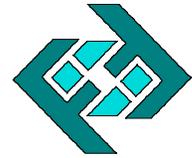




UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA  
DEPARTAMENTO DE COMUNICACIONES



# *Laboratorio de Ingeniería Eléctrica II*

## Guía de prácticas

Revisión: julio, 1999

## Indice:

Finalidad del curso .....	2
Reglamento y evaluación .....	2
Informes de laboratorio .....	5
Practica No. 1: .....	
Practica No. 2 .....	
Practica No. 3 .....	
Practica No. 4 .....	
Practica No. ....	

## Finalidad del curso

Las prácticas de laboratorio son fundamentales en la enseñanza de la ingeniería: complementan las clases teóricas y contribuyen a desarrollar el sentido de observación y el espíritu de síntesis necesario para darle al conocimiento su significado verdadero.

Las actividades que deberá realizar el estudiante y los objetivos que deberá alcanzar son básicamente los siguientes:

- Comprobar las hipótesis, los principios y los modelos desarrollados en las clases de teoría.
- Familiarizarse con el uso de equipos e instrumentos de medición, conocer las instrucciones de operación y saber interpretar las hojas de especificaciones suministradas por el fabricante.
- Desarrollar habilidades y destrezas en el montaje de circuitos, medición de instrumentos y cálculos operacionales.
- Aprender a comunicar con claridad, orden y precisión el proceso y los resultados del trabajo realizado.

## Reglamento y evaluación

El alumno regularmente inscrito deberá realizar todas las prácticas programadas asistiendo al laboratorio en la hora y fecha que le corresponde. En caso de llegar con más de veinte (20) minutos de retraso será considerado inasistente y no le será permitido trabajar. El estudiante perderá la asignatura en caso de dos (2) ó más inasistencias a las prácticas, en este caso se le asentará en la planilla de notas como inasistente. Debido a la estructura secuencial de las actividades de este laboratorio no están previstas semanas de recuperación de prácticas perdidas, pero en caso de fuerza mayor justificada, la persona afectada podrá recuperar la práctica en otro grupo de laboratorio ó en un horario tal que el laboratorio este disponible para tal fin. En tales casos el alumno interesado deberá realizar la solicitud al coordinador de los laboratorios, el cual, previa consulta con el profesor del

grupo, y en caso de que sea procedente la solicitud fijará la hora y el día para la recuperación. En todo caso el alumno no tendrá derecho a más de dos (2) prácticas de recuperación por semestre.

Es un requisito indispensable llegar preparado al laboratorio para que los experimentos puedan realizarse correctamente en el lapso establecido, por tal motivo, es necesario estudiar con anticipación el contenido de la guía y aclarar las posibles dudas.

La preparación previa del estudiante se evaluará mediante una prueba corta al inicio de la sesión de laboratorio y mediante la presentación de un preinforme. Este preinforme deberá contener los cálculos y puntos de investigación indicados en la guía bajo el título “Trabajo previo al laboratorio”; la presentación de este prelaboratorio es indispensable y en caso de no ser realizado el alumno perderá automáticamente el derecho a realizar la práctica, considerándosele inasistente en la misma. Asimismo el profesor podrá realizar interrogatorios o pruebas cortas en los casos que considere pertinente a fin de complementar la nota correspondiente al trabajo en el laboratorio. También es obligatorio llegar equipado al laboratorio con los materiales necesarios para la realización de la práctica: guía, calculadora, regla, papel milimetrado, etc.

Tomando en cuenta que el equipo que se utilizará en este laboratorio es sumamente delicado y costoso, se agradece a los usuarios el trato adecuado. En caso de que por negligencia se estropeará algún aparato, el individuo o equipo de trabajo responsable perderá la práctica y además deberá pagar el costo de la reparación.

En el transcurso del semestre se realizarán 8 prácticas de laboratorio. Al finalizar cada práctica el alumno deberá elaborar un informe de laboratorio escrito el cual deberá entregar al inicio de siguiente sesión de laboratorio. Al alumno que entregue su informe retrasado, se le restará un (1) punto de la nota de éste por cada día hábil de retraso. No se aceptarán informes con más de una semana de retraso (5 días hábiles). La no entrega del

informe de una práctica automáticamente hará que al alumno se le considere inasistente en dicha práctica, aún cuando haya entregado el preinforme respectivo y haya participado en la sesión de laboratorio.

La calificación de los informes se realizará en base a la siguiente puntuación máxima:

- Trabajo y resultados de laboratorio ..... 5pts.
- Tablas, gráficos y cálculos ..... 5pts.
- Observaciones, discusiones y conclusiones ..... 5pts.
- Presentación, redacción y ortografía ..... 5pts.

Se realizarán dos (2) exámenes de control. Dichos exámenes serán realizados por el coordinador del laboratorio y cubrirán los contenidos teóricos de las prácticas. Después de culminadas las cuatro primeras prácticas se realizará el primer examen de control y una vez culminadas las cuatro prácticas restantes se realizará el segundo examen de control.

Es de destacar que es condición indispensable para la aprobación de la asignatura que el promedio de las notas obtenidas en los controles sea mayor o igual a diez (10) puntos. En caso de no cumplir con lo anterior el alumno reprobará la asignatura y se asentará en la planilla de notas el promedio de las notas obtenidas en los exámenes de control. En caso que el promedio de los exámenes de control este comprendido entre 9,5 y 10 puntos se asentará la planilla la calificación de 9 puntos. Si el promedio de la nota de los controles de laboratorio es mayor o igual a 10 puntos la nota total del laboratorio se calculará según los siguientes porcentajes:

- Promedio de notas de las prácticas ..... 50%
- Primer examen de control ..... 25%
- Segundo examen de control ..... 25%

en donde la nota de cada práctica se calculará según los siguientes porcentajes:

- Preinforme ..... 50%
- Informe ..... 30%
- Trabajo en el laboratorio..... 20%

y el promedio de las nota de las prácticas se calculará en base a ocho (8) prácticas.

Para aprobar el laboratorio el alumno deberá obtener una calificación final (calculada según los porcentajes anteriores) mayor o igual a 9,5 puntos.

Adicionalmente a las sesiones de laboratorio se dicta una clase de prelaboratorio. En esta clase se imparten los contenidos teóricos asociados a las prácticas, asimismo en esta clase se aclararán las dudas que surjan en la realización de los preinformes que se deberán entregar al inicio de las sesiones de laboratorio. La asistencia a la clase de prelaboratorio no es obligatoria, sin embargo se recomienda asistir a esta. Es de hacer notar que los exámenes de control usualmente son realizados en el horario previsto para la clase de prelaboratorio. Dado que la asignatura es eminentemente práctica no está previsto examen de reparación.

### **Informes de laboratorio**

Para un ingeniero la habilidad de poder comunicar por escrito el resultado de un trabajo experimental, en forma clara breve y debidamente estructurada, es de gran importancia, ya que muchas veces este informe es el único contacto que tiene con sus colegas, superiores o clientes.

Uno de los objetivos de la asignatura Laboratorio de Ingeniería Eléctrica I es aprender a redactar informes, en los cuales el estudiante debe comunicar con claridad, orden y precisión el proceso y los resultados del trabajo realizado en las sesiones de laboratorio.

