

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Escuela de Ingeniería Electrónica

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Guía de Diseño y Trabajos Prácticos de Laboratorio

Año 2022

Rev 2.1

Profesor Titular:

Ing. Pablo Ferreyra

Profesor Adjunto:

Ing. César Reale

Profesores Adscriptos:

Ings. Fabián Gómez, Daniel Sánchez

Ayudante alumno:

Lucas Duarte

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

METODOLOGÍA GENERAL

- a)** Realizar una sintética introducción teórica del tema a tratar.
- b)** Analizar los circuitos propuestos, todos los cálculos analíticos y su desarrollo numérico.
- c)** Simulación en PSPICE.
- d)** Analizar las condiciones de operación límite.
- e)** Armar el circuito y hacer las mediciones en laboratorio.
- f)** Finalmente comparar los valores calculados, simulados y medidos, y extraer conclusiones a cerca de las diferencias. Analizar las causas.
- g)** Presentar un informe digital, bien redactado, inicializado con la propuesta del problema presentado por la Cátedra, los responsables del trabajo y un análisis profesional de cada ítem. La redacción debe ser acorde a un informe de un futuro ingeniero.

LABORATORIOS PROPUESTOS

- **Laboratorio N°1: AO Ideal: Circuitos Analógicos Lineales y No Lineales.**
- **Laboratorio N°2: AO Real: Errores.**
- **Proyecto N°1: Proyecto Balanza (Ing. Reale)**
- **Laboratorio N°3: Compensación**
- **Laboratorio N°4: Filtros Activos**
- **Proyecto N°2: Sistema de Osciladores y Filtros (Ing. Ferreyra)**

El enunciado de los proyectos se entregará por separado.

Para promocionar se requieren los 4 practicos y los dos proyectos y dos parciales aprobados o un parcial y el recuperatorio.

Para regularizar se requieren los 4 prácticos y los dos proyectos y un parcial aprobado o unrecuperatorio.

. Los ejercicios adicionales son optativos (Ing. Sánchez).

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

Trabajo Práctico de Laboratorio N°1

AO Ideal: Circuitos Analógicos Lineales y No Lineales

OBJETIVOS

Familiarizarse con el armado y análisis de circuitos analógicos lineales y no lineales. En este Trabajo Práctico debe considerar para los cálculos iniciales el amplificador como ideal.

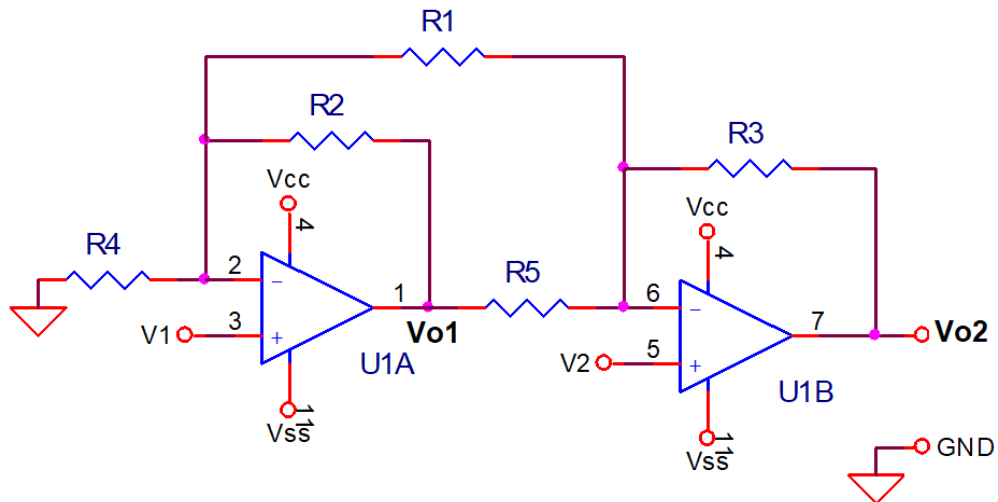
DESARROLLO

CIRCUITO I: AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

Datos: Amplificador Operacional LM324

$V_{CC} = 10V$ $V_{SS} = -10V$

$R1 = R2 = R3 = R4 = R5 = R$



PARÁMETROS/RELACIONES A ANALIZAR:

