

3

PRÁCTICA 3: MEDIDAS EN CORRIENTE ALTERNA

3.1. Objetivo

En la tercera práctica vamos a aprender el manejo del osciloscopio y estudiaremos un circuito RC en el dominio de la frecuencia a través de la medida de los cambios en la tensión de la señal de salida debidos a las variaciones de la frecuencia de la señal de entrada. Con estas medidas, se realizará el diagrama de Bode en amplitud de la función de transferencia que se obtiene al tomar la salida en el condensador del circuito RC.

3.2. Manejo del osciloscopio

El osciloscopio es un instrumento análogo al multímetro o polímetro. Es decir, sirve para medir voltajes entre los polos de sus terminales llamados sondas. Se diferencia del polímetro en varios aspectos:

- Posee una pantalla para visualizar el voltaje medido en función del tiempo. En la pantalla, el eje vertical corresponde a voltajes y el horizontal a tiempo (salvo en un caso particular de discutiremos más adelante). Es decir, si mide una tensión continua aparece una línea

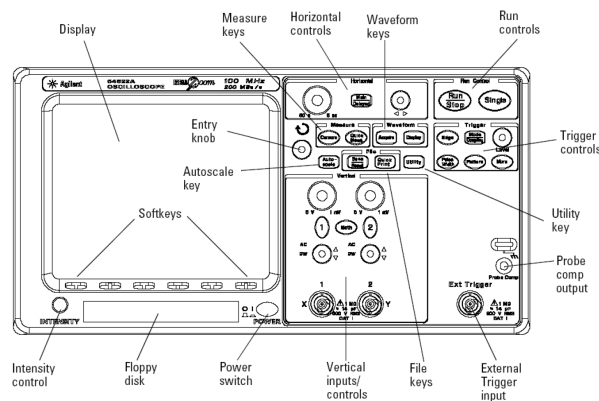


Figura 3.1: Frontal del osciloscopio 54622A de Agilent.

de altura constante en toda la pantalla, mientras que si la tensión es alterna o transitoria, su altura varía con el tiempo respecto del eje horizontal.

- Por otro lado, este osciloscopio que usaremos posee dos canales de entrada X e Y, o 1 y 2 en la figura 3.1) con sus respectivas sondas; es decir, podemos visualizar y medir dos señales a la vez, así como visualizar algunas operaciones aritméticas sencillas entre ellas (por ejemplo, la suma y resta de ambos canales).

Vista esta introducción, iniciemos el manejo del osciloscopio 54622A de Agilent, cuyo panel frontal se muestra en la figura 3.1. A continuación se describen los controles fundamentales y los procedimientos de operación para las operaciones más comunes a lo largo del desarrollo de las prácticas. En cualquier caso, siempre habremos de tener en cuenta las siguientes consideraciones iniciales:

1. Encendido del aparato: El botón de encendido POWER se encuentra en la parte inferior derecha de la pantalla. Al otro lado de la parte inferior de la pantalla tenemos el control de intensidad de la misma (INTENSITY).
2. Sondas: El aparato debe tener dos sondas, figura 3.2, o terminales insertados cada una en los bornes X-1 e Y-2. Cada sonda se compone a su vez de dos polos: el polo positivo es el gancho oculto en el extremo de la sonda que aparece retrayendo la punta, y el polo negativo o cable de masa, el cocodrilo. La sonda medirá la diferencia de potencial entre ambos polos. La sonda se muestra en la figura 3.2.
3. Ajustes iniciales: El osciloscopio 54622A es un instrumento digital, con lo que se accede a la mayor parte de sus funciones a través de

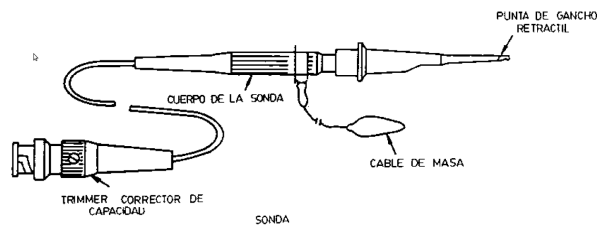


Figura 3.2: Sonda.

menús de configuración directamente en la pantalla; dichos menús se activan con los controles del panel frontal (figura 3.1) y se navega a través de ellos con las teclas (Softkeys) situadas bajo la misma. Además, el instrumento es capaz de ajustar los parámetros principales de la medida automáticamente con la tecla Autoscale (figura 3.1). Por tanto, para iniciar una medida, habremos de asegurarnos de que la tecla Run/Stop está en verde y presionar Autoscale para que el instrumento ajuste los parámetros principales.