Todo informe debe estar estructurado de la siguiente manera:

- Título: donde se identifica el número de la práctica de laboratorio y el título de la misma.
- Objetivo: donde se expresa el objetivo u objetivos perseguidos con la práctica de laboratorio. En la guía de laboratorio aparecen los objetivos para cada práctica, sin embargo se recomienda que el estudiante los amplíe, en base a las experiencias realizadas en la práctica de laboratorio.
- Materiales y equipos utilizados: se debe detallar la lista materiales y equipos utilizados indicando sus características más importantes (marca, modelo, características de funcionamiento, etc.)
- Procedimiento y datos: se debe describir cada experimento en forma clara y concisa. Seguidamente se deberán presentar los resultados experimentales. Los montajes experimentales deben ser descritos mediante esquemas circuitales, en los cuales deben estar claramente identificados todos los elementos circuitales e instrumentos de medición usando la simbología apropiada. Estos esquemas deben estar identificados con números (por ejemplo “figura 1”) y, las referencias que se hagan a éstos a lo largo del informe deberán hacerse a través del número respectivo.

Los resultados experimentales deben comunicarse a través de tablas, en las cuales además de los datos experimentales, deberán aparecer sus contrapartes teóricos, así como los errores porcentuales respectivos. Cada tabla debe estar identificada con un número (por ejemplo “tabla 4”) y las referencias que se hagan a esta se deberán hacer a través del número respectivo.

Los resultados experimentales así como las magnitudes obtenidas en forma teórica y las calculadas a partir de mediciones experimentales se deben colocar en un formato apropiado para su fácil lectura y análisis. De esta forma se sugiere que siempre se redondeen los resultados a dos decimales y que las magnitudes eléctricas (tensión,

corriente, impedancia, admitancia, etc.) asociadas a corriente alterna, se reporten usando notación polar.

Los gráficos se realizarán en papel milimetrado tamaño carta y se anexarán al informe. Cada gráfico debe estar identificado con número (por ejemplo “gráfico 2”), y con un título. Las curvas se deberán trazar con los instrumentos de dibujo apropiados (regla, plantillas curvas, etc.) y en caso de existir una curva teórica, ambas curvas (experimental y teórica) deberán trazarse sobre el mismo eje para efectos de comparación, diferenciándolas con colores.

Las señales observadas en el osciloscopio se deberán dibujar sobre las cuadrículas diseñadas para tal fin, colocando el título respectivo a cada cuadrícula y anotando las escalas de la base de tiempo, de los canales A y/o B y la atenuación de las puntas. En caso de existir dos señales en una cuadrícula hay que diferenciarlas usando colores. Al final de la guía se suministran dos hojas cada una con dos cuadrículas, se sugiere que estén sean desprendidas y que, en caso de necesitarse otras cuadrículas, se fotocopien.

Durante la sesión de laboratorio los datos experimentales: mediciones, observaciones y equipos y materiales utilizados deberán ser anotados en una hoja de datos. Esta hoja de datos debe ser llenada en letra clara, sin enmiendas y en tinta y debe ser firmada por el profesor al finalizar la sesión de laboratorio. Esta hoja de datos debe ser anexada al informe de la laboratorio. Sólo es necesario la elaboración de una hoja de datos por equipo de trabajo, permitiéndose que los demás miembros del equipo fotocopien la hoja de datos elaborada.

Una vez presentados los resultados experimentales se deberá realizar una discusión de éstos. Si a partir de los datos experimentales se calculan otras magnitudes se deberá indicar un cálculo tipo del cálculo realizado.

- Conclusiones: en la cuales se deberá hacer una completa discusión de los resultados obtenidos, haciendo énfasis en la comparación de los resultados obtenidos con los esperados, las posibles causas de error y las dificultades y posibles mejoras de la metodología experimental empleada.

## PRACTICA Nº \_\_\_\_

### “ MEDICION DE ROE EN SISTEMAS COAXIALES ”

#### **Objetivo:**

Determinación de la curva de calibración de un voltímetro a cristal, su utilización en sistemas coaxiales para la medición de impedancias.

#### **Introducción:**

La medición de diferencia de potencial en circuitos donde la frecuencia es superior al centenar de megahertz no permite el empleo de voltímetros convencionales ni a válvula. En su lugar se utilizan cristales detectores y métodos térmicos.

El uso de cristales detectores envuelve la conversión de energía de microondas a energía de baja frecuencia, y en algunos casos DC; la medición propiamente dicha se lleva a cabo por los métodos ordinarios de baja frecuencia.

Los métodos térmicos envuelven la conversión de energía radiante en calor usando principalmente "barreters" y "termistores"; este método es el único que admite calibración absoluta.

#### Cristales detectores:

Los cristales detectores a pesar de tener poca uniformidad en sus respuestas y a ser mas sensibles a los cambios de temperatura ambiente presentan la ventaja de menores dimensiones físicas, baja capacitancia, menor tiempo de tránsito y no requiere calentamiento de filamento.

A pesar de las diferencias entre dos cristales de un mismo tipo, cuando la diferencia de potencial es del orden de los milivoltios la corriente rectificadora resulta proporcional al cuadrado de la tensión aplicada. En general, la máxima corriente que debe aplicarse a un cristal para mantener la lectura en la zona de respuesta cuadrática varía con el cristal, pero en términos generales está en el orden de 100 mA; esta limitación en magnitud nos obliga al uso de atenuadores para bajar el nivel de la señal a detectar, así como también de galvanómetros mas sensibles.

#### Bolómetros:

El bolómetro es un pequeño elemento resistivo que es capaz de disipar energía de microondas y usar el calor disipado para efectuar un cambio en su resistencia; es el más común de los detectores usados en las mediciones de potencia.

Los bolómetros más usados son el barreter y el termistor. El barreter consiste en un alambre fino y pequeño, con una resistencia tal que puede usarse como terminación acoplada de una línea de transmisión, tiene un coeficiente positivo de resistencia vs. temperatura similar al de los metales.

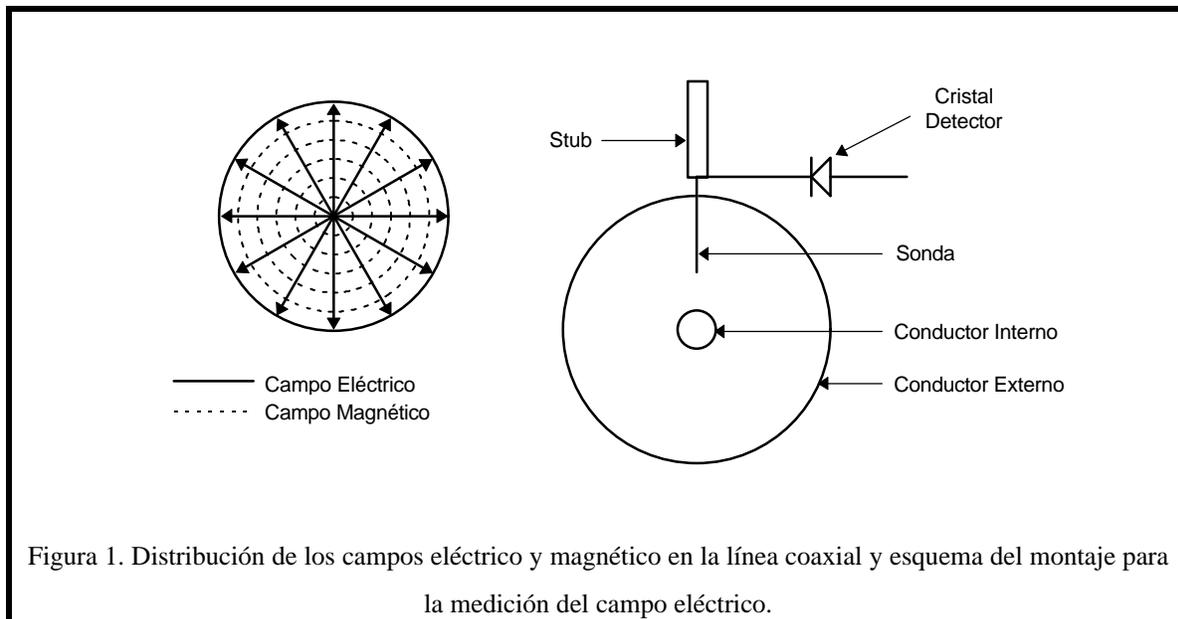
En contraste, el termistor es una delgada capa de material semiconductor y tiene un coeficiente de resistencia vs. temperatura, negativo. El cambio de resistencia resultante de la disipación de energía se mide colocando el bolómetro como uno de los brazos de un puente de Wheatstone.

