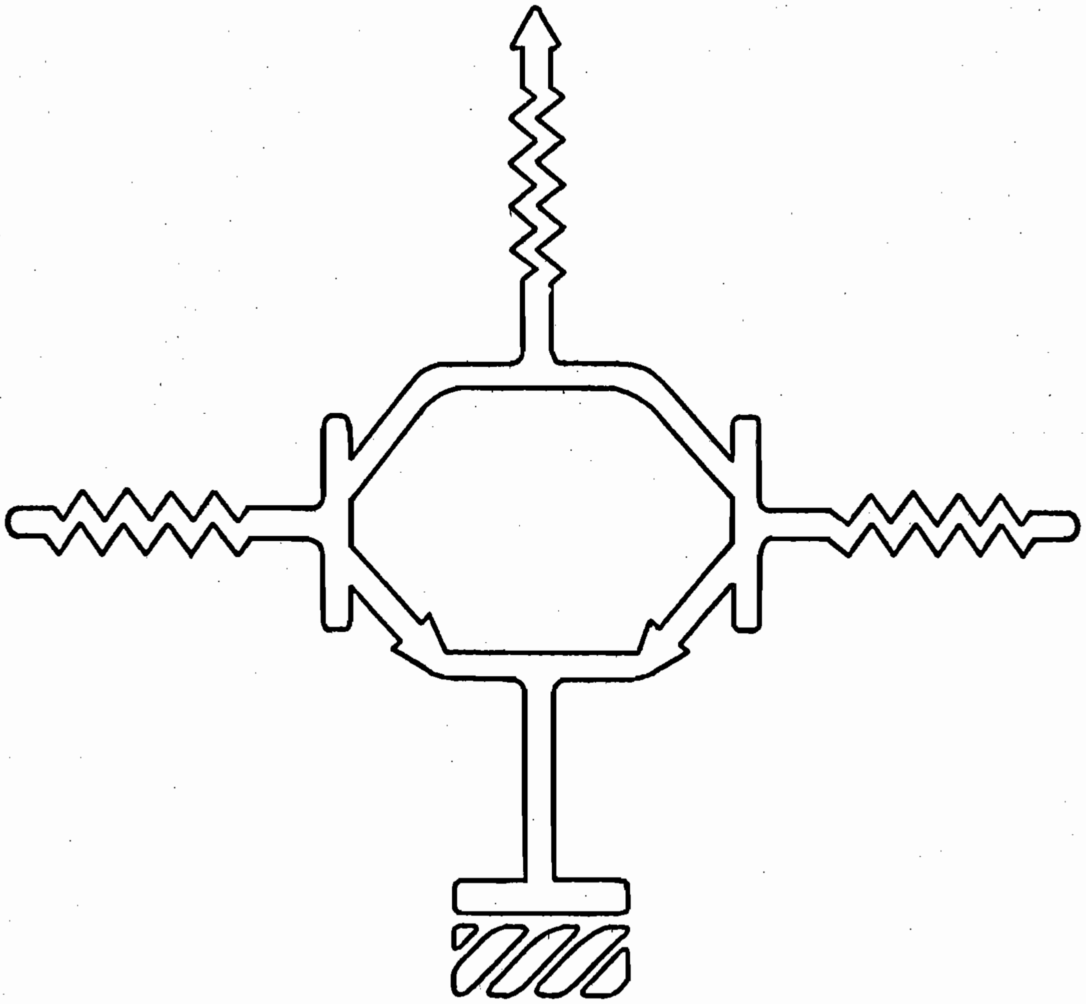
PROBLEMAS DE ELECTRONICA BASICA

(130 problemas con soluciones)



Juan A. Jiménez Tejada

Juan A. López Villanueva

PROBLEMAS DE ELECTRÓNICA BÁSICA

Juan Antonio Jiménez Tejada, Juan Antonio López Villanueva
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores.
Facultad de Ciencias
Universidad de Granada
Granada
España

ISBN: 978-84-691-4086-4
Dep. Legal: GR-1411-2008

INTRODUCCION

En este texto se presenta una colección de problemas con soluciones sobre diferentes temas de Electrónica Básica. Gran parte de estos problemas han sido propuestos en exámenes de la asignatura Electrónica General de los estudios de Informática de la Universidad de Granada.

El objetivo de este texto es ayudar a los estudiantes de un curso de Electrónica Basica a autoevaluarse. En este sentido en algunos problemas solo se da una sugerencia y la solución numérica sin detallar el cálculo. Si el estudiante no consigue resolver el problema a pesar de tal sugerencia, el consejo de los autores es que repase los fundamentos teóricos de la materia a la que corresponde el problema. De todas formas, el texto se ha compuesto para ser estudiado secuencialmente, de manera que la dificultad que pueda encontrar el estudiante en un problema concreto puede ya haber sido tratada con más detalle en un problema anterior.

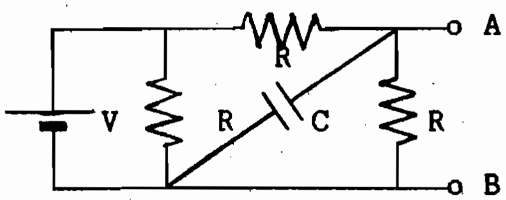
Se han incluido al principio del texto unos apartados dedicados a teoría de circuitos. Los problemas de esta parte, también propuestos en exámenes, tienen como objeto preparar al alumno para abordar los circuitos que resultarán en los apartados siguientes cuando se sustituyan los dispositivos electrónicos por sus modelos equivalentes. Como al hacer tales sustituciones pueden quedar, a veces, elementos "superfluos", se ha insistido en circuitos con esta peculiaridad, ya que la experiencia docente nos ha demostrado que suelen resultar particularmente confusos a los alumnos.

Los autores

INDICE

A) CIRCUITOS ELECTRICOS EN CONDICIONES DE CORRIENTE CONTINUA.

1.- Obtenga el circuito equivalente de Thèvenin de la red de la figura vista desde A y B.



V = 5 V

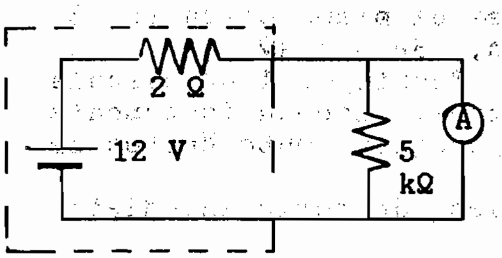
R = 1 kΩ

Solución:

Como la fuente de tensión es continua, el condensador se comporta como un circuito abierto. Además la resistencia colocada en paralelo con la fuente de tensión no afecta para nada el valor de la tensión entre A y B. El circuito se reduce, por tanto, a un divisor de tensión.

$V_{AB} = V/2$, $R_T = R||R = R/2$, es decir, $V_T = 2.5$ V y $R_T = 500\ \Omega$

2.- En la figura se encierra entre líneas de trazos el circuito equivalente de una fuente de tensión (valor nominal 12 V y resistencia interna de 2 Ω) conectada a una resistencia de 5 kΩ. Si por error conectamos en paralelo a los extremos de la resistencia un amperímetro que tiene 1.5 Ω de resistencia interna (no dibujada en la figura), calcule la corriente que circularía por el amperímetro. ¿Qué ocurriría si éste tiene un fusible de 0.2 A en serie con su resistencia interna?



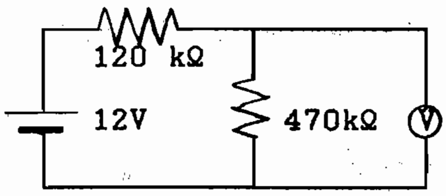
Solución:

La resistencia interna del amperímetro queda en paralelo con la de 5 kΩ, dando lugar a una resistencia equivalente de 1.4996 Ω. La tensión que soporta el amperímetro es, por tanto, 5.142 V. En consecuencia, la corriente que circularía por el amperímetro sería:

$$I = 5.142/1.5 = 3.428 \text{ A}$$

Si el amperímetro tiene un fusible de 0.2 A, como la intensidad que tiende a pasar es mayor, se funde.

3.- El voltímetro del circuito de la figura mide correctamente y su lectura es 8.7 V. ¿Coincide este valor con el esperado? ¿Por qué?

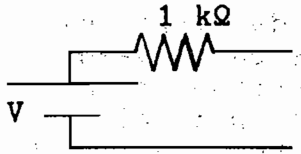


Solución:

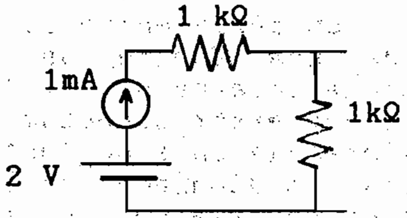
Si el voltímetro tuviera una resistencia de entrada infinita, la medida sería $V = 12 \cdot 478/(470+120) = 9.56$ V

La medida que da el voltímetro es menor debido a la influencia del instrumento que coloca una resistencia en paralelo con la de 470 kΩ. El valor de dicha resistencia se puede obtener a partir de la tensión medida y su valor es próximo a 1 MΩ.

4.- Obtenga los circuitos equivalentes Thèvenin y Norton de los dos circuitos siguientes:



(a)



(b)

Solución:

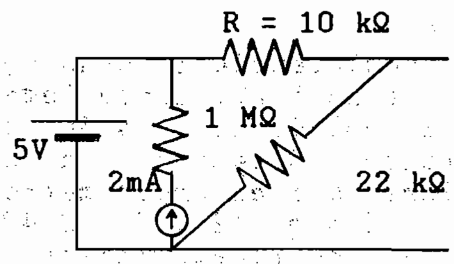
a) El equivalente de Thèvenin es el mismo circuito. El equivalente de Norton es: $I_N = 1$ mA, $R_N = 1$ kΩ.

b) Por la rama que contiene a la fuente de 1 mA circula una corriente fijada por dicha fuente, independientemente del resto de elementos, por tanto, el equivalente Norton es $I_N = 1$ mA, $R_N = 1$ KΩ.

El equivalente Thèvenin se obtiene de forma inmediata. El resultado es $V_T = 1$ V, $R_T = 1$ kΩ.

5.- a) Calcule el circuito equivalente de Thèvenin del circuito de la figura.

b) Calcule el equivalente de Norton si se cambia la fuente de tensión por la de corriente y se hace R=0.



Solución:

a) La rama colocada en paralelo con la fuente de 5 V no afecta para nada a la tensión de salida, por tanto el circuito se reduce a un divisor de tensión. Se obtiene:

$V_T = 3.4375$ V, $R_T = 6.875$ kΩ

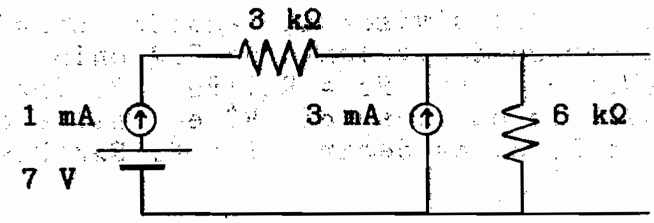
b) Sustituyendo la fuente de 5 V con su resistencia serie de 1 MΩ por su equivalente Norton se obtiene una fuente de 5 μA en paralelo con una resistencia de 1 MΩ. El equivalente Norton total será:

$I_N = 2 + 0.005 = 2.005$ mA, $R_N = 22 || 1000 = 21.526$ kΩ

El equivalente Thèvenin es:

$V_T = 43.16$ V, $R_T = 21.526$ kΩ

6.- Calcule el circuito equivalente de Thèvenin del circuito de la figura.



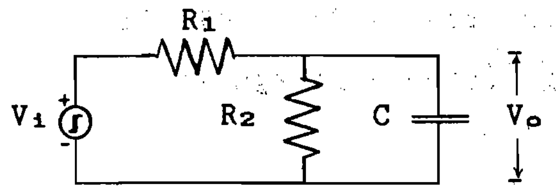
Solución:

La tensión entre los terminales de salida se puede obtener multiplicando la corriente que circula por la resistencia de 6 kΩ por el valor de dicha resistencia, esto es: $V_T = (3 + 1)\text{mA} \cdot 6\text{ k}\Omega = 24$ V

La resistencia vista desde los terminales de salida, una vez que se sustituyen las fuentes de corriente por circuitos abiertos, es $R_T = 6$ kΩ.

B) RESPUESTA TRANSITORIA.

7.- Calcular la constante de tiempo de la tensión de salida para el circuito de la figura cuando a la entrada se producen cambios bruscos entre dos niveles de tensión.



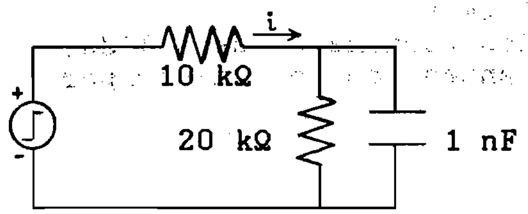
Solución:

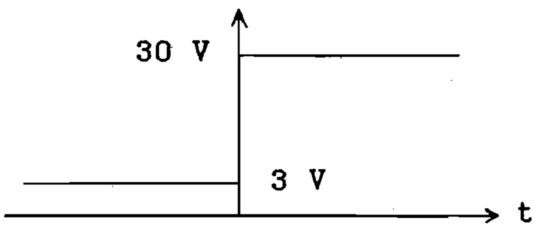
Podemos sustituir el divisor de tensión formado por las dos resistencias por su equivalente de Thèvenin:

$V_T = V_i \cdot R_2/(R_1+R_2)$ y $R_T = R_1 || R_2 = R_1 \cdot R_2/(R_1+R_2)$

El circuito resultante es una red RC en serie cuya constante de tiempo es $R_T \cdot C$, es decir, $\tau = R_1 \cdot R_2/(R_1+R_2) \cdot C$

8.- La fuente de tensión del circuito de la figura presenta un escalón de tensión en t=0 tal como se representa. Calcule el valor de la corriente i justo en el instante inicial después de la aplicación del escalón y para un tiempo $t \longrightarrow \infty$.





Solución:

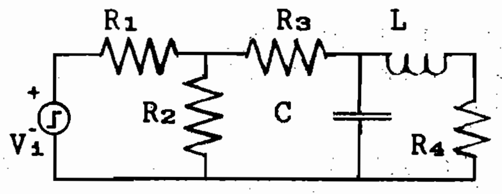
Para t<0 el circuito está en condiciones de corriente continua, por tanto la tensión en el condensador es la misma que soporta la resistencia de 20 kΩ, es decir

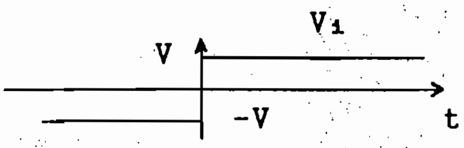
$V_C(t<0) = 3 \cdot 20/(20+10) = 2$ V. Como la tensión en el condensador no puede ser discontinua, ese mismo valor será el que soporte justo después del escalón. En consecuencia:

En $t = 0^+$, $i = (30-2)V/10k\Omega = 2.8$ mA

En $t = \infty$, $i = 30V/(20+10)k\Omega = 1$ mA

9.- En el circuito de la figura se produce un salto brusco de la tensión de entrada entre dos niveles de continua tal como se representa. Calcule:





a) Corriente que circula por R_2 para $t<0$ y $t \to \infty$ (Después del transitorio)

b) Tensión en los extremos del condensador para $t<0$.

c) Corriente que circula por la bobina cuando $t \to \infty$

d) Tensión entre los extremos de R_2 justo en el instante inicial después del salto de tensión.

$R1=R2=R3=R4=1$ kΩ, $C=1nF$, $L=1mH$, $V=5V$

<u>Solución:</u>

a) En $t=0$ y $t \to \infty$ el circuito está en condiciones de corriente continua, por tanto la tensión V' tomada en los extremos de la resistencia R_2 será $V' = 2/5 \cdot V_i$, y la corriente buscada será $2/5 \cdot V_i/R_2$

- Si $t<0$, $I = -2$ mA. Si $t \to \infty$, $I = +2$ mA

b) $V_C = V' \cdot R_4/(R_3+R_4) = V_i/5$.

- Si $t<0$, $V_i=-5$ V y $V_C = -1$ V.

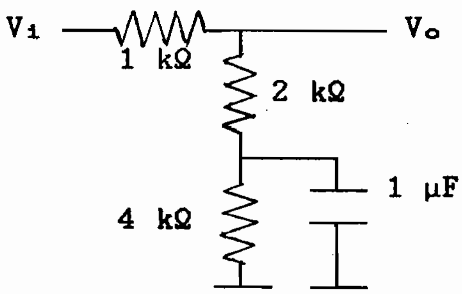
c) Cuando $t \to \infty$, la corriente que circula por la bobina es la misma que la que circula por R_4, es decir:

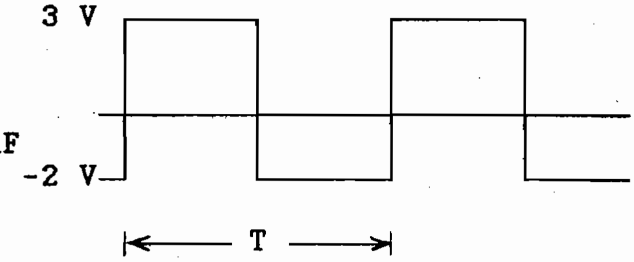
$$I_L = V'/(R_3+R_4) = 1 \text{ mA}$$

d) Como la tensión en el condensador ha de ser continua,

$$V_C(t=0) = V_C(t<0) = -1 \text{ V, por tanto, } V' = 4/3 \text{ V}$$

10.- La señal de entrada en función del tiempo para el circuito de la figura se representa a continuación. Calcule la señal de salida en función del tiempo y represéntela junto con la entrada. ¿Cuánto vale el periodo de la señal T, si $T=10 \cdot \tau$, donde τ es la constante de tiempo de la señal de salida?





Solución:

Tanto la tensión de entrada como la de salida se pueden expresar en función de la tensión V_C que soporta el condensador según:

$$V_i = I\cdot(1\ k\Omega + 2\ k\Omega) + V_C, \quad V_o = I\cdot 2\ k\Omega + V_C$$

siendo $I = V_C/4k\Omega + C\cdot dV_C/dt$. Para resolver el problema podemos calcular V_C y, a partir de ella, V_o según las ecuaciones siguientes:

$$\tau\cdot dV_C/dt + V_C = 4/7\cdot V_i$$
$$V_o = 3/2\cdot V_C + 7/6\cdot\tau\cdot dV_C/dt$$

donde $\tau = 12/7\cdot 10^3\cdot 10^{-6} = 12/7$ ms, y pot tanto $T\approx 17.1$ ms.

- Si $0<t<T/2$, $V_i=3$ V y $V_C=12/7+[V_C(0)-12/7]\cdot\exp(-t/\tau)$
- Si $T/2<t<T$, $V_i=-2V$ y $V_C=-8/7+[V_C(T/2)+8/7]\cdot$
$\cdot\exp[-(t-T/2)/\tau]$

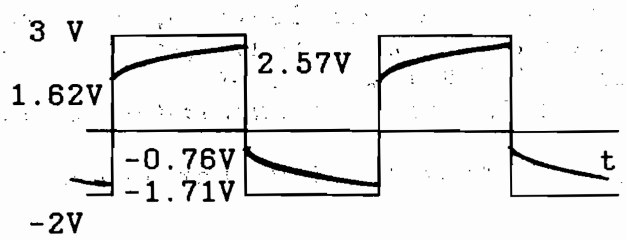
Imponiendo la continuidad de la tensión que soporta el condensador y teniendo en cuenta que $T=10\cdot\tau$, es decir, $\exp(-T/2\tau)=\exp(-5)\approx 6.7\cdot 10^{-3}$, podemos calcular $V_C(0)$ y $V_C(T/2)$:

$$V_C(T/2) = 12/7 + [V_C(0)-12/7]\cdot\exp(-T/2\tau) \approx 12/7\ V$$
$$V_C(T) = -8/7+[V_C(T/2)+8/7]\cdot\exp(-T/2\tau) = V_C(0) \approx -8/7\ V$$

Sustituyendo V_C en la expresión de V_o se obtiene

- Si $0<t<T/2$, $v_o = 18/7 - 20/21\cdot\exp(-t/\tau)$ V
  (Si $t=0^+$, $V_o \approx 1.62$ V. Si $t=(T/2)^-$, $V_o \approx 2.57$ V)
- Si $T/2<t<T$, $V_o = -12/7 + 20/21\cdot\exp[-(t-T/2)/\tau]$ V
  (Si $t=(T/2)^+$, $V_o\approx -0.76$ V. Si $t=T^-$ o $t=0^-$, $V_o\approx -1.71$ V)

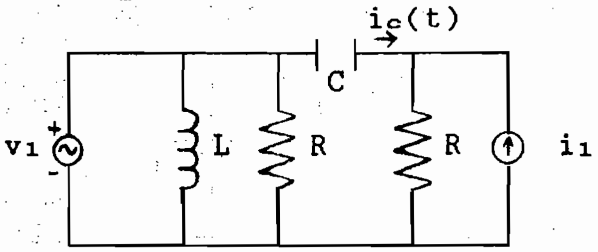
La tensión de salida es la representada en la siguiente figura:



C) CIRCUITOS ELECTRICOS EN CONDICIONES DE CORRIENTE ALTERNA.

11.- Halle la intensidad $i_c(t)$ que circula por el condensador del circuito de la figura.

$R=10\ K\Omega$ $C=1\mu F$
$L= 1\ \mu H$
$i_1(t)=I_1\cos(wt+\pi/2)$
$v_1(t)=V_1\cos\ wt$
$I_1= 1mA$ $V_1=10\ V$
$w=10^3$ rad/s



Solución:

Eliminando la bobina y la resistencia que están en paralelo con la fuente de tensión, y convirtiendo la fuente i_1 junto con su resistencia en paralelo en una fuente de tensión con la resistencia en serie, se obtiene, utilizando el formalismo de fasores complejos:

$V_1 - I_1\cdot R = I_c\cdot(Z_c+R)$ $I_c = (10-10\cdot j)/(10-j)$ mA.

o bien, en forma exponencial: $I_c = 1.407\cdot \exp(-j\cdot 0.685)$ mA.

Pasando del fasor anterior a su correspondiente señal temporal:

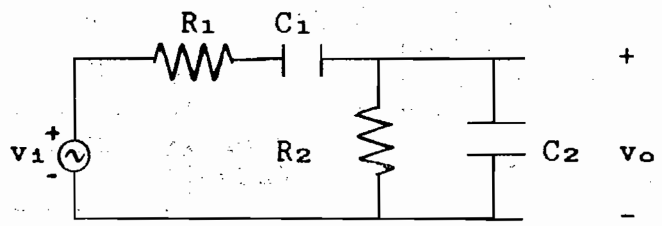
$i_c(t) = 1.407\cdot \cos(wt - 0.685)$ mA (con la fase expresada en radianes).

12.- En el circuito de la figura calcule:

a) La frecuencia para la cual v_o está en fase con la entrada.

b) La relación entre R_1, R_2, C_1, C_2 para que a la frecuencia anterior $v_o=v_1/3$.

$v_1(t)=V_1\ \cos(wt)$



Solución:

a) Sustituyendo cada par de elementos RC por su impedancia equivalente se obtiene un divisor de tensión. La relación entre las tensiones de salida y entrada es la siguiente:

$V_o = V_1\cdot(R_2||Z_{C2})/(R_1 + Z_{C1} + R_2||Z_{C2})$

Por tanto:

$V_o/V_1 = (R_2\cdot jwC_1)/[(1+jwR_1C_1)\cdot(1+jwR_2C_2)+jwC_1R_2]$

Para que el desfase entre la entrada y salida sea nulo, la parte real del denominador de la expresión anterior ha de ser cero, esto es:

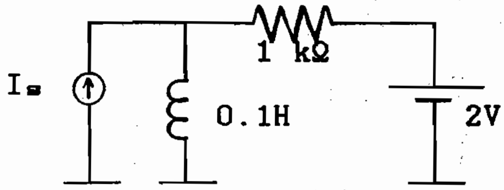
$1 - w^2R_1C_1R_2C_2 = 0$, por tanto $f = 1/(2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2})$

b) A la frecuencia anterior:

$$V_o/V_i = R_2C_1/(R_1C_1+R_2C_2+R_2C_1)$$

Para que este cociente sea 1/3: $R_1C_1+R_2C_2 = 2\cdot R_2C_1$

13.- La fuente de corriente del circuito de la figura es una fuente alterna de amplitud 3 mA y frecuencia 2000 Hz.



Obtenga una expresión para la corriente que circula por la bobina en función del tiempo.

Solución:

Según el principio de superposición, la corriente que atraviesa la bobina tendrá una componente continua y otra alterna de la misma frecuencia que la de la fuente de corriente.

La componente continua se calcula sustituyendo la fuente de corriente por un circuito abierto y la bobina por un cortocircuito. Su valor es 2V/1kΩ = 2 mA.

Para calcular la componente alterna cortocircuitamos la fuente de tensión continua y utilizamos las leyes de Kirchhoff:

$$I_s = I_L + I_R, \qquad I_L\cdot jwL = I_R\cdot R = (I_s-I_L)\cdot R$$

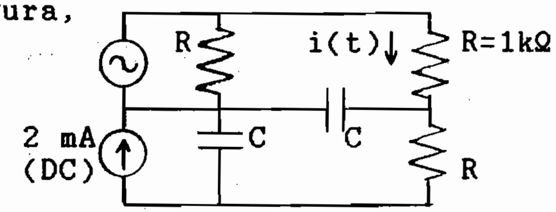
Por tanto:

$$I_L = I_s\cdot R/(R+jwL) = 1.868\cdot \exp(-j\cdot 0.899) \text{ mA}$$

La corriente total será:

$$i_L(t) = 2 + 1.868\cdot \cos(wt-0.899) \text{ mA}$$

14.- Obtenga el valor de la corriente i(t) que se indica en el circuito de la figura, sabiendo que la fuente de tensión genera una señal alterna de amplitud 1 V y frecuencia tal que $|Z_C|=R$.



Solución:

Aplicamos el principio de superposición:

- Cuando solo actúa la fuente de corriente continua, los condensadores se sustituyen por circuitos abiertos y la fuente de tensión por un cortocircuito obteniendo I=2 mA.

- Cuando solo actúa la fuente alterna tiene sentido definir la impedancia del condensador en $Z_C = 1/jwC$ en el dominio de los fasores. Como $|Z_C|=R$, $Z_C=-jR$.

Si eliminamos la resistencia que hay en paralelo con la fuente de tensión, la impedancia vista desde la fuente es:

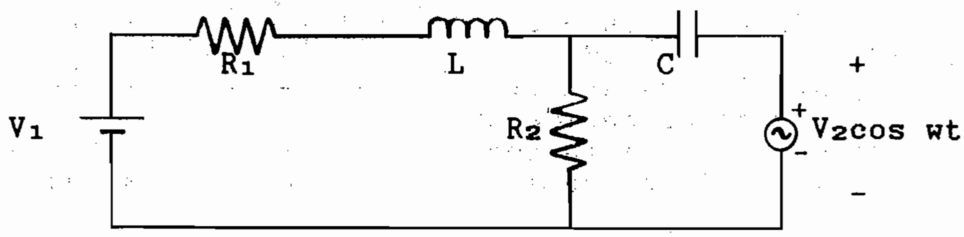
$$Z = R + Z_C||(R + Z_C) = R\cdot(-3j)/(1-2j)$$

Dividiendo el fasor asociado a la fuente de tensión por esta impedancia se obtiene: $I = 0.746 \cdot \exp(j \cdot 2.678)$ mA

La corriente total es

$$i(t) = 2\ \text{mA} + 0.746 \cdot \cos(wt + 2.678\ \text{rad})\ \text{mA}$$

15.- Calcule la intensidad que circula por la resistencia R_2.



Solución:

Aplicamos el principio de superposición.

- En condiciones DC:

$$I_{DC} = V_1/(R_1+R_2)$$

- En condiciones AC, podemos plantear una ecuación para cada malla:

$$V_2 = I_1 \cdot (1/jwC + R_2) - I_2 \cdot R_2$$
$$0 = - I_1 \cdot R_2 + I_2 \cdot (R_2 + jwL + R_1)$$

Resolviendo el sistema anterior se puede calcular la corriente deseada como $I_1 - I_2$. La amplitud de dicha corriente es:

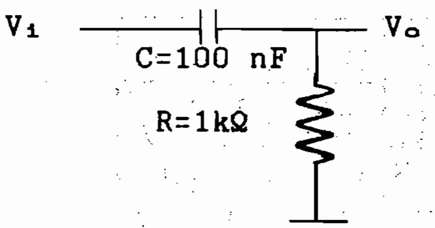
$$wC \cdot V_2 \cdot (R_1^2+w^2L^2)^{1/2}/[(R_1+R_2-w^2LCR_2)^2+w^2C^2(R_1R_2+L/C)^2]^{1/2}$$

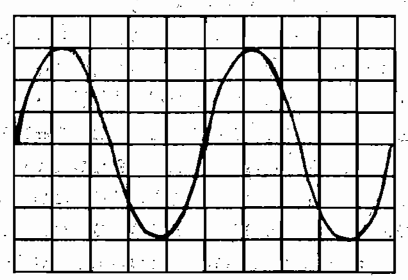
y la fase:

$$\operatorname{arctg}(wL/R_1)+\pi/2-\operatorname{arctg}[wC \cdot (R_1R_2+L/C)/(R_1+R_2-w^2LCR_2)]$$

La corriente total se obtiene calculando la señal temporal armónica correspondiente al fasor anterior, tal como se ha hecho en los problemas previos, y sumando la componente continua calculada en condiciones DC.

