

EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 4-FEBRERO DE 2009
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE:

3+6+4+8+7 = 28

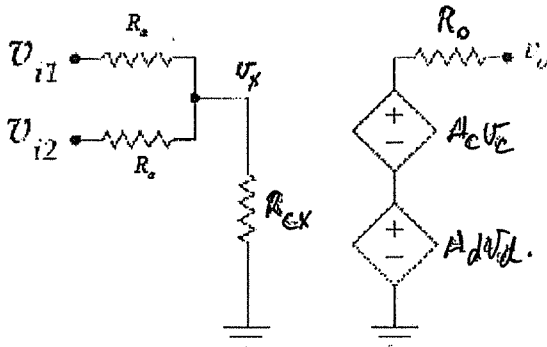
1ª PARTE DEL EXAMEN:

Resolución

③

Pregunta 1.-

Sea el circuito de la figura:



Representa el modelo de un amplificador diferencial, con entradas v_{i1} y v_{i2}

Se pide En función de los valores del circuito:

1.1.- (1 p.) Definición de v_c . Definición de v_d

Demuestre cual es el valor de v_{i1} en función de v_c y v_d

1.2.- (1 p.) Definición de impedancia de entrada en modo común.

Demuestre cual es su valor en función de las resistencias del esquema.

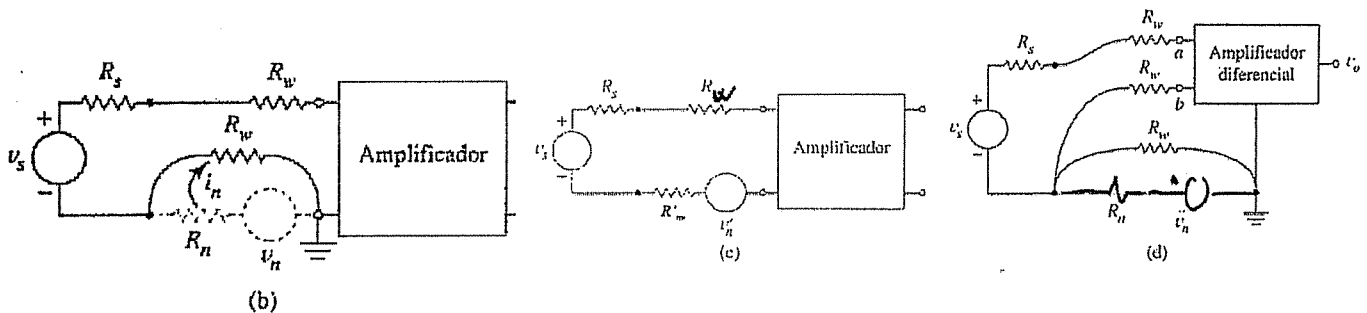
1.3.- (1 p.) Definición de impedancia en modo diferencial

e impedancia en modo común. Demuestre cual es su valor en función de las resistencias del esquema.

⑥

Pregunta 2.-

Sean los circuitos de la figuras:



El circuito de la figura b representa una fuente de señal en serie con su resistencia interna (V_s, R_s), que modela la señal se un transductor remoto. Dicha fuente se conecta a través de dos hilos largos de resistencia R_w a un amplificador.

R_n y v_n modela una señal de ruido entre el terminal negativo del transductor (típicamente ruido procedente de la red de alterna de 50 Hz. y la referencia del amplificador. R_n suele ser de elevado valor (del orden de megohms), y v_n del orden de decenas de voltios

Se pide:

2.1) (1 p.) Justifique la equivalencia del circuito b y circuito c. Valor de R'_{wn} y v'_n

2.2) (2 p.) Explique clara y concisamente el efecto de dicha señal de ruido en la salida del amplificador. Si la señal de ruido v_n es de 50 Hz, ¿qué habría que colocar a la entrada del amplificador para disminuir el efecto del ruido?: Un filtro paso bajo, una filtro pasa alto, un filtro pasa banda, o un filtro eliminador de banda.

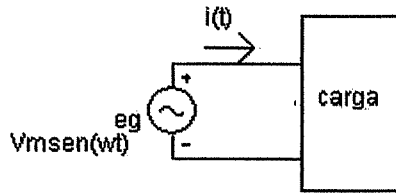
2.3) (3 p.) Explique clara y concisamente como el circuito de la figura d consigue suprimir en la salida del amplificador el efecto de la fuente de ruido $v_n R_n$.

NOTA: Este el montaje que normalmente se emplea para amplificar la señal procedente de un transductor remoto. (Sistema a tres hilos y Amplificador diferencial.)

EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 4-FEBRERO DE 2009
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE:

(4)



Pregunta 3.- Sea una fuente de alterna senoidal (La tensión de red), a la cual hay conectada una carga, tal como se indica en la figura.

Mediante un osciloscopio digital, se captura la forma de onda de tensión 1 y la forma de onda de corriente $i(t)$ 2 (*¡ojo, es la corriente en el lado de alterna, no en el lado de continua!*), que resultan ser las de la figura. Se pide:

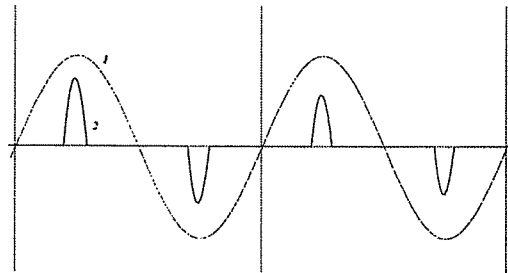
De las cargas que a continuación se enumeran, identifique cual o cuales de ellas pueden ser, y cuales no pueden ser, justificándolo, clara y concisamente y dibujando para cada uno de los casos, el circuito y la forma aproximada de la corriente en el lado de alterna.

a) (1 p) Carga con rectificación de doble onda (puente de diodos), con elemento resistivo puro en el lado de continua

b) (1 p) Carga con rectificación monofásica de media onda con filtrado por capacidad.

c) (1 p) Carga con rectificación monofásica de doble onda (puente de diodos) con filtrado con capacidad.

(1 p) Carga con rectificación monofásica de doble onda (puente de diodos) con filtrado por autoinducción y capacidad, sin interrupción de corriente.



(8)

Pregunta 4.- Sea el circuito de la figura:

I es una fuente de corriente constante implementada por un espejo de corriente. El transistor tiene las siguientes características: Ganancia β , Tensión Early V_A voltios, V_{BEQ} = tensión base emisor e la R.A.N.

Se pide: 1º (1 p.) En ausencia de señal ($v_s=0$), expresión literal del punto de operación I_{CQ} , V_{CEQ}

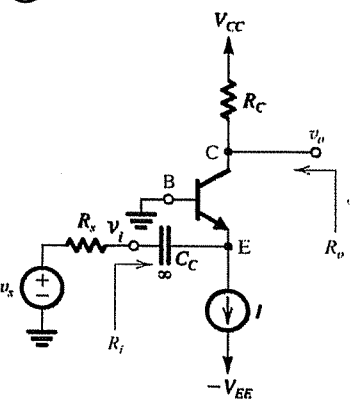
2º (1 p.) Dibujar el circuito equivalente de alterna y el circuito incremental equivalente, teniendo en cuenta el valor de r_o (resistencia incremental de salida debida al efecto Early)

2.1.- (2 p.) Demostrar la expresión literal de la ganancia en tensión $A_v = v_o/v_i$

2.2.- (2 p.) Demostrar la expresión literal de la impedancia de entrada R_i .

