

**Instituto tecnológico de Massachusetts**  
**Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática**

**6.002 – Circuitos y Electrónica**  
**Otoño 2001**

**Fotocopia del equipo de laboratorio**  
**(S01-017)**  
**Realizada por Iahn Cajigas González – EECS '02**

**Última modificación: 6 de septiembre de 2001**

La finalidad de estas fotocopias es proporcionar una visión general técnica de los instrumentos de laboratorio que utilizaremos en el curso 6.002: el osciloscopio, el multímetro y el generador de funciones. Incluye numeroso material encontrado en los manuales de cada instrumento, así como información del funcionamiento de cada uno de ellos. El presente texto busca servir de referencia a la terminología y los métodos habituales de laboratorio, al mismo tiempo que trata de construir una intuición técnica del funcionamiento de cada instrumento y de familiarizar a los estudiantes en su manejo. Los estudiantes con experiencia previa en laboratorio sólo necesitarán hojear las fotocopias y centrarse simplemente en las secciones y en los términos con los que no estén familiarizados.

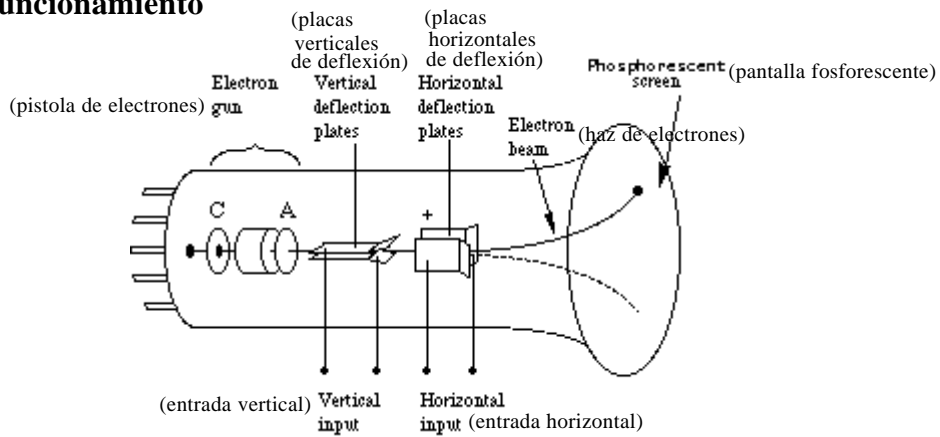
## **EL OSCILOSCOPIO**

El osciloscopio es un instrumento electrónico basado en un tubo de rayos catódicos (CRT) – similar al tubo de imagen de una televisión – capaz de generar un gráfico de una señal de entrada frente a una segunda variable. En la mayoría de las aplicaciones, el eje vertical (Y) representa la tensión y el eje horizontal (X) el tiempo (aunque son posibles otras configuraciones). Básicamente, el osciloscopio consta de 4 partes principales: una pistola de electrones, un generador basado en el tiempo que hace las veces de reloj, dos juegos de placas de deflexión utilizadas para dirigir el haz de electrones y una pantalla fosforescente que se enciende cuando es golpeada por los electrones. La pistola de electrones, las placas de deflexión y la pantalla fosforescente están envueltas por un sobre de cristal sellado y al vacío.

La parte visible del tubo CRT, la "pantalla", es la parte exterior de la pared de cristal en cuya superficie interior

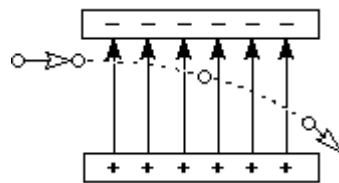
se ubica la película fosforescente. En la pantalla hay grabados un conjunto de ejes cercados por una rejilla. Mientras funciona el osciloscopio, el haz de electrones traza un gráfico de la tensión de entrada con relación al tiempo en la película fosforescente situada detrás de estos ejes. El eje horizontal es el eje del tiempo y el vertical el de tensión.

**Principios de funcionamiento**



**Figura 1:** partes internas de un osciloscopio.

El componente principal de un osciloscopio es la pistola de electrones que expulsa un haz constante de electrones al vacío circundante (véase la Figura 1). Cuando el haz sale de la pistola, pasa a través de un conjunto de placas paralelas (las **placas verticales de deflexión**) orientadas horizontalmente. La tensión que se manifiesta se aumenta y se aplica a través de estas placas produciendo un campo eléctrico que desvía la trayectoria de los electrones verticalmente. La polaridad de la señal que interesa determina si las desviaciones serán hacia arriba o hacia abajo y la magnitud de la señal determina la cantidad de desplazamiento vertical de los electrones.



**Figura 2:** desviación de un electrón en un campo eléctrico uniforme.

Una vez que el haz ha pasado a través de las **placas verticales de deflexión**, éste pasa a través de un segundo conjunto de placas similares a las anteriores orientadas verticalmente. Una diferencia potencial aplicada a estas placas produce un campo eléctrico que desvía los electrones a izquierda o derecha. Según la mayoría de las configuraciones (una excepción frecuente es el modo XY que analizaremos más adelante), estas **placas horizontales de deflexión**

hacen que el haz se desplace lateralmente a una velocidad constante. Si se ajusta esta velocidad con el botón de **barrido** (*Sweep*), la trayectoria que aparezca en la pantalla se podrá extender o comprimir.

Si se mantuviesen constantes las dos tensiones de deflexión, el haz de electrones alcanzaría un punto fijo en la película fosforescente y se vería en pantalla un punto estacionario. Sin embargo, la mayoría de las tensiones que interesan son variables en el tiempo, por lo que la tensión aplicada a las **placas horizontales de deflexión** también lo es, de tal forma que el punto se desplaza en la pantalla de izquierda a derecha a medida que pasa el tiempo. Dado que el material fosforescente tiene la propiedad de emitir luz durante varios milisegundos una vez han pasado los electrones, el efecto total es que los electrones dejan tras de sí una estela – una forma de onda variable en el tiempo.

La tensión horizontal de deflexión (o tensión de "barrido") también se modifica, de modo que cuando el haz alcanza el borde derecho de la pantalla comienza de nuevo en el lado izquierdo. Si la señal que se va a mostrar varía periódicamente en el tiempo, es posible sincronizar la tensión de barrido con la señal, de tal forma que la curva aparezca inmóvil en la pantalla. Esto se realiza mediante el control de **Nivel de disparo** (*Trigger Level*) que hace que el osciloscopio inicie una señal cuando la tensión que mide alcanza un determinado valor. El botón de (+) o (–) le permite elegir si desea que el osciloscopio dispare sobre una tensión positiva o negativa. Generalmente, una señal que está cruzando la pantalla puede estabilizarse ajustando el nivel de disparo (siempre que la forma de onda sea periódica).

