

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA UNIVERSITARIA
DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL
DE MADRID

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA
APLICADA E INGENIERÍA DE
SISTEMAS**

65 Problemas de Electrónica Analógica

*Unidad docente de Electrónica
y Automática*

Carlos Platero

1. AMPLIFICADORES



1. AMPLIFICADORES

Problema 1.1

Para el circuito de la figura calcular:

A. Polarización

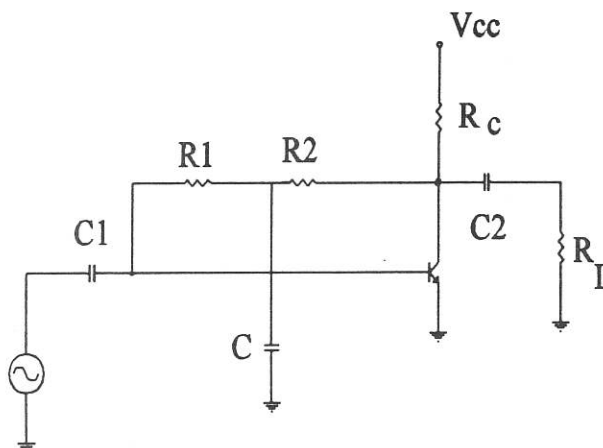
- a.1. Punto de reposo
- a.2. Recta de carga

B. Amplificador en frecuencias medias

- b.1. Impedancia de entrada
- b.2. Impedancia de salida
- b.3. Ganancia de corriente
- b.4. Ganancia de tensión
- b.5. Ganancia de potencia

C. Respuesta de frecuencia

- c.1. Ancho de banda del amplificador
- c.2. Diagrama de Bode



DATOS

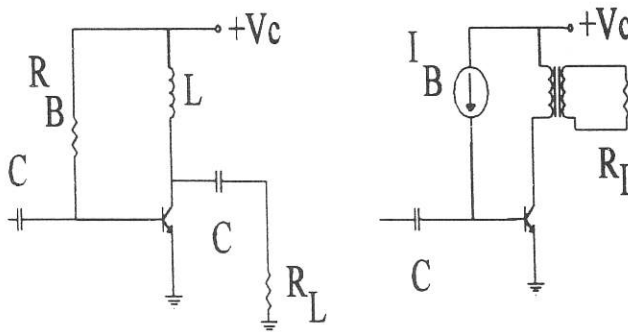
$R_1 = R_2 = 500 \text{ k}\Omega$; $R_C = R_L = 10 \text{ k}\Omega$; $C_2 = 1 \mu\text{F}$; $C_1 = C = \infty$; $C_{cc} = 100 \text{ pF}$
 $h_{fe} = 100$; $h_{re} = 0$; $h_{ie} = 1800 \Omega$; $h_{oe} = 2 \mu\text{A/V}$; $V_{cc} = 10 \text{ V}$

Problema 1.2

Representar las rectas de carga en continua y en alterna de los circuitos representados en la figura

NOTA.

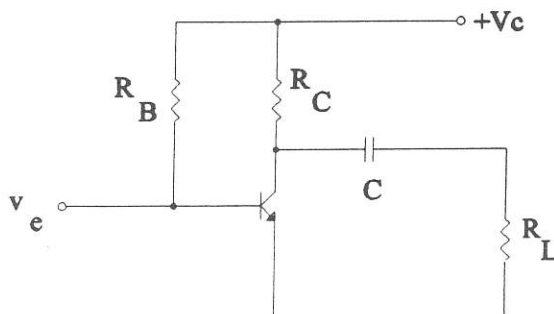
Considérese la L de valor muy elevado y el transformador ideal con relación de espiras 1:1



Problema 1.3

Para el siguiente amplificador, calcular:

- Punto de reposo
- Recta de carga en continua y dinámica
- Ganancia de tensión a frecuencias medias
- Frecuencia de corte inferior

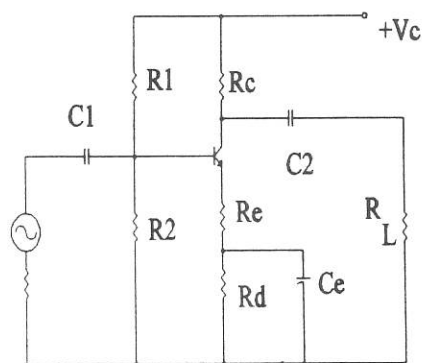
**Datos**

$\beta_0=100$, $V_C=10V$, $V_{BEON}\approx 0V$, $V_T=25mV$, $R_B=250k\Omega$, $R_C=1k\Omega$, $R_L=100\Omega$, $C=10/2\pi \mu F$.

Problema 1.4

En la etapa amplificador representada en la figura, no se ha desacoplado totalmente la resistencia de emisor. En la citada etapa calcular:

- Ganancia de tensión a frecuencias medias
- Ganancia de intensidad a frecuencias medias
- Impedancia de entrada
- Impedancia de salida
- Ventajas e inconvenientes de haber desacoplado parcialmente R_E .

**Datos:**

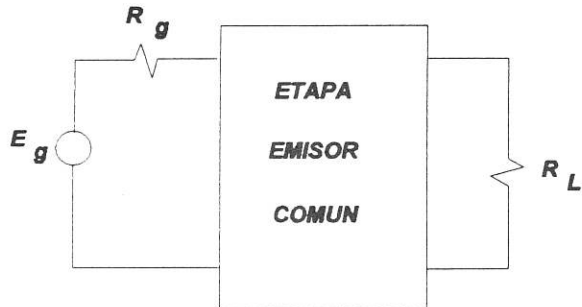
$R_C=4k\Omega$; $R_L=4k\Omega$; $R_E=0.5k\Omega$; $R_d=1k\Omega$; $R_1=R_2=\infty$;
 $h_{re}=h_{oe}=0$; $h_{ie}=1k\Omega$; $h_{fe}=50$;



Problema 1.5

La señal procedente de un sensor, cuyo circuito equivalente se representa en la figura, se desea amplificar para alimentar a una carga variable entre $4\text{ k}\Omega$ y $8\text{ k}\Omega$, con ganancia fija e igual a -50 . Para ello se ha diseñado una etapa en emisor común, con la resistencia de colector variable, al objeto de compensar las variaciones de carga. Para la citada etapa amplificadora, determinar:

- Valores máximos y mínimos de la resistencia de colector.
- Impedancia de entrada a frecuencias medias.
- Impedancia de salida a frecuencias medias.
- Frecuencia de corte inferior y superior
- Diagrama de Bode



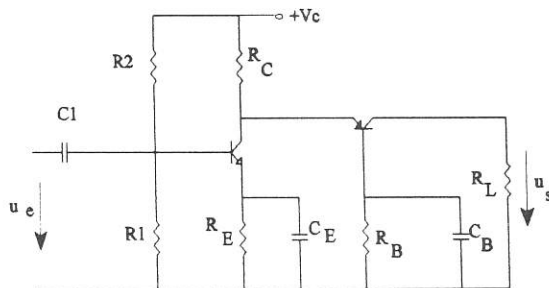
DATOS:

$h_{ie} = 1\text{ k}\Omega$; $h_{fe} = 50$; $h_{oe} = h_{re} = 0$; $R_1 = R_2 = \infty$; $C_1 = 1\text{ }\mu\text{F}$; $C_2 = 10\text{ }\mu\text{F}$;
 $C_E = \infty$; $C_{ce} = 100\text{ pF}$; $4\text{ k}\Omega < R_L < 8\text{ k}\Omega$

Problema 1.6

Para el circuito de la figura se pide calcular:

- Ganancia total de intensidad
- Ganancia total de tensión
- Ancho de banda
- Impedancia de entrada
- Impedancia de salida
- Diagrama de bode de ganancias



DATOS:

Transistor T1: $h_{ie} = 1\text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 50$, $h_{re} = h_{oe} = 0$, $C_{CE} = 100/\pi\text{ }\mu\text{F}$

Transistor T2: $h_{ib} = 20\text{ }\Omega$, $h_{fb} = -0.998$, $h_{rb} = h_{ob} = 0$, $C_T = 100/\pi\text{ pF}$

$R_1 = 4\text{ k}\Omega$ $R_2 = 12\text{ k}\Omega$ $R_C = 3\text{ k}\Omega$ $R_L = 2\text{ k}\Omega$ $C_E = C_B = \infty$, $C_1 = 10/1.5\pi\text{ }\mu\text{F}$



Problema 1.7

En el diagrama de la figura, el bloque A es una etapa amplificadora de colector común (CC) de las siguientes características:

$$A_v = \frac{(60R_L)}{(1+R_L)R_E}; \quad R_E = 2 + \frac{60R_L}{1+R_L} \quad [k\Omega]$$

$$f_{cs} = \frac{18(1+31R_L)}{R_L} 10^4 [Hz]; \quad R_L \text{ y } R_E \text{ expresados en } [k\Omega]$$

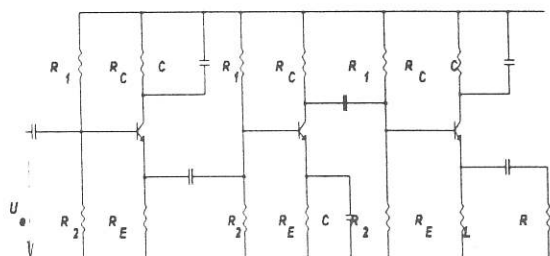
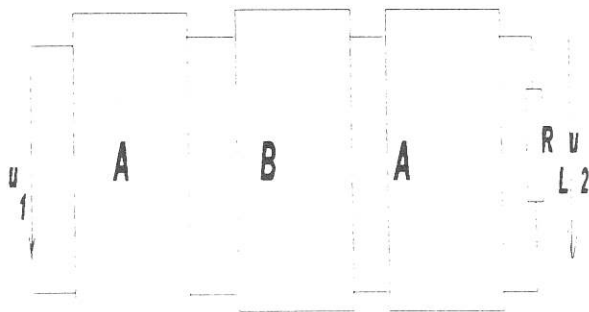
El bloque B es una etapa en emisor común (EC), y el bloque C es igual al bloque

A. Se pide:

- 1.- Ganancia de tensión del amplificador formado por las tres etapas en cascada a frecuencias medias.
- 2.- Impedancia de entrada del amplificador a frecuencias medias.
- 3.- Ancho de banda
- 4.- Si al amplificador se le hace una realimentación negativa de 20 dB, calcular los nuevos valores de la ganancia de tensión, impedancia de entrada y ancho de banda

Datos:

$$R_1 = R_2 = \infty [k\Omega]; R_c = 4 [k\Omega]; R_L = 9 [k\Omega]; R_E = 1 [k\Omega]; h_{fe} = 35; h_{ie} = 2 [k\Omega]; h_{oe} = h_{re} \approx 0; C_{ce} = 75/(56\pi) [pF]$$

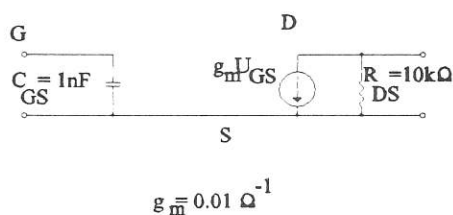
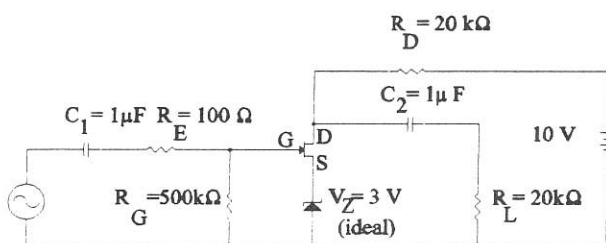


Problema 1.8

En el amplificador de la figura 1, el FET tiene el circuito equivalente mostrado en la figura

2. Se pide calcular:

- 1.- Impedancia de entrada y salida a frecuencias medias
- 2.- Ganancia de tensión y corriente a frecuencias medias
- 3.- Ancho de banda del amplificador

**Problema 1.9**

El esquema del amplificador de pequeña señal formado por un transistor de efecto de campo, modelizado según figura, está representado en el esquema adjunto. Calcular:

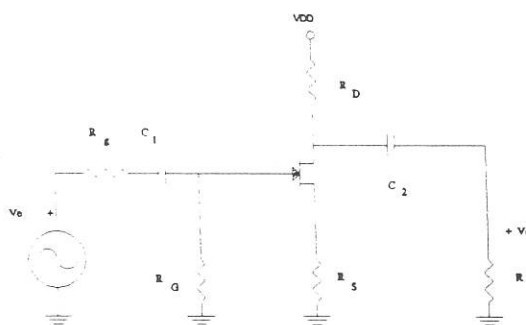
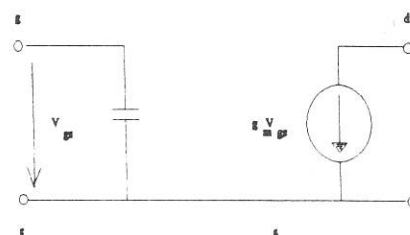
- a) Ganancia de tensión a frecuencia media.
- b) Calcular la frecuencia de corte superior.

Datos:

$$R_g = R_D = R_L = 4 \text{ k}\Omega; R_G = 1 \text{ M}\Omega$$

$$R_S = 200 \Omega; C_1 = C_2 = \infty;$$

$$g_m = 5 \text{ mA/V}; C_{gs} = 65 \text{ pF}$$





**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE MADRID**

ESCUELA UNIVERSITARIA
DE INGENIERIA TECNICA
INDUSTRIAL

1.º APELLIDO

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

2.º APELLIDO

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

NOMBRE

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ESPECIALIDAD

ASIGNATURA

CURSO

GRUPO

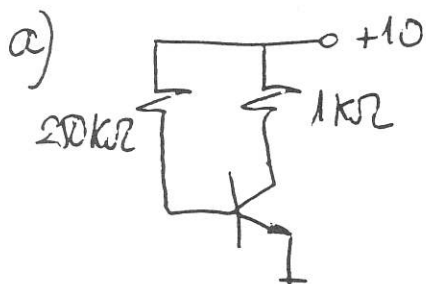
FECHA

Nº DE MATRICULA

--	--	--	--	--	--

CALIFICACION

PROBLEMA 1.3



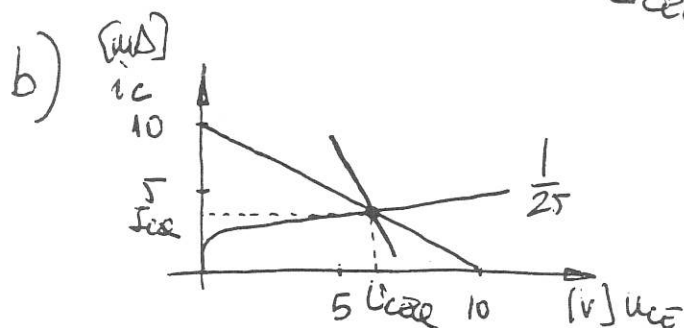
$$U_C = I_{CE} R_C + U_{CEQ}$$

$$U_C = I_{BE} R_B + U_{BEQ}$$

$$I_{BE} = \frac{10}{250} = \frac{1}{25} [\mu A]$$

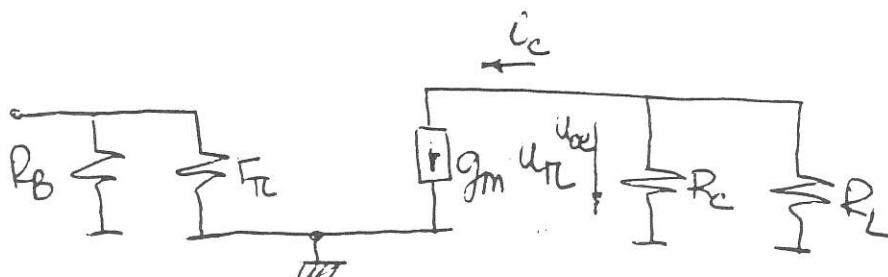
$$I_{CE} = \beta I_{BE} = \frac{100}{25} = 4 [\mu A]$$

$$U_{CEQ} = 10 - 4 \cdot 1 = 6 [V]$$



$$U_{CEmax} = 10 [V]$$

$$I_{Cmax} = \frac{10}{1} = 10 [\mu A]$$



$$i_C = -\frac{1}{R_C // R_L} \cdot u_{CE}$$

c)

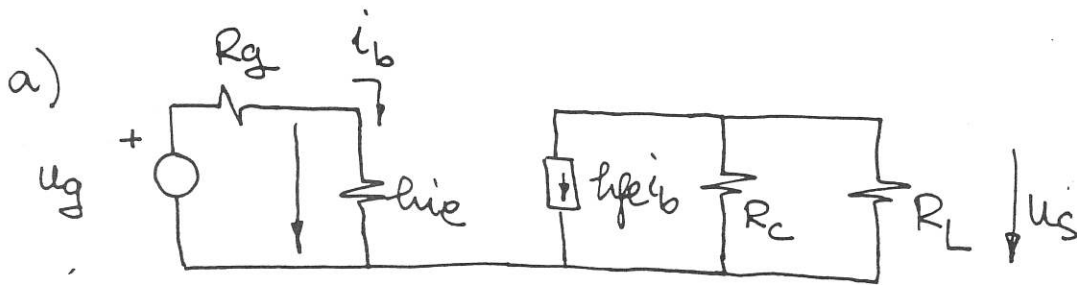
$$g_m = \frac{I_{CE}}{V_T} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} = 0.16 \Rightarrow \beta_o = g_m \cdot r_\pi, r_\pi = \frac{100 \cdot 25}{4} = 625 \Omega$$

$$A_v = \frac{u_s}{u_{ce}} = -\frac{g_m \cdot u_{be} \cdot R_C // R_L}{u_{be}} \approx -g_m \cdot R_L = -16$$

d)

$$f_{ci} = \frac{1}{2\pi C(R_S + R_L)} = \frac{1}{2\pi \cdot \frac{10}{2\pi} \cdot 10^{-6} (1 + 0.1) \cdot 10^3} \approx 100 [Hz]$$

PROBLEMA 1.5



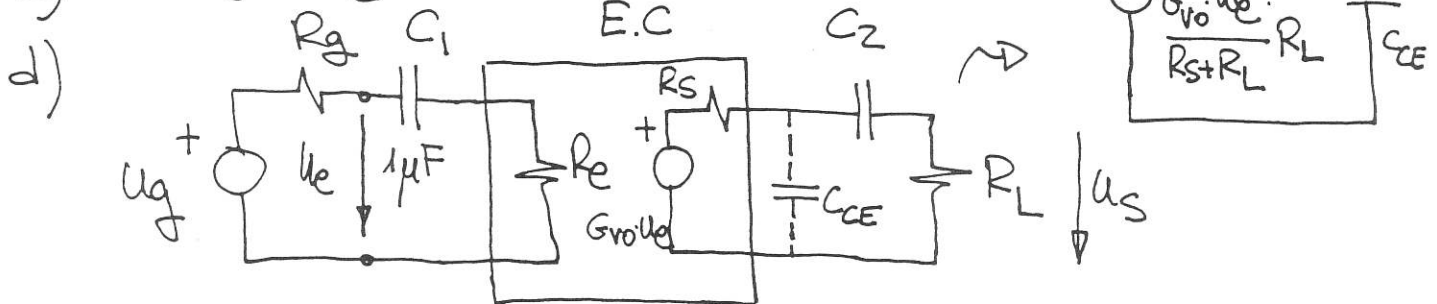
$$A_v = \frac{u_s}{u_e} = - \frac{h_{fe} \cdot i_b \cdot R_c // R_L}{i_b \cdot h_{ie}} = - \frac{h_{fe} R_c // R_L}{h_{ie}} ; R_c // R_L = - \frac{h_{ie} A_v}{h_{fe}}$$

$$R_L = 4k\Omega \rightarrow R_c // 4k\Omega = 1[k\Omega] \rightarrow R_{cmax} = 4/3[k\Omega] = 1.33$$

$$R_L = 8k\Omega \rightarrow R_c // 8k\Omega = 1[k\Omega] \rightarrow R_{cmin} = 8/7[k\Omega] = 1.14$$

b) $R_e = 1[k\Omega]$

c) $R_s = R_c$



Para bajas frecuencias

$$A_v = \frac{u_s}{u_e} = A_{v0} \cdot \frac{R_e}{R_e + \frac{1}{j\omega C_1}} \cdot \frac{R_L}{R_s + R_L + \frac{1}{j\omega C_2}} =$$

$$A_v = A_{v0} \cdot \frac{j\omega C_1 \cdot R_e}{1 + j\omega C_1 R_e} \cdot \frac{j\omega R_L C_2}{1 + j\omega C_2 (R_s + R_L)}$$

$$f_{P1} = \frac{1}{2\pi C_1 R_e} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-6} \cdot 10^3} = 159.15 [Hz]$$

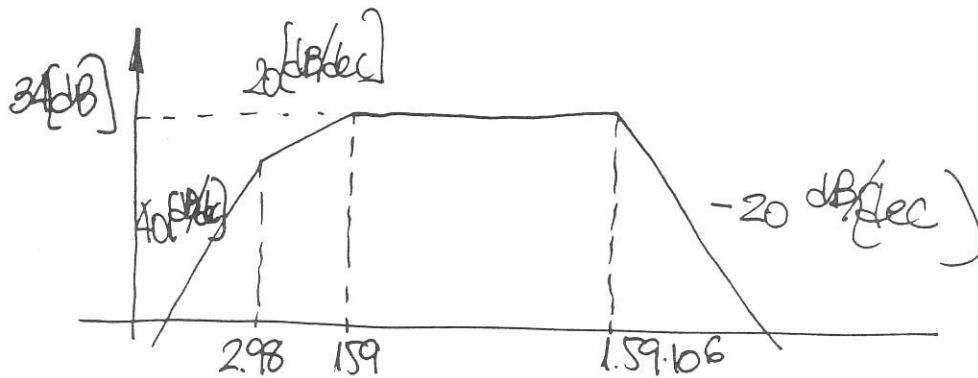
$$f_{P2} = \frac{1}{2\pi C_2 (R_s + R_L)} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-5} \cdot 10^3 \cdot 1.33} = 2.98 [Hz]$$

$$A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_S} \cdot \frac{j\omega C_{CE}}{R_S // R_C + \frac{1}{j\omega C_{CE}}}$$

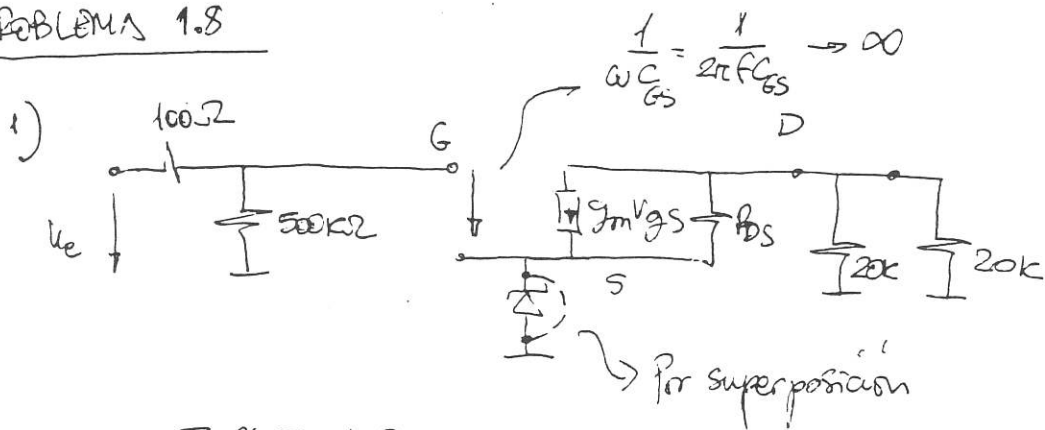
$$A_v = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_S} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_{CE} R_S // R_C}$$

$$f_{P_2} = \frac{1}{2\pi C_{CE} R_S // R_C} = 1.59 \text{ kHz}$$

e)

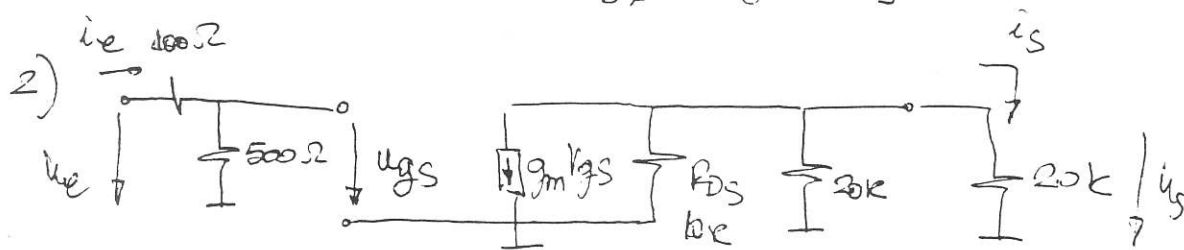


PROBLEMAS 1.8



$$Z_e \approx 500k\Omega$$

$$Z_S = 10k\Omega // 20k\Omega = \frac{200}{3} = \frac{20}{3} (k\Omega)$$

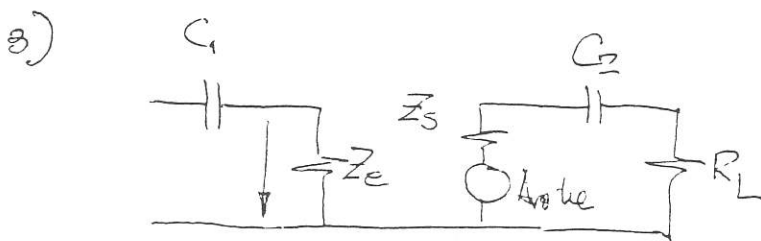


$$u_s = -g_m v_{GS} \cdot R_{DS} // R_D // R_L$$

$$u_e = u_e \frac{0.1}{500+0.1} + u_{GS} \Rightarrow u_e \left(1 - \frac{0.1}{500+0.1}\right) = u_{GS} ; u_e \approx u_{GS}$$

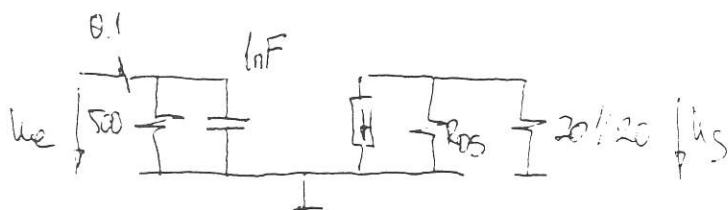
$$A_v = -g_m R_{DS} // R_D // R_L = -10^{-2} (S^{-1}) \cdot 5 \cdot 10^3 [\Omega] = -50$$

$$A_I = \frac{u_s/R_L}{u_e/Z_e} = A_v \frac{Z_e}{R_L} = -50 \cdot \frac{500}{200} = -25 \cdot 50 = -1250$$



$$f_1 = \frac{1}{2\pi C_1 Z_e} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^3} = 0.318 \text{ kHz}$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi C_2 (R_L + Z_S)} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-6} \cdot \frac{80}{3} \cdot 10^3} = 6 \text{ kHz}$$



$$u_s = -g_m v_{GS} R_{DS} // R_D // R_L$$

$$u_{GS} = \frac{u_e}{0.1 + 500 // \frac{1}{j\omega C_{GS}}}$$

$$u_{GS} \Rightarrow R_e // \frac{1}{j\omega C_{GS}} = \frac{R_G}{1 + j\omega C_{GS} R_G} \rightarrow u_{GS} = \frac{u_e}{R_E + \frac{R_G}{1 + j\omega C_{GS} R_G}} = u_e \frac{R_G}{R_E (1 + j\omega C_{GS} R_G) + R_G}$$

$$u_{GS} = u_e \frac{R_G}{R_E + R_G} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_{GS} R_G // R_E} ; A_v \approx \frac{-g_m R_{DS} // R_D // R_L}{1 + j\omega C_{GS} R_E}$$

2. AMPLIFICADORES DE POTENCIA



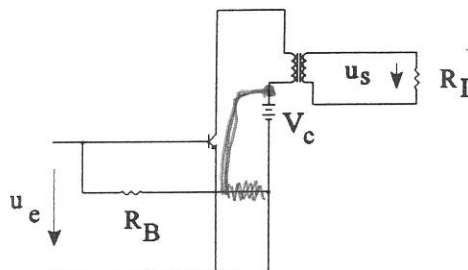


2. AMPLIFICADORES DE POTENCIA

Problema 2.1

En el amplificador de potencia de la figura se quiere conseguir la máxima potencia en la carga R_L con gobierno simétrico. Se pide:

- 1.-Dibujar las rectas de carga en continua y de alterna del amplificador, determinando las coordenadas del punto de funcionamiento, Q.
- 2.-Tensión necesaria de batería, U_C
- 3.-Potencia alterna en la carga
- 4.-Potencia continua suministrada por la batería
- 5.-Rendimiento de amplificador
- 6.-Ganancia de corriente del amplificador
- 7.-Ganancia de potencia del amplificador
- 8.-Si la máxima tensión admitida en el transistor es de 20V. ¿Qué habría que hacer para tener máxima potencia y gobierno simétrico en el amplificador con la carga R_L ?