ANALÍTICO: ($V_C = (V_1 + V_2)/2$ $V_D = (V_2 - V_1)$)

1.1. $V_{o1} = f(V_1, V_2)$; $V_{o1} = f(V_D, V_C)$

1.2. $V_{o2} = f(V_1, V_2)$; $V_{o2} = f(V_D, V_C)$

1.3. Impedancia vista por las fuentes de señal.

MEDICIÓN - SIMULACIÓN:

1.4. Gráfico Entrada/Salida: $V_{o1} = f(V_1)$ y $V_{o1} = f(V_2)$ $V_{SS} < V_1, V_2 < V_{CC}$

1.5. Gráfico Entrada/Salida: $V_{o1} = f(V_C)$ y $V_{o2} = f(V_C)$ $V_{SS} < V_C < V_{CC}$

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

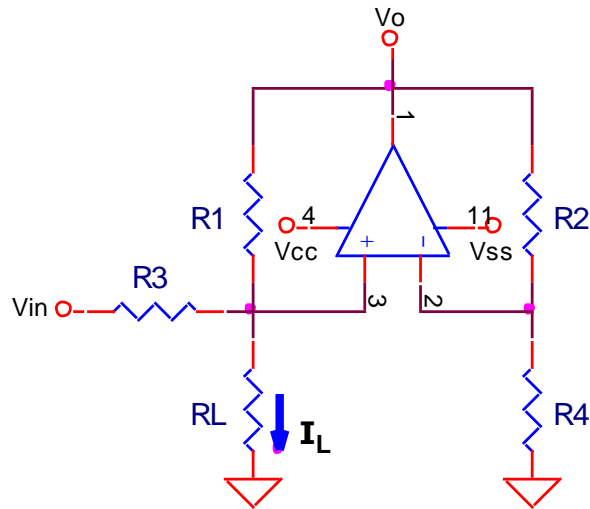
Trabajos Prácticos de Laboratorio

CIRCUITO II: FUENTE DE CORRIENTE CONTROLADA POR TENSIÓN

Datos: Amplificador Operacional LM324

$V_{cc} = 10V$ y $V_{ss} = -10V$

$R1 = 100\Omega$; $R2 = 10K\Omega$; $R3 = 1K\Omega$ y $R4 = 100K\Omega$



PARÁMETROS/RELACIONES A ANALIZAR:

2.1. $I_{RL} = f(R_L, V_{IN})$; $V_o = f(V_{IN}, R_L)$; $R_{L_{MAX}} = f(V_{IN})$

2.2. Complete la siguiente tabla con Mediciones/Simulaciones

I RL		Vin [V]		
		0.5	-1	2
RL [ohm]	0			
	1K			
	2K			
	5K			
	10K			

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

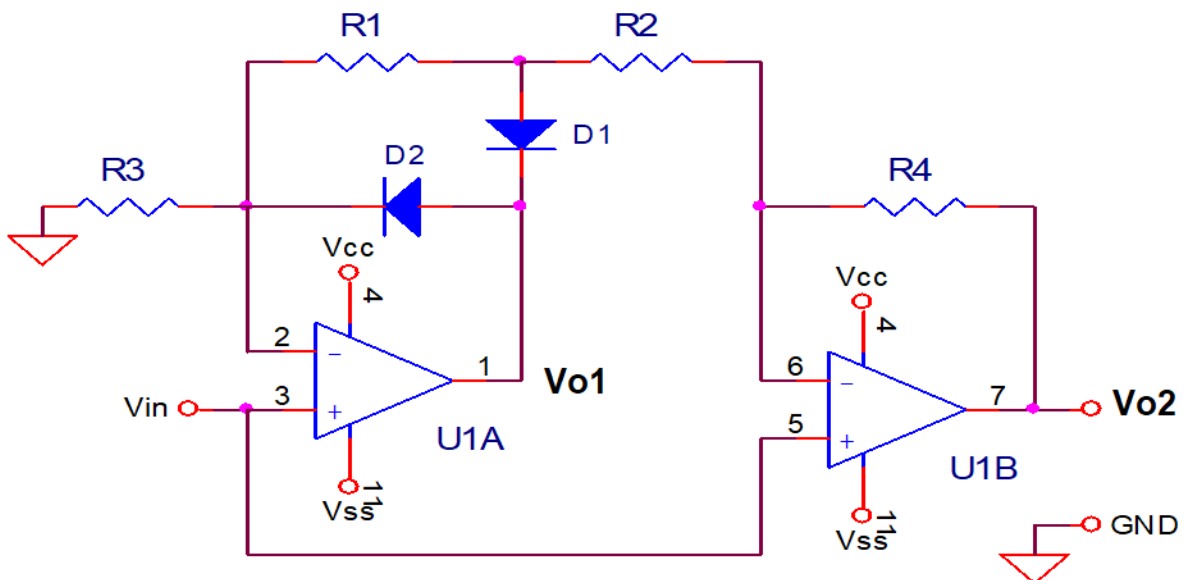
CIRCUITO III: RECTIFICADOR DE PRECISIÓN

Datos: Amplificador Operacional LM324

$V_{cc} = 10V$ $V_{ss} = -10V$

$D1 = D2 = 1N4148$

$R1 = R3 = R4 = 10K\Omega$ 1% y $R2 = 5K\Omega$ 1%



PARÁMETROS/RELACIONES A ANALIZAR:

ANALÍTICO:

3.1. $V_{o1} = f(V_{in})$; $V_{o2} = f(V_{in})$ con $0V < V_{in}$ (Ignorar R_d del diodo)

3.2. $V_{o1} = f(V_{in})$; $V_{o2} = f(V_{in})$ con $V_{in} < 0V$ (Ignorar R_d del diodo)

MEDICIÓN - SIMULACIÓN:

3.3. Gráfico Entrada/Salida: $V_{o1}=f(V_{in})$ y $V_{o2} = f(V_{in})$ $V_{ss} < V_{in} < V_{cc}$

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

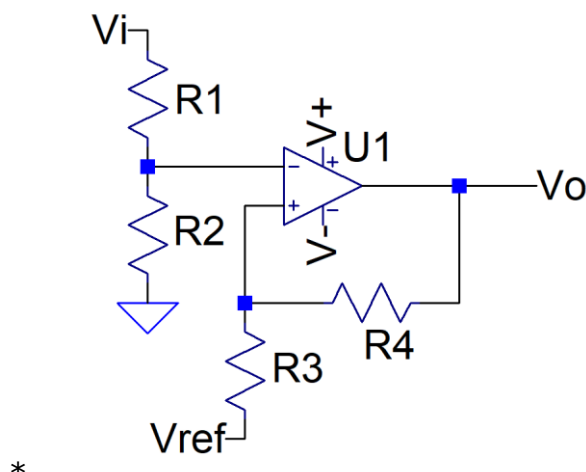
CIRCUITO IV: COMPARADOR CON HISTÉRESIS

Datos: Amplificador Operacional LM324

$V_+ = 10V$ $V_- = 0V$

$R_1 = R_2 = R_4 = 10K\Omega$ y $R_3 = 2K\Omega$

$V_{ref} = 2V$



PARÁMETROS/RELACIONES A ANALIZAR:

ANALÍTICO:

4.1. Umbral de conmutación cuando $V_o = V_+$

4.2. Umbral de conmutación cuando $V_o = V_-$

MEDICIÓN - SIMULACIÓN:

4.3. Gráfico Entrada/Salida: $V_o = f(V_i)$ $V_- < V_i < V_+$

EJERCICIO ADICIONAL I:

Diseñar un regulador de carga de batería, que corte cuando se alcanzan los 12.8V y reinicie la carga cuando baja a 10.5V.

Materiales:

- AO ideal con saturación.
- Resistencias
- 1 Rele 12V, Normal Abierto, 20mA de corriente de bobina.
- 1 Transistor NPN B548 o 1 Transistor PNP BC558.
- 1 Diodo 1N4148
- 1 Referencia de Tensión: TL431
- Batería 12V (Rango 8V a 13V) – $R_{interna} = 0.5\Omega$
- Celda Fotovoltaica: 15V Tension Sin Carga, 1A de Corriente de Carga

EJERCICIO ADICIONAL II:

Diseñar un oscilador de relajación que oscile a 1kHz.

