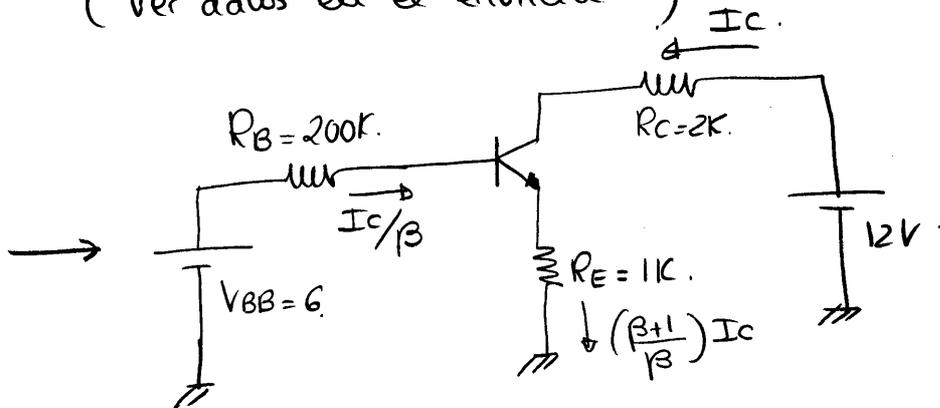
despues } T_2 cortado
 } T_3 ohmica

$$V_0 = 4'8 V$$

C.7



(Ver datos en el enunciado)



a) Punto de trabajo si $T = 25^\circ C$.

En corte se ve que no puede estar. Supongo ACTIVA y nombro todas las corrientes en función de I_B o I_C (en este caso escijo I_C porque viene mejor para el siguiente apartado).

$$V_{BB} = R_B \cdot \frac{I_C}{\beta} + V_{BE} + R_E \left(\frac{\beta+1}{\beta} \right) I_C$$

$$6 = \frac{200}{100} I_C + 0'6 + \frac{101}{100} I_C \rightarrow \underline{I_C = 1'794 mA}$$

$$V_{CE} = -R_C I_C + 12 - R_E \left(\frac{\beta+1}{\beta} \right) I_C = 6'604 V > V_{CEsat}. \underline{OK activa}$$

$$\text{despues } Q = \left\{ \begin{array}{ll} V_{BE} = 0'6 & V_{CE} = 6'604 \\ I_B = 0'0179 mA & I_C = 1'794 mA \end{array} \right.$$

b) Variación relativa de I_C a 50°C a partir del estudio de la sensibilidad.

$$I_C = \frac{\beta(V_{BB} - V_{BE})}{R_B + (\beta + 1)R_4}$$

• $S_{V_{BE}}^{I_C} = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} \cdot \frac{V_{BE}}{I_C}$ (desarrollado en teoría)

$$S_{V_{BE}}^{I_C} = \frac{-V_{BE}}{V_{BB} - V_{BE}} = -0,11$$

• $S_{\beta}^{I_C} = \frac{\partial I_C}{\partial \beta} \cdot \frac{\beta}{I_C}$ (desarrollado en teoría)

$$S_{\beta}^{I_C} = \frac{R_B + R_4}{R_B + (\beta + 1)R_4} = 0,66$$

Desp. $\frac{\Delta I_C}{I_C} = S_{V_{BE}}^{I_C} \cdot \frac{\Delta V_{BE}}{V_{BE}} + S_{\beta}^{I_C} \cdot \frac{\Delta \beta}{\beta} =$

$$= (-0,11) \cdot \frac{(-2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 25^\circ)}{0,6} + 0,66 \cdot \frac{2,5}{100} = \boxed{2,79\% = \frac{\Delta I_C}{I_C}}$$