2.3.- (2 p.) Demostrar cual es la impedancia de salida R_o con $v_s=0$

(a)



(7)

Pregunta 5.- Sea el par diferencial de la figura. Aplicando sucesivamente el principio de superposición, demostrar:

1º (1 p.) En ausencia de señal, expresión literal del P.O. (I_{CQ} y V_{CEQ}) de los transistores. (Nota: Suponer que R es muy elevada a efectos del cálculo en continua).

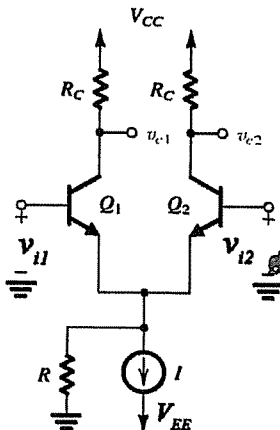
2º (2 p.) Demostrar fehacientemente cuales son los circuitos equivalentes en modo común y en modo diferencial, aplicando sucesivamente el principio de superposición.

3º (1 p.) Demostrar la expresión literal de la ganancia en modo común

4º (1 p.) Demostrar la expresión literal de la ganancia en modo diferencial

5º (1 p.) Demostrar la expresión literal de la impedancia de entrada en modo común.

6º (1 p.) Demostrar la expresión literal de la impedancia de entrada en modo común y la impedancia de entrada en modo diferencial.





PREGUNTA 1.-

1.1.

 $V_c \equiv$ tensión en modo común: $V_c = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2}$ $V_d \equiv$ tensión en modo diferencial: $V_d = V_{i1} - V_{i2}$

$$V_{i1} + V_{i2} = 2V_c$$

$$V_{i1} - V_{i2} = V_d$$

$$2V_{i1} = 2V_c + V_d \Rightarrow V_{i1} = V_c + \frac{V_d}{2}$$

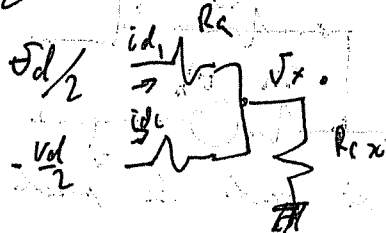
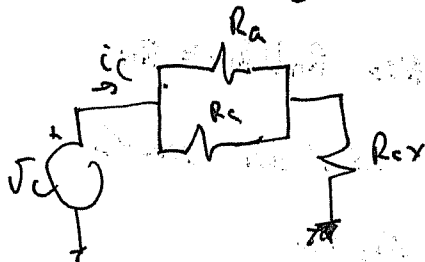
$$V_{i2} = V_c - \frac{V_d}{2}$$

1.2.

 R_{ic}

$$\frac{V_c}{V_c} = \frac{R_a + R_{ex}}{2}$$

$$R_d = \frac{V_d}{I_d}$$



$$V_x = V_{x1} = V_{x2} = 0$$

aplicando el principio de superposición.

$$\text{Por tanto: } I_{d1} = -I_{d2} \\ = V_d/2 / R_a = I_d$$

1.3.

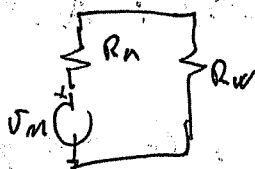
 $\Rightarrow$

$$\frac{V_d}{I_d} = 2R_c$$

~~Resolución~~

PREGUNTA 2.

2.1

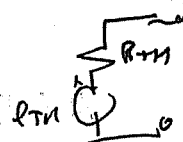


$$R_{TH} = \frac{R_n R_m}{R_n + R_m} V_m$$

$$R_{TH} = R_n || R_m$$

 $\Rightarrow$ que el circuito se puede sustituir

por:



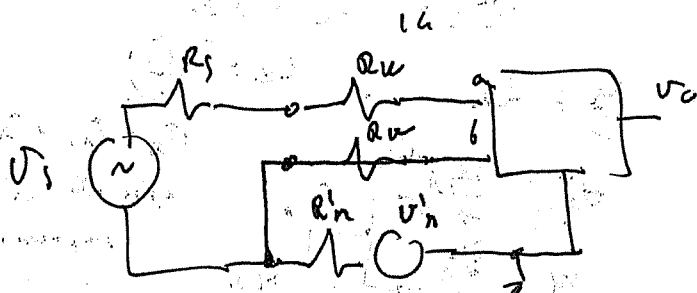
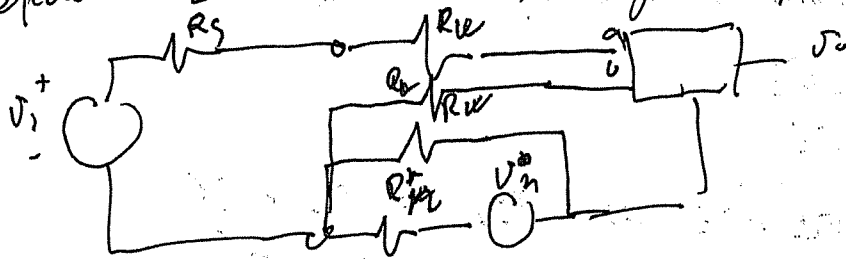
$$R'_{TH} = R_n || R_m$$

$$V'_n = \frac{R_m}{R_n + R_m} V_s$$

2.2. : EL Amplificador tiene a la entrada la suma de dos tensiones, V_s y V'_n . V_s es la señal que procede del transductor, y V'_n es la señal de ruido. Si la señal de ruido es comparable a la señal del transductor, el ruido enmascarará a la señal. Si la señal de ruido es la de 50Hz, para disminuir el efecto, habría que colocar a la entrada un filtro eliminador de 50Hz, es decir un filtro eliminador de 50Hz. Otra opción sería colocar un filtro pasabanda, siempre que los pines a amplificar estén fuera de 50Hz.

2.37.

La ventaja de emplear un sistema a tres lúts con amplificadora diferencial, es que la señal de ruido pasa a ser una señal en modo común, y por tanto, si el amplificador diferencial tiene un fuerte R.R.M.C. ($A_c \rightarrow 0$), la citada señal de ruido no ~~se~~ aparecerá en la salida. En efecto: EL circuito d) puede pmax de la forma:



$$R'_m \approx R_{in} \parallel R_E \approx R_E$$

La señal de ruido ha pasado a ser una señal en modo común, y por tanto no será amplificada, si $A_c = 0$

Si suponemos que $R_{id} = R_{ic} \approx \infty$



$$\begin{aligned} V_c &= V_s + V'_m \\ V_b &= V'_m \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} V_c - V_b &= V_s = V_d \\ V_a + V_b &= V_c = V_s + 2V'_m \end{aligned}$$

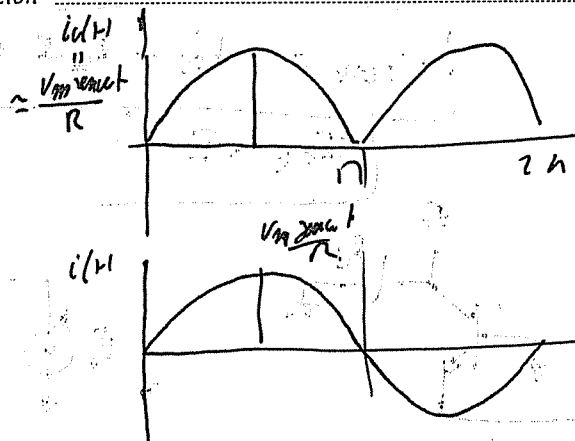
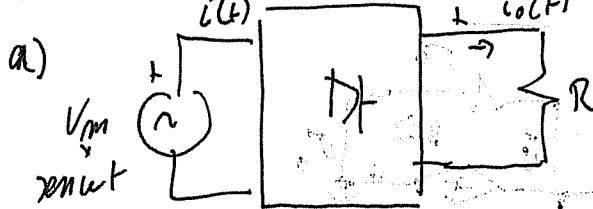
$$\begin{aligned} V_c &= A_d V_d + A_c V_c = A_d (V_a - V_b) + A_c \left(\frac{V_a + V_b}{2} \right) \\ &= A_d V_s + 0 = A_d V_s \quad \text{que es lo que queremos} \end{aligned}$$