Materiales:

- AO ideal con saturación. $V_{cc} = 10V$ $V_{ss} = -10V$
- Resistencias
- Capacitor de 1uF

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

Trabajo Práctico de Laboratorio N°2

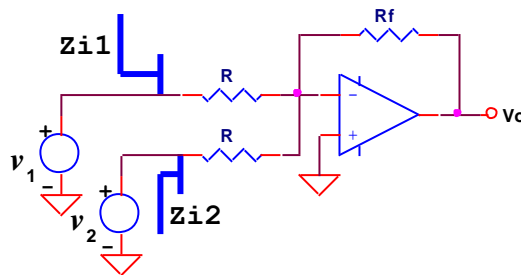
AO Real: Errores.

OBJETIVOS

Introducir al estudiante en el diseño, armado, medición y análisis de circuitos amplificadores lineales, teniendo en cuenta las fuentes de error del AO real, y como se relacionan con las condiciones de entorno del circuito.

DESARROLLO

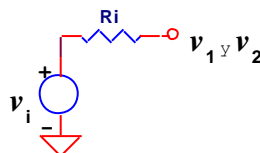
CIRCUITO 1: El circuito sumador siguiente debe ser diseñado para las siguientes condiciones de contorno:



- Amplificador Operacional LM741 o LM324
- Alimentación $V_{cc} = 10V$, $V_{ss} = -10V$
- Ganancia en banda media $A = V_o/V_1$ y $A = V_o/V_2$ debe ser igual a 30 veces.
- Z_i del amplificador no puede alterar o cargar la fuente de señal, es decir, $R_i \ll Z_{i1}$ y Z_{i2} . (al menos 10 veces)
- Usar Resistencias $\leq 1M\Omega$

Las fuentes V_1 y V_2 deben considerarse en las condiciones 1.A y 1.B

- 1.A.- $R_i = 50\Omega$
- 1.B.- $R_i = 100K\Omega$



Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

PARÁMETROS/RELACIONES A ANALIZAR:

ANALÍTICO:

- 1.1. $V_o = f(V_1, V_2)$
- 1.2. Errores DC
- 1.3. Errores AC: Ancho de Banda Plena Potencia f_{HP} (10V_{pap})
- 1.4. Errores AC: Ancho de banda de Pequeña Señal f_H
- 1.5. Errores AC: Tabla de Error Vectorial Normalizado

	Ganancia Normalizada		Error Vectorial	
	Módulo	Fase	Módulo	Fase
0.1 f_H				
0.2 f_H				
0.3 f_H				
0.4 f_H				
0.5 f_H				
0.6 f_H				
0.7 f_H				
0.8 f_H				
0.9 f_H				
1 f_H				

MEDICIÓN - SIMULACIÓN:

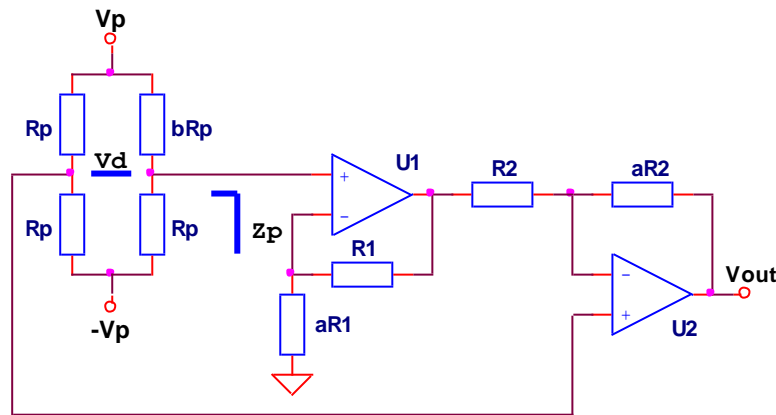
- 1.6 Gráfico Entrada/Salida: $V_o = f(V_1)$ $V_{ss} < V_1 < V_{cc}$
- 1.7 Errores DC
- 1.8 Errores AC: Medición del Slew Rate
- 1.9 Errores AC: Diagrama BODE

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

EJERCICIO ADICIONAL I:

