

EL 3003 LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

EL OSCILOSCOPIO

Sin duda alguna, uno de los instrumentos de medición más importantes dentro de cualquier laboratorio es el osciloscopio. El osciloscopio es básicamente un dispositivo de representación de gráficos. Permite de hecho “observar” señales eléctricas, las que generalmente se muestran en función del tiempo, permite visualizar fenómenos transitorios así como formas de ondas en circuitos eléctricos y electrónicos.

La utilidad de un osciloscopio no está limitada al mundo de la electrónica. Con un transductor adecuado, un osciloscopio puede medir toda clase de fenómenos (Un transductor es un dispositivo que emite una señal eléctrica como respuesta a la energía física, tal como el sonido, el esfuerzo mecánico, la presión, la luz o el calor. Por ejemplo, un micrófono es un transductor).

La información que despliega un osciloscopio describe en forma completa las características de una señal. Por ejemplo:

- Puede determinar parámetros de tiempo y tensión de una señal.
- Puede calcular la frecuencia de una señal oscilante.
- Puede ver “las piezas móviles” de un circuito representado por una señal.
- Puede ver si un componente defectuoso está distorsionando la señal.
- Puede averiguar cuánta corriente continua (CC) y corriente alterna (CA) componen la señal.
- Puede determinar cuánto ruido hay en una señal y si el ruido cambia con el tiempo.

El funcionamiento del osciloscopio analógico está basado en la posibilidad de desviar un haz de electrones por medio de la creación de campos eléctricos y magnéticos. En la mayoría de osciloscopios, la desviación electrónica, llamada deflexión, se consigue mediante campos eléctricos. Ello constituye la deflexión electrostática.

El dispositivo de despliegue que permite observar variaciones de señales eléctricas de alta velocidad es el tubo de rayos catódicos. El tubo genera un haz delgado de electrones (el rayo catódico) dentro de sí mismo. Este rayo choca con una pantalla fluorescente que cubre un extremo del tubo y emite un punto de luz visible. Cuando el haz se mueve a través de la pantalla, “pinta” un trazo de su trayectoria. Como el rayo está constituido por electrones, que son partículas cargadas eléctricamente, se pueden desviar en forma rápida y exacta mediante campos eléctricos o magnéticos adecuados colocados en su trayectoria. Además, como los electrones son muy ligeros, el haz puede responder casi instantáneamente a variaciones rápidas de señales de alta frecuencia. Esta capacidad también permite que el tubo de rayos catódicos (CRT) muestre virtualmente cualquier tipo de forma de onda en la pantalla del osciloscopio. Los campos que

provocan las deflexiones del haz de electrones se crean a lo largo de su trayecto mediante placas deflectoras. Las intensidades de los campos se determinan mediante los voltajes aplicados a las placas, haciendo que la cantidad de deflexión sea directamente proporcional al voltaje aplicado. Esto indica que figura en la pantalla del osciloscopio depende de los voltajes aplicados a las placas del tubo. También se sigue de esta conclusión que el osciloscopio en realidad es un voltmetro, con mecanismo de despliegue de velocidad super alta.

Dependiendo del modo de operación que se emplee, la figura desplegada en la pantalla es una gráfica de la variación del voltaje con el tiempo, o la gráfica de la variación de voltaje de una señal contra otra. Sin embargo, el voltaje no es la única cantidad que se puede medir. Interpretando correctamente las características del despliegue, se puede usar el osciloscopio para indicar corriente, tiempo, frecuencia y diferencia de fase. Por último, se puede medir también una gran variedad de señales no eléctricas, usando el osciloscopio para monitorear la salida de un elemento transductor. El osciloscopio probablemente sea el instrumento más versátil y útil usado para trabajos de mediciones eléctricas.

Como es sabido, hay dos tipos de equipos electrónicos: el analógico y el digital. El equipo analógico funciona con tensiones continuamente variables, mientras que el equipo digital funciona con números discretos que pueden representar muestras de tensión. Por ejemplo, la platina porta discos de un fonógrafo convencional es un dispositivo analógico; un reproductor de discos compactos es un dispositivo digital.

Tipos de osciloscopios

Los equipos electrónicos se dividen en dos tipos: *Analógicos* y *Digitales*. Los primeros trabajan con variables continuas mientras que los segundos lo hacen con variables discretas. Los primeros trabajan directamente con la señal aplicada, está una vez amplificada desvía un haz de electrones en sentido vertical proporcionalmente a su valor. En contraste los osciloscopios digitales utilizan previamente un conversor analógico-digital (A/D) para almacenar digitalmente la señal de entrada, reconstruyendo posteriormente esta información en la pantalla.

Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Los analógicos son preferibles cuando es prioritario visualizar variaciones rápidas de la señal de entrada en tiempo real. Los osciloscopios digitales se utilizan cuando se desea visualizar y estudiar eventos no repetitivos (picos de tensión que se producen aleatoriamente).

1.- El osciloscopio Analógico

El osciloscopio analógico comprende un grupo de subsistemas, diseñados cada uno para efectuar una parte de la tarea de medición o de despliegue. Estos subsistemas son:

1. Subsistema de despliegue (tubo de rayos catódicos)
2. Subsistema de deflexión vertical
3. Subsistema de deflexión horizontal
4. Fuentes de poder
5. Sondas (puntas de prueba)
6. Circuitos de calibración

El diagrama de bloques de la Figura 1 muestra la trayectoria de una señal medida cuando pasa a través de los diferentes subsistemas de un osciloscopio y cómo interaccionan los subsistemas para que el resultado sea el despliegue de la señal observada.

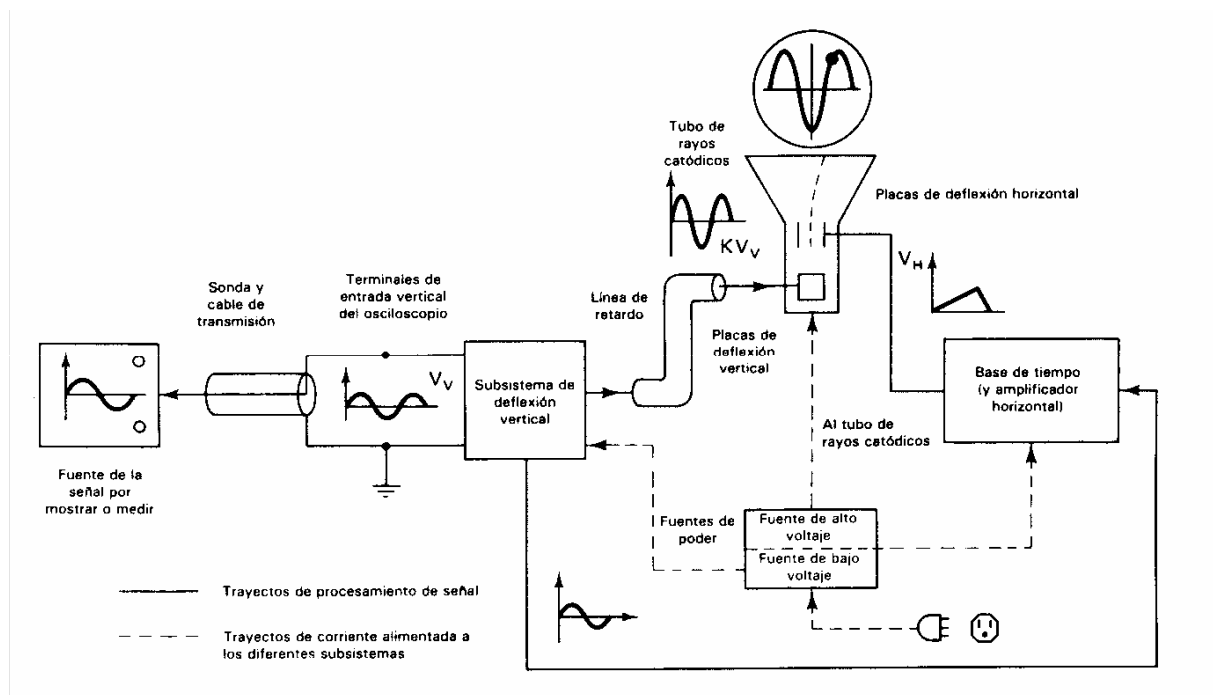


Figura 1 Diagrama de bloques de los subsistemas del osciloscopio

La señal de voltaje se detecta desde la fuente de origen mediante una punta de prueba. El voltaje de la señal se transmite mediante un cable coaxial y entra a las terminales de entrada del aparato. Con frecuencia la señal en este punto tiene una amplitud demasiado pequeña para activar al subsistema de despliegue (el tubo de rayos catódicos), por lo que generalmente necesita amplificarse. La función del sistema de deflexión vertical es llevar a cabo dicha amplificación.

Dentro del tubo, se crea un haz de electrones mediante un cañón de electrones. El haz de electrones se enfoca y se dirige para que choque con la pantalla fluorescente, creando un punto de luz en el lugar del impacto con la pantalla. El haz se deflexa en forma vertical en proporción a la amplitud del voltaje aplicado a las placas de deflexión vertical del tubo.