## MANEJO DEL OSCILOSCOPIO

Ahora que hemos adquirido un conocimiento básico sobre el funcionamiento del osciloscopio, podemos pasar a explorar algunas de las tareas más comunes que pueden realizarse con este instrumento. El osciloscopio que utilizaremos en el curso 6.002 es el modelo Tektronix 2445, con entrada de cuatro canales.

Dado que tiene cuatro canales, podemos trazar simultáneamente el gráfico de cuatro tensiones definidas en el CTR (aunque no nos complicaremos tanto en el curso 6.002). Aparte del propio display, el osciloscopio está constituido por diferentes paneles de control que proporcionan al usuario un control completo del procesamiento y muestra de las entradas. En la siguiente sección, describiremos cada uno de los paneles de control y resumiremos la funcionalidad de cada uno de los ajustes.

## EL DISPLAY

El display del osciloscopio se puede ajustar de diferentes maneras para que las señales de visualización aparezcan más claras y mejor definidas en pantalla. Debajo de la pantalla encontrará una serie de controles que le

permitirán ajustar la intensidad y el enfoque, entre otros, de las formas de onda.

A continuación, se indican las etiquetas de los controles y la descripción de su función.

**INTENSITY (Intensidad):**

Controla la luminosidad de la forma de onda visualizada. A medida que aumente la velocidad de barrido de un osciloscopio analógico, será necesario aumentar el nivel de intensidad.

**FOCUS (Enfoque):**

Controla la nitidez de la forma de onda visualizada en pantalla.

**READOUT INTENSITY (Intensidad de lectura):**

Controla la intensidad de las lecturas de mediciones en pantalla del osciloscopio; como, por ejemplo, la frecuencia, el periodo, SEC/DIV y VOLTS/DIV.

**FOCUS (Enfoque):**

Controla la nitidez de las lecturas de mediciones en pantalla en el display.

**SCALE ILLUMINATION (Iluminación de escala):**

Ajusta la intensidad de la rejilla de pantalla.

**INPUT CHANNELS (Canales de entrada)**

Como se mencionó anteriormente, el Tektronix 2445 consta de cuatro puertos de entrada analógicos para conexión al exterior, etiquetados como CH 1 – CH 4 (sólo se presentan completos CH 1 y CH 2) y ubicados horizontalmente

a lo largo del botón del panel de control. Aquí es donde conectaremos nuestras sondas e interfaz con el generador de funciones y con los circuitos que construyamos. Cada canal tiene un número de controles individuales que afectan al procesamiento y a la visualización de la entrada del canal en pantalla. Estos son: **input coupling** (acoplamiento de entrada), **vertical position** (posición vertical) y **volts per division** (voltios por división). (Estos interruptores se encuentran sobre el correspondiente canal de entrada).

El ajuste del acoplamiento de entrada afecta a la forma en que el osciloscopio procesa la señal de entrada. En el caso del Tektronix 2445, el acoplamiento de entrada se puede ajustar en DC, AC o GND. El más sencillo de todos es el ajuste GND, que desconecta la señal de entrada del sistema vertical, permitiéndole ver en qué lugar de la pantalla se halla la indicación de cero voltios. Cambiar de DC a GND, y luego nuevamente a DC, es una forma útil de medir los niveles de tensión de la señal con respecto a la conexión a tierra.

Antes de proseguir con la explicación de cómo afectan los ajustes DC y AC a la señal visualizada, cabe indicar que todas las señales pueden desglosarse en dos componentes básicos: un componente constante (DC), definido como el promedio de tiempo de la señal, y un componente variable en el tiempo (AC), definido como la señal original menos el valor medio. Teniendo en cuenta esto, el ajuste de acoplamiento DC muestra la señal de entrada completa (los componentes variables en el tiempo y los constantes), mientras que el ajuste de acoplamiento AC bloquea el componente DC de una señal, de forma que sólo aparece centrada en cero voltios la forma de onda variable en el tiempo. El acoplamiento AC es útil cuando toda la señal es demasiado grande para el ajuste VOLTS/DIV o cuando el componente AC es demasiado pequeño comparado con el DC.

Una vez seleccionado el tipo de acoplamiento de entrada adecuado para la señal que visualizaremos, podemos seleccionar su ubicación en pantalla mediante el control de posición vertical. El botón de posicionamiento vertical se encuentra en la parte superior izquierda del panel de control para CH 1–2 y en la parte inferior derecha para CH 3–4. Todos estos controles verticales son independientes, de forma que cada entrada de canal pueda posicionarse libremente en el display. Es importante recordar que el alcance de estos botones es superior al tamaño de la pantalla, por lo que la forma de onda puede moverse hasta quedar totalmente fuera de la pantalla.

El ajuste voltios por división modifica el tamaño de la forma de onda en pantalla. Piense en el ajuste VOLTS/DIV como un factor de escala (factor que recibe la forma de onda de entrada amplificada antes de ser aplicado a las **placas verticales de deflexión**). Por ejemplo, si el ajuste VOLTS/DIV es de 5 voltios, cada una de las divisiones verticales representa 5 voltios, pudiendo mostrar la pantalla completa 40 voltios de abajo arriba. Si el ajuste es de 0,5 VOLTS/DIV, la pantalla puede mostrar 4 voltios de abajo arriba, y así sucesivamente. En general, la tensión máxima que puede visualizarse es el ajuste VOLTS/DIV por el número de divisiones verticales. El mando pequeño, denominado mando Vernier y etiquetado VAR, está ubicado en el mando VOLTS/DIV y controla una

ganancia variable utilizada para reducir un determinado número de divisiones de una señal visualizada a escala.

*Nota: el mando Vernier debería ajustarse completamente en el sentido de las agujas de reloj para que los ajustes de escala en el mando VOLTS/DIV sean precisos.*

De forma idéntica al ajuste VOLT/DIV, la escala del eje de tiempo (eje X) se puede controlar también utilizando el **mando SEC/DIV**. Por ejemplo, si el ajuste SEC/DIV es de 1 segundo, cada una de las divisiones horizontales representará 1 segundo, y en pantalla completa se podrán mostrar 10 segundos. En lo esencial, este ajuste le permite ajustar la velocidad a la que se dibuja la forma de onda a través de la pantalla (también conocido como ajuste basado en el tiempo o en la velocidad de barrido). Al igual que en el caso del ajuste vertical VOLTS/DIV, existe un control variable de temporización que permite al usuario ajustar la escala de tiempo horizontal entre ajustes específicos.

