



Universidad Simón Bolívar
Departamento de Electrónica y Circuitos
Circuitos Electrónicos I (EC-1177)

Recopilación de problemas de Electrónica I

Realizado por Br. Daniela Curiel
Supervisado por Prof. Jose Restrepo

Version 1.0
Trimestre Septiembre-Diciembre 2005

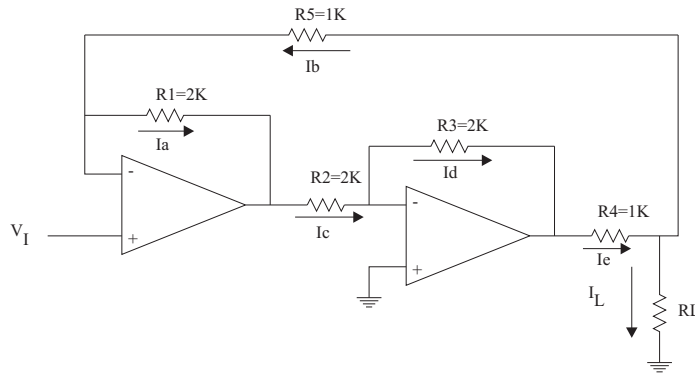


Capítulo 1

Amplificadores Operacionales

Problemas resueltos de amplificadores operacionales

1. Para el circuito mostrado a continuación, determinar la corriente de carga I_L en función de V_I



Al resolver ejercicios que involucren amplificadores operacionales ideales es necesario recordar y aplicar las siguientes propiedades:

- La diferencia de potencial entre el terminal positivo y negativo del amplificador es 0V. en consecuencia:

$$V_a = V_i$$

$$V_b = 0$$

- Las corrientes de entrada tanto al terminal positivo como al negativo del amplificador son 0A. En consecuencia:

$$I_b = I_a \quad (1.1)$$

$$I_c = I_d \quad (1.2)$$

La metodología para resolver este tipo de problema paso a paso es:

1. Definir que es lo que pide el problema:

$$I_L = \frac{V_0}{R_L} \quad (1.3)$$

2. Definir cada corriente en función de los voltajes en los extremos de la resistencia por la cual circula:

$$I_a = \frac{V_i - V_{01}}{R_1}$$

$$I_b = \frac{V_0 - V_i}{R_5}$$

$$I_c = \frac{V_{01}}{R_2}$$

$$I_d = -\frac{V_{02}}{R_3}$$

$$I_e = \frac{V_{02} - V_0}{R_4}$$

3. Igualar aquellas corrientes que por las ecuaciones (1) y (2) son las mismas, sustituir los valores de las resistencias conocidas y despejar los voltajes desconocidos en función de la entrada:

$$\frac{V_i - V_{01}}{2K} = \frac{V_0 - V_i}{1K}$$

$$\frac{V_{01}}{2K} = -\frac{V_{02}}{2K}$$

Despejando estas ecuaciones se obtiene:

$$V_{o1} = 3V_i - 2V_o$$

$$V_{o2} = -V_{o1}$$

4. Hacer una ecuación de nodos en la salida del circuito:

$$\frac{V_{02} - V_0}{R_4} = \frac{V_0}{R_l} + \frac{V_0 - V_i}{R_5}$$

Sustituyendo las expresiones (4) y (5) en (6) se tiene:

$$2V_o - 3V_i - V_o = \frac{1k}{R_L}V_o + V_o - V_i$$

5. Se obtiene finalmente la expresión para el voltaje de salida V_0 :

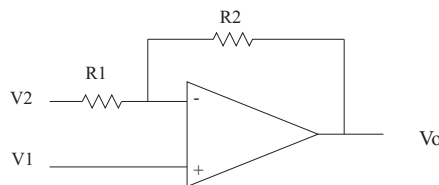
$$-2V_i = \frac{1k}{R_L}V_o \Rightarrow V_o = -\frac{2R_L}{1k}V_i$$

6. Se halla I_l por la ecuación (3):

$$I_l = -\frac{2}{1k}V_i$$

Otra manera de solucionar este problema de forma más rápida, es recordando las expresiones para la salida de las distintas configuraciones de operacionales y aplicando el principio de superposición.

Veamos como se aplica esto en un ejemplo más sencillo:



Primero, vemos cual es el valor de V_0 cuando se coloca V_1 a tierra. En este caso se obtiene un amplificador inversor de ganancia $-\frac{R_2}{R_1} V_2$.

Luego, realizamos el mismo proceso pero colocando V_2 a tierra. En este caso se obtiene un amplificador no inversor de ganancia $(1 + \frac{R_2}{R_1} V_i)$.

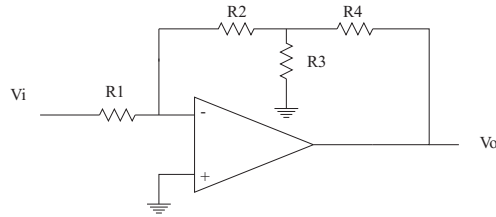
entonces V_0 es simplemente la superposición de los resultados obtenidos. $V_0 = -\frac{R_2}{R_1} V_2 + (1 + \frac{R_2}{R_1} V_i)$.

Este concepto puede usarse perfectamente en el ejercicio propuesto para así obtener directamente la expresión (6). Si nos fijamos bien, en este caso lo que se quiere hallar es el voltaje V_{o1} y las entradas serían V_i y V_0 obteniendo directamente:

$$V_{o1} = 3V_i - 2V_o$$

Problemas propuestos de amplificadores operacionales

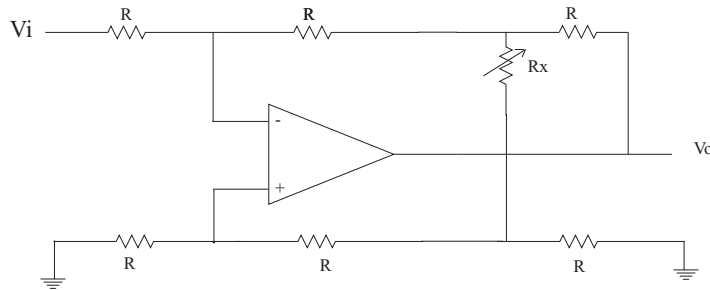
1. Para el circuito mostrado a continuación determinar $\frac{V_o}{V_i}$.



Respuesta:

$$\frac{V_o}{V_i} = -\left(\frac{R_2 R_3 + R_3 R_4 + R_2 R_4}{R_1 R_3}\right)$$

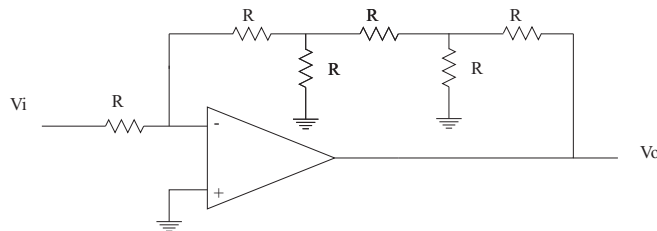
2. Para el circuito mostrado a continuación determinar $\frac{V_o}{V_i}$.



Respuesta:

$$\frac{V_o}{V_i} = -\left(\frac{2R}{R_x} + 2\right)$$

3. Para el circuito mostrado a continuación determinar $\frac{V_o}{V_i}$.

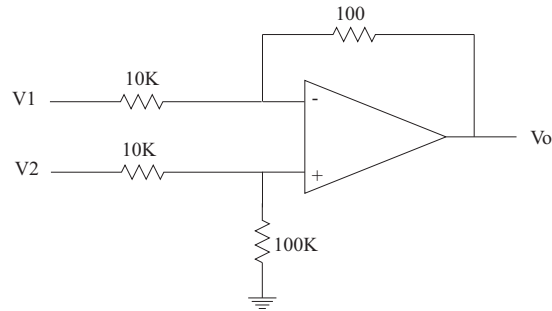


Respuesta:

$$\frac{V_o}{V_i} = -8$$

4. Para el circuito mostrado a continuación determinar CMRR del amplificador diferencial sabiendo los siguientes datos del amplificador operacional:

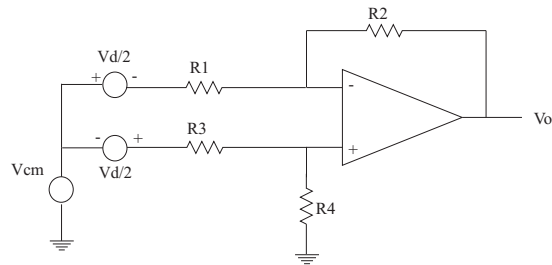
- $A_d = 1000000$
- $CMRR = 100000$



Respuesta: $CMRR = 10^5$

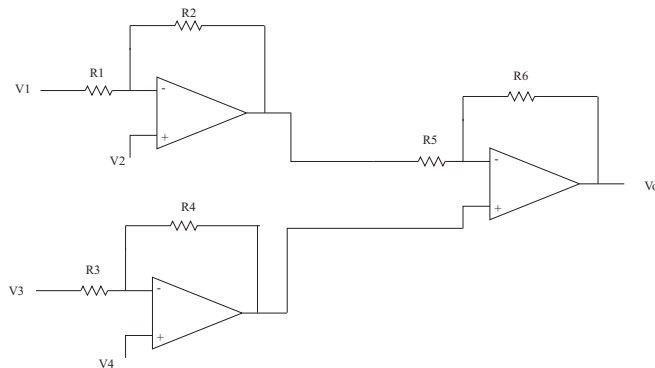
5. Para el circuito mostrado a continuación determinar $CMRR$ del amplificador diferencial sabiendo los siguientes datos del amplificador operacional:

- $R_1 = R_3$
- $R_2 = R_4$
- $CMRR = CMRR_1$



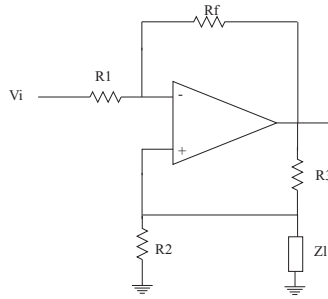
Respuesta: $CMRR = CMRR_1$

6. Para el circuito mostrado a continuación derive una expresión para V_0 en término de V_1, V_2, V_3 y V_4 suponiendo que todos los amplificadores operacionales operan en la región lineal.



