ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN BÁSICAS
EXAMEN FINAL – JUNIO 2013

APELLIDOS:	**SOLUCIÓN**	NOMBRE:	

- Escriba su nombre y apellidos en los recuadros.
- No separe las hojas.
- Responda a cada cuestión en el espacio reservado para ello (bajo el enunciado y en la cara posterior de la hoja).

EJERCICIO 1. (2,5 puntos)

Midiendo en el circuito de la figura 1.1 con las sondas del osciloscopio en posición x1 se obtiene el oscilograma de su derecha. Se sabe que cada canal del osciloscopio muestra, en esa posición (X1) y en continua, una resistencia de entrada de 1 MΩ, que aparece en paralelo con un condensador de 100 pF para tensiones variables con el tiempo.

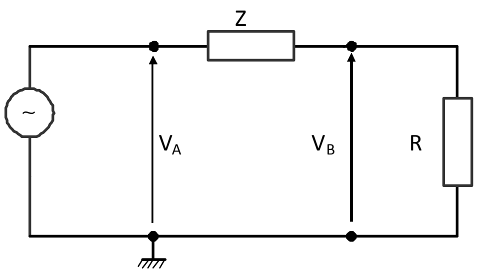


Figura 1.1

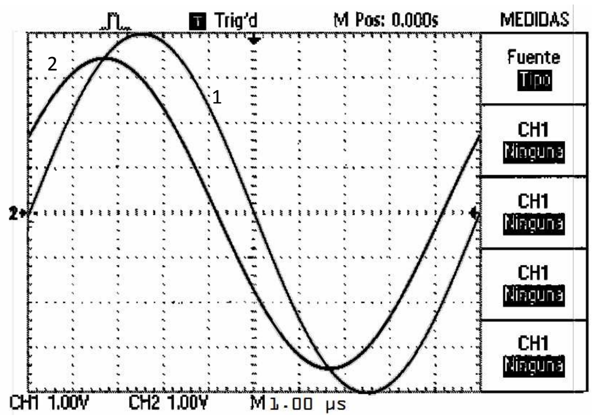


Figura 1.2

1. A la vista de las trazas 1 y 2 de la pantalla del osciloscopio, identifique razonadamente a qué tensión (V_A o V_B) corresponde cada una y proporcione los valores de sus amplitudes y frecuencia ....(0.25 p)

   Las sensibilidades de ambos canales verticales del osciloscopio son idénticas en la pantalla, por lo que V_1 es mayor que V_2. Por otra parte V_A está medida en bornes de un generador ideal de tensión y V_B en bornes de una parte de un divisor de esa tensión V_A y que está formado por elementos pasivos, es decir la amplitud de V_A ha de ser, necesariamente, mayor que V_B, por lo que V_1 se corresponderá con V_A y V_2 con V_B. La amplitud de la tensión 1 es de 4V y la de 2 es de 3,5V. Ambas señales ocupan 10 divisiones en un periodo completo, por lo tanto $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10cm \bullet 1\mu s/cm} = 100kHz$

2. Tomando como origen de fases la tensión de salida del generador, exprese las tensiones en los puntos A y B con respecto a masa en función del tiempo y como fasores ....(0.5 p)

   Se observa que la tensión 2 está adelantada con respecto a la 1 en 0,8cm, es decir un tiempo de 0,8μS, por lo que se podrán expresar como:

$$v_A(t) = v_1(t) = 4sen\left(2.10^5 \pi t\right) V \Rightarrow V_A = 4V$$

y

$$v_B(t) = v_2(t) = 3{,}5sen\left(2.10^5 \pi \left(t + 8.10^{-7}\right)\right) V = 3{,}5sen\left(2.10^5 \pi t + 0.16\pi\right) V \Rightarrow V_B = 3{,}5_{\angle 0.16\pi} V = \left(3{,}07 + j1{,}69\right) V$$

Suponga, en todo lo que sigue, que la amplitud de V_A es de 4V y la V_B es de 3,5V con las fases respectivas que haya calculado antes.