## **MENÚ DE MODO**

En la sección **MODE (modo)** situada en la esquina superior izquierda del panel de control, encontramos cuatro botones de selección de canales junto a otros cuatro: **ADD, INVERT, CHOP** y **20MHz BW (bandwidth) LIMIT**. Naturalmente, los cuatro botones de selección de canal etiquetados CH 1-CH 4 se utilizan para seleccionar los canales que se mostrarán en pantalla. A continuación, se describe la función de los cuatro botones restantes:

### **ADD (añadir):**

Muestra la suma de señales en CH1 y CH2 en el display. Las señales individuales ya no se muestran por separado.

### **INVERT (invertir):**

Muestra el negativo de la señal presente en CH2.

### **CHOP (cortar):**

Hace que el osciloscopio dibuje pequeñas partes de cada señal cambiando atrás y hacia delante entre ellas. La velocidad de cambio es demasiado rápida como para darse cuenta, por lo que la forma de onda parece completa. Este modo se utiliza generalmente con señales lentas que requieren velocidades de barrido de 1ms por división, o incluso menores.

### **20MHz BW LIMIT límite de ancho de banda de 20 MHz):**

Limita el ancho de banda de entrada del osciloscopio, lo cual reduce el ruido que aparece en ocasiones en la forma de onda mostrada, produciendo una visualización de señal más exacta.

## DISPARO

Los controles de disparo, ubicados en la parte superior derecha del osciloscopio, le permiten estabilizar las formas de onda repetidas y capturar formas de onda de disparo único ajustando la velocidad de barrido, de manera que la forma de onda se redibuje en la misma ubicación exacta durante cada pasada. El circuito de disparador actúa como un comparador. Seleccione los niveles de pendiente y de tensión de un lado del comparador. Cuando la señal del disparador coincida con sus ajustes, el osciloscopio generará un disparo. El control de pendiente determina si el punto de disparo está en el límite de aumento (pendiente positiva) o de caída (pendiente negativa) de una señal. El control de nivel determina en que parte del límite se encuentra el punto de disparo.

El osciloscopio no acciona necesariamente la señal que se está midiendo, ya que muchas otras fuentes pueden accionar el barrido: cualquier canal de entrada, una fuente externa (distinta de la señal aplicada al canal de entrada) o una señal interna que genere el osciloscopio. La mayoría de las veces puede dejar programado el osciloscopio para que dispare el canal que se está visualizando. *Nota: el osciloscopio puede utilizar una fuente de disparo alternativa, esté siendo visualizada o no. Tenga precaución de no disparar nada inconscientemente. Por ejemplo, no dispare el canal 1 mientras se visualiza el canal 2.*

El modo de disparo determina si el osciloscopio dibuja o no una forma de onda en el caso de que no detecte un disparo. Los modos de disparo habituales incluyen normal y auto. En modo normal, el osciloscopio solamente realiza un barrido si la señal de entrada alcanza el punto de disparo fijado; de lo contrario, la pantalla se quedará en blanco. El modo normal puede desorientar un poco ya que posiblemente, al principio, no vea la señal si el control de nivel no está ajustado correctamente.

En el modo auto el osciloscopio realiza un barrido sin ayuda del ajuste manual. Si no aparece ninguna señal, un temporizador ubicado en el interior del osciloscopio disparará el barrido. Esto asegura que el display no desaparezca si la señal cae a tensiones pequeñas. El modo auto es también la mejor opción si está buscando muchas señales y no quiere molestarse en ajustar el disparador cada vez.

En la práctica, lo más habitual es usar los dos modos: el modo normal porque es más versátil y el modo auto porque no requiere tantos ajustes.

Al igual que se puede seleccionar el acoplamiento AC o DC para el sistema vertical, también es posible seleccionar distintos tipos de acoplamiento para la señal de disparo. Además del acoplamiento AC y DC, podemos tener rechazo de alta y baja frecuencia y acoplamiento de disparo de reducción de ruido. Estos ajustes especiales son útiles a la hora de eliminar ruido de la señal de disparo, para así evitar disparos en falso.

## COMPARACIÓN ENTRE EL MODO Z ALTO (1 MEGAOHMIO) Y EL MODO 50 OHMIOS

De ser posible, nos gustaría que el osciloscopio recreara perfectamente las señales de entrada en el display. Sin embargo, una vez que conectemos las sondas, en realidad el osciloscopio se vuelve parte del circuito que queremos explorar (lo que posiblemente alterará las tensiones y corrientes que queremos medir). Esta interacción entre el osciloscopio y un circuito externo se denomina carga de circuito. En un esfuerzo por minimizar la cantidad de carga de circuito para una aplicación dada, el osciloscopio proporciona dos configuraciones de impedancia de entrada: el modo Z Alto (High Z) y el modo 50 ohmios.

Con el modo Z Alto o 1 Megaohmio la impedancia de entrada del osciloscopio es muy alta, por lo que la corriente obtenida en el circuito que se está probando es insignificante. Sin embargo, el término impedancia alta es relativo y, en caso de que el circuito observado tenga una impedancia de salida superior a 1 Megaohmio, fluirá más corriente a través de las sondas y hacia el osciloscopio (a través del camino de menor resistencia) que a través del propio circuito.

El modo de impedancia de entrada de 50 Ohmios se utiliza para combinar la impedancia de salida de 50 Ohmios de amplificadores rápidos y de otros dispositivos. En dichas aplicaciones, si no se combina adecuadamente la impedancia de salida del dispositivo, las señales se reflejarán una vez alcancen el osciloscopio. Estas reflexiones provocan que la señal se vea distorsionada, ya que contienen versiones en tiempo retardado de la misma. En el curso 6.002 no utilizaremos el modo de impedancia de entrada de 50 Ohmios.

## MODO XY

El osciloscopio también le permite visualizar en el eje horizontal una señal de entrada en lugar de la base de tiempo. Este ajuste se denomina modo XY porque los dos ejes X e Y trazan tensiones de entrada. Como dato de interés, cabe señalar que la forma de onda resultante de la disposición XY de dos señales periódicas se denomina patrón de Lissajous. A partir de la forma del patrón de Lissajous puede determinar información sobre las fases relativas de las señales, así como su ratio de frecuencia.

Supongamos, por ejemplo, que introduce la señal  $\sin(\omega t)$  en los canales 1 y 2. Utilizando el modo XY observaría en la pantalla una línea recta de pendiente unitaria (porque las tensiones en los canales 1 y 2 son idénticas en cada instante, es decir,  $X=Y$ ). A continuación, imagine que introduce la función  $\sin(\omega t)$  en el canal 1, pero esta vez decide introducir  $\sin(\omega t + \pi/2) = \cos(\omega t)$  en el canal 2. En este caso,  $y = \sin(\omega t)$  y  $x = \cos(\omega t)$ , lo cual, como usted recordará de sus clases de trigonometría, corresponde a la parametrización de los puntos de un círculo.