Después de la amplificación adecuada, la señal de entrada se aplica a las placas de deflexión vertical del tubo de rayos catódicos. La aplicación de tensión a estas placas deflectoras causa el movimiento del punto luminoso. (Un haz de electrones al golpear el fósforo dentro del TRC crea el punto luminoso).

La señal de entrada también se alimenta hacia al sistema de disparo (trigger) para empezar o disparar un barrido horizontal. El barrido horizontal es un término que se refiere a la acción del sistema horizontal que hace que el punto luminoso recorra horizontalmente de un lado al otro la pantalla del osciloscopio a una velocidad uniforme. El disparo del sistema horizontal hace que la base horizontal de tiempo mueva el punto luminoso del lado izquierdo al derecho de la pantalla dentro de un intervalo definido de tiempo. Muchos barridos en rápida secuencia hacen que el movimiento del punto luminoso parezca una línea continua. A altas velocidades, el punto luminoso puede barrer la pantalla hasta 500.000 veces por segundo.

La deflexión simultánea del haz de electrones en la dirección vertical (por el subsistema de deflexión vertical y las placas de deflexión vertical) y en la dirección horizontal (por los circuitos de base tiempo y las placas de deflexión horizontal), hace que el punto de luz producido por el haz de electrones trace un gráfico de la señal en la pantalla del tubo de rayos catódicos. Si la entrada es periódica y los circuitos de base de tiempo sincronizan correctamente el barrido horizontal con la deflexión vertical, el punto de luz recorrerá el mismo camino en la pantalla una y otra vez. El disparo es necesario para estabilizar la señal repetitiva. De esta manera se asegura que el barrido empiece en el mismo punto que la señal repetitiva, resultando en una imagen estable y claramente definida.

En conclusión, para utilizar un osciloscopio analógico hay que ajustar tres configuraciones básicas para acomodar una señal de entrada:

- La atenuación o amplificación de la señal (Volts/div)
- La base de tiempo (seg/div)
- El disparo del osciloscopio. Hay que utilizar el nivel de disparo para estabilizar una señal repetitiva, así como también el disparo sobre un solo evento.

Además, el ajuste de los controles de enfoque y de intensidad permite crear una imagen nítida.

2.- Subsistema de Despliegue (Tubo de Rayos Catódicos)

La parte principal del osciloscopio, el tubo de rayos catódicos, se muestra en la figura 2.

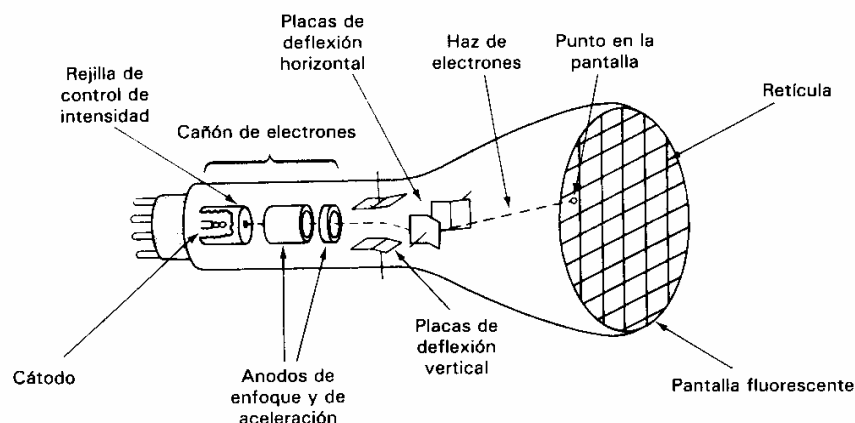


Figura 2 Tubo de Rayos Catódicos

El tubo en si es un recipiente sellado de vidrio al alto vacío, con un cañón de electrones, un sistema de deflexión montado dentro del tubo en un extremo y una pantalla fluorescente en el otro. Se necesita alto vacío porque el fino haz de electrones producido dentro del tubo se dispersaría al chocar con cualquier molécula gaseosa en su camino.

La función del cañón es producir el haz de electrones. El cañón consiste en un cátodo termiónico (un material que emite electrones al calentarlo), varios electrodos de aceleración, y controles de enfoque e intensidad. Cuando se calienta al cátodo a alta temperatura, comienza a emitir electrones. Algunos de esos electrones pasan a través de un pequeño agujero en la rejilla de control de intensidad que rodea al cátodo. Si se aplica un voltaje negativo a esta rejilla, sólo puede pasar un número limitado de electrones a través del agujero. La cantidad se puede controlar variando la magnitud del voltaje. La intensidad del punto de luz que se produce donde el haz de electrones choca con la pantalla fluorescente depende del número de electrones en dicho haz. Hay una relación no lineal entre intensidad y el voltaje de aceleración del haz. La luz emitida durante la excitación del recubrimiento fluorescente se llama fluorescencia. La luz que se emite después de haber suprimido el haz de electrones se llama fosforescencia. La magnitud de la corriente del haz se ajusta mediante un control que tiene la marca INTENSIDAD.