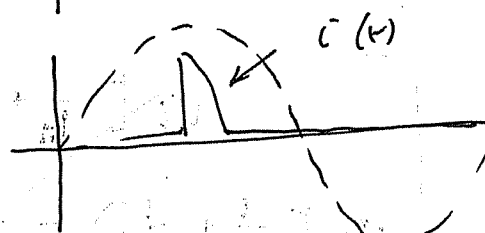
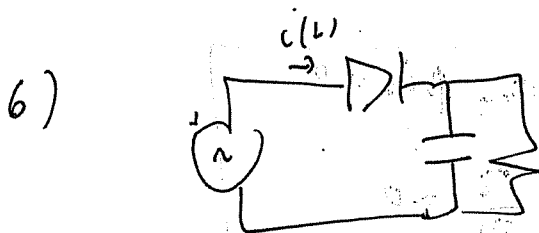
TEORÍA:

Titulación

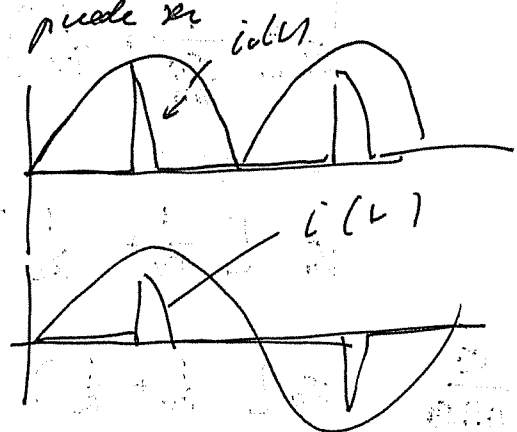
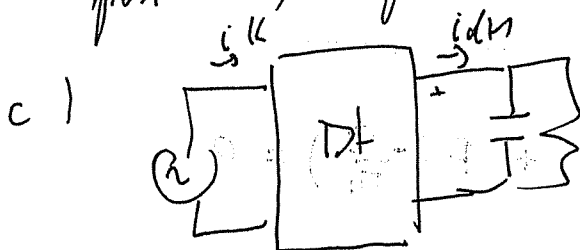
PROBLEMA 3.



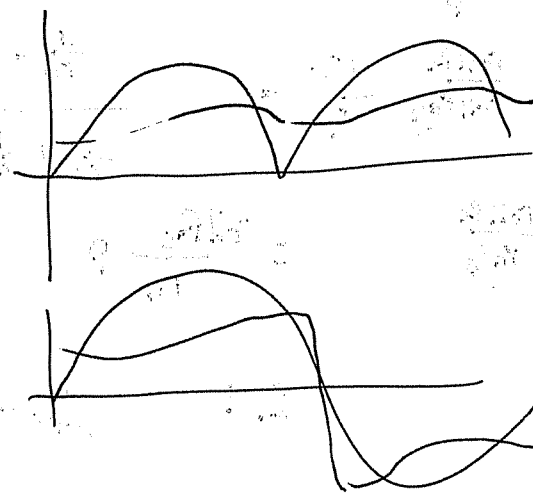
Por tanto este caso no puede ser.



La corriente en el lado de salida tiene componente continua, el diodo nunca conduce durante el semiciclo positivo, por tanto tampoco puede ser.



Este caso si que puede ser y lo es.



Además si $i_o(t)$ es siempre mayor que cero, la corriente $i(t)$ nunca se interrumpirá, por lo tanto no puede ser.

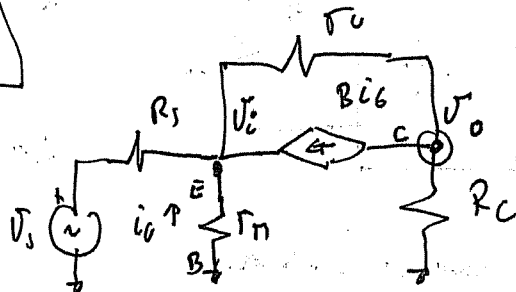
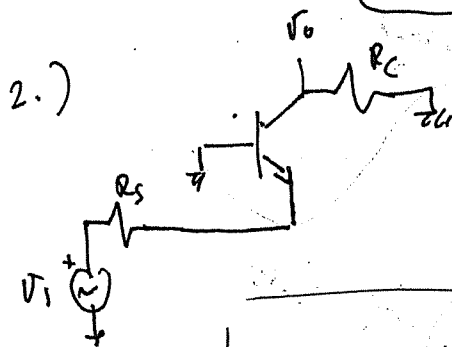
DEGRATA 61

1.) $I_{CQ} \approx I_{EQ} = I$ $V_C = V_{CC} - R_C I$

$V_{CEQ} = V_{CQ} - V_{EQ} = V_{CC} - R_C I - (0 - V_{BEQ}) =$

$V_{CEQ} = V_{CC} - R_C I + V_{BEQ}$

$I_{CQ} = I$



$$V_i \left[\frac{1}{r_{\pi}} + \frac{1}{r_o} \right] - \frac{1}{r_o} V_o - \beta i_b = 0$$

$$V_o \left[\frac{1}{r_o} + \frac{1}{r_c} \right] - \frac{1}{r_o} V_i + \beta \frac{V_i}{r_{\pi}} = 0$$

$$V_o \left[\frac{1}{r_o} (1 + \beta) + \frac{1}{r_c} \right] = \frac{1}{r_o} V_i$$

$$V_o \left[\frac{1}{\frac{r_{\pi}}{\beta}} + \frac{1}{r_c} \right] = \frac{1}{r_o} V_i$$

$$V_o = \frac{r_o}{\frac{r_{\pi}}{\beta} + r_c}$$

$$V_o \left[\frac{1}{r_o} + \frac{1}{r_c} \right] - \frac{1}{r_o} V_i + \beta \left(-\frac{V_i}{r_{\pi}} \right) = 0$$

$$\frac{V_o}{r_o || r_c} = \frac{V_i}{r_o || \frac{r_{\pi}}{\beta}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = A_v = \frac{r_o || r_c}{r_o || \frac{r_{\pi}}{\beta}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{\frac{1}{r_o} + \frac{1}{r_c}}}{\frac{1}{\frac{1}{r_o} + \frac{1}{\frac{r_{\pi}}{\beta}}}} = \frac{\frac{1}{r_o} + \frac{1}{r_c}}{\frac{1}{r_o} + \frac{1}{r_{\pi}/\beta}}$$

$$\frac{V_o}{V_i} = A_v = \frac{r_o || r_c}{r_{\pi}/\beta}$$

$$\approx \frac{r_o || r_c}{r_{\pi}} \beta \approx \frac{r_o || r_c}{r_{\pi}} \beta$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{r_c}{r_{\pi}} \beta$$
 sempre que $r_o \gg r_c$

2.1
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{r_o || r_c}{r_{\pi}} \beta$$

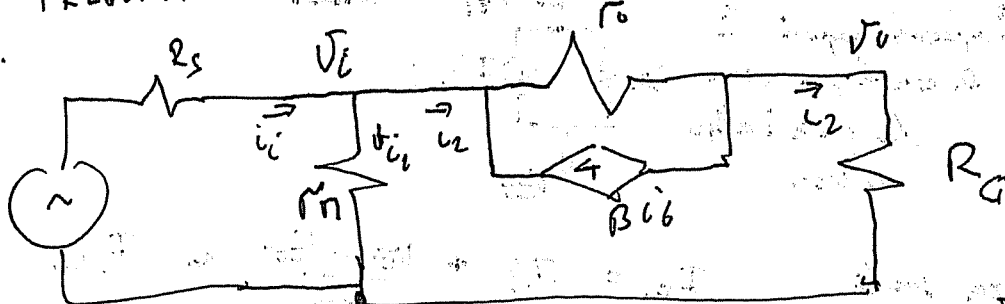
si $R_o \rightarrow \infty$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{r_c}{r_{\pi}} \beta = \frac{r_c}{\frac{V_T}{I_{CQ}}} \beta = r_c g_m$$



PREGUNTA 4. (cont.)