16.- Para el siguiente circuito se representa la señal de entrada en la pantalla del osciloscopio. Calcule la señal de salida y representarla sobre la misma pantalla. Para el eje de ordenadas la escala es de 1 VOLTS/DIV y para el de abscisas la base de tiempo es de .2 ms/DIV.



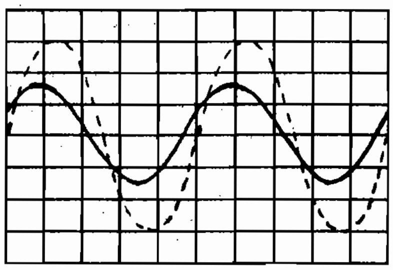


Solución:

La tensión de salida depende de la de entrada según:

$V_o = V_i \cdot R/(R+1/jwC)$

$= V_i \cdot jwCR/(1+jwCR)$

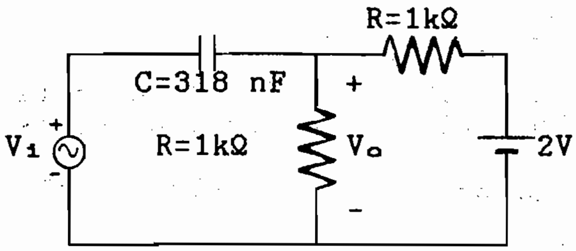


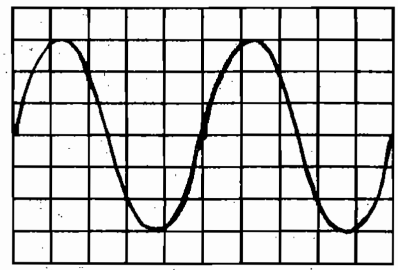
Según la figura, $T=5 \cdot 0.2=$ 1 ms por tanto, f= 1kHz y $wRC = 0.628$

Sustituyendo, se obtiene una amplitud de 1.596 V y un desfase de 1.01 rad., esto es $1.01/2\pi=16.07\%$ del periodo.

En la pantalla adjunta se muestra la tensión de salida en línea continua superpuesta con la de entrada (a trazos) para los mismos valores de las escalas que los del enunciado.

17.- Para el siguiente circuito se representa la señal de entrada Vi en la pantalla del osciloscopio. Calcule la señal de salida y representarla sobre la misma pantalla. Para el eje de ordenadas la escala es de 1 VOLTS/DIV y para el de abscisas la base de tiempo es de 0.2 ms/DIV.





Solución:

La tensión V_o será la suma de una señal continua y una señal alterna. Podemos obtener ambas componentes aplicando el principio de superposición. El resultado será la señal alterna desplazada verticalmente, en el eje de tensiones, según el valor de la componente continua.

En condiciones DC: La fuente alterna queda aislada por el condensador. La tensión entre los puntos indicados en el circuito es 1 V.

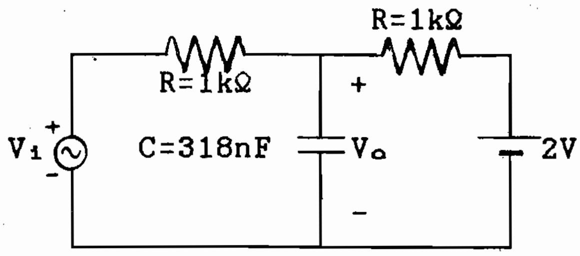
En condiciones AC:

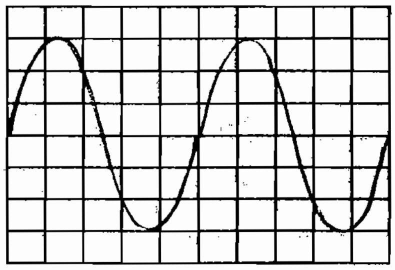
Como T= 1 ms, f=1KHz y $Z_c=-j \cdot 500\ \Omega$, se obtiene:

$V_o = V_i \cdot 500/(500-j500)$

El fasor asociado a la tensión de salida tiene una amplitud de 2.12 V y un desfase de $\pi/4$, tal como se representa en la pantalla adjunta, junto con la tensión de entrada (a trazos), con las escalas indicadas en el enunciado.

18.- Para el siguiente circuito se representa la señal de entrada Vi en la pantalla del osciloscopio. Calcule la señal de salida y representarla sobre la misma pantalla. Para el eje de ordenadas la escala es de 1 VOLTS/DIV y para el de abscisas la base de tiempo es de 0.2 ms/DIV.





Solución:

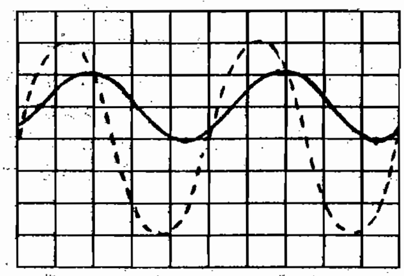
La resolución de este problema es análoga a la del anterior. En condiciones DC la tensión que soporta el condensador es 1 V.

En condiciones AC se procede de forma análoga:

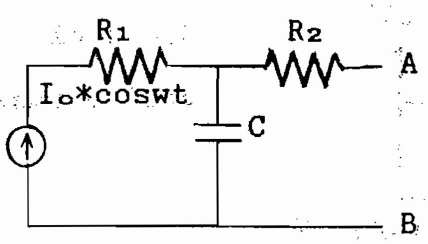
$$V_o = V_i \cdot \frac{(1/jwC||R)}{R + (1/jwC||R)}$$

$$= 3/2\sqrt{2} \cdot \exp(-j\pi/4)$$

El resultado se representa en la pantalla.



19.- Calcule el equivalente Thevenin del siguiente circuito visto desde los terminales A y B.



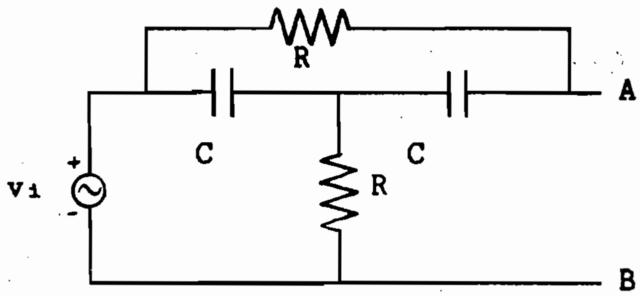
Solución:

La tensión en circuito abierto es:

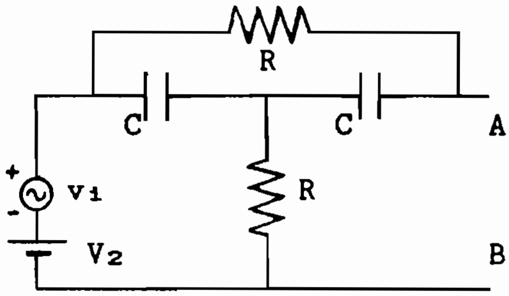
$V_T = I \cdot 1/jwC$, por tanto $v_T(t) = I_o/wC \cdot \cos(wt-\pi/2)$

La impedancia del circuito equivalente, una vez que se sustituye la fuente de corriente por un circuito abierto, es:

$$Z_T = R_2 + 1/jwC$$



(a)



(b)

Solución:

a) El circuito de la figura se puede sustituir por un fasor tensión en serie con un fasor impedancia. La tensión entre A y B se puede obtener mediante el método de análisis de las corrientes en las mallas, suponiendo que por la malla que contiene a la fuente circula una corriente cíclica I_1 y por la otra una corriente I_2:

$$V_{AB} = I_1 \cdot R + I_2 \cdot 1/jwC$$

El resultado es

$$V_{AB} = \frac{1 - w^2R^2C^2 + 2 \cdot jwRC}{1 - w^2R^2C^2 + 3 \cdot jwRC}$$

La impedancia Thèvenin es $Z_T = R||[Z_c + R||Z_c]$. Se obtiene:

$$Z_T = \frac{R \cdot (1 + 2 \cdot jwRC)}{1 - w^2R^2C^2 + 3 \cdot jwRC}$$

b) En este circuito, al existir simultáneamente fuentes de continua y de alterna no tiene sentido definir fasores a menos que se aplicara el principio de superposición. El problema principal, en este caso, sería definir la impedancia en serie del circuito equivalente.

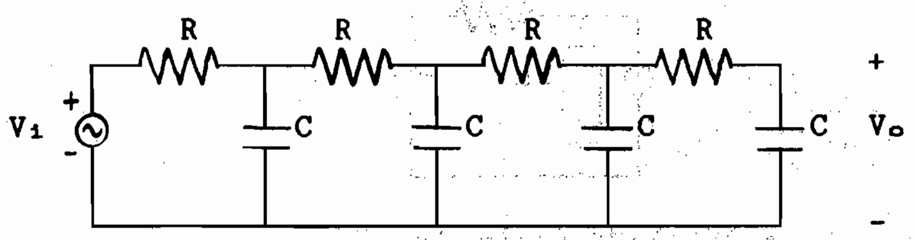
En continua, la tensión entre A y B sería justo V_2 y la impedancia en serie sería R. En alterna se obtendrían los mismos valores del apartado anterior. La fuente del circuito equivalente de Thèvenin se obtiene mediante la suma de ambas, y la impedancia del circuito equivalente es la calculada en alterna, que se reduce a R cuando w=0.

24.- Para el siguiente circuito calcular la tensión de salida en función de la tensión de entrada

$$V_i(t)=V_1 sen(w_1 t)+V_2 cos(w_2 t-\pi/2)$$

$w_1= 10^3$ rad/s $\quad$ $V_1 = 2$ V

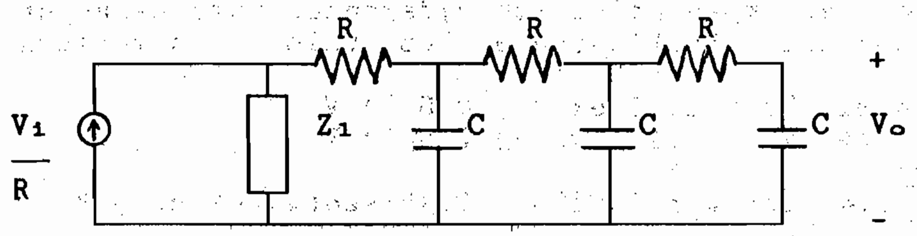
$w_2= 10^4$ rad/s $\quad$ $V_2 = 2$ V



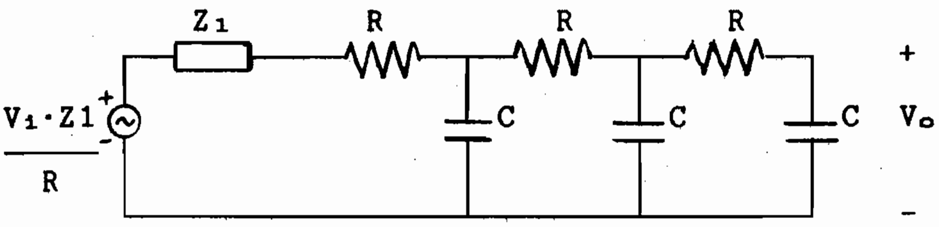
R= 10 kΩ
C= 10 nF

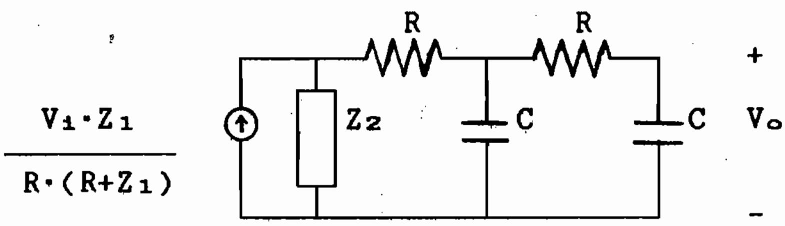
Solución:

Se puede utilizar la conversión entre fuentes de tensión e intensidad sucesivamente tal como muestran las figuras:

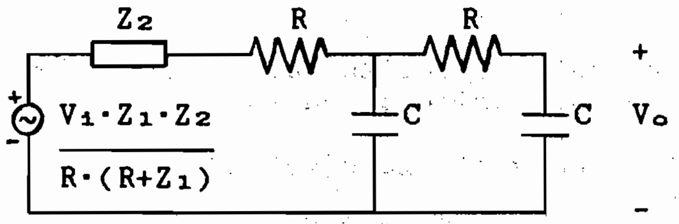


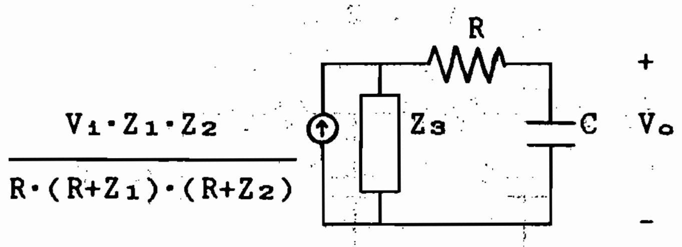
con $Z_1 = R/(1 + jw\tau)$ siendo $\tau=R\cdot C$





Con $Z_2 = (Z_1+R)/[1+jw\tau\cdot(1+Z_1/R)]$





Siendo $Z_3 = (Z_2+R)/[1+j\omega\tau\cdot(1+Z_2/R)]$

La relación entre V_o y V_1 será:

$$V_o = V_1\cdot\frac{Z_1/R\cdot Z_2/R\cdot Z_3/R}{(1+Z_1/R)\cdot(1+Z_2/R)\cdot(1+j\omega\tau+j\omega\tau\cdot Z_3/R)}$$

Como sobre el circuito actúan simultáneamente dos señales de diferentes frecuencias, hay que resolver el problema necesariamente por superposición, ya que los valores de las impedancias son diferentes para cada una de las frecuencias. Sustituyendo los valores numéricos se obtiene:

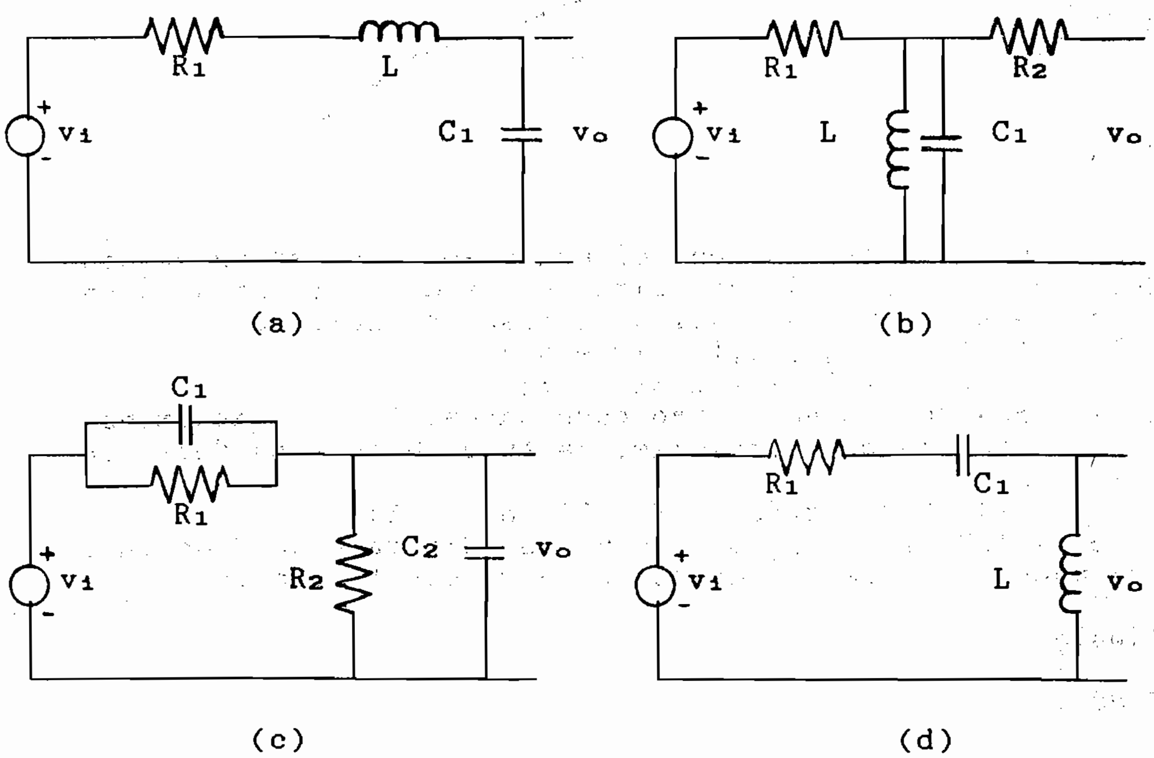
- Para w_1, $V_o = 1.48\cdot\exp(-j\cdot 0.017)$ V
- Para w_2, $V_o = 0.15\cdot\exp(-j\cdot 2.838)$ V

Por tanto:

$$v_o(t) = 1.48\cdot\mathrm{sen}(w_1 t-0.017) + 0.15\cdot\mathrm{sen}(w_2 t-2.838)\ \mathrm{V}$$

D) ANALISIS DE CIRCUITOS EN EL DOMINIO DE LA TRANSFORMADA DE LAPLACE. FUNCION DE TRANSFERENCIA. FILTROS.

25.- Calcule la función de transferencia de los siguientes circuitos y construya su diagrama de Bode. Para el circuito (c) calcule el máximo del módulo de su función de transferencia y la frecuencia de corte en el caso $R_1=R_2$, $C_1=C_2$.



$R_1=1k\Omega$ $R_2=5k\Omega$ $C_1=1\mu F$ $C_2=10\mu F$ $L=1\mu H$

Solución:

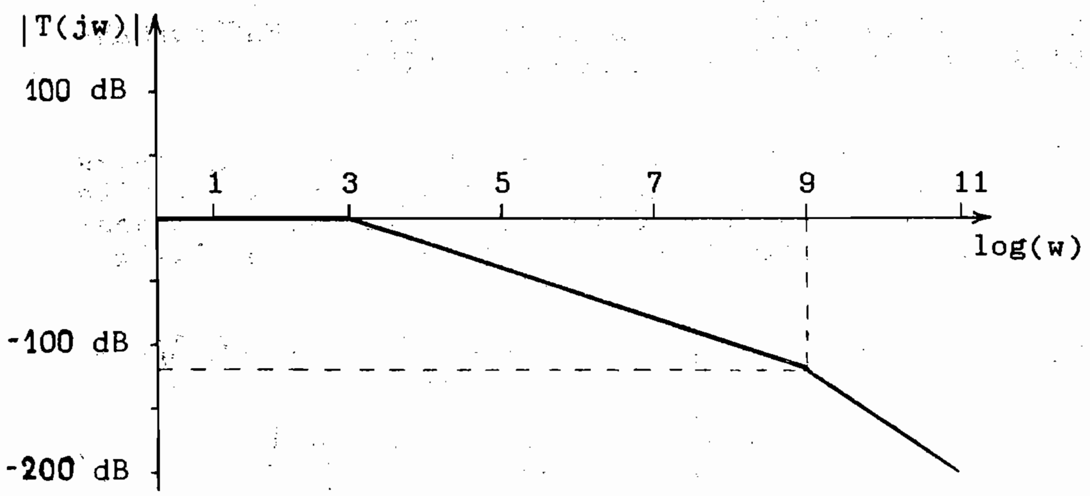
a) El circuito es un divisor de tensión. Sustituyendo cada elemento por su transformado en el dominio de la transformada de Laplace, excluyendo las fuentes debidas a condiciones iniciales (ya que la función de transferencia se define con condiciones iniciales nulas), se obtiene:

$$T(s) = 1/Cs/[1/C_1s + R_1 + Ls] = 1/(LC_1s^2 + R_1C_1s + 1)$$

Esta función de transferencia corresponde a un filtro paso-baja ya que $T(0)=1$ y $T(\infty)=0$. En concreto, ya que el denominador tiene dos raíces reales, es del tipo

$T(s) = 1/[(s+w_{c1})\cdot(s+w_{c2})]$ con $w_{c1}=10^3$ rad/s y $w_{c2}=10^9$ rad/s.

El diagrama de Bode para amplitudes se representa en la figura siguiente. Se observan en él los efectos de los dos polos, cada uno de los cuales contribuye con una caída de 20 decibelios/Década.



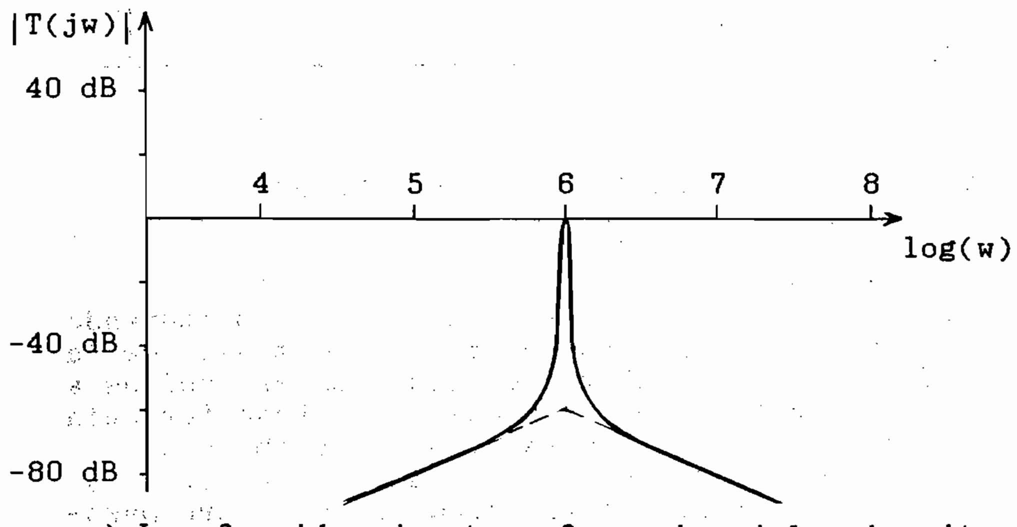
b) Con la salida en circuito abierto, en R_2 no cae tensión por lo que el circuito se reduce también a un divisor de tensión. La función de transferencia es:

$$T(s)=[Ls||1/C_1s]/[Ls||1/C_1s + R_1] =$$
$$= L/R_1 \cdot s/[LC_1s^2 + L/R_1s + 1]$$

El circuito es un filtro paso-banda. Como el denominador tiene dos raíces complejas, la función de transferencia es del tipo

$$T(s)= 2\delta/w_o \cdot s/[s^2/w_o^2 + 2\delta/w_o \cdot s + 1]$$

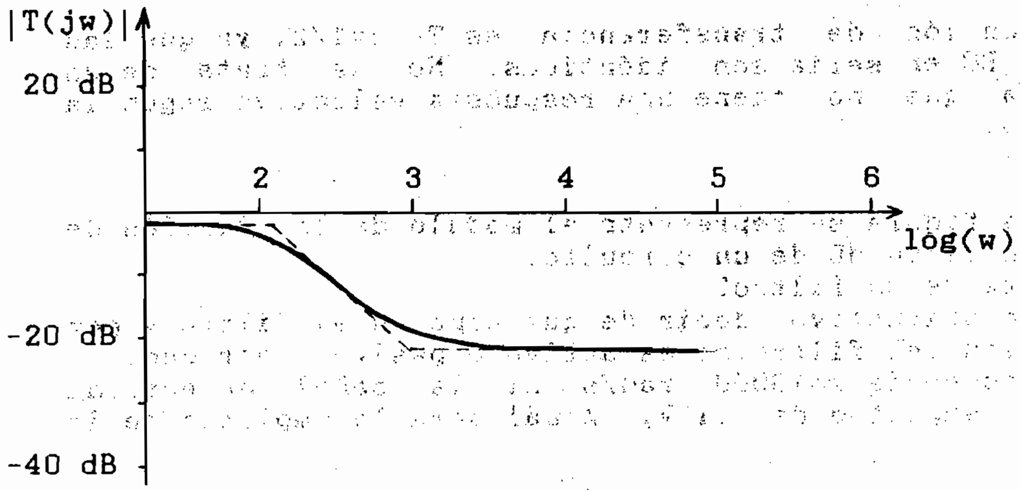
con $w_o = 10^6$ rad/s y $\delta=5 \cdot 10^{-4}$. Su diagrama de Bode para amplitudes es el representado en la siguiente figura:



c) La función de transferencia del circuito de la figura es:

$T(s)= R_2 \cdot (1+R_1C_1s)/[R_1R_2(C_1+C_2)s + R_1+R_2]$, es decir, $T(s) = R_2/(R_1+R_2) \cdot (1+R_1C_1s)/[1 + R_1||R_2 \cdot (C_1+C_2)]$

Este circuito no es un filtro, ya que, $T(0)=R_2/(R_1+R_2)=5/6$ (-1.58 dB) y $T(\infty)= C_1/(C_1+C_2)= 1/11$ (-20.83 dB). Su diagrama de Bode muestra un cero en $w=10^3$ rad/s y un polo en $w=10^9$ rad/s.

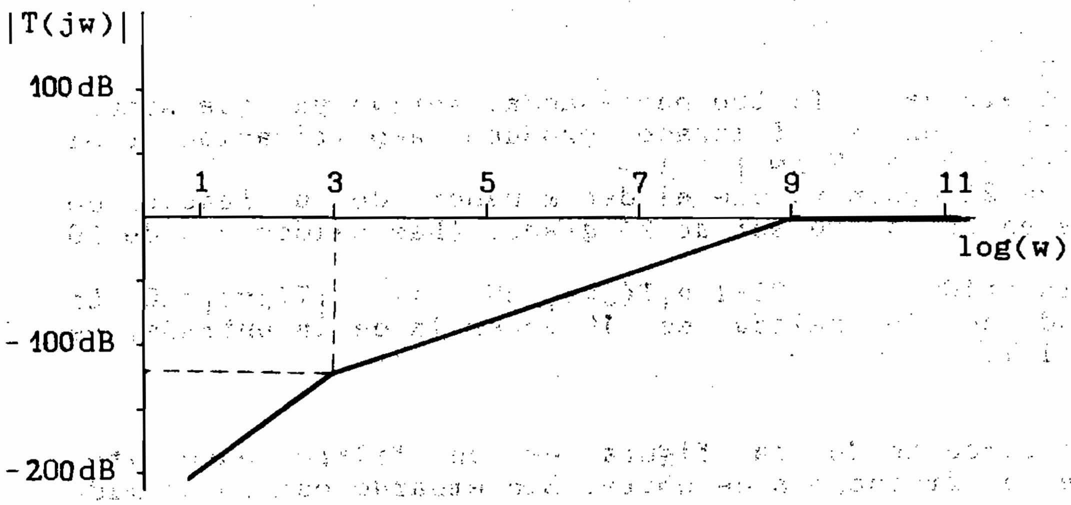


Si $R_1 = R_2$ y $C_1 = C_2$, $T(s)=1/2$ independientemente del valor de s.

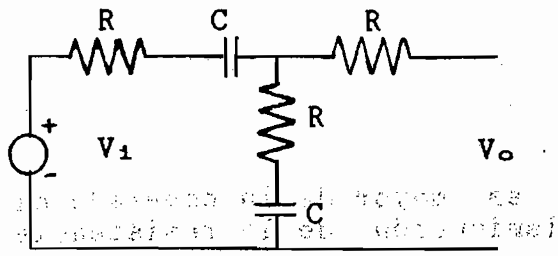
d) La función de transferencia es

$$T(s) = LC_1^2/(LC_1s^2 + R_1C_1s + 1)$$

El circuito es, por tanto, un filtro paso-alta con los mismos polos que el del apartado (a). Su diagrama de Bode para amplitudes es el representado.



26.- Para el siguiente circuito decir si se trata de un filtro. Calcular el valor del máximo de la función de transferencia.



Solución:

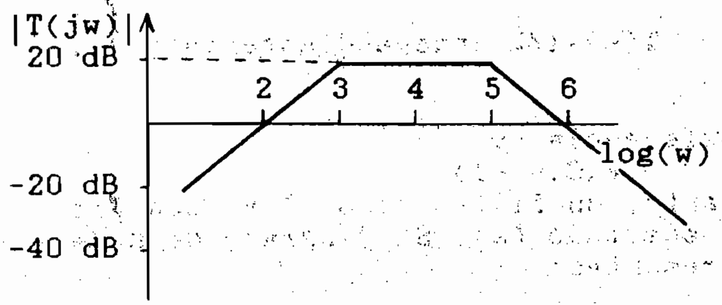
La función de transferencia es $T(s)=1/2$, ya que las dos ramas RC en serie son idénticas. No se trata de un filtro ya que no tiene una respuesta selectiva según la frecuencia.

27.- En la figura se representa el módulo de la función de transferencia en dB de un circuito.

_ ¿Se trata de un filtro?

_ En caso afirmativo decir de que tipo es el filtro y por qué, el orden del filtro, si es activo o pasivo y por qué.

- A la frecuencia w=10000 rad/s si la señal de entrada tiene una amplitud de .1 V, ¿cuál será la amplitud de la salida?.



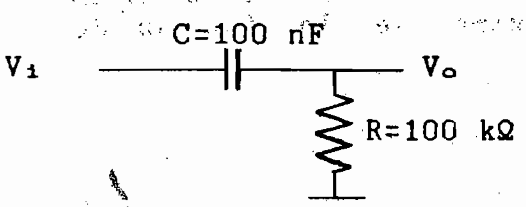
Solución:

Se trata de un filtro paso-banda, activo ya que simultáneamente con el filtrado produce amplificación. (Si $|T(jw)|_{dB} > 0 \Rightarrow |T(jw)| > 1$.