Respuesta: $V_0 = V_4 + \frac{R_4}{R_3}(V_4 - V_3) + \frac{R_6}{R_5}(V_4 + V_4 \frac{R_4}{R_3} - V_3 \frac{R_4}{R_3} - V_2 - V_2 \frac{R_2}{R_1} + V_1 \frac{R_2}{R_1})$

7. Del circuito mostrado a continuación determinar R_f tal que I_l no dependa de Z_l .



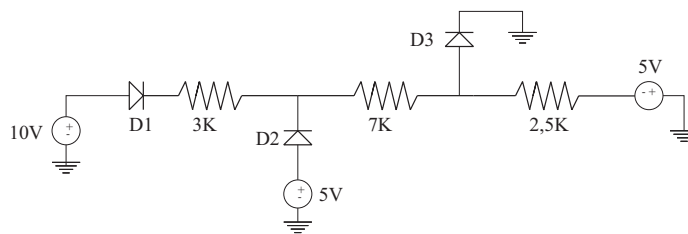
Respuesta: $R_f = \frac{R_3 R_1}{R_2}$

Capítulo 2

Diodos

Problemas resueltos de diodos

1. Para el circuito mostrado a continuación, determinar las corrientes por los diodos tomando en cuenta que son ideales.



Al resolver ejercicios que involucren diodos ideales o no ideales es necesario recordar y aplicar el siguiente algoritmo:

- Se supone el caso más sencillo, es decir, todos los diodos apagados y se hallan los voltajes ánodo-cátodo de cada uno de ellos. En este caso se tiene:

$$V_{A_1} - V_{K_1} = 10V + 5V = 15V$$

$$V_{A_2} - V_{K_2} = 5V + 5V = 10V$$

$$V_{A_3} - V_{K_3} = 0V + 5V = 5V$$

- Como se puede ver, la suposición es incorrecta, esto quiere decir que al menos uno de los diodos debe estar encendido. De nuevo, la suposición más sencilla sería que sólo uno de ellos está encendido. Se supone entonces que el que tiene el voltaje ánodo-cátodo más alto es el que está encendido y se vuelven a hallar los voltajes ánodo-cátodo. En este caso se supone encendido el diodo 1 y se obtiene:

$$V_{A_2} - V_{K_2} = 5V - 6,4V = -1,4V$$

$$V_{A_3} - V_{K_3} = 0V + 2V = 2V$$

- De nuevo la suposición era incorrecta, esto quiere decir que más de un diodo debe estar encendido. La suposición más sencilla es que sólo dos están encendidos. Se supone entonces que el que tiene el voltaje ánodo-cátodo más alto es el que está encendido y se vuelven a hallar los voltajes ánodo-cátodo. En este caso se supone encendido el diodo 3 y se obtiene:

$$V_{A_2} - V_{K_2} = 0V - 6,4V = -6,4V$$

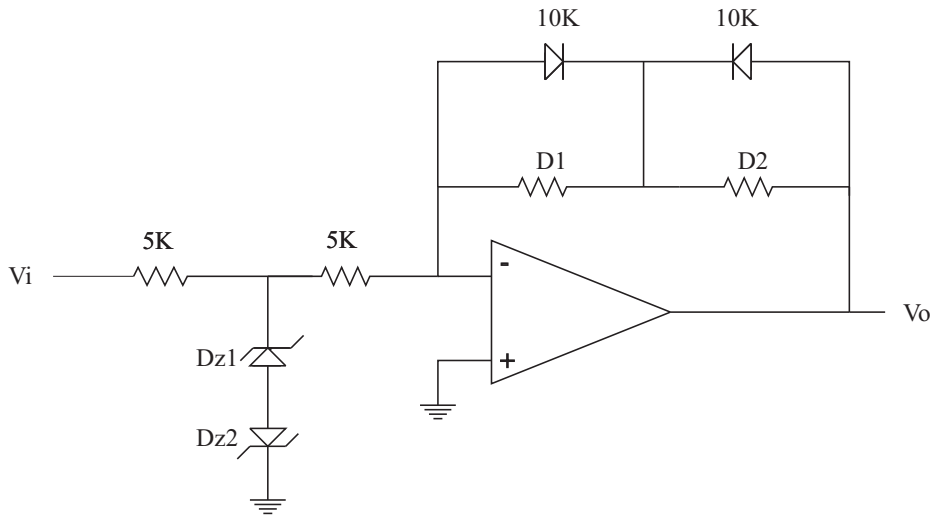
- Finalmente la suposición es correcta, y ahora sólo resta hallar las corrientes que pasan por los diodos 1 y 3. como el diodo 3 va a tierra y el diodo 2 está apagado, eso quiere decir que la corriente que pasa por el diodo 1 es igual a la que pasa por el diodo 3 y viene dada por:

$$10 - 10KI = 0$$

$$I = 1\text{mA}$$

Como se puede observar, lo más complicado acerca de circuitos con diodos, es saber en que momento están prendidos o apagados. Para problemas sencillos, este algoritmo funciona muy bien, sin embargo, para otro tipo de problemas que involucran diodos es necesario hacer un análisis que no se rija por ningún algoritmo.

2. Para el circuito mostrado a continuación, determinar la función de transferencia suponiendo que $V_Z = 4,3\text{V}$.



En este tipo de problemas el algoritmo mostrado anteriormente no puede utilizarse debido a que sería demasiado complicado. Para este tipo de problemas es necesario tener conocimiento acerca de las configuraciones de diodos más comunes y su comportamiento, de modo que podamos dividir un problema complicado en pequeños y sencillos problemas que unidos resuelvan el problema original.

Cabe destacar que para este tipo de problemas, no hay pasos a seguir, razón por la cual sólo haciendo suficientes problemas se puede desarrollar la habilidad de intuir como se ha de resolver el problema.

Para este caso en particular se podría subdividir el problema en dos: una primera parte, que está a la entrada de el amplificador operacional y una segunda parte que involucra al operacional y va hacia la salida del circuito.

La primera parte del circuito es simplemente un limitador de voltaje, es decir, que mientras el voltaje de entrada esté dentro de cierto rango, los diodos estarán apagados y por lo tanto el voltaje en la salida variará linealmente de acuerdo al voltaje de entrada. Pero cuando el voltaje en los diodos esté fuera de estos rangos, el voltaje en la salida será limitado por el voltaje en los diodos.

En este caso, para voltajes muy altos el zener que se encuentra más arriba se encenderá en inverso mientras que el otro se prenderá en directo, siempre y cuando el voltaje sobre ellos sea igual o mayor a $0,7\text{V} + 4,3\text{V} = 5\text{V}$.

Para voltajes muy bajos ocurre lo mismo, pero el diodo que se enciende en inverso sería el que está más abajo y el otro se encendería en directo, siempre y cuando el voltaje sobre ellos sea igual o menor a $-0,7\text{V} - 4,3\text{V} = -5\text{V}$.

Para hallar los rangos de voltaje antes mencionados abrimos ambos diodos y nos damos cuenta de que el voltaje de entrada debe dividirse entre dos resistencias del mismo valor 5K, lo cual quiere decir que para alcanzar los voltajes límite sobre los diodos 5V y -5V, el voltaje de entrada debe valer el doble 10V y -10V.

Una vez establecidos los rangos, sabemos que cuando el voltaje de entrada es mayor a 10V o menor a -10V el voltaje de entrada al amplificador quedará limitado a cierto valor.

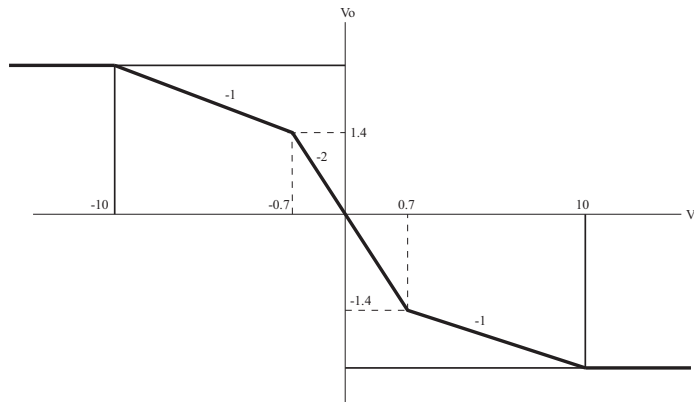
Analizando la segunda parte del circuito se tiene que dentro de cierto rango de voltaje de entrada ambos diodos estarán apagados de modo que el circuito se comporta como un simple amplificador inversor de ganancia $-20K/10K = -2$, lo cual corresponde a la pendiente de la función de transferencia.

Para hallar los rangos del caso anterior, hay que tomar en cuenta que el voltaje en la entrada del amplificador es 0V porque el terminal positivo de éste está a tierra. Dado que se trata de un amplificador inversor, si el voltaje de entrada es positivo, el de salida es negativo y viceversa. Entonces si el voltaje de entrada es lo suficientemente positivo, el diodo a mano izquierda se encenderá cuando el voltaje en su cátodo sea menor o igual a $-0,7V$, lo cual sucede cuando el voltaje de salida es $-1,4V$, ya que por tratarse de dos resistencias de $10K$, el voltaje se divide en partes iguales. Si el voltaje de entrada es lo suficientemente negativo se encenderá el diodo a mano derecha cuando el voltaje en la salida sea mayor o igual a $1,4 V$.

Entonces ya sabemos que mientras el voltaje de salida esté entre $1,4$ y $-1,4$, la pendiente de la función de transferencia es -2 . Lo cual equivale al rango de voltaje de entrada entre $-0,7$ y $0,7$.

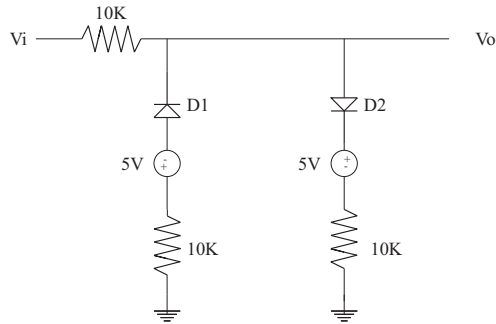
Ahora, cuando el voltaje de salida es mayor a $1,4V$ o menor a $-1,4V$ hay un diodo encendido y entonces la ganancia del amplificador es de -1 hasta cuando el voltaje de entrada es mayor a $10V$ o menor a $-10V$, cuando el limitar de voltaje hace que se mantenga constante.

Entonces se obtiene la siguiente función de transferencia:

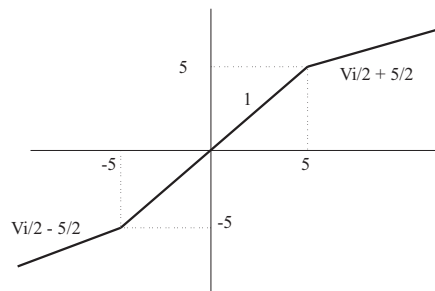


Problemas propuestos de diodos

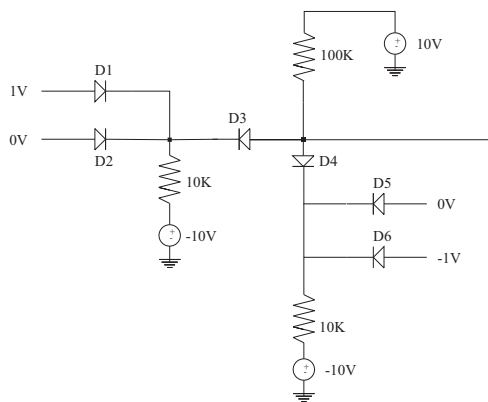
1. Para el circuito mostrado a continuación determinar la función de transferencia $\frac{V_o}{V_i}$, tomando en cuenta que los diodos son ideales.