DATOS:

- Máxima potencia disipada en el BJT 6W
- Resistencia del primario, $R_p = 4\Omega$
- Resistencia del secundario, $R_s = 1\Omega$
- Relación de transformación, $n = (U_p/U_s) = 2$
- $U_{BE} \approx 0$; $R_L = 4\Omega$; $R_B = 2.8\text{ k}\Omega$; $h_{ie} = 30\Omega$

Problema 2.2

Demostrar que la potencia entregada a una carga por un amplificador de transferencia dinámica no lineal es:

$$P = (1 + D_T^2) P_A$$

siendo D_T la distorsión armónica y P_A la potencia entregada por el armónico fundamental.



Problema 2.3

Calcular el valor mínimo de R_L si la potencia máxima instantánea admisible por los transistores no puede superar los 5 W.

Problema 2.4

En la figura se representa un amplificador de potencia, cuyos elementos pueden considerarse ideales. Se pide:

a) Calcular los valores de R para que el amplificador no presente recorte en la senoide de salida.

b) ¿Cuanto vale la máxima potencia que se puede obtener en las condiciones del apartado anterior?

c) ¿Cuanto vale la potencia disipada en uno de los transistores en este último caso?

NOTA: Todas las potencias a las que se hacen mención son potencias medias en un ciclo.

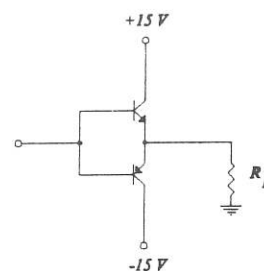
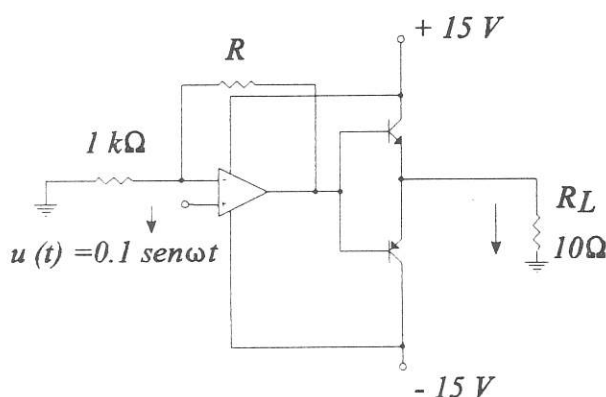
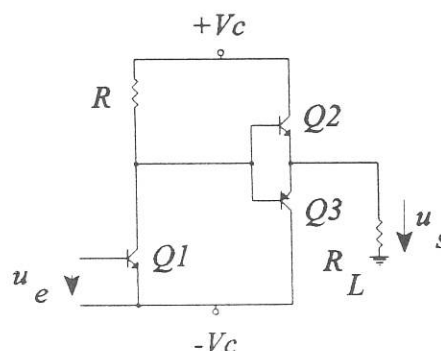


Figura 3

**Problema 2.5**

El circuito de la figura ilustra, de forma simplificada, la etapa de potencia del Amplificador Operacional 709. El diseño está basado en una etapa complementaria, y que es construida con la condición de tener el potencial V_1 a cero en reposo. Si se tiene una alimentación simétrica de 15 V y para todos los transistores $V_{CE(sat)} = 0.2V$, $V_{BE(on)} = 0.7V$, $\beta = 50$, y $R = 20k\Omega$.



a) Punto de reposo de Q1, Q2 y Q3.

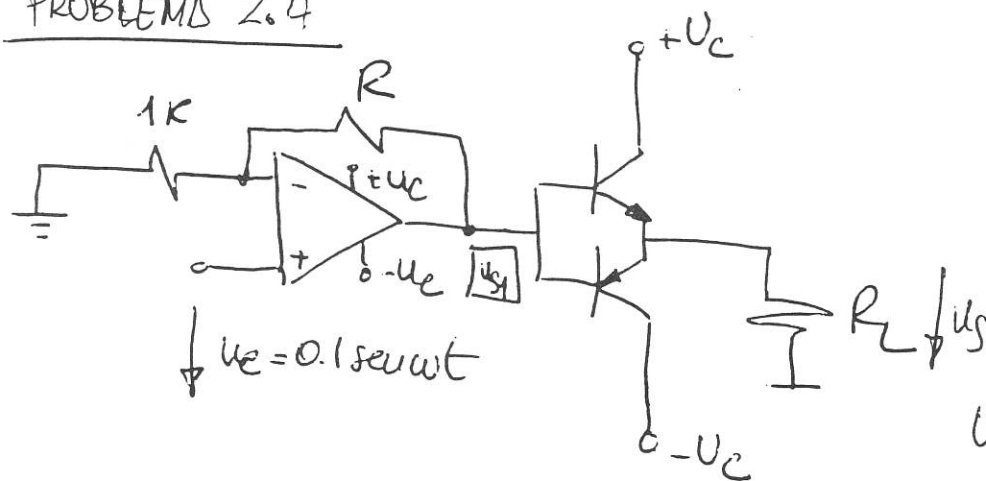
b) Calcular el máximo positivo y negativo de V_s para una carga $R_L = 10K\Omega$.

c) Calcular la potencia absorbida por la carga, la disipada por los transistores y el rendimiento de la etapa de salida, sin considerar Q1.



PROBLEM 2.4

a)



$$u_{smax} = \pm u_c$$

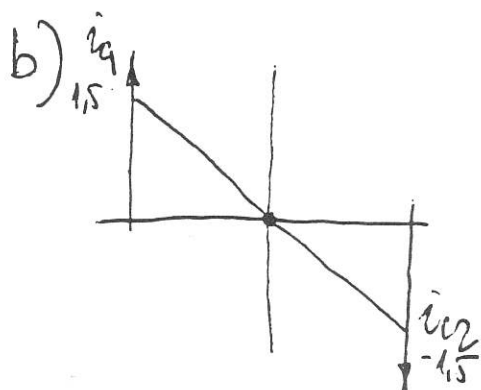
$$\text{Si } u_{BEon} \approx 0 \text{ V}$$

$$u_{smax} \approx u_{cmax}$$

$$u_{smax} = \left(1 + \frac{R}{1}\right) u_{cmax}$$

$$15 = \left(1 + \frac{R}{1}\right) 0.1$$

$$R \leq 149 \text{ k}\Omega$$



$$P_{max} = \left(\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}\right)^2 R_L = \left(\frac{15}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot 10 = 11.25 \text{ W}$$

$$c) \quad P_{BJTmax} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (u_c - i_c R_L) i_c dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (15 - 15 \sin \omega t \cdot 10) 15 \sin \omega t dt$$

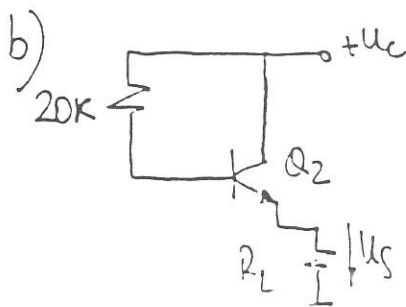
$$P_{BJTmax} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi 15 (1 - \sin \omega t) \cdot 15 \sin \omega t dt = \frac{225}{2\pi} \int_0^\pi (\sin \omega t - \sin^2 \omega t) d\omega t$$

$$P_{BJTmax} = \frac{11.25}{\pi} \left[\int_0^\pi (\sin \omega t - \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}) d\omega t \right] = \frac{11.25}{\pi} \left[-\cos \omega t - \frac{1}{2} \omega t + \frac{\sin 2\omega t}{4} \right]_0^\pi =$$

$$= \frac{11.25}{\pi} \left[2 - \frac{\pi}{2} \right] = 1.54 \text{ W}$$

PROBLEMA 2.5

a) $I_{CQ} = \frac{U_C}{R} = \frac{15V}{20k\Omega} = 0.75 [mA] \rightarrow Q_1 (0.75 mA, 15)$
 $Q_2 (0, 15V) \quad Q_3 (0, -15V)$

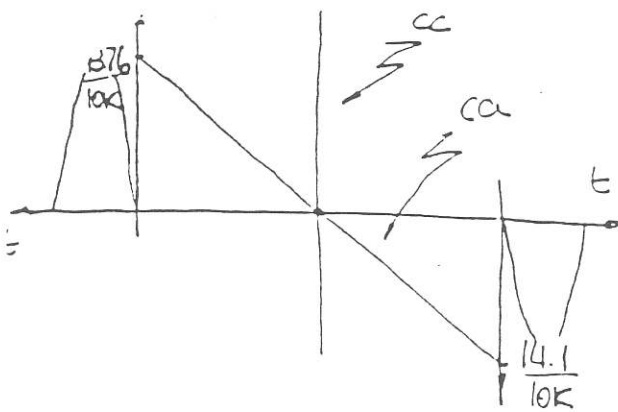
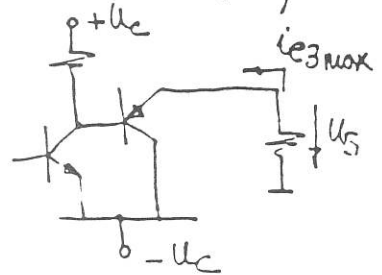


$$U_C = 20 i_{B2max} + V_{BE2} + (1+\beta) i_{B2max} R_L \Rightarrow i_{B2max} = \frac{15-0.7}{20+(1+50)10} = 0.0269$$

$$U_{S+} = (1+\beta) i_{B2max} \cdot R_L = 13.76 [V]$$

$$U_{S-} = U_{EB3} + U_{CE(SAT)} - U_C$$

$$U_{S-} = 0.7 - 0.2 - 15 = -14.1 [V]$$



$$P_{RL} = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{13.76}{\sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{14.1}{\sqrt{2}} \right)^2 \right) \cdot 10 = 9.76 [mW]$$

$$P_{CC} = U_C \frac{I_{C1}}{\pi} + U_C \frac{I_{C2}}{\pi} = \frac{U_C}{\pi} (I_{C1} + I_{C2})$$

$$P_{CC} = \frac{15}{\pi} (1.376 + 1.41) = 13.3 [mW]$$

$$P_{BST} = -P_{RL} + P_{CC} = 3.54 [mW]$$

$$\eta = 0.733 \approx 73.37$$

3. AMPLIFICADORES REALIMENTADOS



3. AMPLIFICADORES REALIMENTADOS

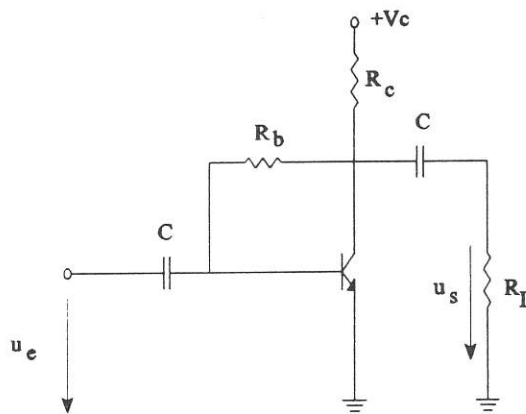
Problema 3.1

En el amplificador de la figura, se quiere calcular a frecuencias medias:

- Tipo de realimentación.
- Ganancia del amplificador básico, cargado con la red β .
- Función de transferencia de la red β .
- Ganancia de tensión del amplificador realimentado (v_s/v_e)

Datos

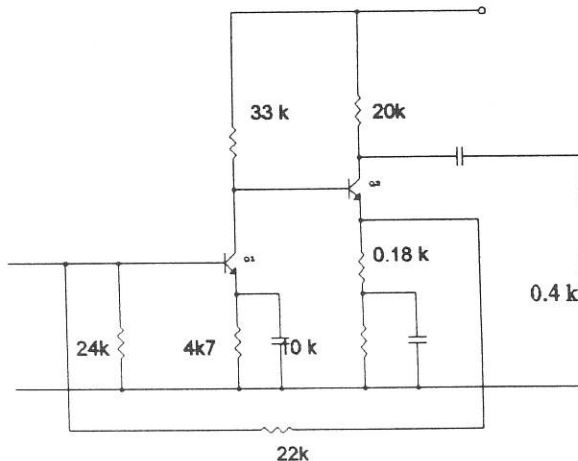
$h_{ie}=1\text{k}\Omega$, $h_{fe}=100$, $h_{re}=0$, $h_{oe}=0$, $R_b=200\text{k}\Omega$,
 $R_c=10\text{k}\Omega$, $R_L=1\text{k}\Omega$



Problema 3.2

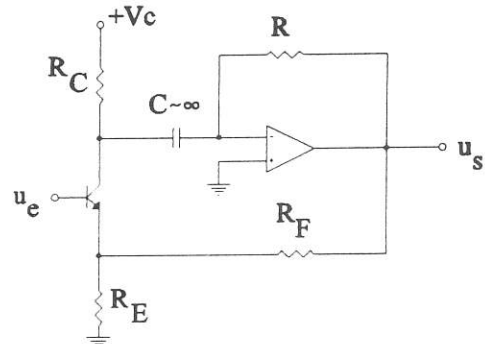
El esquema correspondiente es utilizado como preamplificador para un servoamplificador. En el amplificador de dos etapas de la figura, suponer $h_{ie1}=1300\Omega$, $h_{ie2}=1000\Omega$ y cada transistor tiene una $h_{fe}=50$. Calcular:

- Tipo de realimentación
- Ganancia del amplificador básico, cargado con la red β
- El coeficiente de realimentación β
- Ganancia de intensidad del amplificador realimentado.
- Impedancia de entrada



Problema 3.3

El circuito de la figura es un amplificador donde se supone el operacional ideal y los parámetros del transistor son h_{ie} , h_{fe} y $h_{re} = h_{oe} = 0$.



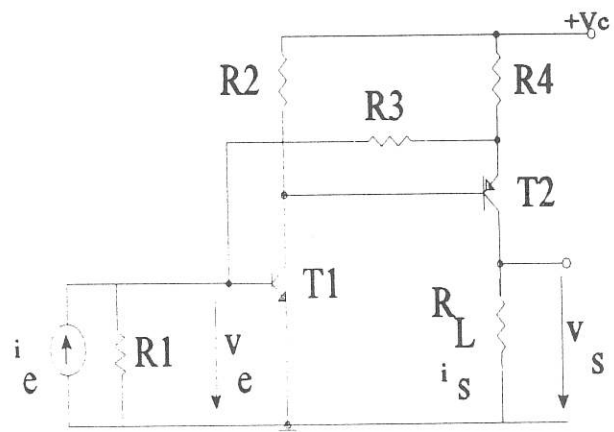
- Tipo de realimentación
- Ganancia del amplificador básico cargado con la red de realimentación.
- El valor de β
- Ganancia del amplificador realimentado
- Impedancia de entrada y salida del amplificador realimentado

Problema 3.4

- Tipo de realimentación
- Ganancia del amplificador básico
- Ganancia de tensión del amplificador realimentado

Datos

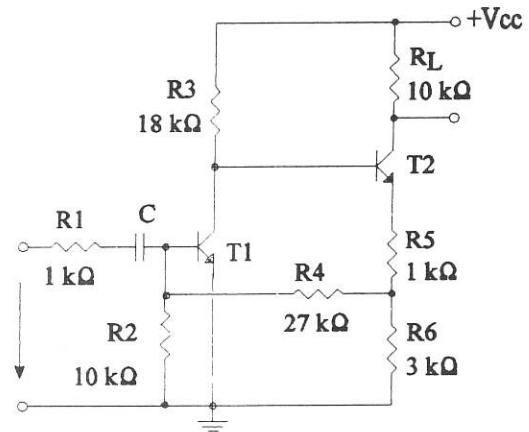
$h_{ie} = 2\text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 100$, $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 12\text{ k}\Omega$,
 $R_3 = 20\text{ k}\Omega$, $R_4 = 1\text{ k}\Omega$, $R_L = 4\text{ k}\Omega$



Problema 3.5

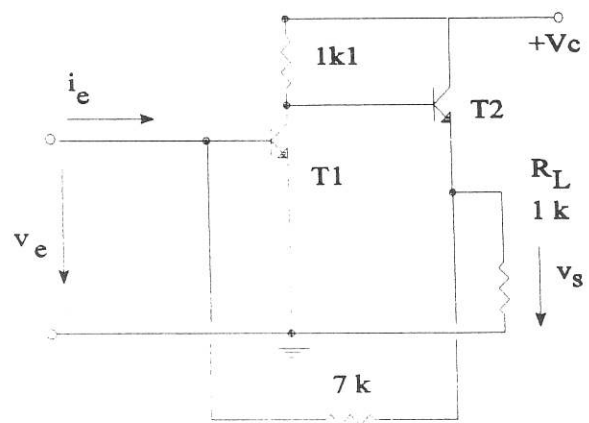
En el circuito de la figura, considerando que los transistores son iguales y tienen una $h_{ie} = 2 \text{ k}\Omega$ y $h_{fe} = 50$, calcular:

1. Tipo de realimentación
2. Ganancia del amplificador básico
3. Ganancia de corriente del amplificador realimentado
4. Considerando que la función de transferencia del amplificador básico esta constituida por un cero en el origen, un término invariante en frecuencias y dos polos de primer orden correspondiente a las frecuencias de corte de 10 Hz y 100 kHz.
 - 4.1 Función de transferencia del amplificador básico
 - 4.2 Diagrama de Bode del amplificador básico
5. Margen de fase del amplificador realimentado.

**Problema 3.6**

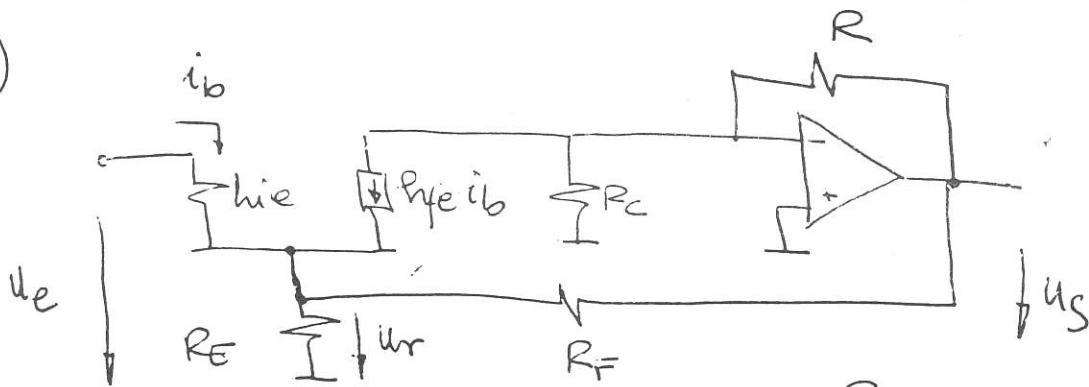
En el esquema de la figura los transistores tiene una $h_{fe}=100$, $h_{oe}=h_{re}=0$, $h_{ie1}=1\text{k}\Omega$ y $h_{ie2}=735\Omega$. Calcular:

- a) Tipo de realimentación
- b) Ganancia del amplificador realimentado
- c) Ganancia de tensión del amplificador multietapa



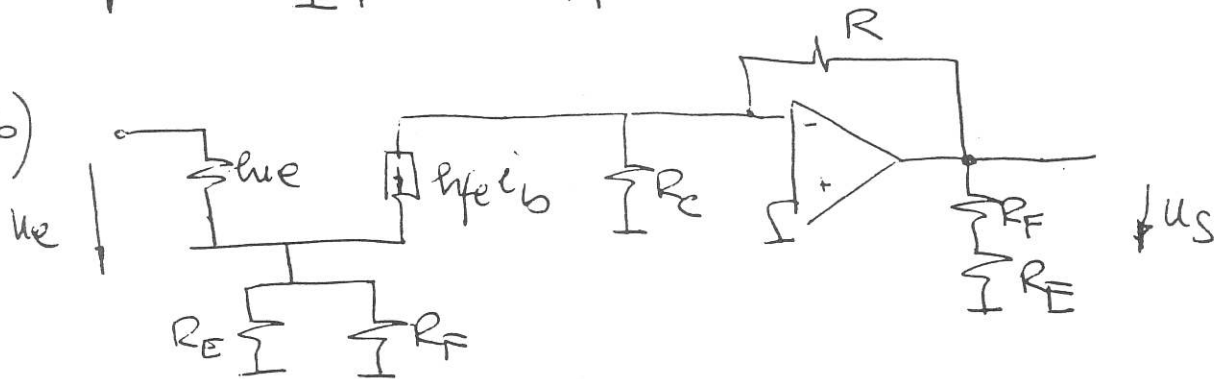
PROBLEMA 3.3

a)



Realimentación
muestreo → tanón
mezcla → ~~señal~~

b)



$$A_v = \frac{u_s}{u_e} = \frac{R h_{fe} i_b}{h_{ie} i_b + (1 + h_{fe}) i_b R_E // R_F} = \frac{h_{fe} \cdot R}{h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E // R_F}$$

c) $\beta = \frac{u_r}{u_s} = \frac{R_E}{R_E + R_F}$

d) $A'_v = \frac{A_v}{1 + \beta A_v}$

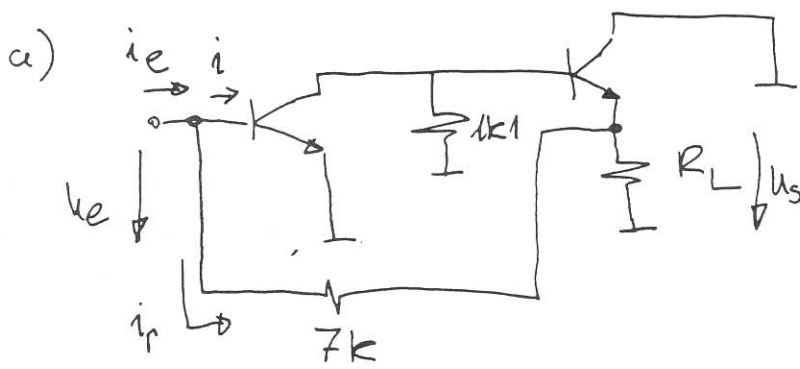
e) $R_e = h_{ie} + (1 + h_{fe}) R_E // R_F$

$R_e' = R_e (1 + \beta A_v)$

$R_s = 0 \leftarrow A.O. ideal$

$R_s' = 0$

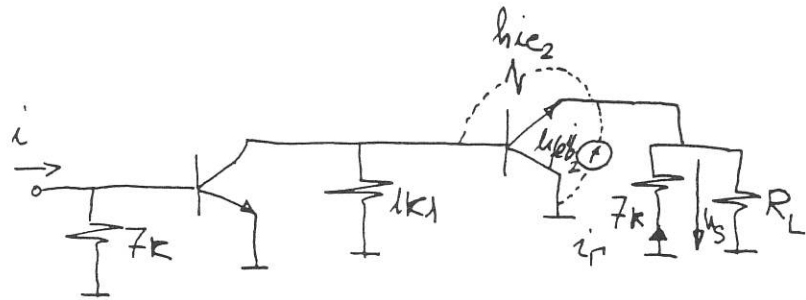
PROBLEMA 3.4



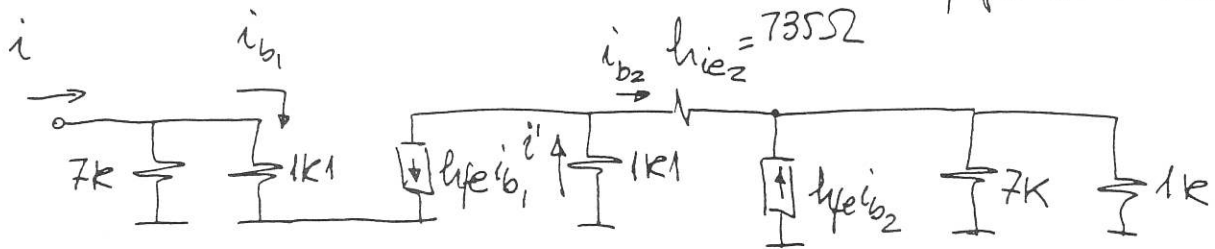
Muestreo $\rightarrow$ tensión
 Mezcla $\rightarrow$ paralelo
 tensión - paralelo

b)

$$A' = \frac{u_s}{i_e} = \frac{A}{1 + \beta A}$$



"Amplificador básico"

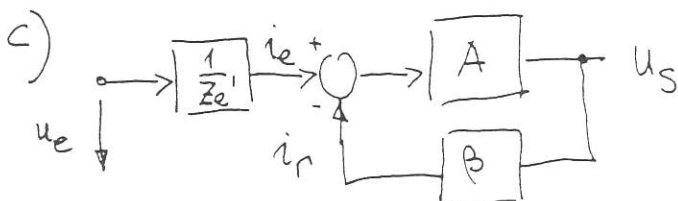


$$A = \frac{u_s}{i} = \frac{(1 + h_{fe}) i_{b2} \cdot 7 // 1}{(1 + \frac{1.1}{7}) i_{b1}} = \frac{(1 + h_{fe}) \cdot 7 // 1}{-\frac{1}{h_{fe}} \left[\frac{h_{ie2} + (7 // 1)(1 + h_{fe})}{1.1} \right] (1 + \frac{1.1}{7})} = -\frac{117.83}{1.25} = -93.6$$

$$i' = i_{b2} + h_{fe} i_{b1} = -\frac{h_{ie2} \cdot i_{b2} + (7 // 1)(1 + h_{fe}) i_{b2}}{1.1}$$

$$i_{b1} = -\frac{1}{h_{fe}} \left[\frac{h_{ie2} + (7 // 1)(1 + h_{fe})}{1.1} + 1 \right] i_{b2} = -1.087 i_{b2}$$

$$\beta = \frac{i_r}{u_s} = -\frac{1}{7} \left[\frac{1}{k\Omega} \right] \rightarrow A' = \frac{-93.6}{1 + 13.37} = -6.5$$



$$A_r^* = \frac{u_s}{u_e} = \frac{u_s}{i_e} \cdot \frac{i_e}{u_e} = A' \cdot \frac{1}{Z_e} = -80$$

$$Z_e = 7 // 1.1$$

$$Z_e' = \frac{7 // 1.1}{1 + \beta A} = 0.0811 \text{ (k}\Omega\text{)}$$

4. AMPLIFICADORES OPERACIONALES I



4. AMPLIFICADORES OPERACIONALES I

Problema 4.1

a) En el amplificador diferencial de la figura 1 se considera que las resistencias y los transistores son idénticos entre sí. Determinar la función de transferencia entre la tensión de salida, v_s , y la tensión diferencial $v_1 - v_2$.

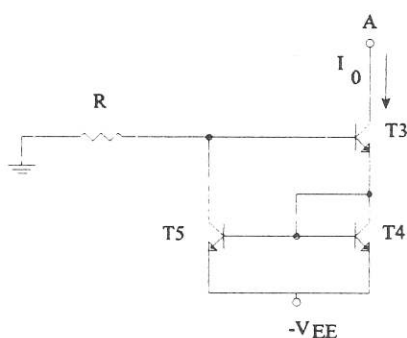


Figura 2

b) El montaje de la figura 2 corresponde a

una fuente de corriente constante y que es empleada en la construcción del amplificador diferencial de la figura 1. Considerando los transistores idénticos, con β muy elevada y una $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, calcular el valor de R para que circule I_0 .

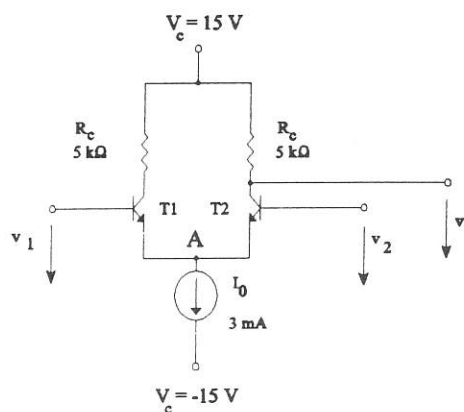


Figura 1

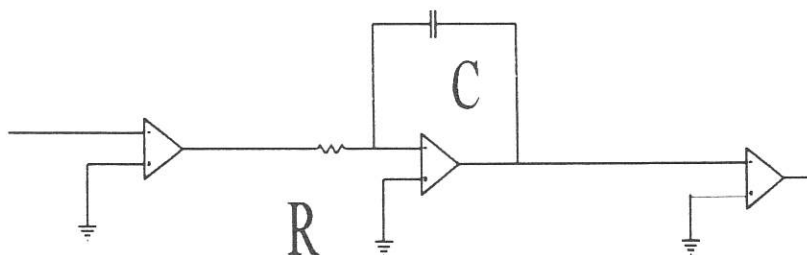
Problema 4.2

Para el circuito de la figura y supuestos los amplificadores operacionales ideales, dibujar a escala la forma de onda de las tensiones u_{s1} , u_{s2} y u_{s3} desde $t = 0$ hasta $t = 45 \text{ ms}$.