2.2.



$$i_2 = \frac{v_o}{R_L} = \frac{A_v v_i}{R_C}$$

$$\text{donde } A_v = \frac{r_o || R_C}{r_{\pi}}$$

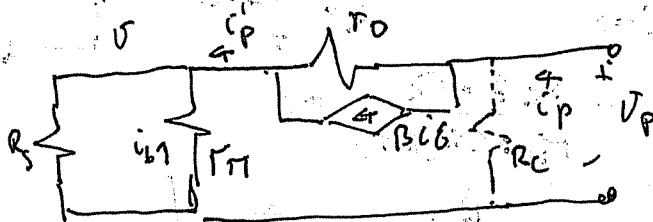
$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{v_i}{i_1 + i_2} = \frac{v_i}{\frac{v_i}{r_{\pi}} + \frac{A_v v_i}{R_C}} =$$

$$R_i = \frac{1}{\frac{1}{r_{\pi}} + \frac{(r_o || R_C) \beta}{r_{\pi} R_C}}$$

si $r_o \gg R_C \Rightarrow$

$$R_i = \frac{1}{\frac{1}{r_{\pi}} + \frac{\beta}{r_{\pi}}} = \frac{r_{\pi}}{\beta + 1}$$

2.3. Impedancia de salida con $R_s = 0$:



$$v \left[\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_{\pi}} + \frac{1}{r_o} \right] - \frac{1}{r_o} v_p + \beta \frac{v}{r_{\pi}} = 0$$

$$v \left[\frac{1}{R_s} + \frac{1}{r_{\pi}} + \frac{1}{r_{\pi} \beta} + \frac{1}{r_o} \right] = \frac{1}{r_o} v_p$$

$$v \left[\frac{1}{\frac{r_{\pi}}{\beta+1} || R_s || r_o} \right] = \frac{1}{r_o} v_p$$

$$\frac{v_p}{i_p} = \frac{v_p}{\beta i_b + \frac{v_p - v}{r_o}}$$

pero $v = i_p \cdot (R_s || r_{\pi})$
por tanto: $i_p' = \frac{\frac{r_{\pi}}{\beta+1} || R_s || r_o}{r_o \cdot (R_s || r_{\pi})} v_p = \frac{\frac{r_{\pi}}{\beta+1} || R_s}{(r_{\pi} || R_s) \cdot r_o} v_p$

por tanto:

$$\frac{v_p}{i_p} =$$

$$v_p$$

$$= R_o' =$$

$$\frac{(r_{\pi} || R_s) \cdot r_o}{\frac{r_{\pi}}{\beta+1} || R_s}$$

$$\frac{\frac{r_{\pi}}{\beta+1} || R_s}{(r_{\pi} || R_s) \cdot r_o} v_p$$

$$v_p$$

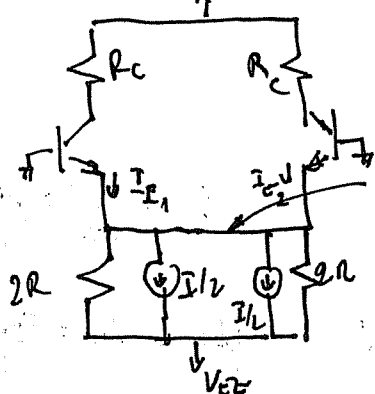
; si consideramos R_C :

$$R_o = R_o' || R_C$$

PROBLEMA 5.

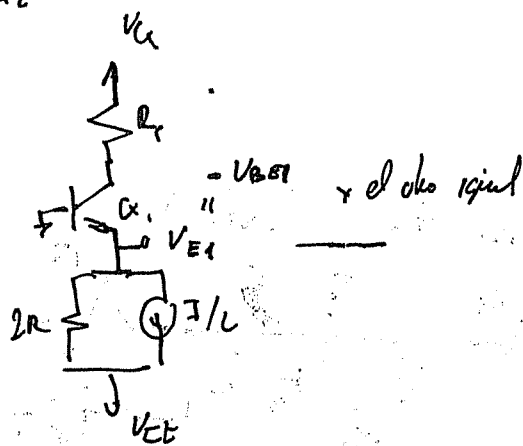
1.) EN AYUSTACIÓN DE ESTABIL. P.U. α_1 Y α_2

CIRCUITO SIMETRICO



$$I_{E1} = I_{E2}$$

aplicando superposición
de corrientes que viene
de los puntos horizontales
en cero.



Si R es muy grande

$$I_{C1} = I/2 + \frac{V_{BE1} - V_{CE}}{2R} \approx I/2$$

$$I_{EQ1} \approx I_{EC1} \approx I/2$$

$$V_{CE1} = (V_{CC} - R_C I/2) - V_{BE1}$$

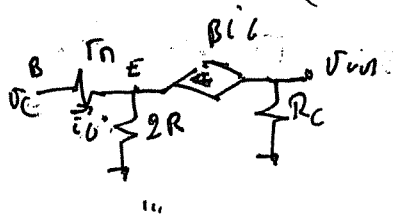
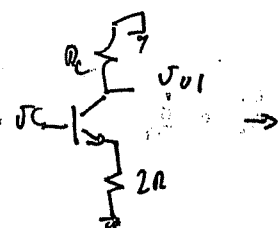
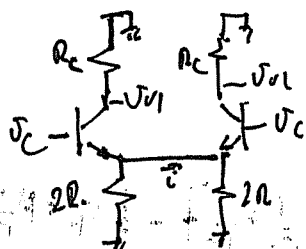
$$V_{CE1} = V_{CC} - R_C \frac{I}{2} + V_{BE1}$$

$$I_{CQ1} = I/2$$

2.), 3.) $V_{i1} = V_c + V_d/2$

$$V_{i2} = V_c - V_d/2$$

c.i.e. modo común:



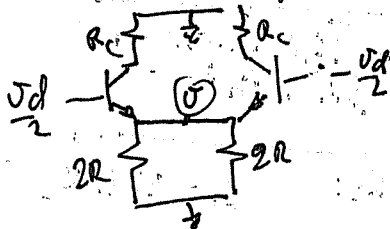
en modo común, aplicando superposición, $i=0$

$$V_{oc} = -R_C \beta i_b = -\frac{R_C \beta \cdot V_c}{r_n + 2R(\beta + 1)}$$

$$\frac{V_{oc}}{V_c} = A_c = -\frac{R_C}{r_n + 2R(\beta + 1)} \beta$$

$$Z_i = \frac{V_c}{i_c} = r_n + 2R(\beta + 1)$$

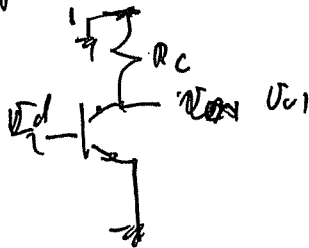
c.i.e. modo diferencial



Aplicando superposición, para V_c está en modo diferencial
 $V_c = 0$, por tanto, incrementa el nivel de V_c es max



pn tab, el c. i. equ. en modo diferencial.