Respuesta:

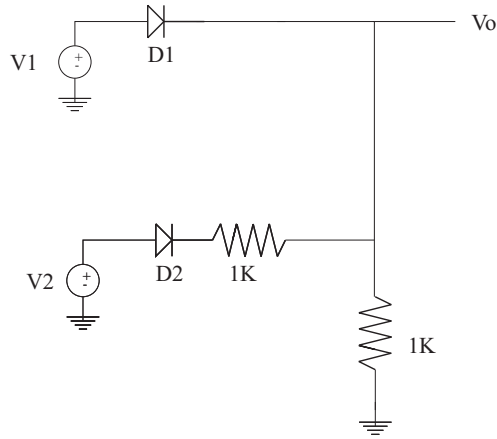


2. Para el circuito mostrado a continuación determinar V_o

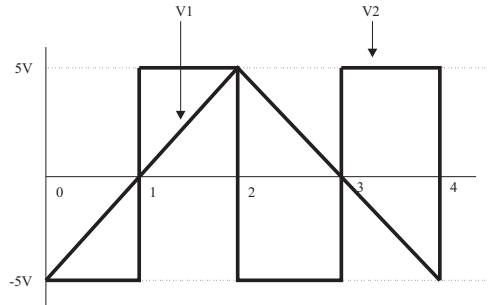


Respuesta: $V_o = 0$

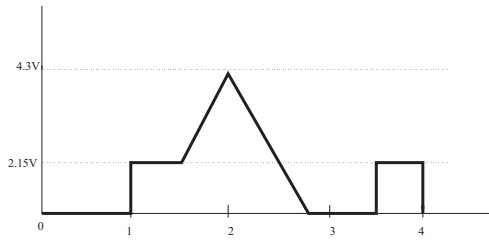
3. Para el circuito mostrado a continuación determinar V_o



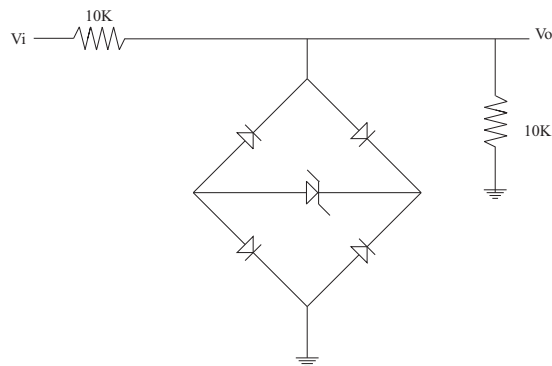
tomando en cuenta el siguiente gráfico de las señales de entrada.



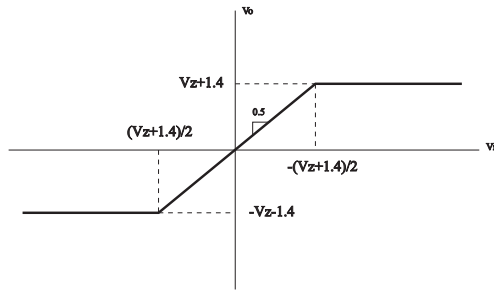
Respuesta:



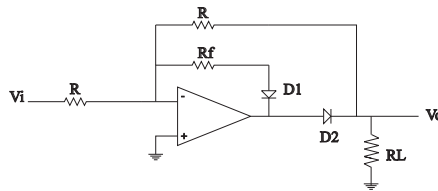
4. Para el circuito mostrado a continuación determinar la función de transferencia $\frac{V_o}{V_i}$



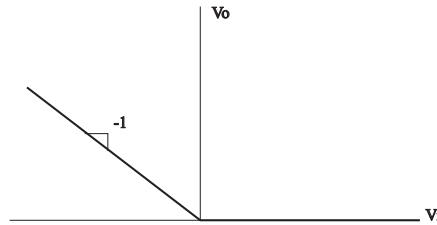
Respuesta:



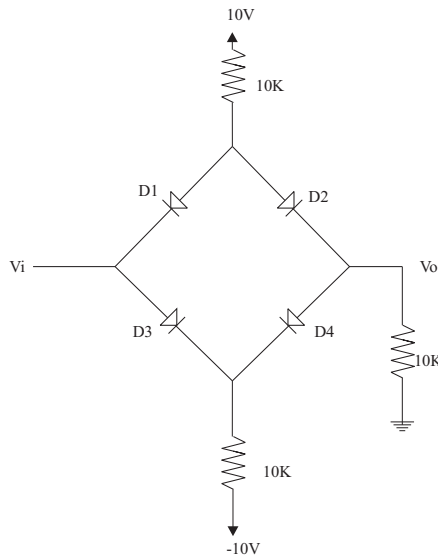
5. Para el circuito mostrado a continuación determinar la función de transferencia $\frac{V_o}{V_i}$



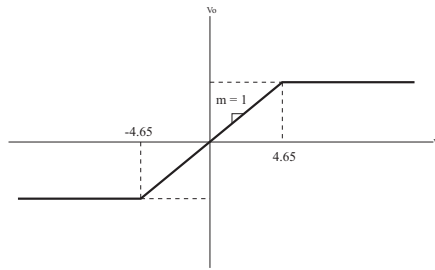
Respuesta:



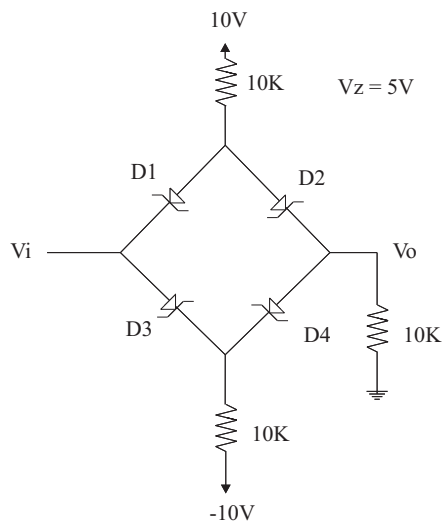
6. Para el circuito mostrado a continuación determinar la función de transferencia $\frac{V_o}{V_i}$



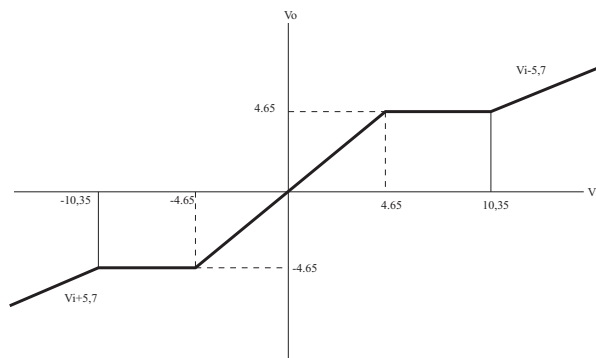
Respuesta:



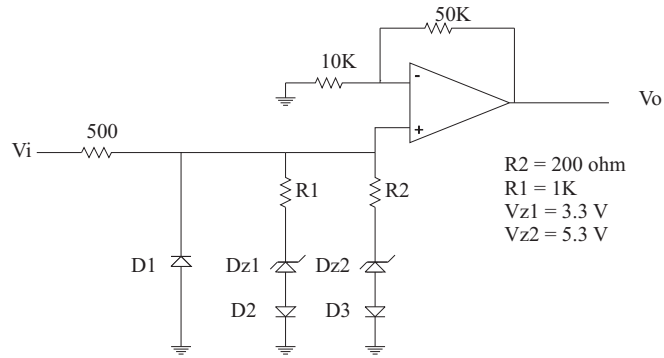
7. Para el circuito mostrado a continuación determinar la función de transferencia $\frac{V_o}{V_i}$



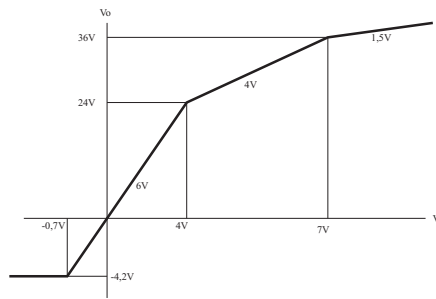
Respuesta:



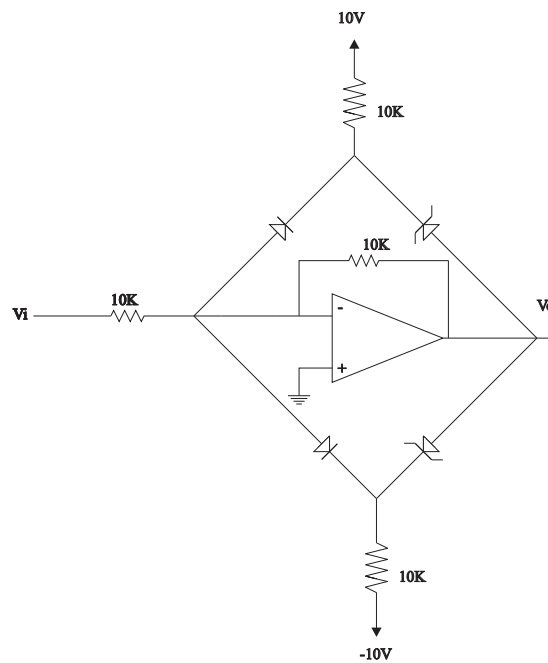
8. Para el circuito mostrado a continuación determinar la función de transferencia $\frac{V_o}{V_i}$



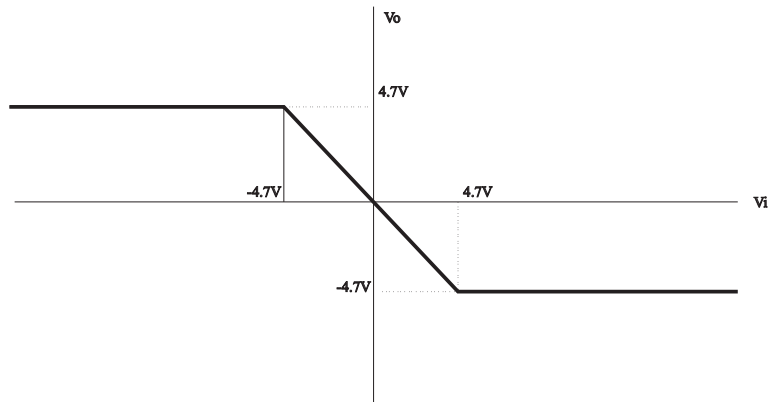
Respuesta:



9. Para el circuito mostrado a continuación determinar la función de transferencia $\frac{V_o}{V_i}$, tomando en cuenta que $V_z = 4V$



Respuesta:

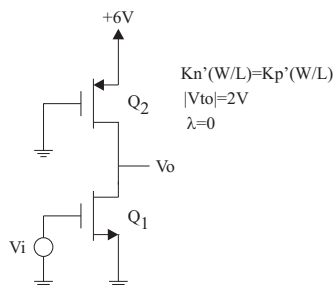


Capítulo 3

Mosfet

Problemas resueltos de MOSFET

1. Para el circuito mostrado a continuación, determinar v_o cuando $V_i = 0V, 3V, 6V$.



Para resolver este tipo de ejercicios, es muy útil recordar el siguiente algoritmo:

- (a) Identificar con que tipo de transistor se va a trabajar y las fórmulas que se deben de utilizar y definir el signo del V_t que nos dan.
- (b) Suponer que el transistor se encuentra en el estado más sencillo, es decir, en corte y se verifica si cumple con la condición de corte. De cumplirse la condición, se procede a realizar los cálculos necesarios y de no ser así pasamos al siguiente paso.
- (c) Si el transistor no estaba en corte, supongamos que está saturado y evaluemos la condición de saturación para este tipo de transistor en particular. De cumplirse la condición, se procede a realizar los cálculos necesarios y de no ser así pasamos al siguiente paso.
- (d) Si el transistor no estaba ni en corte ni en saturación debe estar en triodo. Es necesario demostrar la condición de triodo para así poder descartar cualquier error cometido a lo largo de la resolución del problema.