DATOS:

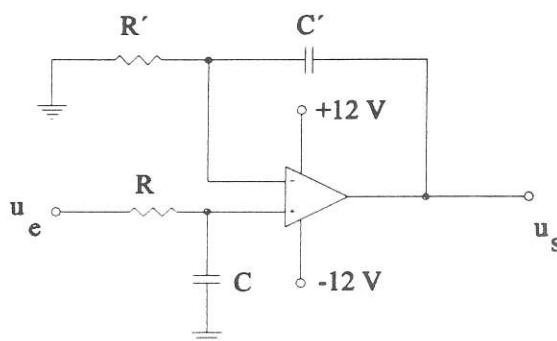
$$u_c = 10 \cos 100\pi t ; u_c = 0 \text{ para } t = 0 ; R = 100 \text{ K}\Omega$$

$$c = 0.1 \text{ }\mu\text{F} , U_{cc} = \pm 20\text{V}$$



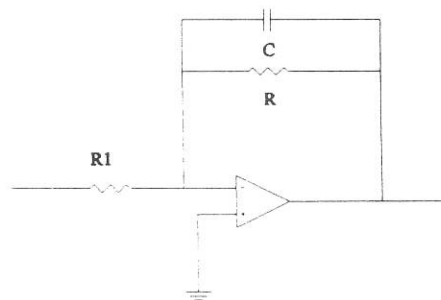
Problema 4.3

- Obtener la función de transferencia del circuito con A.O ideal y su diagrama de Bode ($1/R'C' \leq 1/RC$)
- ¿Cuanto valdrá v_s para $f=0$?
¿Dependerá ese valor de R', R, C' y C ?
¿Por qué?
- ¿Que condición deben satisfacer los componentes del circuito para que en dicho diagrama de Bode no aparezcan zonas planas?

**Problema 4.4**

El circuito de la figura es un amplificador que se ha limitado su ancho de banda, para mejorar la relación señal ruido. En el citado circuito, calcular:

- La relación entre la tensión de salida y entrada, suponiendo el A.O. ideal
- El error máximo en continua, en la salida
- La curva de respuesta en bucle cerrado, con y sin condensador C
- La estabilidad del circuito



DATOS:

$$R = 10 \text{ k}\Omega \quad U_{Do} = 1 \text{ mV} \quad R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad I_{Bi} = 500 \text{ nA} \quad C = 100/2\pi \text{ nF} \quad I_{Di} = 50 \text{ nA}$$

El amplificador está compuesto internamente en frecuencias $A_{do} = 80 \text{ dB}$

Frecuencia de corte a ganancia unidad = 1 MHz



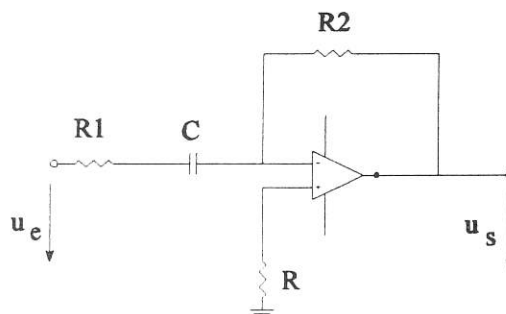
Problema 4.5

En el circuito de la figura, calculara:

- Valor de la ganancia v_s/v_e , suponiendo el A.O. ideal.
- Error en continua debido a la tensión de desviación y corriente de polarización.
- Curva de respuesta en bucle cerrado suponiendo el A.O. real. Considérese también la estabilidad del circuito.

DATOS:

$A_{do} = 80 \text{ dB}$; $f_{p1} = 100 \text{ Hz}$; $f_{p2} = 100 \text{ kHz}$;
 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$; $R = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$; $C = 1/2\pi \mu\text{F}$;
 $V_{Di} = 2 \text{ mV}$; $I_{Bi} = 75 \text{ nA}$; $I_{Di} = 10 \text{ nA}$;

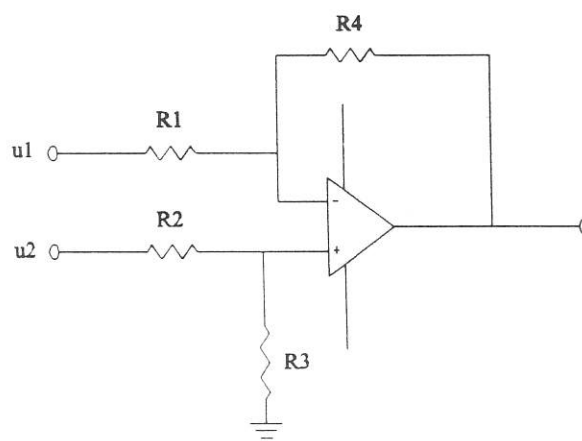
**Problema 4.6**

El amplificador diferencial de la figura esta formado por un A.O. compensado internamente, tiene una ganancia en bucle abierto de 100 dB y su frecuencia de ganancia unidad es de 1 MHz. Determinar:

- Ancho de banda del Amplificador diferencial.
- Máxima ganancia en modo común del amplificador diferencial, considerando que R3 y R4 tiene una tolerancia del 10 % y A.O. ideal.

Datos

$R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$;
 $R_3 = R_4 = 9 \text{ k}\Omega$

**Problema 4.7**

El captador de una magnitud física presenta un circuito equivalente como el representado en la figura nº1, en el que la tensión u es proporcional a dicha magnitud y en el que se aprecia también la presencia de una red RC parasitaria que acota el ancho de banda del captador. Con objeto de aumentar la señal del captador, se ha construido el amplificador de la figura nº2. Se pide



- Determinar C_1 de tal manera que se cancele el polo aportado por el captador.
- Si el amplificador operacional compensado tiene una ganancia en continua de 80 dB y la frecuencia a ganancia unitaria es de 10 MHz, estudiar su estabilidad.
- Dibujar el diagrama de Bode del amplificador.
- Dibujar el diagrama de Bode de la función de transferencia existente entre la tensión de salida, u_s , y la tensión u proporcional a la magnitud a medir.
- Calcular el máximo error en continua del amplificador si la tensión de desviación del operacional es de 1 mV y las corrientes de polarización y de desviación es de 100 nA y 50 nA, respectivamente. ¿ Como se podría mejorar el diseño del amplificador para disminuir el error ?.

Datos

$R = 10\text{ k}\Omega$, $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 100\text{ k}\Omega$, $C = 100/2\pi\text{ nF}$

Figura 1

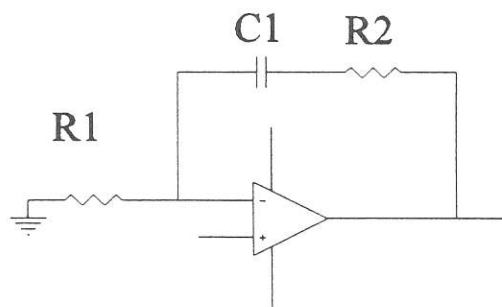
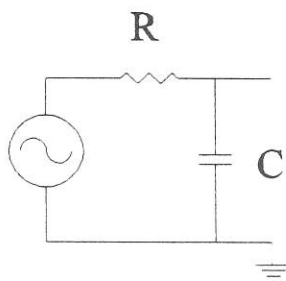


Figura 2



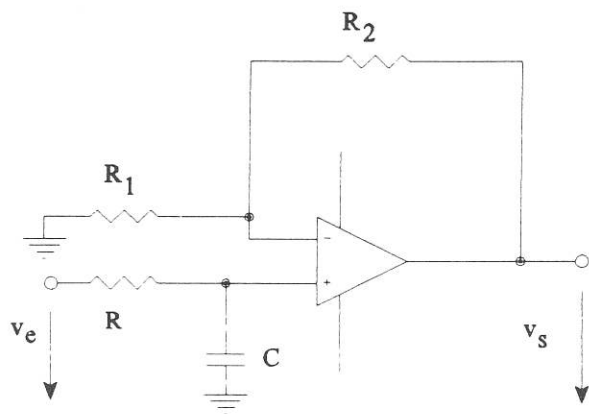


Figura 1

Problema 4.8

Se pretende obtener la respuesta del esquema de la figura 1 ante una excitación de una señal periódica y cuadrada, con amplitud y frecuencia tal como se muestra en la figura 2. Con tal fin se plantea el siguiente método teórico de estudio.

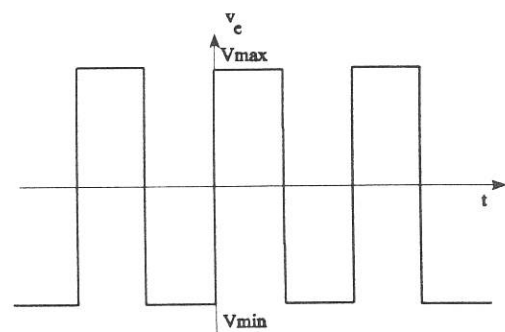


Figura 2

- Obtener la señal de entrada en serie de Fourier.
- Representar el espectro de frecuencia de la señal.
- Obtener el análisis en frecuencia del amplificador, sabiendo que el A.O. está compensado internamente en frecuencias, con $A_{do} = 80$ dB y la frecuencia del primer polo a 100Hz.
- Obtener la salida, $v_s(t)$, mediante series de Fourier; para tal fin multiplicar los coeficientes de Fourier de la señal de entrada por la ganancia del amplificador a la frecuencia del armónico (utilizese el comportamiento asintótico de la ganancia del amplificador).

Datos: $R = 10 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 9 \text{ k}\Omega$, $C = 1/2\pi \text{ nF}$

$V_{\max} = 0.1\pi \text{ V}$, $V_{\min} = -0.1\pi \text{ V}$, $T = 10 \mu\text{s}$

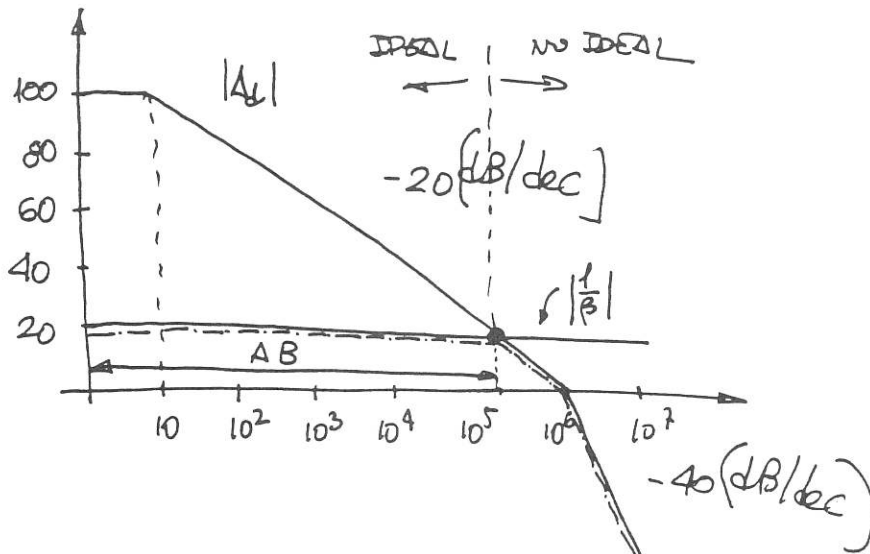
Considérese solo los 10 primeros armónicos



PROBLEMA 4.6

$$a) A_{CL}(0) = - \frac{R_4}{R_1} = \frac{u_s}{u_1 - u_2}$$

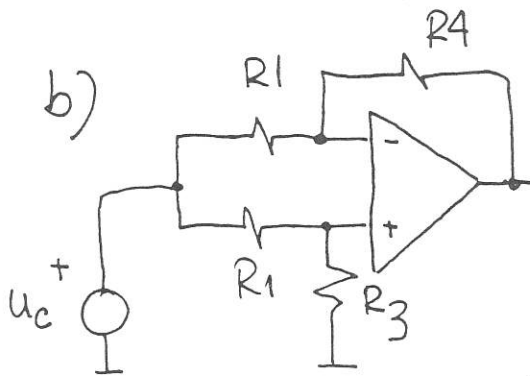
$$\beta = \frac{R_1}{R_4 + R_1} = \frac{1}{10}; \frac{1}{\beta} = 10$$



$$\text{Si } |A_{\beta}| \gg 1 \rightarrow |A_{CL}(f)| \approx |A_{CL}(0)| = \frac{R_4}{R_1} = 9$$

$$\text{Si } |A_{\beta}| \ll 1 \rightarrow |A_{CL}(f)| \approx |A_{CL}(0)| |\beta| |A_{\beta}| = \underbrace{\frac{R_4}{R_1} \cdot \frac{R_1}{R_4 + R_1}}_{\text{SI } 1} \cdot |A_{\beta}|$$

$$AB = 100 \text{ KHz}$$



$$u_A = u_c \frac{R_3}{R_1 + R_3}$$

$$\frac{u_c - u_A}{R_1} = \frac{u_A - u_s}{R_4}$$

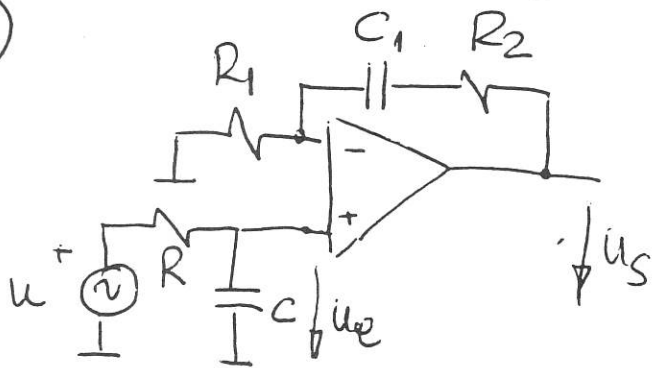
$$u_c \frac{R_3}{R_1 + R_3} (R_1 + R_4) = u_c \cdot R_4 - u_s R_1$$

$$u_s = - \frac{1}{R_1} \left(\frac{R_1 + R_4}{R_1 + R_3} \cdot R_3 - R_4 \right); A_c = \frac{u_s}{u_c} = - \frac{1}{R_1} \frac{1}{(R_1 + R_3)} (R_1 (R_3 - R_4))$$

$$A_c = - \frac{R_3 - R_4}{R_1 + R_3} \Rightarrow \left| \frac{R_3 = 8.1}{R_4 = 9.9} \right| \Rightarrow A_{cmax} = \frac{9.9 - 8.1}{1 + 8.1} = \frac{1.8}{9.1} = 0.198$$

PROBLEMA 4.7

a)



$$\frac{u_s}{u} = \frac{1 + j\omega C_1 (R_1 + R_2)}{j\omega C_1 R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C R}$$

$$C_1 (R_1 + R_2) = C R \Rightarrow \frac{100}{2\pi} \cdot 10^{-9} \cdot 10^4 = C_1 (10^3 + 10^5)$$

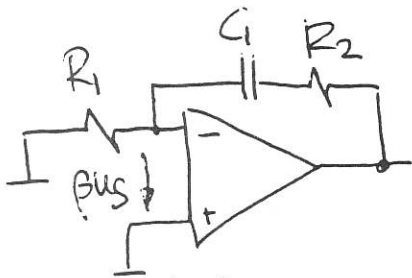
$$C_1 \approx \frac{10}{2\pi} \text{ [nF]}$$

$$\frac{u_s}{u} = \frac{u_s}{u_e} \cdot \frac{u_e}{u}$$

$$\frac{u_s}{u_e} = \left(1 + \frac{R_2 + \frac{1}{j\omega C}}{R_1}\right) = \frac{1 + j\omega C (R_1 + R_2)}{j\omega C R_1}$$

$$\frac{u_e}{u} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega C R}$$

b)

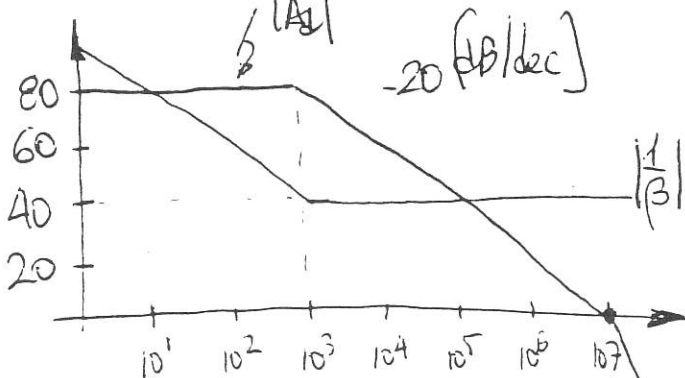


$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{j\omega C_1 R_1}{1 + j\omega C_1 (R_1 + R_2)}$$

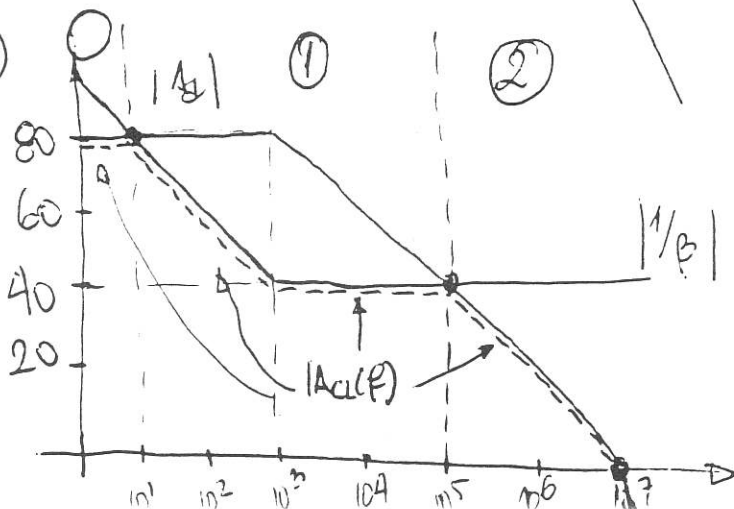
$$\frac{1}{\beta} = \frac{1 + j\omega C_1 (R_1 + R_2)}{j\omega C_1 R_1} \rightarrow f_z = 1 \text{ kHz}$$

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} \frac{1}{\beta} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \approx 40 \text{ dB}$$

"Sistema Estable"



c)



Si $|A_d \beta| \gg 1 \rightarrow \text{Zona 1}$

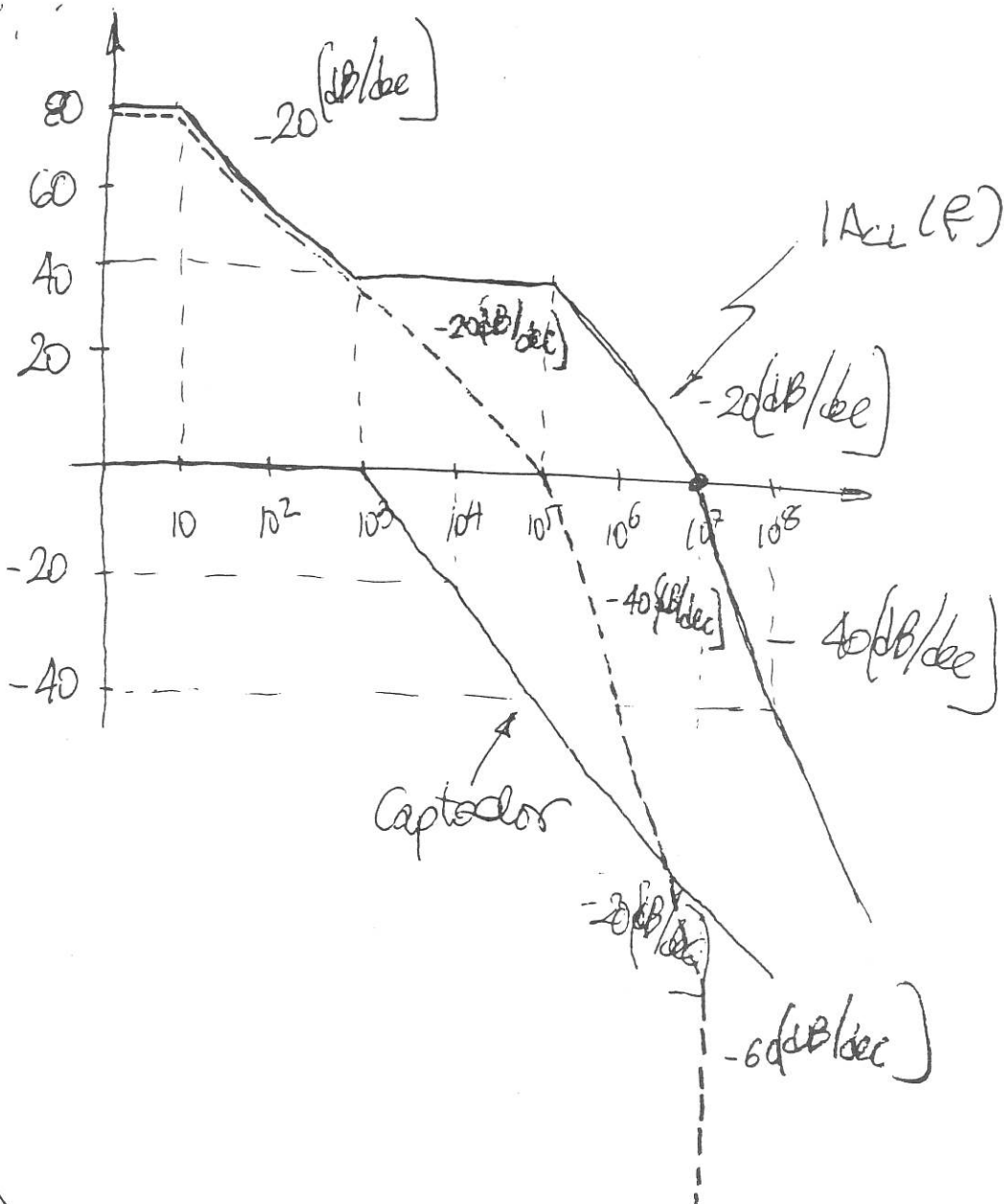
$$|A_d(f)| \approx \left| \frac{1 + j\omega C_1 (R_1 + R_2)}{j\omega C_1 R_1} \right|$$

$$f_z = 1 \text{ kHz}$$

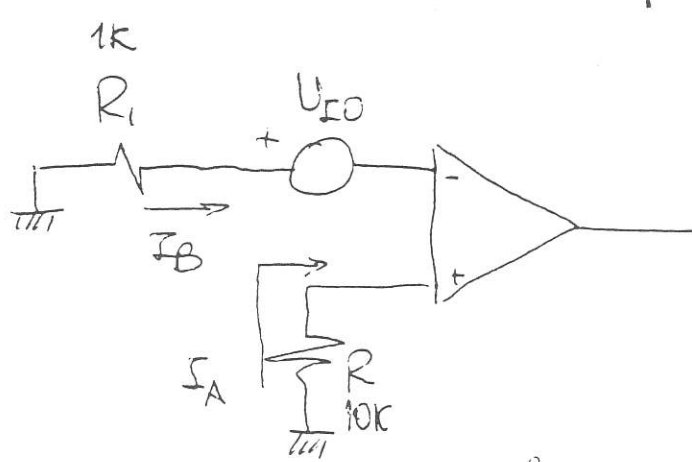
Si $|A_d \beta| \ll 1 \rightarrow \text{Zona 2}$

$$|A_d(f)| \approx \underbrace{\left| \frac{1 + j\omega C_1 (R_1 + R_2)}{j\omega C_1 R_1} \right|}_{1} \underbrace{\left| \frac{j\omega C_1 R_1}{1 + j\omega C_1 (R_1 + R_2)} \right|}_{1} |A|$$

d)



e)



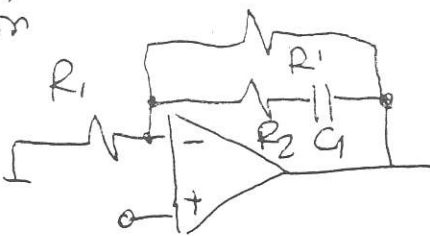
$$U_S = A_{OL}(-U_{IO} - I_B R_1 - I_A R)$$

$$U_S = 10^4(-10^{-3} - 10^{-3}(100-25)10^{-9} - 10^{-4}(100+25))$$

$$U_S = 10^4(-10^{-3} - 75 \cdot 10^{-6} - 125 \cdot 10^{-5})$$

$$U_S = -23,25 \text{ V}$$

La mejora sería colocar una R' para evitar la ruptura de la realimentación



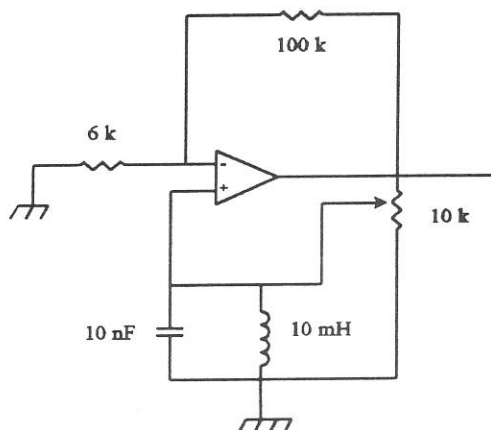
5. AMPLIFICADORES OPERACIONALES II



5. AMPLIFICADORES OPERACIONALES II

Problema 5.1

Hallar la frecuencia de oscilación y el valor mínimo de R del oscilador de la figura

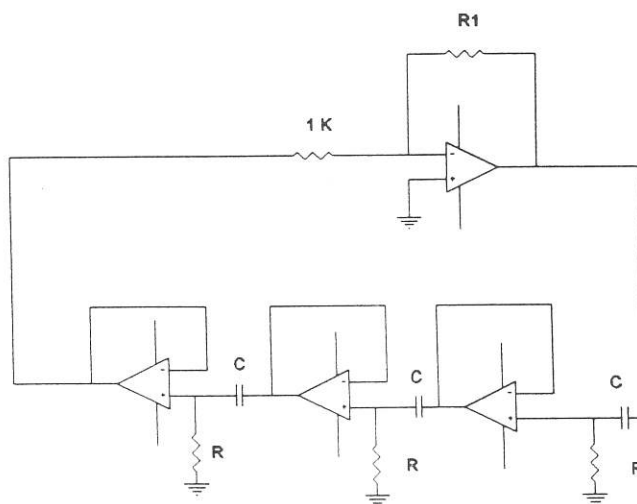


Problema 5.2

En el circuito de la figura considerando todos los elementos ideales, analice la posibilidad de oscilación del circuito. En caso de que la respuesta sea afirmativa calcule:

a) La forma de la señal y la frecuencia de la señal generada.

b) Valor mínimo de la resistencia R_1 , que garantice la oscilación del circuito.

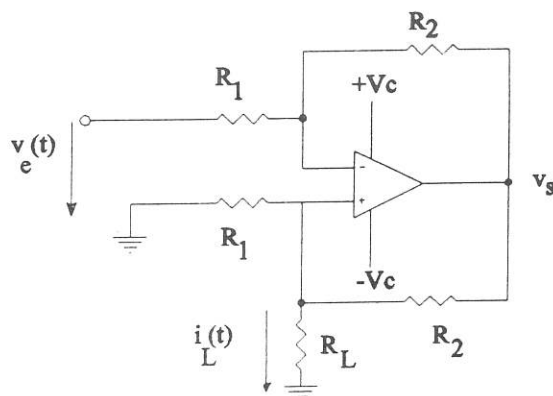


Problema 5.3

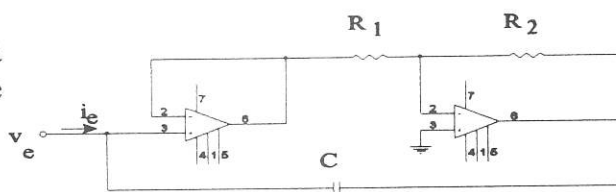
El esquema de la figura corresponde con un convertidor tensión-corriente de carga no flotante

a) Obtener la relación entre $i_L(t)$ con $v_e(t)$.