Es de 2º orden ya que el denominador de su función de transferencia ha de ser de 2º grado. (Las caidas son de 20 dB/Dec.)

Para $w=10^4$ s^{-1}, $20 \cdot \log|T(jw)|=20 \Rightarrow |T(jw)|=10$. La amplitud de la salida es 10 veces la de la entrada, es decir, 1 V.

28.- El circuito de la figura es un filtro paso alto. Calcule la frecuencia de corte. Sin embargo cuando se mide con el osciloscopio la frecuencia de corte obtenida es un 10% superior. ¿Por qué?



Solución:

Como $f_c=1/(2\pi RC)$, si f_c es mayor de la esperada es debido a que R es menor. La disminución de la resistencia total es debida a la resistencia de entrada del osciloscopio que se coloca en paralelo con R. Para que

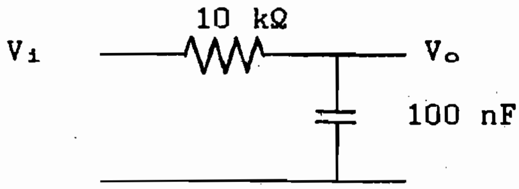
$f_c = (1 + 10\%)/2\pi RC = 1/(2\pi R_{eq}C) \Rightarrow R_{eq} = 10\cdot R = 1M\Omega.$

29.- Razonando en términos del análisis de Fourier decir como actuaría un filtro paso-banda sobre una señal periódica no armónica.

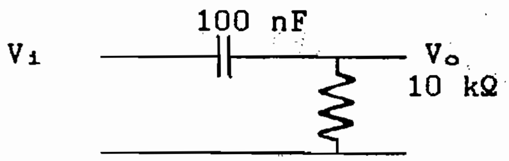
Solución:

La señal periódica se puede descomponer como suma de armónicos. El filtro paso-banda selecciona aquellos armónicos cuyas frecuencias están comprendidas dentro de la banda del filtro, atenuando los demás.

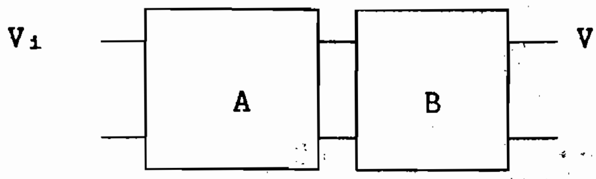
30.- Los circuitos A y B son dos redes pasivas, y el circuito C es otra red pasiva que se obtiene mediante la conexión en cascada de A y B. Representar el diagrama de Bode de los tres circuitos.



(A)



(B)



(C)

Solución:

La función de transferencia del circuito A es

$T_A(s)= 1/(1+RCs)$, es decir, es una función del tipo $T(s)=1/(1+s/w_c)$ correspondiente a un filtro paso baja con frecuencia de corte $w_c = 1/RC=10^3$ rad/s

La función de transferencia del circuito B es

$T_B(s)= RCs/(1+RCs)$, es decir, es una función del tipo $T(s)=(s/w_c)/(1+s/w_c)$ correspondiente a un filtro paso alta con la misma frecuancia de corte que la del circuito A.

La función de transferencia del circuito C, obtenido mediante la conexión en cascada de los otros dos, no es simplemente el producto de las dos funciones de transferencia anteriores, debido al efecto de carga que realiza el circuito B sobre el A.

$$T_C(s) \neq T_A(s)\cdot T_B(s)$$

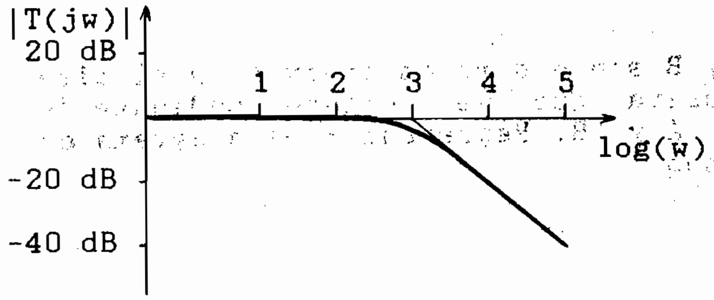
$$T_C(s) = RCs/[R^2C^2s^2 + 3RCs + 1]$$

La función anterior corresponde a un filtro paso banda y tiene 2 polos en los puntos

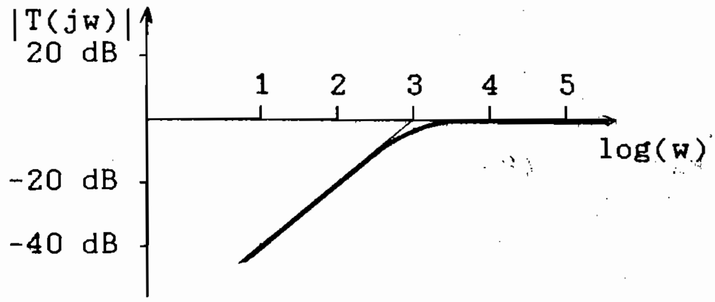
$$w_1 = (3-\sqrt{5})/2RC \quad y \quad w_2 = (3+\sqrt{5})/2RC$$

El valor de la función de transferencia en la zona central es $\approx 1/3$ esto es, -9.54 dB.

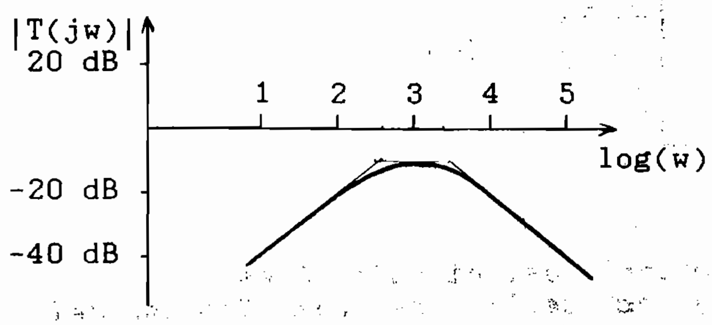
Los diagramas de Bode para amplitudes son los siguientes:



(A)

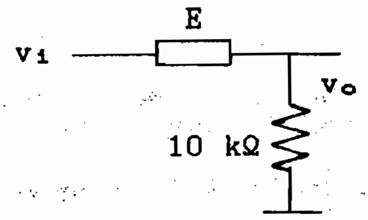


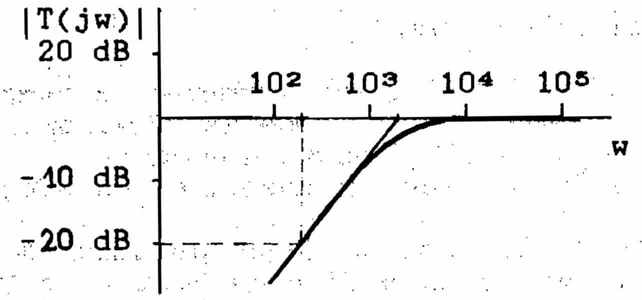
(B)



(C)

31.- En la gráfica se representa el módulo de la función de transferencia $T(s)=V_o(s)/V_i(s)$ de la red de la figura. Determine qué tipo de elemento es E y su valor. Calcule el periodo para el cual el módulo de la función de transferencia vale -20 dB.





Solución:

La respuesta representada es la de un filtro paso alta con frecuencia de corte $w = 2\cdot10^3$ rad/s. El elemento E puede ser un condensador tal que $RC=1/2\cdot10^3$ s, y por tanto C=50 nF.

Si $|T(jw)|_{dB} = -20$ dB $\Rightarrow$ $|T(jw)| = 0.1$

En consecuencia $100\cdot(w/w_c)^2 = 1+(w/w_c)^2 \Rightarrow w=0.1005\cdot w_c$

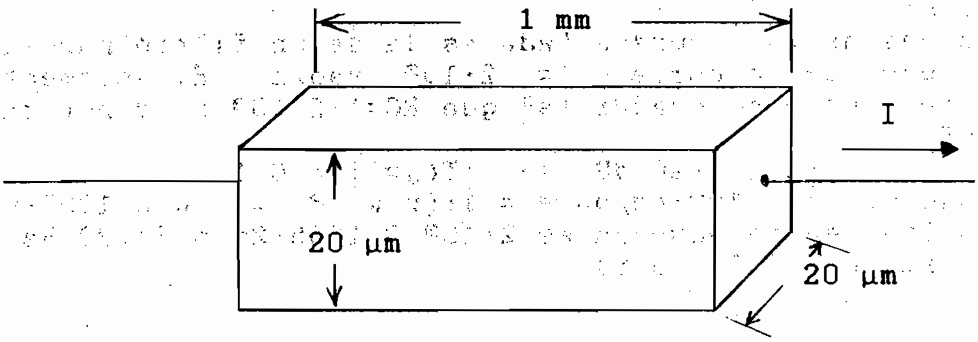
La frecuencia buscada es $2\cdot10^3\cdot0.1005/2\pi = 31.99$ Hz y el periodo T = 31.26 ms

E) SEMICONDUCTORES.

32.- Calcule la resistencia, a temperatura ambiente, del bloque semiconductor de la figura cuando la corriente lo atraviesa en el sentido indicado.

a) Si el semiconductor es un bloque de Silicio intrínseco.

b) Si el semiconductor es tipo N, con una impureza de fósforo por cada millón de átomos de Silicio (1 p.p.m.)



Datos: Densidad de átomos del silicio = $5\cdot10^{22}$ átomos/cm^3
Densidad intrínseca de portadores = $1.45\cdot10^{10}$ cm^{-3}
Movilidad de los electrones en el silicio:
μ_n = 1500 cm^2/(V·s)
Movilidad de los huecos en el silicio:
μ_p = 450 cm^2/(V·s)

Solución:

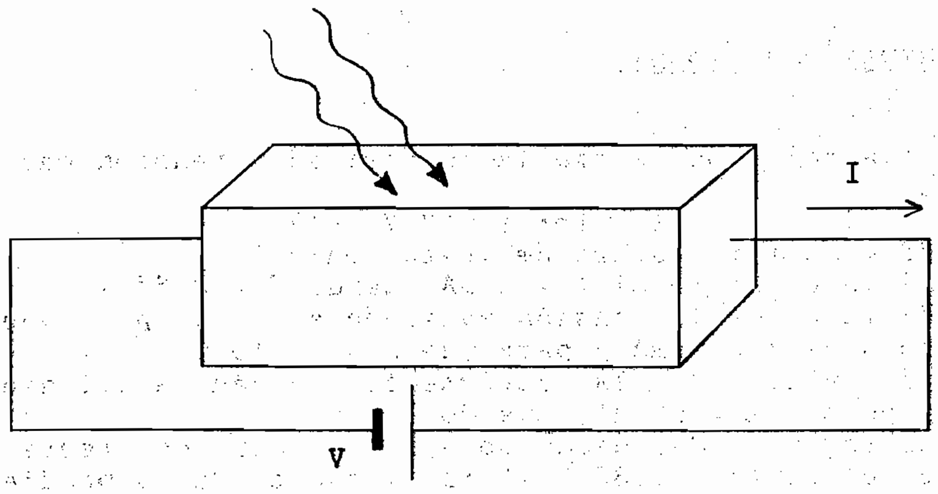
La resistencia de un material homogéneo depende de sun dimensiones geométricas y de su resistividad.

$R = L/(\sigma\cdot A)$ siendo σ la conductividad (inversa de la resistividad), L la longitud y A la sección perpendicular al sentido de la corriente.

a) $n=p=n_i \Rightarrow \sigma = q\cdot(\mu_n+\mu_p)\cdot n_i = 4.524\cdot10^{-6}\ (\Omega\cdot cm)^{-1}$
$R = 0.1/[4.524\cdot10^{-6}\cdot(20\cdot10^{-4})^2] = 5526\ M\Omega$

b) $N_D = 5\cdot10^{22}/10^6 = 5\cdot10^{16}$ cm^{-3}. Por tanto
$n \approx N_D = 5\cdot10^{16}$ cm^{-3}, $p = n_i^2/n \approx 4200$ cm^{-3} $\Rightarrow$
$\sigma \approx q\cdot\mu_n\cdot n = 12\ (\Omega\cdot cm)^{-1}$. La resistencia es:
$R = 0.1/[12\cdot(20\cdot10^{-4})^2] = 2083\ \Omega$

33.- En la figura se muestra un circuito formado por una fuente de tensión y un bloque de semiconductor tipo N que se comporta como una resistencia, de forma que la corriente que circula es I_1. Si iluminamos la muestra de forma que se generen pares electrón-hueco en el semiconductor hasta que la concentración de huecos iguale a la de impurezas donadoras N_D la intensidad adquirirá un nuevo valor I_2. Sabiendo que la movilidad de los electrones es el triple que la de huecos, ¿ Será I_2 mayor o menor que I_1 ? ¿Cual es el valor de la relación I_2/I_1 ?



Solución:

Al iluminar, se generan electrones y huecos con lo cual la conductividad del semiconductor aumenta. En consecuencia se produce una disminución de la resistencia del bloque de la figura y, por tanto, la corriente I_2 es mayor que I_1.

$I_2 = V/R_2 = V \cdot \sigma_2 \cdot A/L$ e $I_1 = V/R_1 = V \cdot \sigma_1 \cdot A/L$

Antes de iluminar $\sigma_1 \approx q \cdot \mu_n \cdot N_D$. Después de iluminar la densidad de huecos generados es N_D con lo que la densidad de electrones pasa a ser $2 \cdot N_D$. La conductividad en este caso es $\sigma_2 = q \cdot \mu_p \cdot N_D + q \cdot \mu_n \cdot 2N_D = q \cdot \mu_n \cdot (1/3 + 2) \cdot N_D$. Se obtiene: $I_2/I_1 = 7/3$

F) CIRCUITOS CON DIODOS.

34.- Si la relación entre la intensidad y tensión para un diodo es

$$I = I_o \cdot [\exp(V/V_T)-1]$$

con V_T=26 mV a temperatura ambiente, calcule:

a) El valor de I_o si I = 1 mA cuando V = 0.65 V.

b) El valor de la tensión aplicada al diodo para que la corriente sea de 0.1 mA y para que sea de 10 mA.

c) El valor de la resistencia dinámica del diodo, definida como $r_d = dV/dI$, cuando I=1 mA.

d) Si la curva del diodo se aproxima por una recta que pase por el punto (0.65 V, 1 mA) y que tenga la pendiente calculada en el apartado anterior, obtenga el modelo de diodo que representa esa recta.

Solución:

a) Basta con sustituir valores numéricos. Se obtiene $I_o = 1.39 \cdot 10^{-14}$ A.

b) Respuesta: 0.59 V, 0.71 V. Obsérvese la poca variación de tensión necesaria para variar la corriente en dos décadas.

c) r_d = 26 Ω. Este valor depende, obviamente, del punto considerado en la curva I(V).

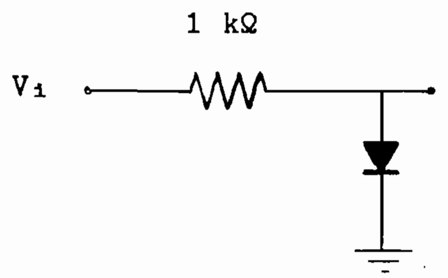
d) La resistencia dinámica es la obtenida en el apartado anterior. La tensión umbral puede obtenerse extrapolando la recta hasta cortar el eje de abscisas, esto es, si $I \approx (V-V_u)/r_d$, imponiendo que la recta pase por el punto indicado se obtiene V_u=0.624 V.

35.- En el circuito de la figura la tensión de salida se toma entre los extremos de un diodo.

a) Utilizando la expresión de la corriente del diodo en función de la tensión aplicada con los valores calculados en el problema anterior, obtenga los valores de V_i para que V_o sea 0.5 V, 0.6 V, 0.65 V, 0.7 V.

b) Obtenga los valores de V_i que se obtendrían si en lugar de utilizar el modelo dado por la ecuación de la curva característica, se utiliza el modelo obtenido en el apartado d del problema 1.

c) Compare los resultados con los que se obtendrían con un modelo dado por V_u = 0.65 V y r_d = 0.



Solución:

a) Sustituyendo los valores de V_o en la expresión de la característica del diodo se obtienen los valores de la corriente que debe circular por él en cada caso. Teniendo en cuenta que $V_i = I \cdot R + V_o$, se obtienen, respectivamente:

0.503 V, 0.764 V, 1.65 V, 7.542 V.

Obsérvense los elevados valores de V_i que hay que aplicar al circuito si se pretende que la tensión en el diodo crezca por encima de 0.7 V.

b) Hasta que la tensión de entrada no supere el valor de V_u, se supone que no circula corriente por el diodo, por tanto, en los dos primeros casos $V_i = V_o = 0.5$ V, 0.6 V. En los dos siguientes, sustituyendo V en la expresión del modelo para calcular I, se obtiene respectivamente: 1.65 V, 3.62 V.

c) En los dos primeros casos $V_o = V_i$. En el tercero, cualquier valor de V_i superior a 0.65 V. El último no es compatible con este modelo.

36.- El diodo del circuito de la figura tiene un valor de $I_o = 10^{-15}$ A y de $V_T = 25$ mV a 25°C.

a) Si $V_i = 5$ V obtenga numéricamente el valor de V_o a 25°C.

b) Sabiendo que I_o crece un 7%/°C cuando crece la temperatura, demuestre que I_o se duplica cada 10°C y calcule su valor a 45°C.

c) Sabiendo que V_T es proporcional a la temperatura absoluta, obtenga V_T a 45°C y la tensión de salida V_o a esa temperatura.

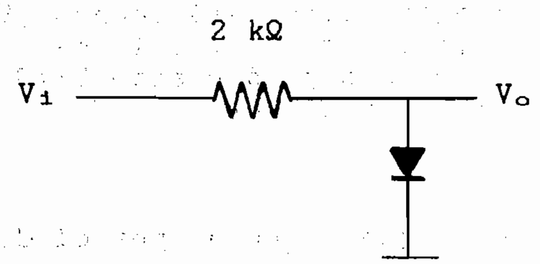


Fig P3

Solución:

a) La ecuación del circuito es:

$$V_i = I_o \cdot [\exp(V_o/V_T) - 1] \cdot R + V_o$$

Se puede obtener V_o mediante cualquier procedimiento numérico adecuado, resultando el valor $V_o \approx 0.71$ V.

b) Si $1/I_o \cdot dI_o/dT = 0.07$, integrando entre dos valores cualesquiera se obtiene $\ln(I_{o2}/I_{o1}) = 0.07 \cdot (T_2 - T_1)$. Si $I_{o2} = 2 \cdot I_{o1} \Rightarrow T_2 - T_1 \approx 10°C$

Si la temperatura crece 20° C, la corriente I_o se multiplicará por 4, es decir $I_o(45°C) = 4 \cdot 10^{-15}$ A.

c) $V_T(45°C)/V_T(25°C) = (45+273)/(25+273) = 1.067$, por tanto, el nuevo valor de V es 26.68 mV. Con estos nuevos valores se repite el apartado (a), obteniendo $V_o \approx 0.739$ V.

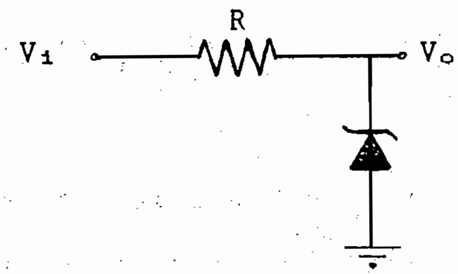
37.- El diodo Zener del circuito de la figura se puede sustituir por un modelo lineal a tramos con V_z=5 V, r_z=5 Ω, V_u=0.65V, r_d=25 Ω. Obtenga:

a) El valor de R para que I_z=1 mA cuando V_i=8 V.

b) V_o en función de V_i si V_i varía entre -8 y +8 V.

c) La corriente máxima que circula por el Zener cuando V_i varía en el rango anterior.

d) La potencia máxima que disipa el Zener cuando está polarizado con una tensión superior a la de ruptura también en el rango anterior.



Solución:

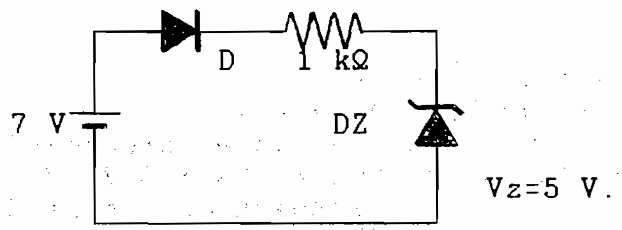
a) $V_o = V_z + I \cdot r_z = 5.005$ V => $R = (V_i - V_o)/I = 2995$ Ω.

b) Si $-0.65 < V_i < 5$ V, el diodo Zener no conduce y $V_o = V_i$. Si $V_i < -0.65$ V, el diodo conduce en directo y $V_o = -V_u + I \cdot r_d$, siendo $I = (V_i - V_o)/R$. Se obtiene $V_o = V_i/120.8 - 0.645$ V. Si $V_o > 5$ V, el Zener conduce en inversa, en modo de ruptura, y se obtiene, operando de forma análoga, $V_o = V_i/600 + 4.992$ V.

c) La máxima corriente circulará cuando $|V_i - V_o|$ sea máxima, esto es, cuando $V_i = -8$V => $|I| = 2.43$ mA

d) La máxima potencia se disipará cuando V_i=8 V, con lo que I=1 mA => $P = I^2 r_z + I \cdot V_z = 5.005$ mW.

38.- Obtenga la corriente que circula por el diodo Zener en el circuito de la figura.

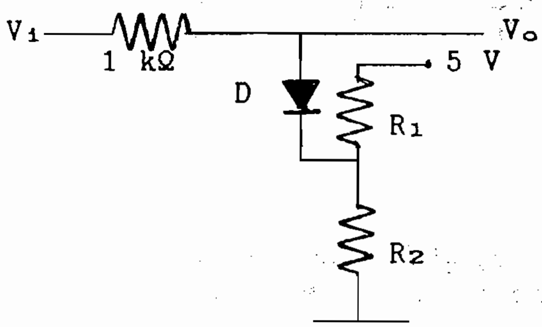


Solución:

Con 7 V a la entrada tanto el diodo D como el Zener pueden conducir. La corriente será:

$$I = (7 - V_u - V_z)/R = 1.35 \text{ mA}$$

39.- En el circuito de la figura, sabiendo que $R_1+R_2=10$ kΩ (Son un potenciómetro de 10 kΩ) calcule R_1 y R_2 para que el diodo empiece a conducir cuando $V_i=2.5$ V. ¿Cuánto vale V_o en este caso?

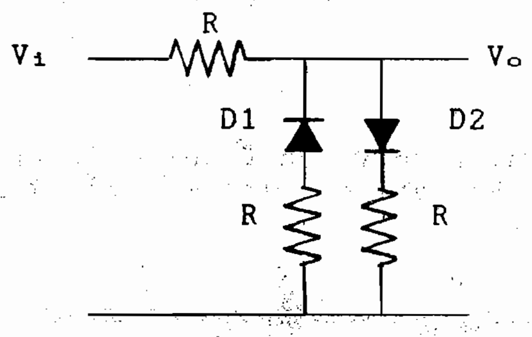


Solución:

Para que el diodo empiece a conducir, será necesario que la tensión que soporta sea superior a la umbral. Como justo en el punto que separa el estado de conducción del de bloqueo, aún podemos considerar despreciable la corriente que circula por el diodo, la tensión en el punto medio del potenciómetro será $5V \cdot R2/(R_1+R_2)$ y la tensión de salida será igual a la de entrada $V_o=V_i=2.5$ V. Por tanto,

$2.5V - 5V \cdot R_2/(100k\Omega) = 0.65$ V => $R_2 = 37$ kΩ y $R_1 = 63$ kΩ

40.- Obtenga la relación entre V_o y V_i en el circuito de la figura.



Solución:

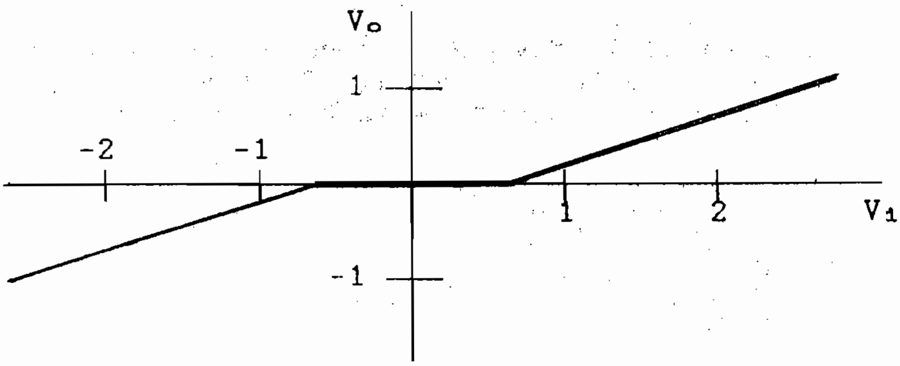
Si $-0.65<Vi<0.65$, ninguno de los diodos puede conducir y, por tanto, $V_o=V_i$.

Si $V_i<-0.65$, conducirá el diodo D_1 y, despreciando la resistencia del diodo frente a la resistencia R que tiene en serie, $V_o=(V_i-0.65)/2$.

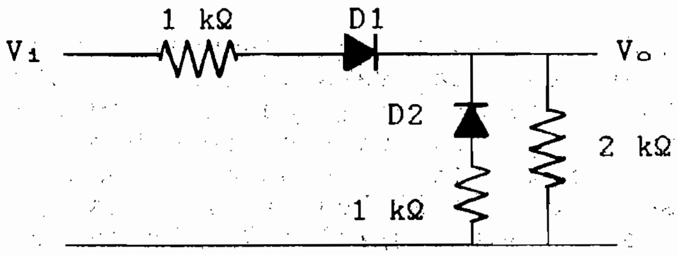
Si $V_i>0.65$, conducirá el diodo D_2 y, análogamente,

$V_o=(V_i+0.65)/2$

Este resultado se representa en la siguiente figura:



41.- Obtenga V_o en función de V_i para el circuito de la figura despreciando la resistencia de los diodos en su modelo linealizado.



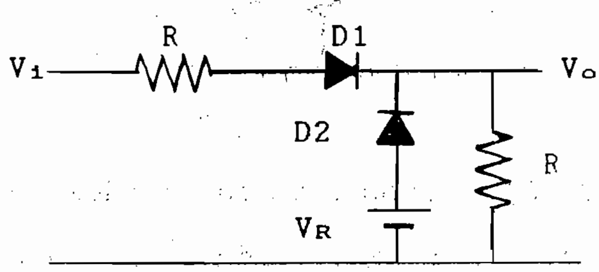
Solución:

En este circuito, D_2 no conduce nunca ya que no existe ninguna fuente de tensión que lo polarice en directo.

Si $V<0.65$, D_1 tampoco conduce y $V_o=0$.

Si $V_i>0.65$, $V_i = 0.65\ V + I\cdot(1\ k\Omega + 2\ k\Omega)$, y $V_o=I\cdot 2k\Omega$ => $V_o=2\cdot V_i/3-.433\ V$.

42.- Obtenga el valor de V_o en función de V_i (para valores de V_i entre 0 y 15 V) para el circuito de la figura si $V_R=5$ V, $R=1\ k\Omega$ y $r_d=20\ \Omega$.



Solución:

Para que D_1 conduzca, V_i ha de ser suficientemente elevada. Si no lo es, D_1 estará en estado de bloqueo y la salida no estará influenciada por la entrada. En este caso

D_2 estará polarizado en directo:

$V_R = 0.65 + I \cdot r_d + I \cdot R, \quad V_o = I \cdot R \Rightarrow \quad V_o = 4.26$ V

Esta situación se mantendrá hasta que $V_i \geq 4.26+0.65=4.91$ V

Cuando V_i supere este valor, D_1 entrará en conducción. D_2 seguirá conduciendo mientras $V_R-V_o>0.65$ V, esto es, mientras $V_o<4.35$ V. Cuando ambos diodos conducen,

$$(V_i-0.65-V_o)/(R+r_d) + (V_R-0.65-V_o)/r_d = V_o/R$$

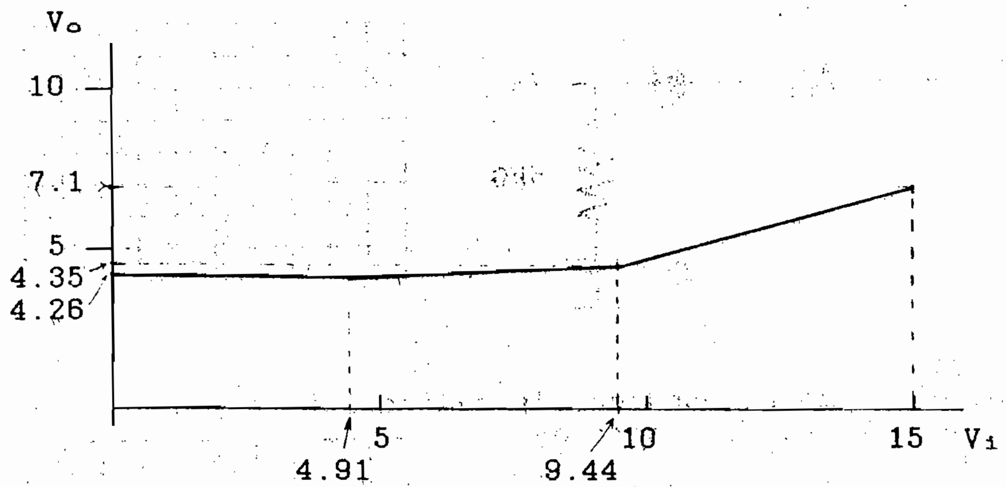
$\Rightarrow \quad V_o=0.01886 \cdot V_i +4.172$ V.