A continuación vamos a aplicar el algoritmo anterior a este problema en particular.

En este caso, como el transistor que depende directamente del voltaje de entrada es Q_1 , es el que debemos ir analizando, para luego definir el estado de Q_2 .

El primer paso es reconocer que el transistor Q_1 es tipo N y por lo tanto $V_{t1}=2V$ mientras que el transistor Q_2 es tipo P y por lo tanto $V_{t2}=-2V$. Es necesario tener mucho cuidado de utilizar las condiciones correctas según el tipo de transistor.

a) caso $V_i=0V$

- suponemos Q_1 en corte $V_{g1}=0V$ $V_{gs1}=0V$ como $V_{gs1}<V_{t1}$, entonces la suposición es correcta y efectivamente está en corte.
- Como $V_{gs2}=-6V<V_{t2}$ entonces Q_2 no esta en corte.
- Se sabe que Q_1 está en corte y por lo tanto, $I_dq=0$. Por la característica de salida de los transistores tipo P, cuando a corriente es nula $V_{ds2}=0$.
- Como $V_{ds2}>V_{gs2}-V_{t2}$ entonces podemos decir que Q_2 está en triodo.
- Dado que Q_1 está en corte y Q_2 en triodo, entonces el voltaje en la salida es 6V.

En resumen, para $V_i=0V$ se tiene:

- Q_1 : En corte
- Q_2 : En triodo
- $V_0=0V$

b) caso $V_i=3V$

- Suponemos Q_1 en corte $V_{g1}=3V$ $V_{gs1}=3V$ como $V_{gs1}>V_{t1}$, entonces la suposición es incorrecta y no está en corte.
- Suponemos Q_1 en saturación Tenemos que $V_{gs1}-V_{t1} = 1V$. Utilizamos la ecuación de I_D en saturación y obtenemos

$$\frac{1}{2}K'_n\left(\frac{w}{l}\right)$$

- Ahora veamos cual es el estado del transistor Q_2 Tenemos que $V_{gs2}-V_{t2} = -4V$. Utilizando la ecuación de I_D en saturación y obtenemos

$$\frac{1}{2}K'_p\left(\frac{w}{l}\right)(-4)^2$$

Como se puede observar las corrientes halladas no coinciden. Esto quiere decir que alguno de los dos transistores no esta en saturación. En estos casos, aquel que presente la mayor corriente no esta en saturación sino en triodo. Este será el estado final de los transistores.

- Entonces decimos que Q_2 esta en triodo. Utilizamos la ecuación de I_D en triodo para el transistor Q_2 y la igualamos a la ecuación de I_D en saturación para el transistor Q_1 , ya que la corriente debe ser la misma. Entonces se tiene que:

$$\frac{1}{2}K'_n\left(\frac{w}{l}\right) = \frac{1}{2}K'_p\left(\frac{w}{l}\right)[2(V_{gs} - V_T)V_{ds} - V_{ds}^2]$$

De la ecuación anterior se obtiene la expresión cuadrática

$$V_{ds}^2 + 8V_{ds} + 1 = 0$$

De la cual se obtienen los siguientes valores para V_{ds} :

$$V_{dsa}=-7,87V$$

$$V_{dsb}=0,12V$$

Como estamos trabajando con un transistor tipo P que esta en la zona de triodo debe cumplirse que $V_{ds}>V_{gs}-V_t$, por lo que nos quedaremos con el segundo valor.

Entonces, como $V_s=6V$, entonces $V_d=-0,12V+6V=5,88V$ y $V_0=V_{ds}=V_d=5,88V$

En resumen, para $V_i=3V$ se tiene:

- Q_1 : En saturación
- Q_2 : En triodo
- $V_0=5,88V$

c) caso $V_i=6V$

- Suponemos Q_1 en corte $V_{g1}=6V$ $V_{gs1}=6V$ como $V_{gs1}>V_{t1}$, entonces la suposición es incorrecta y no está en corte.
- Suponemos Q_1 en saturación Tenemos que $V_{gs1}-V_{t1} = 4V$. Utilizamos la ecuación de I_D en saturación y obtenemos

$$\frac{1}{2}K'_n\left(\frac{w}{l}\right)4V^2$$

- Ahora veamos cual es el estado del transistor Q_2 Tenemos que $V_{gs2}-V_{t2} = -4V$. Utilizando la ecuación de I_D en saturación y obtenemos

$$\frac{1}{2}K'_p\left(\frac{w}{l}\right)(-4)^2$$

Como se puede observar las corrientes halladas coinciden. Esto quiere decir que en cada transistor caen 3V y por lo tanto $V_0=3V$.

- Ahora es necesario verificar si la suposición de que ambos estén saturados es correcta. Partiendo de que $V_{d1}=V_{d2}=3V$ se tiene que:
para Q_1 , $V_{ds1}=3V$ y la condición de saturación pa un transistor tipo N no se cumple. Esto quiere decir que no esta en saturación sino en triodo.
para Q_2 , $V_{ds2}=-3V$ y la condición de saturación pa un transistor tipo P tampoco se cumple. Esto quiere decir que no esta en saturación sino en triodo.
- Como acabamos de comprobar que los transistores no están en saturación, sino en triodo se procede a utilizar las ecuaciones de I_D en triodo tanto para Q_1 como para Q_2 para luego igualarlas y hallar V_{ds} a partir del cual podemos obtener V_0 .

$$I_{D1} = \frac{1}{2}K'_n\left(\frac{w}{l}\right)[2(6 - 2)V_{ds1} - V_{ds1}^2]$$

$$I_{D2} = \frac{1}{2}K'_p\left(\frac{w}{l}\right)[2(-6 + 2)V_{ds2} - V_{ds2}^2]$$

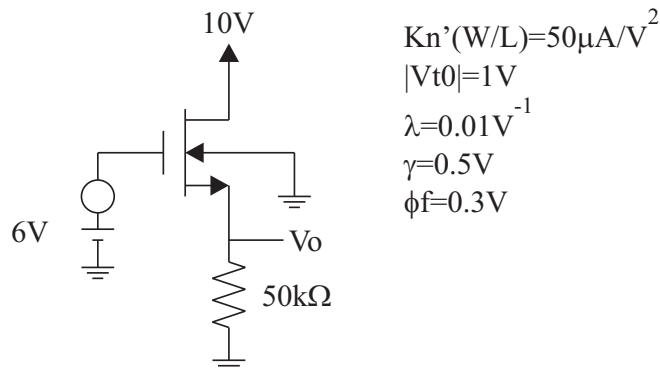
También se tiene que $V_{ds2}=V_{ds1}-6V$

Entonces, Igualando las corrientes, sustituyendo V_{ds2} y despejando V_{ds1} de la ecuación se tiene:
 $V_{ds1}=V_0=3V$

En resumen, para $V_i=6V$ se tiene:

- Q_1 : En triodo
- Q_2 : En triodo
- $V_0=3V$

2. Realizar análisis DC y AC para el circuito mostrado a continuación.



Análisis DC:

Ya que se está trabajando con circuitos amplificadores, debe suponerse que el mosfet está en saturación. Posteriormente debe verificarse que efectivamente están en ese estado.

Sabemos que la ecuación I_D para un mosfet en saturación es:

$$I_D = \frac{1}{2} K_n \left(\frac{w}{l}\right) (V_{gs} - V_t)^2$$

Además, esta corriente puede escribirse como:

$$I_D = \frac{V_s}{50K}$$

Igualando estas dos ecuaciones tenemos:

$$\frac{1}{2} K_n \left(\frac{w}{l}\right) (V_{gs} - V_t)^2 = \frac{V_s}{50K} \tag{3.1}$$

Se tiene que $V_g = 6V$

Entonces conocido este valor podemos hallar V_s de la ecuación (2) resolviendo una ecuación de segundo grado:

$$1,25V_s^2 - 18,5V_s + 61,25 = 0$$

Las posibles soluciones de esta ecuación son:

- $V_{s1} = 5V \rightarrow V_{gs} = 1V$
- $V_{s2} = 9,8V \rightarrow V_{gs} = -3,8V$

Como este voltaje debe ser mayor que V_t para que el mosfet esté en saturación, tomamos como válido V_{s1} .

Como en este ejercicio hay efecto de sustrato, es necesario calcular el verdadero V_t a partir del valor de V_s que acabamos de hallar y el valor inicial de V_t que llamaremos V_{t0} . Para esto se utiliza la fórmula de $|V_t|$:

$$|V_t| = V_{t0} + \gamma \left[\sqrt{2\phi_f \pm V_{sb}} - \sqrt{2\phi_f} \right]$$

En teoría, el nuevo V_t debe hallarse de manera iterativa, es decir, hacer varias veces el procedimiento para hallar V_t y luego utilizarlo como V_{to} , hasta que la diferencia entre ellos sea mínima. Sin embargo, es suficiente realizar este procedimiento sólo una vez porque los resultados no cambian significativamente.

Entonces usando la ecuación anterior tenemos que:

$$V_t = -0,2V$$

Ahora, con este nuevo valor de V_t que utilizaremos el resto del problema, debemos volver a hallar V_s del mismo modo que lo hicimos anteriormente. En este caso habrá que resolver la siguiente ecuación de segundo orden:

$$1,25V_s^2 - 16,5V_s + 48 = 0$$

Las posibles soluciones de esta ecuación son:

- $V_{s1} = 4,32V \rightarrow V_{gs} = 1,68V$
- $V_{s2} = 8,87V \rightarrow V_{gs} = -2,87V$

Como el voltaje V_{gs} debe ser mayor que V_t para que el mosfet esté en saturación, tomamos como válido V_{s1} .

Ahora, con este valor de V_s podemos hallar el valor de la corriente I_D .

$$I_D = \frac{V_s}{40K} = 86,4\mu A$$

Entonces concluimos que el punto de operación es el siguiente:

- $I_{dq} = 86,4\mu A$
- $V_{ds} = 5,68V$
- $V_{gs} = 1,68V$

Entonces podemos verificar rápidamente que el transistor está efectivamente saturado ya que se cumple que:

$$V_{gs} > V_t \rightarrow 1,68 > -0,2$$

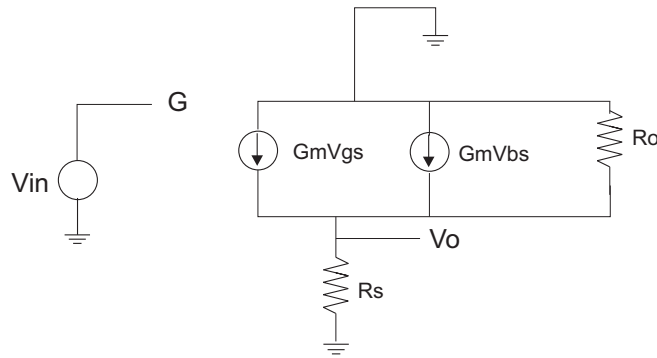
$$V_{ds} > (V_{gs} - V_t) \rightarrow 5,68 > 1,88$$

Entonces podemos hallar los valores de g_m , g_{mb} , r_o para utilizarlos en el modelo AC del circuito.