3. Halle la caída de tensión (en módulo y fase) en el elemento desconocido .... (0.75 p)

   Se ve que el desfasaje es del orden de 30º. La caída de tensión en Z será:

$$V_Z = V_A - V_B = 4V - \left(3{,}07 + j1{,}69\right)V = \left(0{,}93 - j1{,}69\right)V = 1{,}93_{\angle -61.18^\circ} V \approx 1{,}93_{\angle -60^\circ} V$$

Se sabe que el resistor R tiene un valor óhmico de 1 kΩ y que la impedancia desconocida Z es de tipo reactivo puro.

4. Determine, justificadamente, la corriente en módulo y fase que atraviesa dicho elemento, el tipo de componente de que se trata y el valor de su capacidad o autoinducción .... (1 p)

   La corriente que atraviesa Z será la misma que atraviesa R, ya que, aunque el resistor queda, al medir, en paralelo con la sonda del canal 2 del osciloscopio, la impedancia del conjunto sonda-canal a 100kHz tiene una componente resistiva de 1 MΩ>>1kΩ y una parte reactiva debida a los 100pF del condensador equivalente (datos del problema) despreciables frente a ese valor de R (1 kΩ).

   La parte reactiva será de $X_{Csonda} = \dfrac{1}{2\pi 10^{-10} F \bullet 10^5 Hz} = \dfrac{10^5}{2\pi}\Omega = 15{,}9k\Omega >> 1k\Omega$ *y se compondrá en cuadratura con la R a efectos de la medida , de modo que su paralelo sería prácticamente sólo la R, pues*

$$Z_P = \frac{R}{1 + j\omega CR} = \frac{1k\Omega}{1 + j\left(\dfrac{1}{15{,}9}\right)} = \frac{1k\Omega}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{1}{15{,}9}\right)^2}} \angle \tan^{-1}\left(\frac{1}{15{,}9}\right) = \frac{1k\Omega}{1{,}002} \angle 0{,}063 rad \approx 1k\Omega = R$$

   quedando los errores muy por debajo de la resolución de nuestro osciloscopio. Es decir:

$$I_Z = I_R = \frac{V_B}{R} = \frac{3{,}07 + j1{,}69}{1K\Omega} V = \left(3{,}07 + j1{,}69\right) mA = 3{,}5_{\angle 0{,}16\pi} \approx 3{,}5_{\angle 30^\circ}$$

   Para determinar el tipo de componente vamos a hallar su impedancia

$$Z = \frac{V_Z}{I} = \frac{1{,}93_{\angle -61.18^\circ} V}{3{,}5_{\angle 0{,}16\pi} mA} = 0{,}55_{\angle -89{,}9^\circ} k\Omega \approx 0{,}55_{\angle -90^\circ} k\Omega = \frac{1}{j1{,}81 \bullet 10^{-3}} \Omega = \frac{1}{j1{,}81 \bullet 10^{-3} S}$$

   Se trata, evidentemente, de un condensador con una capacidad tal que :

$$C = \frac{1}{|Z|\omega} = \frac{1{,}81 \bullet 10^{-3} S}{2\pi 10^5 s^{-1}} = 2{,}89 \bullet 10^{-9} F \approx 2{,}9nF$$

EJERCICIO 2. (1,5 puntos)

Se utiliza un hilo de 100 μm de diámetro de la aleación metálica denominada Evanohm (Ni-Cr-Al-Cu), cuya resistividad es ρ = 134 μΩ·cm, para fabricar resistores bobinados como el mostrado en la figura.