Analizar la operación del circuito de la figura siguiente



- Amplificador Operacional LM324
- Alimentación $V_{cc} = 5V$, $V_{ss} = -5V$
- $R_p = 3,3K\Omega$;
- Considerar b del circuito es β . Entonces βR_p es un potenciómetro multivuelta $5K\Omega$;
- $R_1 = R_2 = 2,2K\Omega$
- Considerar a del circuito es a . Hacer $aR_1 = aR_2 = 47K\Omega$

Calcular y Evaluar:

1. Calcular los siguientes parámetros: V_o/V_d (ganancia del amplificador); $V_o=f(\beta)$; sensibilidad nominal del puente + amplificador (v.gr.: $dV_o/d\beta$ para $\beta=1$).

2. Calcular los errores de DC debido a: Tensiones de offset, corrientes de bias, ganancia diferencial finita y CMRR finita. Calcular según datos de manual del AO el fondo de escala FS permisible en cada arquitectura y a partir de allí la máxima precisión alcanzable en bits.

3. Simular la operación del circuito con SPICE y estimar los valores anteriormente calculados.

4. Armar el circuito en laboratorio utilizando el operacional indicado junto a cada figura. Trabajar con resistencias al 1% de tolerancia.

5. Cotejar resultados teóricos y experimentales. Particularmente verificar ganancia, sensibilidad, máxima excursión de salida sin distorsión (y por lo tanto máximo β permisible), errores DC, rechazo al modo común. Para esto último hacer $\beta=1$ y variar V_p lentamente (v.gr.: $V_p=10V+1V \sin(2\pi 50t)$) verificando que la salida V_o permanece esencialmente invariante.

Trabajo Práctico de Laboratorio N°3

OBJETIVOS

Diseñar amplificadores utilizando tecnologías VFA y CFA, aplicando conceptos de compensación.

METODOLOGÍA

En general, para cada uno de los casos particulares solicitados, se debe:

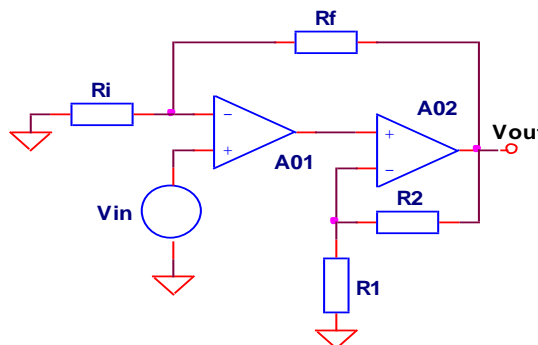
- a)** Realizar una sintética introducción teórica.
- b)** Analizar el circuito propuesto, su desarrollo numérico, todos los **cálculos analíticos**.
- c)** Realizar **simulación en PSPICE**.
- d)** Armar el circuito y hacer las **mediciones en laboratorio**.
- e)** Finalmente **comparar** los valores calculados, simulados y medidos, y extraer conclusiones a cerca de las diferencias. Analizar las causas.
- f)** Presentar un informe digital y en papel.

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

DESARROLLO CIRCUITO 1

Las figuras muestran un amplificador compuesto que deberá ser diseñado para obtener una ganancia global **$A_{vf} = 20\text{dB}$** , compensándolo para obtener una **máxima planicidad de módulo** ($M\phi = 65^\circ$ o $Q_p = 0,707$).



VFA-VFA:

a. Utilizando tecnologías VFA + VFA. Como amplificador VFA se utilizará un LM324, de 2(dos) polos ($A_{d0} = 100\text{dB}$, $F_T = 1\text{MHz}$, $F_1 = 10\text{Hz}$ y $F_2 = 5,06\text{MHz}$).

- a.1. Diseñar el amplificador compuesto VFA + VFA.
- a.2. Calcular el ancho de banda potencial, la frecuencia del polo de la función de transferencia a lazo cerrado y ancho de banda a -3dB .
- a.3 Medir el ancho de banda a -3dB .
- a.4. Estimar el margen de fase obtenido en base a la respuesta al escalón del amplificador compuesto.