Cuando V_o alcance 4.35 V, para lo cual, según la expresión anterior, es necesario que que $V_i=9.44$ V, D_2 dejará de conducir y solo conducirá D_1. En este caso:

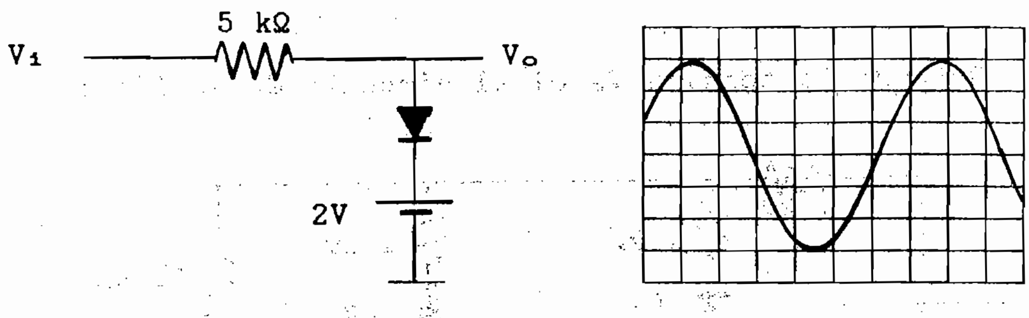
$$(V_i-V_u-V_o)/(R+r_d) = V_o/R \quad \Rightarrow \quad V_o=0.495 \cdot V_i-0.3218.$$

Sustituyendo en la expresión anterior, cuando Vi alcance su valor máximo (15 V), $V_o=7.1$ V.

Los resultados anteriores se representan en la siguiente gráfica.



43.- Para este circuito se representa en la pantalla del osciloscopio la señal de entrada (VOLTS/DIV=2, ms/DIV=1). Dibuje la salida en la misma pantalla especificando las escalas que se utilicen. Explique por qué.



Solución:

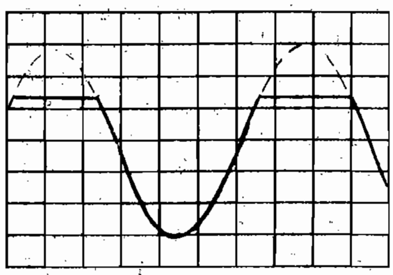
Si $V_i > 2 + 0.65 = 2.65$ V, el diodo conducirá y

$V_i = I \cdot R + 0.65 + 2V$

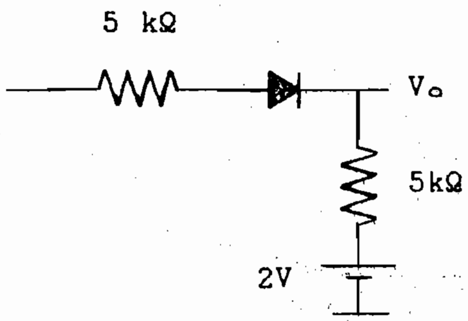
Si se desprecia la resistencia del diodo, $V_o = 2.65$ V.

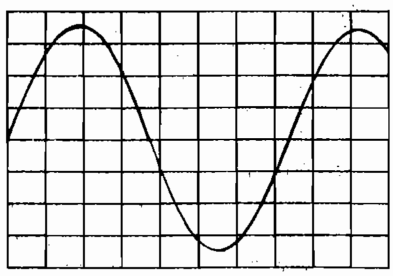
Si $V_i \leq 2.65$ V, el diodo no conduce y $V_o = V_i$.

La salida está representada junto con la entrada a trazos.



44.- Para este circuito se representa en la pantalla del osciloscopio la señal de entrada (VOLTS/DIV=2, ms/DIV=1). Dibuje la salida en la misma pantalla especificando las escalas que se utilicen. Explique por qué.





Solución:

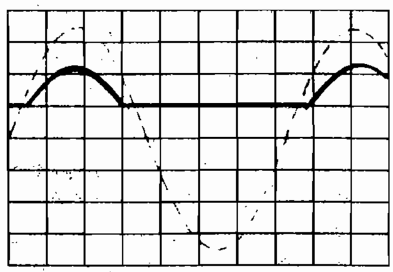
Si el diodo no conduce, la salida está fijada a un valor de 2 V por la fuente de tensión.

Si $V_i > 2.63$ V, el diodo conduce y $V_o = I \cdot 5k\Omega + 2$ V

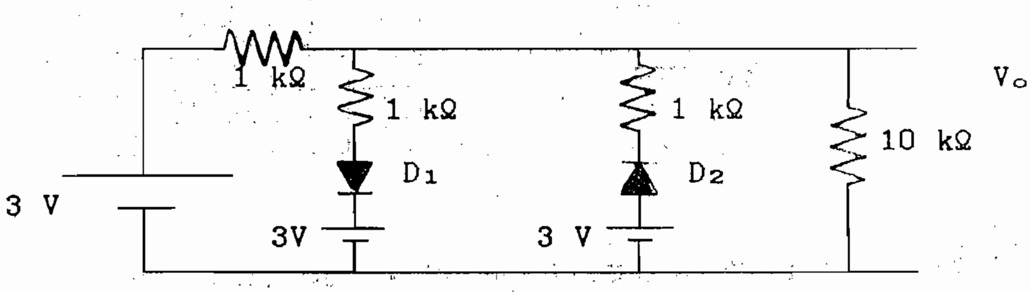
Mientras que

$V_i = I \cdot 5k\Omega + 0.65 + I \cdot 5k\Omega + 2$ V

$\Rightarrow V_o = V_i/2 - 0.675$ V



45.- Obtenga la tensión V_o el el circuito de la figura.



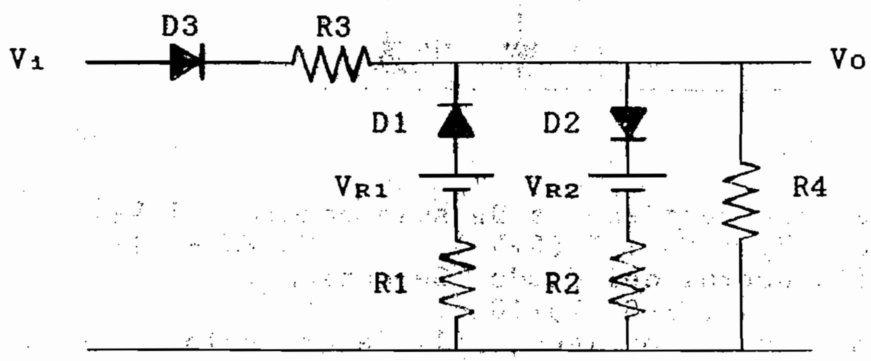
Solución:

En el ánodo de D_1 no puede haber una tensión superior a 3 V => D_1 está siempre en estado de bloqueo. Si D_2 conduce:

$$(3V-V_o)/1k\Omega + (3V-0.65V-V_o)/1k\Omega = V_o/10k\Omega$$

Se obtiene un valor de $V_o=2.55$ V. Sin embargo con este valor D_2 soporta una tensión inferior a 0.45 V, por lo que no es válida la hipótesis de que está en conducción. D_2 no conduce y, por tanto, $V_o=3V\cdot 10k\Omega/(1k\Omega+10k\Omega) = 2.73$ V

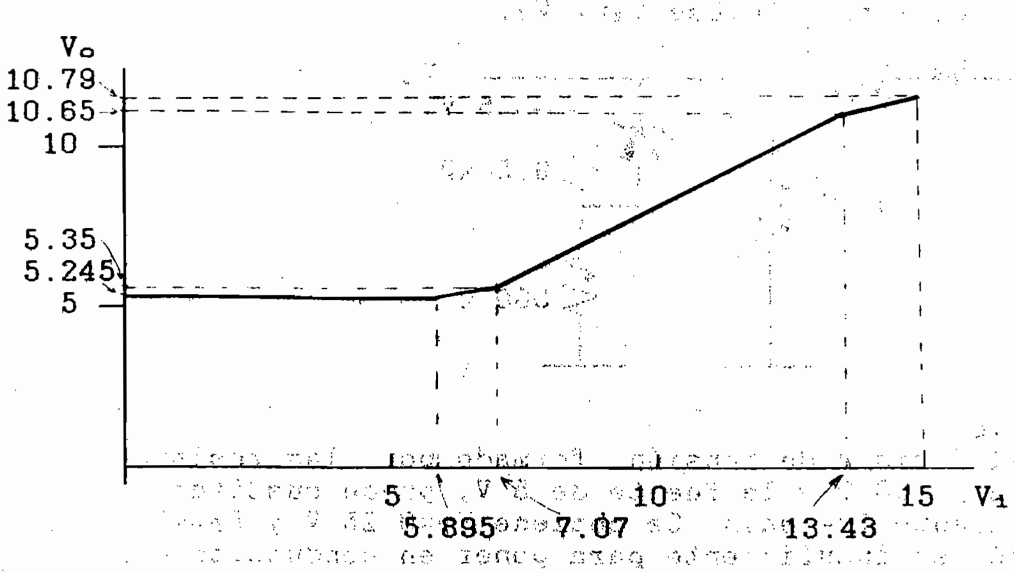
46.- Obtenga V_o en función de V_i, con V_i entre 0 y 15 V, para el circuito de la figura si $R_1=100\ \Omega$, $R_2=100\ \Omega$, $R_3=1$ kΩ, $R_4=5$ kΩ, $V_{R1}=6$ V, $V_{R2}=10$ V.



Solución:

El planteamiento de este problema es similar al del problema 42, salvo que en este caso existe un diodo adicional y hay resistencias en serie con los diodos.

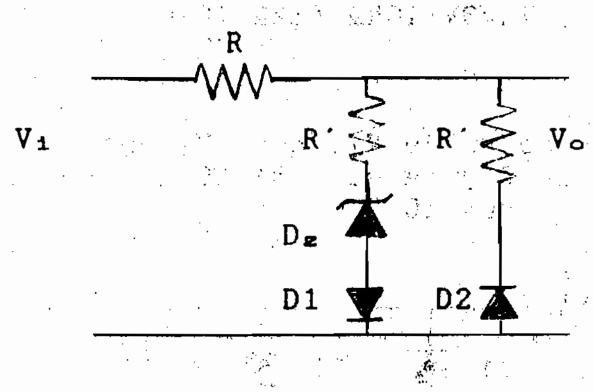
Sígase un procedimiento idéntico de resolución y compruébese que la solución corresponde con la representada en la siguiente gráfica:



En el primer tramo sólo conduce D_1, en el segundo conducen

D_1 y D_3. En el tercer tramo solo conduce D_3, y en el cuarto, D_3 y D_4.

47.- Obtenga el valor de la tensión de salida V_o en función de la entrada V_i para el circuito de la figura si $R=100 \cdot R'$ y $V_z=5$ V.



Solución:

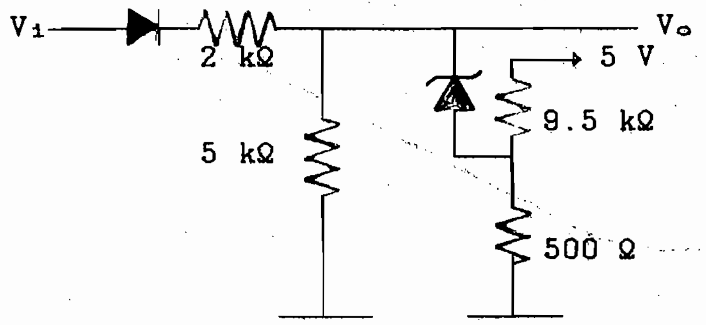
La rama que contiene a D_z solo conduce si $V_i<-0.65$ V. En ese caso $-V_i = V_u + I \cdot (R+R')$ y $-V_o=V_u + I \cdot R$, siendo V_u la tensión umbral del diodo. Se obtiene:

$$V_o = (V_i-65 \text{ V})/101$$

La rama que contiene al Zener solo conduce si $V_i>(5+0.65)$ V. En este caso $V_i = I \cdot (R+R') + V_z+V_u$ mientras que $V_o = I \cdot R'+V_z+V_u$. Se obtiene $V_o=V_i/101+5.594$ V.

Entre los dos valores mencionados de V_i, ninguna rama conduce y $V_o=V_i$.

48.- Para el siguiente circuito con diodos , calcule la tensión de salida V_o en función de la entrada V_i. (Despréciense r_d y r_z y tómese $V_z=7$ V).



Solución:

El divisor de tensión formado por las resistencias de 9.5 kΩ y 500 Ω y la fuente de 5 V, puede sustituirse por su equivalente Thèvenin. Se obtiene $V_T=0.25$ V y $R_T=475$ Ω. Esta tensión es insuficiente para poner en conducción directa al diodo Zener. El Zener solo puede conducir en inversa cuando

$V_o > V_z + V_T = 7.25$ V.

Si $V_i < 0.65$ V => $V_o = 0$

Si $V_i > 0.65$ V pero $V_o < 7.25$ V =>

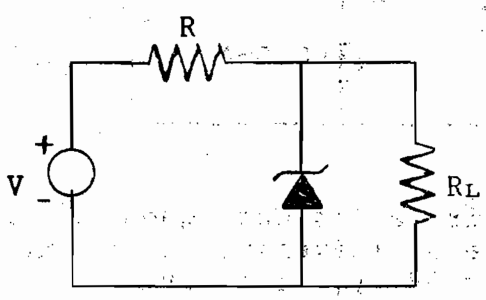
$$V_o = (V_i - 0.65) \cdot 5k\Omega/(2k\Omega + 5k\Omega) = 5 \cdot V_i/7 - 0.464 \text{ V}$$

Cuando $V_o > 7.25$ V (sustituyendo en la expresión anterior se comprueba que ésto sucede para $V_i > 10.8$ V) el diodo Zener conduce y $(V_i - V_u - V_o)/2k\Omega = V_o/5k\Omega + (V_o - V_z - V_T)/R_T$. Despejando V_o se obtiene $V_o = V_i \cdot 5.6 + 5.335$ V

49.- En el circuito de la figura, $V_z = 5$ V y r_z es despreciable. El Zener proporciona una salida regulada de 5 V siempre que la corriente que circula por él esté entre 0.5 y 5 mA.

a) Si V=10 V, calcule el valor de R necesario para que el zener regule al variar R_L de forma que la corriente que circule por ella varíe desde 0 hasta I_{Lmax}. ¿Cual ha de ser el valor de I_{Lmax} para que haya regulación?.

b) Con R fijado al valor anterior, si R_L es fija de forma que $I_L = 2.5$ mA, entre qué límites puede variar V manteniéndose la regulación de la salida?



Solución:

a) Fijada R, la corriente que circula por ella es $I = (10V - 5V)/R$, constante, siendo $I = I_z + I_L$. I_z será máxima cuando $I_L = 0$, es decir, cuando $R_L = \infty$. En este caso $I = I_{zmax} = 5$ mA => $R = 1$ kΩ.

Cuando $I_L = I_{Lmax}$ => $I_z = I_{zmin} = 0.5$ mA => $I_{Lmax} = 4.5$ mA. La mínima resistencia de carga, necesaria para obtener este valor de corriente, es 1111 Ω.

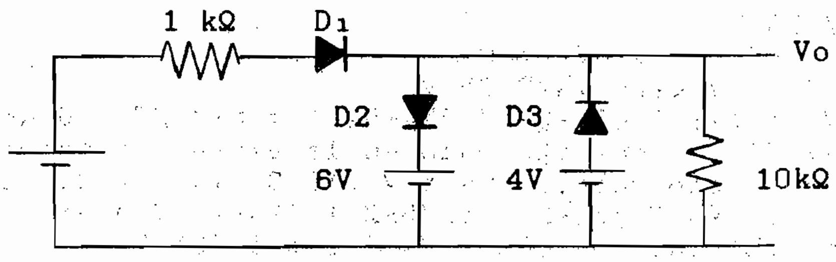
b) Cuando V_i sea máxima, I será máxima:

$I_{max} = I_{zmax} + I_L = 7.5$ mA => $V_{max} = I_{max} \cdot R + V_z = 12.5$ V

Cuando V_i sea mínima, I será mínima:

$I_{min} = I_{zmin} + I_L = 3$ mA => $V_{min} = 8$ V

50.- En el circuito de la figura indique el estado de los diodos (conducción o bloqueo) y calcule la tensión V_o. (En conducción tome $V_D = 0.6$ y $r_d = 0$)



Solución:

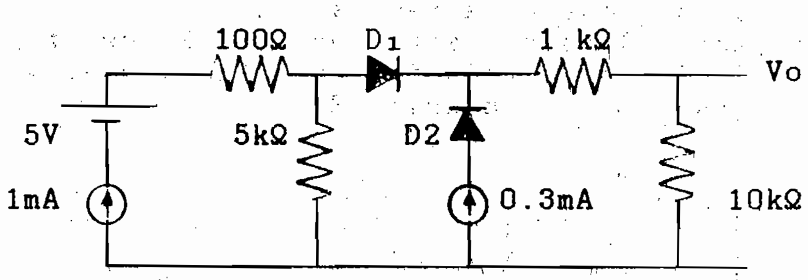
D_2 no puede conducir. Si D_3 no conduce,

$$5\ V = I\cdot 1\ k\Omega + V_u + I\cdot 10\ k\Omega,\ y\ V_o = I\cdot 10\ k\Omega.$$

Se obtiene: $V_o = 3.95$ V

El valor obtenido confirma la hipótesis inicial de que D_3 no conduce.

51.- Obtenga la tensión V_o para el circuito de la figura.



Solución:

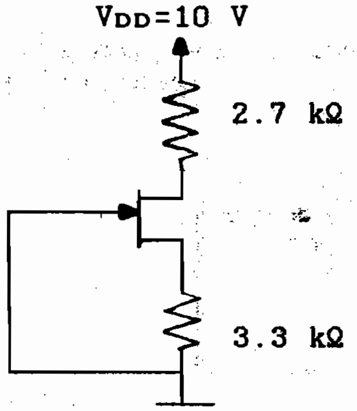
Se puede sustituir la red que queda a la izquierda de D_1 por su equivalente de Thèvenin. Se obtiene:

$$V_T = 1mA\cdot 5k\Omega = 5V \quad y \quad R_T = 5\ k\Omega$$

D_1 está polarizado en directo. D_2 conduce necesariamente ya que así lo impone la fuente de corriente de 3 mA. La tensión en el cátodo de D_2 se calcula a partir de la expresión: $(V_T-V_u-V')/R_T + 0.3\ mA = V'/(10k\Omega+1k\Omega)$ de forma que $V_o = V'\cdot 10/11$. El valor resultante es $V_o = 3.66$ V.

G) POLARIZACION DE TRANSISTORES.

52.- La corriente máxima con $V_{GS}=0$ para el JFET del circuito de la figura es $I_{SS}=3$ mA y la tensión que agota el canal es $V_P=2.4$ V. Obtenga la corriente que circula por el dispositivo y la tensión entre el drenador y la fuente.



Solución:

Utilizamos la expresión $I_D = I_{SS}\cdot(1-|V_{GS}|/V_P)^2$, junto con la ecuación que impone el circuito, teniendo en cuenta que la puerta está conectada directamente a tierra:

$V_{GS} = - I_D\cdot R_S$

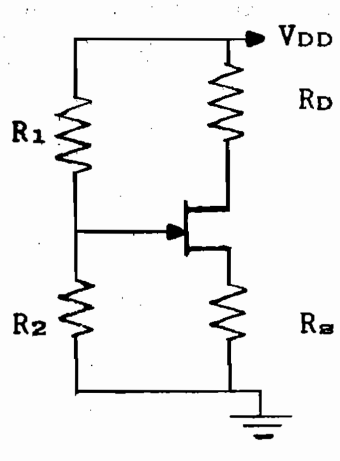
Despejando I_D en la segunda ecuación y sustituyendo en la primera obtenemos una ecuación de segundo grado que nos proporciona dos valores para V_{GS}. De estos dos valores descartamos aquel cuyo módulo es superior a V_P, quedándonos con el otro. Dividiendo por R_S = 3.3 kΩ, se obtiene

$I_D = 0.447$ mA

Sustituyendo en $V_{DD} = I_D\cdot(R_D+R_S) + V_{DS}$, se obtiene:

$V_{DS} = 7.32$ V

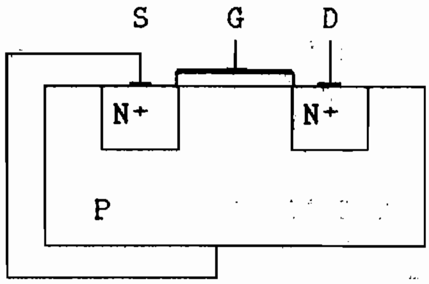
53.- Calcule los valores de las resistencias R_S, R_1, R_2 del circuito de la figura para que I_D=1 mA y V_{DS}=5 V.
Datos: I_{SS}=3 mA, V_P=2.4 V, R_D=2.2 kΩ, V_{DD}=10 V, R_1+R_2=100 kΩ.



Solución:

Como $V_{DD} = I_D \cdot (R_D + R_S) + V_{DS}$, se puede despejar R_S, obteniendo el valor $R_S = 2.8$ kΩ. Como conocemos el valor deseado de I_D, según la expresión $I_D = I_{SS} \cdot (1 - |V_{GS}|/V_P)^2$, podemos despejar V_{GS}. Por otra parte, ya que $V_S = I_D \cdot R_S$, podemos obtener V_G. Este valor ha de ser el que fije el potenciómetro formado por R_1 y R_2, obteniéndose los valores 82.14 kΩ y 17.86 kΩ.

54.- Indique de qué signo ha de ser la tensión aplicada a la puerta para que exista corriente entre drenador y fuente, y explique por qué.



Solución:

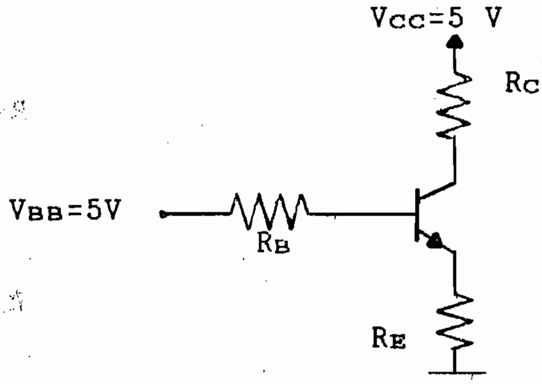
Para que exista conducción entre las dos zonas tipo N es necesario conectarlas mediante un canal conductor del mismo tipo de conductividad, esto es, formado por electrones. Para generar dicho canal en la superficie de la región P, es necesario aplicar una tensión positiva a la puerta suficientemente intensa como para "alejar" a los huecos e incluso "acercar" electrones. El campo eléctrico ha de ser, pues, suficientemente elevado para invertir el tipo de conductividad de la superficie del semiconductor en contacto con el óxido.

55.- Dado el circuito de la figura, obtenga el valor de la corriente de colector y de la tensión entre el colector y el emisor

a) Si $\beta = 100$

b) Si el transistor es un BC107B

Datos: $R_B = 280$ kΩ, $R_C = 2.2$ kΩ, $R_E = 600$ Ω



Solución:

a) Suponiendo que la caída de tensión en la unión base-emisor es de 0.7 V, la corriente de base se puede despejar de la expresión: $V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE} + (1+\beta)\cdot R_E$
Se obtiene el valor I_B=12.6 µA. A partir de este valor se puede obtener $I_C = \beta \cdot I_B$ = 1.26 mA. También se puede despejar V_{CE} de la expresión $V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + (1+1/\beta)\cdot R_E$, obteniendo el valor 1.464 V. Este valor corresponde a operación del transistor en región activa, tal como se ha supuesto.

b) Si el transistor es un BC107B es necesario utilizar las curvas características para determinar el valor de β y de la tensión entre base y emisor, proporcionadas por los fabricantes. En la siguiente tabla se muestra un extracto de dichas curvas (valores típicos) que será de utilidad para la resolución de los problemas.

I_C	β	V_{BE}
10 µA	150	0.5 V
20 µA	160	0.52 V
40 µA	180	0.53 V
70 µA	190	0.54 V
100 µA	200	0.55 V
200 µA	220	0.56 V
400 µA	240	0.58 V
700 µA	255	0.59 V

I_C	β	V_{BE}
1 mA	265	0.6 V
2 mA	290	0.62 V
4 mA	310	0.64 V
7 mA	325	0.66 V
10 mA	335	0.67 V
20 mA	350	0.7 V

Como se puede observar, el valor de β es mayor que el supuesto en el apartado (a). Como no conocemos el valor de I_C hemos de partir de una aproximación inicial. Admitamos que I_C es próximo a 1 mA con lo que β=265 y V_{BE}=0.6 V. Repetimos el cálculo del apartado (a) para estos nuevos valores obteniendo I_C=2.65 mA. Este valor es demasiado alto, ya que

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C\cdot[R_C+(1+1/\beta)\cdot R_E] = -2.4 \text{ V}$$

y este valor es imposible. Al ser mayor β, el transistor ha entrado en saturación, por lo que suponemos que

$$V_{CE}=0.2 \text{ V} \quad \text{y} \quad I_C<\beta\cdot I_B.$$

En este caso:

$$V_{CC} = 5 \text{ V} = I_C\cdot R_C + 0.2 \text{ V} + (I_C + I_B)\cdot R_E$$
$$V_{BB} = 5 \text{ V} = I_B\cdot R_B + 0.6 \text{ V} + (I_C + I_B)\cdot R_E$$

Se obtiene: I_B=12 µA y I_C = 1.71 mA

56.- Calcule el valor de R_B y R_C en el circuito de la siguiente figura para que la tensión entre el colector y el emisor sea de 2 V y la corriente de colector de 1 mA, si el transistor es un BC107B y R_E=600 Ω.

Solución:

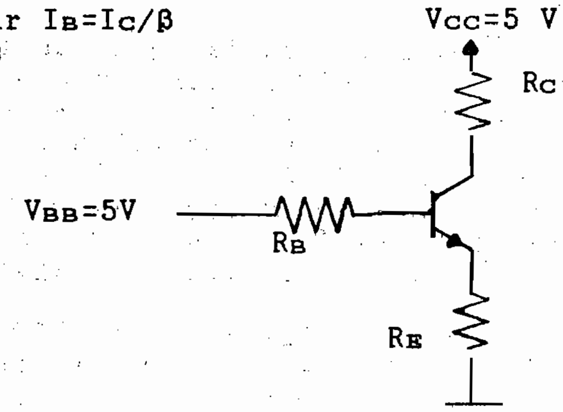
Utilizando los datos de la tabla anterior, β=265 y

V_{BE}=0.6 V. Como tenemos como dato I_C, podemos calcular $I_B=I_C/\beta$ y $I_E=(1+1/\beta)\cdot I_C$. Además

$V_E = I_E \cdot R_E$
$V_B = V_{BE} + V_E$
$R_B = (V_{BB}-V_B)/R_B =$
$= 1\ M\Omega$

$$R_C = \frac{(V_{CC}-V_{CE}-V_E)}{I_C}$$

$\Rightarrow \quad R_C = 2.4\ k\Omega$



57.- Obtenga cómo afecta la corriente inversa de la unión colector-base del transistor del problema anterior en la corriente de colector. Demuestre que

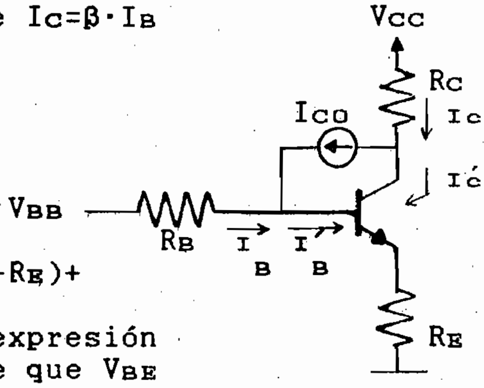
$$S = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CO}} = \frac{(R_B+R_E)\cdot(1+\beta)}{R_B + R_E\cdot(1+\beta)}$$

y calcúlelo para las resistencias halladas en el problema anterior.

<u>Solución:</u>

La corriente inversa de la unión base-colector se puede incluir en el modelo del transistor como una fuente externa tal como muestra la siguiente figura:

En este caso, no se cumple $I_C=\beta\cdot I_B$ sino $I_C' = \beta\cdot I_B'$.
Como $I_C = I_C' + I_{CO}$
y $I_B = I_B' - I_{CO} \Rightarrow$
$I_B = I_C/\beta - I_{CO}\cdot(1+1/\beta)$
La ecuación para la malla de entrada es:



$V_{BB} = [I_C/\beta - I_{CO}\cdot(1+1/\beta)]\cdot(R_B+R_E) + V_{BE} + I_C\cdot R_E$

Derivando respecto a I_{CO} la expresión anterior bajo la hipótesis de que V_{BE} se mantenga constante, se obtiene el resultado deseado.
Para los datos del problema anterior S=229

58.- Repita el problema 56 con R_E=0. Calcule el valor del factor S y obtenga cuánto crece la corriente de colector, debido al crecimiento de I_{CO}, si la temperatura crece 20°C, sabiendo que el valor inicial de I_{CO} es de 100 pA y que se duplica cada 10°C.