↓
c.i.e.



$$v_{o1} = -R_c \beta i_b = - \frac{R_c \beta \times \frac{v_d}{2}}{r_n}$$

$$\frac{v_{o1}}{v_d} = A_d = - \frac{R_c \beta}{2 r_n}$$

$$\frac{v_d}{v_{id}} = 2 r_n$$

EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 4-FEBRERO DE 2009
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

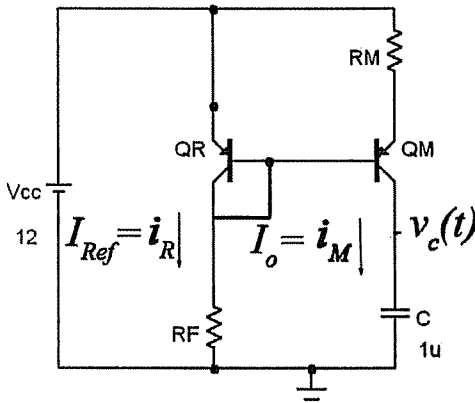
APELLIDOS Y NOMBRE:

RESOLUCION

8 + 8 + 11 = 27

2ª Parte .- PROBLEMAS

Problema 1.- Sea el circuito de la figura:



Se trata de una fuente de corriente Wilder implementada con transistores PNP. Los dos transistores son iguales y se encuentran a la misma temperatura.

La salida de colector de Q_M se utiliza para cargar una capacidad C , de 1 microfaradio, a corriente constante.

$V_{CC} = 12$ voltios. $V_T = 25$ mV . $\eta = 1$ $V_{EB,QR} = +0,7$ voltios

Nota: (¡Solamente la del transistor Q_R).

Se pide:

1º) (2 p.) Demostrar la expresión literal que relaciona I_o , I_{Ref} , V_T y R_M .

$$V_T \ln \left(\frac{I_{Ref}}{I_o} \right) = I_o R_M$$

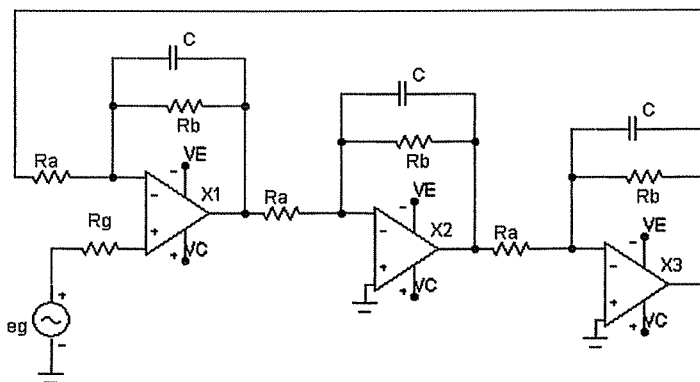
2º) (1 p.) Demostrar la expresión literal de I_{Ref} en función de V_{CC} , R_F y $V_{EB,QR}$

3º) (2 p.) Se desean diseñar los valores de R_M y R_F , para que a partir del momento que se conecta la alimentación (tensión inicial en la capacidad nula), la tensión v_c alcance los 5 voltios en 1 segundo.. Los valores de las resistencias no superarán los 47 kohm.

4º) (1 p.) Con los valores calculados, valor de V_{EB} del transistor Q_M .

5º) (2 p.) Si se coloca en terminales de la capacidad la sonda del osciloscopio, ($R = 1$ Megohm, $C = 30$ pf), explicar como se modifica el circuito, y cuanto tiempo le costaría ahora cargarse la capacidad a 5 voltios.

Problema 2.-



Sea el circuito de la figura.

Amplificadores operacionales ideales.

Se pide:

- 1) (2 p.) En ausencia de señal, encontrar la expresión literal de la función de transferencia de lazo abierto en función de s .
- 2) (2 p.) Para $s = j\omega$, encontrar la condición de fase y la condición de módulo para que el circuito en ausencia de señal oscile.
- 3) (1 p.) Si fijamos las

capacidades C a un valor de $0,1 \mu F$, calcular el valor de R_b , para que en su caso el circuito oscile a 1 KHz.

4) (1 p.) Calcular el valor de R_a , para que justamente la oscilación se mantenga.

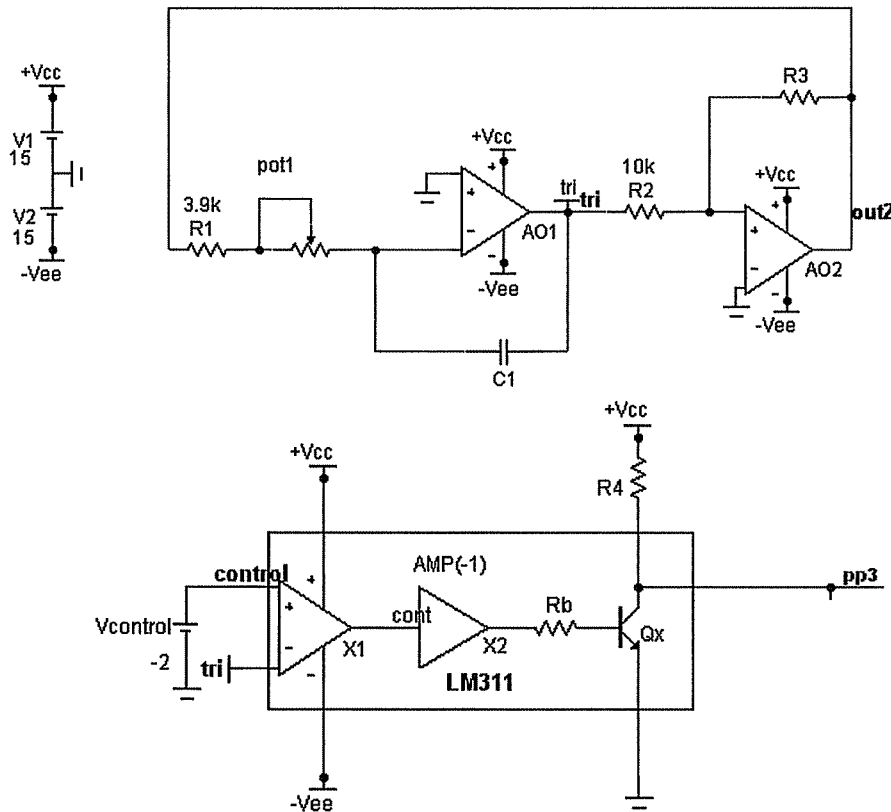
5) (2 p.) Para valores de R_a que hacen que el sistema sea estable, calcular la expresión de la función de transferencia en lazo cerrado.

EXAMEN DE ELECTRONICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 4-FEBRERO DE 2009
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE:

Problema 3.-

Sea el circuito de la figura:



Circuito generador de onda triangular y control PWM

El conjunto formado por AO1 y AO2, implementan un generador de señales triangular y cuadrada, cuya frecuencia la podemos controlar ajustando el potenciómetro pot1. El AO1 está funcionando como un integrador, y AO2 como un comparador con histéresis, cuya banda se puede ajustar en función de la relación $R2/R3$, y de las tensiones de saturación del AO2.

El LM311, es un C.I. comparador de elevado S.R., con salida de transistor en colector y emisor abierto. Un modelo simplificado es el de la figura. El valor de R_b es el adecuado para garantizar que Q_x esté en corte o saturación

Con la alimentación de ± 15 voltios, la triangular que deseamos obtener aproximadamente es de ± 10 voltios de pico (V_P). En la entrada no inversora del comparador se aplica una tensión de control, que puede estar comprendida entre el valor de $+V_P$ y $-V_P$, si deseamos que el control de $\delta = \frac{T_{ON}}{T}$ en función

de $V_{control}$, sea lineal.