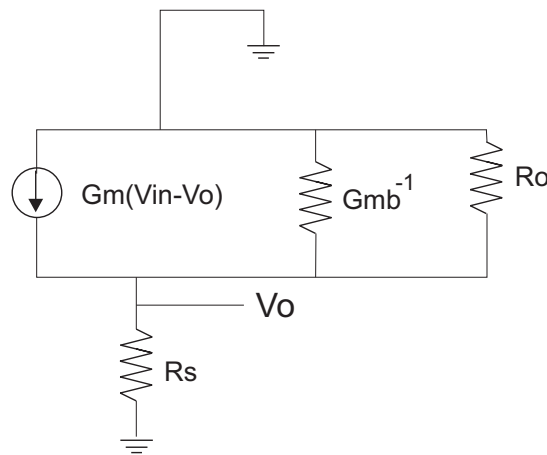
- $g_m = K_n \left(\frac{W}{L}\right) (V_{gs} - V_t) = 94\mu S$
- $g_{mb} = \frac{g_m \cdot \gamma}{\sqrt{2\phi_f \pm V_{sb}}} = 10,6\mu S$
- $r_o = \frac{1}{\lambda \cdot I_{dq}} = 1M\Omega$

Análisis AC:

el modelo en pequeña señal es el siguiente:



Debido a que la fuente de corriente $gmbVbs$ depende del voltaje entre sus extremos, entonces podemos sustituirla por una resistencia de valor gmb^{-1} . Entonces el circuito en pequeña señal se reduce a:



a. Cálculo de la ganancia

Al igual de que en el caso anterior, es recomendable realizar los cálculos de atrás hacia delante, es decir, desde lo que quiero obtener hacia lo que necesito para completarlo. En este caso, la expresión para el voltaje de salida es la siguiente:

$$V_o = (r_s // r_o // gmb^{-1}) \cdot gm(V_{in} - V_o)$$

Entonces, despejando V_o/V_{in} de esta ecuación obtenemos una expresión de la ganancia en función de valores conocidos.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{(r_s // r_o // gmb^{-1}) \cdot gm}{1 + (r_s // r_o // gmb^{-1}) \cdot gm}$$

El valor numérico de la ganancia es:

$$A = 0,769$$

b. Cálculo de la impedancia de entrada

Simplemente es la resistencia en la entrada

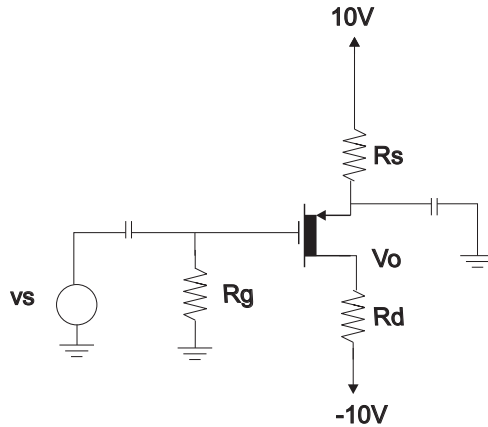
$$Z_{in} = \infty$$

c. Cálculo de la impedancia de salida

Recordemos que para calcular la impedancia de salida es necesario hacer cero cualquier otra fuente independiente, en este caso el voltaje de entrada. Como el voltaje V_i es cero, entonces la fuente de corriente $g_m(V_{in}-V_o)$ depende del voltaje entre sus extremos y puede reemplazarse por una resistencia de valor g_m^{-1} . Entonces, la impedancia de salida es simplemente el paralelo de todas las resistencias.

$$Z_{out} = r_s // r_o // g_m^{-1} // g_m^{-1}$$

3. Realizar análisis DC y AC para el circuito mostrado a continuación.



$$K'_n \left(\frac{w}{l}\right) = 1mA/V^2$$

$$|V_t| = 2V$$

$$\lambda = 0V^{-1}$$

Análisis DC:

En principio recordemos que para análisis en DC los condensadores se comportan como cortos. Ya que se está trabajando con circuitos amplificadores, debe suponerse que el mosfet está en saturación. Posteriormente debe verificarse que efectivamente están en ese estado.

En este caso estamos trabajando con un mosfet tipo P. Por lo tanto, $V_t=2V$.

sabemos que la ecuación de I_D para un mosfet en saturación es:

$$I_D = \frac{1}{2} K_n \left(\frac{w}{l}\right) (V_{gs} - V_t)^2$$

Además, esta corriente puede escribirse como:

$$I_D = \frac{10 - V_s}{1K}$$

Igualando estas dos ecuaciones tenemos:

$$\frac{1}{2} K_n \left(\frac{w}{l}\right) (V_{gs} - V_t)^2 = \frac{10 - V_s}{1K} \tag{3.2}$$

Se tiene que $V_g=0V$

Entonces conocido este valor podemos hallar V_s de la ecuación (2) resolviendo una ecuación de segundo grado:

$$Vs^2 + 6Vs - 16 = 0$$

Las posibles soluciones de esta ecuación son:

- $Vs1 = 2V \rightarrow Vgs = -2V$
- $Vs2 = -8V \rightarrow Vgs = 8V$

Como el voltaje Vgs debe ser menor que Vt para que el mosfet esté en saturación, tomamos como válido $Vs1$.

Ahora, con este valor de Vs podemos halar el valor de la corriente ID .

$$ID = \frac{10-2}{1K} = 8mA$$

Como esta corriente es la misma que circula por la resistencia Rd , tenemos la siguiente ecuación:

$$ID = \frac{Vd+10}{0,5K}$$

Despejando la ecuación anterior se tiene que:

$$Vd = -6V \rightarrow Vds = -8V$$

Entonces concluimos que el punto de operación es el siguiente:

- $Idq = 8mA$
- $Vds = -8V$

Entonces podemos verificar rápidamente que el transistor está efectivamente saturado ya que se cumple que:

$$Vgs < Vt \rightarrow -2V < 2V$$

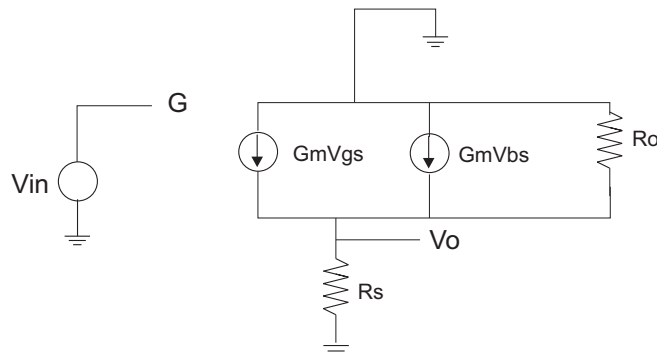
$$Vds < (Vgs - Vt) \rightarrow -8V < -4V$$

Entonces podemos hallar el valor de gm para utilizarlo en el modelo AC del circuito.

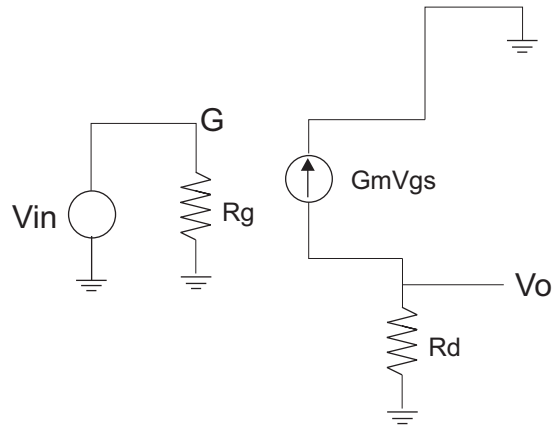
- $gm = Kn(\frac{w}{l})(Vgs - Vt) = 4m\Omega$

Análisis AC:

el modelo en pequeña señal es el siguiente:



Debido a que la fuente de corriente $g_m V_{gs}$ depende del voltaje entre sus extremos, entonces podemos sustituirla por una resistencia de valor g_m^{-1} . Entonces el circuito en pequeña señal se reduce a:



a. Cálculo de la ganancia

Al igual de que en el caso anterior, es recomendable realizar los cálculos de atrás hacia delante, es decir, desde lo que quiero obtener hacia lo que necesito para completarlo. En este caso, la expresión para el voltaje de salida es la siguiente:

$$V_o = -g_m \cdot V_{gs} \cdot R_d$$

Luego, $V_{gs}=V_i$ y por lo tanto:

$$V_o = -g_m \cdot V_{in} \cdot R_d$$

Entonces, despejando V_o/V_{in} de esta ecuación obtenemos una expresión de la ganancia en función de valores conocidos.

$$\frac{V_o}{V_i} = -g_m \cdot R_d$$

El valor numérico de la ganancia es:

$$A = -2$$

b. Cálculo de la impedancia de entrada

Simplemente es la resistencia en la entrada

$$Z_{in} = R_g$$

c. Cálculo de la impedancia de salida

Recordemos que para calcular la impedancia de salida es necesario hacer cero cualquier otra fuente independiente, en este caso el voltaje de entrada. Como el voltaje V_i es cero, entonces la fuente de corriente $g_m V_{gs}$ se abre pues $V_{gs}=0V$. Entonces, la impedancia de salida es simplemente la resistencia de salida.