#### Medición de la característica de un cristal detector:

Antes de efectuar cualquier medición con un cristal detector, debe determinarse su característica de voltaje RF vs. corriente rectificada. Una forma de realizar esta calibración es aplicar un conjunto de voltajes que sigan una ley conocida y medir cada una de las corrientes correspondientes. Este conjunto de voltajes se obtiene a partir de una línea de transmisión. El patrón se estudiará con la ayuda de una línea ranurada.

#### Línea ranurada coaxial:

Consiste de un trozo de línea coaxial rígida provista de una ranura longitudinal a través de la cual se introduce una sonda para estudiar el campo.



La ranura está hecha de tal forma de introducir el mínimo de discontinuidades a fin de evitar modificaciones en la impedancia característica y la constante de propagación, en

especial se procura mantener las pérdidas por radiación lo más bajas posible. La sonda actúa como una pequeña antena y recoge una tensión que es proporcional al campo eléctrico en ese punto del coaxial; como en general, la sonda se comporta como una antena corta, su impedancia es principalmente reactiva por lo que no estará acoplada con el resto del sistema y la transferencia de potencia será pobre. El stub conectado a la antena compensa esta componente reactiva y mejora el acoplamiento y la transferencia de potencia hacia el diodo y el resto del sistema. La tensión de salida de la sonda es aplicada al cristal, el cual la rectifica y envía al galvanómetro de medición.

Patrón de ondas estacionarias de un cortocircuito:

La tensión en cualquier punto de una línea de transmisión viene dada por:

$$E = E^+ (1 + \Gamma) \tag{1}$$

donde:  $E = E(x)$  = tensión total en el punto

$E^+ = E^+(x)$  = tensión incidente en el punto

$G = G(x)$  = coeficiente de reflexión en el punto

El coeficiente de reflexión es función de la impedancia de carga y de la distancia del punto a la carga.

$$G = G_0 e^{-j2bl} \text{ para la línea sin pérdidas} \tag{2}$$

donde:  $\Gamma_0 = \frac{Z - Z_c}{Z + Z_c}$  = coeficiente de reflexión en la carga =  $\rho_0 = \angle 0^\circ$

$bl =$  es la distancia eléctrica del punto a la carga =  $2\pi(\frac{l}{\lambda})$

La expresión (1) se puede escribir para el módulo como:

$$|E| = |E^+| |1 + G| \tag{3}$$

Evalutando el término  $|1 + G|$  queda:

$$\begin{aligned}
|1 + \Gamma| &= |1 + \Gamma_0 e^{-j2\beta l}| = |1 + \rho_0 e^{j\theta_0 - j2\beta l}| = \\
&= |1 + \rho_0 \cos(\theta_0 - 2\beta l) + j\rho_0 \operatorname{sen}(\theta_0 - 2\beta l)| = \\
&= \sqrt{(1 + \rho_0 \cos(\theta_0 - 2\beta l))^2 + (\rho_0 \operatorname{sen}(\theta_0 - 2\beta l))^2} \quad (4)
\end{aligned}$$

Para un cortocircuito queda:

$$\Gamma_0 = \frac{0 - Z_c}{0 + Z_c} = -1 = 1 \angle 180^\circ \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
|1 + \Gamma| &= \sqrt{(1 + \cos(180 - 2\beta l))^2 + (\operatorname{sen}(180 - 2\beta l))^2} \\
&= \sqrt{(1 - \cos(2\beta l))^2 + (\operatorname{sen}(2\beta l))^2} \\
&= \sqrt{1 - 2\cos(2\beta l) + \cos^2(2\beta l) + \operatorname{sen}^2(2\beta l)} \\
&= \sqrt{2 - 2\cos(2\beta l)} = \sqrt{2(1 - (1 - 2\operatorname{sen}^2(\beta l)))} \\
&= \sqrt{2} \sqrt{2\operatorname{sen}^2(\beta l)} = 2|\operatorname{sen}(\beta l)| \quad (6)
\end{aligned}$$

Por tanto el campo eléctrico en cualquier punto resulta proporcional a  $|\operatorname{sen}(\beta l)|$ . Por tanto, si el cristal está operando en la zona cuadrática, la corriente será proporcional a  $\operatorname{sen}^2(\beta l)$  o sea:

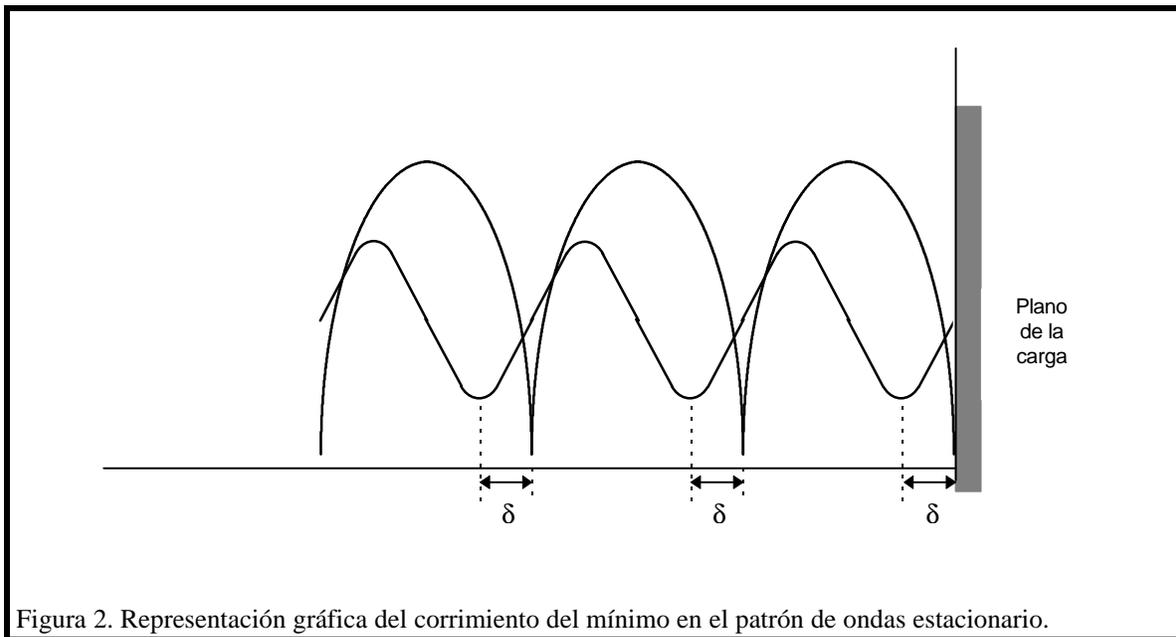
$$I(l) = I_{m\acute{a}x} \operatorname{sen}^2(\beta l) \quad (7)$$

donde  $I_{m\acute{a}x}$  será el máximo valor de la corriente medible en la línea.