## MEDIDAS Y PROCEDIMIENTOS BÁSICOS

### *Puesta a tierra:*

Una puesta a tierra adecuada (conexión de un dispositivo eléctrico a un punto de referencia electricamente neutro, como el suelo) es esencial a la hora de realizar ajustes para tomar medidas o trabajar en un circuito.

Conectar correctamente a tierra el osciloscopio, enchufando su cable de alimentación de tres dientes a la toma, le libraré del riesgo de sufrir descargas eléctricas, así como la puesta a tierra de su equipo protege sus circuitos (en especial los circuitos integrados con memoria) de cualquier daño.

Por seguridad, es necesario conectar a tierra el osciloscopio. El contacto entre la alta tensión y cualquier parte de la carcasa de un osciloscopio que no esté conectado a tierra, incluidos los mandos aislantes, puede ocasionar un shock eléctrico. Sin embargo, si la puesta a tierra es la adecuada, la corriente viajará a través del camino de conexión a tierra, en lugar de a través de usted, hasta la puesta a tierra.

También es necesaria la conexión a tierra para asegurar la exactitud de las medidas tomadas con el osciloscopio. Para medir una señal son precisas dos conexiones: la conexión de punta de sonda y la conexión a tierra. Las sondas vienen provistas de una pinza de cocodrilo que las conecta a tierra con el circuito bajo prueba. En la práctica, usted une la pinza conectada a tierra a una puesta a tierra conocida del circuito, como por ejemplo el chasis de metal de un estéreo que esté reparando, y sujeta la punta de sonda a un punto de prueba en el circuito.

## MEDICIÓN DE LA FRECUENCIA, EL PERIODO Y LA AMPLITUD DE LA SEÑAL

### *Medición de la amplitud de señal:*

- 1) Asegúrese de que está visualizando el canal que nos interesa y modifique los ajustes SEC/DIV y VOLTS/DIV hasta que la forma de onda sea claramente visible en el display.
- 2) Pulse el botón  $\Delta v$  (ubicado sobre el mando SEC/DIV).
- 3) Utilice el mando  $\Delta REF$  para seleccionar el punto que le servirá como referencia de medida.
  1. Para medir la amplitud de pico ( $V_p$ ), coloque la línea  $\Delta REF$  a lo largo de la línea de cruce cero de la forma de onda.
  2. Para medidas de pico a pico ( $V_{p-p}$ ), coloque la línea  $\Delta REF$  a lo largo de los mínimos de la forma de onda.
- 4) Utilice el mando  $\Delta$  para mover la segunda línea hasta que alcance la parte superior de la forma de onda.

5) La amplitud medida se visualizará en la parte superior derecha del display.

### ***Medición del periodo de señal:***

- 1) Con la forma de onda bien centrada en el display, pulse el conmutador  $\Delta t$  (ubicado sobre el mando SEC/DIV).
- 2) Coloque la línea  $\Delta REF$  en el punto de referencia de la onda: mínimos, máximos o cero.
- 3) Utilice el mando delta para localizar el punto correspondiente un ciclo más hacia abajo de la onda.
- 4) El periodo de señal se visualizará en la parte superior derecha del display.

### ***Medición de la frecuencia de señal:***

- 1) Siga los pasos que explican cómo medir el periodo de señal.
- 2) Una vez seleccionado un periodo de señal, pulse simultáneamente  $\Delta v$  y  $\Delta t$ .

La lectura de la parte superior derecha del display corresponde a la frecuencia de la forma de onda.

*Nota: asegúrese que el botón  $\times 10$  de la parte superior del panel de control no esté seleccionado, de lo contrario la forma de onda puede resultar demasiado grande para encajar bien en la pantalla.*

*Nota: si pulsa el botón de rastreo la distancia entre las líneas  $\Delta REF$  y  $\Delta$  se mantiene fija.*

*Esto puede resultar útil a la hora de comparar el periodo, la frecuencia o la amplitud de señal con una de forma de onda presente en otro canal.*

## **LOCALIZACIÓN BÁSICA DE PROBLEMAS**

### ***Trabajar con señales de ruido:***

Si hay ruido presente en la señal observada, utilice una de las siguientes opciones, dependiendo del tipo de ruido que se dé:

- 1) Active la opción de límite de ancho de banda de 20MHz ubicada en el MODE MENU (menú de modo). Debe seleccionar esta opción cuando utilice los osciloscopios en el laboratorio, ya que las señales de retransmisión de radio FM cercanas se manifiestan como ruido de alta frecuencia en el osciloscopio.
- 2) Asegúrese de que su circuito esté bien cableado. Aunque esto no debería constituir un hecho crítico

para los circuitos que se construyen en el curso 6.002, hay que tenerlo en cuenta cuando se está depurando (especialmente en el caso de circuitos más complejos). Además, evite utilizar cables largos en su circuito.

- 3) Compruebe que el punto correspondiente del circuito esté correctamente conectado a tierra (generalmente se realiza a través de una toma de alimentación de tierra).

### ***Calibración de las sondas del osciloscopio:***

- 1) Conecte una sonda de entrada a la señal de calibración del propio osciloscopio. Ésta se encuentra ubicada entre los puertos de entrada de los canales 3 y 4. ***Nota:*** en el caso de que este puerto o el osciloscopio que está utilizando no disponga de dicha señal de calibración, será suficiente con la onda cuadrada generada por el generador de funciones.
- 2) Modifique los ajustes del osciloscopio hasta que se vea claramente la forma de onda.
- 3) Ajuste el mando de la sonda hasta que la onda cuadrada sea casi perfecta.

***(Nota:*** este procedimiento funciona modificando la capacitancia de la sonda y, por lo tanto, la constante de tiempo

*RC del circuito de la sonda / osciloscopio. Esto se realiza modificando la capacitancia de la sonda y, por tanto, su constante de tiempo RC).*

## **EL MULTÍMETRO**

El multímetro es un aparato capaz de medir tensiones, corrientes, resistencias, frecuencias (o periodos) de formas de onda e incluso cortocircuitos (continuidad). Dada la gran variedad de mediciones que se pueden realizar con este dispositivo, resulta obvio por qué se ha convertido en una herramienta indispensable en el laboratorio. No obstante, debido a la complejidad del sistema de circuitos internos que lo conforma, nos centraremos principalmente en el aprendizaje de algunas mediciones comunes que serán de utilidad en el curso 6.002 (aunque una vez finalizado éste, esperamos que tenga cierta idea del funcionamiento de algunos de estos circuitos). Antes de ponernos de lleno a trabajar en los procedimientos de medición, estudiaremos brevemente el funcionamiento del panel de control del multímetro.