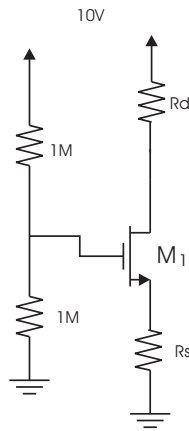
$$Z_{out} = R_d$$

Problemas propuestos de mosfet

1. Para el circuito mostrado a continuación determinar el punto de operación del transistor para dos casos:
 a) $R_d=7K$ y $R_s=3K$ y b) $R_d=4K$ y $R_s=3K$.

$$K'_n \left(\frac{w}{l} \right) = 2mA/V^2$$

$$|V_t| = 1V$$



Respuesta:

a) triodo

- $I_d = 947\mu A$
- $V_{ds} = 0,52V$

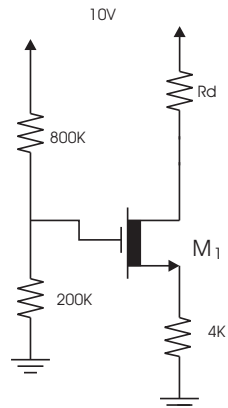
b) saturación

- $I_d = 1mA$
- $V_{ds} = 4V$

2. Para el circuito mostrado a continuación determinar el punto de operación del transistor para $R_d=3K$

$$K'_n \left(\frac{w}{l} \right) = 2mA/V^2$$

$$|V_t| = 1V$$



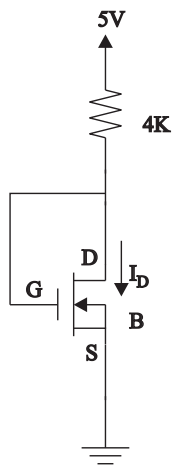
Respuesta:
saturación

- $I_d = 0,56\text{mA}$
- $V_{ds} = 6,06\text{V}$

3. Para el circuito mostrado a continuación determinar el punto de operación del transistor

$$K'_n \left(\frac{w}{l}\right) = 2\text{mA/V}^2$$

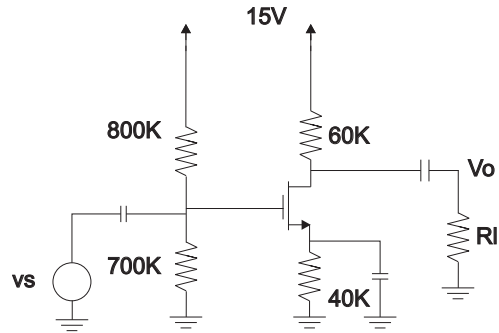
$$|V_t| = 2\text{V}$$



Respuesta:
triado

- $I_d = 1,18\text{mA}$
- $V_{ds} = 0,276\text{V}$

4. Para el circuito mostrado a continuación determinar $V_o/V_i, Z_i, Z_o$



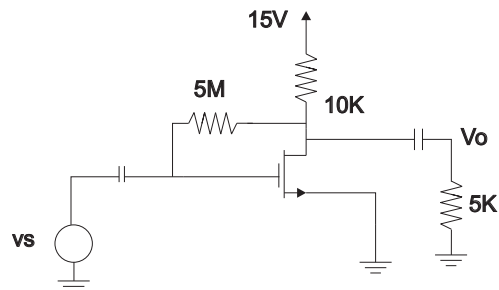
$$K'_n\left(\frac{w}{l}\right) = 0, 2mA/V^2$$

$$|V_i| = 2V$$

Respuesta:

- $V_o/V_i = -0,2 (60K//R_i)$
- $Z_i = 800K//700K$
- $Z_o = 60K//R_i$

5. Para el circuito mostrado a continuación determinar $V_o/V_i, Z_i, Z_o$



$$K'_n\left(\frac{w}{l}\right) = 0, 3mA/V^2$$

$$|V_i| = 1, 8V$$

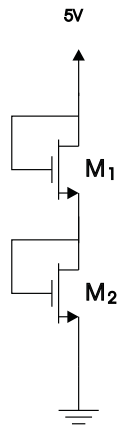
Respuesta:

- $V_o/V_i = -2,65 (60K//R_i)$
- $Z_i = 5M$
- $Z_o = 10K//5K//5M$

6. Para el circuito mostrado a continuación determinar el punto de operación para

a) $\left(\frac{w}{l}\right)_1 = \left(\frac{w}{l}\right)_2 = 40$

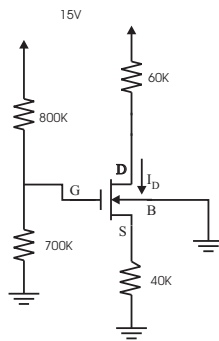
b) $\left(\frac{w}{l}\right)_1 = 40y\left(\frac{w}{l}\right)_2 = 15$



$$|V_t| = 0,8V$$

$$K'_n = 30\mu A/V^2$$

7. Para el circuito mostrado a continuación determinar el punto de operación.



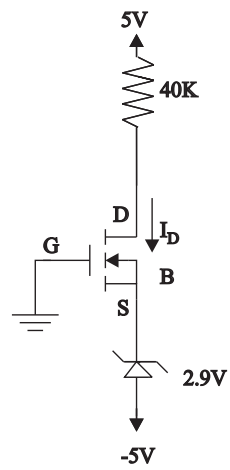
$$|V_t| = 2V$$

$$K'_n\left(\frac{w}{l}\right) = 0,2mA/V^2$$

$$\gamma = 0,5V^{\frac{1}{2}}$$

$$2\phi_f = 0,6V$$

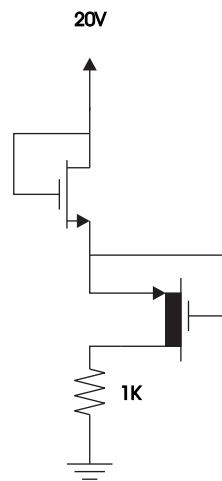
8. Para el circuito mostrado a continuación determinar el punto de operación.



$$|V_t| = 2V$$

$$K'_n \left(\frac{w}{l}\right) = 20mA/V^2$$

9. Para el circuito mostrado a continuación determinar el punto de operación.

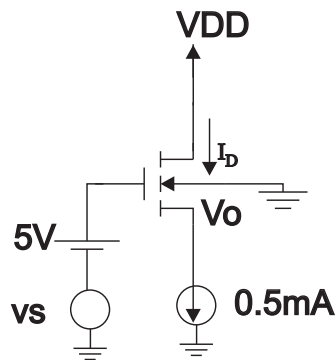


$$|V_t| = 2V$$

$$K'_n \left(\frac{w}{l}\right) = 1mA/V^2$$

$$K'_p \left(\frac{w}{l}\right) = 2mA/V^2$$

10. Realizar análisis DC y AC para el circuito mostrado a continuación.



$$K'_n \left(\frac{w}{l} \right) = 1 \text{ mA/V}^2$$

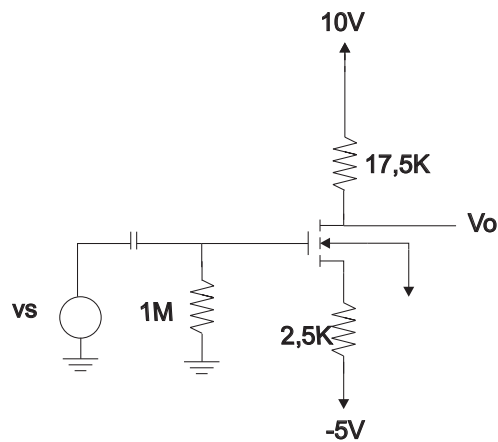
$$\gamma = 0,5 \text{ V}^{\frac{1}{2}}$$

$$2\phi_f = 0,6 \text{ V}$$

$$|V_t| = 1 \text{ V}$$

$$\lambda = 0 \text{ V}^{-1}$$

11. Realizar análisis DC y AC para el circuito mostrado a continuación.



$$K'_n \left(\frac{w}{l} \right) = 0,2 \text{ mA/V}^2$$

$$\gamma = 0,5 \text{ V}^{\frac{1}{2}}$$

$$2\phi_f = 0,6 \text{ V}$$

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

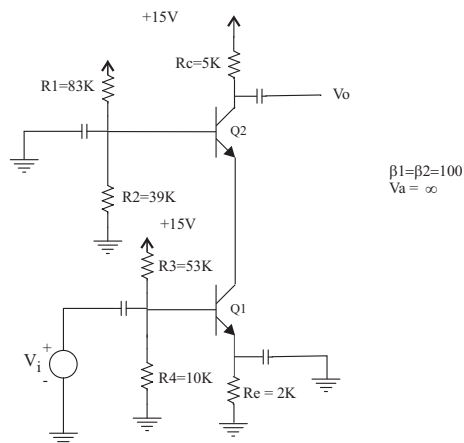
$$\lambda = 0 \text{ V}^{-1}$$

Capítulo 4

BJT

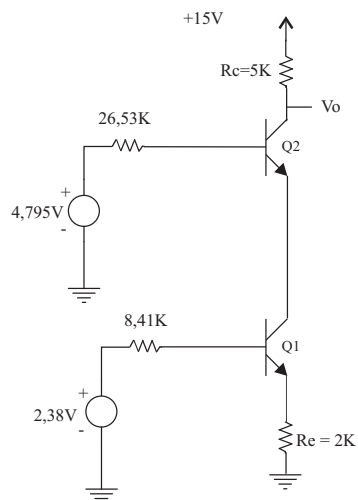
Problemas resueltos de BJT

1. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis DC y AC



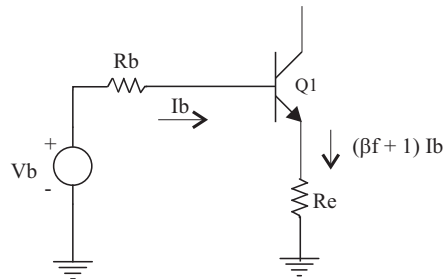
Análisis DC:

En DC los condensadores se comportan como abiertos. En primer lugar es recomendable hallar el equivalente de thevenin para la entrada de ambos transistores para facilitar el análisis. En ese caso tenemos el siguiente circuito:



Ya que se está trabajando con circuitos amplificadores, debe suponerse que todos los dispositivos están en activo-directo y posteriormente verificar que efectivamente están en ese estado.

Para hallar la corriente I_{b1} podemos analizar el siguiente circuito:



Donde la expresión para I_b en términos generales es:

$$I_b = \frac{V_b - 0,7}{R_b + (\beta_f + 1)R_e} \quad (4.1)$$

Aplicando este modelo a nuestro caso en particular se tiene que

$$I_{b1} = \frac{2,38V - 0,7V}{8,41K + 202K} = 7,98\mu A$$

Luego:

- $I_{c1} = I_{e1} = 100I_{b1} = 0,798mA$
- $I_{b2} = \frac{I_{e2}}{101} = 7,9\mu A$
- $I_{c2} = 100I_{b2} = 0,790mA$
- $V_{e1} = I_{c1} \cdot 2K = 1,596V$

Para Hallar El voltaje en el emisor 2 se hace una ecuación de malla a partir de la entrada a la base 2:

$$V_{e2} = 4,795V - 26,53K \cdot I_{b2} - 0,7V = 3,88V = V_{c1}$$

Para hallar el voltaje en el colector 2 se hace una ecuación de malla a partir de la alimentación de 15V:

$$V_{c2} = 15V - I_{c2} \cdot 5K = 11,05V$$

Finalmente tenemos:

- $V_{ce2} = V_{c2} - V_{e2} = 11,05V - 3,88V = 7,17V$
- $V_{ce1} = V_{c1} - V_{e1} = 3,88V - 1,596V = 2,28V$

Entonces concluimos que el punto de operación es el siguiente:

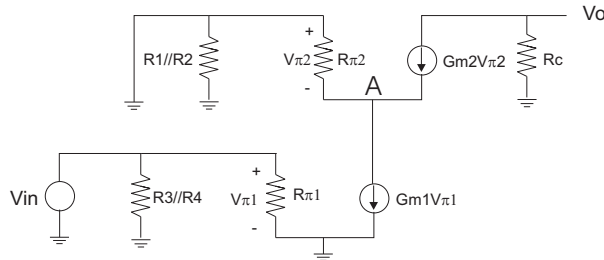
- $I_{cq1} = 0,789mA$
- $V_{ce1} = 2,28V$

- $I_{cQ2} = 0,790mA$
- $V_{ce2} = 7,17V$

Puede verificarse que los dispositivos estaban en activo directo como se había supuesto desde un principio.