#### Medición de impedancia en la línea ranurada:

Debido a que con una línea ranurada es posible medir los máximos y mínimos del patrón de ondas estacionarias, así como también la posición de los mismos sobre la línea, es fácil determinar la impedancia de la carga. El método más comúnmente empleado es el de "desplazamiento del mínimo".

El método consiste en medir el ROE y la posición de los mínimos con la carga conectada. A continuación se sustituye la carga por un cortocircuito y se determina la nueva posición de los mínimos del patrón. De la observación de la figura se ve que si la carga es capacitiva producirá un desplazamiento de los mínimos hacia la carga y si es inductiva los mínimos se desplazarán hacia el generador.



Como la impedancia de entrada de una línea terminada en una carga cualquiera es:

$$z_{in} = \frac{z_L + jTg(\beta l)}{1 + jTg(\beta l)} \quad (8)$$

se puede despejar la impedancia de carga:

$$(1 + jz_L Tg(\beta l)) z_{in} = z_L + jTg(\beta l)$$

$$z_{in} + jz_L Tg(\beta l) z_{in} = z_L + jTg(\beta l)$$

$$z_L - jz_L z_{in} Tg(\beta l) = z_{in} - jTg(\beta l)$$

$$z_L(1 - jz_{in} Tg(\beta l)) = z_{in} - jTg(\beta l)$$

$$z_L = \frac{z_{in} - jTg(\beta l)}{1 - jz_{in} Tg(\beta l)} \quad (9)$$

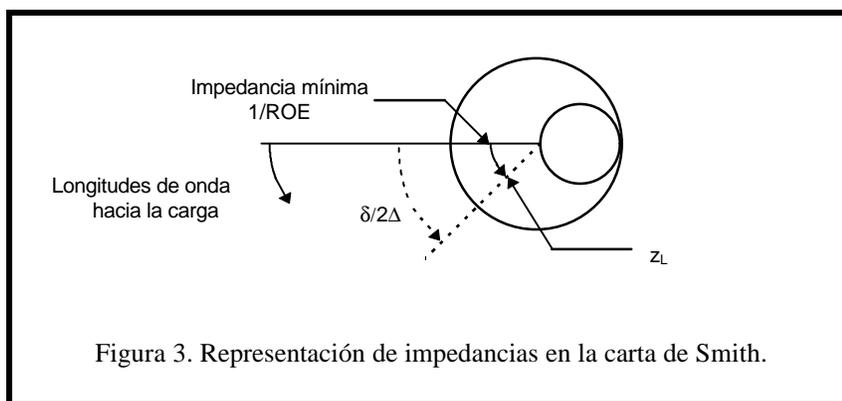
Esta fórmula se puede aplicar a nuestro caso considerando como impedancia de entrada la de un mínimo y como longitud  $l$  el desplazamiento  $d$ . La impedancia en un mínimo vale  $1/ROE$ ; por lo tanto:

$$z_L = \frac{\frac{1}{ROE} - jTg(\beta l)}{1 - j\frac{1}{ROE}Tg(\beta l)} \quad \text{donde} \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\pi}{\Delta}$$

$$z_L = \frac{1 - j(ROE)Tg(\beta l)}{ROE - jTg(\beta l)} = \frac{1 - j(ROE)Tg(\bar{\Delta})}{ROE - jTg(\bar{\Delta})} \quad (10)$$

El valor de  $ROE$  es igual a  $\frac{I_{m\acute{a}x}}{I_{m\acute{i}n}}$  (11)

El valor de  $z_L$  puede ser obtenido a partir de una carta de Smith considerando un valor de impedancia de entrada igual a  $\frac{1}{ROE}$  y efectuando un "giro" de  $\frac{\delta}{2\Delta}$  longitudes de onda hacia la carga o hacia el generador, según sea el desplazamiento del mínimo.

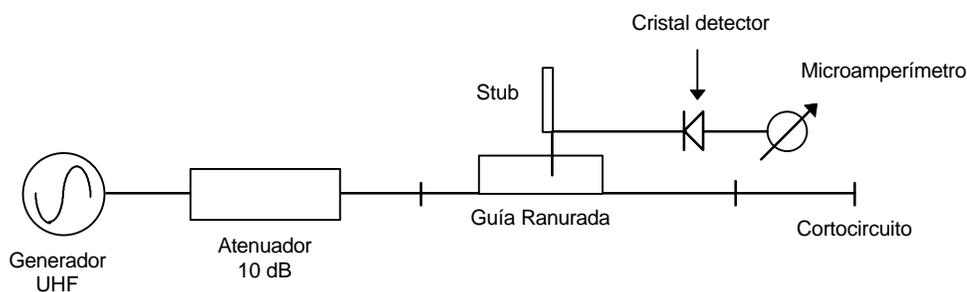


## TRABAJO PRACTICO DE LABORATORIO

### Procedimiento:

#### Calibración:

1. Monte el siguiente sistema:



2. Mientras se calientan los equipos anote las especificaciones del instrumental.

3. Ajuste la longitud del stub hasta lograr máxima lectura en el miliamperímetro; puede ser necesario cambiar la posición de la guía en caso de que casualmente se hubiese coincido con un mínimo de tensión.

4.- Mueva el carro de la guía de un lado a otro y observe el patrón de ondas estacionarias. Anote los valores máximo y mínimo de corriente en el instrumento.

5. Determine la ubicación de dos mínimos consecutivos. Calcule la longitud de onda. Calcule la frecuencia y compara con el valor de excitación.

6. Divida el intervalo entre un máximo y un mínimo en 10 partes iguales. Mida la corriente,  $I$ , en cada uno de estos puntos. Aplique la fórmula (7) en cada uno de estos puntos y determine  $I(l)$  teórica. Anote sus resultados en la tabla I.

**Tabla I**

$I_{\text{máx}}$ : \_\_\_\_\_ mA       $l$ : \_\_\_\_\_ cm       $b$ : \_\_\_\_\_  $\text{cm}^{-1}$

Medida	$l(\text{cm})$	$bl$	$\text{sen}(bl)$	$\text{sen}^2(bl)$	$I(l)$ Teórica	$I(l)$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Medición de Impedancia:

1. Conecte la carga incógnita. Mida en el patrón de ondas estacionario el valor de  $I_{\text{máx}}$  e  $I_{\text{mín}}$  y la posición de los mínimos. Calcule  $ROE$  por la fórmula (11).

2. Sustituya la carga incógnita por un cortocircuito. Anote la magnitud y la dirección del desplazamiento de los mínimos.