3.2.1. Manejo de los controles

Ajuste Vertical (Voltajes)

Cada canal cuenta con tres controles (ver figura 3.3) situados en el panel frontal encima de la conexión de la sonda correspondiente; comenzando por la parte superior, corresponden a:

- Control de amplitud de la señal: este control giratorio permite variar la escala vertical (tensión) con la que se representa la señal correspondiente.
- Selector de canal: este botón permite seleccionar cada uno de los canales de entrada analógicos para que sea representado en pantalla. Cuando dicho canal está seleccionado, la tecla correspondiente está iluminada. Por tanto, se pueden seleccionar y representar ambos canales simultáneamente o cada uno por separado.
- Ajuste vertical: este control giratorio permite desplazar verticalmente en la pantalla cada una de las señales, a fin de que el usuario pueda representarlas en la manera más conveniente.
- Además, el botón Math despliega el menú de funciones matemáticas con las entradas; este menú permite sumar, restar y multiplicar las dos señales de entrada.

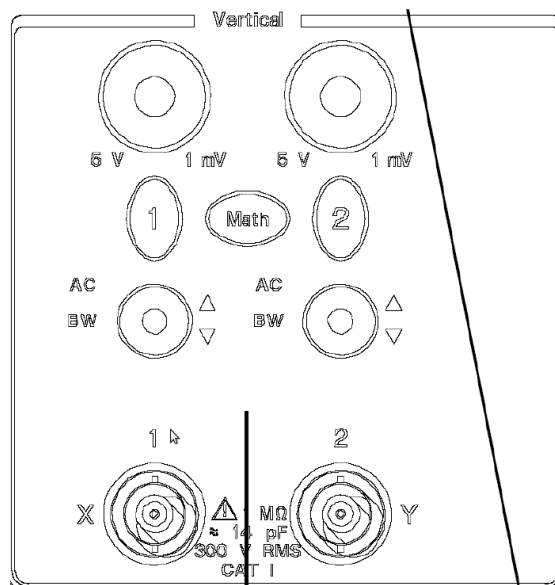


Figura 3.3: Controles verticales.

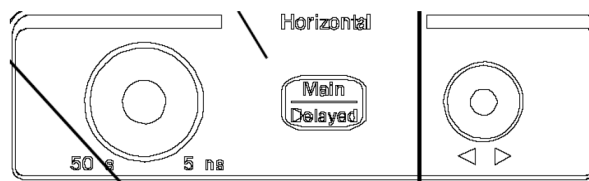


Figura 3.4: Controles horizontales.

Ajuste Horizontal (Tiempo)

Permite controlar la escala de tiempos (eje horizontal) de la representación en la pantalla del instrumento (ver figura 3.4). Esto se logra mediante dos controles básicos:

- Control de base de tiempos: corresponde al control giratorio de la izquierda de la figura 3.4 y permite fijar la escala horizontal de la representación, desde 50 s/DIV hasta 5 ns/DIV.
- Control de posición horizontal: es el control giratorio de la derecha y permite desplazar la representación en pantalla a izquierda o derecha.
- Además, el botón Main/Delayed despliega el menú de adquisición. Dado que no haremos uso en profundidad de esta característica, tendremos que asegurarnos de que en dicho menú siempre está seleccionado Main, lo que podemos hacer utilizando los botones (softkeys) situados bajo la pantalla.