1. Obtenga una expresión que relacione la longitud del hilo expresada en metros con su resistencia eléctrica expresada en Ω. ¿Sería útil esta tecnología para fabricar resistores de 1MΩ de resistencia? .... (0,5 puntos)

   La resistencia del hilo se puede obtener a partir de la resistividad del material con el que está hecho, su longitud y su sección mediante la expresión R=ρ·L/S. De aquí se deduce inmediatamente la relación pedida: R=(ρ/S)·L. La resistividad es $134\cdot10^{-6}\Omega\cdot cm=1{,}34\cdot10^{-4}\Omega\cdot cm=1{,}34\cdot10^{-6}\Omega\cdot m$. *La sección es* $S=\pi\cdot r^2=\pi\cdot(50\cdot10^{-6}m)^2=7{,}85\cdot10^{-9}m^2$. *Sustituyendo los valores se obtiene R(Ω)=171(Ω/m)·L(m).*

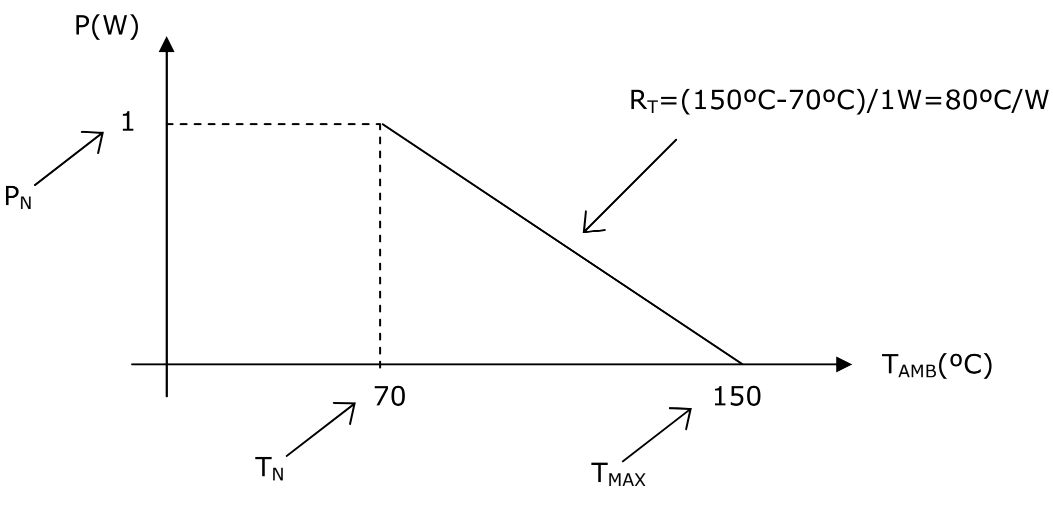
   Si se desea obtener un resistor de 1MΩ es necesario utilizar un hilo de unos 5850m de longitud, que difícilmente podrá ser bobinado de modo que el componente tenga un tamaño razonable. Esta tecnología es, por tanto, apropiada únicamente para la fabricación de resistores de bajo valor óhmico.

Considere en lo sucesivo resistores cuyo hilo tiene 11,7 m de longitud.

2. A una temperatura ambiente de 70ºC (temperatura nominal) la densidad de corriente máxima que puede atravesar el hilo sin que se deteriore irreversiblemente por disipación excesiva de potencia es 285 A/cm^2. Calcule la potencia nominal. .... (0,5 puntos)

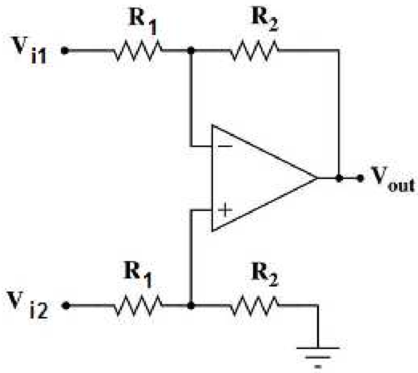
   La resistencia es, usando la expresión anterior, R=2000Ω. La corriente máxima es I=J·S, donde J es la densidad de corriente máxima y S es la sección del conductor, y su valor es $I=285\cdot10^4\,A/m^2\cdot7{,}85\cdot10^{-9}m^2=0{,}022A$. *La potencia máxima es* $P=I^2\cdot R=(0{,}022A)^2\cdot2000\Omega=1W$.