Análisis AC:

el modelo en pequeña señal es el siguiente:



a. Cálculo de la ganancia

Para calcular la ganancia de cualquier circuito es recomendable realizar los cálculos de atrás hacia delante, es decir, desde lo que quiero obtener hacia lo que necesito para completarlo. De esta manera se evita perder el tiempo realizando cálculos inútiles. En este caso, la expresión para el voltaje de salida es la siguiente:

$$V_o = -gm2RcV_{\pi2}$$

Entonces, es necesario hallar una expresión de $V_{\pi2}$ en función de valores conocidos. Para esto, hacemos una ecuación de nodos en el punto A

$$gm1V_{\pi1} = \frac{V_{\pi2}}{r_{\pi2}} + gm2V_{\pi2} = V_{\pi2} \left(\frac{1+gm2r_{\pi2}}{r_{\pi2}} \right) = V_{\pi2} \left(\frac{1+\beta}{r_{\pi2}} \right)$$

Despejando $V_{\pi2}$ de la ecuación anterior se tienen que

$$V_{\pi2} = \frac{gm1V_{\pi1}r_{\pi2}}{1+\beta}$$

De esta expresión, el único valor no conocido es $V_{\pi1}$, pero en el modelo AC se puede observar claramente que $V_{\pi1}=V_i$. De este modo la expresión de $V_{\pi2}$ queda totalmente definida y por ende también la del voltaje de salida. Entonces sustituyendo el valor de $V_{\pi2}$ en la expresión de V_o tenemos:

$$V_o = \frac{-gm2Rcgm1r_{\pi2}V_i}{1+\beta}$$

Como ganancia se define como V_o/V_i finalmente:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-Rcgm1\beta}{1+\beta}$$

Se tiene que:

$$gm1 = \frac{I_{cQ1}}{V_t} = 31,92ms$$

Por lo que el valor numérico de la ganancia es:

$$A = -158$$

b. Cálculo de la impedancia de entrada

Simplemente es el paralelo de las resistencias en la entrada

$$Z_{in} = R_3 // R_4 // r_{\pi 1} = 2,28K$$

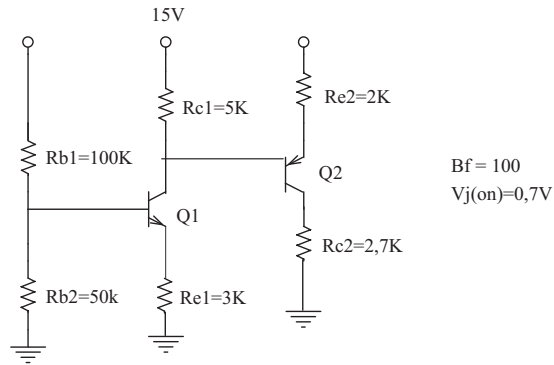
c. Cálculo de la impedancia de salida

Recordemos que para calcular la impedancia de salida es necesario hacer cero cualquier otra fuente independiente, en este caso el voltaje de entrada. Como el voltaje V_i es cero, también lo es $V_{\pi 1}$ y la corriente $g_m V_{\pi 1}$. Entonces la impedancia de salida es simplemente la resistencia R_c .

$$Z_{out} = R_c = 5K$$

Problemas propuestos de BJT

1. Para el circuito mostrado a continuación determinar es estado de los transistores.



Respuesta:

Ambos en activo directo

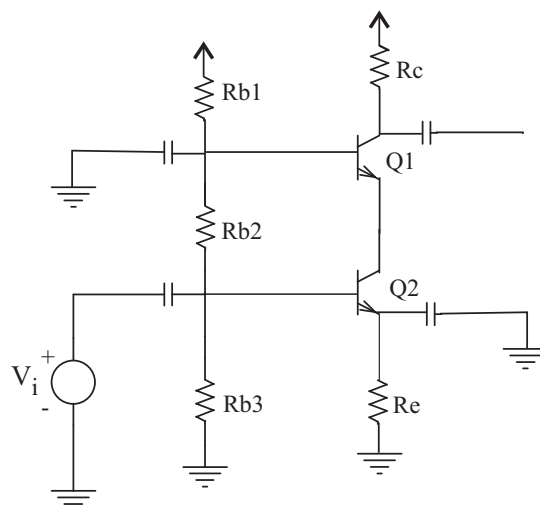
$V_{be_1} = 0,7V$ Polarizado

$V_{bc_1} = -4,04V$ no polarizado

$V_{be_2} = -0,84V$ polarizado

$V_{bc_2} = 1,16V$ no polarizado

2. Para el circuito mostrado a continuación determinar las expresiones simbólicas de A, Zin y Zout



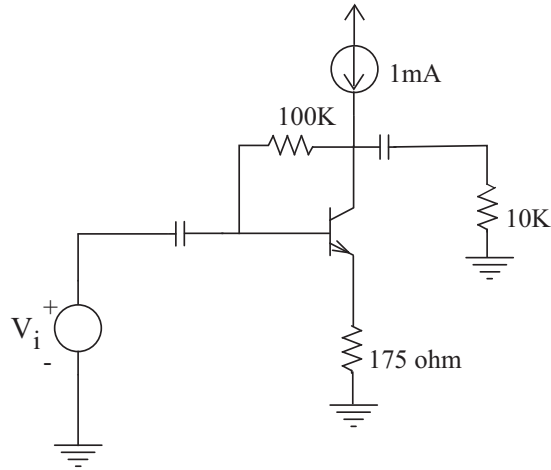
Respuesta:

$A = -gmRc$

$$Z_{in} = R_{b3} // R_{b2} // r_{\pi 2}$$

$$Z_{out} = R_c$$

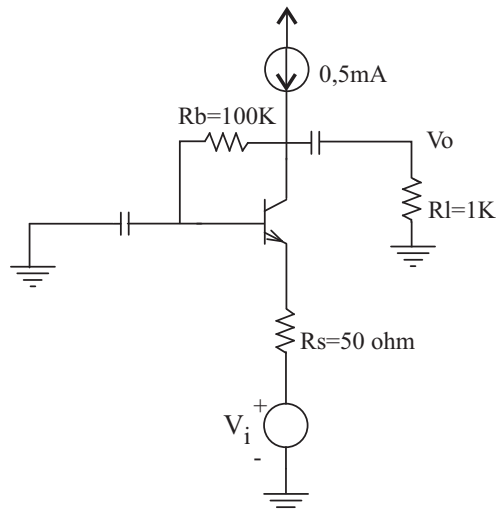
3. Para el circuito mostrado a continuación determinar la expresión simbólica de la ganancia A



Respuesta:

$$A = \frac{10}{9} \left(\frac{g_m r_{\pi} 10K}{175\beta - 175 - r_{\pi}} - \frac{1}{10} \right)$$

4. Para el circuito mostrado a continuación determinar las expresiones simbólicas de A, Zin y Zout



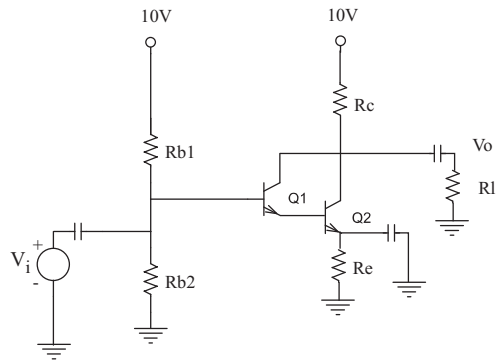
Respuesta:

$$A = \frac{R_b}{(R_b + R_l)} \left(\frac{g_m R_l}{1 + R_s g_m} \right)$$

$$Z_{in} = g_m^{-1}$$

$$Z_{out} = R_b$$

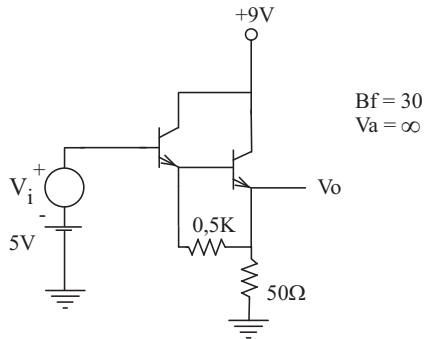
5. Para el circuito mostrado a continuación determinar la expresión simbólica de la ganancia A



Respuesta:

$$A = - \frac{R_c // R_L (\beta_2 (\beta_1 + 1) + \beta_1)}{r_{\pi 1} + r_{\pi 2} (\beta_1 + 1)}$$

6. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis DC y AC



Respuesta:

$$I_{c1} = 3,36mA$$

$$V_{ce1} = 4,7V$$

$$I_{c2} = 68,32\mu A$$

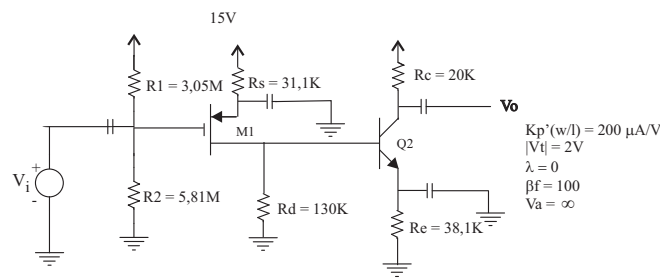
$$V_{ce2} = 5,4V$$

Capítulo 5

Circuitos Multietapa

Problemas resueltos de Circuitos multietapa

1. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis DC y AC



Análisis DC:

En DC los condensadores se comportan como abiertos. Ya que se está trabajando con circuitos amplificadores, debe suponerse que los BJT están en activo-directo y los mosfet están en saturación. Posteriormente debe verificarse que efectivamente están en ese estado.

sabemos que la ecuación de ID para un mosfet en saturación es:

$$ID = \frac{1}{2} K_n \left(\frac{w}{l}\right) (V_{gs} - V_t)^2$$

Además, esta corriente puede escribirse como:

$$ID = \frac{15 - V_s}{R_s}$$

Igualando estas dos ecuaciones tenemos:

$$\frac{1}{2} K_n \left(\frac{w}{l}\right) (V_{gs} - V_t)^2 = \frac{15 - V_s}{R_s} \quad (5.1)$$

Haciendo un divisor de voltaje a la entrada del mosfet tenemos el voltaje Vg es:

$$V_g = \frac{15 R_2}{R_1 + R_2} = 9,836$$

Entonces conocido este valor podemos hallar Vs de la ecuación (2) resolviendo una ecuación de segundo grado:

$$V_s^2 - 23,35V_s + 135,267 = 0$$

Las posibles soluciones de esta ecuación son:

- $V_{s1} = 12,6941V$ lo cual implica que $V_{gs} = -2,858V$
- $V_{s2} = 10,6559V$ lo cual implica que $V_{gs} = -0,8199V$

Como el voltaje V_{gs} debe ser menor que V_t para que el mosfet esté en saturación, tomamos como válido V_{s1} . Utilizando este valor tenemos que:

$$I_D = 74,14 \mu A$$

Ahora, para hallar el voltaje en la base del transistor BJT 2, (V_{b2}), sabemos que la corriente I_D se divide en dos corrientes, una que va hacia tierra a través de la resistencia de $130K$ y otra que va hacia la base del transistor 2 (I_{b2}).