### **FUNCTION MENU (menú de funciones)**

El menú de funciones es la principal interfaz para controlar el funcionamiento del multímetro HP 33120A. Éste se ubica a lo largo de la fila superior del panel de control y nos permite seleccionar el tipo de medidas que tomaremos con este dispositivo. A continuación, se indica una descripción de las distintas configuraciones de funciones posibles y cómo seleccionarlas.

#### **Voltímetro**

Configura el multímetro para medir tensiones a través de sus puertos de entrada. Esta configuración se selecciona pulsando los botones **DC V** o **AC V**. *Para obtener una descripción de cómo deben*

*conectarse las sondas, véanse los procedimientos de medición al final de esta sección.*

### **Amperímetro**

Configura el multímetro para medir corrientes a través de sus puertos de entrada. Esta configuración se selecciona pulsando los botones **DC I (SHIFT, DC V)** o **AC I (SHIFT, AC V)**.

### **Ohmiómetro**

Configura el multímetro para medir la resistencia vista analizando un circuito desde sus puertos de entrada. Esta configuración se selecciona pulsando el botón  $\Omega$  **2W**. En el caso de aplicaciones que requieran la medición de resistencias pequeñas (es decir, de unos pocos ohmios), seleccione el ajuste  $\Omega$  **4W (SHIFT,  $\Omega$  2W)**.

### **Frecuencia / periodo**

Configura el multímetro para medir la frecuencia o el periodo de la señal presentes en su puerto de entrada. Este ajuste utiliza la misma configuración de sonda que el voltímetro. *Para más información sobre esta configuración, véase la sección MEDIDAS BÁSICAS Y PROCEDIMIENTOS.*

### **Continuidad / Comprobación de diodos**

Configura el multímetro para comprobar la continuidad del circuito. Es decir, comprueba si está cerrado el bucle formado por los cables positivo y negativo de la sonda y el circuito bajo prueba. Este modo resulta útil para detectar si hay cables rotos en los circuitos (circuitos abiertos), etc. Si el camino está cerrado, el multímetro emitirá un pitido.

¿Por qué existen diferentes tipos de configuraciones de sondas para distintas medidas? La razón subyace en la forma en la que el multímetro debe interactuar con el circuito bajo prueba mientras se miden la tensión o la corriente. Para medir la tensión sin cargar el circuito que se está estudiando, se debe colocar el voltímetro en paralelo con el circuito y prevenir una impedancia de entrada muy grande, de forma que la corriente insignificante fluya a través de las sondas. Sin embargo, para medir la corriente, se debe colocar el amperímetro en serie con el circuito y debe presentar una impedancia muy pequeña, de forma que no se altere el flujo de corriente que circula a través de ese tramo. Para asegurar que el circuito contempla una impedancia de entrada muy pequeña se utiliza un puerto diferente en el multímetro para la configuración del amperímetro.

## MEDIDAS BÁSICAS Y PROCEDIMIENTOS

### *Autodiagnóstico del multímetro:*

El multímetro HP 34401A tiene una autorutina completa que realiza una serie de pruebas exhaustivas en el aparato para detectar si funcionan correctamente todos los componentes internos.

- 1) Desconecte el multímetro.
- 2) Mantenga pulsada la tecla SHIFT y pulse al mismo tiempo el interruptor "Power" para conectar el multímetro. *Mantenga pulsada la tecla más de 5 segundos.*
- 3) El autodiagnóstico comenzará cuando deje de presionar la tecla.
- 4) Si el autodiagnóstico se completa con éxito, aparecerá la palabra "**PASS**" en el panel frontal; de lo contrario aparecerá la palabra "**FAIL**" y se encenderá un aviso de **ERROR**. Si necesita ayuda consulte con el asistente técnico (TA).

### *Medición de la tensión de salida:*

- 1) Conecte la sonda de señal positiva al puerto de entrada superior derecho etiquetado como **HI**, y la sonda de señal negativa directamente a la terminal con la etiqueta **LO** situada debajo.
- 2) Una vez conectadas las sondas, pulse el botón **DC V** o **AC V**, dependiendo del tipo de tensión que se esté midiendo. *Nota: el valor medido bajo la configuración AC V es el valor RMS (valor cuadrático medio) de la señal. El valor RMS se define como la raíz cuadrada del valor medio (sobre un periodo) del cuadrado de la señal (para una onda senoidal  $V_{RMS} = 1 / \sqrt{2} * V_p$ ).*
- 3) Conecte las sondas al circuito que se está examinando.
- 4) La magnitud de la tensión medida se mostrará en pantalla.

### *Medición de la resistencia:*

El multímetro mide la resistencia observada en las terminales inyectando una corriente de prueba,  $I_{test}$ , de magnitud conocida en el circuito que se está probando, y midiendo la tensión que se observa en las terminales. El ratio  $V_{term} / I_{prueba}$  es igual a la resistencia observada en las terminales,  $R_{term}$ . En los pasos siguientes se indica cómo realizar esta medición:

- 1) Conecte el cable positivo al puerto con la etiqueta **HI** que se encuentra ubicado en la parte

superior derecha del panel de control.

- 2) Conecte el cable negativo al puerto con la etiqueta **LO**, ubicado justamente debajo del puerto de entrada superior derecho.
- 3) Pulse el botón con la etiqueta  $\Omega$  **2W** (o  $\Omega$  **4W** para valores de resistencia menores) en el panel de control para activar el modo ohmiómetro.
- 4) Conecte las sondas a la resistencia que se está midiendo. *Nota: la resistencia debe estar aislada del resto del circuito.*
- 5) La magnitud de la resistencia que se está midiendo aparecerá en pantalla.

### ***Medición de la corriente:***

- 1) Antes de continuar con esta sección, asegúrese de que el circuito que se está probando está desconectado.
- 2) Conecte el cable positivo al puerto con la etiqueta **3A RMS (con fusible en el panel trasero)** ubicado en la parte inferior derecha del panel de entrada.
- 3) Conecte el cable negativo al puerto con la etiqueta **LO** (el segundo de la parte inferior derecha del panel de entrada).
- 4) Seleccione medir **DC I** o **AC I** para colocar el multímetro en la configuración del amperímetro. *Nota: el valor medido bajo la configuración AC V es el valor RMS (valor cuadrático medio) de la señal. El valor RMS se define como la raíz cuadrada del valor medio (sobre un periodo) del cuadrado de la señal (para una onda senoidal  $I_{RMS} = I / \sqrt{2} * I_p$ ).*
- 5) Corte el circuito en el lugar donde se encuentra la corriente que se va a medir y conecte las sondas. Tenga cuidado con la polaridad.
- 6) Conecte el circuito que se está probando.
- 7) La magnitud de la corriente medida se mostrará en pantalla. *Nota: si el amperímetro no funciona, aun estando bien ajustado, compruebe el fusible de limitación de corriente ubicado en la parte posterior del multímetro. Si se ha fundido, el amperímetro no tendrá flujo de corriente.*

## EL GENERADOR DE FUNCIONES

En el curso 6.002 utilizaremos el generador de funciones HP 33120A para generar la mayoría de las formas de onda que emplearemos para probar los circuitos que construyamos. A pesar de que el sistema de circuitos que genera las formas de onda dentro del generador de funciones es bastante complejo, su uso debería ser totalmente intuitivo. De la misma manera que son necesarias distintas formas de onda para analizar y comprender los circuitos desde el punto de vista analítico, es necesario hallar una manera de recrear esas formas de onda matemáticas en el laboratorio para así verificar que nuestro diseño analítico funciona realmente como pronosticábamos. Como ya se hizo anteriormente en el caso del osciloscopio y el multímetro, repasaremos todas las características principales del HP 33120A y, a continuación, describiremos algunos procedimientos básicos de uso.