3. Calcule la impedancia de la carga.

**Conclusiones y comentarios finales.**

## PRACTICA N°\_ “ TECNICAS DE ALTA FRECUENCIA ”

### OBJETIVO

El objetivo de la practica es que el estudiante mediante el uso del voltímetro vectorial determine la ganancia , la fase y la impedancia de un circuito en alta frecuencia (1Mhz. -- 20Mhz. )

### INTRODUCCION

Existen problemas asociados con el diseño de circuitos sintonizables del tipo LC (sobre todo en el diseño de las bobinas ) que operan en el rango de H.F. no obstante sus buenas características de transferencia justifican afrontar dichos problemas. Otro tipo de circuito que se puede adaptar es la configuración RC.

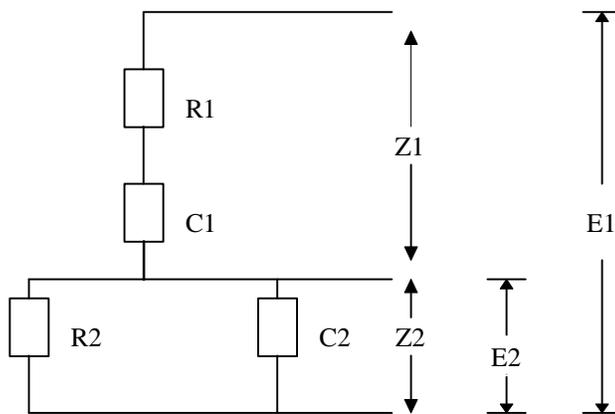


Fig1. Esquema circuital de red de dos puertos utilizado en práctica

El circuito de la figura puede ser examinado por sus características de transferencia de voltaje considerando el cociente  $E2/E1$  es decir su función de transferencia. La parte superior de la red puede ser considerada que tenga una impedancia  $Z1$ , mientras que la porción inferior posee una impedancia  $Z2$ , es decir.

$$Z_1 = R - \frac{i}{\omega C_1}$$

$$Z_2 = \frac{-iR_2 / \omega C_2}{R_2 - i / \omega C_2}$$

$$E_2 / E_1 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{R_2 / \omega C_2}{R_1 / \omega C_2 + R_2 / \omega C_1 + R_2 / \omega C_2 + i(R_1 R_2 - 1 / \omega^2 C_1 C_2)}$$

cuando el sistema entra en resonancia, es decir E2 esta en fase con E1, la parte imaginaria de la expresión anterior se anula dando como resultado la siguiente condición

$$\omega^2 = \omega_0^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2}$$

si  $R_1 = kR_2$  y  $C_2 = mC_1$  donde  $k$  y  $m$  son números reales positivos la expresión de la ganancia puede ser re-escrita como:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{k + m + 1 + i\sqrt{km}(\omega / \omega_0 - \omega_0 / \omega)}$$

y la fase se puede expresar como:

$$f = -\tan^{-1} \frac{\sqrt{km}(\omega / \omega_0 - \omega_0 / \omega)}{k + m + 1}$$

La gráfica de  $E_2/E_1$  vs. frecuencia y la gráfica de la fase vs. frecuencia ( elaborarlo en el pre-informe ) en coordenadas semilogarítmicas presenta simetría par alrededor de  $\omega/\omega_0 = 1$  y simetría impar alrededor de  $\omega/\omega_0 = 1$  respectivamente.

El factor de calidad del circuito se define como

$$Q = \frac{\sqrt{\omega_2 \omega_1}}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\sqrt{km}}{k + m + 1}$$

donde  $\omega_2$  es la frecuencia donde la fase alcanza un valor de  $-45$  grados y  $\omega_1$  es la frecuencia donde la fase toma un valor de  $+45$  grados.

## PRE-LABORATORIO

- El estudiante debe traer en el pre-informe las gráficas en papel semi-logaritmico correspondientes a  $E_2/E_1$  normalizado a  $\omega_0$  y la fase normalizado a  $\omega_0$  para valores de  $k = m = 1$
- Calculo detallado de  $\omega_1$  y  $\omega_2$  en función de  $\omega_0$ ,  $k$ ,  $m$ . y obtener la expresión correspondiente a  $Q$
- La expresión y la gráfica para la impedancia ( parte resistiva y parte reactiva ) del circuito entre los bornes E1 tomando como valores  $R_1 = R_2 = 110 \text{ Ohm.}$  y  $C_1 = C_2 = 1.2 \text{ nf.}$
- La gráfica de  $E_2/E_1$  sin normalizar en  $\omega_0$  para los valores circuitales dados en el punto anterior.
- Ambas gráficas deben ser efectuadas en papel semi-logaritmico cubriendo el rango entre 1Mhz y 20Mhz.

## LABORATORIO

Dado el montaje como se indica en la figura anterior ( el circuito esta contenido dentro de una cápsula de montaje blindado Tektronix de dos puertos, donde el acceso E1 corresponde al conector BNC macho y el acceso E2 corresponde al conector BNC hembra) y utilizando el voltímetro vectorial HP-8405A, el estudiante procederá a medir la ganancia y la fase del circuito para el rango comprendido entre 1Mhz. y 20Mhz.

Con el mismo montaje circuital y utilizando el voltímetro vectorial HP-8405A conjuntamente con el puente direccional HP-8721A ( línea de transmisión direccional con impedancia característica de  $50 \text{ Ohm.}$ ) el estudiante procederá a medir la relación del voltaje reflejado entre el voltaje incidente (en magnitud y fase ) y mediante la relación:

$$Z / Z_0 = \frac{1 + \tilde{\Gamma}}{1 - \tilde{\Gamma}} \quad E_r / E_i = \tilde{\Gamma} = r \angle q$$

se procederá a calcular la impedancia  $Z(f)$  del circuito en el rango comprendido entre 1Mhz. y 20Mhz.

## **PROCEDIMIENTO**

Encender el generador de RF , fijar el generador en modo de operación de portadora fija , escala 0-300 mv, escala de frecuencia 570Khz-1.8Mhz., ajustar voltaje de salida en un valor entre 200mv. y 300mv. **NOTA EL VOLTAJE DE SALIDA DEL GENERADOR DE R.F. NO DEBE SOBREPASAR LOS 300mV..**

Conecte el generador de RF a una deriva con el frecuencímetro

## **MEDICION DE GANANCIA EN UNA RED DE DOS PUERTOS**

1. Conecte una deriva del generador de RF en paralelo con entrada A y B del voltímetro vectorial , ajustar el vernier de fase hasta obtener lectura de cero grados ( esto es con el fin de compensar el desfase intrínseco que se produce en las sondas del voltímetro ).
2. Conecte el generador en paralelo con la entrada A del voltímetro y el puerto E1 del circuito.
3. Conecte la entrada B del voltímetro con el puerto E2 del circuito.
4. Obtenga la lectura de la frecuencia, valor del voltaje r.m.s. de las entradas A y B del voltímetro y la lectura del desfase entra los dos canales.
5. Varíe la frecuencia del generador y repita otra vez el procedimiento de compensación para efectuar la medida en la nueva frecuencia.