VFA-CFA:

b. Utilizando tecnologías VFA + CFA. Se sugiere como amplificador VFA un LM324, de 2(dos) polos ($A_{d0} = 100\text{dB}$, $F_T = 1\text{MHz}$, $F_1 = 10\text{Hz}$ y $F_2 = 5,06\text{MHz}$) y como CFA un LM6181 con $R_T = 2,37\text{M}\Omega$, $C_T = 4,8\text{pF}$, cuya transimpedancia Z_T presenta también 2(dos) polos ($F_1 = 14\text{KHz}$, $F_2 = 82,3\text{MHz}$).

b.1. Diseñar el amplificador compuesto VFA + CFA para máxima planicidad de módulo y que además cumpla con un ancho de banda potencial aproximado de $f_g = 2\text{MHz}$. Tener en cuenta la presencia del segundo polo del VFA.

b.2. Calcular el ancho de banda potencial, la frecuencia del polo de la función de transferencia a lazo cerrado y ancho de banda a -3dB .

b.3 Medir el ancho de banda a -3dB .

b.4. Estimar el margen de fase obtenido en base a la respuesta al escalón del amplificador compuesto.

VFA-CFA II:

c. Insertar en la configuración anterior una red de compensación **cero – polo** (a la salida del VFA) de tal modo que el cero de la red cancele el segundo polo del VFA. Ubicar el polo de la red a una octava de su cero. Retocar la ganancia del CFA realimentado para compensar la atenuación introducida por la red. Constatar la **mejora del margen de fase** a través de la respuesta al escalón.

c.1. Calcular y medir el margen de fase, el ancho de banda potencial, la frecuencia del polo de la función de transferencia a lazo cerrado y ancho de banda a -3dB .

c.2. Calcular el ancho de banda potencial, la frecuencia del polo de la función de transferencia a lazo cerrado y ancho de banda a -3dB .

c.3 Medir el ancho de banda a -3dB .

c.4. Estimar el margen de fase obtenido en base a la respuesta al escalón del amplificador compuesto.

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

CIRCUITO 2

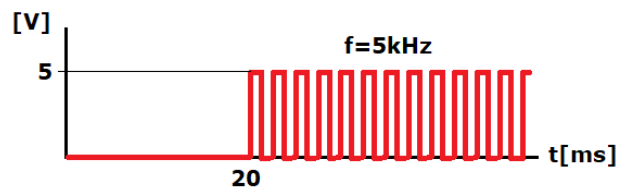
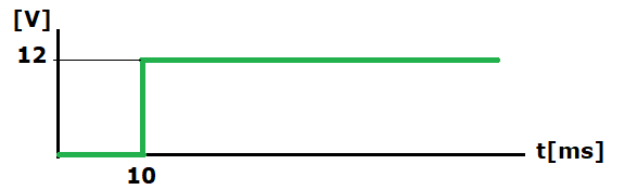
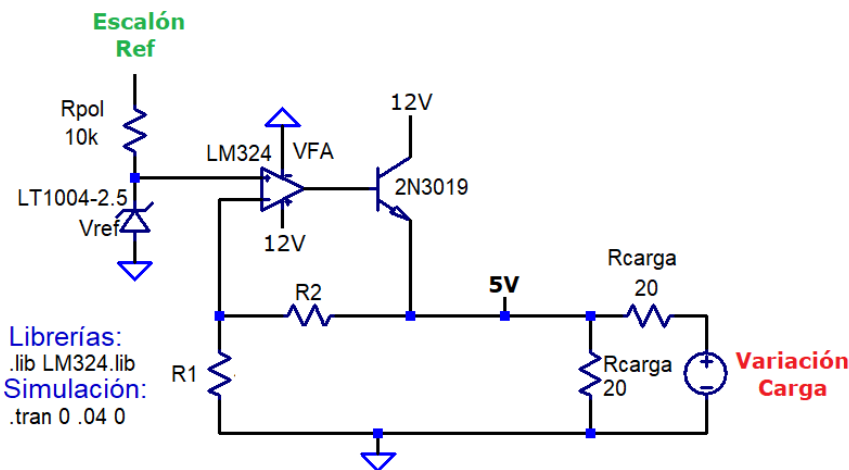
Diseñar una Fuente de Tensión CC.