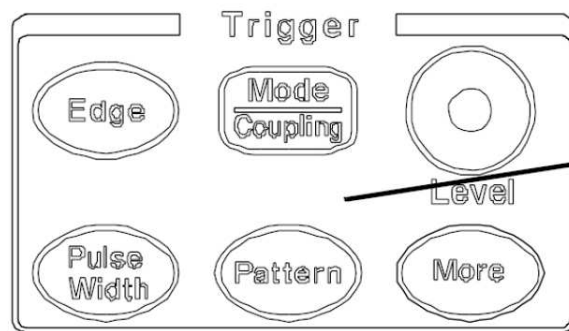


Figura 3.5: Controles de Trigger.

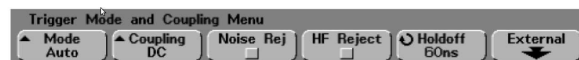


Figura 3.6: Menú de Mode/Coupling del Trigger.

Parada de Imagen

Cuando el osciloscopio está funcionando normalmente, es posible presionar el botón Run/Stop (que se iluminará en rojo) para detener o congelar la imagen. Con esta función, en la pantalla queda representado el último ciclo de adquisición del aparato y es posible realizar diferentes medidas sobre esta imagen congelada.

Controles de Trigger

La función de trigger o disparo es la que permite al osciloscopio representar correctamente señales periódicas en la pantalla. Se puede acceder a la configuración del disparo con los controles correspondientes (figura 3.5). El botón **Mode/Coupling** despliega el menú correspondiente, en el que po-

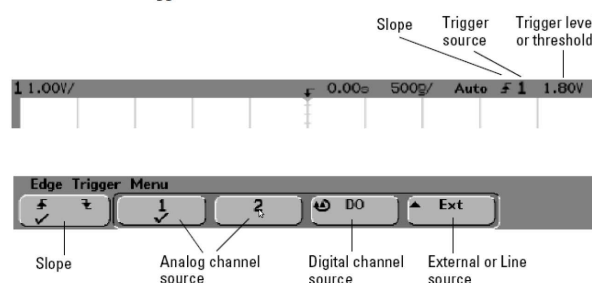


Figura 3.7: Menú de Edge de Trigger.

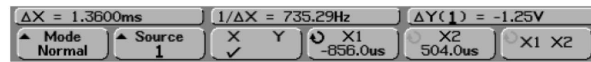


Figura 3.8: Menú de Cursores.

dremos navegar utilizando las softkeys (figura 3.6). En dicho menú podemos seleccionar el modo de disparo, el acoplamiento y otras características:

- Modo: podemos seleccionar entre Normal, Auto y Auto Level, aunque siempre deberemos situarlo en Auto.
- Acoplamiento: las opciones posibles son DC, AC y LF Reject. Normalmente deberemos seleccionar el modo DC, ya que en el modo AC se filtran las componentes DC de las entradas y, por tanto, podemos perder parte de las mismas. El modo LF Reject está indicado sólo cuando las entradas son de baja frecuencia y no pueden mostrarse correctamente, ya que elimina las componentes de 50 Hz.

Con la tecla **Edge** podemos desplegar un menú (figura 3.7) que permite afinar las características del trigger:

- Pendiente: selecciona si el disparo se producirá en la pendiente positiva o negativa de la señal fuente.
- Fuente: permite seleccionar la señal que actuará como fuente del disparo, bien entre las entradas analógicas o una señal externa (nuestro osciloscopio no posee entradas digitales). En caso de representación incorrecta de la señal tendremos que asegurarnos que en la señal de fuente hay una entrada válida.
- Nivel de disparo: el control giratorio Level permite, para una pendiente seleccionada, variar el nivel concreto en el que se produce el disparo. Se puede variar dicho nivel cuando al disminuir la amplitud de la señal de entrada se pierde la visualización de la señal.

Controles y Medidas

El osciloscopio Agilent 54622A permite realizar medidas sobre las señales representadas en pantalla de dos maneras diferentes: utilizando los cursores y con el menú de medidas. Los cursores se muestran en pantalla presionando el botón **Cursors** que activa también el menú correspondiente y muestra las medidas en pantalla (figura 3.8) Se puede navegar por dicho menú utilizando las softkeys y mover los cursores en la pantalla con el control giratorio Entry knob situado en el panel frontal del osciloscopio. Por otra parte, el botón **Quick Meas** da acceso al menú de medidas rápidas (figura 3.9); entre las medidas automáticas que puede realizar el osciloscopio destacan las medidas

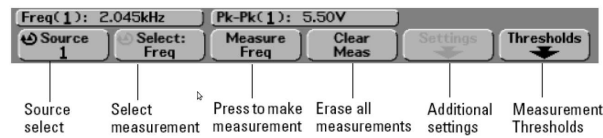


Figura 3.9: Menú de medida automática.