## **MEDICION DE IMPEDANCIA DE UN PUERTO EN UNA RED PASIVA N-PUERTO**

1. Conecte el generador en paralelo con la entrada A del voltímetros y la entrada SOURCE del puente ,
2. conecte la entrada B del voltímetro con la salida REFLECTED del puente.
3. mantenga la salida LOAD del puente en abierto.
4. Ajuste el vernier de fase hasta obtener lectura cero .
5. Obtenga el valor del voltaje en A y B del voltímetro y efectúe el cociente de el valor r.m.s. de A entre el valor r.m.s. de B , el resultado obtenido es el factor de corrección en abierto del puente. (corr.).
6. Conecte la carga incógnita en la salida LOAD del puente .
7. Obtenga la lectura de la frecuencia , valor del voltaje r.m.s. de la entradas A y B del voltímetro y la lectura del desfase entre los dos canales. y mediante la formula

$$\tilde{\Gamma} = (\text{corr}) \frac{VB}{VA} \angle \mathbf{q}$$

obtenga el valor del coeficiente de reflexión y sabiendo que  $Z_0 = 50 \text{ ohm.}$  , obtenga el valor de la impedancia incógnita para dicha frecuencia.  
Varíe la frecuencia del generador y repita el procedimiento de corrección para efectuar la medida en la nueva frecuencia.

## Practica N° \_\_\_\_

### “Medición de características de amplitud y fase de filtros”

#### **Objetivos:**

1. Determinación y análisis de las curvas de amplitud y fase vs frecuencia para diferentes tipos de filtros pasivos LC.
2. Uso del medidor de ganancia y fase HP3311
3. Uso de herramientas de software software para el análisis teórico del comportamiento de filtros estudiados.

#### **1. Prelaboratorio**

1.1. Para cada uno de los circuitos mostrados en las figuras (1,2,3) realizar la simulación del comportamiento del filtro, es decir, la obtención de las curvas de ganancia y fase vs frecuencia, mediante el uso de alguno de los paquetes de software disponibles para tal fin (Microcap versiones 2 y 3 (ambiente DOS), Pspice (ambiente Dos y Windows) ó CC). Todos estos paquetes se encuentran disponibles para su uso en la red de la escuela. Se deberán imprimir las curvas pedidas y traerlas al laboratorio. La realización de esta labor es individual y de no ser realizada el alumno no tendrá el derecho a realizar la práctica. Este trabajo previo debe incluirse en el informe.

1.2. Investigue los siguientes puntos

Filtros:

- pasabajo
- pasaalto,
- pasabanda
- eliminabanda.

Frecuencia de corte

Ancho de banda

Características de amplitud y fase de diversos filtros (Butterworth, Chebichev, Cauer, Thompson, etc)

Aplicaciones de circuitos filtros en comunicaciones y electrónica

#### **2. Parte Experimental**

2.1 Uso del medidor de ganancia y fase En el laboratorio se encuentra disponible un equipo que permite la medición de la ganancia y fase de un circuito, este es el medidor de ganancia y fase HP-3311. Con este equipo es posible medir la diferencia de amplitudes (en decibelios) y la diferencia fase (en grados) entre dos puntos cualquiera de un circuito, típicamente los puntos elegidos, tal es el caso de los filtros, son el puerto de entrada y el puerto de salida. También es posible realizar medidas de amplitud y fase de un punto cualquiera del circuito.

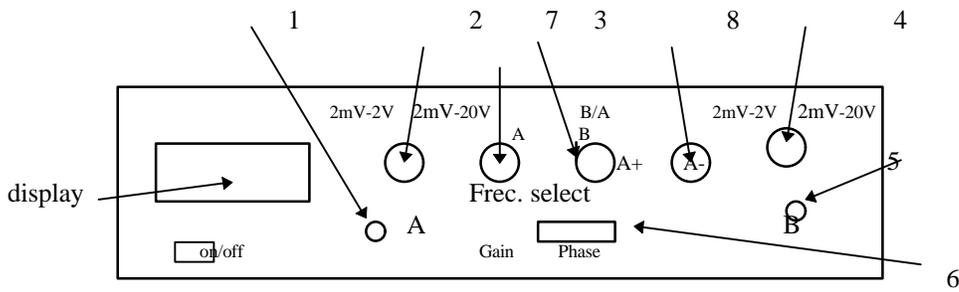


Figura 1. Vista frontal del medidor de ganancia y fase HP 3311

El medidor dispone de dos canales A y B (1 y 5 de la figura) los cuales están controlados por tres controles. Los controles 2 y 4 seleccionan el rango de tensiones que maneja el cada canal, para pequeñas tensiones se usa la escala hasta 2V (posición izquierda) y para los otros casos la escala hasta 20V (posición derecha). Para las mediciones que realizarán en el laboratorio use **SIEMPRE** la escala de 20V, el uso de una escala inapropiada causa severos daños al equipo que pueden conducir a un daño permanente del mismo. El control 3 secciona cual de los canales está siendo operando, pudiendo apearar A teniéndose su amplitud y su fase de la señal en el cana A, operar B obteniéndose amplitud y fase en el canal B ó también realizarse la operación B/A la cual equivale a tomar la diferencia de amplitudes y la diferencia de fases entre B y A. El selector 6 permite seleccionar cual de las magnitudes medidas (amplitud ó fase) se está presentando en el display. Adicionalmente se disponen de los controles 7 y 8 en los cuales se selecciona la frecuencia de la señal a medir y la referencia usada (A+ ó A-).

El medidor de ganancia y fase del que se dispone puede realizar medidas de amplitud entre -60 y +60dB y medidas de fase entre -180 y 180 grados. En base a lo anterior cuando se realicen medidas mayores que 180 grados y menores que -180 grados debe sumársele a la medida aportada por el instrumento  $\pm 180$  grados según sea el caso. La conexión típica de este instrumento para la medición de la característica de amplitud y la característica de fase de una cuadripolo cualquiera se muestra en la figura 2.

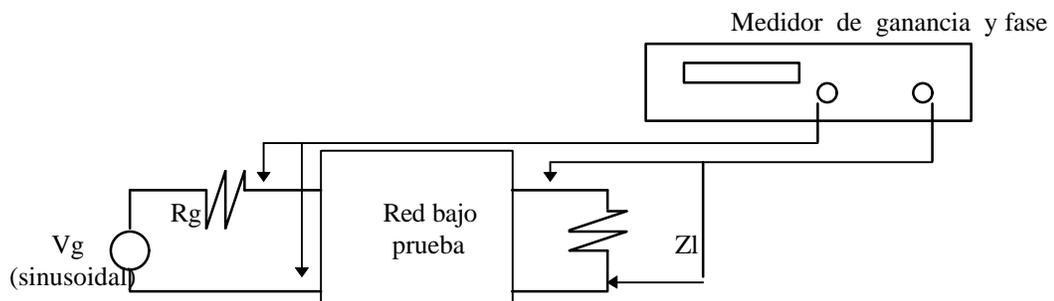
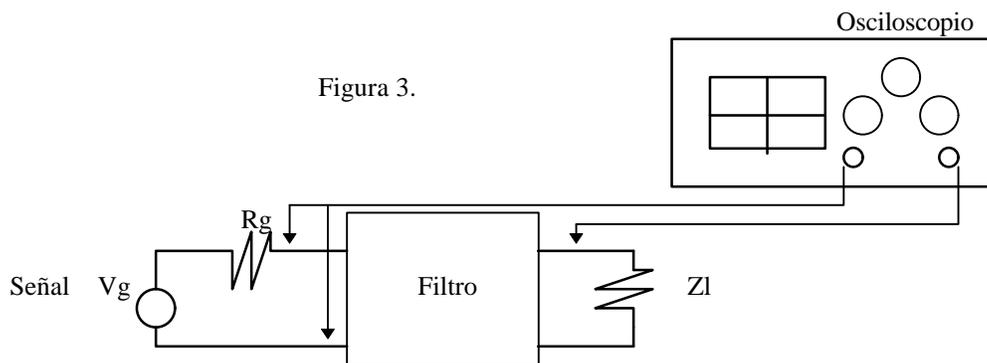