3. Si la temperatura máxima que pueden soportar estos resistores es 150ºC, dibuje la curva de "desvataje" indicando en la figura todas las magnitudes de interés y obtenga el valor de la resistencia térmica de los componentes. .... (0,5 puntos)



EJERCICIO 3. (2puntos)

Suponiendo que el amplificador operacional del montaje que muestra la figura es ideal ($A_d=\infty$, CMRR=∞, $Z_{in}=\infty$, $Z_{out}=0$),



1. Obtenga la expresión de la ganancia diferencial A_{vd} del montaje, definida como la relación entre la tensión de salida V_{out} y la tensión de entrada diferencial $V_d=(V_{i2} - V_{i1})$, ...(0,75 puntos).

La ganancia diferencial es:

$$A_{vd} = \frac{V_{out}}{V_d} = \frac{V_{out}}{V_{i2} - V_{i1}}$$

Por otra parte:

$$\left.\begin{aligned} & v_+ = v_- = v_A = V_{i2}\frac{R_2}{R_1+R_2} \\ & \frac{V_{i1}-v_A}{R_1} = \frac{v_A - V_{out}}{R_2} \end{aligned}\right\} \qquad \frac{V_{i1} - V_{i2}\frac{R_2}{R_1+R_2}}{R_1} = \frac{V_{i2}\frac{R_2}{R_1+R_2} - V_{out}}{R_2}$$

Reordenando:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1}\left(V_{i2} - V_{i1}\right) \Rightarrow A_{vd} = \frac{R_2}{R_1}$$

Sabiendo que los valores nominales de las resistencias son R_1=50k y R_2=100k y que debido a sus tolerancias se mide un CMRR del montaje de 60dB, obtenga:

2. Los valores respectivos de las ganancias en modo diferencial A_{vd} y en modo común A_{vC} (0.5 puntos).

(Si no ha obtenido A_{vd} ni A_{vC}, puede suponer que A_{vd}=4 y $A_{vC}=0.25\cdot10^{-3}$. Si lo hace, debe indicarlo en su examen).

Particularizando para R_1=50k y R_2=100k: $A_{vd} = \frac{R_2}{R_1} = 2$

Conociendo el CMRR podemos obtener A_{vC}:

$$CMRR = 60dB = 20\cdot\log\left(\left(\frac{|A_{vd}|}{|A_{vC}|}\right)\right) \Rightarrow 10^3 = \frac{|A_{vd}|}{|A_{vC}|} \Rightarrow |A_{vC}| = \frac{2}{1000} = \frac{1}{500}$$

Sabiendo que las expresiones de las tensiones de entrada son:

$$V_{i1} = \mathrm{sen}^2(\omega t)$$

$$V_{i2} = \cos^2(\omega t)$$

3. Obtenga los valores de la tensión de salida V_{out_C} en modo común y de la tensión de salida V_{out_d} en modo diferencial que corresponden a las tensiones de entrada anteriores. .... (0,75 puntos).

La tensión de salida V_{out} será:

$$V_{out} = A_{vd} \cdot v_d + A_{vC} \cdot v_C = V_{out\_d} + V_{out\_C}$$

Donde:

$$v_C = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2} = \frac{sen^2(\omega \cdot t) + \cos^2(\omega \cdot t)}{2} = \frac{1}{2}$$