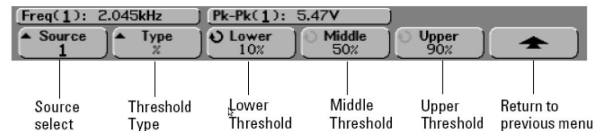


Figura 3.10: Menú de ajuste de umbrales.

de tensión (media, máximo, mínimo, amplitud, pico a pico, RMS, etc.) y de tiempo (frecuencia, periodo, tiempos de subida y bajada, etc.). Una vez que se ha activado el menú de medidas rápidas, se puede navegar en él con las softkeys:

- Fuente: permite seleccionar la señal sobre la que se realiza la medida.
- Selección: permite seleccionar la medida a realizar girando el control giratorio Entry knob tras pulsar esta tecla.
- Medida (Measure) realiza la medida, al tiempo que Clear Meas elimina las medidas realizadas que se muestran en la pantalla.
- Ajustes (Settings): permite fijar diferentes parámetros para algunos tipos de medida que así lo requieren.
- Umbrales (Thresholds): algunas medidas se realizan a partir de ciertos umbrales predefinidos, como los tiempos de subida y bajada que se realizan entre el 10 % y 90 % de variación de la señal. El acceso a esta parte del menú permite modificar los valores por defecto de estos umbrales (ver figura 3.10). Es importante notar que los umbrales por defecto del aparato son 10 %, 50 % y 100 % para el inferior (Lower), medio (Middle) y superior (Upper), respectivamente con lo que será preciso modificar el umbral superior al 90 % para la medida de los tiempos de subida y bajada tal y como están definidos en la figura 3.11.

3.2.2. Modos de funcionamiento

Modo en tiempo real con uno y/o dos canales

Este es el modo usual, donde los voltajes aparecen verticales frente al eje temporal horizontal. Después de los ajustes iniciales, y una vez introdu-

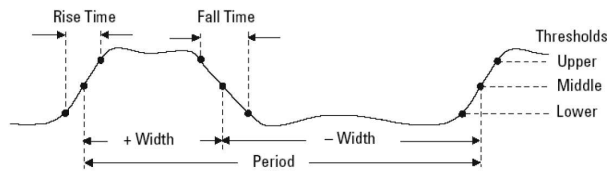


Figura 3.11: Definición de tiempo de subida (rise time) y tiempo de bajada (fall time).

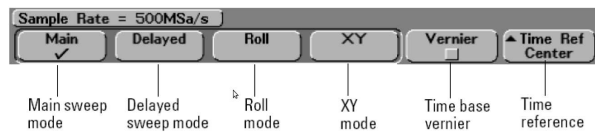


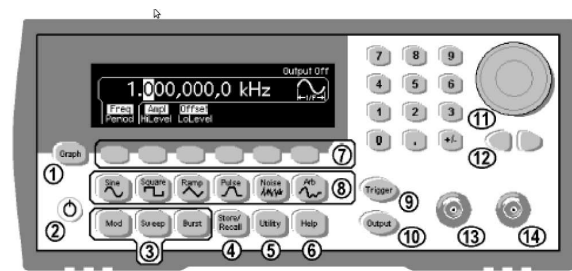
Figura 3.12: Menú del modo XY.

cidas las señales en los canales correspondientes, para una mejor medida, es necesario realizar las siguientes operaciones:

1. Asegurarnos de que el acoplamiento es DC.
2. Accionar el botón Autoscale para que el aparato trate de fijar automáticamente la base de tiempos y las escalas de tensión.
3. Si el osciloscopio no es capaz de proporcionar una imagen estática, acceder al los menús de disparo y modificar el nivel del mismo como se ha descrito anteriormente.
4. Manipular la base de tiempos, las escalas de tensión y el desplazamiento vertical de las señales para conseguir la representación deseada en pantalla.
5. Tendremos que tener siempre en cuenta que el nivel de referencia para cada canal (0V, tierra, GND) está marcado en el lateral izquierdo de la pantalla con el símbolo con una flecha apuntando a la derecha y el símbolo de tierra.