El generador de funciones proporciona diferentes métodos para introducir valores numéricos en el dispositivo. Las teclas "mayor que" y "menor que" (> , <) se utilizan para seleccionar los dígitos que se modificarán, y el mando y las teclas con las flechas de "arriba" y "abajo" para incrementar o reducir el valor del dígito seleccionado. Utilice el modo **Enter Number (introducir número)** para introducir un número con las unidades adecuadas. El tipo de unidades que deben utilizarse se seleccionan también con las teclas del cursor.

### MENÚ FUNCTION/MODULATION (FUNCIÓN / MODULACIÓN)

El panel de control **FUNCTION/MODULATION** del generador de funciones muestra la interfaz principal para controlar la forma de la onda, la frecuencia, la amplitud y el offset. Combinando estas características se puede recrear casi cualquier forma de onda de prueba necesaria. La onda senoidal, la cuadrada, la triangular y los botones de rampa generan las formas de onda respectivas en la salida del generador de funciones. Los valores de frecuencia (por defecto 1kHz) y amplitud (por defecto 100mV) para estas formas de onda serán las que el usuario haya seleccionado en ese momento. En el curso 6.002 no se utilizará el ajuste **MODULATION** (modulación). Éste se puede seleccionar con la tecla **SHIFT** y permite al usuario generar una salida utilizando uno de los siguientes esquemas de señal de modulación: amplitud, frecuencia,

teclado de salto de frecuencia, erupción y desplazamiento de frecuencia.

El generador de funciones incluye también un conjunto de formas de onda predefinidas con las que se puede ensayar. Éstas incluyen desde una forma de onda de incremento exponencial hasta una señal cardíaca de prueba y se pueden seleccionar eligiendo el ajuste **Arb List (SHIFT, Arb)**. Una vez seleccionada una de estas formas de onda se asignará a la tecla ARB y se podrá recuperar en cualquier momento pulsando simplemente esa tecla. Al igual que con las otras formas de onda, se puede modificar la amplitud y la frecuencia tal y como se indica al final de esta sección.

## **SALIDAS DEL GENERADOR DE FUNCIONES**

En estas terminales de salida, el generador de funciones presenta una impedancia de 50 Ohmios para cualquier circuito que se esté examinando. Cuando el generador de funciones interactúa con el circuito exterior, se puede ajustar para que funcione con uno o dos modos: **50 Ohmios** (el modo de 50 Ohmios no se utiliza en el curso 6.002) y el modo **High-Z (Z alto)**. La selección de estas opciones no modifica la impedancia de salida del generador de funciones, sino que más bien informa al generador del tipo de impedancia que se espera tenga el circuito que se está midiendo. Si el generador conoce el tipo de circuito con el que está interactuando podrá modificar su salida de manera que las propiedades de la forma de onda seleccionada por el usuario sean las observadas en las terminales de entrada del circuito.

La necesidad de contar con estos controles se puede deducir a partir de la siguiente expresión para la tensión de entrada de cualquier circuito que se conecte al generador de funciones:  $V_{\text{circuito}} = V_{\text{generador}} * R_{\text{circuito}} / (R_{\text{generador}} + R_{\text{circuito}})$ . Si la impedancia de entrada del circuito,  $R_{\text{circuito}}$ , es de 50 Ohmios, vemos que la tensión en las terminales de entrada del dispositivo es la mitad de la que proporciona el generador de funciones,  $V_{\text{circuito}} = V_{\text{generador}} / 2$ . A la inversa, si la impedancia de entrada del circuito es muy grande ( $R_{\text{generador}} \ll R_{\text{circuito}}$ ), la tensión que se observa en las terminales de entrada del dispositivo es exactamente la que está siendo expulsada por el generador de funciones,  $V_{\text{circuito}} = V_{\text{generador}}$ . Conocer la impedancia de entrada adecuada del circuito que nos interesa permite al generador de funciones compensar las diferencias.

***Nota:** si el generador de funciones funciona en el modo 50 Ohmios y tiene conectado un circuito de impedancia alta, la tensión presente en las terminales será dos veces superior a la esperada.*

## **MEDICIONES BÁSICAS Y PROCEDIMIENTOS**

### ***Autodiagnóstico del generador de funciones:***

El HP 33120A tiene una completa autorutina que realiza una extensa serie de pruebas en el generador

de funciones con el fin de detectar si todos los componentes internos funcionan correctamente.

- 1) Desconecte el generador de funciones.
- 2) Mantenga pulsada la tecla **SHIFT** al mismo tiempo que pulsa el interruptor de "Power" para conectar el generador de funciones. *Mantenga pulsada la tecla durante más de 5 segundos.*
- 3) El autodiagnóstico comenzará cuando suelte la tecla.
- 4) Si el autodiagnóstico se completa con éxito, aparecerá la palabra **PASS** en el panel frontal; de lo contrario, aparecerá la palabra **FAIL** y se encenderá un aviso de **ERROR**. Si necesita ayuda, consulte con el asistente técnico (TA).

***Para ajustar el generador de funciones en el modo High-Z (Z alto):***

- 1) Pulse **SHIFT** y, a continuación, **ENTER** para acceder al *MODE MENU* (menú modo).
- 2) Busque en el menú hasta que aparezca en pantalla *D: SYS MENU*.
- 3) Pulse dos veces la flecha indicadora hacia abajo para entrar en el submenú de selección del modo de entrada.
- 4) Pulse las teclas de cursor de izquierda o derecha (<, >) hasta que aparezca *HIGH-Z* en el display.
- 5) Una vez seleccionado *HIGH-Z* pulse la tecla **RETURN** para aceptar la selección y regrese a la visualización de mediciones.