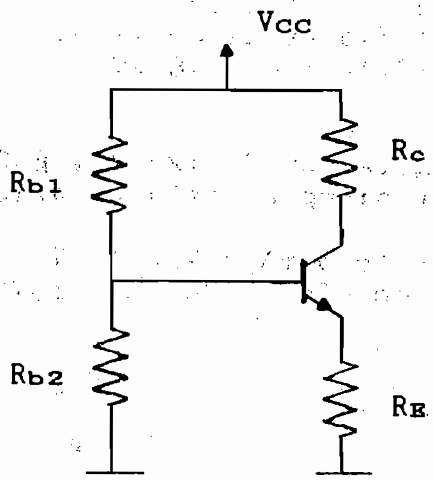
<u>Solución:</u>

Con R_E=0, S se reduce a $S=1+\beta=266$.

Como _ $I_C = S \cdot$ _ I_{CO} y _ $T = 20°C$ => _ $I_{CO}/I_{CO} = 4$
Por tanto _ $I_C = 4 \cdot S \cdot I_{CO} \approx 0.1\ \mu A$

59.- Obtenga el punto de operación (V_{CE},I_C) del transistor de la figura sabiendo que $R_{b1}=8$ kΩ, $R_{b2}=4$ kΩ, $R_C=1.8$ kΩ, $R_E=1.6$ kΩ, $V_{CC}=12$ V

a) Despreciando la corriente de base.
b) Si $\beta=300$ y $V_{BE}=0.65$ V
c) Si el transistor es un BC107B.



Solución:

a) Si $I_B=0$, $I_C=I_E$ y $V_B=V_{CC} \cdot R_{b2}/(R_{b1}+R_{b2})=4$ V
En consecuencia, $V_E = 4 - 0.6 = 3.4$ V y
$I_E=V_E/R_E=2.125$ mA· $V_{CE} = V_{CC}-I_C \cdot (R_C+R_E)=4.775$ V

b) Para tener en cuenta el efecto de la corriente de base, se sustituye el divisor de tensión que proporciona la tensión a la base por su equivalente de Thèvenin. Se obtiene: $V_{BB} = 4$ V y $R_B = R_{b1}||R_{b2} = 2.667$ kΩ. Utilizando estos valores se puede obtener I_B según
$I_B = (V_{BB} - V_{BE})/[R_B+(1+\beta) \cdot R_E]$ y $I_C = \beta \cdot I_B = 2.075$ mA. Con este valor $V_{CE} = 4.934$ V.

c) Podemos tomar como primera aproximación los valores de β y de V_{BE} obtenidos en el apartado (a). Según la tabla del problema 55, $\beta=290$ y $V_{BE}=0.62$. Se obtiene $I_C=2.093$ mA. Como este valor es muy próximo al que se ha tomado para elegir los valores de β y V_{BE}, podemos considerar aceptables dichos valores. En caso contrario haríamos otra iteración. En consecuencia, $I_C=2.093$ mA y $V_{CE}=4.871$ V

60.- Para el circuito de la figura del problema anterior obtenga los valores de las resistencias para que $I_C=2.5$ mA y $V_{CE}=10$ V. Para ello imponga que por la resistencia R_{b1} pase una corriente 25 veces superior a la de base y que $S=11$. $V_{CC}=25$ V, $\beta=300$, $V_{BE}=0.65$

Solución:

Despejando de la expresión de S obtenida en el problema 57, $R_B/R_E = (1+\beta)\cdot(S-1)/(1+\beta-S) = 10.38$

Con las condiciones del enunciado del problema podemos conocer todas las corriente que circulan por el circuito. Además podemos plantear las siguientes ecuaciones:

$$V_{CC} = 25\cdot I_B\cdot R_{b1} + 24\cdot I_B\cdot R_{b2}$$
$$24\cdot I_B\cdot R_{b2} = V_{BE} + I_E\cdot R_E$$
$$1/R_B = 1/R_{b1} + 1/R_{b2} = 1/(10.38\cdot R_E)$$

Despejando las tres incógnitas se obtiene:

$R_{b1} = 90.1$ kΩ, $R_{b2} = 31.16$ kΩ, $R_E = 2.23$ kΩ.

A partir de los valores anteriores se obtiene:

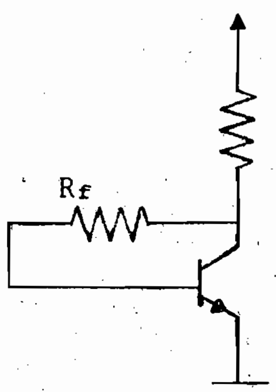
$$R_C = (V_{CC}-V_{CE}-I_E\cdot R_E)/I_C = 3.76 \text{ k}\Omega$$

61.- Dado el circuito de la figura con V_{CC}=25 V y β=300

a) Razone que el transistor siempre está polarizado en región activa.

b) Calcule R_f y R_c para que I_C=3 mA y V_{CE}=10 V.

c) Obtenga los valores de I_C y V_{CE} si R_f=750 kΩ y R_c=1.6 kΩ.



Solución:

a) El transistor de la figura podría estar en activa o saturación, sin embargo, como en cualquier caso la corriente de base entra hacia el transistor, se produce una caida de tensión en R_f igual a la que soporta la unión base-colector, es decir, $V_{CB} = I_B\cdot R_f > 0$ => El transistor está en activa.

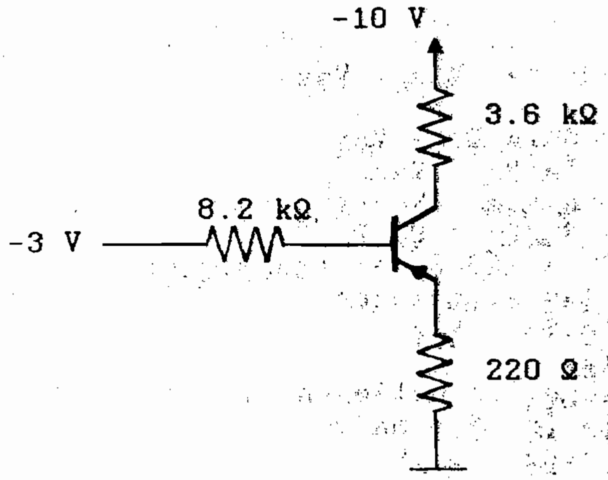
b) Por R_C circula $I_C+I_B = (1+1/\beta)\cdot I_C$ =>

$$R_C = (V_{CC}-V_{CE})/[(1+1/\beta)\cdot I_C] = 4.983 \text{ k}\Omega$$
$$R_f = (V_{CE}-V_{BE})/I_B = \beta(V_{CE}-V_{BE})/I_C = 930 \text{ k}\Omega$$

c) $I_C = (V_{CC}-V_{BE})/[(1+1/\beta)\cdot R_C+1/\beta\cdot R_f] = 5.92$ mA

$V_{CE} = V_{CC} -(I_C+I_B)\cdot R_C = 15.5$ V

62.- El transistor del circuito de la figura es PNP. Obtenga la corriente de colector y la tensión entre colector y emisor si β=50.



Solución:

Teniendo en cuenta que el sentido de las corrientes y las caidas de tensión en las uniones son de signo opuesto a las de un transistor PNP:

$-V_{BB} = I_E \cdot R_E + V_{EB} + I_B \cdot R_B$ => $I_C = 5.92$ mA en el sentido indicado. Sin embargo, con esta corriente tan elevada, la tensión entre el emisor y el colector sería $V_{EC} = -12$ V. Como no es posible obtener un valor negativo, este resultado se debe a que el transistor no está en activa sino en saturación. Suponiendo que $V_{EC} = 0.2$ V, se pueden plantear las ecuaciones

$$-V_{CC} = 10 \text{ V} = I_C \cdot R_C + 0.2 \text{ V} + (I_C + I_B) \cdot R_E$$
$$-V_{BB} = 3 \text{ V} = I_B \cdot R_B + 0.7 \text{ V} + (I_C + I_B) \cdot R_E$$

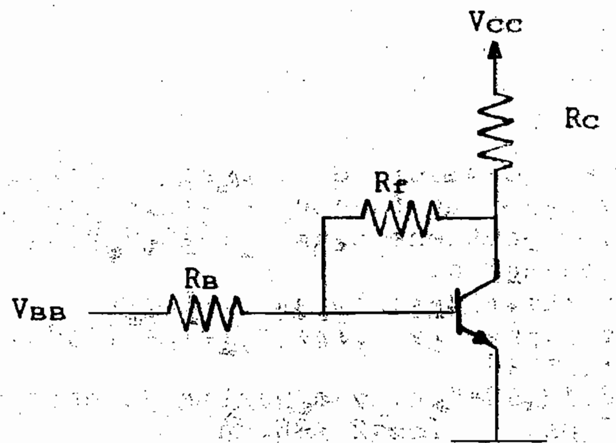
Se obtiene: $I_B = 0.2$ mA y $I_C = 2.55$ mA

Por tanto $I_C/I_B \approx 12.8 < \beta$, lo que confirma a posteriori que el transistor está en saturación.

63.- a) En el circuito de la figura obtenga la relación entre R_C y R_B necesaria para que el transistor esté en el límite entre activa y saturación.

b) Si R_C=2 kΩ R_B=300 kΩ y R_f=750 kΩ, calcule I_C y V_{CE}.

Datos: V_{BB}=5 V, V_{CC}=15 V, β=300.



Solución:

a) En dicho límite $V_{CB}=0 \Rightarrow V_{CE} = V_{BE}$

Por tanto:

$$V_{CC} = \beta \cdot I_B \cdot R_C + V_{BE}$$
$$V_{BB} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$$
$$\Rightarrow \quad R_B/R_C = (V_{BB}-V_{BE})/(V_{CC}-V_{BE}) \cdot \beta$$

Con los datos del problema, $R_B/R_C = 90.2$

b) Como $R_B/R_C = 150 > 90.2$, el transistor está en activa. Se pueden plantear las ecuaciones

$$V_{CC} = (I_C+I_F) \cdot R_C + I_F \cdot R_f + V_{BE}$$
$$V_{BB} = (I_B-I_F) \cdot R_B + V_{BE}$$

Sustituyendo valores numéricos, se obtienen I_B e I_F. Multiplicando I_B por β se calcula I_C =5.6 mA y

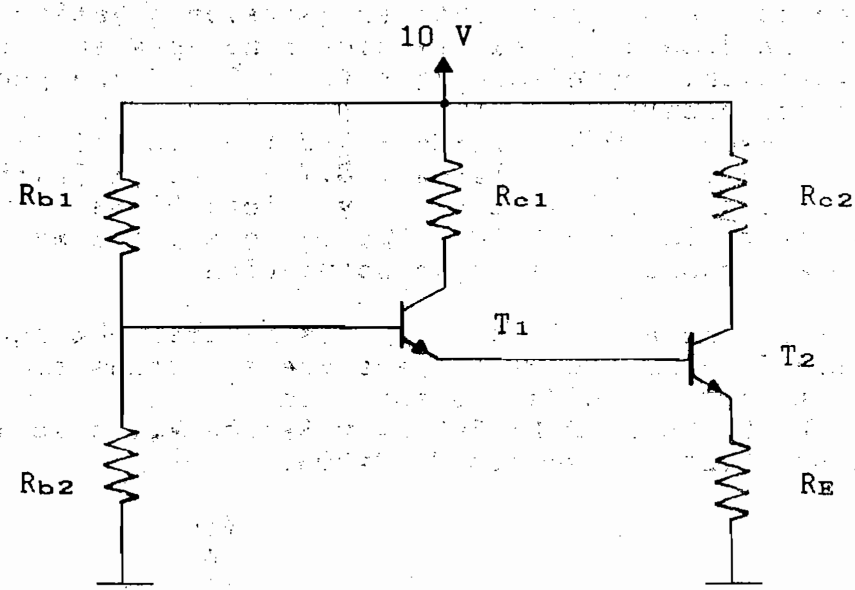
$$V_{CE} = V_{CC} - (I_C + I_F) \cdot R_C = 3.79 \text{ V}$$

64.- Calcule las corrientes que circulan por las ramas del circuito de la figura y las tensiones que soportan los transistores si

R_{b1}= 18 kΩ $\quad$ R_{b2}= 3.3 kΩ $\quad$ R_{c1}= 330 kΩ

R_{c2}= 2.2 kΩ $\quad$ R_E= 100 Ω $\quad$ β = 200

Tómese V_{BE} = 0.65 V



Solución:

Sustituyendo el divisor de tensión formado por las resistencias R_{b1} y R_{b2} y la fuente de 10 V por se equivalente de Thèvenin, se obtiene V_{BB} = 1.55 V y R_B = 2.79 kΩ.

Planteamos la ecuación:

$$V_{BB} = I_{B1} \cdot R_B + V_{BE1} + V_{BE2} + I_E \cdot R_E$$

Como $I_{E2} = I_{B2} \cdot (1+\beta_2)$ y $I_{B2} = I_{E1} = (1+\beta_1) \cdot I_{B1}$

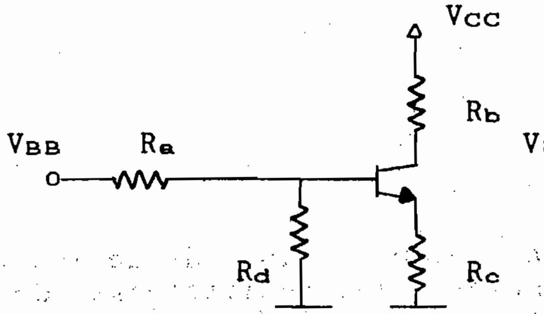
$\Rightarrow \quad I_{E2} = I_{B1} \cdot (1+\beta)^2$

Se obtiene $I_{B1} = 6.18 \cdot 10^{-8}$ A, y a partir de este valor:

I_{C1}=12.37 μA, $\quad$ I_{C2}=2.486 mA

V_{CE1}=5.018 V, $\quad$ V_{CE2}=4.28 V

65.- Calcule la corriente de colector y la tensión entre colector y emisor en el circuito de la figura en los siguientes casos:



a) $V_{BB} = 8$ V
b) $V_{BB} = 0$ V (entrada conectada a tierra.
c) $V_{BB} = V_{CC}$

Valores de las resistencias:

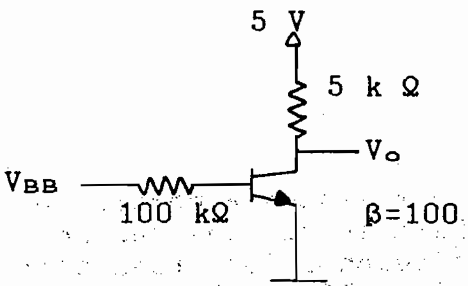
$R_a = 60$ kΩ
$R_b = 6$ kΩ $V_{CC} = 15$ V
$R_c = 2$ kΩ $\beta = 100$
$R_d = 30$ kΩ

<u>Solución:</u>

Se calcula el equivalente Thevenin visto desde los terminales de base y tierra hacia la izquierda. Se plantean en el nuevo circuito las ecuaciones de malla. Suponer en cualquier caso que está en activa y comprobar si se llega o no a una contradicción. El procedimiento de análisis es similar al de los problemas anteriores por lo que en lo sucesivo se omitirán detalles de cálculo.

a) $I_C = 0.93$ mA, $V_{CE} = 7.5$ V.
b) $I_C = 0$ mA, $V_{CE} = 15$ V.
c) $I_C = 1.85$ mA, $V_{CE} = 0.2$ V.

66.- En el circuito de la figura, obtenga la variación de la tensión V_o cuando V_{BB} pasa de 1 V a 2 V.



<u>Solución:</u>

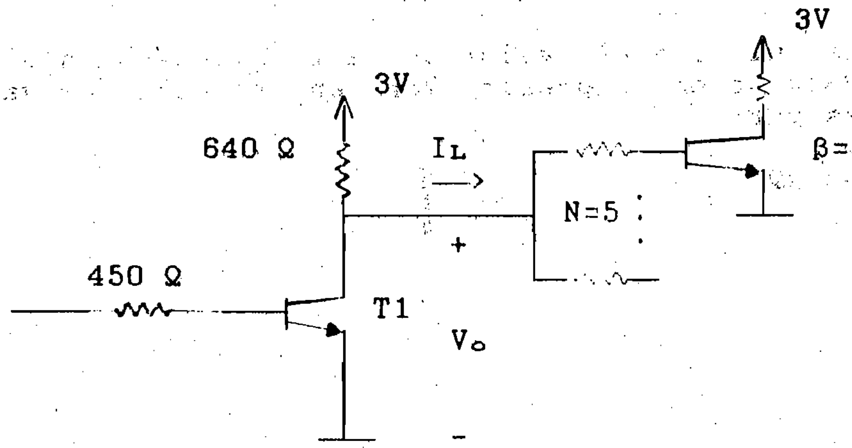
Plantear las ecuaciones de malla para este circuito y calcular V_o para los valores extremos de V_{BB}. El resultado es:

$\Delta V_o = 3.05$ V

67.- En el circuito de la figura tenemos polarizado un transistor BC107B. Calcular la intensidad de colector y la tensión V_o.

H) FAMILIAS LOGICAS.

70.- Calcular la característica de transferencia para un inversor de la familia RTL cuando a la salida conectamos otros cinco inversores, (la carga máxima especificada por el fabricante). Calcular márgenes de ruido en estado alto y bajo.



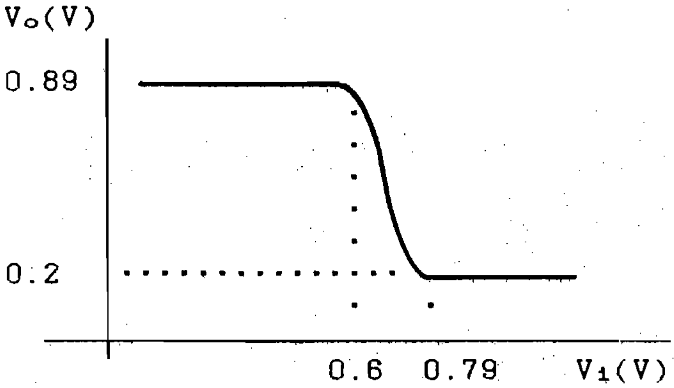
Solución:

- Si T1 está en corte toda la corriente que circula por R_c se va hacia la salida.

I_L = 3.29 mA, V_o = 0.896 V.

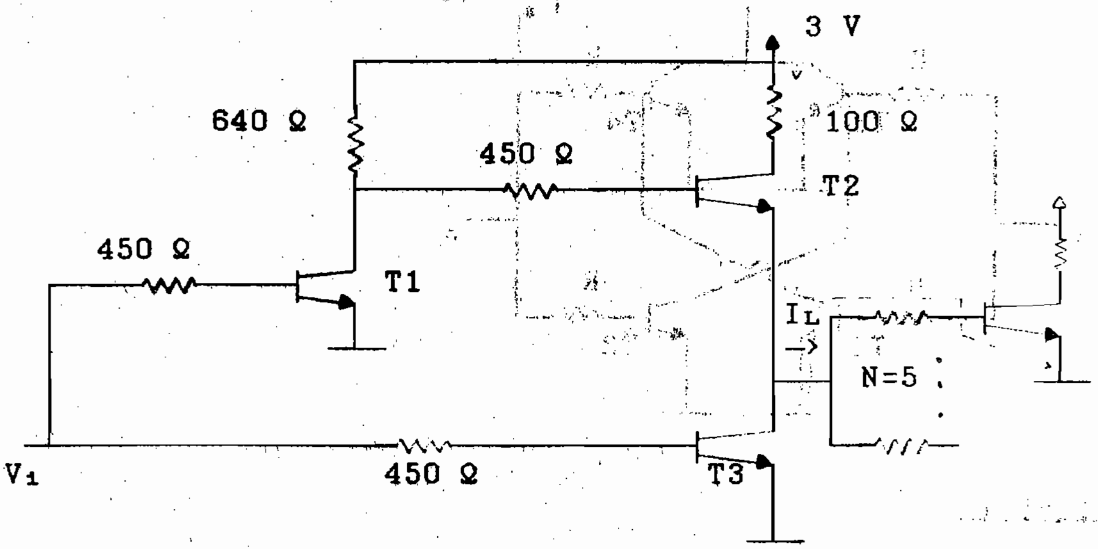
- Si T1 está en saturación, calcular la corriente de base mínima para que se dé esta condición.

I_B > 87.5 μA, V_i > 0.79 V



Márgenes de ruido: $\triangle 1$ = 0.106 V, $\triangle 0$ = 0.4 V.

71.- En el buffer RTL de la figura cuando T3 está en corte, la corriente a las etapas de salida la suministra el transistor T2. calcular la corriente I_L para una carga N=5. compararla con la misma intensidad I_L del inversor anterior para las mismas condiciones de carga.

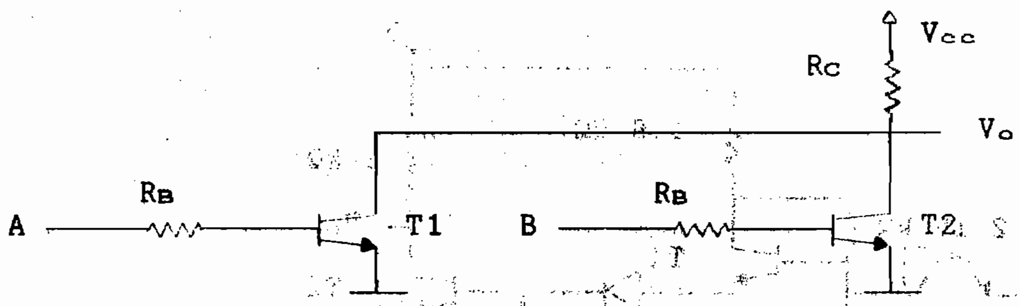


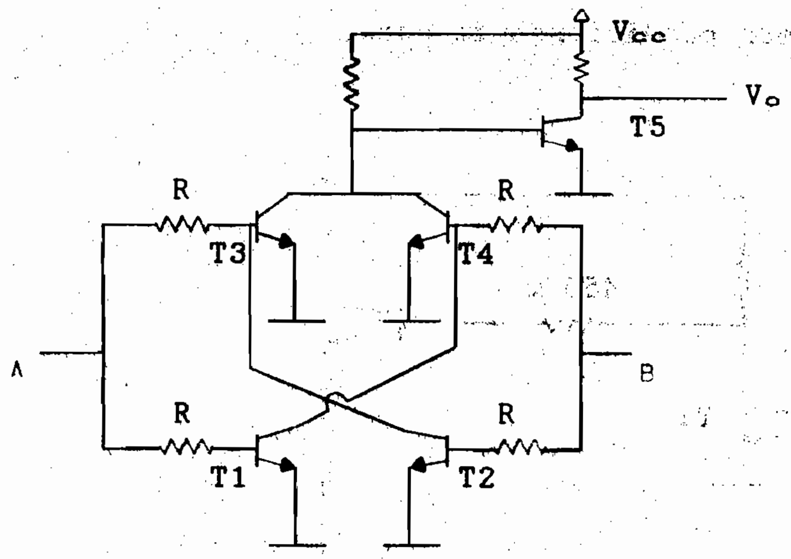
<u>Solución:</u>

Calcular la ecuación de malla para el camino dibujado a trazos. El transistor T2 está en saturación.

I_L = 12 mA, suministra más corriente que el caso anterior.

72.- Calcular la función lógica que realizan las puertas siguientes:





<u>Solución:</u>

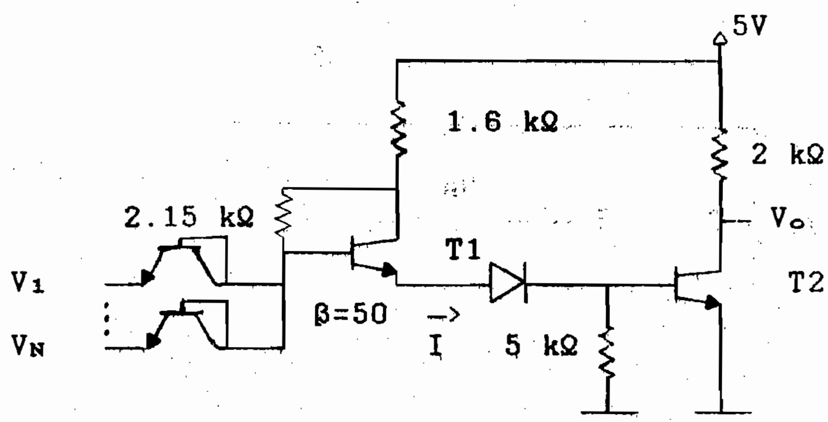
a) La salida está en alta cuando alguno de ellos conduce.

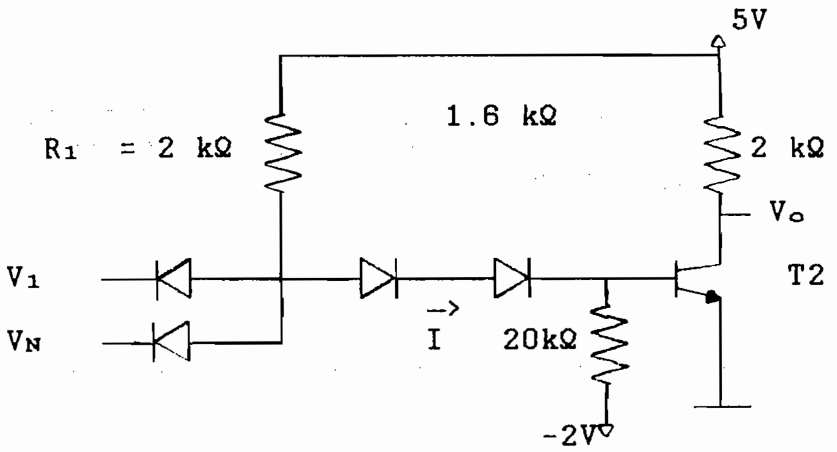
NOR

b) T3 ó T4 estará en saturación únicamente cuando una entrada esté en alta y la otra en estado bajo. En cualquier otro caso estarán en corte.

XOR

73.- Calcular la intensidad I en los dos diseños siguientes de puerta DTL cuando tenemos todas las entradas a nivel alto.





Solución:

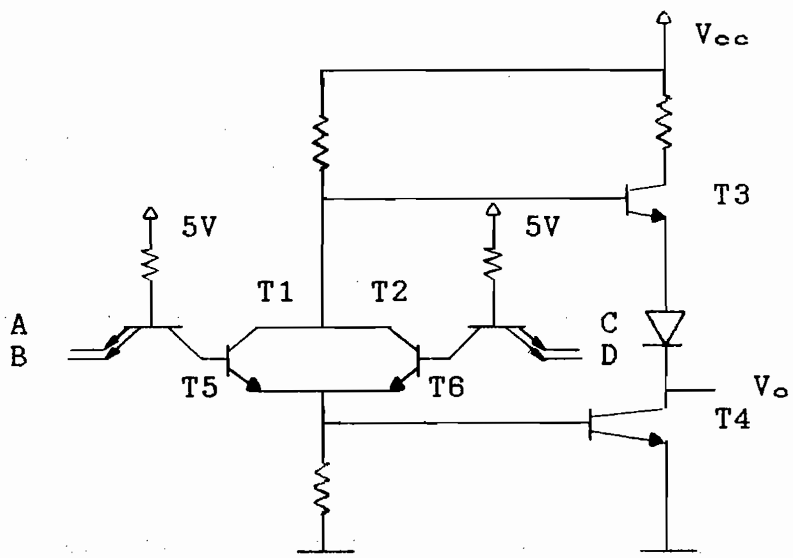
a) Analizar el camino indicado en la figura. No conducen los transistores de entrada. T1 y T2 están en saturación.

I = 1.705 mA

b) No conduce ningún diodo de la entrada. La corriente que circula por los otros diodos es la misma que la que circula por la resistencia R_1. El transistor está en saturación.

I = 1.55 mA.

74.- Calcular la función lógica que obtenemos a la salida de esta puerta.

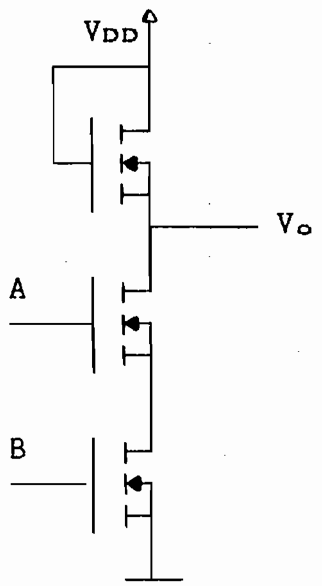


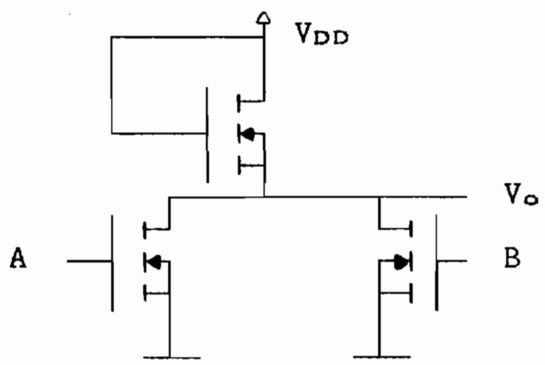
Solución:

Si alguna entrada está en estado bajo, el transistor multiemisor correspondiente conduce en directa, dejando al su transistor normal adjunto en corte.