Figura 2. Conexión del medidor de ganancia y fase

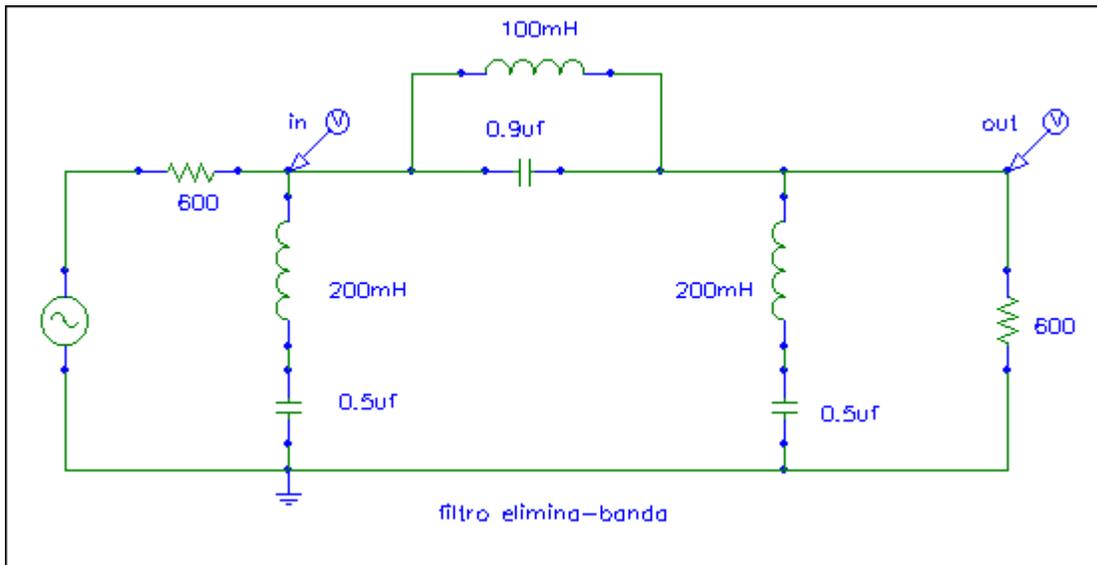
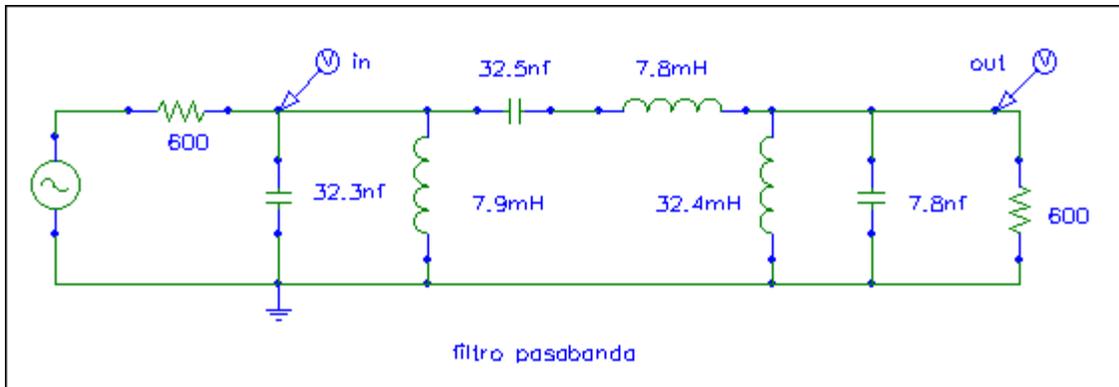
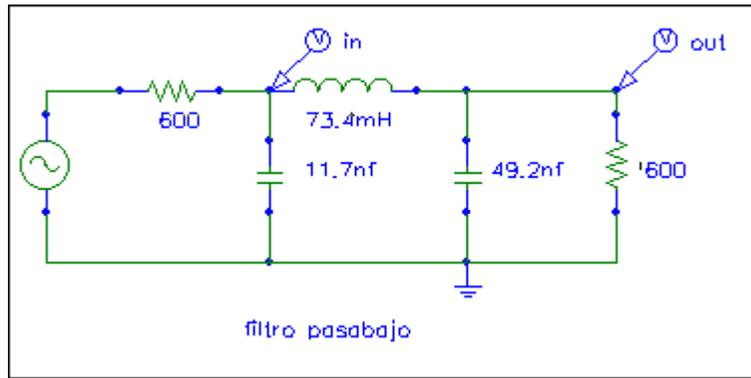
2.2 Para cada uno de los circuitos mostrados en las figuras 4,5 y 6 determinar las curvas de ganancia y fase usando para ello el medidor de ganancia y fase. Recuerde seguir el procedimiento descrito en el punto anterior. Coloque en el generador una señal sinusoidal entre 3 y 5V pico, use para esto un osciloscopio. Tome al menos veinte puntos (frecuencia-ganancia-fase) distribuidos apropiadamente en base a los resultados previos que se tienen al realizar la simulación por computadora, elaborar las tablas apropiadas.

2.3 Para cada una de los filtros en estudio realizar lo siguiente:

- monte el circuito de la figura 3
- cambie en el generador de funciones la forma de onda a cuadrada (entre 3 y 5V pico)
- coloque en el generador una frecuencia de por lo menos una década por debajo de la frecuencia de corte (inferior si es el caso pasabanda o eliminabanda)



aumente progresivamente la frecuencia hasta dos o tres décadas por encima de la frecuencia de corte (superior si el caso de pasabanda o eliminabanda). Observe como cambia la forma de la onda en la salida al variar la frecuencia de la señal del generador. Explique lo que sucede basándose en la teoría de las series de Fourier y las características específicas de cada filtro.



### **3. Informe**

- 3.1 Para cada uno de los filtros medidos realizar las curvas ganancia vs frecuencia y fase vs frecuencia y determinar las frecuencias de corte y el ancho de banda de cada uno. Comparar los anchos los resultados obtenidos en el laboratorio con los obtenidos mediante la simulación por computadora, comparar las frecuencias de corte y ancho de banda experimentales con los teóricos.
  
- 3.2 Analice la forma de las diferentes curvas obtenidas y en base a esto clasifique los filtros. Compare la forma de dichas curvas con la forma de las curvas que presentan los filtros investigados por usted en el prelaboratorio.

# PRACTICA No\_ “ BARRIDO EN FRECUENCIA ”

## Trabajo previo al laboratorio

1. Investigue sobre los siguientes temas:

- Barrido en frecuencia
- Respuesta de amplitud de un circuito
- Modulación en amplitud y fase
- Detectores de envolvente: funcionamiento y usos
- Frecuencia intermedia
- Osciladores controlados por voltaje

2 Para el circuito anexo a la práctica (circuito a ser probado) obtenga mediante algún paquete de simulación (Microcap versiones 2 ó 3, PSpice para DOS ó PSpice para Windows) la respuesta de amplitud del circuito.