*Nota: si el generador de funciones está en modo 50 Ohmios, las tensiones generadas serán dos veces superiores a las esperadas en el caso de los circuitos que estamos utilizando. Para más detalles, véase la sección anterior de salidas del generador de funciones.*

***Para ajustar la frecuencia de salida de una forma de onda seleccionada:***

- 1) Active el modo *frequency modify* (modificar frecuencia) pulsando la tecla **FREQ**.
- 2) Introduzca la magnitud de la frecuencia deseada utilizando el selector, las teclas del cursor o la función "Enter Number" (introducir número). Observe que se enciende el indicador de número y que aparece brevemente en el display "ENTER NUM", indicando que se ha activado el modo número. *Para cancelar este modo pulse **SHIFT** y **CANCEL**.*
- 3) Establezca el valor deseado de las unidades. Una vez seleccionadas, el generador de funciones produce la forma de onda con la frecuencia visualizada. *Desconecte el dígito que destella,*

*desplace el cursor hacia la izquierda del display con ayuda de las teclas de flecha.*

***Para ajustar la amplitud de salida:***

- 1) Active el modo *amplitude modify (modificar amplitud)* pulsando la tecla **AMPL**.
- 2) Introduzca la magnitud de la amplitud deseada.
- 3) Establezca el valor deseado de las unidades.

***Para ajustar una tensión offset DC:***

- 1) Active el modo *offset modify (modificar offset)* pulsando la tecla **OFFSET**.
- 2) Introduzca la magnitud del offset deseado.
- 3) Establezca el valor deseado de las unidades.

***Nota:** observe que el indicador de Offset se enciende, indicando que la forma de onda tiene un offset añadido. El indicador se encenderá cuando el offset sea cualquier valor distinto de 0 voltios.*

***Producción de una tensión DC:***

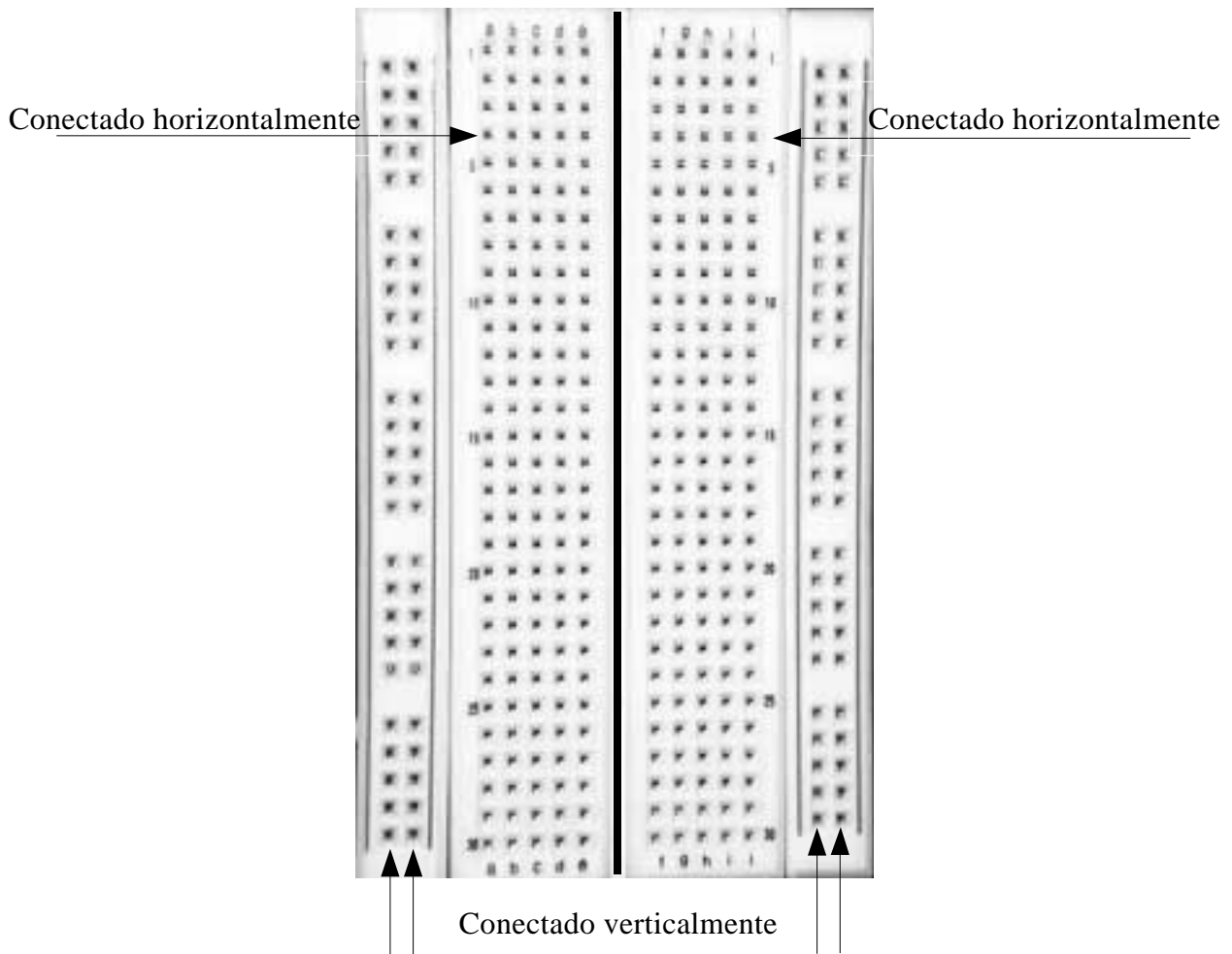
Además de generar formas de onda, puede producir también una tensión dc entre +/- 5 voltios DC.

- 1) Pulse la tecla **OFFSET** y déjela pulsada durante más de 2 segundos.
- 2) Introduzca la magnitud de la tensión deseada.
- 3) Establezca el valor deseado de las unidades.

***Nota:** observe que el indicador de Offset se enciende (el resto de indicadores están apagados), indicando que se está produciendo una tensión DC.*

## EL PROTOBOARD

En el curso 6.002 utilizaremos un protoboard para construir nuestros circuitos de prácticas. La distribución del protoboard nos permite construir y probar los circuitos rápidamente sin necesidad de cableados ni soldaduras complicadas. En la **Figura 7** se muestra el cableado interno del protoboard. *Nota: la franja central negra indica que las cinco columnas de la izquierda están aisladas eléctricamente de las cinco columnas de la derecha. Es decir, no existe una conexión física entre ellas.*



**Figura 7:** conexiones internas de un protoboard.

Tal y como se muestra en la **Figura 7**, existen 4 columnas conectadas verticalmente. Es decir, si se aplica una tensión en cualquier punto de esa columna, esa misma tensión aparecerá en cualquier otro punto de la columna.