$\overline{AB + CD}$

75.- Calcular las funciones lógicas que realizan las siguientes puertas MOS:





Solución:

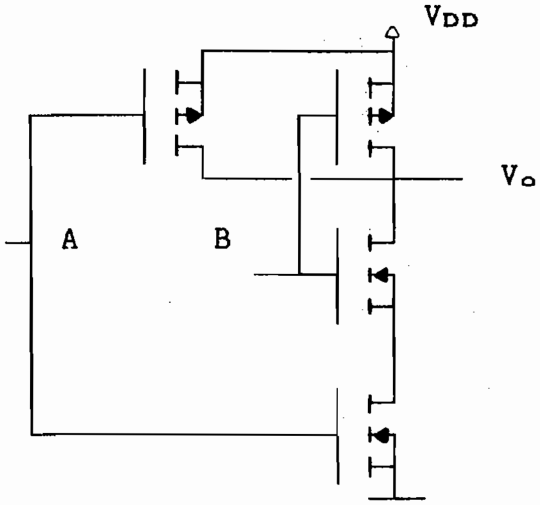
a) Cuando alguno de los transistores excitados no conduzca la salida estará en estado alto.

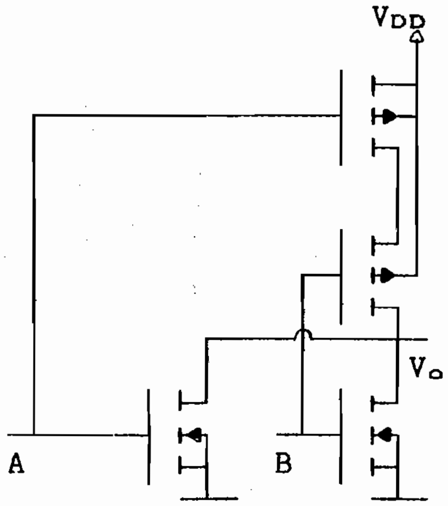
NAND

b) Salida en estado alto cuando ninguno de los dos transistores A y B conduzca.

NOR

76.- Calcular las funciones lógicas que realizan las puertas CMOS siguientes:





Solución:

a) Cuando algún transistor canal N no conduce, su complementario sí lo hace, y la salida está en estado alto.

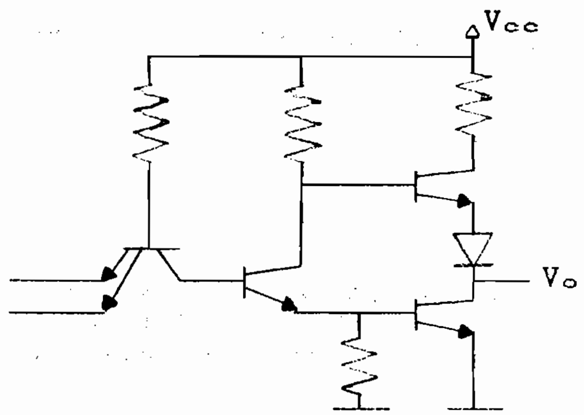
NAND

b) Salida en estado alto cuando los dos transistores canal N no conduzcan simultáneamente.

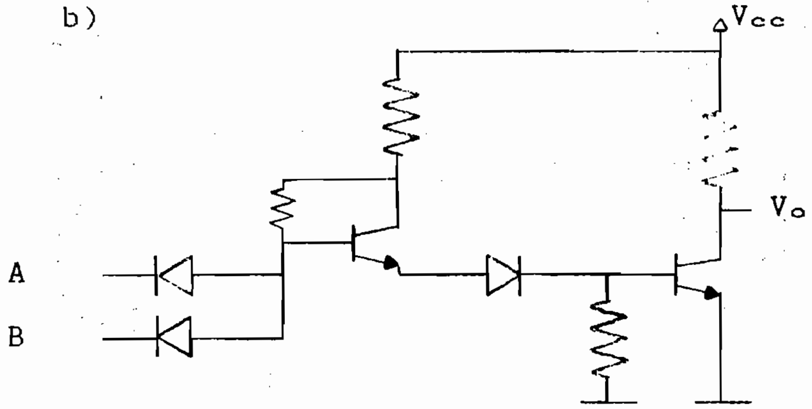
NOR

77.- En la figuras siguientes se representan 3 puertas lógicas correspondientes a las familias RTL, DTL, TTL. Si las entradas están en circuito abierto (desconectadas) ¿qué valores lógicos habrá a la salida en cada caso?

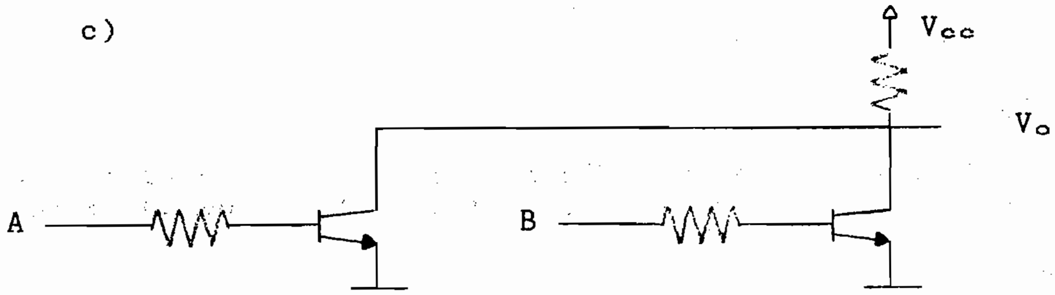
a)



b)



c)



Solución:

a) La corriente de emisor en el transistor de entrada es cero.

$V_o = 0$

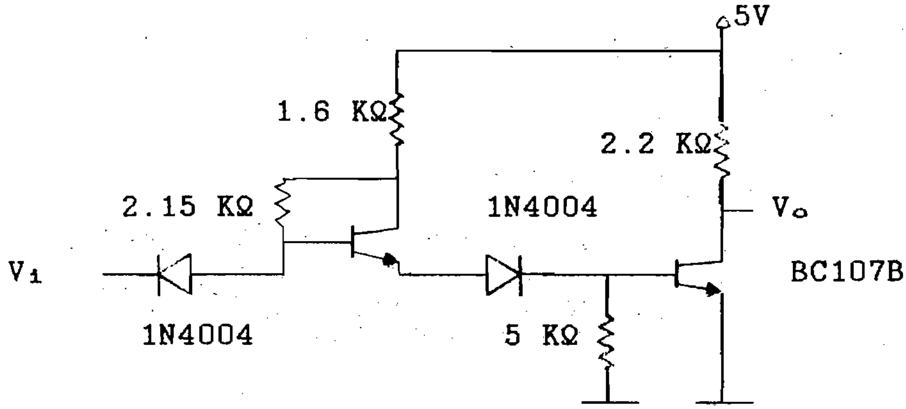
b) No conducen los diodos de entrada.

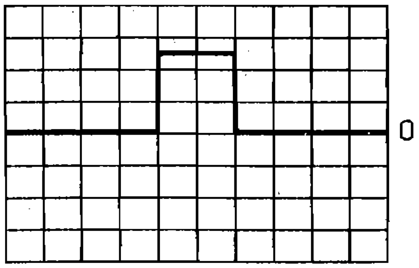
$V_o = 0$

c) No están polarizadas las uniones base-emisor en los transistores.

$V_o = V_{cc}$

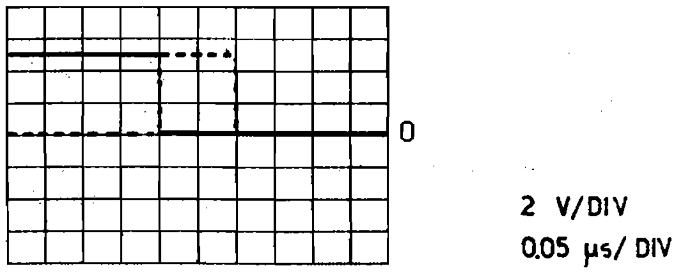
78.- Para este circuito se representa en la pantalla del osciloscopio la señal de entrada (VOLTS/DIV=2, µs/DIV=.05). Dibujar la salida en la misma pantalla especificando las escalas que se utilicen.



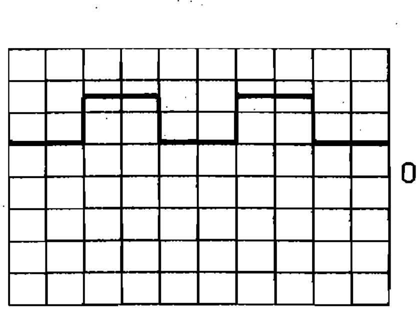


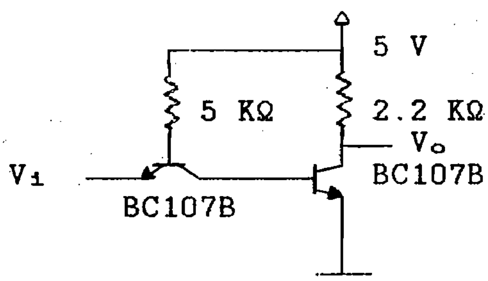
Solución:

Es un circuito inversor, pero hay que tener en cuenta los retardos característicos de esta puerta: t_{PLH} = 10 ns, t_{PHL} = 0.4 µs.



79.- Para este circuito se representa en la pantalla del osciloscopio la señal de entrada (VOLTS/DIV=2, ms/DIV=1). Dibujar la salida en la misma pantalla especificando las escalas que se utilicen.



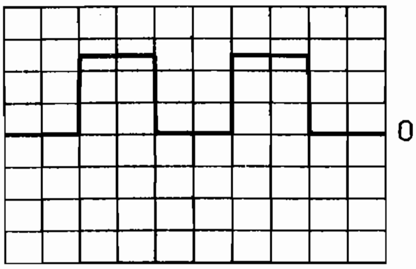


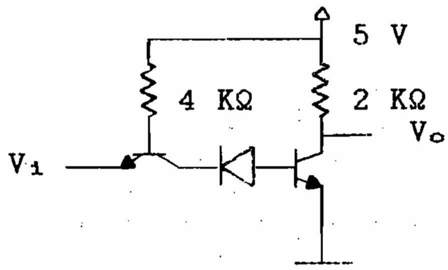
Solución:

Es un inversor, pero hay que tener en cuenta las siguientes características: t_{pLH} = 7 ns, t_{pHL} = 11 ns, V_{iHmin} = 2 V, V_{iLmax} = 0.8 V.

Salida cero en cualquier caso.

80.- Para este circuito se representa en la pantalla del osciloscopio la señal de entrada (VOLTS/DIV=2, ms/DIV=1). Dibujar la salida en la misma pantalla especificando las escalas que se utilicen. Explicar por qué.





Solución:

El diodo impide que circule corriente en el sentido entrada-salida.

V_o = 5 V

81.- Indique cuál es la fuente principal de retardo en la conmutación de un transistor bipolar de unión.

Solución:

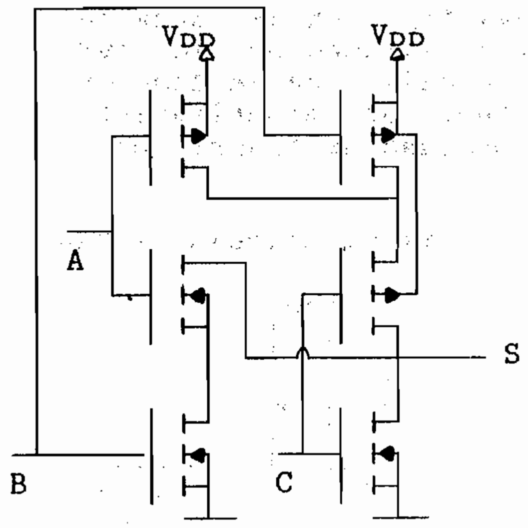
El tiempo que se invierte en extraer los portadores minoritarios almacenados en la base del transistor.

82.- En que consiste la carga activa que se utiliza en las etapas de salida de los circuitos lógicos. ¿Que ventajas proporciona?

Solución:

Es un conjunto formado por resistencias y transistor que sustituye a una sola resistencia, elemento pasivo. La ventaja fundamental es que permite disminuir el valor de dicha resistencia, disminuyendo así el tiempo de subida y el fan-out sin aumentar con ello la potencia disipada.

83.- En la figura se representa un circuito CMOS con 3 entradas (A,B y C) y una salida S. Obtenga la función lógica que realiza el circuito.



Solución:

Salida alta cuando alguno de los transistores canal n (A,B) no conduzcan y el transistor C (canal n) tampoco conduzca.

$$S = \overline{C} \cdot (\overline{A} + \overline{B})$$

84.- a) ¿Cuales son las fuentes principales de retardo en la respuesta de los circuitos lógicos MOS y en los bipolares?

b) Ventajas y desventajas de la familia CMOS frente a la TTL.

Solución:

a) En los bipolares, la carga de minoritarios almacenados en las zonas neutras de los dispositivos. En los MOS, las propias capacidades de puerta cuando actuan unas como salida de otras.

b) Ventajas: menor consumo y mayor densidad de empaquetamiento. Desventajas: más lenta.

85.- ¿Porqué en un inversor CMOS cuando un transistor está en corte su complementario está en conducción?

Solución:

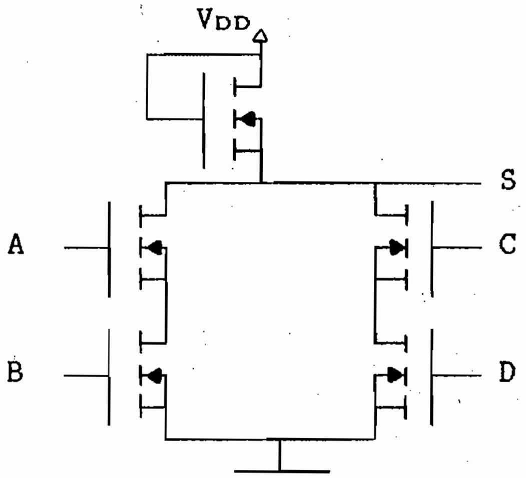
Por su diferente estructura: uno es canal P y otro N, y porque las puertas de ambos están excitadas con la misma tensión.

86.- ¿A qué se deben las capacidades de transición y difusión de un diodo? ¿Cuál domina bajo polarización directa y por qué? ¿Cuál bajo polarización inversa?

Solución:

Los dos se deben a acumulación de carga, la de difusión debida a al presencia de minoritarios en las zonas neutras y la de transición a la carga fija en la zona de carga espacial. En directa, la carga almacenada en las zonas neutras es muy superior a la que existe en la zona de carga espacial. En inversa, hay defecto de minoritarios en las zonas neutras, dominando la capacidad de transición.

87.- En la figura se representa un circuito lógico con cuatro entradas A, B, C y D y salida S. Obtenga la función lógica que realiza.

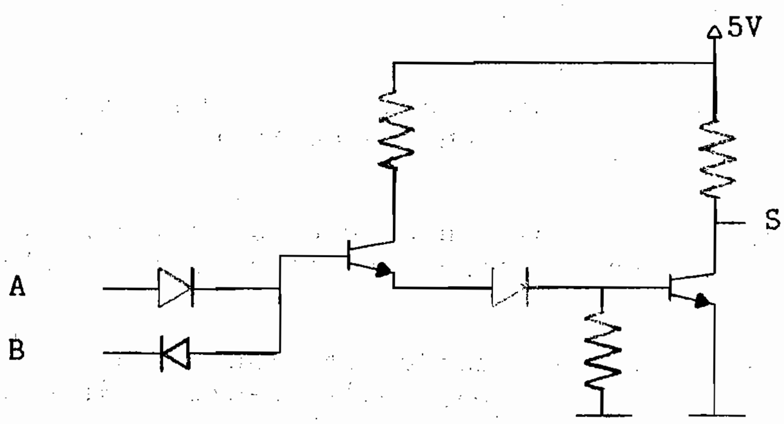


Solución:

Para que la salida esté en estado bajo, alguna de las dos ramas (AB, CD) o ambas simultáneamente deben conducir.

$$(\bar{A}+\bar{B})\cdot(\bar{C}+\bar{D})$$

88.- Analice el comportamiento del circuito DTL (modificado) de la figura separadamente para las cuatro posibles combinaciones de entrada. Señale los posibles inconvenientes de este circuito.



Solución:

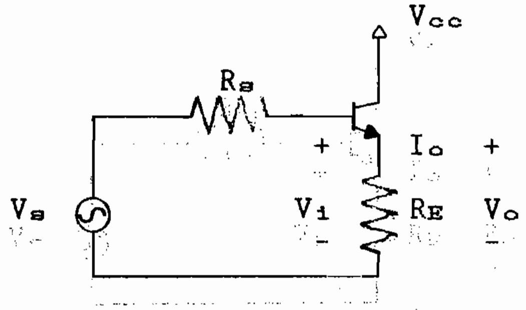
Inconvenientes: cuando la entrada A esté en estado alto y la B en bajo se le pediría mucha corriente a la fuente que estuviera conectada en el terminal A.

NAND

I) TRANSISTOR COMO AMPLIFICADOR

89.- La siguiente configuración de amplificador con transistor se conoce como configuración en colector común. Calcular $A_v=V_o/V_i$, A_{vs}, $A_I=I_o/I_i$, R_i, R_o. Utilizar el modelo simplificado de parámetros h: $h_{oe}=0$, $h_{re}=0$.

Obtener A_v suponiendo $h_{fe}R_E \gg h_{ie}$. Debido a este resultado se conoce a este circuito como seguidor de tensión. Comprobar también que es un buen adaptador de impedancias, es decir, que R_i sea grande y que R_o sea pequeña; suponer para ello $R_s=600\ \Omega$; $h_{ie}=4.5\ K\Omega$; $h_{fe}=330$, $R_E=1\ K\Omega$.

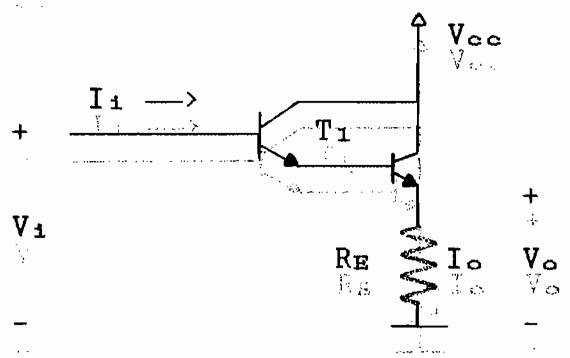


Solución:

En análisis de pequeña señal el terminal conectado a la fuente V_{cc} se cortocircuita a tierra.

$A_I = 331$, $A_v = 1$, $A_{vs} = 1$, $R_i = 335.5\ k\Omega$, $R_o = 836\ \Omega$

90. La configuración siguiente conocida como Darlington tiene la característica de aumentar la impedancia de entrada. Calcular la ganancia en intensidad I_o/I_i y la resistencia de entrada.



En la realidad el transistor T_1 habrá que polarizarlo, en este caso se utiliza el sistema autopolarizado, es decir una resistencia R_1 de la base a V_{cc} y otra R_2 de la base a tierra. ¿Qué ocurrirá entonces con la resistencia de entrada del amplificador? $R_E=100\ \Omega$, $h_{ie}=4.5\ K\Omega$, $h_{fe1}=100$, $h_{fe2}=200$.

Solución:

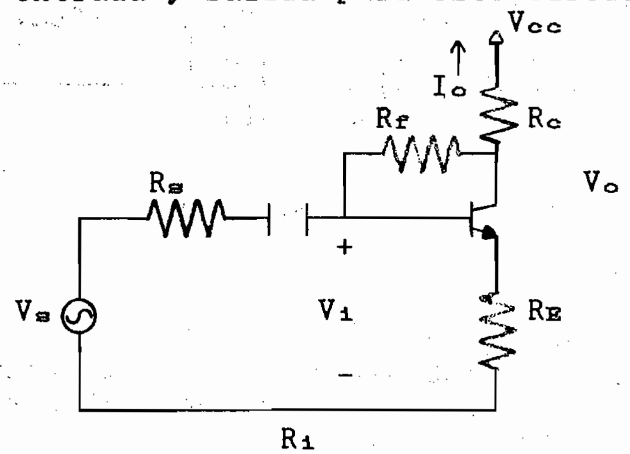
Cortocircuitar la fuente de continua para el análisis de pequeña señal y sustituir los transistores por los modelos equivalentes simplificados de parámetros h.

$R_i = 2.5\ M\Omega$, $I_o/I_i = 2\cdot 10^4$

En el sistema autopolarizado, la nueva resistencia de entrada, R_i', será menor.

$R_i' = R_i//R_1//R_2$

91.- Calcular las ganancias de tensión y corriente, resistencias de entrada y salida para este circuito.



Solución:

En análisis de pequeña señal cortocircuitar condensadores y fuentes de continua y sustituir el transistor por el modelo equivalente simplificado. Una vez hecho esto aplicar el teorema de Miller llamando $k \equiv V_o/V_i$.

Obtener la resistencia de entrada R_i en función de k. Utilizar la expresión de R_i para calcular V_o/V_i, es decir, k. Una vez conocido k se pueden obtener R_i, R_o y A_I.

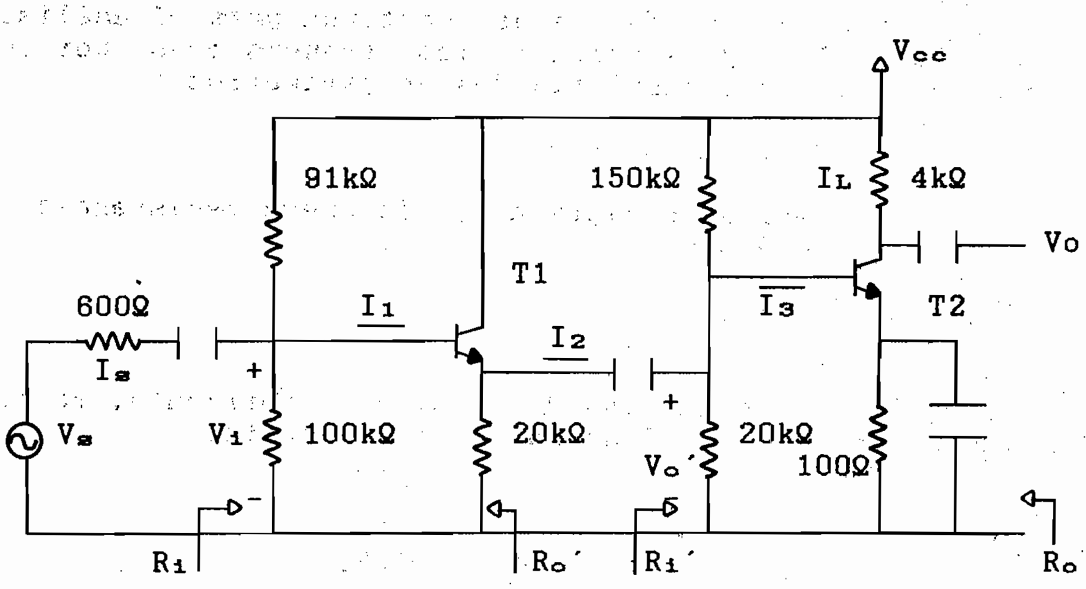
$$k = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{R_C+R_E}\cdot\left[\frac{-h_{fe}\cdot R_C\cdot R_F}{h_{ie}+(1+h_{fe})} + R_C\right]$$

$R_i = [h_{ie}+(1+h_{fe})]//[R_F/(1-k)]$, $R_o = R_C//[R_F\cdot k/(k-1)]$,

$A_I = R_i\cdot k/R_o$

92.- Para el amplificador de dos etapas en cascada hallar las impedancias de entrada y de salida así como las ganancias totales y parciales de tensión y de corriente.

Se utilizan varias etapas cuando con una sola no podamos obtener una ganacia, una resistencia de entrada o una resistencia de salida determinadas.



h_{ie}=4.5 kΩ h_{fe}=330

<u>Solución:</u>

El efecto de los condensadores es comportarse como un circuito abierto en continua y como un cortocircuito a las frecuencias de trabajo.

Se utilizan varias etapas cuando con una sola no podamos obtener una ganacia, una resistencia de entrada o una resistencia de salida determinadas.

Las fuentes de continua se cortocircuitan para hacer el análisis de pequeña señal. Sustituir cada transistor por su modelo de parámetros h.

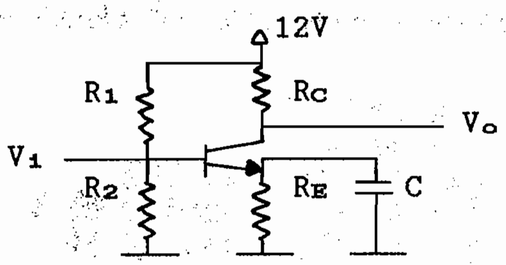
Obtener en primer lugar la resistencia de entrada de la segunda etapa, R_i' y la de salida de la primera, R_o'.

Para calcular la ganancia en intensidad, obtener las ganacias parciales: I_L/I_3, I_3/I_2 e I_2/I_1 haciendo uso de los valores de R_o' y R_i'.

para calcular la ganancia en tensión utilizar la ganancia en intensidad obtenida anteriormente.

R_i' = 3.58 kΩ R_o' = 15 Ω
R_i = 46 kΩ R_o = 4 kΩ
$I_L/I_1 = -8.9 \cdot 10^4$ $V_o/V_i = -360$

93.- Queremos amplificar por 200 una señal alterna V_i de 10mV de amplitud. Elegir el punto de polarización del transistor (I_C,V_{CE}) y decir por qué.



Solución:

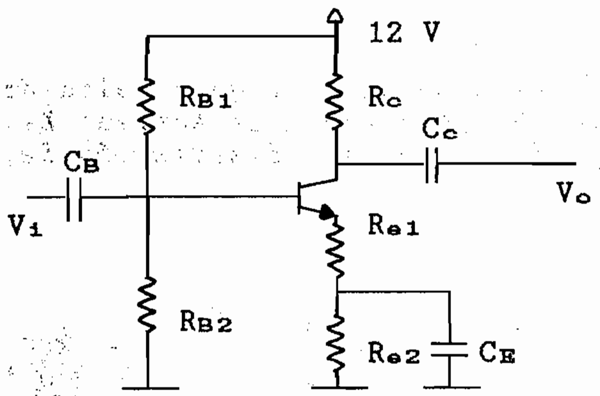
Calcular la amplitud de la tensión de salida y tener en cuenta los posibles valores entre los que puede variar la tensión V_o en continua para este circuito.

$2V < V_{CE} < 10$ V para que el comportamiento sea lineal, para que no haya saturaciones.

94.- Se pretende diseñar una etapa amplificadora con transistor con las siguientes características:

_ Punto de polarización I_c=2.5 mA
_ Impedancia de entrada Z_i=10 kΩ
_ Impedancia de salida Z_o=600 Ω
_ Ganancia en tensión A_v=-10
_ Factor de estabilidad S=11

Calcular los valores de las resistencias R_{B1},R_{B2},R_c, R_{e1},R_{e2} y el valor de la tensión de polarización V_{CE}.



h_{fe}= 360
h_{ie}= 2 kΩ
β = 300
V_{BE}= .65 V

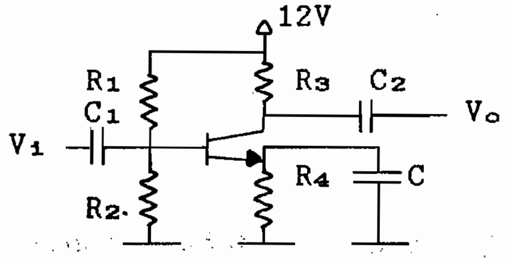
$$S=\frac{(R_B/R_E+1)(1+\beta)}{R_B/R_E+1+\beta}$$

Solución:

Analizar el circuito en continua y en régimen de pequeña señal. En el primer caso encontrar las expresiones que caracterizan al circuito, ecuaciones de malla. En el segundo caso obtener las expresiones para la impedancia de entrada Z_i, la de salida Z_o y la ganancia en tensión A_v.

V_{CE} = 5.7 V, R_{e1} = 60 Ω, R_{e2} = 1868 Ω, R_{B1} = 42.4 kΩ, R_{B2} = 37.7 kΩ, R_c = 600 Ω

95.- En el amplificador de la figura calcular el punto de operación del transistor.



R_1= 47 kΩ
R_2= 13 kΩ
R_3= 2.5 kΩ
R_4= 2 kΩ
C= 1 μF
C_1= 100 μF
C_2= 100 μF

β= 250
V_{BE}= 0.65 V
h_{ie}= 5 kΩ
h_{fe}= 300

Solución:

Calcular el equivalentre Thevenin del divisor de tensión visto desde los terminales base y tierra.

V_{CE} = 3.42 V, I_c = 1.9 mA

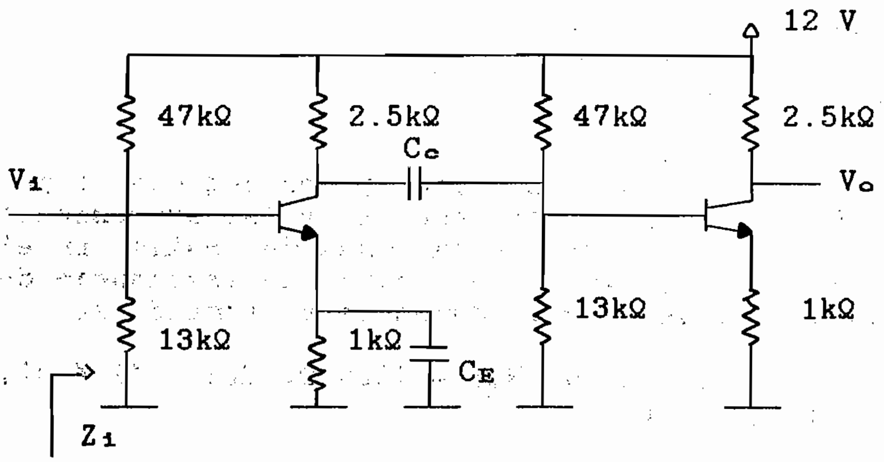
96.- Para el circuito anterior tenemos una señal de entrada V_i de amplitud 10 mV y de frecuencia 500 Hz. Calcular la amplitud de la tensión de salida V_o.