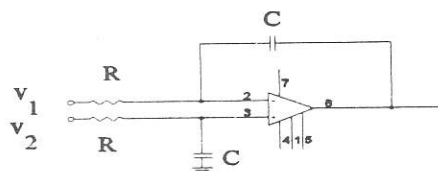
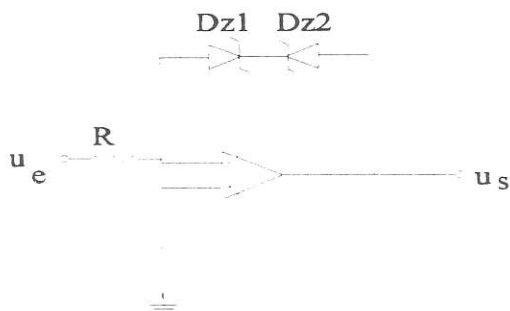
b) Determinar que condiciones debe tener R_L , si v_s no puede superar los límites de tensión de alimentación del A.O.

**Problema 5.4**

a) Determine la impedancia de entrada del circuito de la figura y sugiera una posible aplicación para el mismo



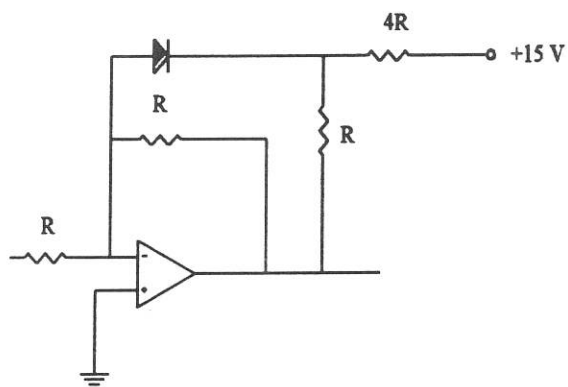
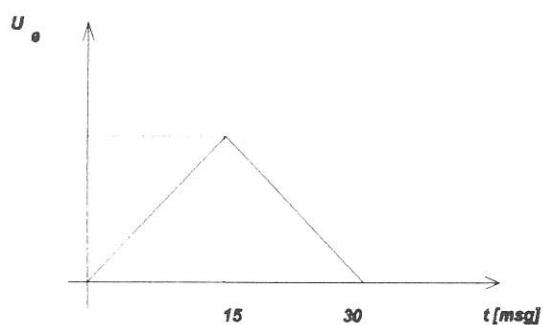
b) Determine la relación entre la tensión de salida y las entradas del circuito de la figura. Sugiera, asimismo una posible aplicación.

**Problema 5.5**

Explicar y representar la curva de transferencia (V_s/V_e), si la tensión de zener es 4.3 V, y la $V_p = 0.7$ V. La alimentación es de ± 15 V.

Problema 5.6

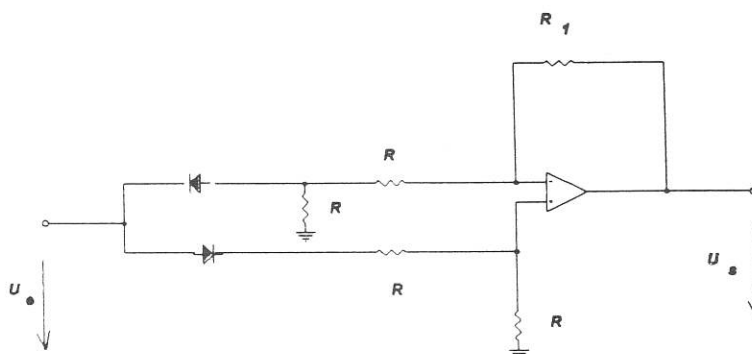
El diodo del circuito de la figura tiene las siguientes características: $u_T = 1\text{ V}$; $r_d = 0$. Para la tensión de entrada indicada, dibujar a escala la tensión de salida.

**Problema 5.7**

En el circuito de la figura, dibuje la forma de onda de tensión de salida, u_s , acotando valores; supóngase $R_1 = 1\text{ k}\Omega$. ¿Como afecta el valor de R_1 en la forma de onda de la tensión de salida?

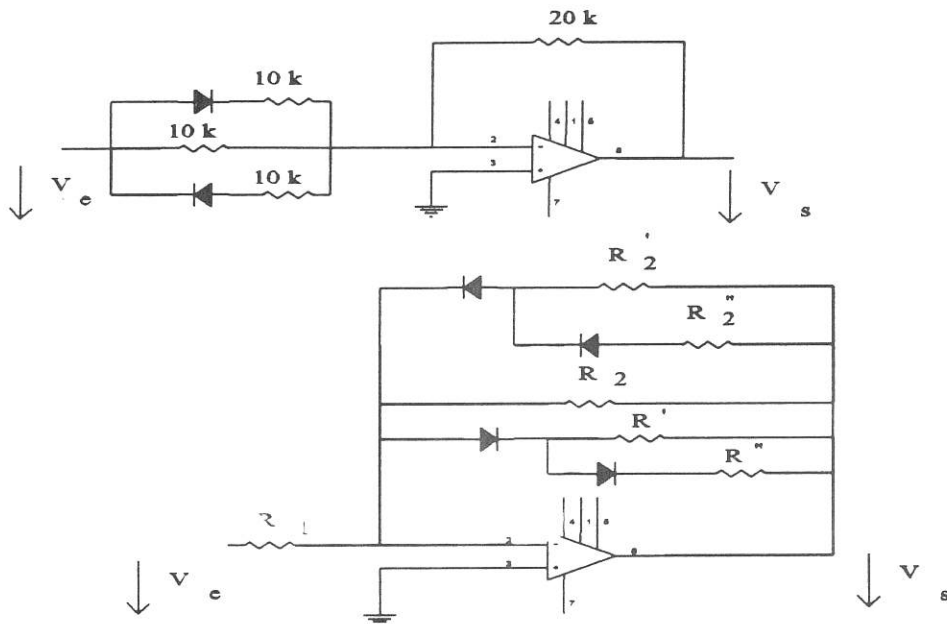
DATOS:

$R = 1\text{ k}\Omega$; $V_e = 2\sin\omega t\text{ V}$;
Diodos ideales; A.O. ideal.



Problema 5.8

Obtener las funciones de transferencia gráfica y analíticamente de los siguientes generadores de funciones



Nota: Considérense la tensión de conducción del diodo a partir de V_γ .

Problema 5.9

Obtener la evolución temporal de las salidas v_{s1} y v_{s2} al excitar el circuito con una señal de entrada tal como se indica en la figura 2.

Nota: Considérense los diodos y el A.O. ideales

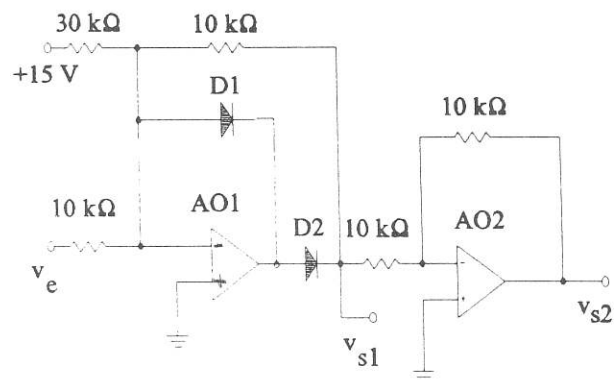


figura 1

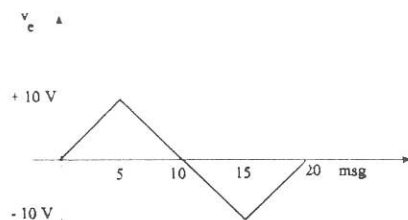


figura 2



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE MADRID

ESCUELA UNIVERSITARIA
DE INGENIERIA TECNICA
INDUSTRIAL

1.º APELLIDO

2.º APELLIDO

NOMBRE

ESPECIALIDAD

ASIGNATURA

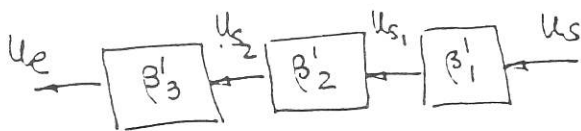
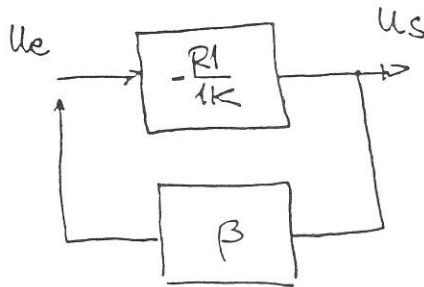
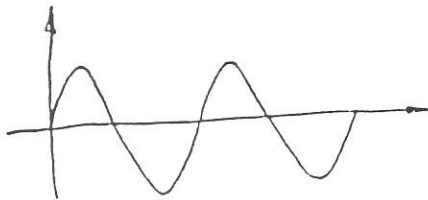
CURSO GRUPO FECHA

Nº DE MATRICULA

CALIFICACION

PROBLEMA 5.2

- a) Al ser un sistema lineal realimentado, si cumple que $|1+A\beta|=0$, éste oscilará.



$$\frac{U_{s1}}{U_s} = \frac{U_{s2}}{U_{s1}} = \frac{U_e}{U_{s2}} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR}$$

$$\frac{U_e}{U_s} = \frac{U_{s1}}{U_s} \cdot \frac{U_{s2}}{U_{s1}} \cdot \frac{U_e}{U_{s2}} = \left(\frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR} \right)^3$$

$$\angle \beta \Big|_{f_0} = 180^\circ = 3 \cdot 90^\circ - 3 \arctan \omega_0 CR; \quad 30^\circ = \arctan \omega_0 CR; \quad \omega_0 = \frac{1}{CR\sqrt{3}}$$

$$2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{3} CR}; \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{3} CR}$$

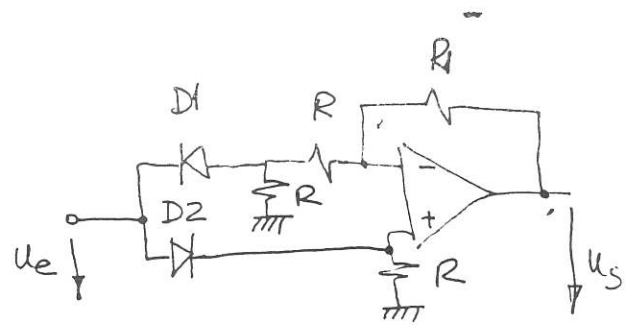
b) $\frac{R_1}{1K} \cdot \frac{| \omega_0 CR |^3}{| 1 + j\omega_0 CR |^3} > 1; \quad R_1 \cdot \frac{(1/\sqrt{3})^3}{(\sqrt{1 + 1/3})^3} > 1; \quad R_1 \cdot \frac{1}{8} > 1; \quad R_1 > 8K$

PROBLEMA 5.7

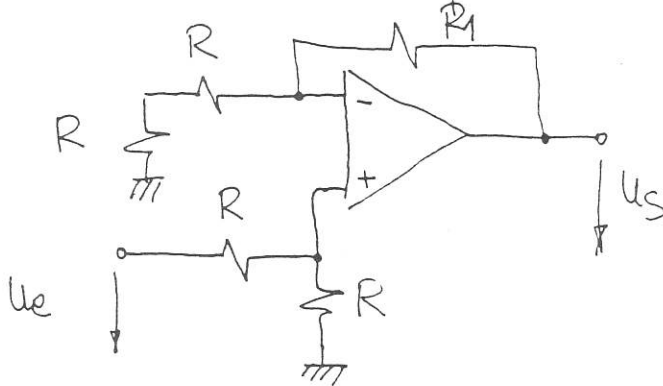
a) Considerando $u_e(t) > 0$

La hipótesis válida es:

D1 : OFF
D2 : ON
AO : Lineal



El circuito quedará

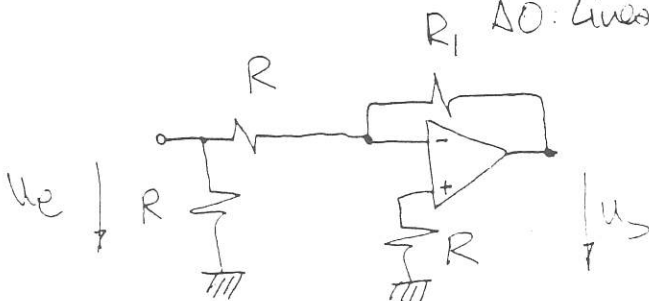


$$u_s = \frac{u_e}{2} \left(1 + \frac{R_1}{2R} \right)$$

$$u_s = \frac{3}{4} u_e$$

b) Considerando $u_e(t) < 0$
La hipótesis válida es:

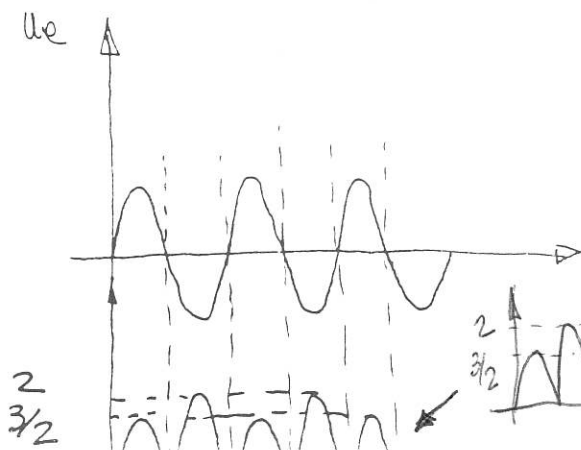
D1 : ON
D2 : OFF
AO : Lineal



$$u_s = - \frac{R_1}{R} u_e$$

$$u_s = -u_e$$

$$u_e = 2 \sin \omega t$$



$$u_e(t) > 0 \rightarrow u_s = \frac{3}{2} \sin \omega t$$

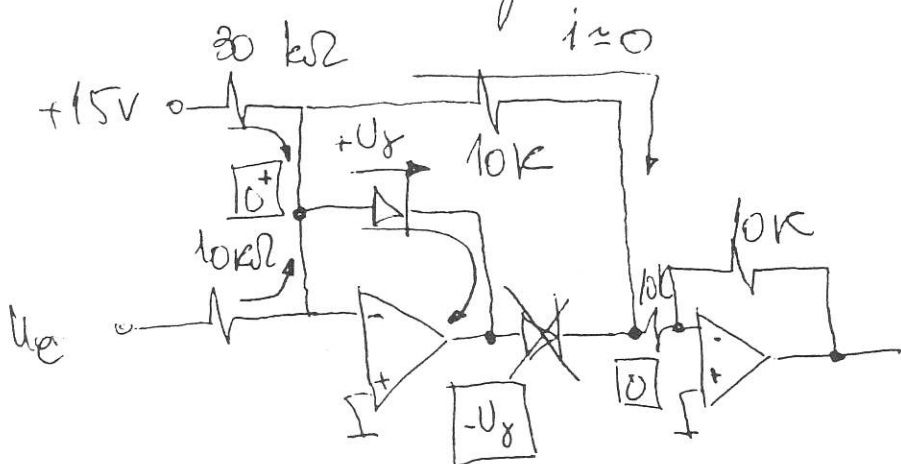
$$u_e(t) < 0 \rightarrow u_s = 2 \sin \omega t$$

El efecto de R_1 modificará la amplitud de la señal de salida.

PROBLEMA 5.9

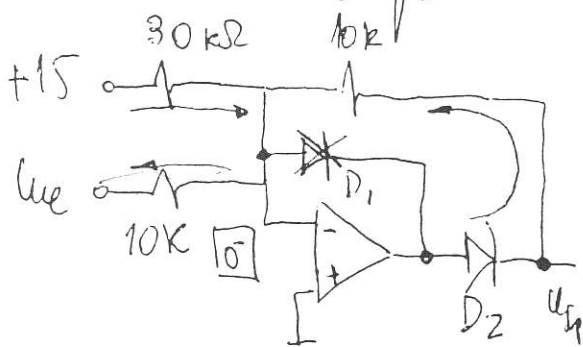
a) $-5V \leq U_e \leq 10$

Si se considera que el AO1 funciona linealmente será a través del diodo D1. Demostrándose que es posible pues sucederá que la tensión en el terminal negativo de AO1 es ligeramente positivo; pero a su vez el diodo D2 no conducirá al no haber circulación de la corriente por las resistencias de $10k\Omega$, consiguiendo en la salida $U_{s1}=0$ y $U_{s2}=$



b) $-10 \leq U_e \leq -5V$

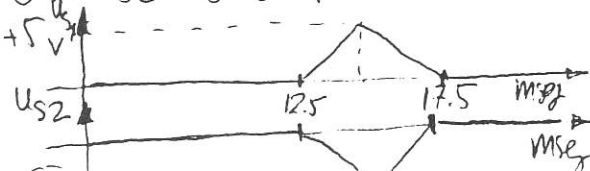
Al ser la tensión negativa el lazo de realimentación se cerrará por el Diodo D2 y el diodo D1 quedará bloqueado pero sucederá cuando U_{s1} sea mayor que cero, esto es:



$$-\frac{U_e}{10} = \frac{15V}{30k\Omega} + \frac{U_{s1}}{10k\Omega}; U_{s1} = -U_e - 5$$

La U_{s2} será la misma pero invertida,

el rango de funcionamiento estará entre $-5V$ a $-10V$ de U_e . Si la tensión está entre $-5V$ y $0V$ se encontrará como en el caso a)



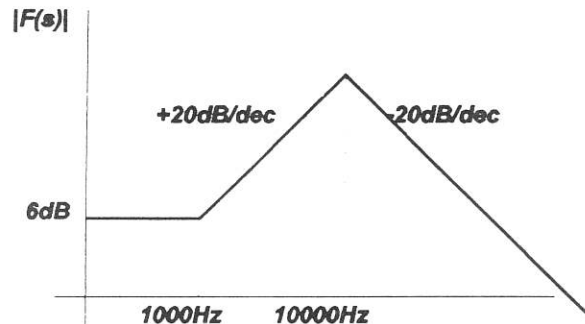
6. PROCESADO DE SEÑALES ANALÓGICAS



6. PROCESADO DE SEÑALES ANALÓGICAS

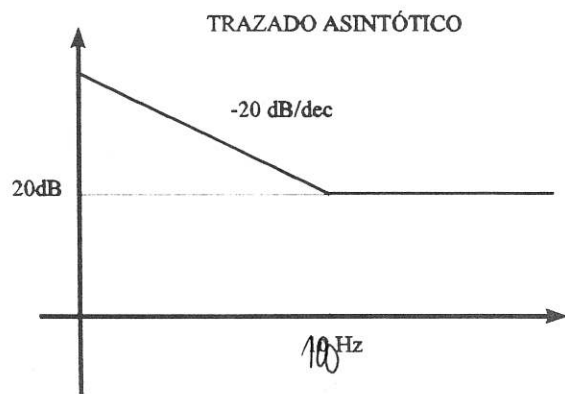
Problema 6.1

Diseñar con un solo amplificador operacional, un circuito cuya función de transferencia presente el siguiente diagrama de Bode para la amplitud.



Problema 6.2

- 1) Diseñar el circuito que cumpla con la respuesta en frecuencia indicada en la figura
- 2) Indicar su función de transferencia
- 3) Margen de fase si se utiliza un amplificador operacional real compensado en frecuencia, con $A_{d0} = 80$ dB y el segundo polo situado a 1 MHz.
- 4) Respuesta en frecuencia
- 5) Error en continua, con $U_{IO} = 1$ mV, $I_{IO} = 50$ nA y $I_B = 1$ μ A



Problema 6.3

Diseñar un filtro paso-bajo de 5 kHz de frecuencia de corte de modo que a 10 kHz la caída de al menos 36 dB. En la banda pasante la ganancia debe ser de 0 dB.

Problema 6.4

Diseñar un filtro paso-alto de quinto orden de Butterworth, con frecuencia de corte de 1 kHz y una ganancia de tensión unitaria en la zona del paso. Representar la función de transferencia del filtro en Bode (módulo).

Datos:

Polinomio de Butterworth de 5 orden: $(s+1)(s^2+0.618s+1)(s^2+1.618s+1)$

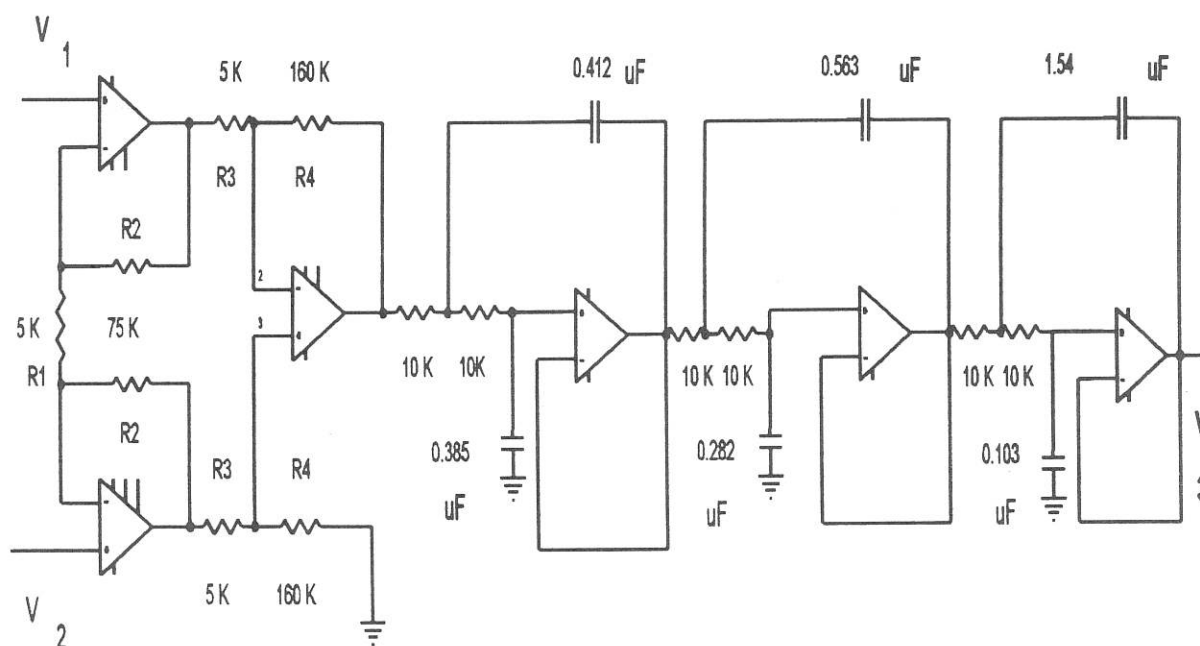
Redes de Sallen-Key de 2 orden:



Problema 6.5

Para el circuito de la figura, determinar:

- Diagrama a bloques e indicando los parámetros característicos de cada uno.
- La función de transferencia u_3/u_2-u_1
- Tipo de filtro y orden.
- El diagrama de Bode del esquema

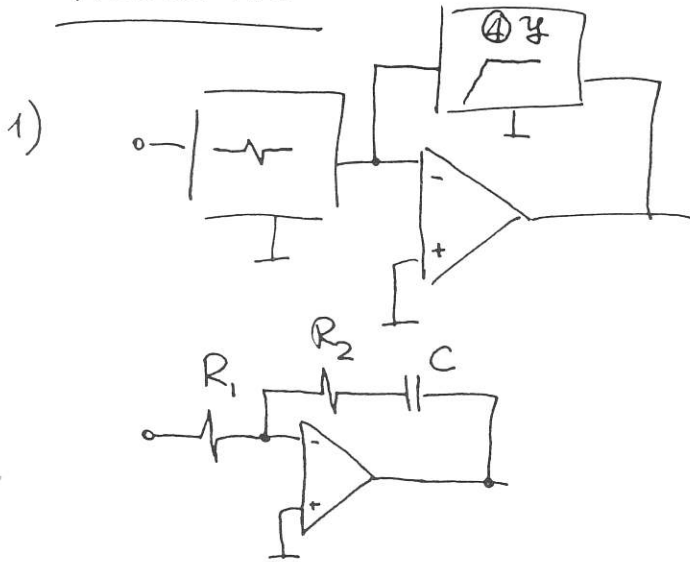
**Problema 6.6**

Diseñar un filtro paso bajo analógico antialiasing con un ancho de banda de 4 Hz para muestrear la señal procedente de un sistema de acondicionamiento de temperatura, dicho sistema mantiene el mismo margen dinámico que el convertidor A/D. Del análisis espectral de la señal a convertir se sabe que la componente de ruido más importante se encuentra a 50 Hz y su valor máximo es de 100 mV. Conociendo que el convertidor es de 12 bits de resolución y con un rango de 0 a 10 V y que el error debe ser menor a $\frac{1}{4}\text{LSB}$, se pide:

- Tipo de filtro y orden del filtro.
- Diagrama a bloques del filtro mostrando los valores característicos de cada célula.
- Esquema del filtro, indicando valores normalizados, serie de componentes,...