La salida en colector de Q_x será la señal de control a aplicar. El A.O.1 y el A.O.2 están integrados en el mismo C.I., cuyas características mas importantes son:

$V_{OS} = 10$ mv (Tensión de desviación a la entrada.)

$I_{OS} = 25$ pA (Corriente de desviación a la entrada)

$I_{BIAS} = 50$ pA (Corriente de polarización de las entradas)

$A_{VOL} = 100$ v/mv = 100.000 (Ganancia en modo diferencial en lazo abierto en continua)

$I_{SC} = 10$ mA (Corriente máxima antes de entrar la protección contra sobre corriente)

$SR = 13$ v/ μ s

EXAMEN DE ELECTRÓNICA ANALÓGICA.- CONVOCATORIA 4-FEBRERO DE 2009
2º CURSO DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

APELLIDOS Y NOMBRE:

11

$f_t = 4 \text{ Mhz.}$ $V_{\text{sat positiva}} = +15 \text{ voltios}$ $V_{\text{sat negativa}} = -15 \text{ voltios}$ (Alimentación a +15/-15 v.)

SE PIDE:

1º) Explicar breve y concisamente el funcionamiento cualitativo del circuito. (2 puntos)

2º) Empleando alimentación simétrica de +/-15 v., y suponiendo alcanzado el régimen periódico:

- Valor de la resistencia R3, para que el comparador con histéresis bascule a una tensión en su entrada de aproximadamente + 10 voltios, y bascule a saturación negativa cuando la tensión de entrada descienda a -10 voltios. (1 punto)
- Expresión literal de la frecuencia, expresada en hercios, de la tensión en v(tri) en función de R1, Pot1, C1, R3, R2. (2 puntos)
- Con el valor numérico de resistencia R3 elegido en el apartado a), se desea escoger Pot1, de tal forma que la frecuencia de la tensión v(tri), pueda ajustarse aproximadamente entre 1Khz y 20 Khz. En el laboratorio se disponen de potenciómetros lineales de 500, 1K, 5k, 10k, 50k, 100k, 500k, 1Meg. Elegir el mas adecuado. (1 punto)
- ¿Aproximadamente, cuanto valdrá el valor eficaz de v(tri) (1 punto)
- ¿Cómo afectaría la tensión de desviación a la entrada del A.O.1 $V_{OS} = 10 \text{ mv}$, en la respuesta del circuito?

Afectaría a los valores de pico de la triangular? (1 punto)

Afectaría a la frecuencia de la triangular? (1 punto)

Justifique las respuestas

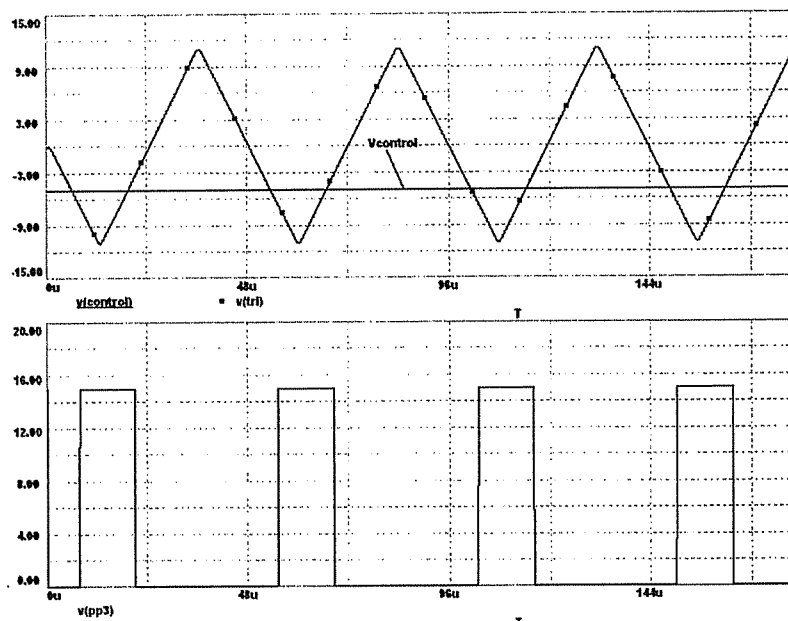
3º) Tal como se observa en la figura, la señal triangular se lleva a la entrada inversora de un comparador, aplicándose en la entrada no inversora una tensión continua V_{control} .

Cuando V_{control} es mayor que v_{tri} el transistor Q_X está a corte. En caso contrario está a saturación.

Llamando T_{ON} al intervalo en el que $v(\text{pp3})$ está a nivel alto, T_{OFF} al intervalo en el que $v(\text{pp3})$ está a nivel bajo, y siendo T el periodo de la triangular. Y llamando $\delta = T_{\text{ON}}/T$, se pide:

Demostrar que δ vale : $\delta = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V_{\text{control}}}{V_P} \right)$ (2 puntos)

siempre que V_{control} no sobrepase los valores de $+V_P$ ó $-V_P$ (V_P =valor de pico de la triangular).





PROBLEMA 1.-

Los dos transistores iguales y a la misma t^s : $I_{REF} \approx I_M \approx I_S$
 $\eta_1 = \eta_2 = \eta \approx 1$

1.)

$$V_{EBR} = I_0 R_M + V_{EBM}$$

$$\Rightarrow V_{EDR} - V_{EDM} = I_0 R_M$$

$$I_{REF} = I_S e^{\frac{V_{EDR}}{V_T}}$$

$$I_0 = I_S e^{\frac{V_{EDM}}{V_T}}$$

$$\Rightarrow \frac{I_{REF}}{I_0} = e^{\frac{V_{EDR} - V_{EDM}}{V_T}}$$

Tomando logaritmos neperianos: $\ln \frac{I_{REF}}{I_0} = \frac{V_{EDR} - V_{EDM}}{V_T}$

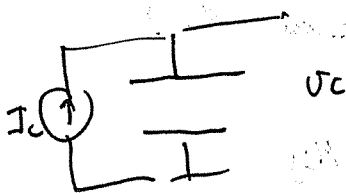
$$\Rightarrow V_T \ln \frac{I_{REF}}{I_0} = V_{EDR} - V_{EDM} = I_0 R_M$$

$$\boxed{V_T \ln \frac{I_{REF}}{I_0} = I_0 R_M} \quad \text{c. q. d.}$$

$$2.) : V_{CC} = V_{EBR} + R_F I_{REF}$$

$$\boxed{I_{REF} = \frac{V_{CC} - V_{EBR}}{R_F}} \quad \text{c. q. d.}$$

3.) a) Calculamos la corriente I_0 necesaria.