Solución:

Comprobar si la impedancia que presenta el condensador Ca esta frecuencia es muy pequeña comparada con R_4. Cortocircuitar la fuente de tensión de continua y sustituir el transistor por el modelo de parámetros h. Calcular la ganancia en tensión para el circuito modificado.

Amplitud V_o = 1.5 V

97.- Para el circuito amplificador de la figura calcular la ganancia en tensión V_o/V_i, la impedancia de entrada Z_i, la impedancia de salida Z_o y el punto de polarización I_c,V_{CE} de ambos transistores.



β= 250
V_{BE}=0.65V
hie=5 kΩ
hfe=300

Solución:

Calcular primero el punto de polarización; los condensadores se comportan como cicuito abierto en continua, observar que las dos etapas son idénticas.

Para el análisis en pequeña señal obtener la resistencia de entrada de la segunda etapa. Conocida esta, se puede utilizar para calcular la ganancia en tensión de las dos etapas por separado. La ganancia total será el producto de ambas. Para las impedancias de entrada y salida totales aplicar las definiciones correspondientes.

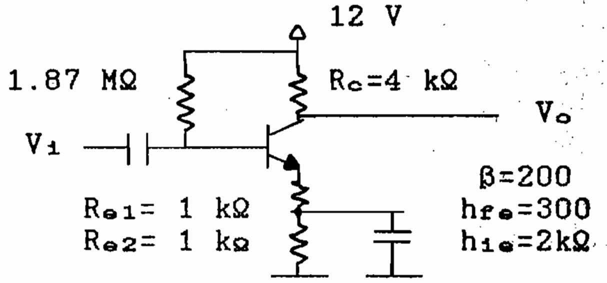
V_o/V_i = 294, Z_i = 3.35 kΩ, Z_o = 2.5 kΩ, I_c = 1.8 mA, V_{CE} = 5.46 V

98.- Un amplificador de alterna con transistores se diseña para amplificar pequeñas señales alternas. ¿Es necesario también aplicar una señal continua al circuito? ¿Por qué?.

Solución:

Sí. Para poder amplificar es necesario una alimentación externa proporcionada por la señal continua.

99.- Para el circuito amplificador de la salida obtenga el punto de polarización del transistor y la ganancia en tensión para una señal alterna de pequeña amplitud y frecuencia intermedia.

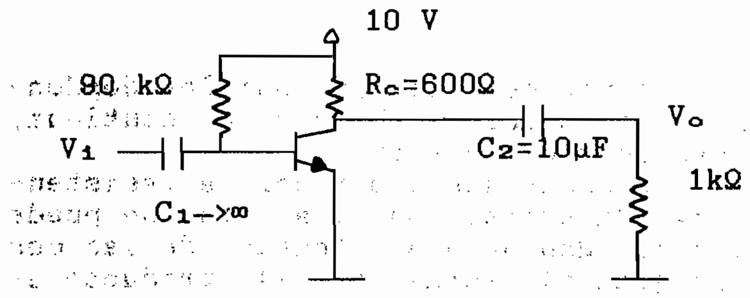


Solución:

En continua los condensadores se comportan como circuito abierto: $R_E=R_{e1}+R_{e2}$. En alterna y frecuencias intermedias se suponen como un cortocircuito, por lo que en este caso $R_E=R_{e1}$.

I_c = 1 mA, V_{CE} = 6 V, V_o/V_i = A_v = -3.96

100.- En el circuito de la figura se representa un amplificador con un transistor. Obtenga la ganancia en tensión a frecuencias tales que la impedancia de los condensadores sea despreciable. Obtenga la frecuencia inferior de corte, es decir, aquella para la cual la ganancia es 3 dB inferior a la calculada anteriormente, debido al efecto de C_2.



β=100
h_{fe}=120
h_{ie}=1 kΩ
V_{BE}=0.7 V

<u>Solución:</u>

a) Cortocircuitar condensadores y fuentes de continua y sustituir el transitor por su modelo equivalente.

A_v=-45

b) Proceder de la misma forma que la parte a) salvo que el condensador C_2 debe ser sustituido por su impedancia equivalente. La nueva relación V_o-V_i vendrá en función de la variable s≡jw. Calcular el módulo de la relación V_o/V_i e igualarlo a $45/\sqrt{2}$, que es el valor equivalente a los 3 dB menos que el primer caso, de ahí se despejará la frecuencia deseada.

f_c= 10 Hz

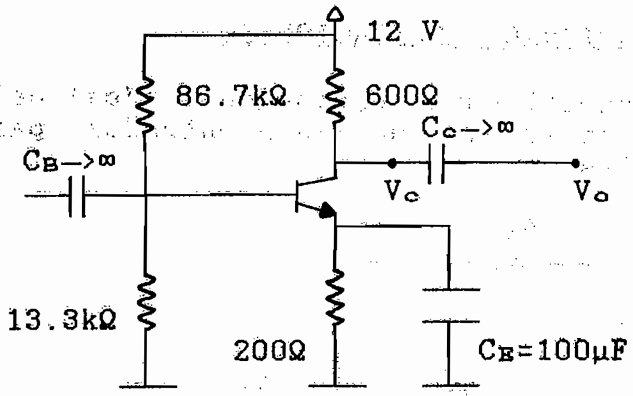
101.- En el circuito del problema anterior dibuje la tensión en el colector (alterna + continua) para una entrada armónica de 0.1 V de amplitud y frecuencia intermedia.

<u>Solución:</u>

Mediante superposición, calcular primero en continua la tensión de colector, tomando los condensadores en circuito abierto. En alterna, conocidos la ganancia en tensión y la amplitud de la señal de entrada se puede calcular la amplitud de la señal de salida. Esta señal se superpondrá a la tensión de colector de continua obtenida anteriormente.

V_o = 3.8 V + 4.5·sen(wt) V siendo V_i = 0.1·sen(wt) V

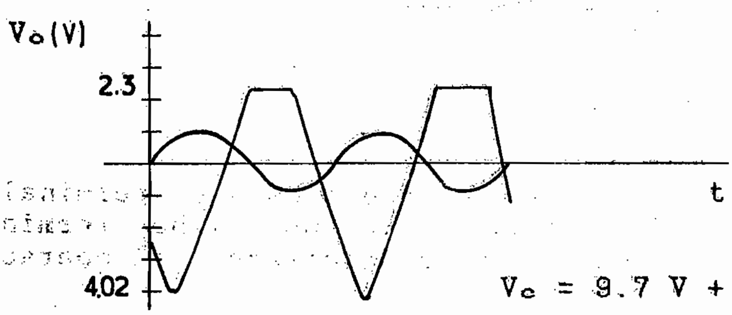
102.- En el circuito de la figura le aplicamos a la entrada una señal de amplitud 1V y de frecuencia tal que $|Z_{CE}|$ =R_E.
a) Calcular la señal en el colector (ac + dc).
b) Dibujar, indicando las escalas, las tensiones de entrada y salida.



$h_{fe} = 200$
$h_{ie} = 2\ k\Omega$
$\beta = 200$
$V_{BE} = 0.65\ V$

<u>Solución:</u>

Calcular primero la frecuencia de trabajo igualando el módulo de la impedancia del condensador C_E con el valor de la resistencia R_E. A continuación se procede como el problema anterior, aplicando el teorema de superposición: se calculará V_{CE} e I_c en continua y mediante un análisis de pequeña señal, teniendo en cuenta la impedancia del condensador, se calculará la ganancia en tensión, distinguiendo entre módulo y fase de la misma. El módulo de la ganancia nos permitirá calcular la amplitud de la tensión de salida y la fase, el desfase de esta respecto a la señal de entrada.

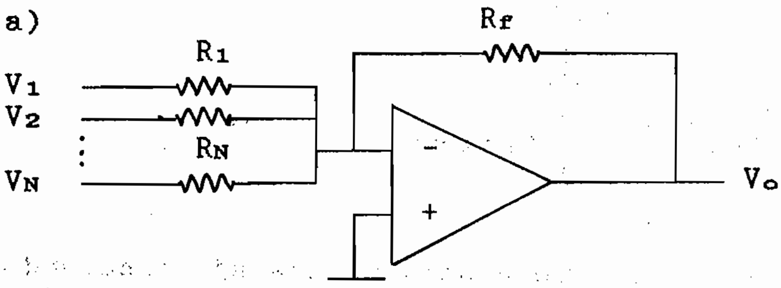


$V_c = 9.7\ V + 4.02 \cdot sen(wt+3.9)\ V$

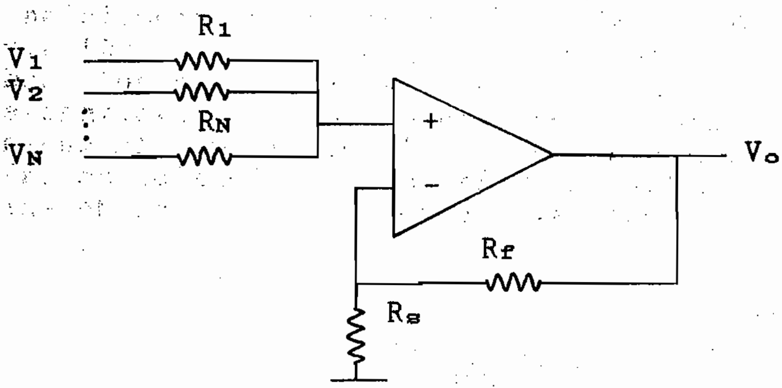
J) AMPLIFICADOR OPERACIONAL. APLICACIONES.

103.- Suponiendo el amplificador operacional ideal calcular la tensión de salida en función de las N entradas para los dos montajes siguientes:

a)



b)



Solución:

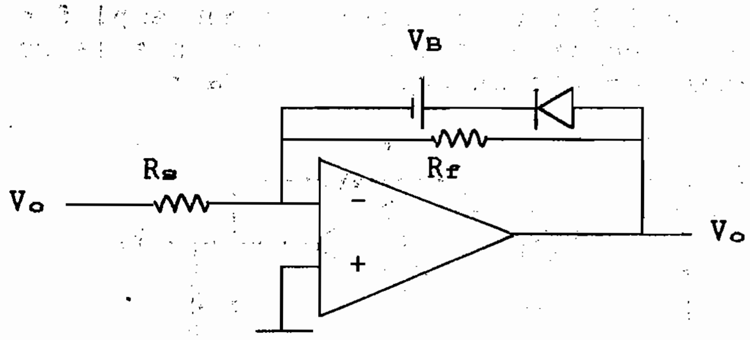
a) Plantear ecuación de nudos para el terminal (-), suponer que la intensidad que entra por dicho terminal es cero, así como $V_+=V_-$, por considerarse el operacional ideal.

$$V_o = - R_f \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{V_i}{R_i}$$

b) Plantear en este caso dos ecuaciones para los nudos (-) y (+). Utilizar también las hipótesis de operacional ideal.

$$V_o = \left[1+ \frac{R_f}{R_s} \right] \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i}} \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{V_i}{R_i}$$

104.- Para el circuito de la figura calcular la tensión de salida V_o en función de la entrada cuando V_i va desde $-\infty$ a $+\infty$.

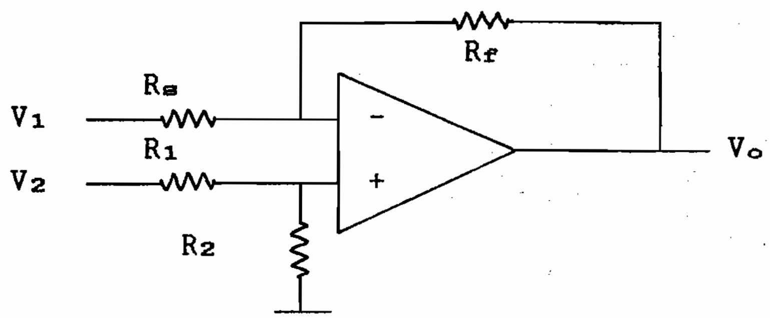


Solución:

Delimitar als regiones de operación del diodo: calcular que valores de tensión debemos tener a la salida, V_o, para que el diodo conduzca o no. En los dos casos posibles obtener la relación entre la tensión de entrada y la de salida suponiendo el operacional ideal.

$V_1 < (V_D+V_B)\cdot R_S/R_f \rightarrow V_o = V_D+V_B$
$V_1 \geq (V_D+V_B)\cdot R_S/R_f \rightarrow V_o = -V_1\cdot R_f/R_s$

105.- Para el siguiente montaje obtener la tensión de salida en función de las entradas. Calcular la relación entre las resistencias para que a la salida sea proporcional a la diferencia de las dos entradas : $V_o=k\cdot(V_2-V_1)$.



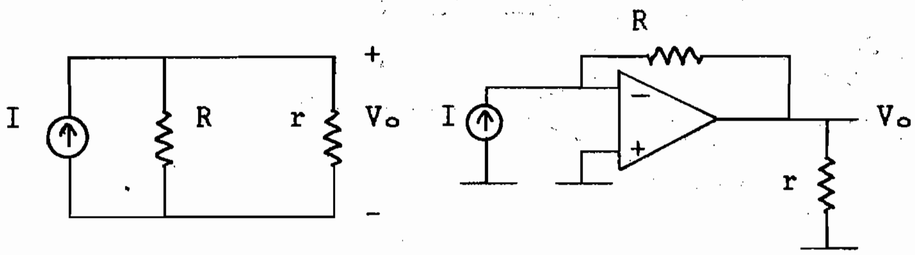
Solución:

Plantear las ecuaciones de nudo en los terminales (+) y (-) suponiendo el operacional ideal. Calcular al relación entre la tensión de salida V_o y las entradas V_1 y V_2.

$$\frac{R_f}{R_s} = \frac{R_2}{R_1}$$

106.- Una forma de obtener una fuente de tensión a partir de una de intensidad es mediante una resistencia R, como se muestra en la figura, con el problema de que la salida se verá atenuada si la conectamos a una resistencia de carga r_2

Se prefiere utillizar un circuito con amplificador operacional. Calcular en ambos casos la tensión a la salida cuando le conectamos una resistencia de carga r.

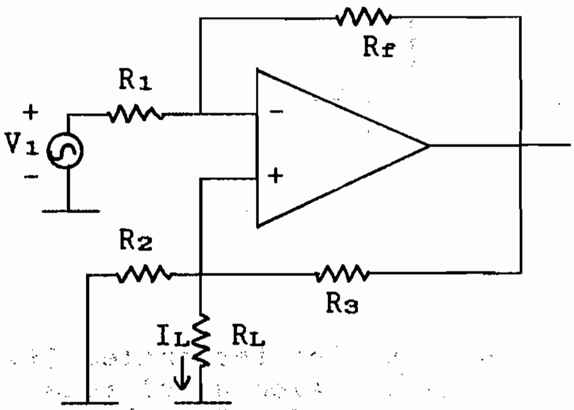


Solución:

En el amplificador operacional, la intensidad que proporciona la fuente circula toda ella por la resistencia R por considerarse ideal.

a) $V_o = \frac{R \cdot r}{R+r} \cdot I$ b) $V_o = I \cdot R$

107.- Para el siguiente montaje con operacional calcular la relación entre las resistencias para que la intensidad que circule por R_L sea independiente de la propia resistencia de carga R_L, con lo que obtendremos una fuente de intensidad. calcular el valor de I_L.

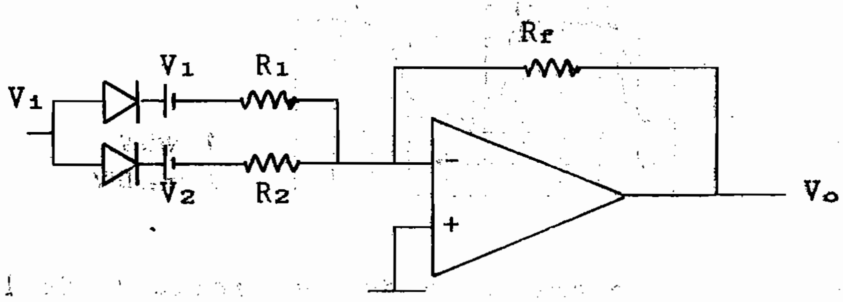


Solución:

Plantear las dos ecuaciones de nudo para los terminales (+) y (-) suponiendo el operacional ideal. Encontrar la relación que liga la corriente I_L con la tensión V_1 y anular en ella todos los términos que dependan de R_L.

$R_f \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$, $I_L = -V_1/R_2$

108.- El siguiente circuito se conoce como generador de tramos pues la salida depende del intervalo de tensiones en el que se encuentre la entrada. Calcular V_o en función de V_i cuando esta varía entre $-\infty$ y $+\infty$.



Solución:

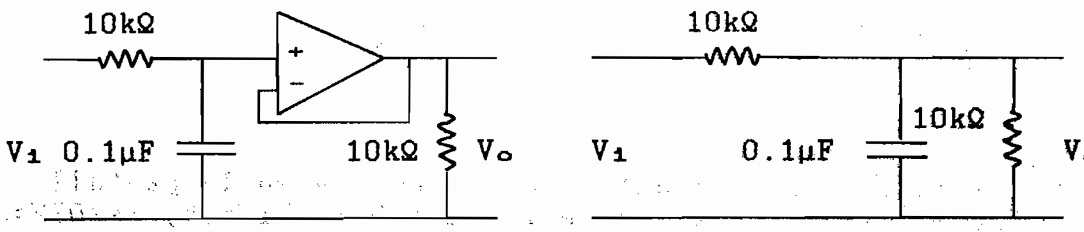
Delimitar los intervalos de la tensión de entrada para los cuales los diodos están polarizados en directa o en inversa. En cualquiera de los casos aplicar la ecuación de nudo en el terminal (-).

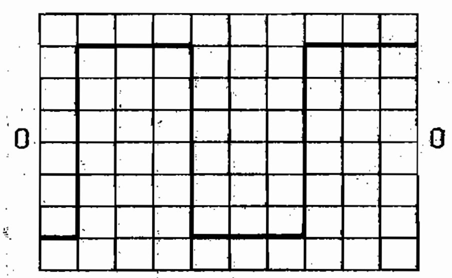
$V_i < V_1 \qquad V_o = 0$

$V_1 < V_i < V_2 \qquad V_o = -(V_i - V_1 - V_D)\cdot R_f/R_1$

$V_i < V_2 \qquad V_o = -\dfrac{R_f}{R_1//R_2}\cdot V_i + R_f\left[\dfrac{V_1+V_D}{R_1} + \dfrac{V_2+V_D}{R_2}\right]$

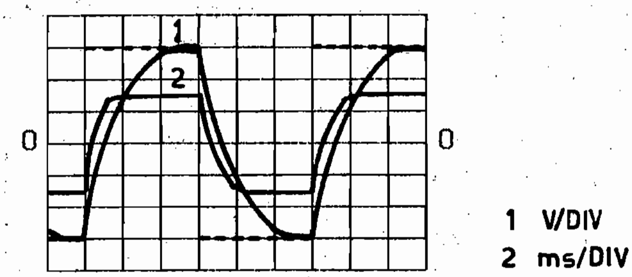
109.- Dada la señal de entrada vista en el osciloscopio (VOLT/DIV=1, ms/DIV=2), representar sobre la misma pantalla la señal de salida para los dos circuitos siguientes.





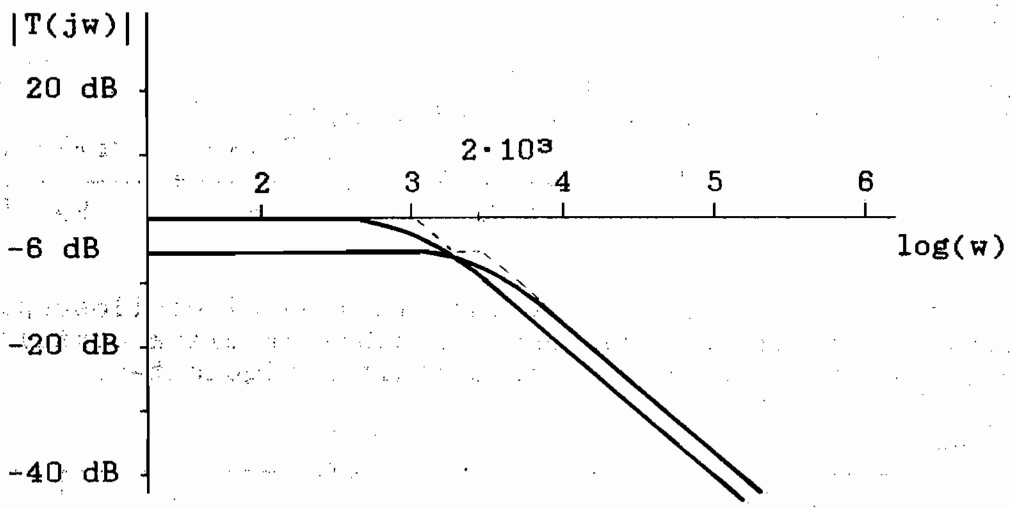
Solución:

Calcular para los dos circuitos la función de transferencia. Del módulo de dicha función se obtiene la ganancia. De la misma función de transferencia podemos obtener la constante de tiempo de la señal de salida.

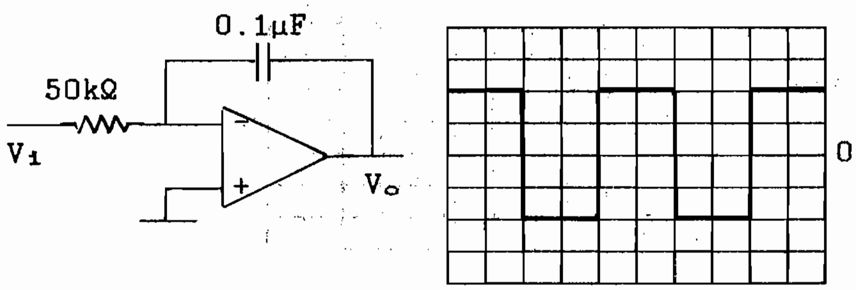


110.- Representar el diagrama de Bode en amplitud de los dos circuitos del problema anterior.

Solución:

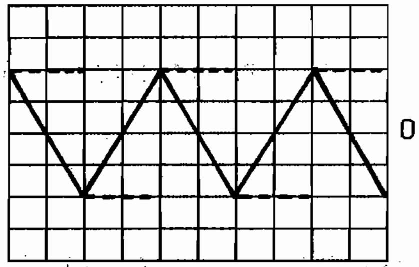


111.- Para este circuito se representa en la pantalla del osciloscopio la señal de entrada (VOLTS/DIV=.5, ms/DIV=5). Dibujar la salida en la misma pantalla.



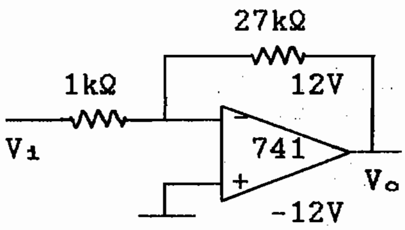
Solución:

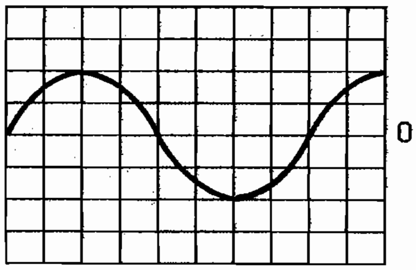
Calcular la función de transferencia y a partir de ella la transformada inversa de la señal de salida.



0.5 V/DIV
5 ms/DIV

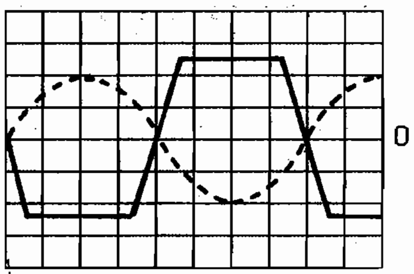
112.- Para este circuito se representa en la pantalla del osciloscopio la señal de entrada (VOLTS/DIV=.5, ms/DIV=5). Dibujar la salida en la misma pantalla especificando las escalas que se utilicen.





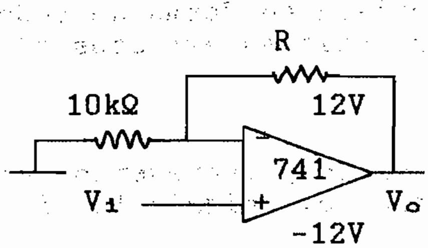
Solución:

Observar que la alimentación del amplificador operacional es ±12 V. $V_o/V_i = -27$



Escalas salida:
(VOLTS/DIV=.5, ms/DIV=5).

113.- Para el siguiente circuito queremos amplificar una señal de entrada de 50mV de amplitud para obtener a la salida una señal de 1V de amplitud. ¿Cuánto debe valer R?

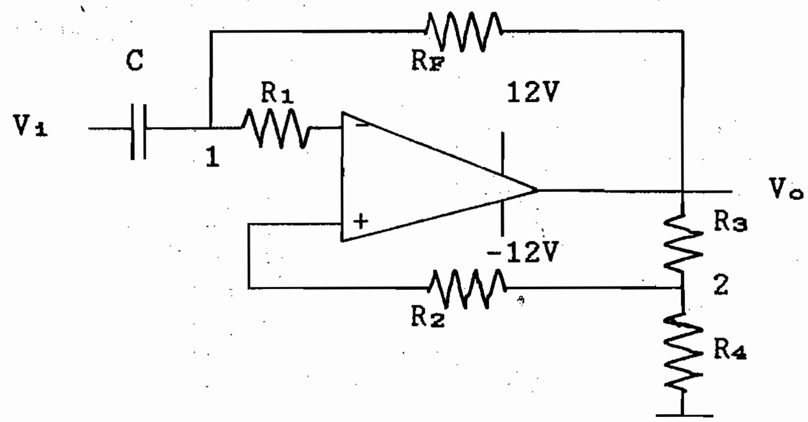


Solución:

Obtener la ganancia de este circuito y despejar el valor de R.

R = 190 kΩ

114.- a) Obtenga la función de transferencia del circuito de la figura. b) Calcular sus polos. c) Si Vi=0 calcular V_o,V_+ y V_-; ¿es estable esta situación?, en caso contrario obtener la evolución de V_o con el tiempo.



Solución:

a) Plantear las ecuaciones de nudo en los puntos 1 y 2

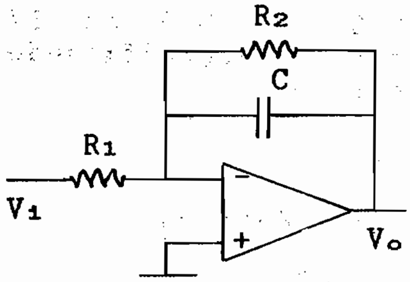
$$H(s) = \frac{R_F \cdot C \cdot s}{\alpha \cdot R_F \cdot C \cdot s + (\alpha - 1)} \qquad \alpha = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

b) Polos: $s_1 = \dfrac{\alpha-1}{\alpha} \cdot \dfrac{1}{R_F \cdot C}$

c) $V_o = 0$, $V_+ = 0$, $V_- = 0$

No es estable, ya que un pequeño ruido haría oscilar al sistema obteniendo una señal de salida en forma de onda cuadrada, con un periodo $T = -1/2\pi s_1$ y valores extremos ±12 V.

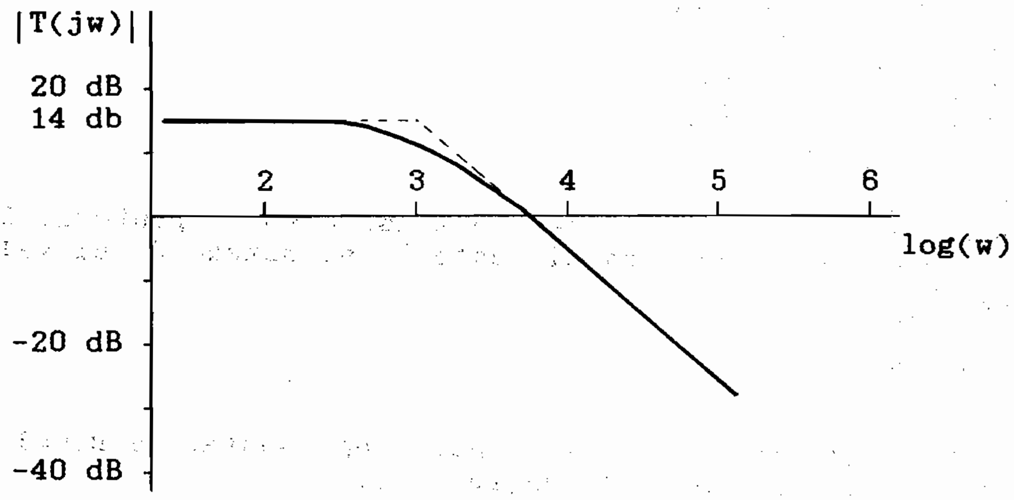
115.- Calcular la función de transferencia y representar el diagrama de Bode para amplitudes para el siguiente circuito.