PROBLEMA 6.2



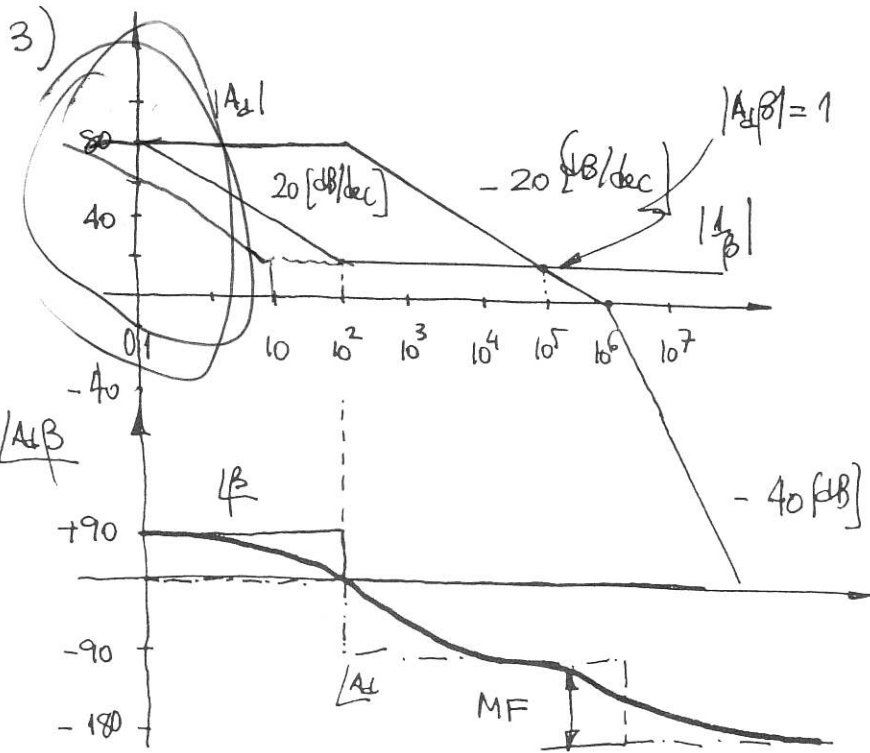
$$A_v = - \frac{y_1}{y_2} = - \frac{-\frac{1}{R_1}}{\frac{-sC}{1+sT}} = - \frac{1+sT}{sCR_1} = - \frac{1+sR_2C}{sCR_1}$$

$$R_2C = \frac{1}{2\pi f}$$

$$\lim_{s \rightarrow \infty} A_v = \frac{R_2}{R_1} = 10$$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega, R_2 = 10 \text{ k}\Omega, C = \frac{10}{2\pi} [\mu\text{F}]$$

$$2) A_v = - \frac{1+j\omega 0.0159}{j\omega 0.00159} = - \frac{1+j\omega R_2C}{j\omega R_1C}$$



$$3) \beta = \frac{R_1}{R_1+R_2+\frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega CR_1}{1+j\omega C(R_1+R_2)}$$

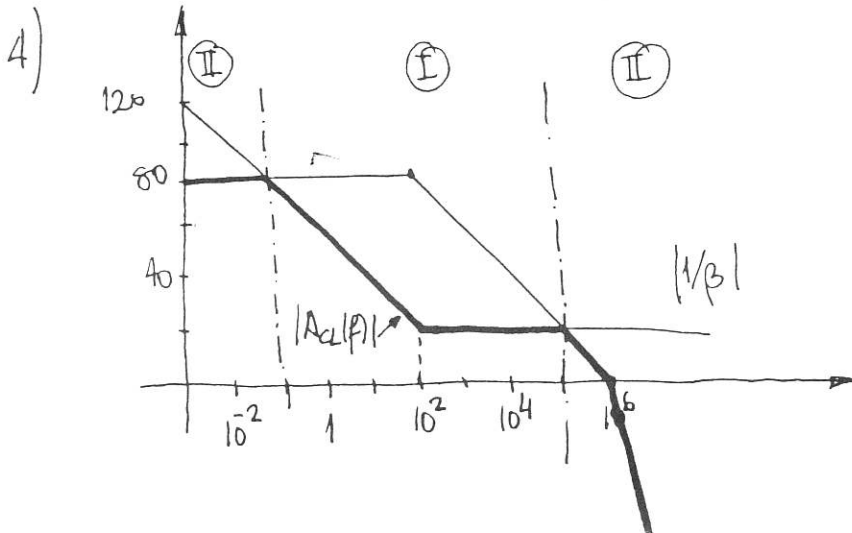
$$\frac{1}{\beta} = \frac{1+j\omega C(R_1+R_2)}{j\omega CR_1}$$

$$MF > 45$$

$$4) |A_{cl}(f)| \approx |A_{cl}(0)| |A_d| > \frac{1}{\beta} |I|$$

$$|A_{cl}(f)| \approx \left| \frac{1+j\omega R_2C}{j\omega R_1C} \right| \left| \frac{j\omega CR_1}{1+j\omega C(R_1+R_2)} \right| |A_d|$$

$$|A_{cl}(f)| \approx |A_d| |A_d| < \frac{1}{\beta} |II|$$



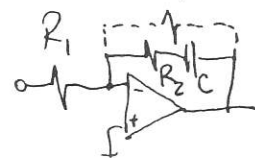
5)

$$U_s = A_{d0}(-U_B)$$

$$U_B = -U_{I0} - I_2 \cdot R_1$$

$$U_s = 10^4 (10^{-3} + 10^{-6} \cdot 10^3) = 20 \text{ V}$$

"Se satura"



PROBLEMA 6.3

Entonces en gráficos en los polinomios

$$\left. \begin{array}{l} A_{max}=3 \\ A_{min}=36 \\ 1/k=2 \end{array} \right\} \text{BUT} \Rightarrow n=6 \quad \left. \begin{array}{l} A_{max}=1 \\ A_{min}=36 \\ 1/k=2 \end{array} \right\} \text{TCH} \Rightarrow n=4 \quad \left. \begin{array}{l} A_{max}=0.5 \\ A_{min}=36 \\ 1/k=2 \end{array} \right\} \text{TCH} \Rightarrow n=5$$

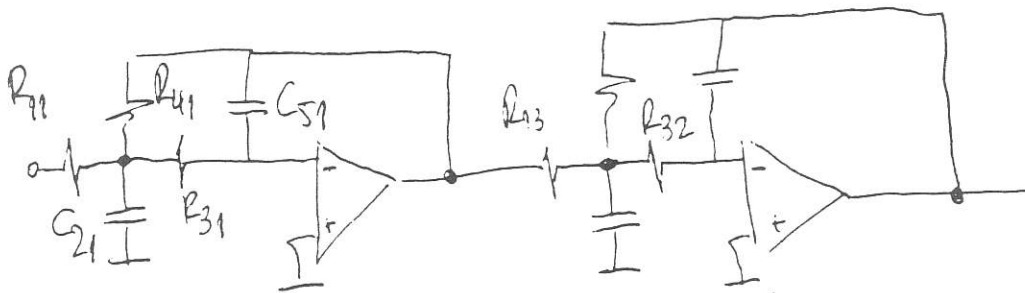
Al no haber ninguna otra restricción se tomará el filtro de Tchobystev de orden 4 y ganancia unitaria con un dB de rizado donde $\omega_c/\omega_0 \approx 1$ (1.053)

$$A_N(s) = \frac{0.245}{(s^2 + 0.673s + 0.279)(s^2 + 0.279s + 0.986)} = \frac{s^2 + \frac{0.673}{0.279}s + 1}{\frac{s^2}{0.279} + \frac{0.673}{0.279}s + 1} \cdot \frac{s^2 + \frac{0.279}{0.986}s + 1}{\frac{s^2}{0.986} + \frac{0.279}{0.986}s + 1}$$

$$G_1(s) = \frac{1.77}{\left(\frac{s}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 0.528}\right)^2 + \frac{0.673}{0.528} \left(\frac{s}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 0.528}\right) + 1} = \frac{1.77}{\left(\frac{s}{16587}\right)^2 + 1.27 \frac{s}{16587} + 1} \rightarrow \begin{array}{l} A_0 = 1.77 \\ Q_1 = 0.787 \\ \omega_0 = 16587 \end{array}$$

$$G_2(s) = \frac{0.5}{\left(\frac{s}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 0.992}\right)^2 + \frac{0.279}{0.992} \frac{s}{2\pi \cdot 10^3 \cdot 0.992} + 1} = \frac{0.5}{\left(\frac{s}{31164}\right)^2 + 0.281 \frac{s}{31164} + 1} \rightarrow \begin{array}{l} A_0 = 0.5 \\ Q_2 = 3.5 \\ \omega_0 = 31164 \end{array}$$

$$A_0^* = \lim_{s \rightarrow 0} G_1(s) \cdot G_2(s) \approx 1 \text{ (0.885)}$$



$$\begin{array}{l} R_{11} = R_{31} = 10 \text{ k}\Omega \\ R_{41} = 5 \text{ k}\Omega \end{array}$$

$$Q_2 = 3.5 = \frac{1}{31164 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot C_{51} \left(\frac{1}{10^4} + \frac{1}{164} + \frac{1}{5 \cdot 10^3} \right)}, \quad C_{51} = 458 \text{ pF}$$

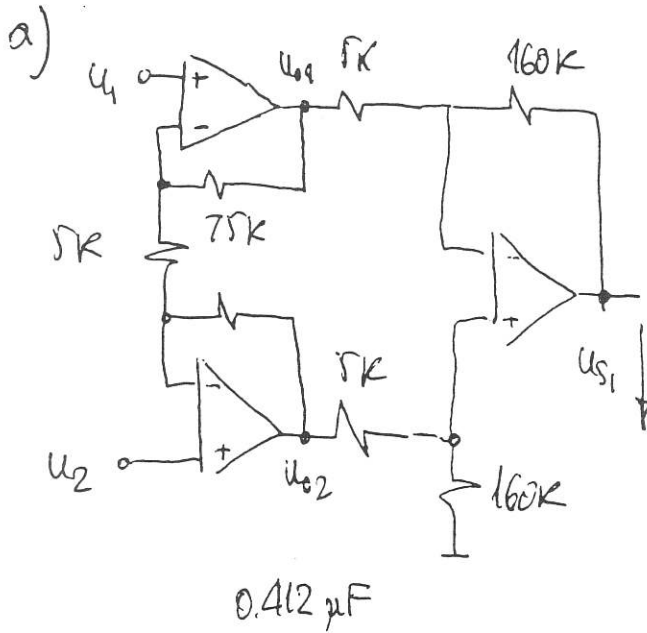
$$\omega_{02} = 31164 = \frac{1}{\sqrt{10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 458 \cdot 10^{-12} \cdot C_{21}}}, \quad C_{21} = 45 \text{ nF}$$

$$\begin{array}{l} R_{12} = R_{32} = 10 \text{ k}\Omega \\ R_{42} = 17 \text{ k}\Omega \end{array}$$

$$Q_1 = 0.787 = \frac{1}{10^4 \cdot 17.7 \cdot 10^3 \cdot 16587 \left(\frac{1}{10^4} + \frac{1}{10^4} + \frac{1}{17.7 \cdot 10^3} \right) \cdot C_{52}}, \quad C_{52} = 1.68 \text{ nF}$$

$$\omega_0 = 16587 = \frac{1}{\sqrt{10^4 \cdot 17.7 \cdot 10^3 \cdot 1.68 \cdot 10^{-9} \cdot C_{22}}}, \quad C_{22} = 12.22 \text{ nF}$$

PROBLEM 65



$$\frac{u_{01} - u_1}{R_2} = \frac{u_1 - u_2}{R_1} = \frac{u_2 - u_{02}}{R_2}$$

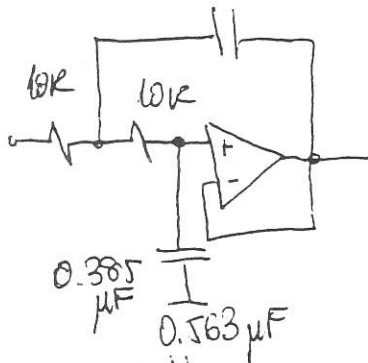
$$u_{01} = \frac{R_2}{R_1} (u_1 - u_2) + u_1$$

$$u_{02} = -\frac{R_2}{R_1} (u_1 - u_2) + u_2$$

$$u_{02} - u_{01} = (u_2 - u_1) + 2\frac{R_2}{R_1} (u_2 - u_1)$$

$$u_{01} = \frac{R_4}{R_3} (u_{02} - u_{01}) = \frac{R_4}{R_3} (1 + 2\frac{R_2}{R_1}) (u_2 - u_1)$$

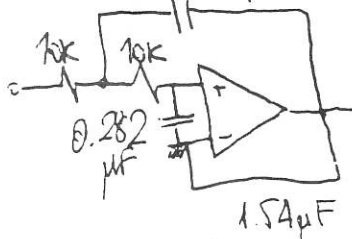
$$u_{01} = \frac{160}{5} (1 + 2\frac{75}{5}) = 992$$



$$\omega_{c1} = \frac{1}{10^4 \sqrt{0.412 \cdot 10^{-6} \cdot 0.385 \cdot 10^{-6}}} = 251.08$$

$$\xi_1 = \sqrt{\frac{0.385}{0.412}} = 0.966 \quad Q_1 = 0.517$$

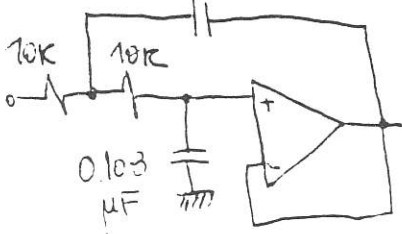
$$A_{01} = 1$$



$$\omega_{c2} = \frac{1}{10^4 \sqrt{0.563 \cdot 10^{-6} \cdot 0.282 \cdot 10^{-6}}} = 251$$

$$\xi_2 = \sqrt{\frac{0.282}{0.563}} = 0.707 \quad Q_2 = 0.706$$

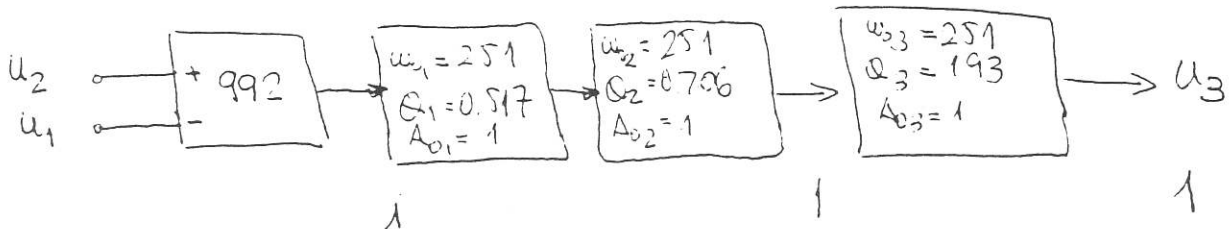
$$A_{02} = 1$$



$$\omega_{c3} = \frac{1}{10^4 \sqrt{1.54 \cdot 10^{-6} \cdot 0.103 \cdot 10^{-6}}} = 251.08$$

$$\xi_3 = \sqrt{\frac{0.103}{1.54}} = 0.258 \quad Q_3 = 1.93$$

$$A_{03} = 1$$



$$b) \quad \frac{u_3}{u_2 - u_1} = 992 \cdot \frac{1}{\left(\frac{s}{251}\right)^2 + 1.93 \left(\frac{s}{251}\right) + 1} \cdot \frac{1}{\left(\frac{s}{251}\right)^2 + 1.41 \left(\frac{s}{251}\right) + 1} \cdot \frac{1}{\left(\frac{s}{251}\right)^2 + 0.51 \left(\frac{s}{251}\right) + 1}$$

... is a Butterworth of order 6

7. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA



7. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Problema 7.1

Un determinado sistema de medida entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, incorpora un transductor con sensibilidad de $1\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ y 0 voltios a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, junto a un CAD con un margen de entrada de 0 a 10 V.

a) Si se desea una resolución de $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ¿Cual debe ser la resolución del CAD si no le precede un amplificador ?. ¿ Cual debe ser la resolución si se emplea un amplificador de ganancia 50 ?.

b) Si se hace uso de un CAD de 8 bits con el mismo margen de entrada, cual será la ganancia del amplificador necesario y la resolución del sistema, para el caso óptimo.

c) Si el transductor se encuentra alejado del sistema de adquisición, el diagrama a bloques del sistema de medida, indicando la funcionalidad de cada uno de los bloques. Considérese el efecto del de ruido.

Problema 7.2

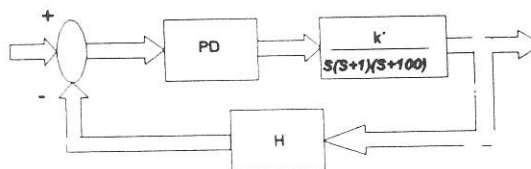
Un servosistema lineal de posicionamiento cuya salida va de $-\pi/2$ a $+\pi/2$, con señales de control de -5 V a $+5\text{ V}$ respectivamente. Con la intención de mejorar su respuesta transitoria se añade un regulador PD (proporcional-derivativo), calcular:

a) Propuesta de transductor y valor de su función de transferencia (H).

b) Diseño del amplificador de error con ganancia unitaria.

c) Diseño del regulador(PD), tomando la regla de eliminación del primer polo más próximo al eje imaginario, sin considerar el polo en el origen, en cadena abierta. El tiempo del polo del regulador es la décima parte del tiempo del cero. La salida del regulador esta normalizada a $\pm 10\text{ V}$.

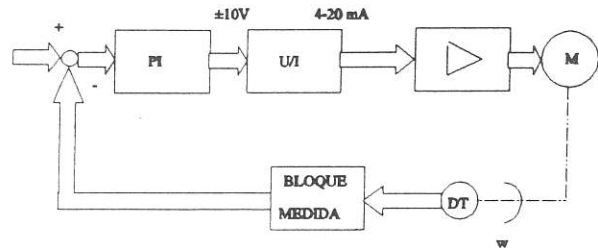
d) Análisis en frecuencia del regulador PD.



Problema 7.3

La figura representa el diagrama de bloques de un control de velocidad de un motor. Se pide:

- Diseño del regulador PI con $K = 10$ y $T_n = 0.1$ seg.
- Suponiendo que la salida del PI está limitada a ± 10 V, diseñar el bloque U/I que envía esta señal en lazo de corriente 4-20 mA, sabiendo que la impedancia de entrada del controlador del motor (etapa siguiente) es de 100 Ω .



- Diseño del bloque de medida de velocidad del motor, el cual, debe dar una tensión 0-10 V, proporcional a la velocidad del motor, y que para eliminar el ruido de la salida de la dinamo tacométrica, se hace uso de un filtro paso bajo de orden 2 de Butterworth con $f_0 = 1$ kHz.

Datos: La constante del tacómetro es de $9.55 \cdot 10^{-3} [\text{V seg/rad}]$ (componente continua de la señal).
Margen de regulación de velocidad: 1000-6000 RPM

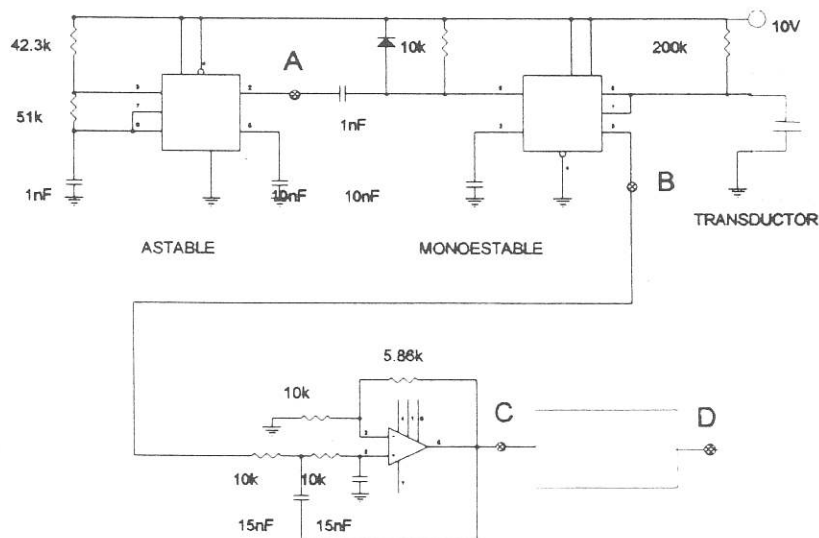
Problema 7.4

La figura representa el circuito de medida de humedad relativa mediante un sensor capacitivo. Los datos del sensor son:

50% HR ----- $C = 100$ pF

Sensibilidad ----- 3 pF/1% HR

Rango de medida ---- 50% HR a 100% HR



Se pide:

- Curva característica del sensor para el rango de medida.
- Función de transferencia del filtro.
- ¿ Que tipo de filtro es ? Los polinomios normalizados para filtros de segundo orden son:

BUTTERWORTH: $(s^2 + 1.414 s + 1)$

BESSEL : $(0.618 s^2 + 1.361 s + 1)$

TCHEBYSHEV : $(s^2 + 1.097 s + 1.102)$ (1 dB de rizado)

- Formas de onda en A,B y C acotando los valores de tiempo y nivel de la señal, si la humedad relativa es del 75 %, con una breve explicación del sistema de medida.
- Diagrama de bode del filtro paso bajo. ¿ Cual es la atenuación introducida para el primer armónico de más baja frecuencia?
- Tensión de salida en C para 50% HR y 100 %HR.
- Diseñar el bloque D para leer en la salida de éste una tensión normalizada de 0 a 10 V, en el margen de medida anteriormente señalado.

ASTABLE: $t_1 = 0.693 (R_1 + R_2) C$; $t_2 = 0.693 R_2 C$.

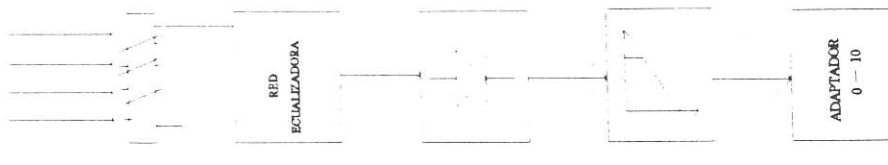
MONOESTABLE: $T = 1.0986 R (C + \frac{1}{p}C)$.

Problema 7.5

Para la medida de flujo magnético (senoidal), se utiliza un transductor inductivo basado en una bobina de 1000 espiras. La amplitud pico-pico del flujo magnético a medir, puede variar entre $0.002 \mu\text{Wb}$ y $0.2 \mu\text{Wb}$, y su frecuencia, entre 2KHz y 20KHz. Puesto que ante flujo de amplitud constante, un transductor inductivo genera una tensión que aumenta con la frecuencia, lo primero que aparece en el diagrama de bloques del sistema es una red ecualizadora que compensa este efecto. Posteriormente, se coloca un rectificador de media onda de precisión y un filtro paso bajo de 3^{er} orden, para conseguir una tensión continua proporcional a la amplitud del flujo medido. Por último, se conecta un bloque adaptador para tener una salida $0 \div 10[V]$, para los márgenes anteriormente establecidos.

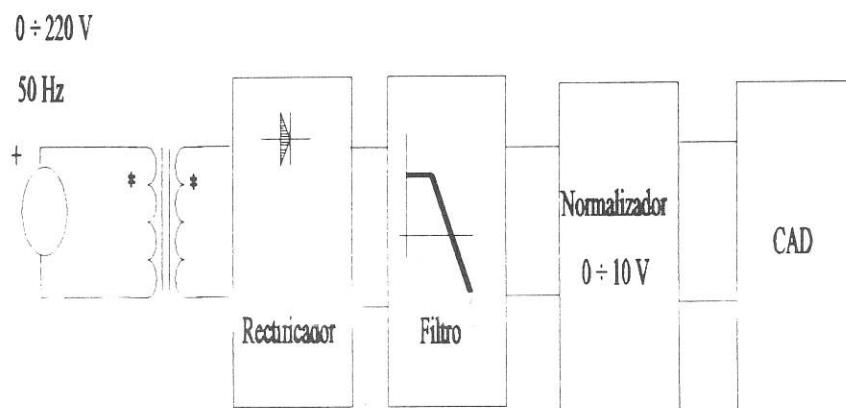
Se pide:

- Diseño de la red de ecualización
- Diseño del filtro
- Diseño del bloque adaptador



Problema 7.6

Con el objetivo de muestrear una tensión alterna sinusoidal de 50 Hz que varía entre 220 y 0 voltios eficaces, con variaciones muy lentas, se podría utilizar el siguiente diagrama a bloques:



El transformador tiene una doble función, separar eléctricamente el circuito de señal fuerte del de adquisición y en segundo lugar reducirla linealmente para ser procesada; suponiendo el uso de éste con una relación 220/6, se pide:

- a) Explicar el funcionamiento de los restantes bloques y su justificación
- b) Diseñar:
 - b.1. Circuito de rectificación
 - b.2. Filtro paso bajo, explique los criterios utilizados
 - b.3. Normalización de 0 a 10 V correspondiente al rango de medida
 - b.4. Resolución del convertidor analógico digital si se desea tener una resolución de 1V eficaz.
- c) Dibujar el esquema conjunto, indicando conexiones, valores normalizados, semiconductores comerciales,...
- d) ¿ Este montaje depende de la frecuencia de la señal a muestrear ? ¿ Y por que ?

Datos: Se dispone de una fuente de alimentación de ± 15 V



Problema 7.7

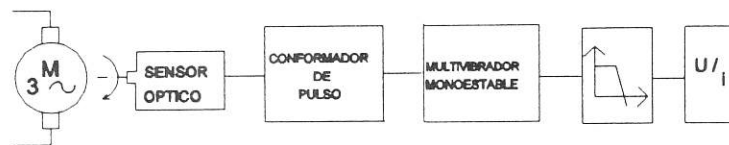
La figura representa el diagrama a bloques para la medida de revoluciones de una máquina y el envío de dicha información mediante bucle de $4 \div 20$ mA; el sensor óptico da 20 pulsos/vuelta, con un período de $10 \mu\text{s}$ y una amplitud de 5 V.

Se pide diseñar cada uno de los elementos del diagrama.

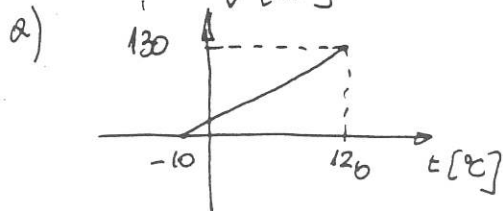
Datos:

$$\omega_{\min} = 500 \text{ RPM}$$

$$\omega_{\max} = 3000 \text{ RPM}$$



PROBLEMA 7.1



$$\text{margen de la señal} = \frac{120^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})}{0.5} = 260$$

$$\left. \begin{array}{l} 10\text{V} \longrightarrow n' \\ 0.13 \longrightarrow 260 \end{array} \right\} n' = \frac{260 \cdot 10}{0.13} = 20.000$$

$$2^n = 20.000 ; \quad n = 14.28$$

Con un amplificador de ganancia 50

$$\left. \begin{array}{l} 10\text{V} \longrightarrow n' \\ 6.5\text{V} \longrightarrow 260 \end{array} \right\} n' = \frac{10 \cdot 260}{6.5} = 400 ; \quad 400 = 2^n$$

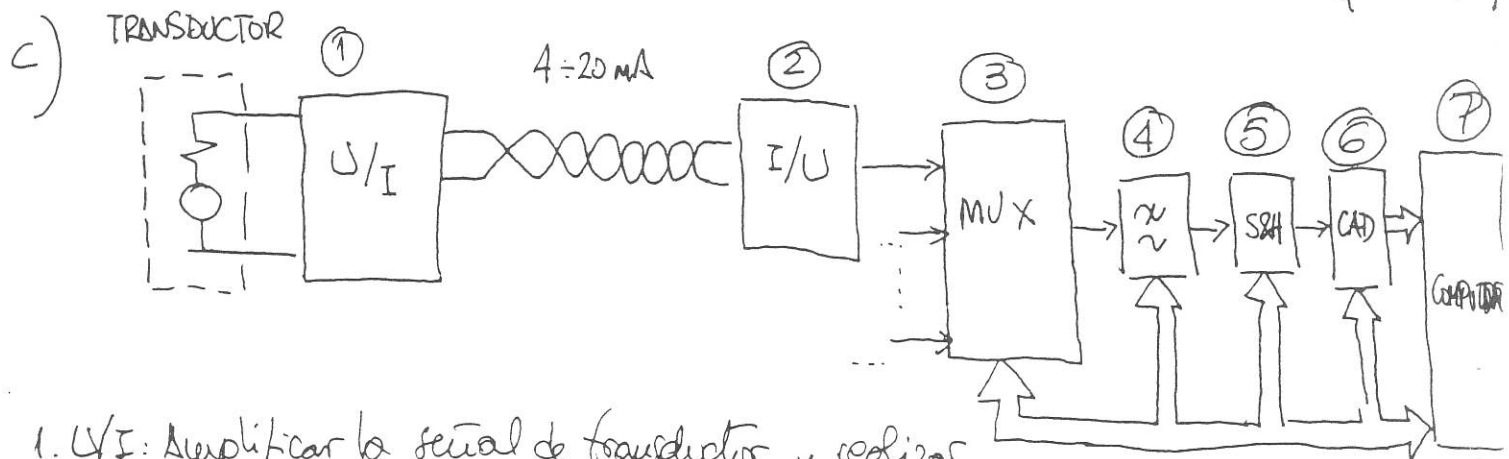
$$n = 8.64$$

(punto 2.5)

b)

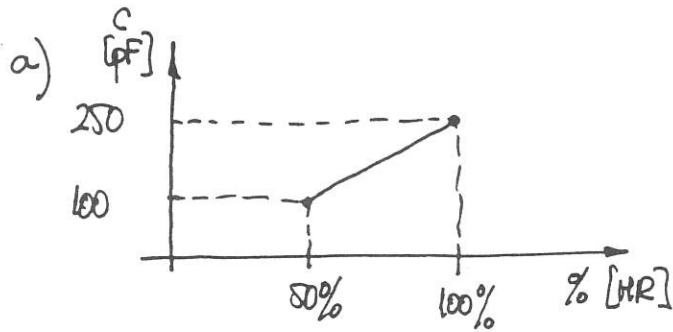
$$A = \frac{u_s}{u_e} = \frac{10}{0.13} = 76.9 \quad \text{LSB} = \frac{130}{2^n} = 0.5 (^{\circ}\text{C}/\text{LSB})$$

(puntos 2.5)



1. U/I: Amplificar la señal de transductor y realizar un lazo de corriente (4-20 mA), con torsión de cable
2. I/U normalizar la señal de salida con el mismo margen de entrada que el CAD (0-10 V). Uso de estructura de multiplexación a alta señal
3. Multiplexación analógica
4. Filtro paso bajo
5. Sample & Hold
6. CAD
7. Computador.