$$v_d = V_{i2} - V_{i1} = \cos^2(\omega \cdot t) - sen^2(\omega \cdot t)$$

Y

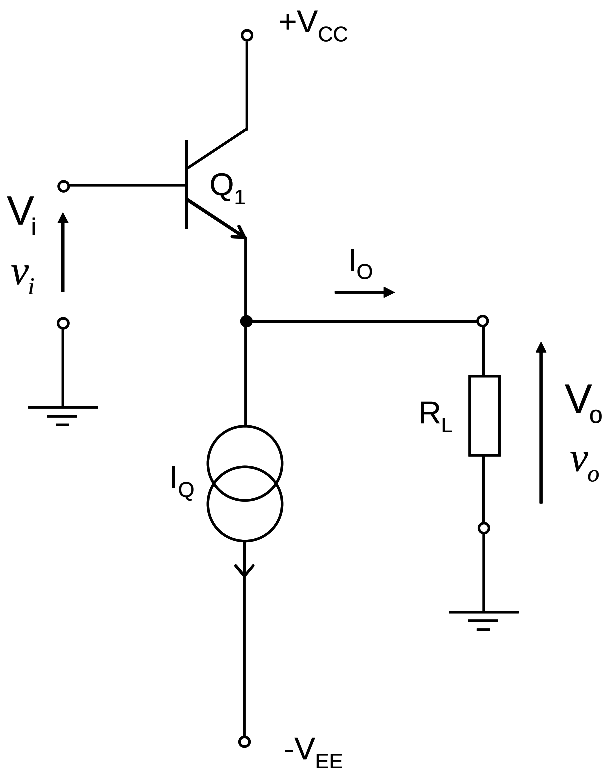
$$V_{out\_d} = A_{vd} \cdot v_d = 2 \cdot \left(\cos^2(\omega \cdot t) - sen^2(\omega \cdot t)\right) = 2 \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t)$$

$$V_{out\_C} = A_{vC} \cdot v_C = \frac{1}{500}\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{1000}$$

(Las unidades de la respuesta se corresponden con las de la excitación).

EJERCICIO 4: (2 puntos)

En la figura se muestra el esquema simplificado de una etapa de salida de Clase A que forma parte de un amplificador integrado. Suponga lo siguiente:



a) La carga R_L se encuentra conectada de forma permanente.

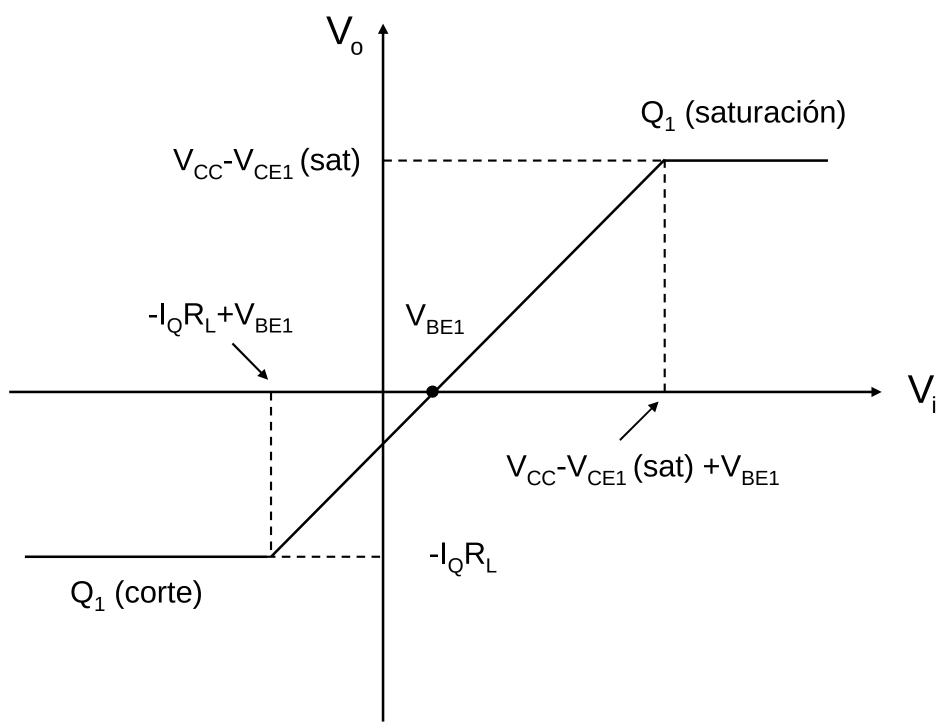
b) La tensión entre la base y el emisor del transistor es constante y de valor V_{BE}.