Modo XY

En este modo el voltaje de la señal en el canal 2-Y se representa en el eje vertical frente al voltaje en el canal 1-X. Se usa para obtener las características de transferencia (V_o frente a V_i) de los circuitos a medir. Para su uso, simplemente hay que accionar el botón Main/Delayed y seleccionar en el menú dicho modo (ver figura 3.12).



- | | |
|-------------------------------|---|
| 1 Graph Mode/Local Key | 9 Manual Trigger Key (<i>used for Sweep and Burst only</i>) |
| 2 On/Off Switch | 10 Output Enable/Disable Key |
| 3 Modulation/Sweep/Burst Keys | 11 Knob |
| 4 State Storage Menu Key | 12 Cursor Keys |
| 5 Utility Menu Key | 13 Sync Connector |
| 6 Help Menu Key | 14 Output Connector |
| 7 Menu Operation Softkeys | |
| 8 Waveform Selection Keys | |

Figura 3.13: Generador de señales Agilent 33220A.

3.3. Manejo del generador de señales

El generador de señales Agilent 33220A (ver figura 3.13) es una fuente de tensión variable en el tiempo que proporciona señales de diferentes tipos (sinusoidales, triangulares, cuadradas, simétricas o asimétricas) en el margen de frecuencias de 1 Hz a 20 MHz y con tensiones máximas de pico a pico de 20 V en circuito abierto. Además permite sumar a la señal variable una tensión continua o tensión “offset” positiva o negativa. La impedancia de salida del generador es de 50 Ω .

3.3.1. Manejo del generador

En el terminal (14) el generador viene con un cable con dos terminales. Como cualquier fuente de tensión, este generador tiene la salida con dos polos, el rojo el positivo y el negro la referencia o negativo.

TÉNGASE CUIDADO DE NO CORTOCIRCUITAR ACCIDENTALMENTE AMBOS POLOS, SE PUEDE DAÑAR EL EQUIPO.

PARA QUE LA SEÑAL DE SALIDA SELECCIONADA SE APLIQUE EN LA SONDA DE SALIDA DEBE PULSARSE EL BOTÓN OUTPUT (10).

3.3.2. Pantalla de presentación de datos

La información acerca de la señal generada se puede observar en una pantalla LCD. Existen dos modos de funcionamiento que se pueden alternar pulsando la tecla GRAPH (1). Una vista de la pantalla en el modo numérico

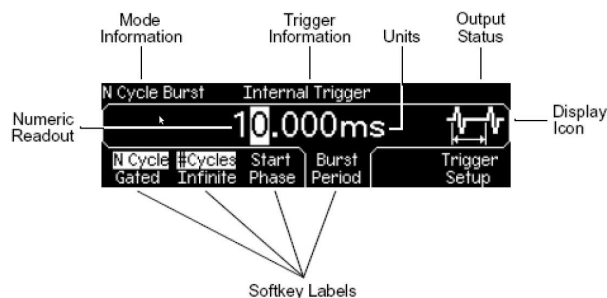


Figura 3.14: Pantalla del generador de señales en el modo numérico.

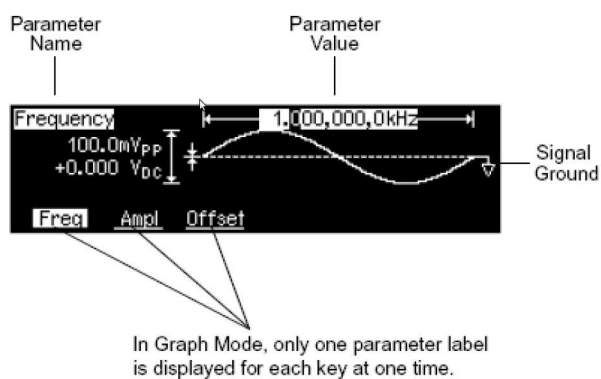


Figura 3.15: Pantalla del generador de señales en el modo gráfico.

puede verse en la figura 3.14 y la del modo gráfico puede verse en la figura 3.15.