PROBLEMA 7.4



$$C = C_0 + S \cdot HR$$

$$C = 100 \text{ [pF]} + 3 \left(\frac{\text{pF}}{\%} \right) \cdot HR$$

$$50\% \leq HR \leq 100\%$$

b)

$$F(s) = \frac{K}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + \frac{1}{Q} \left(\frac{s}{\omega_0}\right) + 1}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_1 = R_2 = R \\ C_1 = C_2 = C \end{array} \right\} \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{RC} = \frac{1}{15 \cdot 10^{-9} \cdot 10 \cdot 10^3} = 6666,6 \rightarrow f = 1061 \text{ [Hz]}$$

$$\frac{1}{Q} = 3 - K = 3 - \left(1 + \frac{5.86}{10}\right) = 1.414$$

c)

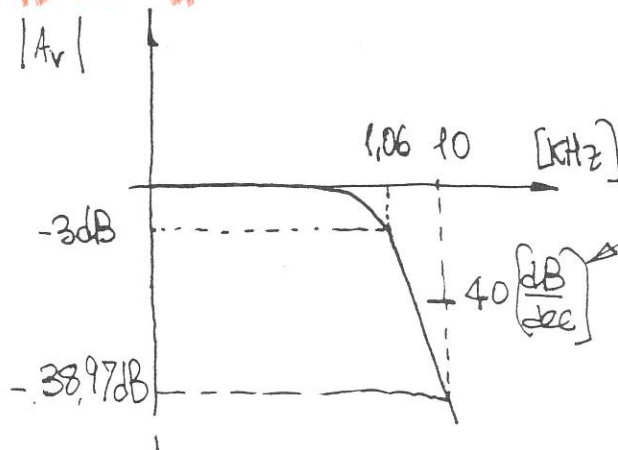
$$F(s) = \frac{1.586}{\left(\frac{s}{6666,6}\right)^2 + 1.414 \left(\frac{s}{6666,6}\right) + 1} \Rightarrow \text{Filtro de 2º ordem de Butterworth}$$

e)

$$T_{\max} = T_{\min} = t_1 + t_2 = 64,65 \mu\text{s} + 35,34 \mu\text{s}$$

$$T_{\max} = 100 \text{ [}\mu\text{s]} \rightarrow f = 10 \text{ [kHz]}$$

$$A_v \Big|_{f=10 \text{ kHz}} = -40 \text{ [dB/dec]} \cdot \log \frac{10}{1.061} \text{ [dec]} = -38.97 \text{ [dB]}$$



Por ser filtro de Butterworth (aproximadamente)

d)

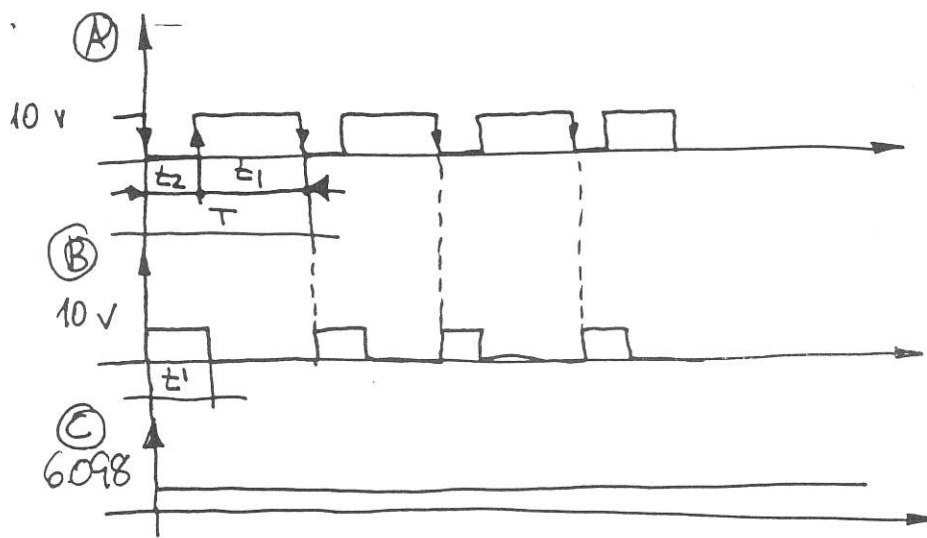
$$t_1 = 0.693 \cdot (42.3 \cdot 10^3 + 51 \cdot 10^3) \cdot 10^{-9} = 64,65 \mu\text{s}$$

$$t_2 = 0.693 \cdot 51 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} = 35,34 \mu\text{s}$$

$$T = t_1 + t_2 = 100 \mu\text{s}$$

$$t' = 1.0986 R (C + \Delta C) = 1.0986 \cdot 200 \cdot 10^3 (100 + 3.25) \cdot 10^{-12} = 38,45$$

$$\bar{U} = U_{\max} \frac{t'}{T} = 10 \cdot \frac{38.45}{100} \cdot 1.58 = 6.098 \text{ [V]}$$



El astable genera una onda rectangular que actúa como elemento disparador del monoestable. En los flancos descendentes de la señal de salida del astable, provocará una temporización, que es proporcional a la HR, en el monoestable. El filtro pasa bajo solo permitirá el paso del valor medio de la señal en el punto B hacia el C. El valor continuo de C es proporcional a la HR, pues

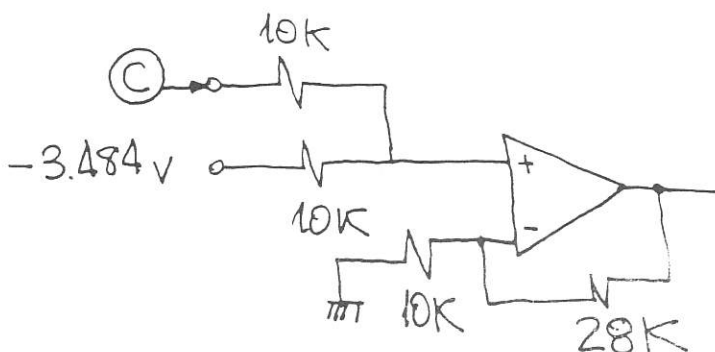
$$\bar{U} = U_{max} \frac{t_1}{T} = U_{max} \frac{1.0986 R (C + \Delta C)}{T} \cdot k_f \left| \begin{array}{l} U_{max} \text{ es de } \\ T \text{ es de } \\ K_f \text{ es de } \end{array} \right.$$

f)

$$\bar{U}_{(50\%)} = 10 \frac{1.0986 \cdot 200 \cdot 100 \cdot 10^{-9}}{100 \cdot 10^{-6}} \cdot 1.586 = 3.484 \text{ [V]}$$

$$\bar{U}_{(100\%)} = 10 \frac{1.0986 \cdot 200 \cdot 250 \cdot 10^{-9}}{100 \cdot 10^{-6}} \cdot 1.586 = 8.71 \text{ [V]}$$

g)



$$10 = \left(1 + \frac{R_{A2}}{R_{A1}}\right) \frac{1}{2} (8.71 - 3.484)$$

$$1 + \frac{R_{A2}}{R_{A1}} = 3.82$$

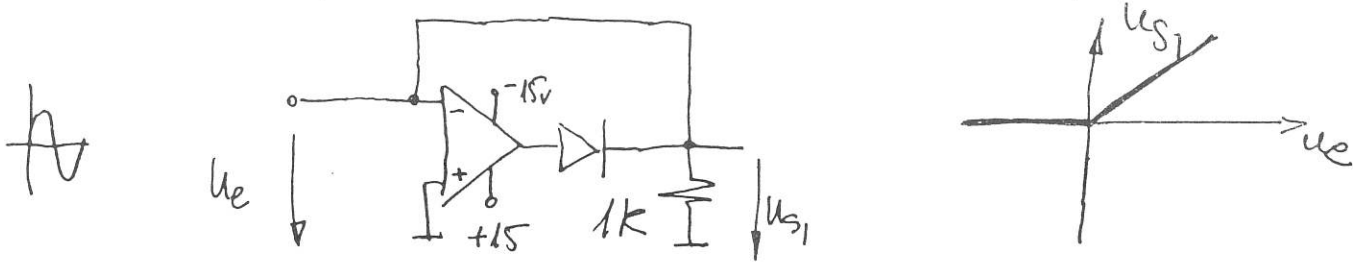
PROBLEMA 7.6

- 2) 1. Rectificación: Con el objetivo de solo tener que mostrar una componente continua y que sea representativo del valor eficaz de la señal senoidal, al realizar una rectificación (media o doble onda) es conocido que el valor medio de esta señal procesada está ligada al valor eficaz de la señal completa:



- Se utilizará una rectificación a media onda, primero porque se tiene un transformador de una única toma (sin toma intermedio) y dos porque es más económico. Por otro lado, será necesario emplear un circuito de rectificación a media onda de precisión para evitar el efecto de caída de tensión del diodo.
2. Habrá que utilizar un filtro paso bajo que sea capaz de eliminar todas las componentes excepto el coeficiente a_0 de Fourier (componente continua). Además requiere que la banda pasante sea regular pues ésta va a ser mostrada.
 3. El bloque normalizador tendrá como objetivo adaptar el rango de medida al utilizado por el convertidor, en este caso $0 \div 10V$ que deberá coincidir con $0 \div 220V$.
 4. CAD: Muestreo de la señal, conversión de variable analógica a variable discreta.

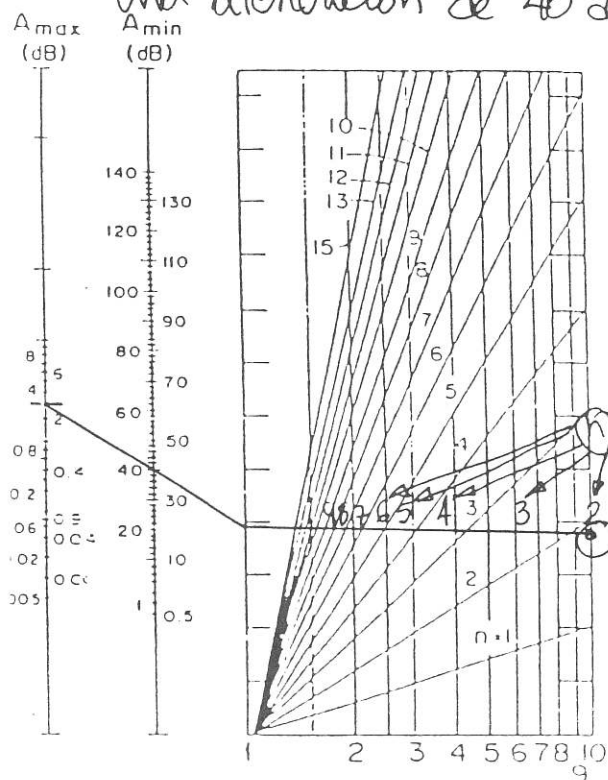
b) b.1 Rectificación a media onda y de precisión



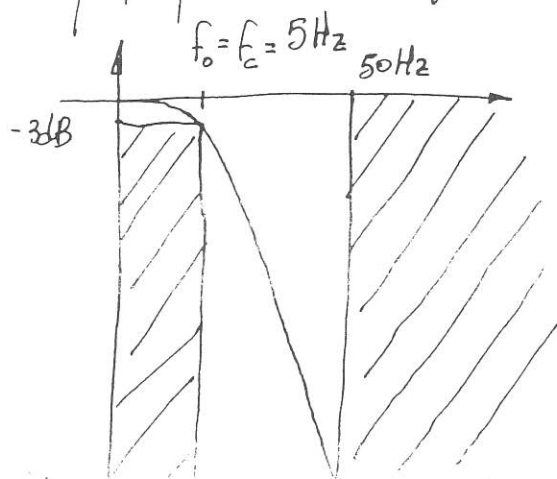
No requiere de amplificación, además si se amplificara la señal podría llegar a saturar el A.O

b.2 Al ser un filtro que además de obtener una única componente también se muestra, lo mejor es emplear un filtro de Butterworth y desde el punto de vista práctico es más fácil de asegurar su funcionamiento.

La frecuencia de la banda supresora empezara a 50Hz, por tener el armónico fundamental a esta frecuencia. De utilizar Butterworth se tiene que $A_{max} = 3dB$, luego si consideramos una atenuación de 40 dB y entrando en tablas el valor del grado del polinomio sera de $n \geq 2$, por lo que se toma $n=2$ por cuestiones económicas; resultara una selectividad del filtro de $K = 1/10$.



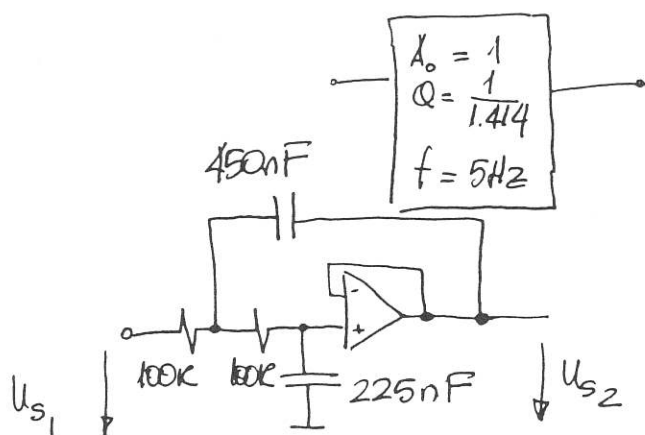
Esta solución viene dada también pues se indica que las variaciones de tensión son muy pequeñas, condegnado



$$A_N(s) = \frac{1}{s^2 + 1.414s + 1}$$

$$s \rightarrow \frac{s}{2\pi \cdot 5}$$

$$G(s) = \frac{1}{\left(\frac{s}{10\pi}\right)^2 + 1.414\left(\frac{s}{10\pi}\right) + 1}$$



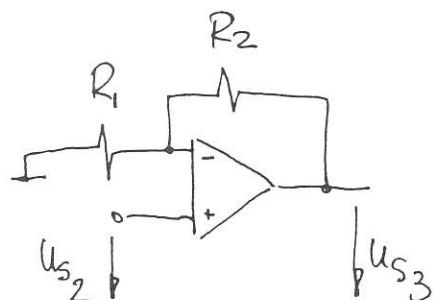
$$C_2 = \frac{1}{0.707 \cdot 2\pi \cdot 5 \cdot 10^5} = 450 \text{ nF}$$

$$C_4 = \frac{0.707}{10\pi \cdot 10^5} = 225 \text{ nF}$$

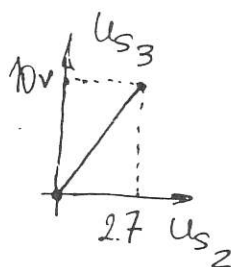
$$R = 100 \text{ (k}\Omega\text{)}$$



$$0 \leq u_{s2} \leq 2.69$$



$$\frac{u_{s3}}{u_{s2}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = \left(1 + \frac{10}{3.69}\right) = \frac{10}{2.7}$$

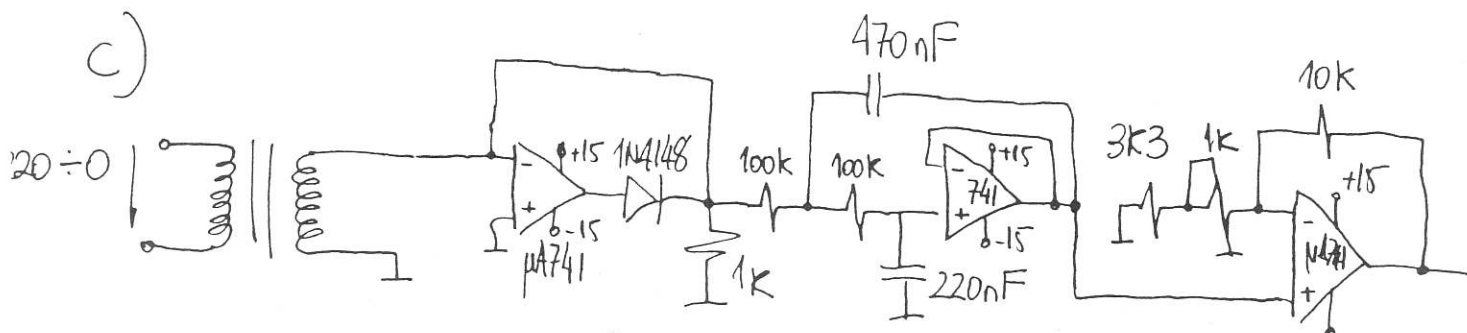


b.4

$$n^\circ \text{ de escalones (valores discretos)} = \frac{220 - 0}{1} = 220$$

$$220 = 2^n \rightarrow n = 8$$

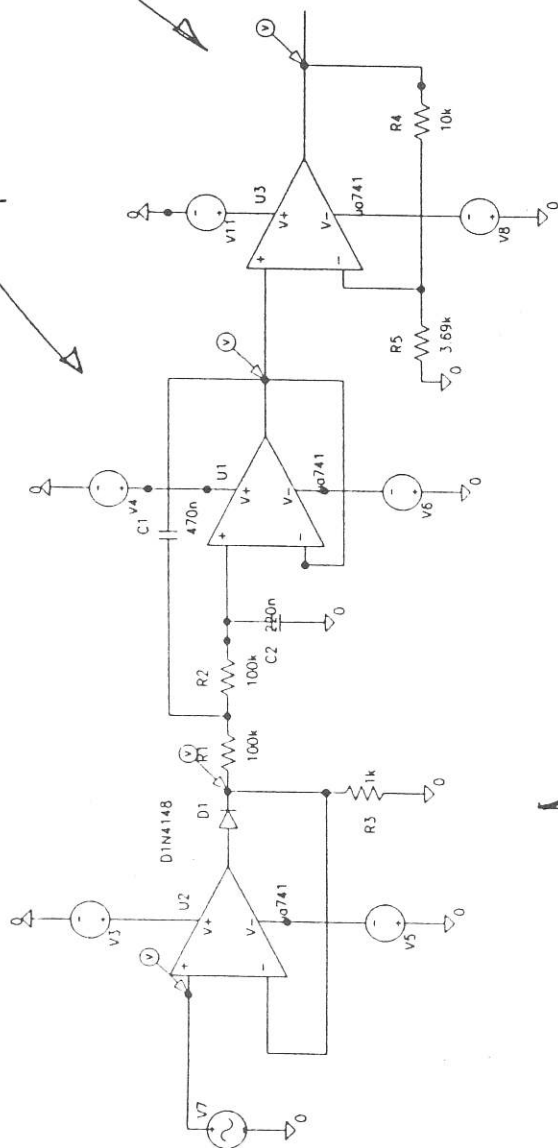
c)



d) Si la señal aumenta su frecuencia, el resultado será mucho mejor, pues el ruido disminuirá y en este caso no importa. El inconveniente es si disminuye la frecuencia de la señal de entrada, es decir,

filtro de Butterworth

Normalizador



rectificador de precisión

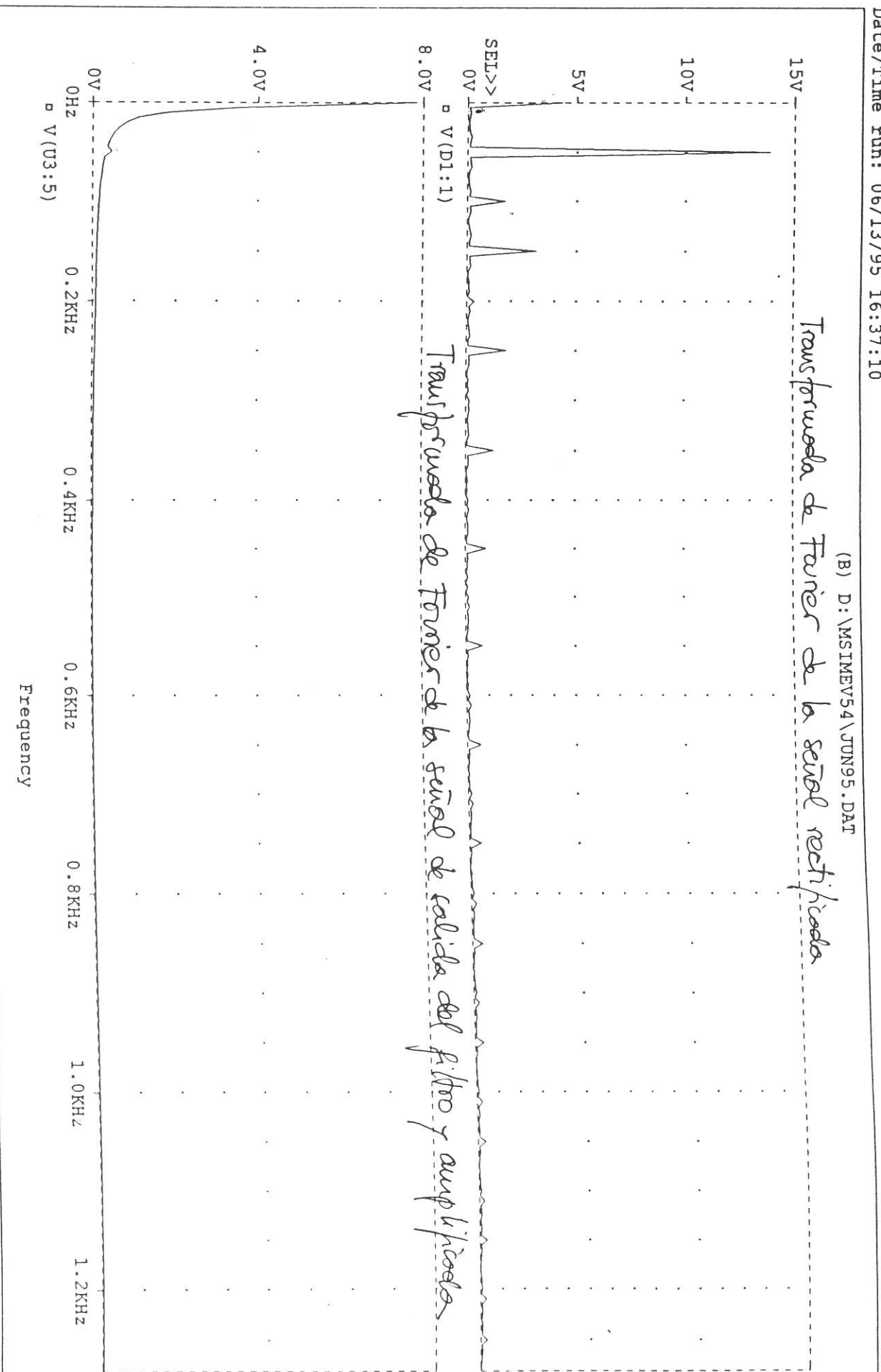
Date/Time run: 06/13/95 16:37:10

* D:\MSIMEV54\jun95.sch

Temperature: 27.0

(B) D:\MSIMEV54\JUN95.DAT

Transformada de Fourier de la señal rectificada

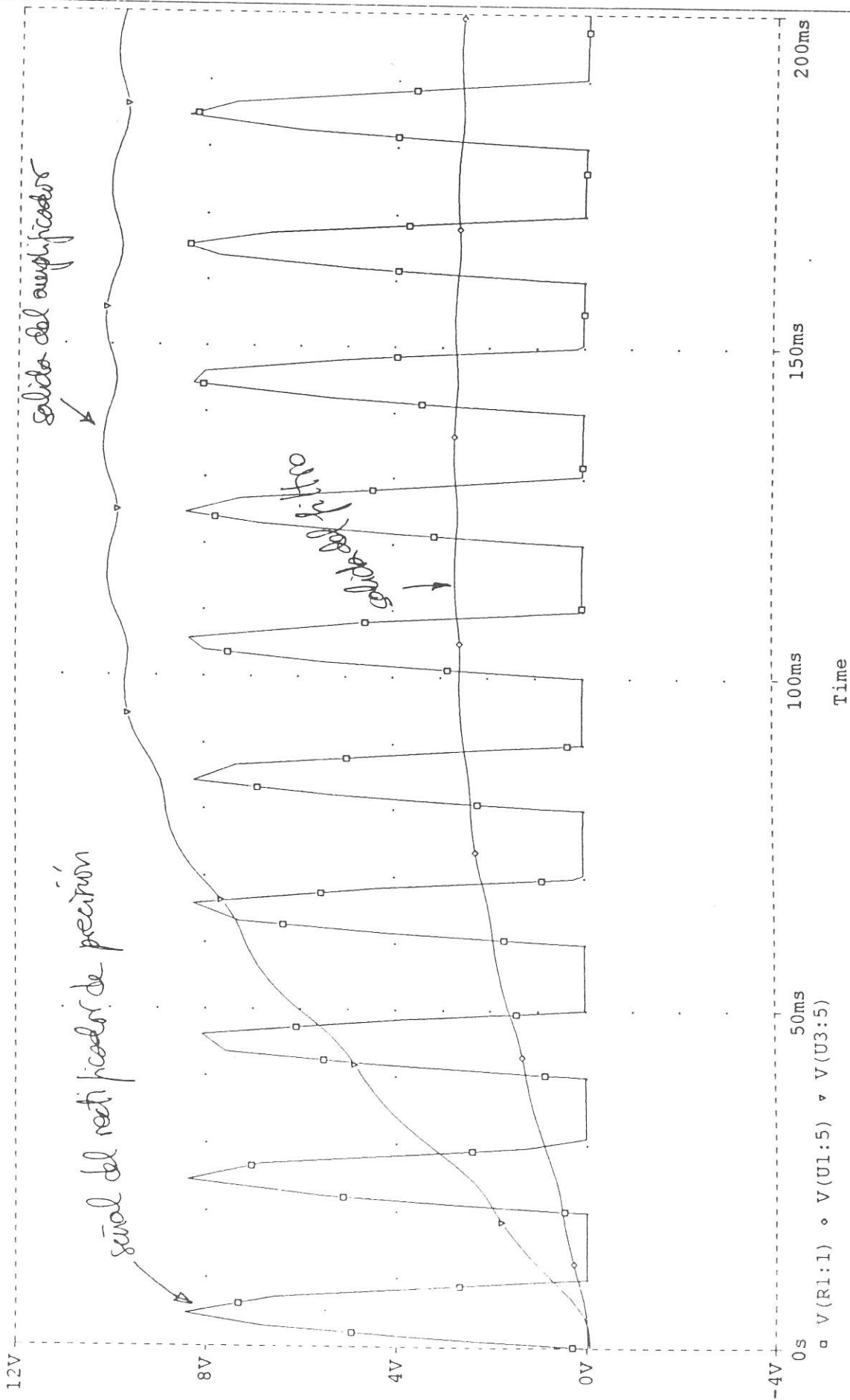


Date: June 13, 1995

Page 1

Time: 16:44:40

(B) D:\MSIMEV54\JUN95.DAT



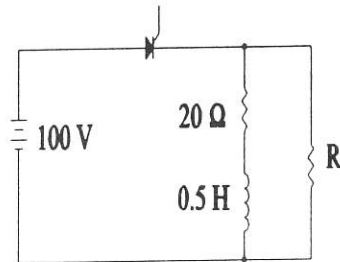
8. ELECTRÓNICA DE POTENCIA



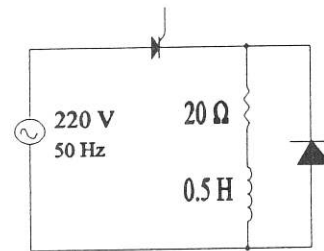
8. ELECTRÓNICA DE POTENCIA**Problema 8.1**

(Resuelto)

a) El tiristor de la figura tiene una corriente de enclavamiento de 50 mA y se dispara mediante un impulso de 50 μ s de duración. Demostrar que sin la resistencia R el tiristor dejara de conducir una vez terminado el impulso. Calcular el máximo valor de R que asegure un encendido permanente del tiristor.

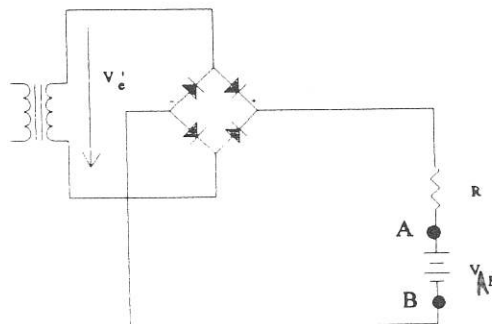


b) Representar la forma de onda en tensión y en corriente en la carga si se dispara de forma segura el tiristor con un ángulo de control de 30°, indicando los valores. Calcular la potencia entregada a la carga

**Problema 8.2**

Un cargador de baterías consiste en un circuito como el indicado en la figura. En éste existe una resistencia limitadora, R_L de valor 1 Ω , que queda en serie con la batería a cargar, la cual se conecta entre los puntos A y B. Calcular:

- Corriente media de carga para $U_B = 11V$
- Forma de onda de la corriente para $U_B = 12V$ (indíquense valores máximos y medios)



Datos $\Rightarrow$ $U_e' = 30V$ (eficaces)
 $R = 1\Omega$

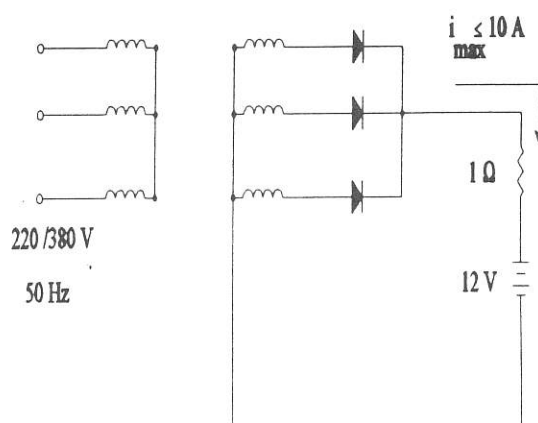
Nota: Considérense a los diodos y el transformador ideales.