Elementos:

- Capacitores y resistores
- Fuente CC 12V
- AO LM324
- Referencia de Tensión 2,5V (TL431 o LT1004-2.5)
- Transistor BJT (2N3019)

Especificaciones:

- Fuente 5V/500mA
- Tolerancia de Tensión regulada: 0,1V.
- La variación (ripple) máxima admitida es de 1%.
- La carga puede variar entre 50% (250mA) y 100% (500mA) abruptamente.



Se pide:

- Agregar los componentes necesarios para alcanzar las especificaciones.
- Simular el transitorio de los primeros 50ms, medir valor medio y ripple de estado estable.

Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

Trabajo Práctico de Laboratorio N°4

OBJETIVOS

En base a la planilla de requerimientos suministrada, sintetizar un circuito basado en amplificadores operacionales que satisfaga esos requisitos.

METODOLOGÍA

- a) Realizar una sintética introducción teórica.
- b) Analizar el problema propuesto, su desarrollo numérico, todos los cálculos analíticos y la simulación en PSPICE.
- c) Analizar las condiciones de operación límite.
- d) Armar el circuito y hacer las mediciones en laboratorio.
- e) Finalmente comparar los valores calculados, simulados y medidos, y extraer conclusiones a cerca de las diferencias. Analizar las causas.
- f) Presentar un informe digital y en papel.

DESARROLLO

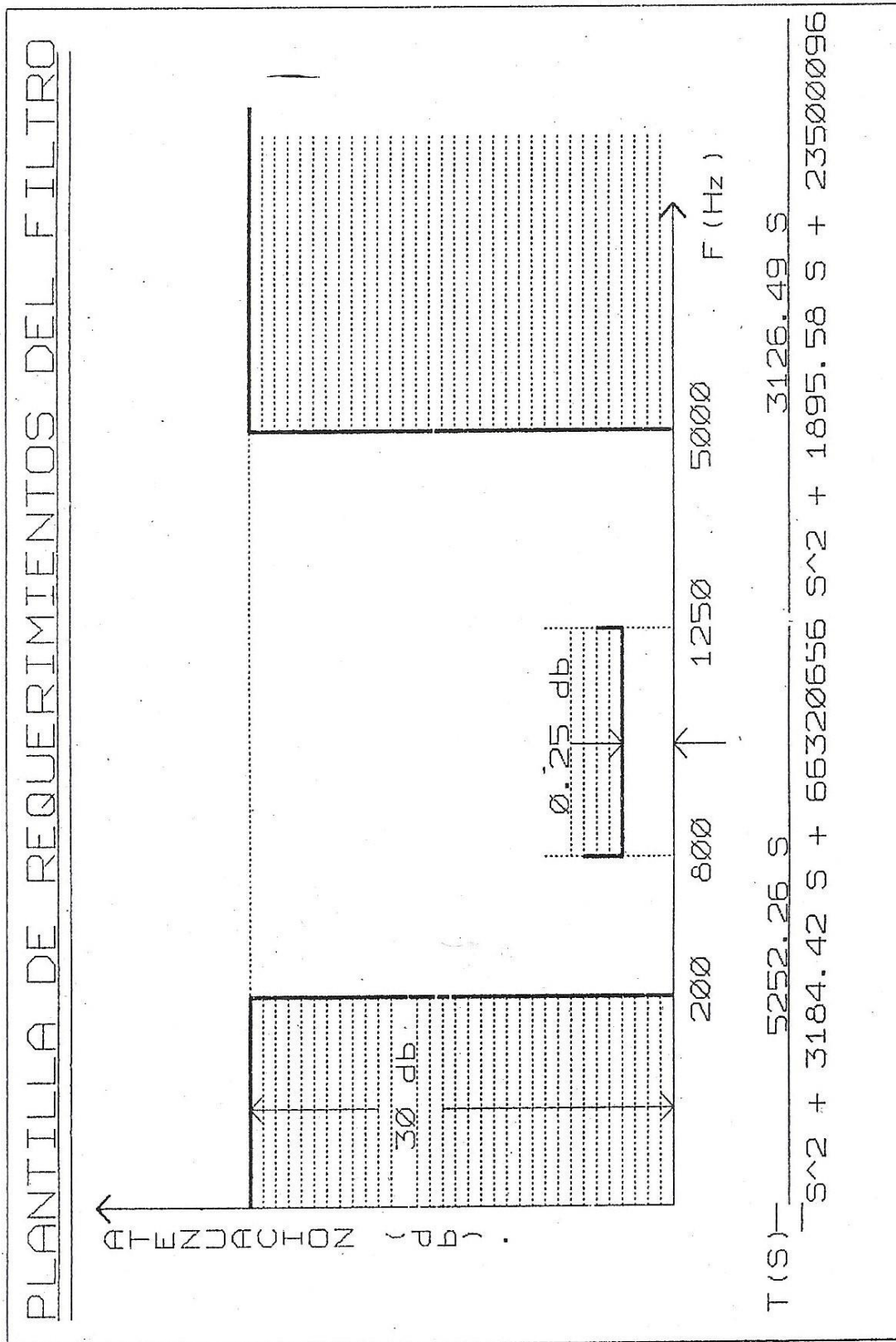
1. En base a la planilla de requerimientos de la figura 5.1, se pide:
 - 1.1. Aproximar la función de atenuación mediante polinomios de Chebychev, utilizando Matlab o aplicación similar.
 - 1.2. Sintetizar un circuito que satisfaga los requerimientos del punto anterior utilizando topologías bicuadráticas de realimentación positiva o negativa, a elección.
 - 1.3. Simular cada etapa y el filtro total con Pspice o similar.
 - 1.4. Calcular la sensibilidad de la frecuencia del polo de cada bicuadrática (ω_p) y del ancho de banda (ω_p/Q_p).
 - 1.5. Analizar la peor desviación si todos los elementos tienen una tolerancia del 10%.
 - 1.6. Realizar una simulación de Montecarlo de las desviaciones con Pspice o similar.
 - 1.7. Armar el circuito, medir experimentalmente las curvas de atenuación y desfasaje. Contrastarlas con las predicciones teóricas y las simulaciones.