Para seleccionar los distintos parámetros de la señal se debe pulsar la tecla correspondiente (7) situada debajo del indicador que aparece en la pantalla. Para cambiar el valor del parámetro seleccionado (amplitud, frecuencia, offset...) se puede utilizar la rueda (11) junto con los botones (12) o el teclado numérico y el grupo de teclas (7) para elegir valor y unidades respectivamente.

ANTES DE SELECCIONAR LOS PARÁMETROS DE LA SEÑAL DESEADA SE DEBE HABILITAR EL MODO DE ALTA IMPEDANCIA (HIGH Z) PULSANDO LA TECLA UTILITY (5) Y A CONTINUACIÓN LA MARCADA CON LOAD. Ver figura 3.16.

La forma de la señal generada se puede seleccionar utilizando el grupo de botones (8) de forma que es posible obtener señales sinusoidales, cuadradas, rampas o de tipo ruido blanco entre otras. En la figura 3.17 se muestra un detalle de esta parte del generador de señales.

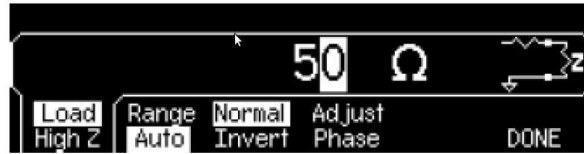


Figura 3.16: Pantalla del generador de señales para seleccionar la impedancia.

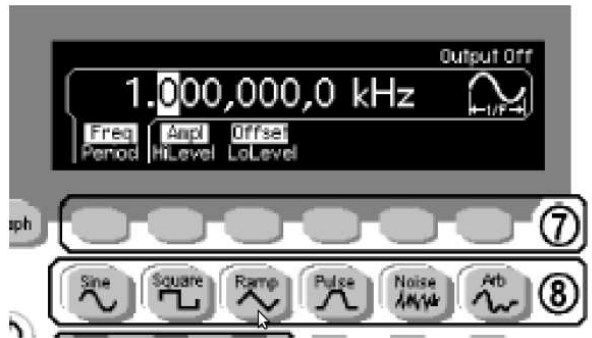


Figura 3.17: Selección de la forma de onda en el generador de señales.

3.4. Fundamento Teórico

Filtro paso baja

En la figura 3.18 se representa un filtro paso baja de primer orden.

Si analizamos detenidamente el circuito, podemos ver que la resistencia y el condensador están en serie. Por tanto, la impedancia equivalente de esta asociación es:

$$Z_{eq} = Z_R + Z_C = R + \frac{1}{j\omega C} = \frac{j\omega RC + 1}{j\omega C} = \frac{1 + j\omega RC}{j\omega C} \quad (3.1)$$

De esta forma, el fasor que representa a la corriente que circula por el

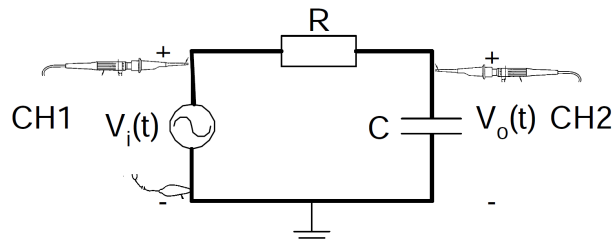


Figura 3.18: Filtro paso baja de primer orden.

circuito es:

$$i(\omega) = \frac{v_i(\omega)}{Z_{eq}} = v_i(\omega) \frac{j\omega C}{1 + j\omega RC} \quad (3.2)$$

siendo $v_i(\omega)$ el fasor que representa la tensión de la fuente de entrada. Por tanto, el fasor que representa la caída de tensión en el condensador, medido con el canal 2 (CH2) en la figura 3.18, es:

$$v_C(\omega) = i(\omega)Z_C = \frac{v_i(\omega)}{1 + j\omega RC} \quad (3.3)$$

De esta manera, la función de transferencia del circuito es

$$T(\omega) = \frac{v_C(\omega)}{v_i(\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (3.4)$$