c) La corriente I_Q es constante y su valor es independiente de cualquier circunstancia que pueda darse en el circuito.

d) El modelo en pequeña señal del transistor bipolar se define mediante los parámetros característicos β, r_π y r_o ($\rightarrow\infty$).

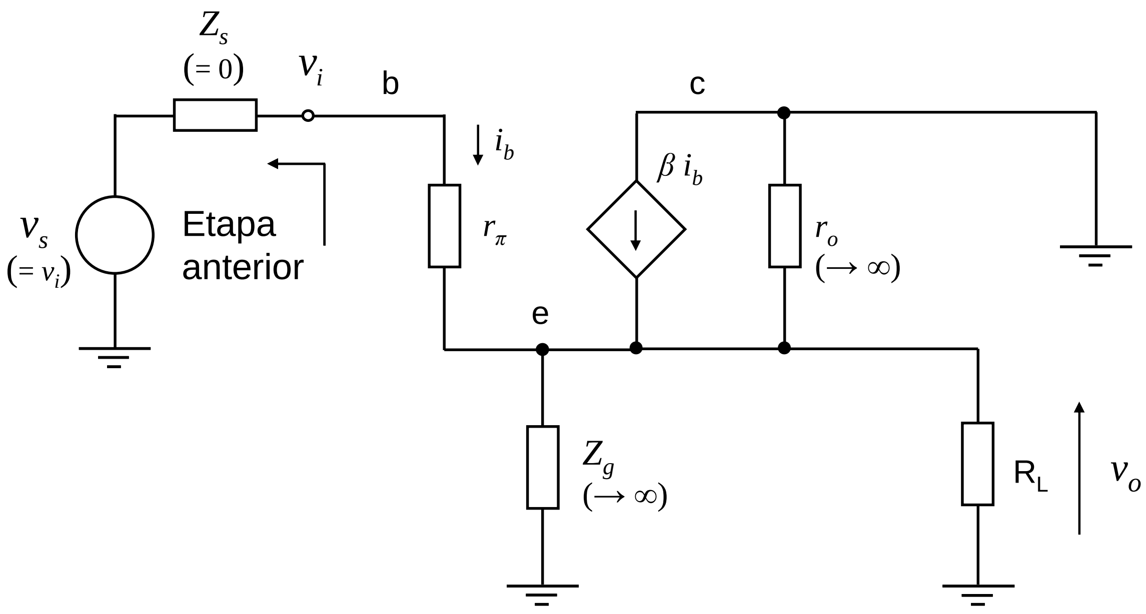
e) La fuente de corriente tiene una impedancia interna en pequeña señal R_F de tipo resistivo.

1. Represente gráficamente la tensión de salida en función de la tensión de entrada en gran señal (continua) de la etapa de salida (V_o frente a V_i), considerando las limitaciones por corte y saturación de Q_1. Indique en el gráfico las expresiones de las tensiones de salida y de entrada en los puntos más relevantes. .... (0,75 puntos)



2. Identifique la configuración básica de amplificación a la que corresponde el circuito. Dibuje el circuito equivalente en pequeña señal de la etapa, indicando los elementos principales y las corrientes y tensiones de interés. Analice el circuito resultante y obtenga una expresión para la ganancia (v_o/v_i) de la etapa de salida. .... (0,75 puntos)

   Se trata de una etapa amplificadora en colector común (seguidor de emisor). El circuito equivalente en pequeña señal, incluyendo la carga y el circuito equivalente de Thévenin de la etapa anterior, es el siguiente:



   Del análisis del circuito se obtiene inmediatamente:

$$v_i = i_b\, r_\pi + (1+\beta) i_b \mathrm{R_L} \qquad\qquad v_o = (1+\beta) i_b \mathrm{R_L}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{\mathrm{R_L}}{\dfrac{r_\pi}{(1+\beta)} + \mathrm{R_L}}$$

3. Realizando las aproximaciones que estime oportunas, simplifique la expresión obtenida y determine a qué valor tiende dicha ganancia. .... (0,25 puntos)

   Si r_π no es muy grande, y para ello basta con que la corriente de colector no sea excesivamente pequeña, el término $r_\pi/(1+\beta)$ es despreciable y la ganancia tiende a 1.

4. Indique la característica que distingue a las etapas de salida de Clase A de las etapas de Clase B o de Clase AB y los inconvenientes que se derivan de ella. .... (0,25 puntos)

   En condiciones normales de operación el transistor está permanentemente en activa y disipando potencia, incluso cuando no hay señal que amplificar.

EJERCICIO 5. (2 puntos)

Se ha montado un amplificador como el representado en la Figura 5.1 polarizado con una corriente constante de drenador I_{DQ}, con un generador ideal en la entrada de amplitud V_i. Suponga en lo que sigue que I_{DQ} = 0.69 mA. Sabiendo que V_p=-3V e I_{DSS}=5mA, y que los condensadores son de una capacidad muy grande, se le pide que:

a. Calcule las tensiones aproximadas de reposo de drenador, puerta y fuente. Justifique las aproximaciones realizadas. (0,5 p)

Es un JFET de canal n por lo que su corriente de drenador en la zona de saturación sería:

$$I_{DQ} = I_{DSS}\left(1-\frac{V_{GSQ}}{V_P}\right)^2 = 0{,}69mA = 5mA\left(1+\frac{V_{GSQ}}{3V}\right)^2 \Rightarrow V_{GSQ} = 3V\left(\pm\sqrt{\frac{0{,}69mA}{5mA}}-1\right) = -1{,}89V\ ó -4{,}11V$$

Sólo vale el signo + de la raíz porque si no estaríamos en presencia de tensiones V_{GSQ} por debajo de la pinch-off, que es de -3V, y el JFET cortado. Por lo tanto $V_{GSQ} = -1{,}89V$ *.*

La tensiones de reposo de puerta y fuente serán:

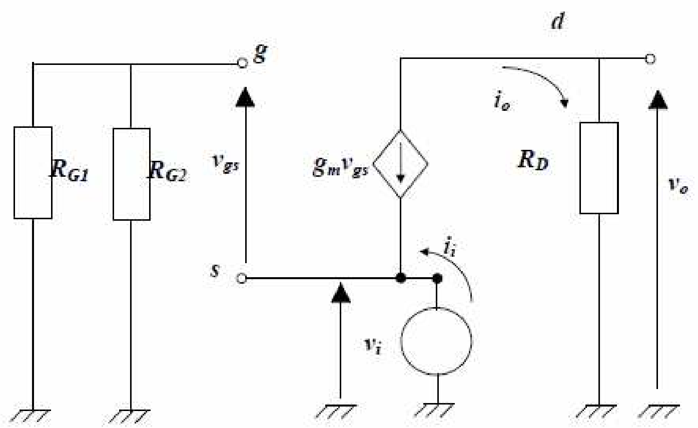
$$V_{GQ} = \frac{V_{DD}R_{G1}}{R_{G1}+R_{G2}} = 5V = V_{GSQ} + V_{SQ} = -1{,}89V + V_{SQ} \Rightarrow \quad V_{SQ} = 6{,}89V \cdot$$