Estas columnas se utilizan generalmente para suministrar  $V_{cc}$  y **GND** al circuito que se está contruyendo. Las restantes tomas de corriente del protoboard están conectadas horizontalmente, de forma que si se aplica una tensión en cualquier punto de una fila, dicha tensión aparece en todos los puntos de la misma. Dado que las filas en los distintos lados del aislante del centro no están conectadas, la región central se utiliza generalmente para colocar circuitos integrados (como amplificadores operacionales, etc.), de forma que cada pin del CI tenga toda una fila de posibles conexiones.

Esta configuración de cableado no sólo se aplica a los protoboard que utilizaremos en el curso 6.002, si no en general a la mayoría de ellos.

## REFERENCIAS

### REFERENCIAS DE OSCILOSCOPIOS

1) XYZ de osciloscopios analógicos y digitales; Tektronix, Inc., Copyright 1992, 1993.

Página web: [http://www.tektronix.com/Measurement/App\\_Notes/XYZs/scope.html](http://www.tektronix.com/Measurement/App_Notes/XYZs/scope.html)

2) Referencias de páginas web sobre osciloscopios:

<http://progdev.sait.ab.ca/cmph200/oscillos.htm#Objective%204>

<http://iet.jjc.cc.il.us/oscopes.htm>

<http://www3.ncsu.edu/ECE480/scope1.htm>

[http://www4.ncsu.edu/~mowat/H&M\\_WebSite/Oscilloscope/Oscilloscope.html](http://www4.ncsu.edu/~mowat/H&M_WebSite/Oscilloscope/Oscilloscope.html)

<http://www.lecroy.com/Applications/ProbesProbing/default.asp>

### REFERENCIAS DE MULTÍMETROS

1) Multímetro HP 34401A: guía del usuario; empresa Hewlett–Packard, Copyright 1991–1996.

### REFERENCIAS DE GENERADORES DE FUNCIONES

1) Generador de formas de onda arbitrarias / HP 33120A: guía del usuario; empresa Hewlett–Packard, Copyright 1994,1996, 1997.

*NOTA: los manuales del osciloscopio Tektronix 2445, el multímetro HP 34401A y el generador de funciones HP 33120A están disponibles en la recepción del laboratorio del quinto piso.*

# GLOSARIO

**AC** (Alternating Current) – **Corriente alterna:** se utiliza para referirse a cualquier forma de onda que varía en el tiempo en un patrón de repetición.

**ADC** (Analog-to-Digital-Converter) – **Convertor analógico-digital:** componente digital electrónico que convierte una señal eléctrica en valores binarios discretos.

**AM** – Modulación en la cual la amplitud de una onda portadora varía con arreglo a ciertas características de la señal de modulación.

**Bandwidth** – **Ancho de banda:** una gama de frecuencias.

**Circuit Loading** – **Carga de circuito:** la interacción no intencionada de la sonda y el osciloscopio con el circuito que se está probando, lo cual produce una distorsión de la señal.

**Coupling** – **Acoplamiento:** método que conecta dos circuitos. Los circuitos conectados con un cable están acoplados directamente. Los circuitos conectados a través de un condensador o un transformador (o AC) están acoplados indirectamente.

**CRT (Cathode-Ray Tube)** – **Tubo de rayos catódicos:** un tubo de haz de electrones en el que se puede enfocar el haz hacia una pantalla luminescente y variar su posición e intensidad para producir un patrón visible. Un CRT es, por ejemplo, el tubo de imagen de un aparato de televisión.

**DC (Direct Current)** – **Corriente directa:** una señal con tensión o corriente constantes.

**FM (Frequency Modulation)** – **Modulación de frecuencia:** modulación que provoca que la frecuencia instantánea del portador de una onda sinusoidal se desvíe de la frecuencia central mediante una cantidad proporcional al valor instantáneo de la señal de modulación.

**Ground** – **Tierra:** 1. El punto de referencia de tensión de un circuito. 2. Una conexión conductora mediante la cual se conecta un circuito o un equipo eléctrico a tierra para establecer y mantener un nivel de tensión de referencia.

**Hertz (Hz)** – **Hercio:** un ciclo por segundo; la unidad de frecuencia. La frecuencia de las formas de onda es igual a  $1/\text{Periodo}$ .

**Impedance (Z)** – **Impedancia:** la relación entre la tensión y la corriente en las terminales de un elemento o un circuito bajo condiciones de estado estacionario sinusoidal.

**Modulation** – **Modulación:** el proceso, o el resultado del proceso, de variar una característica de un portador conforme a una señal portadora de información.

**Peak (Vp)** – **Pico (Vp):** la tensión máxima medida desde un punto de referencia cero (es decir, tierra).

**Peak-to-Peak ( $V_p-p$ ) – Pico a pico ( $V_p-p$ ):** la tensión medida desde el punto máximo de una señal hasta el punto mínimo. Generalmente, para formas de onda simétricas, es igual a dos veces  $V_p$ .

**Period – Periodo:** el tiempo que tarda una forma de onda en completar un ciclo. El periodo es igual a  $1/\text{Frecuencia}$ .

**Rise Time –Tiempo de subida:** el tiempo que tarda en elevarse el borde de ataque de un impulso desde su valor mínimo hasta su valor máximo.

**Root Mean Square (RMS) – Valor cuadrático medio:** el valor RMS de una señal periódica se define como la raíz cuadrada del valor medio (sobre un periodo) del cuadrado de la señal. Para una onda sinusoidal de amplitud unitaria, la tensión RMS es  $1/\sqrt{2} \approx 0,707$  del valor de pico, para una onda cuadrada es igual al valor de pico y para una onda triangular es inferior a 0,707.

**Signal Generator – Generador de señales:** dispositivo de prueba para inyectar una señal en la entrada de un circuito, lo que permite leer la salida del circuito con ayuda de un osciloscopio.

**Sweep – Barrido:** una pasada de izquierda a derecha del haz de electrones del osciloscopio a través de la pantalla CRT.

**Transducer – Transductor:** dispositivo que convierte una cantidad física específica, como el sonido, la presión, la carga o la intensidad de la luz en una señal eléctrica, o viceversa.

**Transient – Transitoria:** señal que normalmente se genera al conectar un circuito y antes de que éste se asiente en su comportamiento de estado estacionario.

**Trigger – Disparador:** circuito que inicia un barrido horizontal en un osciloscopio y que determina el comienzo de una forma de onda.

**Trigger Holdoff – Bloqueo de disparo:** control que impide que el circuito de disparo busque un nivel de disparo durante un tiempo determinado.

**Trigger Level – Nivel de disparo:** nivel de tensión que debe alcanzar una señal de fuente de disparo antes de que el circuito de disparo inicie un barrido.

**Z-Axis – Eje Z:** señal de un osciloscopio que controla el brillo de un haz de electrones a medida que se va formando el rastro.