Problema 8.2

Considerando el siguiente cargador de batería trifásico conectado a una red 220/380 V y con una corriente máxima instantánea de carga de 10 A, calcular:

- Relación de transformación para una carga óptima de batería de 12 V.
- Ángulo de conducción de cada diodo
- Forma de tensión y corriente en la carga, acotando valores máximos, mínimos, medios y así como los ángulos de conducción.
- Tiempo necesario de carga de la batería, si es de 100 Ah
- Calculo de la resistencia térmica del disipador para cada diodo, conociendo que la temperatura ambiente esta entre 30 y 45 °C, la temperatura máxima en la unión no puede alcanzar los 100 °C y la resistencia térmica entre unión-encapsulado ($R_{\theta jc}$) es de 2 °C/W.



• Problema 8.5

Un rectificador de media onda trifásico controlado alimenta una carga de 10 kW desde la red 220/380. Calcular:

- Dibujar forma de onda de tensión y corriente en la carga, suponiendo que la carga es puramente resistiva y con un ángulo de disparo de 60°. Indicando los valores máximos, mínimos y medios de tensión y corriente.
- Lo mismo que en el apartado a) pero si la carga es marcadamente inductiva.
- Valor medio de la tensión en la carga en ambos casos.
- ¿ Para que valores del ángulo de disparo se obtendrá el mismo valor en los dos supuestos anteriores ?
- Componentes resistivas de cada una de las cargas.

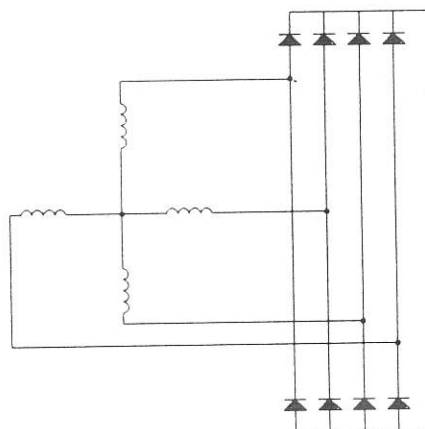
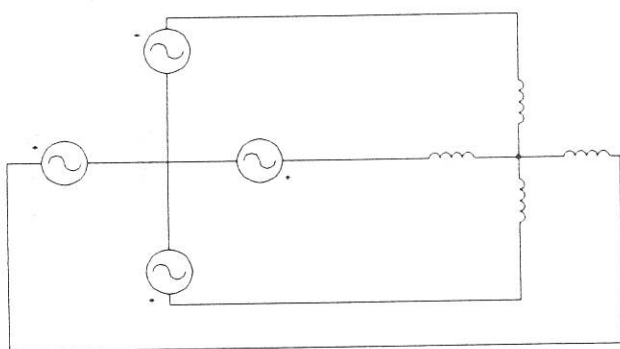


• Problema 8.3

Partiendo de una distribución tetrafásica de 100 V de fase, se ha colocado un transformador estrella-estrella con un rectificador en puente, para alimentar en CC una carga marcadamente inductiva que requiere una tensión de 10 V en continua y disipa una potencia de 10 kW.

Se pide:

- 1) Dibujar la forma de la señal *de entrada* ^{en la carga}
- 2) Calcular la relación de transformación
- 3) Calcular la tensión máxima inversa soportada por los diodos
- 4) Forma de la corriente por los diodos de una misma rama
- 5) Forma de la corriente de línea en el secundario
- 6) Calcular la potencia disipada por cada diodo



Problema 8.6

Un rectificador trifásico de media onda controlado se conecta a la red de 220/380 V. La carga es inductiva con un ángulo de fase de $\psi = 15^\circ$. El ángulo de disparo de los SCR se ajusta con un retardo de $\alpha = 60^\circ$, respecto del punto en que se igualan las tensiones de fase. Se pide:

- a) Forma de onda de la tensión en la carga
- b) Valor medio de la tensión en la carga
- c) Forma de onda de la intensidad en la carga, "i".
- d) Forma de onda de la tensión en la carga, si se conecta un diodo de libre circulación.
- e) Valor medio de la tensión en la carga con diodo de libre circulación.



Problema 8.7

El esquema muestra un interruptor estático con dos SCR, se pide el estudio del circuito siguiendo los apartados:

a) En el estado inicial el condensador está descargado y los tiristores apagados

1. Corriente por la carga
2. Tensión en los tiristores
3. Tensión en el condensador

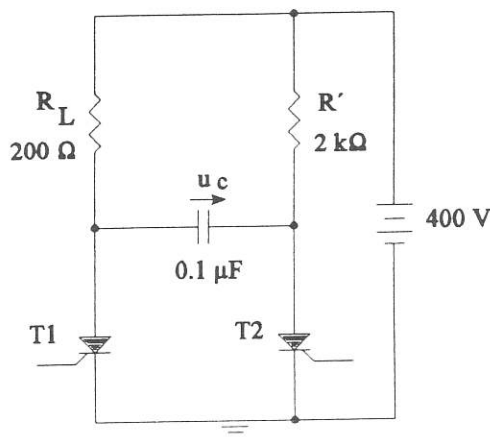
b) Se dispara T1

1. Evolución temporal de la tensión en el condensador
2. Corriente en la carga, R_L , y en R' en el régimen permanente

c) Se dispara T2

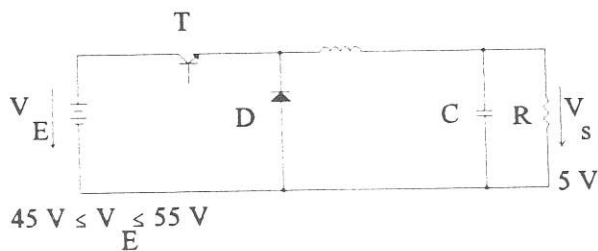
1. ¿ Que sucede con T1 ? ¿ Por que ?
2. Evolución temporal de la tensión en el condensador
3. Corriente por R_L y R' en el régimen permanente

d) funcionamiento del circuito

**Problema 8.8**

Para el convertidor reductor representado en la figura, alimentado por una tensión de entrada (V_E) que oscila entre los 45 V y los 55 V, del que se suponen que los componentes son ideales y los elementos reactivos son suficientemente grandes, y admitiendo que el lazo de control garantiza una $V_s = 5V$ en la carga, consumiendo 100 W. Calcular para los semiconductores:

- a) Valor máximo de tensión.
- b) Valor medio de corriente máximo.
- c) Valor máximo de corriente.

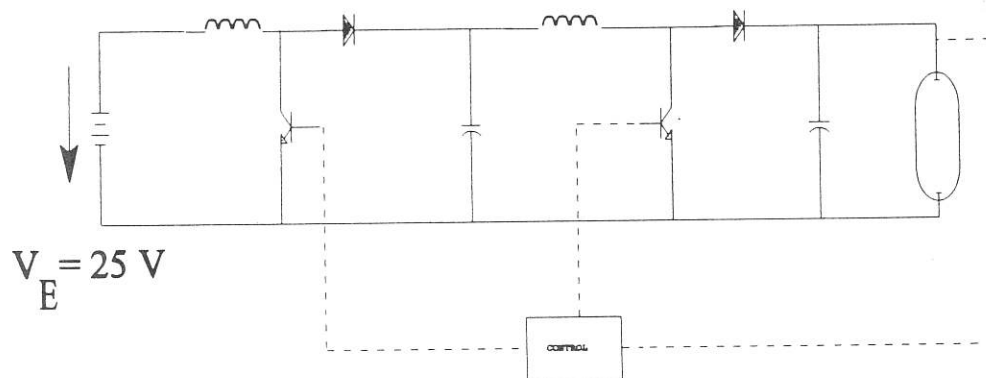


Problema 8.9

Un TWT (travelling Wave tube) es un dispositivo termoiónico para la emisión de microondas. Uno de estos dispositivos precisa de una alimentación de 1000 V de tensión en continua y consume 100 W. Para conseguir una correcta alimentación del tubo, caben dos posibilidades:

- 1) disponer de un único convertidor elevador
- 2) disponer de dos convertidores elevadores, colocados en cascada, gobernados por el mismo control.

Suponiendo ideales todos los elementos. Se pide hacer un estudio completo de tensiones y corrientes máximas en los semiconductores de ambas soluciones y establecer ventajas e inconvenientes de ambos.

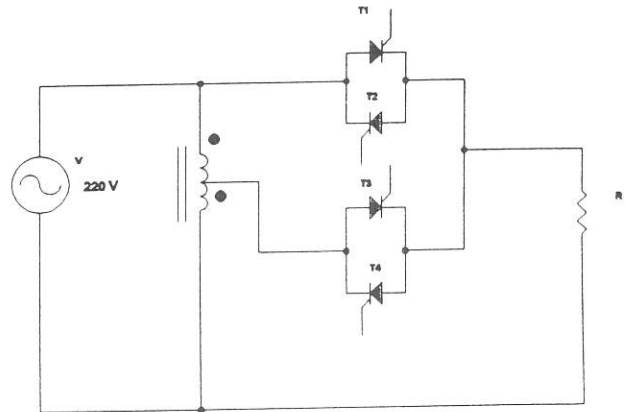


NOTA: Para simplificar los elementos reactivos son suficientemente grandes.



Problema 8.10

El circuito de la figura tiene como misión efectuar un control de la potencia alterna suministrada a la carga por un sistema mixto de "control de fase" y "transformador con toma intermedia". Cuando se desea obtener en la carga una tensión comprendida entre 220 y 110 voltios se trabaja con los tiristores T_1 y T_2 y cuando la tensión a obtener es menor de 110 voltios, trabajan los tiristores T_3 y T_4 . Sabiendo que la carga es resistiva pura, se pide:



- Valor máximo del ángulo de control en los tiristores T_1 y T_2 .
- Dibujar las formas de onda de la tensión en los cuatro tiristores para una tensión en la carga comprendida entre 220 y 110 voltios eficaces

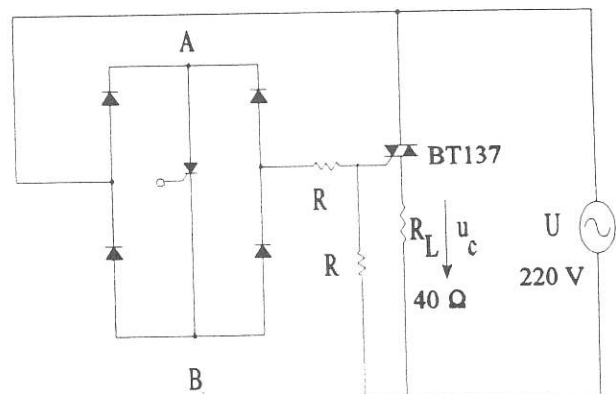
Problema 8.11

1) Considerando que no se dispara el tiristor, funcionamiento del sistema, formas de onda de tensión y corriente en los puntos AB, TRIAC y en la carga R_L e indicando valores.

2) Lo mismo que en el apartado anterior si se dispara el tiristor por paso por cero de la señal de entrada

3) Determinar el disipador para el triac a colocar si hay una temperatura ambiente máxima de 40°C .

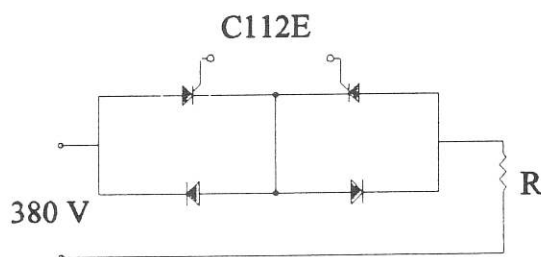
NOTA: El valor de las R son tal que permiten disparar al triac en las condiciones oportunas.



Problema 8.12

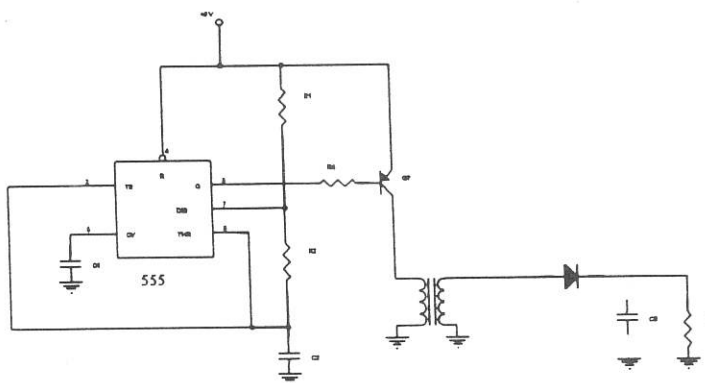
Un horno eléctrico monofásico cuyo equivalente eléctrico no tiene componente inductivo, se alimenta a la red alterna de 380 V, a través de un regulador de alterna como aparece en la figura. Cuando el regulador entrega la máxima potencia a la carga, ésta vale 2660 W. Si el ángulo de control varía entre 0° y 60° , calcular:

- 1) Resistencia térmica del radiador a utilizar en los SCR a 40° de temperatura ambiente
- 2) Formas de onda de tensión y corriente para 60° en los semiconductores.
- 3) Si se quiere suministrar una potencia mitad de la máxima, ¿Cuál sería el valor de α ?
- 4) Pérdidas en los SCR's para este α .

**Problema 8.13**

Para el circuito elevador de cc de la figura, se pide:

- a) Funcionamiento del montaje
- b) Diagrama a bloques
- c) Cronograma en el punto A, B y C (tensión/tiempo)
- d) Relación de transformación para mantener 60 V en cc.
- e) Valores de corriente máxima por el transistor y el diodo.
- f) ¿Que sucede si se le coloca el condensador C_3 de alta capacidad?

**Datos**

$$R_1 = R_4 = 1\text{ k}\Omega; R_2 = 33\text{ k}\Omega; R = 10\Omega;$$

$$C_1 = 100\text{ nF}; C_2 = 22\text{ nF}$$

$$\text{ASTABLE: } t_1 = 0.693(R_A + R_B)C; t_2 = 0.693 R_B C$$



Problema 8.14

El esquema de la figura A corresponde con un inversor en medio puente, al que se le aplica un control tal como se indica. Sabiendo que la carga tiene un τ (L/R) de 1 ms y una R de 100Ω .

a) Forma de tensión y corriente en la carga A-B, acotando los valores e indicando por cual semiconductor circula la corriente.

b) ¿ Que tipo de control habrá de realizar sobre los semiconductores para obtener la señal de la figura B con un frecuencia de 25 Hz ?

Nota: Considérese que existe un circuito de bloqueo para cada tiristor

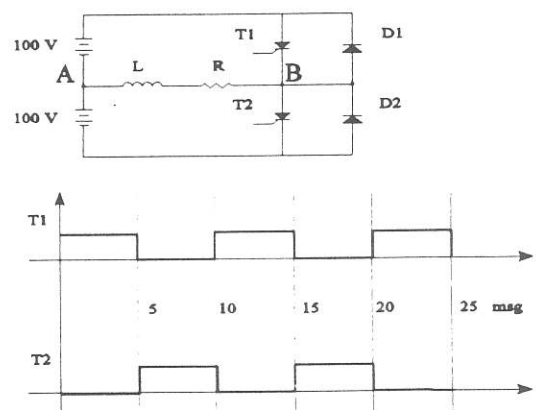


figura A

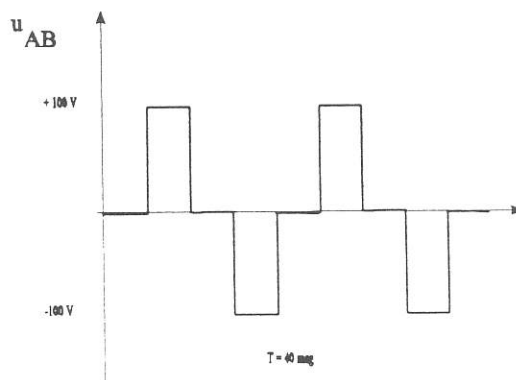


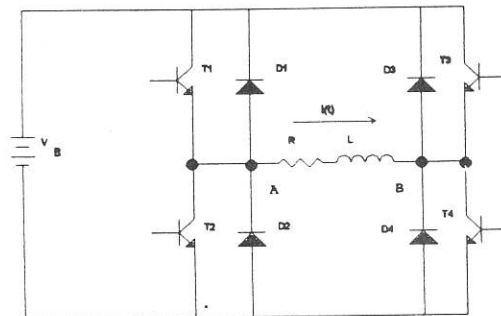
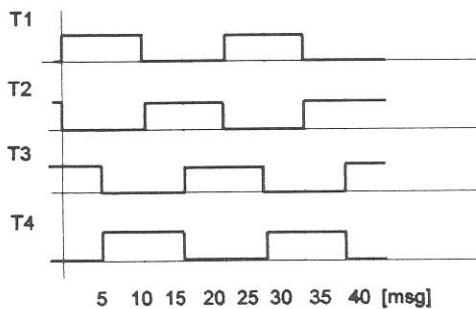
figura B



Problema 8.15

Un inversor en puente con transistores alimenta una carga RL. Suponiendo que los impulsos de gobierno en base de los transistores sean los representados en la figura, determinar:

- Forma de onda de tensión en la carga, u_{AB} .
 - Forma de onda de la corriente en la carga, i .
 - Períodos de conducción de diodos y transistores entre los 5 [msg] y los 40 [msg]
- dato: $L/R = 1$ mseg



PROBLEMA 8.1

$$a) \quad i(t) = I_0 (1 - e^{-t/\tau})$$

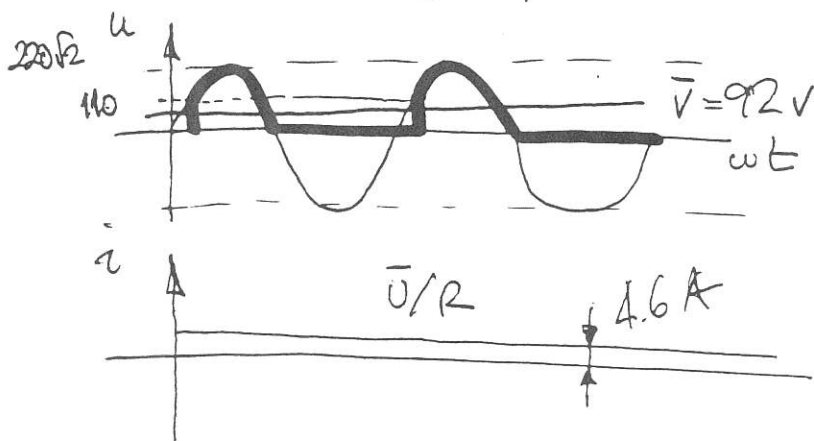
$$I_0 = \frac{U_c}{R} = \frac{100}{20} = 5 \text{ (A)}$$

$$\tau = \frac{0.5}{20} = \frac{1}{40} \text{ [sg]}$$

$$\left. \begin{array}{l} i(50 \cdot 10^{-6}) = 5(1 - e^{-40 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}) \\ i(50 \cdot 10^{-6}) = 10 \text{ mA} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{luego no se puede} \\ \text{activar el tiristor} \end{array}$$

$$R \leq \frac{U_c}{I_H} = \frac{100}{50 \cdot 10^{-3}} = 2 \text{ k}\Omega$$

$$b) \quad \varphi = \arctan \frac{\omega L}{R} = 82.74^\circ \rightarrow \text{carga muy inductiva}$$



$$\bar{U} = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/6}^{\pi} U_{\max} \sin \omega t dt = \frac{U_{\max}}{2\pi} \left(1 + \cos \frac{\pi}{6} \right)$$

$$\bar{U} = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 92 \text{ (V)}$$

$$P = 92 \cdot 4.6 = 422.4 \text{ (W)}$$

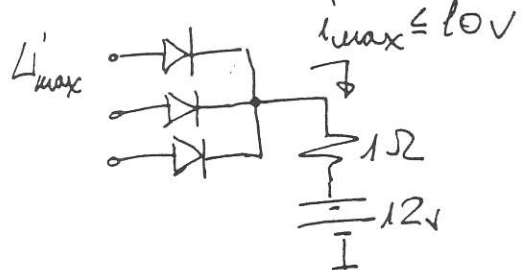
PROBLEMA 8.3

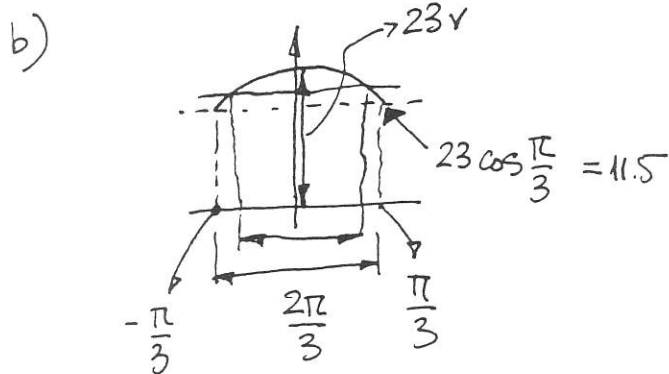
a)

$$i_{\max} = \frac{U_{\max} - U_B}{R}; \quad U_{\max} = U_B + i_{\max} \cdot R$$

$$U_{\max} = 12 + 10 \cdot 1 = 22 \text{ V}$$

$$U'_{\max} = U_{\max} + U_{AK} = 23 \text{ V}$$

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220\sqrt{2}}{23}$$


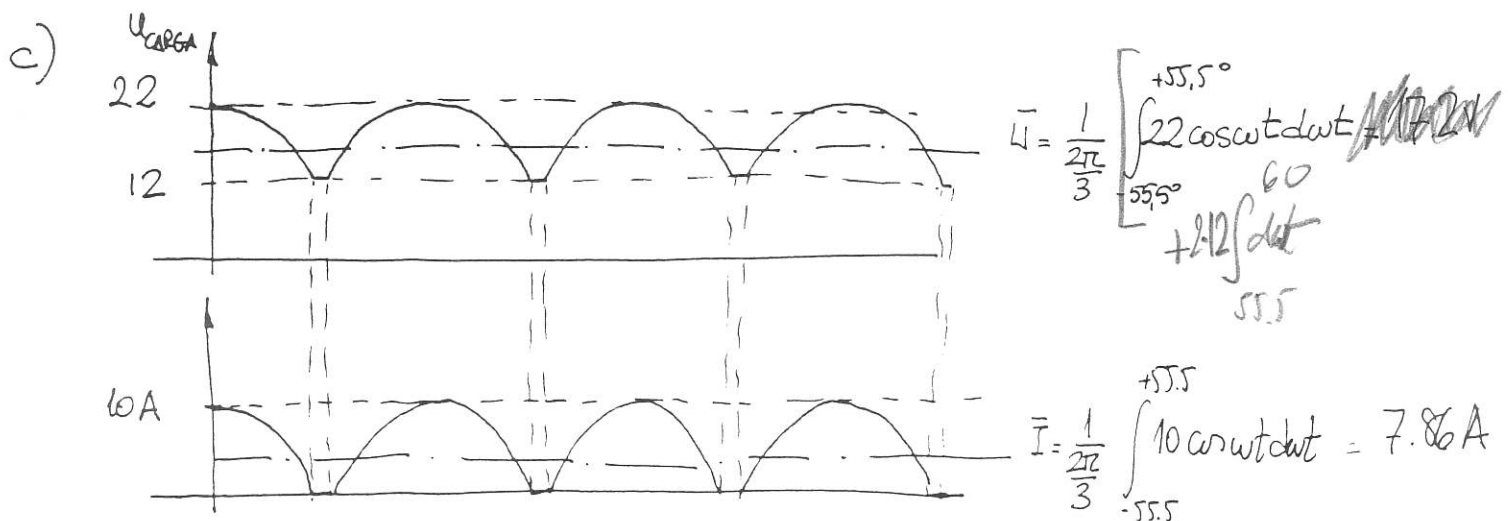


No puede llegar a los 11.5
pues antes habrá dejado de
conducir. El diodo dejará de
circular cuando:

$$23 \cos \alpha = 12 + 1$$

$$\alpha = \arccos \frac{13}{23} = 55.5$$

El ángulo de conducción de cada diodo es de 111°



d)

$$Q = \bar{I} \cdot t; \quad t = \frac{Q}{\bar{I}} = 12.7 \text{ h}$$

e)

$$P_{AK} = \frac{\bar{I}}{3} \cdot U_{AK}$$

$$T_i - T_{\max} = P_{AK} \cdot (R_{\theta jc} + R_{\theta ja})$$

$$100^\circ - 45^\circ = 2.62 \text{ W} (2^\circ/\text{W} + R_{\theta ja})$$

$$R_{\theta ja} = 19 [^\circ/\text{W}]$$

PROBLEMA 88

a) $U_{Dmax} = U_{Smax} = 55 \text{ (V)}$

$$U_{Tmax} = U_{Smax} = 55 \text{ (V)}$$

b) $\bar{I}_T = d \bar{I}_L = d \frac{U_S}{R} ; I_{Tmax} = d_{max} \frac{U_S}{R}$

$$\left. \begin{aligned} d_{max} &= \frac{U_S}{U_{emin}} = \frac{5}{45} = 0.11 \\ R &= U_S^2 / P = 0.25 (\Omega) \end{aligned} \right\} \bar{I}_{Tmax} = 0.11 \cdot \frac{5}{0.25} = 2.2 \text{ [A]}$$

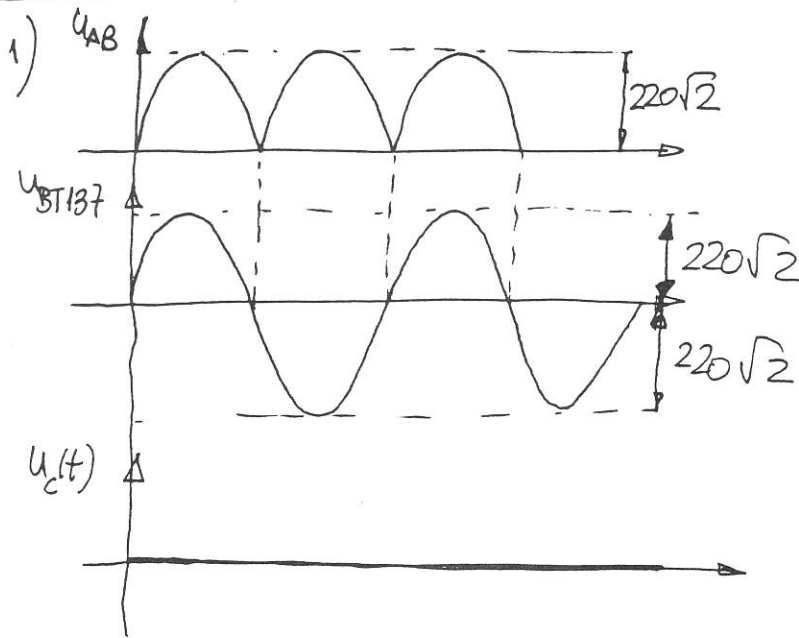
$$\bar{I}_D = (1-d) \bar{I}_L = (1-d) \frac{U_S}{R} ; I_{Dmax} = (1-d_{min}) \frac{U_S}{R}$$

$$d_{min} = \frac{5}{55} = 0.0909 ; I_{Dmax} = 18.18 \text{ [A]}$$

c) $\left. \begin{aligned} i_{Tmax} &\approx I_L = 100/5 = 20 \text{ A} \\ i_{Dmax} &\approx 20 \text{ A} \end{aligned} \right\} i_L(t) - i_L(0) = \frac{U_e - U_S}{L} t_1$

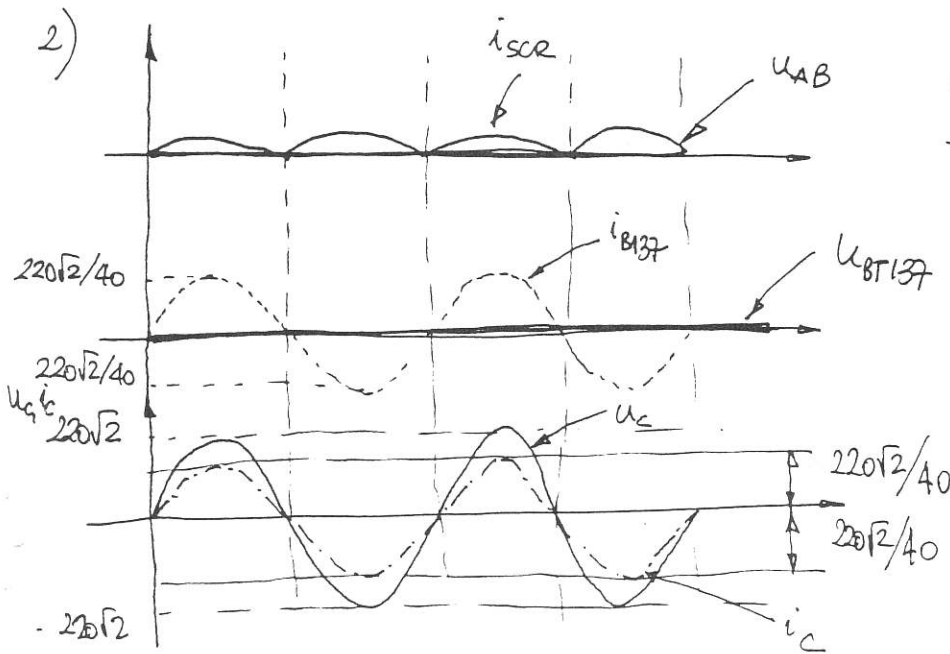
$\nwarrow$ Si $L \gg \phi \rightarrow i_L(t) \approx i_L(t_0)$

PROBLEMA 8.11



El conjunto de los cuatro diodos y el tiristor constituyen un interruptor bidireccional, mientras no se dispare el SCR no hay circulación de corriente por las R's y no se dispara el triac. Obsérvese que el conjunto en este momento está en paralelo con la tensión de entrada y el tiristor soportará una tensión continua entre extremos. Al

no dispararse el triac, éste también soportará la tensión de entrada; luego la corriente que circula es cero.