$$V_C(t) = \frac{1}{C} \int i dt + V_{C, inicial}$$

$$V_C(t) = \frac{1}{C} I_0 t + 0$$

$$t = \frac{V_C(t) \cdot C}{I_0}$$

Q) $t = 1 \mu s$, dados que $V_C(1 \mu s) = 5 V \Rightarrow$

$$I = \frac{5 \cdot C}{1 \mu s}$$

$$I_0 = 5 \cdot C = 5 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = \underline{\underline{5 \mu A}}$$

$$I_{REF} = \frac{12 - 0.7}{R_F} = \frac{11.3}{R_F} \rightarrow \text{Si hacemos } R_F = 4.7 \text{ K}\Omega$$

$$I_{REF} = \frac{11.3}{4.7 \text{ K}} = \underline{\underline{2.404 \text{ mA}}}$$

$$25 \times 10^{-3} \ln \left[\frac{I_{REF}}{I_U} \right] = I_U R_M$$

$$25 \times 10^{-3} \ln \left[\frac{2.404 \text{ mA}}{5 \mu\text{A}} \right] = 5 \mu\text{A} \times R_M$$

$$25 \times 10^{-3} \times 6.175 = 5 \times 10^{-6} R_M$$

$$R_M = 30.872 \Omega = \underline{\underline{30.87 \text{ K}\Omega}}$$

Una posible solución es:

$$R_F = 4.7 \text{ K}\Omega$$

$$R_M = 30.87 \text{ K}\Omega$$

$$I_{REF} = 2.404 \text{ mA}$$

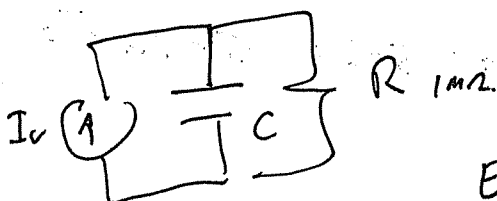
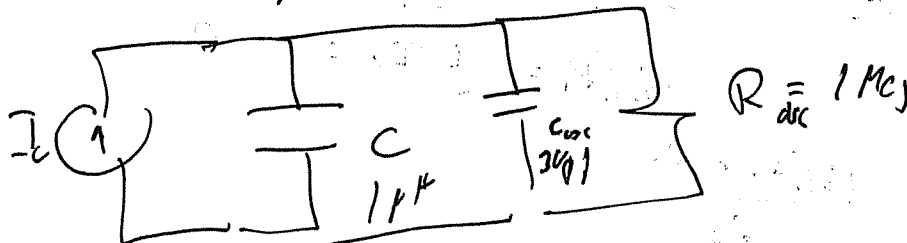
$$4.) V_{EB, REF} - V_{EB, U} = I_U \times R_M = 5 \times 10^{-6} \times 30.87 \times 10^3$$

$$V_{EB, REF} - V_{EB, U} = 0.1543$$

$$V_{EB, U} = 0.7 - 0.1543 = \boxed{0.545 \text{ volts}}$$

5.)

EL circuito equivalente queda: (I_U el mismo valor)



$$I_U \times R = 5 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^6 = 5 \text{ V}$$

para tanto cuando $t \rightarrow \infty$ $V_C \approx 5 \text{ V}$

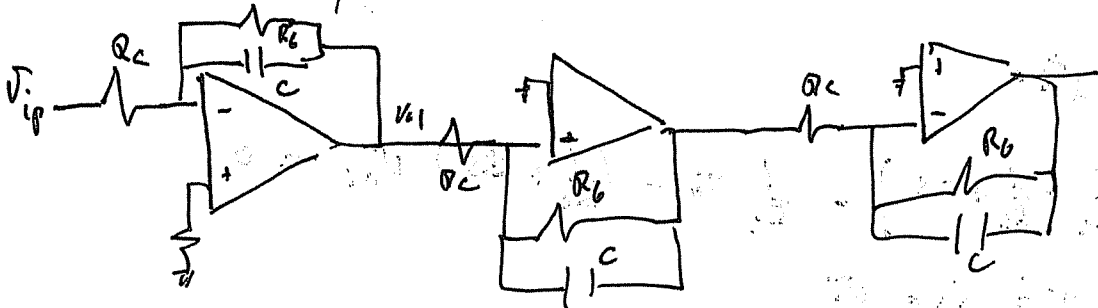
EL proceso de que se alcance la tensión de 5 voltios (tensión final), más el cabo de $5 \tau =$

$$5 \times RC = 5 \times 1 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^6 = \boxed{5 \text{ seg}}$$



PROBLEMA 2. -

1) Función de transferencia de lazo abierto:



$$\frac{V_{o1}}{V_{ip}} = - \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_b} + sC}}{R_c} = - \frac{1}{R_c} \cdot \frac{R_b}{1 + R_b C s} = - \frac{R_b}{R_c} \cdot \frac{1}{1 + R_b C s}$$

$$\frac{V_{op}}{V_{ip}} = - \left(\frac{R_b}{R_c} \right)^2 \cdot \frac{1}{(1 + R_b C s)^3}$$

$$\text{at } \omega = 0 \Rightarrow \frac{V_{o0}}{V_{ip}} = 1 \quad \text{at } \omega = \omega_{cu} \Rightarrow \frac{V_{op}}{V_{ip}} = 0 \quad \text{at } \omega_{cu} \Rightarrow R_b C \omega_{cu} = \sqrt{3}$$

condición de fase

$$R_b C \omega_{cu} = \sqrt{3}$$

$$\omega_{cu} = \frac{\sqrt{3}}{R_b C}$$

$$f_{cu} = \frac{\sqrt{3}}{2\pi R_b C}$$

$$\left| \frac{V_{op}}{V_{ip}} \right|_{\omega = \omega_{cu}} = \left(\frac{R_b}{R_c} \right)^2 \cdot \left| \frac{1}{1 + j\sqrt{3}} \right|^3 =$$

$$\left(\frac{R_b}{R_c} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1+3}} \right) = \left(\frac{R_b}{R_c} \right)^2 \cdot \frac{1}{2^3} \Rightarrow$$

$$\left(\frac{R_b}{R_c} \right)^2 \cdot \frac{1}{2^3} \geq 1 \quad \text{instable}$$

$$\frac{R_b}{R_c} > 2 \Rightarrow \text{instable}$$

$$R_b > 2 R_c \quad \text{instable}$$

$$R_b = 2 R_c \quad \text{límite.}$$

3) Si $C = 0.1 \mu F$

$\frac{\sqrt{3}}{20 R_6 C} = 1000 \Rightarrow$

$R_6 = \frac{\sqrt{3}}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 0.1 \cdot 10^{-6}} =$

$R_6 = 2756.64 \Omega \approx \underline{\underline{2.7 k}}$

4) $\underline{R_6} = 2 R_c \Rightarrow R_c = \frac{2.7 k}{2} = \underline{\underline{1.375 k}}$

5.6)

~~ET~~ = ~~RG~~

EM XI:

$V^- \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + CS \right) - \frac{1}{R_c} V_0 - \left(\frac{1}{R_c} + CS \right) V_{01} = 0$

$V^- = R_g = V_i$

~~ET~~ =

~~$V^- = R_g = V_i$~~

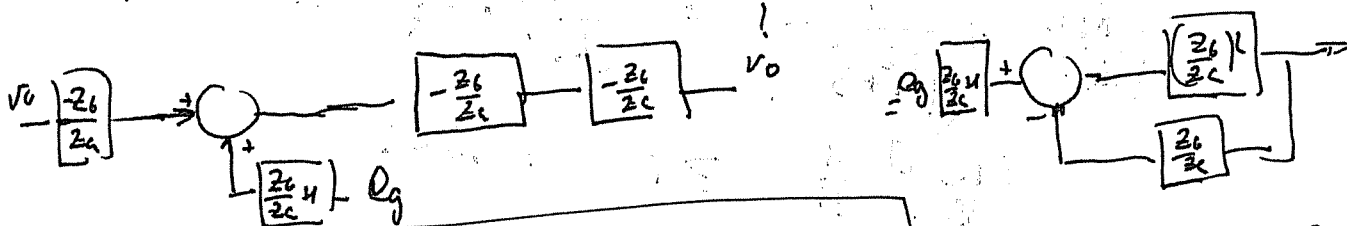
$V^- \left[R_6 CS + \left(\frac{R_6}{R_c} + 1 \right) \right] - \frac{R_6}{R_c} V_0 - \left[\frac{R_6}{R_c} + R_6 CS \right] V_{01} = 0$