$$I_D = I_{b2} + \frac{V_{b2}}{130K} \quad (5.2)$$

Además, es posible hallar una expresión para I_{b2} en función de V_{b2} , ya que sabemos que la corriente que va desde el emisor hasta tierra a través de la resistencia de $38,1 K$ puede expresarse de la siguiente manera:

$$I_{e2} = \frac{V_{b2} - 0,7V}{38,1K} = (100 + 1)I_{b2}$$

Despejando I_{b2} , tenemos que:

$$I_{b2} = \frac{V_{b2} - 0,7V}{3,8481M}$$

y sustituyendo I_{b2} en la ecuación (2) podemos finalmente obtener V_{b2}

$$I_D = \frac{V_{b2}}{3,8481M} - \frac{0,7}{3,841M} + \frac{V_{b2}}{130K}$$

Despejando V_{b2} de la ecuación anterior tenemos entonces que:

$$V_{b2} = 9,346V.$$

Con este voltaje ya podemos terminar de hallar el punto de operación.

$$I_{c2} = 100I_{b2} = 100 \frac{I_{e2}}{101} = \frac{100}{1001} \frac{V_{b2} - 0,7}{38,1K} = 224,68 \mu A$$

$$V_{e2} = V_{b2} - 0,7 = 8,646V$$

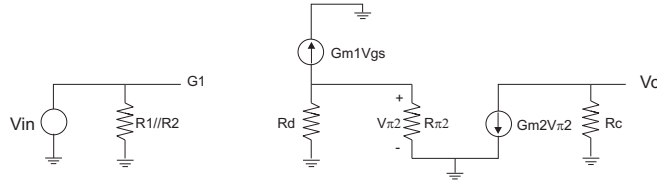
$$V_{c2} = 15 - 20K I_{c2} = 10,506V$$

Entonces concluimos que el punto de operación es el siguiente:

- $I_{dq1} = 74,14mA$
- $V_{ds1} = -3,34V$
- $I_{cq2} = 224,68\mu A$
- $V_{ce2} = 1,86V$

Análisis AC:

el modelo en pequeña señal es el siguiente:



a. Cálculo de la ganancia

Al igual de que en el caso anterior, es recomendable realizar los cálculos de atrás hacia delante, es decir, desde lo que quiero obtener hacia lo que necesito para completarlo. En este caso, la expresión para el voltaje de salida es la siguiente:

$$V_o = -gm2RcV_{\pi 2}$$

Entonces, es necesario escribir $V_{\pi 2}$ en función de valores conocidos.

$$V_{\pi 2} = -\frac{gm1V_{gs} \cdot R_d \cdot r_{\pi 2}}{R_d + r_{\pi 2}}$$

Por simple inspección, se sabe que $V_{gs}=V_i$, de modo que ya tenemos $V_{\pi 2}$ en función de valores conocidos, y por lo tanto V_o también.

$$V_o = \frac{gm1V_i \cdot R_d \cdot r_{\pi 2} \cdot R_c \cdot gm2}{R_d + r_{\pi 2}}$$

Como ganancia se define como V_o/V_i finalmente:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{gm1 \cdot R_d \cdot r_{\pi 2} \cdot R_c \cdot gm2}{R_d + r_{\pi 2}}$$

Se tiene que:

$$gm2 = \frac{I_{cq2}}{V_t} = 8,987ms$$

$$gm1 = Kp' \left(\frac{w}{l} \right) (V_{gs} - V_t) = 171,62\mu s$$

$$r_{\pi 2} = 11,127K\Omega$$

Por lo que el valor numérico de la ganancia es:

$$A = 316,17$$

b. Cálculo de la impedancia de entrada

Simplemente es la resistencia en la entrada

$$Z_{in} = R1 // R2 \simeq 2M\Omega$$

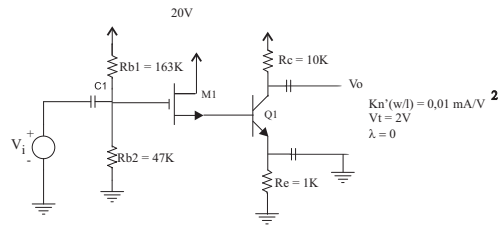
c. Cálculo de la impedancia de salida

Recordemos que para calcular la impedancia de salida es necesario hacer cero cualquier otra fuente independiente, en este caso el voltaje de entrada. Como el voltaje V_i es cero, también lo es V_{gs1} y la corriente $gm1V_{gs1}$. Entonces la impedancia de salida es simplemente la resistencia R_c

$$Z_{out} = R_c = 20K$$

Problemas propuestos de Circuitos multietapa

1. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis DC y AC



Respuesta:

$$V_{gs} = 3,14V$$

$$I_{cq} = 6,33 \cdot 10^{-4}$$

$$g_{mM} = 11,3\mu S$$

$$g_{mQ} = 0,03S$$

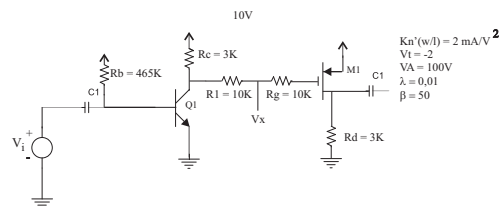
$$r_{\pi} = 3,3 \cdot 10^3 \Omega$$

$$A = \frac{-R_c g_{mQ} g_{mM} r_{\pi}}{1 + r_{\pi} g_{mM}} = -10,9V$$

$$Z_{in} = R_{b2} // R_{b1}$$

$$Z_{out} = R_c$$

2. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis DC y AC



Respuesta:

$$I_{dq} = 1mA$$

$$V_{gs} = -3V$$

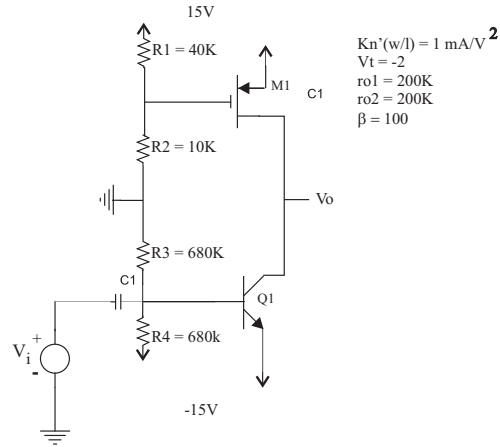
$$I_{cq} = 1mA$$

$$A = R_d g_{mM} g_{mQ} R_c \left(\frac{r_o}{r_o + R_d} \right) = 700$$

$$Z_{in} = R_b // r_{\pi}$$

$$Z_{out} = r_o // R_d$$

3. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis AC



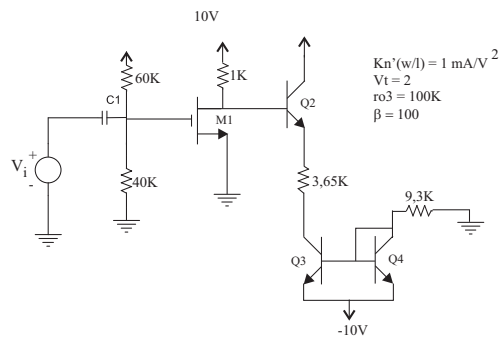
Respuesta:

$$A = -gm(r_{o1}/r_{o2})$$

$$Z_{in} = R_3 // R_4 // r_{\pi}$$

$$Z_{out} = r_{o1} // r_{o2}$$

4. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis DC y AC



Respuesta:

$$I_{dq} = 2\text{mA}$$

$$V_{gs} = 4\text{V}$$

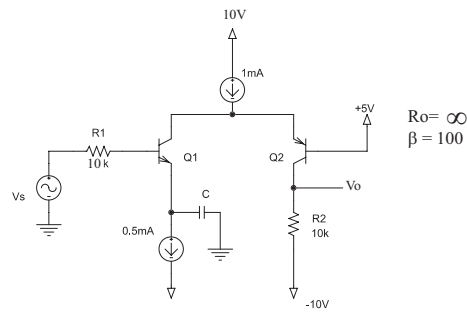
$$I_{cq} = 0,99\text{mA}$$

$$A = \frac{-r_{o3}(1+g_{mQ}r_{\pi})(g_{mM}R_3)}{R_3+R_{r\pi}+(R_4+R_3)(1+g_{mQ}r_{\pi})}$$

$$Z_{out} = r_{o3} // \left(\left(\frac{R_3+r_{\pi}}{g_{mM}r_{\pi}+1} \right) + R_4 \right)$$

$$Z_{in} = R_1 // R_2$$

5. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis AC



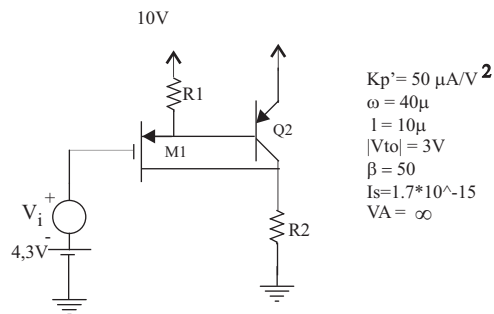
Respuesta:

$$A = \frac{R_2 \beta^2}{(R_1 + r_{\pi 1})(1 + \beta)}$$

$$Z_{out} = R_2$$

$$Z_{in} = R_1 + r_{\pi 1}$$

6. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis DC y AC



Respuesta:

$$I_{dq} = 400 \mu A$$

$$V_{gs} = -5V$$

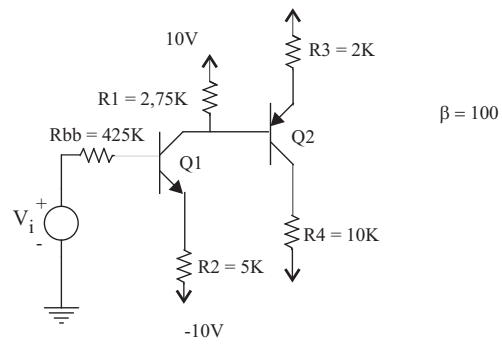
$$I_{cq} = 2,5mA$$

$$A = -R_2 g_{m1} + \frac{(R_2 g_{m1} + g_{m2}) g_{m1} R_1 r_{\pi 2}}{R_1 + r_{\pi 2} + R_1 r_{\pi 2} g_{m1}}$$

$$Z_{out} = R_2$$

$$Z_{in} = \infty$$

7. Para el circuito mostrado a continuación realizar análisis DC y AC



Respuesta:

$$I_{cQ2} = 1\text{mA}$$

$$I_{cQ1} = 1\text{mA}$$

$$A = \frac{R_4 g_{m2} g_{m1} (R_1 + R_3 (\beta_2 + 1))}{(R_{bb} + r_{\pi_1} + R_2 + R_2 \beta_1) (R_1 + r_{\pi_2} + R_3 (\beta_2))} + 1$$

$$Z_{in} = R_{bb} + r_{\pi_1} + R_2 (\beta + 1)$$