Al dispararse el SCR circulará corriente por las R's y disparará al triac, entrando éste en conducción y por lo tanto la fuente se le aplicará en la carga. La corriente por el SCR será la misma que por las R's muy pequeña pero rectificada a doble onda. La corriente por el triac es igual a la de la carga

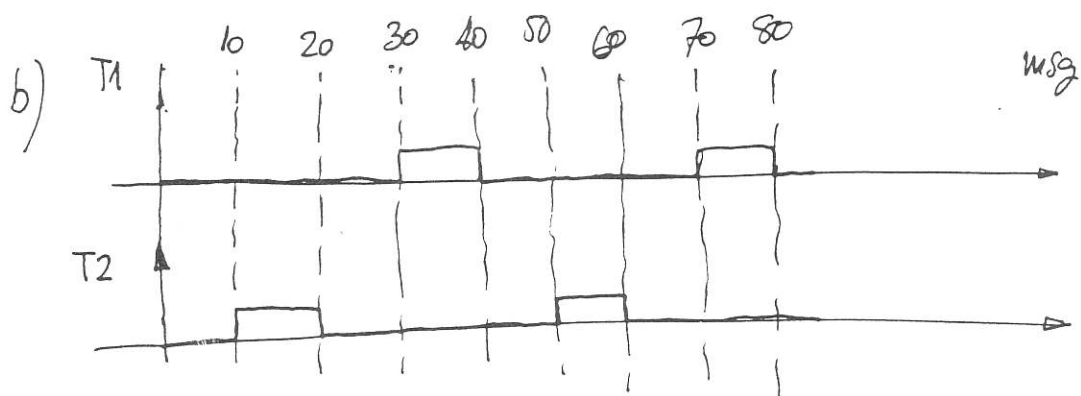
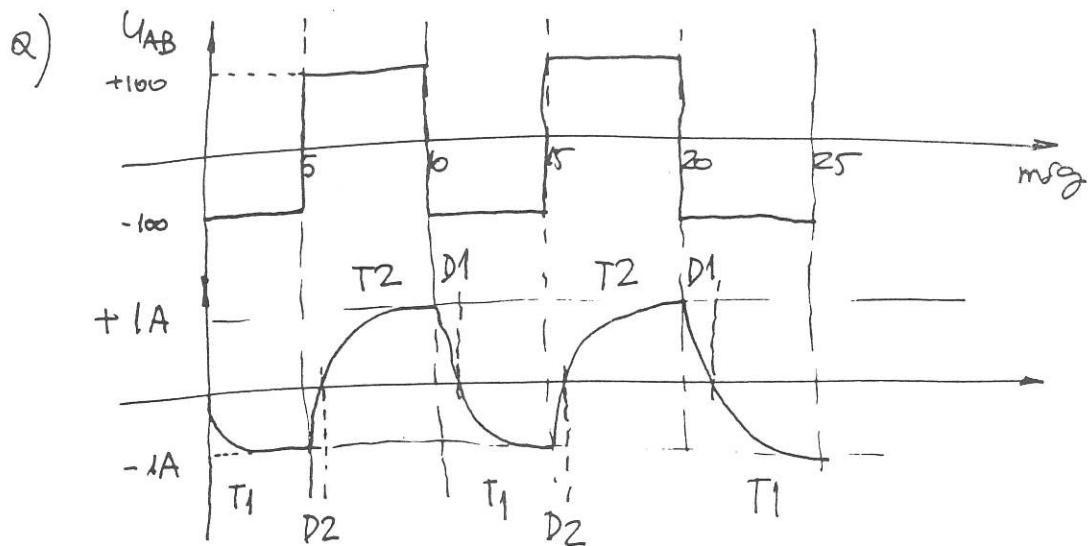
3) $I_T = \frac{220}{40} = 5.5 \text{ A} \rightarrow$ entrando en tablas se tendrá $P = 7 \text{ W}$

Con 7 W y una temperatura máxima de 40°C

$R_{th\text{ mb-a}} = 10 [^\circ \text{C/W}]$ mica

$R_{th\text{ h-a}} = 10 [^\circ \text{C/W}] - 1 [^\circ \text{C/W}] = 9 [^\circ \text{C/W}]$

PROBLEMA 8.14



BILIOGRAFÍA

Batalla, E., "Problemas de Electrónica Analógica". Servicio de Publicaciones de la UPV, 1994

García, S.: "Problemas de Electrónica". Marcombo, 1991.

Gualda, J.A., Martínez, S., Martínez, P.M.: "Electrónica Industrial: Técnicas de potencia". Marcombo, 1992.

Millman, J., Grabel, A.: "Microelectrónica". Hispano Europea (6ª impresión), 1991.

Navarro, J.: "Electrónica Analógica". Servicio de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza, 1989.

Martín, A., Arriaga, J.: "Filtros activos". Elector, 1986, septiembre pp 55-63, octubre pp 58-63.

Pallás, R.: "Adquisición y distribución de señales". Marcombo, 1993.

Pallás, R.: "Transductores y acondicionadores de la señal". Marcombo, 1989.

Pérez, F.: "Problemas de Electrónica Analógica". Departamento de Publicaciones de la EUITTM (2ª edición), 1989.



APÉNDICE



POLINOMIOS DE BUTTERWORTH

n	D(s)
1	$s+1$
2	$s^2+1.41421s+1$
3	$(s+1)(s^2+s+1)$
4	$(s^2+0.76537s+1)(s^2+1.84776s+1)$
5	$(s+1)(s^2+0.61803s+1)(s^2+1.61803s+1)$
6	$(s^2+0.51764s+1)(s^2+1.41421s+1)(s^2+1.93186s+1)$
7	$(s+1)(s^2+0.44504s+1)(s^2+1.24698s+1)(s^2+1.80194s+1)$
8	$(s^2+0.39018s+1)(s^2+1.11114s+1)(s^2+1.06629s+1)$ $(s^2+1.96157s+1)$
9	$(s+1)(s^2+0.3473s+1)(s^2+s+1)(s^2+1.53209s+1)(s^2+1.87939s+1)$
10	$(s^2+0.31287s+1)(s^2+0.90798s+1)(s^2+1.41421s+1)$ $(s^2+1.78201s+1)(s^2+1.97538s+1)$

POLINOMIOS DE CHEBYSHEV

Polinomios de Chebyshev para rizado de 1dB			
n	N	D(s)	ω_c
1	1.96523	$s+1.96523$	
2	0.98261	$s^2+1.09773s+1.10251$	1.127
3	0.4913	$(s+0.49417)(s^2+0.49417s+0.9942)$	1.094
4	0.24566	$(s^2+0.67374s+0.2794)(s^2+0.27907s+0.98651)$	1.053
5	0.12283	$(s+0.28949)(s^2+0.46841s+0.4293)$ $(s^2+0.17892s+0.98832)$	1.0338
6	0.061415	$(s^2+0.12436s+0.99073)(s^2+0.33976s+0.55772)$ $(s^2+0.46413s+0.12471)$	1.0234
7	0.030706	$(s+0.20541)(s^2+0.09142s+0.99268)$ $(s^2+0.25615s+0.65346)(s^2+0.37014s+0.23045)$	1.0172
8	0.015353	$(s^2+0.07002s+0.99414)(s^2+0.19939s+0.72354)$ $(s^2+0.29841s+0.34086)(s^2+0.352s+0.07026)$	1.013
9	0.0076764	$(s+0.15933)(s^2+0.05533s+0.99523)$ $(s^2+0.15933s+0.77539)(s^2+0.24411s+0.43856)$ $(s^2+0.29944s+0.14236)$	1.01
10	0.00038382	$(s^2+0.04483s+0.99606)(s^2+0.1301s+0.81442)$ $(s^2+0.20263s+0.52053)(s^2+0.25533s+0.22664)$ $(s^2+0.28304s+0.045)$	1.008



Polinomios de Chebyshev para rizado de 0.5dB			
n	N	D(s)	ω_c
1	2.86278	$s+2.86278$	
2	1.43139	$s^2+1.42562s+1.5162$	
3	0.7157	$(s+0.62646)(s^2+0.62646s+1.14245)$	1.3897
4	0.35785	$(s^2+0.35071s+1.06352)(s^2+0.84668s+0.35641)$	1.1674
5	0.17892	$(s+0.36232)(s^2+0.22393s+1.03578)$ $(s^2+0.58625s+0.47677)$	1.093
6	0.089463	$(s^2+0.1553s+1.02302)(s^2+0.42429s+0.59001)$ $(s^2+0.57959s+0.157)$	1.041
7	0.044731	$(s+0.25617)(s^2+0.11401s+1.01611)$ $(s^2+0.31944s+0.67688)(s^2+0.4616s+0.25388)$	1.03
8	0.022365	$(s^2+0.08724s+1.01193)(s^2+0.24844s+0.74133)$ $(s^2+0.37182s+0.35865)(s^2+0.43859s+0.08805)$	1.023
9	0.011183	$(s+0.19841)(s^2+0.06891s+1.00921)$ $(s^2+0.19841s+0.78936)(s^2+0.30397s+0.45254)$ $(s^2+0.37288s+0.15634)$	1.018
10	0.0055914	$(s^2+0.0558s+1.00734)(s^2+0.16193s+0.8257)$ $(s^2+25222s+0.53181)(s^2+0.31781s+0.23791)$ $(s^2+3523s+0.05628)$	1.014

POLINOMIOS DE BESSEL

n	$B_n(0)$	$B_n(s)$
1	1	$(s+1)$
2	3	$(s^2++3s+3)$
3	15	$(s+2.3222)(s^2+3.6778s+6.4594)$
4	105	$(s^2+5.7924s+9.1401)(s^2+4.2076s+11.4878)$
5	945	$(s+3.6467)(s^2+6.7039s+14.2725)(s^2+4.6493s+18.1563)$
6	10.395	$(s^2+8.4967s+18.8011)(s^2+70471s+20.8528)(s^2+5.0319s+26.514)$



REDES RC

TWO-ELEMENT NETWORKS		
Network	Open-circuit voltage gain $A_{vo} = V_2/V_1$	Short-circuit transfer admittance $A_{sc} = I_2/V_1$
① $T = RC$	$\frac{1}{1 + sT}$	$-\frac{1}{R}$
② $T = RC$	$\frac{sT}{1 + sT}$	$-sC$

TWO-ELEMENT NETWORKS		
Network	Open-circuit voltage gain $A_{vo} = V_2/V_1$	Short-circuit transfer admittance $A_{sc} = I_2/V_1$
③ $T = RC$	1	$-\frac{1 + sT}{R}$
④ $T = RC$	1	$-\frac{sC}{1 + sT}$

THREE-ELEMENT NETWORKS		
Network	Open-circuit voltage gain $A_{vo} = V_2/V_1$	Short-circuit transfer admittance $A_{sc} = I_2/V_1$
⑤ $T_1 = (R_1 + R_2)C$ $T_2 = R_2C$	1	$-\frac{1 + sT_1}{R_1(1 + sT_2)}$
⑥ $T_1 = RC_2$ $T_2 = \frac{RC_1C_2}{C_1 + C_2}$	1	$-\frac{s(C_1 + C_2)(1 + sT_2)}{1 + sT_1}$

THREE-ELEMENT NETWORKS		
Network	Open-circuit voltage gain $A_{vo} = V_2/V_1$	Short-circuit transfer admittance $A_{sc} = I_2/V_1$
⑦ $T_1 = R_1C$ $T_2 = \frac{R_1R_2C}{R_1 + R_2}$	$\frac{1}{1 + sT_1}$	$-\frac{s}{(R_1 + R_2)(1 + sT_2)}$
⑧ $T_1 = RC_1 + C_2$ $T_2 = RC_1$	$\frac{sT_2}{1 + sT_2}$	$-\frac{s^2RC_2C_2}{1 + sT_1}$

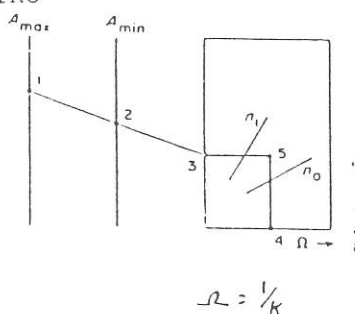


THREE-ELEMENT NETWORKS		
Network	Open circuit voltage gain $A_{vo} = V_2 / V_1$	Short circuit transfer admittance $A_s = I_2 / V_1$
9 $T = \frac{R_2 C}{R_1 + R_2}$	$\frac{T}{R_1 C (1 + T)}$	$-\frac{1}{R_1}$
10 $T_1 = R_2 C_1$ $T_2 = R_2 C_2$	$\frac{T_2}{1 + T_1}$	$-C_1$

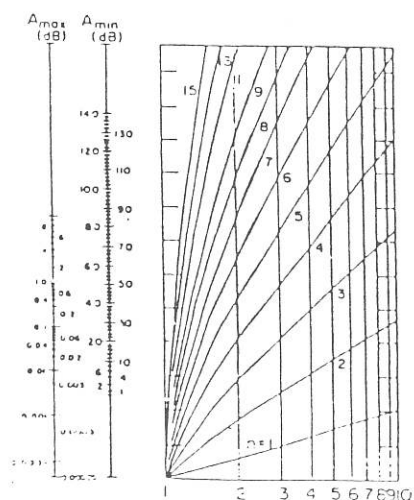
THREE-ELEMENT NETWORKS		
Network	Open circuit voltage gain $A_{vo} = V_2 / V_1$	Short circuit transfer admittance $A_s = I_2 / V_1$
11 $T_1 = R_1 C$ $T_2 = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}$	$\frac{R_2 (1 + T_1)}{(R_1 + R_2) (1 + T_2)}$	$-\frac{1 + T_1}{R_1}$
12 $T_1 = R C_1 C_2$ $T_2 = R C_1$	$\frac{1 + T_2}{1 + T_1}$	$-\frac{1 + T_2}{R}$

MÉTODOS GRÁFICOS

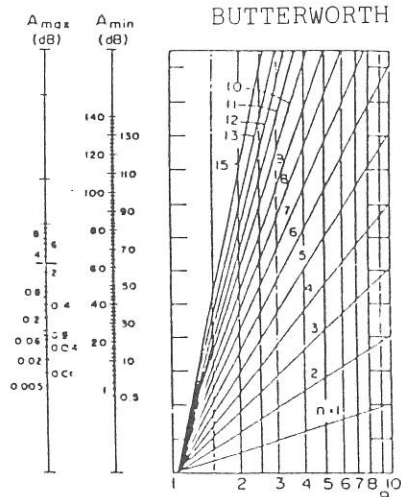
ORDEN DEL FILTRO



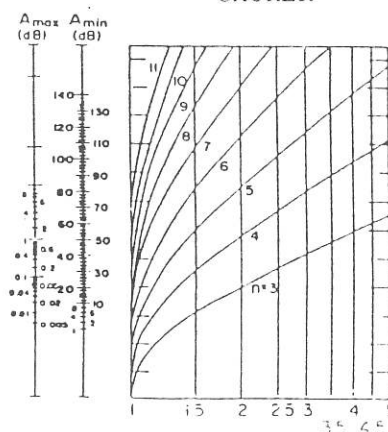
CHEBYSHEV



BUTTERWORTH



CAUWER





FULL CYCLE OPERATION

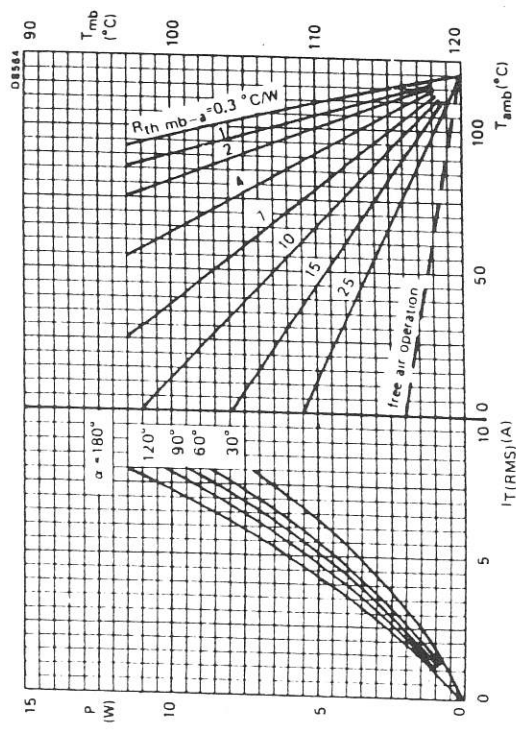
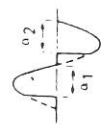


Fig 4 The right hand part shows the interrelationship between the power (derived from the left-hand part) and the maximum permissible temperatures.



$\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$; conduction angle per half cycle

HALF-CYCLE OPERATION

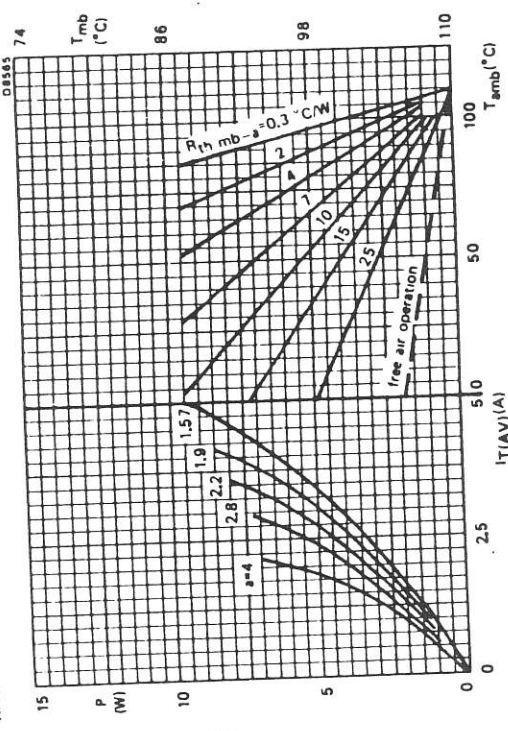


Fig 5 The right hand part shows the interrelationship between the power (derived from the left-hand part) and the maximum permissible temperatures.



α = conduction angle per half cycle

g = form factor = $\frac{I_T(RMS)}{I_T(AV)}$

α	g
30°	4
60°	2.8
90°	2.2
120°	1.9
180°	1.57



BT137 SERIES

CHARACTERISTICS

Polarities, positive or negative, are identified with respect to T_1 .

Voltagages and currents (in either direction)

On state voltage (Note 1)

$I_T = 10\text{ A}$; $T_J = 25^\circ\text{C}$

Rate of rise of off state voltage that will not trigger any device

device, $T_J = 120^\circ\text{C}$; see also Figs. 9 and 10; gate open circuit

Rate of rise of commutating voltage that will not trigger any device:

$I_T(\text{RMS}) = 8\text{ A}$; $V_D = V_{\text{DWM}} \text{ max.}$

$T_J = 120^\circ\text{C}$; gate open circuit; see also Figs. 9 and 10

BT137 series

$-dI_T/dt = 4.2\text{ A/ms}$

BT137 series F

$-dI_T/dt = 4.2\text{ A/ms}$

BT137 series E

$-dI_T/dt = 2.1\text{ A/ms}$

Off state current

$V_D = V_{\text{DWM}} \text{ max.}$; $T_J = 120^\circ\text{C}$

Holding current, $T_J = 25^\circ\text{C}$

T_2 and G positive or negative

BT137, F and E series

BT137 D series

Gate voltage and current that will trigger all devices

Latching current

$V_D = 12\text{ V}$; $T_J = 25^\circ\text{C}$

$V_T < 1.65\text{ V}$

$dV_D/dt < 50\text{ V}/\mu\text{s}$

$dV_{\text{com}}/dt < 6\text{ V}/\mu\text{s}$

$I_D < 0.5\text{ mA}$

$I_H < 20\text{ mA}$

$I_H < 15\text{ mA}$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

$T_2^+ G^+$

$T_2^- G^-$

BT137 SE

Triacs

MOUNTING INSTRUCTIONS

1. The triac may be soldered directly into the circuit, but the maximum permissible temperature of the soldering iron or bath is 275°C ; it must not be in contact with the joint for more than 5 seconds.

Soldered joints must be at least 4.7 mm from the seal.

2. The leads should not be bent less than 2.4 mm from the seal, and should be supported during bending.

3. It is recommended that the circuit connection be made to tag T_2 , rather than direct to the heatsink.

4. Mounting by means of a spring clip is the best mounting method because it offers:

a. a good thermal contact under the crystal area and slightly lower $R_{th\text{ mb-h}}$ values than screw mounting.

b. safe isolation for mains operation. However, if a screw is used, it should be M3 cross-recess pan-head. Care should be taken to avoid damage to the plastic body.

5. For good thermal contact heatsink compound should be used between mounting base and heatsink. Values of $R_{th\text{ mb-h}}$ given for mounting with heatsink compound refer to the use of a metallic oxide loaded compound. Ordinary silicone grease is not recommended.

6. The device should not be press-riveted to the heatsink. However, it is permissible to press-rivet providing that rivets of soft material are used, and the press forces are slowly and carefully controlled so as to avoid shock and deformation of either heatsink or mounting tab.

OPERATING NOTES

Dissipation and heatsink considerations:

a. The various components of junction temperature rise above ambient are illustrated in Fig. 3.

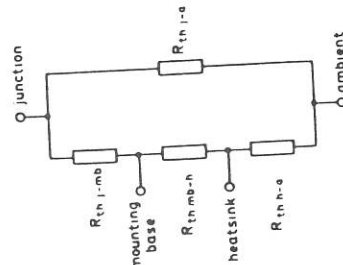


Fig. 3.

b. The method of using Figs. 4 and 5 is as follows:

Starting with the required current on the $I_T(\text{RMS})$ axis, trace upwards to meet the appropriate form factor or conduction angle curve. Trace right horizontally and upwards from the appropriate value on the T_{amb} scale. The intersection determines the $R_{th\text{ mb-a}}$. The heatsink thermal resistance value ($R_{th\text{ h-a}}$) can now be calculated from:

$$R_{th\text{ h-a}} = R_{th\text{ mb-a}} - R_{th\text{ mb-h}}$$

c. Any measurement of heatsink temperature should be made immediately adjacent to the device.

January 1980

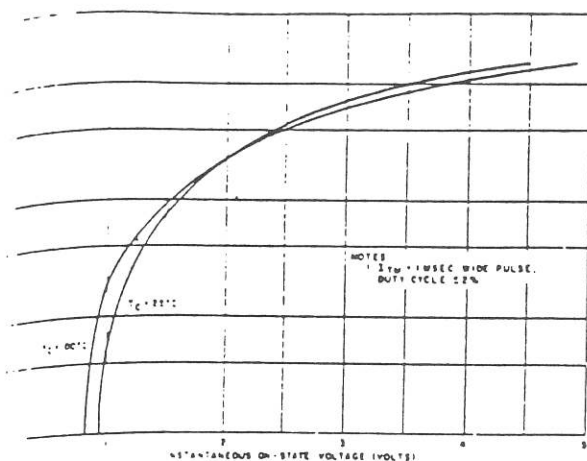
MAXIMUM ALLOWABLE RATINGS

Positive anode voltage ($T_1 = -40^{\circ}\text{C}$ to $+100^{\circ}\text{C}$)	560 $\frac{\text{V}}{\text{V}}\mu\text{A}$
Peak-to-Peak Gate Current, $I_{\text{P}}(\text{RMS})$	8 Amperes (all conduction angles)
Gate Current, I_{G}	Depends on conduction angle (See Chart 3 and 4)
Gate triggered operation	(see Chart 10)
Switching from 500 volts	100 Amperes per microsecond
Switching from 500 volts	30 Amperes per microsecond
Full Cycle Surge (non-rep) On-State Current, I_{SM} 30 Hz	80 Amperes
60 Hz	87 Amperes
for times at 6.3 milliseconds	34 Amperes
1.5 milliseconds	27 Amperes
Peak Power Dissipation, P_{GM}	5 Watts for 10 microseconds (see Chart 6)
Gate Power Dissipation, $P_{\text{G(AV)}}$	0.3 Watts
Peak Gate Current, I_{GM}	see Chart 6
Peak Gate Voltage, V_{GM}	see Chart 6
Working Gate Voltage, V_{GM}	5 Volts
Temperature, T_{mg}	-40°C to $+125^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature, T_{S}	-40°C to $+100^{\circ}\text{C}$

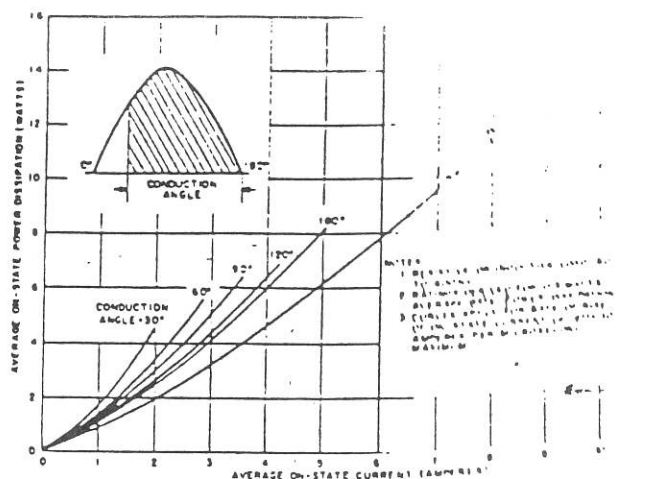
NOTES:

1. Values apply for zero or negative gate voltage only.
2. T_{C} is approximately equal to T_{C} , see outline drawing. The junction to ambient value is under worst case condition, i.e., $\alpha = 2^\circ$.

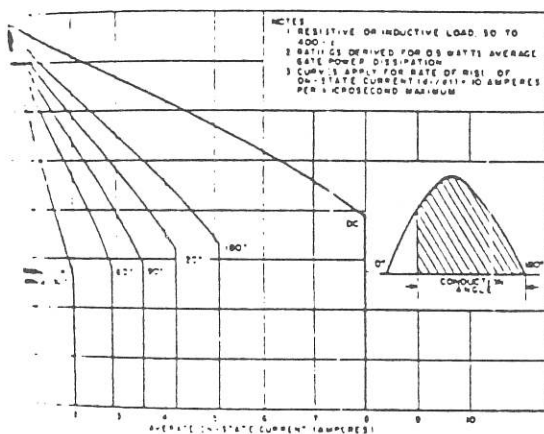
NOTES:



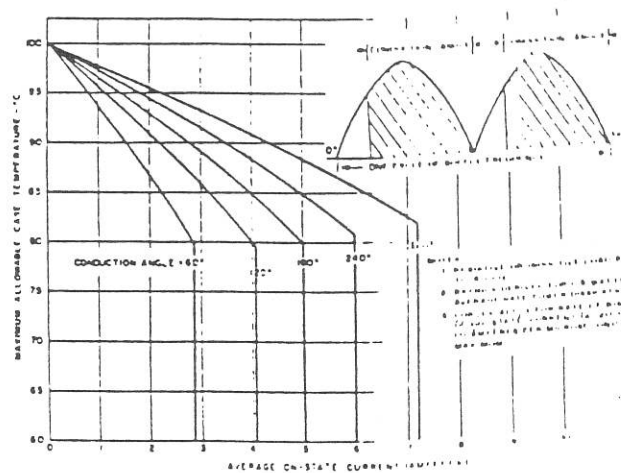
1. Max. On-State Voltage vs. On-State Current



2. Max. On-State Power Dissipation for Half-Wave Rectified Sine Wave of Current



3. Max. Allowable Case Temperature For Half-Wave Rectified Sine Wave of Current



4. Max. Allowable Case Temperature For Full-Wave Rectified Sine Wave of Current