EJERCICIO ADICIONAL:

Diseñar un oscilador de $f=12\text{kHz}$. Simular y ajustar a una tolerancia de $\pm 100\text{Hz}$.

_Elementos:

- Capacitores y resistores
- Fuente CC $\pm 12\text{V}$
- AO LM324



Cátedra de Síntesis de Redes Activas

Trabajos Prácticos de Laboratorio

Anexo: Script MATLAB

```
%SRA - Trabajo Practico de Laboratorio N°4
clc;
clear;
close all;

%% Parametros de Entrada
fp=[800 1250]; %Banda de Paso [Hz]
fs=[200 5000]; %Banda de Rechazo [Hz]
Wp=2*pi*fp; %Banda de Paso [rad/s]
Ws=2*pi*fs; %Banda de Rechazo [rad/s]
Ap=0.25; %Atenuacion maxima en Banda de Paso [dB]
As=30; %Atenuacion minima en Banda de Rechazo [dB]

%% Calculo de FT
[n,Wp]=cheblord(Wp,Ws,Ap,As,'s');
[num,den]=cheby1(n,Ap,Wp,'s');
Filtro=tf(num,den) %Funcion de transferencia calculada
[sos,g] = tf2sos(num,den); %Descomponemos en bicuadraticas
%Implementacion como PasaAlto/PasaBajo
PasaBajo=tf(2*g*sos(1,1:3),sos(1,4:6))
PasaAlto=tf(1/2*sos(2,1:3),sos(2,4:6))

%% Graficos
figure;
hold on;
%Especificaciones Filtro
plot([fs(1)/10 fs(1) fs(1)],[-As -As -Ap],'Color','r','LineWidth',3);
plot([fs(2) fs(2) fs(2)*10],[-Ap -As -As],'Color','r','LineWidth',3);
plot([fp(1) fp(1) fp(2) fp(2)],[-As -Ap -Ap -As],'Color','g','LineWidth',3);

%Filtro
h = bodeplot(Filtro);
p = getoptions(h);
p.PhaseVisible='off';
p.FreqUnits='Hz';
p.Grid='on';
setoptions(h,p);
bode(PasaBajo);
bode(PasaAlto);
```