$\frac{V_0}{V_{01}} = \left(\frac{R_6}{R_c} \right)^2 \cdot \frac{1}{(1 + R_6 CS)^2} \Rightarrow V_{01} = (1 + R_6 CS)^2 \cdot \left(\frac{R_c}{R_6} \right)^2 V_0$

$V_i \left[R_6 CS + \left(\frac{R_6}{R_c} + 1 \right) \right] - \frac{R_6}{R_c} V_0 - \left(\frac{R_6}{R_c} + R_6 CS \right) \left(\frac{R_c}{R_6} \right)^2 (1 + R_6 CS)^2 = 0$

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R_6 CS + \left(\frac{R_6}{R_c} + 1 \right)}{\frac{R_6}{R_c} + \left(\frac{R_6}{R_c} + R_6 CS \right) \left(\frac{R_c}{R_6} \right)^2 (1 + R_6 CS)^2}$$

otra forma: Si llamamos $Z_6 = R_6 \parallel \frac{1}{CS}$ y $Z_a = R_c$



$\Rightarrow \frac{V_0}{V_i} = \frac{\left(\frac{Z_6}{Z_a} \right)^2}{1 + \left(\frac{Z_6}{Z_c} \right)^2}$

$\frac{Z_6}{Z_c} = \frac{R_6 \cdot \frac{1}{CS}}{R_c \cdot \frac{1}{CS}} = \frac{1}{R_c} \cdot \frac{R_6}{1 + R_6 CS}$



PROBLEMA 3.

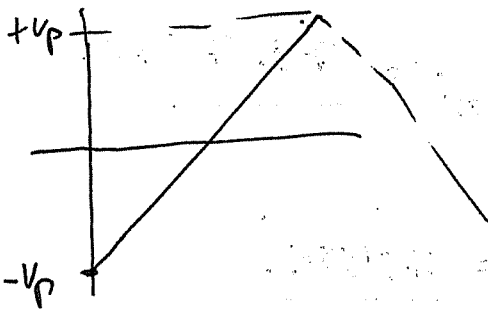
A01 es un integrador inversa.

A02 es un comparador con histéresis.

El comparador con histéresis basculará de $-V_{SAT}$ a $+V_{SAT}$ a una tensión V_{TH}

$$= + \frac{R_2}{R_1} V_{SAT} = \frac{10k}{R_1} \times 15$$

Si se desea que sea aproximadamente a $10V \Rightarrow R_2 = 15k$



$$\frac{-V_S - 0}{R_1 + R_{eq1}} = C \frac{d}{dt} (0 - V_{TH}(t))$$

$$\frac{V_S}{R_1 + R_{eq1}} = + C \frac{dV_{TH}}{dt}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{V_S}{R_1 + R_{eq1}} \left(t + V_{TH}(0) \right)$$

$$V_{TH}(t) =$$

$$\textcircled{a} t = T/2 \quad V_{TH}(+1/2) = +V_P \Rightarrow$$

$$2V_P = \frac{1}{C} \frac{V_S}{R_1 + R_{eq1}} \frac{T}{2} \Rightarrow$$

$$\text{donde } V_P = V_{SAT} \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{1}{T} = f = \frac{\frac{1}{4C} \times \frac{V_S}{V_P} \times \frac{1}{R_1 + R_{eq1}}}{1} = \frac{1}{4C} \times \frac{R_2}{R_1} \times \frac{1}{R_1 + R_{eq1}}$$

$$V_S = 15 \quad V_P = 10$$

$$f = \frac{1.5}{4C} \times \frac{1}{R_1 + R_{eq1}} \quad [1]$$

$$f_{max} \text{ @ } R_{eq1} = 0 \Rightarrow 20kHz =$$

$$20.000 =$$

$$\frac{1.5}{4C} \times \frac{1}{3.9k} \Rightarrow C \leq 4.7 \times 10^{-9} F$$

$$\Rightarrow C = \underline{4.7 nF}$$

Con $C = 4.7 \text{ nF}$ vamos ahora a calcular que resistencia tendríamos que colocar para que la frecuencia sea a ~~menos~~ bajar a 1 kHz

$$\text{Si } f = 20 \text{ kHz} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \underline{\underline{50 \mu\text{s}}}$$

de [1]

$$f \geq \frac{1.5}{4C} \cdot \frac{1}{R_1 + R_{pot}}$$

$$\underline{\underline{20 \text{ kHz}}} \geq \frac{1.5}{4 \times 4.7 \times 10^{-9}} \cdot \frac{1}{R_1 + R_{pot}} < 1 \text{ kHz}$$

$$R_1 + R_{pot} \geq \frac{1.5}{4 \times 4.7 \times 10^{-9} \times 1000} = \underline{\underline{79.787 \text{ k}}}$$

$$R_1 + R_{pot} \geq 79.787 \text{ k}$$

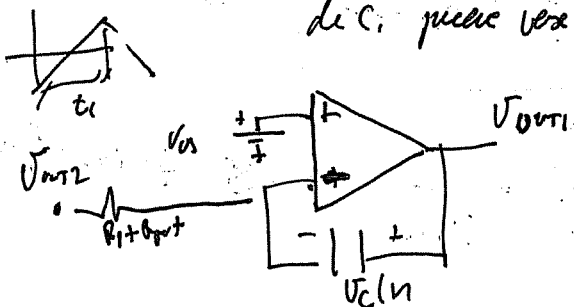
$$R_{pot} > 79.787 - 39 \text{ k} = \underline{\underline{40.787 \text{ k}}}$$

El potenciómetro más próximo a este valor, por ejemplo, es el de 100 k. La frecuencia mínima que podemos obtener es algo más baja. (fácilmente calculable).

d) $V_{ensat} = \frac{V_p}{V_3} = \frac{1 \text{ V}}{0.2} = 5.77 \text{ voltios}$

e) El valor de pico positivo y negativo, no se verán afectados.

ya que vale $\frac{R_2}{R_3} V_{SAT}$, sin embargo, el punto de carga y el tiempo de c. puede verse afectado:



En el instante $t=0$ V_{OUT} pasa de $+V_{SAT}$ a $-V_{SAT}$

$$V_{OUT} \text{ por tanto } V_{OUT} = -V_p \left(-\frac{R_2}{R_3} V_{SAT} \right)$$

$$V_{OUT} = V_C(t) + V = V_C(t) + V_{OS} = -V_p$$

$$V_C(0) = -V_p - V_{OS}$$

$$V_C(t) = V_{C0} + \frac{1}{C} \int i dt = (-V_p - V_{OS}) + \frac{1}{C} \cdot \left[\frac{V_{OS} - (-V_{SAT})}{R_1 + R_{pot}} \right] t$$

en $t = T_1$ $V_C(t_1) = +V_p$

$$V_p = -V_p - V_{OS} + \frac{1}{C} \left(\frac{V_{OS} + V_{SAT}}{R_1 + R_{pot}} \right) t_1$$

$$2V_p + V_{OS} = \frac{1}{C} \frac{V_{OS} + V_{SAT}}{R_1 + R_{pot}} t_1$$



$$\Rightarrow t_1 = \frac{(2V_p + v_{os}) C}{V_{os} + v_{SAT}} \approx R_1 + R_{v_p} +$$

Como $v_{os} \ll V_{SAT}$ en del orden de milivoltios,

$$2V_p + v_{os} \approx 2V_p$$

$$v_{os} + v_{SAT} \approx V_{SAT}$$

$$\Rightarrow t_1 \approx \frac{2V_p}{V_{SAT}} C \approx R_1 + R_{v_p} +$$

el mismo valor que el encontrado antes.
por tanto, el efecto se puede considerar despreciable.