La tensión de reposo de drenador será de $V_{DQ} = V_{DD} - I_{DQ}R_D = 15V - 0{,}69mA \bullet 1k\Omega = 14{,}31V$ *es decir,* $V_{DSQ} = V_{DQ} - V_{SQ} = 14{,}31V - 6{,}89V = 7{,}42V >> V_{DQsat}$ *ya que* $V_{DSsat} \approx V_{GSQ} - V_p = -1{,}89V + 3 = 1{,}11V$ *. Luego el JFET se encuentra trabajando en la zona de saturación (equivalente a la activa de un transistor bipolar).*

b. Indique razonadamente qué tipo de configuración básica es la de la figura. (0,25 p)

*Es un circuito que está excitado por la fuente y tiene salida por el drenador, la tensión de puerta es constante. Por lo tanto se trata de un **circuito de puerta común**, pero como no está directamente a masa para alterna sería de tipo degenerado*

c. Dibuje el circuito equivalente de pequeña señal a frecuencias medias del circuito de la figura y calcule los valores de sus componentes, suponiendo $r_o = \infty$ (0,5 p)



R_{g1}=1k, R_{g1}=2k, $R_{g1}//R_{g2}$=666Ω, R_D= 1k, $g_m = \frac{\partial I_D}{\partial V_{GS}} = -2\frac{\sqrt{I_{Dss}I_{DQ}}}{V_P} = \frac{2}{3V}\sqrt{5mA \bullet 0{,}69mA} = 1{,}24mA/V$

d. Halle la impedancia de entrada, la ganancia de tensión e impedancia de salida a frecuencias medias (módulo y fase) (0,75 p)

$$Z_{in}=\frac{v_i}{i_i}=\frac{-v_{gs}}{-g_m v_{gs}}=\frac{1}{g_m}=\frac{1}{1{,}24mA/V}=806\Omega$$

De la figura anterior, ,

$$A_V=\frac{v_o}{v_i}=\frac{i_o R_D}{v_i}=\frac{-g_m v_{gs} R_D}{-v_{gs}}=g_m R_D \quad (fase \quad nula)$$

Por otra parte, para calcular la impedancia de salida, cortocircuitaremos el generador de la entrada y aplicaremos un generador de tensión en la salida. Este generador vería el paralelo del generador dependiente de corriente y una resistencia R_D a masa. Observe que si la entrada es nula, también lo es la v_{gs} y, por lo tanto, el generador dependiente proporciona una corriente $g_m v_{gs}$ nula (es decir es un circuito abierto o generador ideal de corriente nula), de modo que, en esas circunstancias desde la salida sólo se ve una impedancia R_D, puesta a tierra.

Por lo tanto, $Z_o=R_D=1k\Omega$

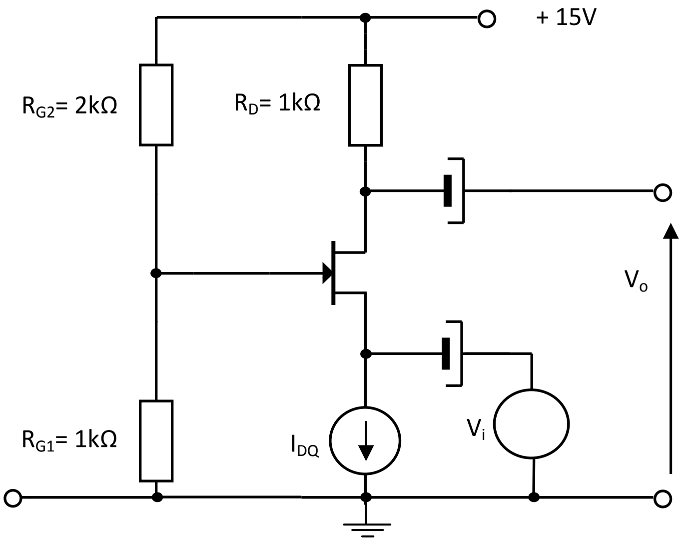


Figura 5.1