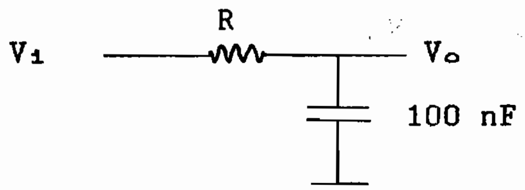
R_1=2 kΩ, R_2= 10 kΩ, C=100 nF

Solución:

$$H(s) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2Cs+1}$$



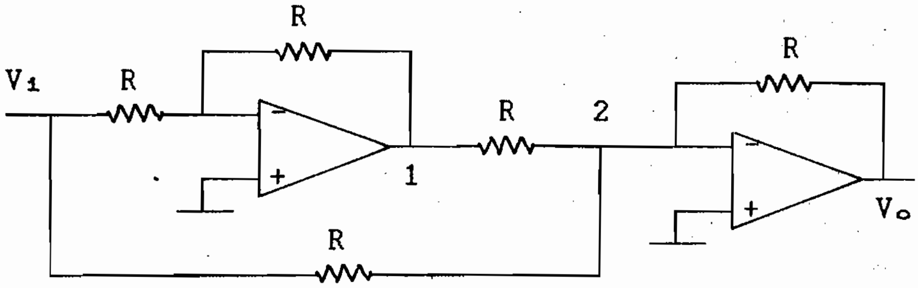
116.- El circuito del problema 115 es un filtro paso bajo. Calcular el valor de R de la red de la figura para que si es posible, ambos circuitos tengan la misma respuesta.

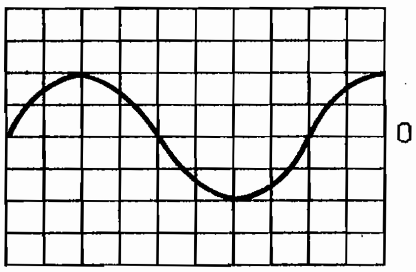


Solución:

Calcular la función de tansferencia y comprobar que no es posible conseguir la misma respuesta que el circuito anterior. Este último es un circuito pasivo.

117.- Para este circuito se representa en la pantalla del osciloscopio la señal de entrada (VOLTS/DIV=0.5, ms/DIV=1). Dibujar la salida en la misma pantalla especificando las escalas que se utilicen. Explicar por qué.



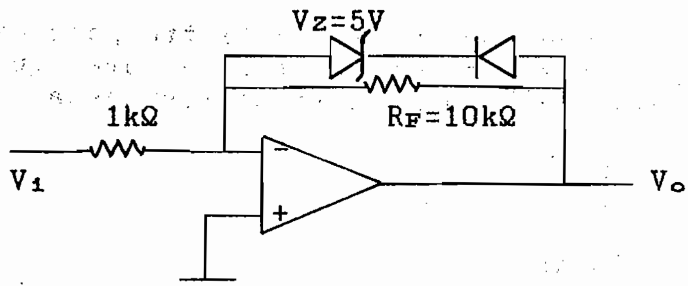


Solución:

Calcular en primer lugar la tensión en el punto 1. Con la ecuación del nudo para el punto 2 se obtendrá el valor de V_o.

$V_o = 0$

118.- Para el circuito de la figura representar la señal de salida V_o en función de la entrada V_i.



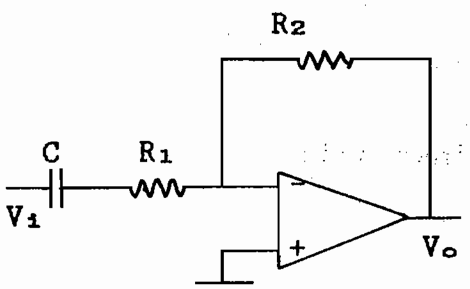
Solución:

Delimitar la tensión de salida para la cual la rama de diodos permite el paso de corriente o no. Se calcula en ambos intervalos el valor de la tensión de salida en función de la entrada.

$V_i < -0.56$ V $\quad V_o = 5.6$ V

$V_i \geq -0.56$ V $\quad V_o = -10 \cdot V_i$

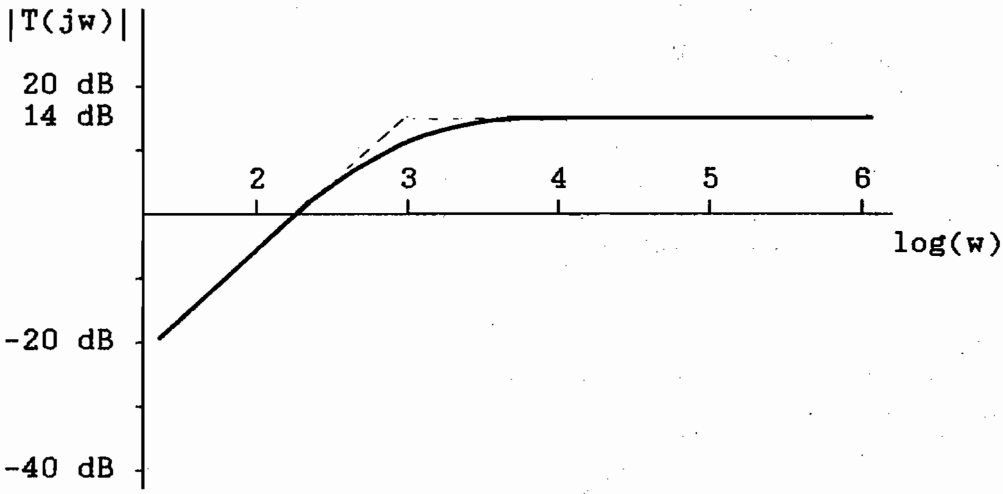
119.- Calcular la función de transferencia y representar el diagrama de Bode para amplitudes para el siguiente circuito.



R_1=2 kΩ, R_2= 10 kΩ, C=100 nF

Solución:

$$H(s) = -\frac{R_2Cs}{R_1Cs+1}$$



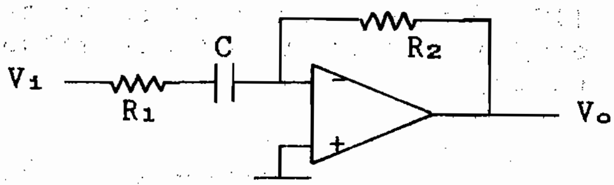
120.- ¿Cuál es la máxima salida que se puede obtener de un amplificador basado en un amplificador operacional? ¿Por qué?

Solución:

Los valores extremos de la alimentación del amplificador operacional. Porque no hay otras fuentes de energía de donde obtener una tensión mayor.

121.- Indique de qué tipo de filtro es el circuito de la figura.

Si $C=10$ nF, obtenga las resistencias para que la frecuencia de corte sea 1 kHz y la ganancia sea 10.

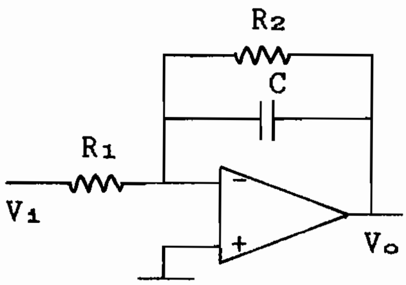


Solución:

Es un filtro paso alta de primer orden.

$R_1 = 15.9$ kΩ, $R_2 = 159$ kΩ

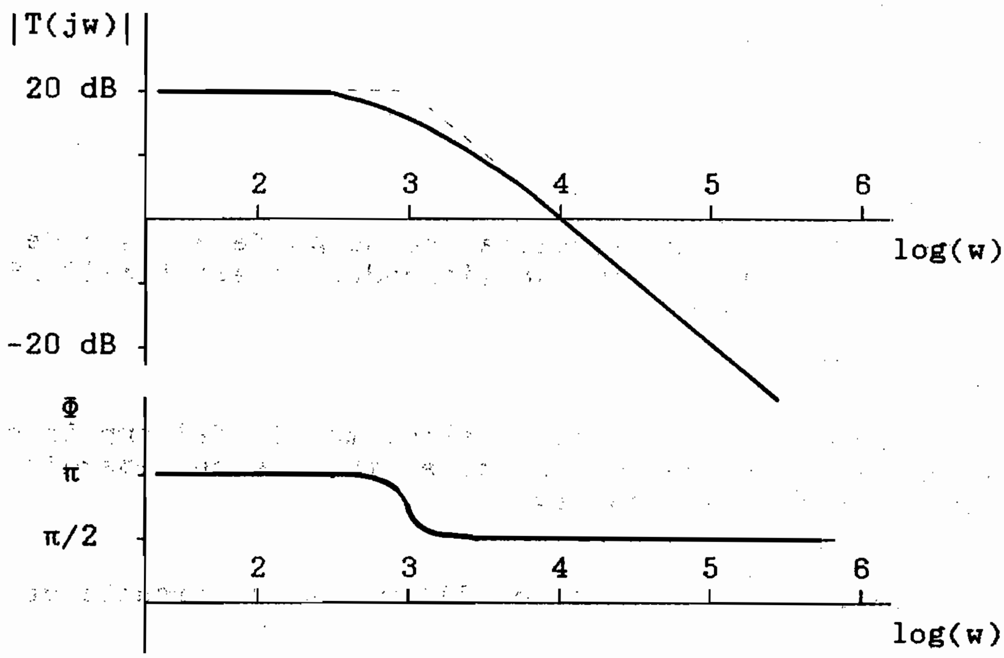
122.- Dado el circuito de la figura: a) Obtenga la función de transferencia y represente el diagrama de Bode. b) Calcule el tiempo de subida de la señal de salida que se obtiene ante una entrada escalón.



$R_1=1$ kΩ, $R_2= 10$ kΩ, $C=100$ nF

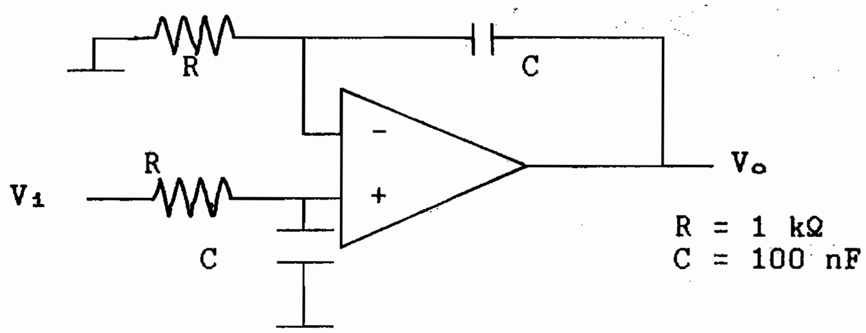
Solución:

$$a)\ H(s) = -\frac{R_2}{R_1}\cdot\frac{1}{R_2Cs+1}$$



b) $t_s = 2.2$ ms

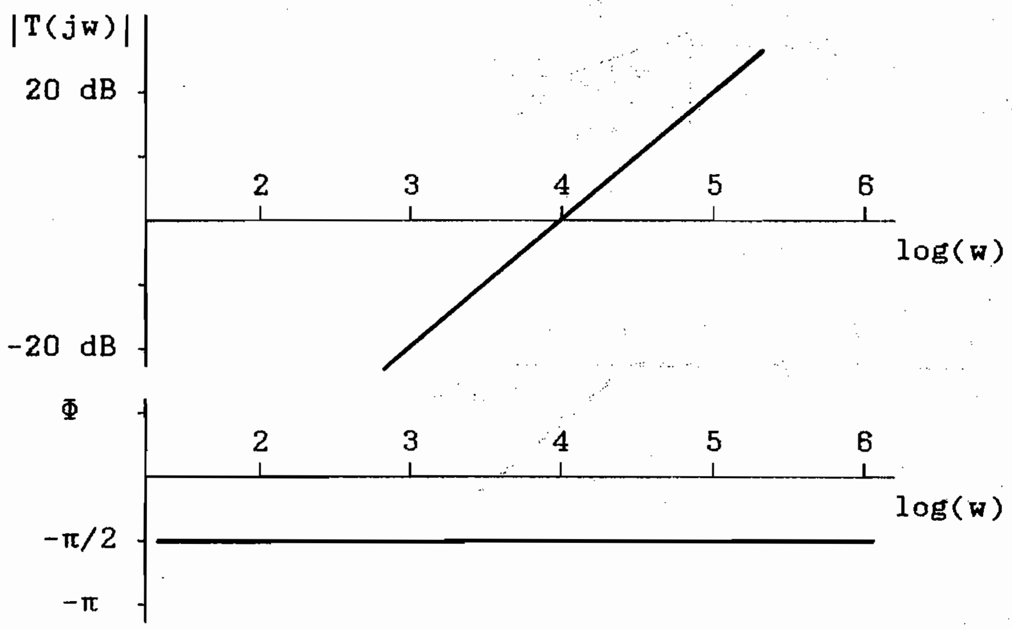
123.- a) Calcule la función de transferencia del circuito de la figura. b) Represente el diagrama de Bode. c) Exprese la tensión de salida $v_o(t)$ en función de la entrada $v_i(t)$.



Solución:

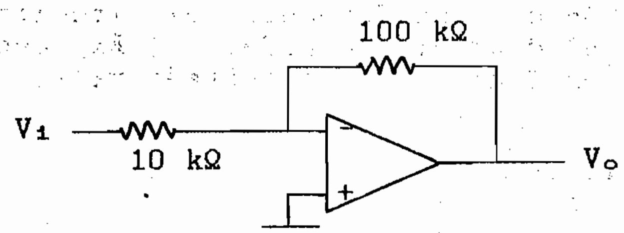
a) $$H(s) = \frac{1}{RCs}$$

b)



c) $$V_o(t) = \frac{1}{RC} \cdot \int_0^t V_i(t)dt$$

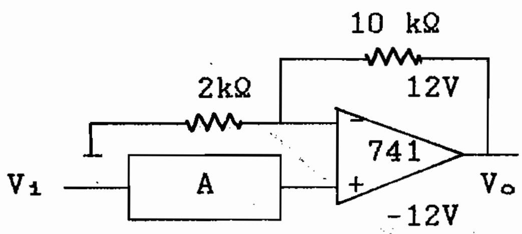
124.- ¿Entre qué valores puede estar la ganancia en tensión del circuito de la figura si la tolerancia de las resistencias es del 5%.

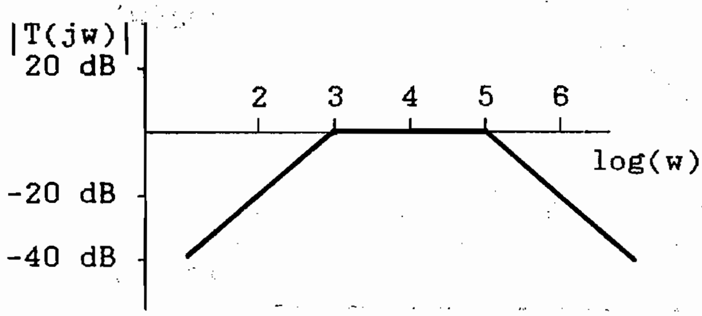


Solución:

$9.05 \le V_o/V_i \le 11.05$

125.- El circuito A es una red pasiva cuyo diagrama de Bode se representa en la figura. Representar el diagrama de Bode del circuito completo.

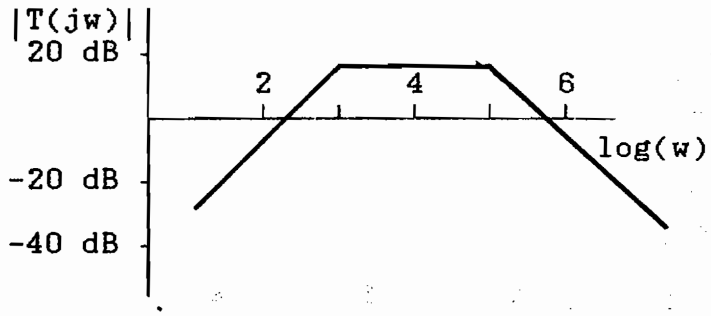




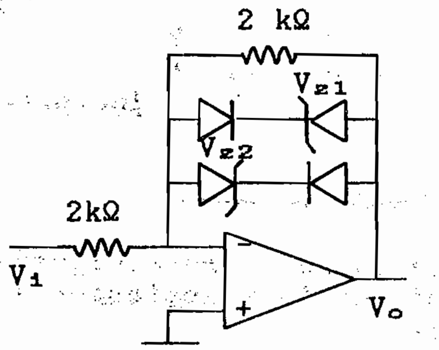
Solución

La salida del bloque A es amplificada por un amplificador operacional en configuración no inversora. Como la impedancia de entrada de esta configuración es infinita:

$$|T(jw)| = |A|\cdot(1 + 10/2) \Rightarrow |T(jw)|_{dB} = 20\cdot\log|A| + 15.56$$



126.- Calcule y represente la característica de transferencia (ten sión de salida respecto a tensión de entrada) para el circuito de la figura.



V_{z1}= 7VΩ, V_{z2}= 5 V

<u>Solución:</u>

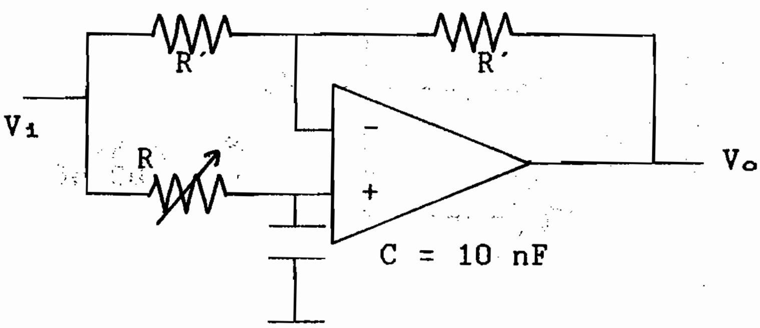
Delimitar las distintas regiones en las que funciona este circuito.

$V_i < -5.6$ V	$V_o = 5.6$ V
$-5.6 \text{ V} \leq V_i < 7.6$ V	$V_o = -V_i$
$7.6 \text{ V} \leq V_i$	$V_o = -7.6$ V

127.- Para el circuito de la figura :

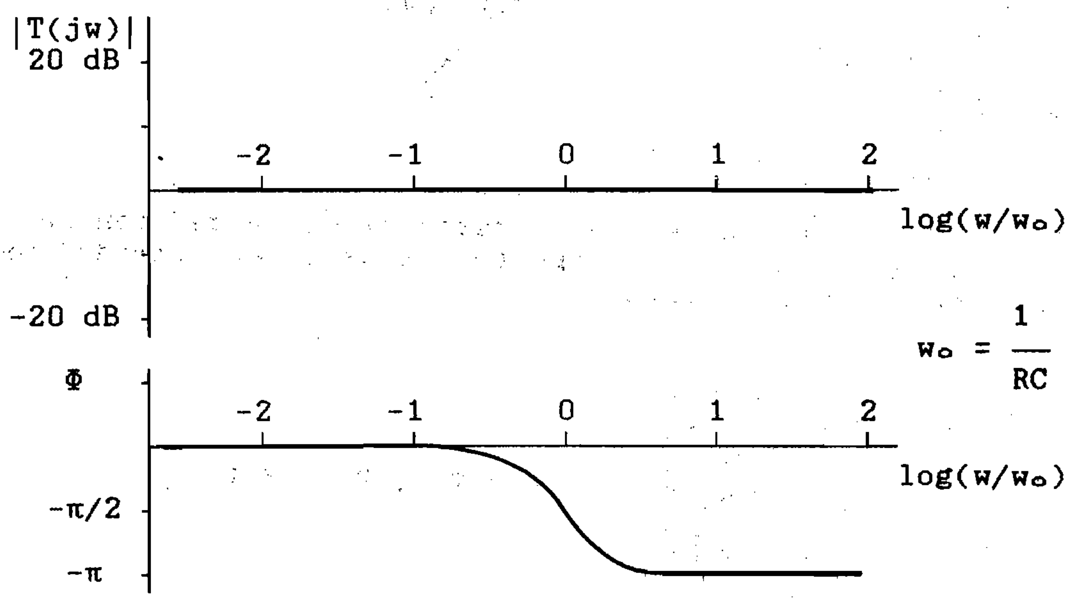
a) Obtenga la función de transferencia y represente el diagrama de Bode completo.

b) Si la señal de entrada tiene una amplitud de 1 V y una frecuencia de 1kHz, dibujar la entrada y la salida si R= 15.9 kΩ y si R= 1MΩ. ¿Qué función realiza?



Solución:

a) $H(s) = \dfrac{1-RCs}{1+RCs}$



b) La salida será igual a la entrada multiplicada por el módulo de la función de transferencia y desfasada lo que indique la fase a esta frecuencia.

Suponiendo la entrada $V_i(t) = \cos(wt)$:

R = 15.9 kΩ $\quad V_o(t) = \cos(wt-\pi/2)$

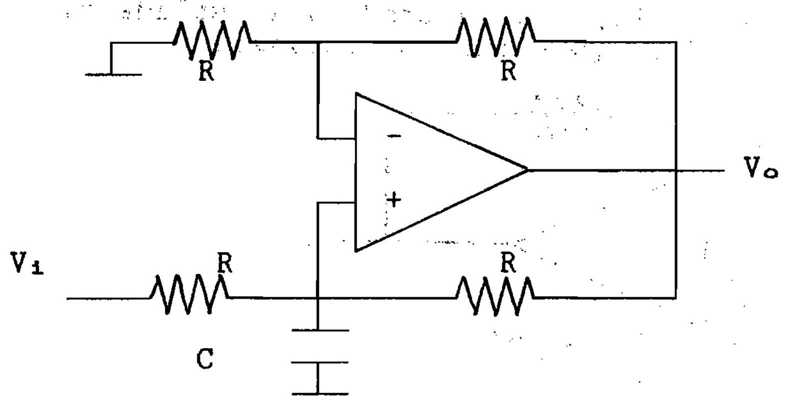
R = 1 MΩ $\quad V_o(t) = \cos(wt+\pi/2)$

La función que realiza este circuito es la de desfasador.

128.- a) Calcule la función de transferencia del circuito de la figura.

b) Represente el diagrama de Bode.

c) Exprese la tensión de salida $v_o(t)$ en función de la entrada $v_i(t)$.

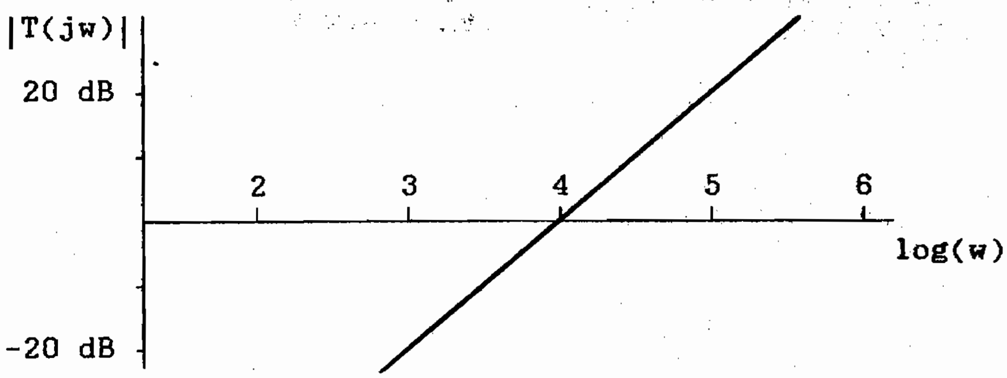


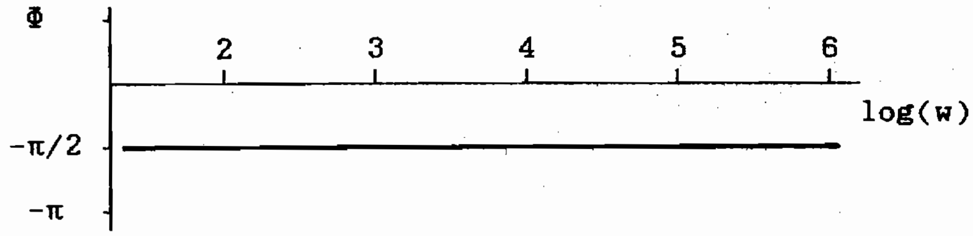
R = 2 kΩ
C = 100 nF

Solución:

a) $H(s) = \dfrac{2}{RCs}$

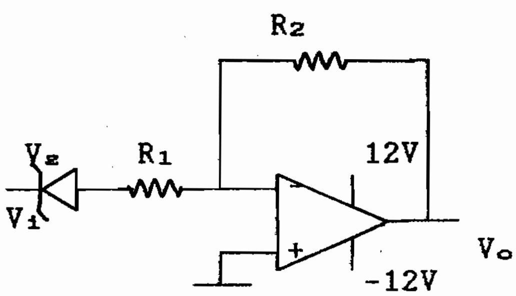
b)





c) $V_o(t) = \dfrac{2}{RC} \cdot \int_0^t V_i(t)dt$

129.- Calcule y represente la característica de transferencia (tensión de salida respecto a tensión de entrada) para el circuito de la figura.



R_1=1.5 kΩ, R_2= 3 kΩ, V_z= 5 V

Solución:

Obtener los intervalos de la tensión de entrada en los cuales el diodo conduce en directa, en inversa o no conduce. Hay que tener en cuenta que el amplificador puede saturarse.

$V_i < -5.4\ V$	$V_o = 12\ V$
$-5.4\ V \le V_i < -0.6\ V$	$V_o = -2 \cdot V_i - 1.2V$
$-0.6\ V \le V_i < 5\ V$	$V_o = 0$
$5\ V \le V_i < 11\ V$	$V_o = -2 \cdot V_i + 10V$
$11\ V \le V_i$	$V_o = -12\ V$

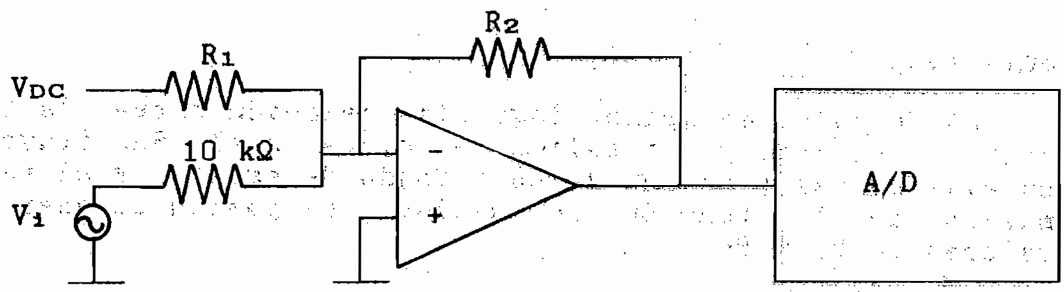
K) CONVERSION A/D

130.- En el circuito de la figura la tensión de entrada V_i varía entre +1V y -1V. El rango de entrada del convertidor analógico-digital es de 0 a 5V. Se desea que la salida del operacional barra todo el rango de entrada del convertidor cuando la señal de entrada varía entre sus límites. V_{DC} puede ser +12V ó -12V.

_ ¿cuál de los dos valores de V_{DC} hay que elegir?

_ ¿Cuánto valen R_1 y R_2?

_ Si queremos apreciar en la salida del convertidor cambios en la entrada como mínimo de 10 mV, ¿de cuántos bits ha de ser el convertidor?



Solución:

a) Obtener en primer lugar la relación entre la entrada V_i y la tensión V_{DC} con la salida del operacional.

V_{DC} = -12 V

b) Sustituir valores de la tensión de entrada y la salida correspondiente en la relación anterior, teniendo en cuenta que el montaje es un inversor.

R_1 = 120 kΩ, R_2 = 25 kΩ

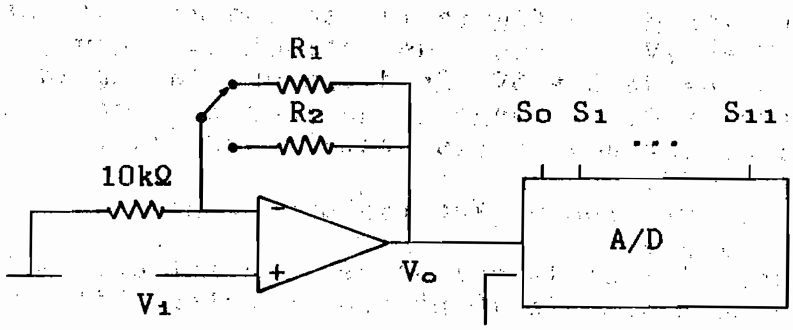
c) Calcular el número de segmentos de 10 mV que hay en el intervalo [-1V,+1V].

Nº bits = 8

131.- El circuito básico de un medidor digital de tensiones tiene un amplificador en la entrada cuya salida se utiliza como entrada de un convertidor Analógico/Digital de 12 bits tal como muestra la figura. El voltímetro trabaja con dos fondos de escala diferentes: 200 mV y 2 V ,según la posición del conmutador.

a) Calcule R_1 y R_2

b) Obtenga la mínima variación de tensión en la entrada que produce un cambio en la salida digital para cada fondo de escala.



Rango de entrada 0-5 V

Solución:

a) Calcular en primer lugar la relación entre la tensión de entrada y la salida del operacional. Sustituyendo en ella el valor máximo de cada fondo de escala y el valor máximo de la tensión de salida, se pueden obtener los valores de R_1 y R_2.

Fondo de escala 200 mV	R_1 = 240 kΩ
Fondo de escala 2 V	R_2 = 15 kΩ

b) Calculamos primero el número de combinaciones que podemos formar con 12 bits, que será el número de intervalos en los que se dividirá el rango de entrada.

Fondo de escala 200 mV	variación mínima 488 µV
Fondo de escala 2 V	variación mínima 48.8 µV