En esta práctica vamos a obtener experimentalmente el diagrama de Bode de amplitud, por lo que es necesario calcular el módulo de la función de transferencia, obteniéndose:

$$|T(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} \quad (3.5)$$

siendo $\omega_0 = 1/(RC)$ la frecuencia de corte del circuito. La función de transferencia en el diagrama de Bode se representa usando los decibelios, obteniéndose por consiguiente:

$$|T(\omega)|_{dB} = 20 \log \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} \right] \quad (3.6)$$

Las características de este diagrama de filtro paso baja son:

- Para bajas frecuencias no se atenúa la amplitud de salida (se mantiene muy parecida a la de entrada) y el diagrama de Bode vale en torno a 0 dB.
- Para una frecuencia igual a la de corte, la atenuación es de -3 dB.
- Para frecuencias superiores a la de corte la amplitud de salida se atenúa cada vez más (amplitud de salida más y más pequeña al aumentar la frecuencia), con una pendiente de 20 dB/década.

3.5. Procedimiento Experimental

Filtro paso baja

1. Dados una resistencia y un condensador, mida sus valores con el polímetro. Con ellos, calcule teóricamente la frecuencia de corte del filtro ω_0^{teo} (y también f_0^{teo}). Los resultados obtenidos se anotarán en los puntos 1 y 2 del trabajo de laboratorio para entregar.

2. Monte en el zócalo el circuito de la fig. 3.18. La fuente $v_i(t)$ será el generador de señal con forma de onda sinusoidal sin “offset” con amplitud pico a pico de al menos 10 V.
3. Mida las amplitudes pico a pico de la entrada $v_i(t)$ (V_{ipp}) y de la señal de salida $v_0(t)$ (V_{opp}) y la frecuencia de la señal de entrada. Para ello póngase la sonda del canal 1 del osciloscopio a medir la entrada y la del canal 2 la salida. No olvide poner al menos una de las masas de la sondas al polo negativo del generador. Como vamos a obtener experimentalmente el diagrama de Bode en amplitud, debemos realizar esta operación repetidamente cambiando la frecuencia de la señal de entrada y construyendo una tabla (que constituirá el punto 3 del trabajo de laboratorio). El rango de frecuencias que vamos a estudiar comprende entre los 100 Hz y los 500 KHz, con los factores 1, 2, 3, 5 y 8 en cada década. Para hacer más sencillo el procedimiento, comience con el valor de la frecuencia más bajo, donde no se observará la atenuación de la señal de entrada.

3.6. Trabajo de laboratorio

Nombre de los alumnos:

Turno de la sesión de prácticas:

1. Indique los valores experimentales de los elementos usados en el circuito.

$R =$	$C =$
-------	-------

2. Indique la frecuencia de corte teórica calculada a partir de los valores de R y C del punto anterior.

$f_0^{teo} =$	$\omega_0^{teo} =$
---------------	--------------------

(Muestre aquí los cálculos de error realizados)

3. Rellene la tabla que viene en el archivo de Excel que acompaña al guion de esta práctica con los datos experimentales necesarios para realizar el diagrama de Bode.¹

¹No hace falta que escriba los errores de las distintas magnitudes en la tabla.

4. Represente el diagrama de Bode en amplitud con ayuda de Excel. En le eje X pondremos la frecuencia en escala logarítmica (columna G), y en el eje Y representaremos $20 \log(V_{opp}/V_{ipp})$ (columna H).
5. Busque experimentalmente la frecuencia de corte. Es decir, aquélla para la que se cumple que $V_{opp}=0.7V_{ipp}$. Anote su valor.

$$f_0^{exp} =$$

$$\omega_0^{exp} =$$

6. Calcule la pendiente en la zona de bajada del diagrama de Bode mediante un ajuste lineal para frecuencias mayores que la de corte. ¿Qué valor obtiene?, ¿qué valor debería obtener teóricamente?

7. Envíe por correo electrónico al profesor de prácticas el archivo Excel donde se vea la tabla rellena, el diagrama de Bode, y el ajuste lineal correspondiente al apartado anterior.