**Se recuerda que este trabajo previo es obligatorio** , se debe llevar el resultado impreso al laboratorio .De no realizarse esta labor no se permitirá al alumno realizar la practica.

## Procedimiento de laboratorio

Materiales Utilizados

- 2 Generadores marca 4M Industries modelo 4MFG2210
- 3 Decadas de inductancias marca General Radio
- 3 Decadas de condensadores marca General Radio
- 1 Osciloscopio
- 1 Transformador de frecuencia intermedia de radio
- 1 Circuito detector de envolvente

### 2.1 Calibración del equipo.

A) Monte el siguiente circuito

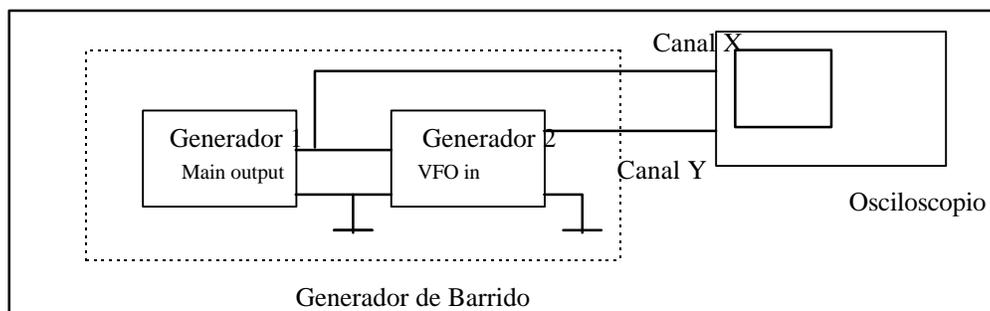


Figura 1

B) Seleccione en el osciloscopio el sincronismo interno y acoplamiento dc en los canales. Seleccione la opción X-Y en la perilla de la base de tiempo.

C) Seleccione en el generador 1 la onda triangular. Ajuste su frecuencia en 60Hz y su amplitud con carga de -4.0Vpp a partir de cero, tal como se muestra en la figura 2.

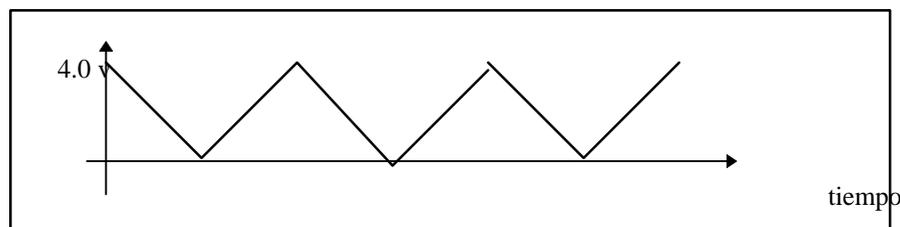


Figura 2

D) Cambie la frecuencia del generador a 0,1Hz.

Seleccione en el generador 2 la onda sinusoidal y ajuste la frecuencia en el dial en 100KHz. Observe en el canal B en el osciloscopio el efecto de la modulación de frecuencia de la zona sinusoidal.

También observe y anote el efecto que se produce al cambiar en el generador 1 la onda triangular por una rectangular y sinusoidal.

E) Ajuste la amplitud del generador 2 en aproximadamente 6.0Vpp sin carga (tome en cuenta la atenuación de la punta de prueba). Observe que la tensión de salida varía ligeramente con la frecuencia.

Anote las observaciones. A continuación ajuste el control DC offset del generador 2 hasta que la señal en el osciloscopio tenga exactamente componente continua nula. No vuelva a mover este control.

F) Aumente ahora lentamente la frecuencia del generador 1 (onda triangular) y observe como varía la frecuencia del generador 2.

Finalmente deje fija la frecuencia del generador 1 en 0,1 Hz, onda triangular. Esta va a ser la frecuencia de barrido.

## 2.2) Respuesta en frecuencia del circuito resonante serie

A) Monte el siguiente circuito

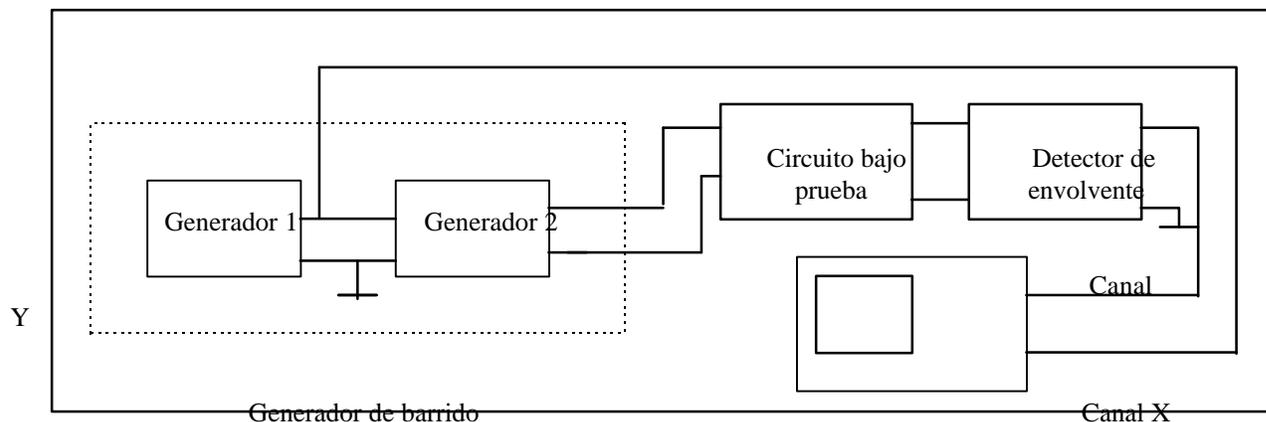


Figura 3.

B) Seleccione en la base de tiempo la opción X-Y.

Con ayuda de los controles de ganancia de los canales y los controles de posición ajuste hasta obtener una imagen apropiada en el osciloscopio, se debe poder observar tres “picos” bien diferenciados, tal como se observa en la simulación por computador hecha previa al laboratorio.

Compare la imagen en el osciloscopio con el resultado de la simulación por computador. Anote las diferencias y explíquelas.

D) Conmute el generador 1 de onda triangular a sinusoidal y viceversa. Observe que no se producen cambios apreciables en la forma de onda en el osciloscopio. Analice este hecho.

E) Elimine del montaje el detector de envolvente y vuelva a ajustar los controles del osciloscopio hasta obtener una imagen aceptable. Comente lo observado. Explique los tipos de modulación que están presentes en la señal observada.

**NOTA: características del generador disponible en el laboratorio :**

**-Tipo: 4M INDUSTRIES Mod. 4MFG2210**

**-La ecuación correspondiente a operación en modo VFO es:**

**barrido de voltaje 0.0 V --- 4.0 V ( entrada VFO IN )**

**barrido en frecuencia  $F_o$  -----  $F_o/10$**

**$F_o = 10^n$  Hz. ; n= 1,2,3,4,5**