Se emplea un esquema electrostático de enfoque en los tubos de rayos catódicos para lograr un haz compacto. Los mismos campos electrostáticos dirigen también los electrones a lo largo del eje del rayo y los aceleran hacia adelante contra la pantalla fluorescente. La diferencia de potencial entre el cátodo y los ánodos de aceleración es por lo general entre 2 y 12 kV. El elemento de control que da el ajuste del voltaje en el ánodo de enfoque es uno marcado FOCO.

Después de dejar el cañón de electrones, el haz enfocado y acelerado pasa entre dos placas deflectoras. Si no hay diferencia de voltaje entre las placas, el haz continúa directamente y llega a la pantalla fluorescente en su centro. Si hay una diferencia de potencial entre uno o ambos conjuntos de placas, el haz se desviará de su trayectoria recta. La magnitud de deflexión queda determinada por las magnitudes de las diferencias de voltaje. En los osciloscopios típicos, se deben aplicar entre 10 y 20 Volts a un conjunto de placas para deflectar el punto 1 cm.

Se colocan los dos conjuntos de placas deflectoras perpendiculares entre si de modo que puedan controlar en forma independiente el haz tanto en la dirección horizontal como en la vertical. Un voltaje aplicado a las placas de deflexión vertical puede deflectar hacia arriba o hacia abajo el haz, dependiendo de la polaridad de voltaje que exista entre ellas. De modo semejante, un voltaje aplicado a las placas de deflexión horizontal desviará al haz hacia la derecha o la izquierda. Ajustando los voltajes de polarización (continuos) aplicados a las placas, también se puede mover el centro de la onda desplegada hacia cualquier punto en la pantalla. Las fuentes internas de poder del osciloscopio producen esos niveles de voltaje continuo y se ajustan sus valores mediante los controles POSICION, en el tablero del osciloscopio.

La pantalla fluorescente del tubo de rayos catódicos está cubierta de fósforo. En el punto donde el haz de electrones llega a la pantalla, este material emite un punto de luz visible. La mayoría de los materiales fosforescentes continúan emitiendo luz durante un corto tiempo después de haber cesado de llegar el haz. Así, si el haz de electrones se mueve repetidamente a

través de la pantalla a lo largo de la misma trayectoria y suficientemente rápido, la imagen “pintada” en la pantalla del instrumento parecerá una línea continua. Además de los tubos de rayos catódicos estándar, hay otros tipos especiales que permiten almacenar un trazo escrito en la pantalla durante varias horas después de haber escrito la imagen por primera vez en el fósforo. Los osciloscopios que se diseñan con esos tubos de rayos catódicos se llaman osciloscopios de almacenamiento o de memoria.

Cuando un haz de electrones llega a la pantalla se genera tanto calor como luz: 90 por ciento de la energía del haz se convierte en calor y sólo 10 por ciento en luz visible. Por lo tanto, se debe tener cuidado para evitar que el haz queme el material fosforescente. Esto se hace manteniendo la intensidad del haz (controlada por la perilla de INTENSIDAD) a un valor bajo, en especial cuando el punto está estacionario.

La retícula es el conjunto de líneas horizontales y verticales inscritas en forma permanente en la cara del tubo de rayos catódicos y permiten que se mida visualmente la onda mostrada contra un conjunto de escalas vertical y horizontal. La mayor parte de las líneas de las retículas de los osciloscopios están espaciadas 1 cm.

3.- Subsistema de Deflexión Vertical

Como se mencionó anteriormente, se deben aplicar aproximadamente 10 a 20 Volts a las placas deflectoras del tubo de rayos catódicos para desviar al haz de electrones 1 cm. Una tensión positiva hace que el punto se mueva hacia arriba mientras que una tensión negativa hace que el punto se mueva hacia abajo.

Por lo tanto, si se aplicasen directamente señales mucho más débiles al subsistema de despliegue del osciloscopio, no causarían deflexión apreciable del haz. Por otro lado, las señales de voltaje con mayor amplitud originarían desviaciones del haz de electrones que serían demasiado grandes para poder mostrarse enteramente en la pantalla. Por lo tanto, el osciloscopio debe tener un subsistema que tenga la capacidad de amplificar o de atenuar las señales de entrada para que se produzca una figura correcta cuando se apliquen las señales de interés a las placas deflectoras del tubo de rayos catódicos. El sistema de deflexión vertical es el subsistema del osciloscopio que efectúa esta función y se muestra en la figura 3.

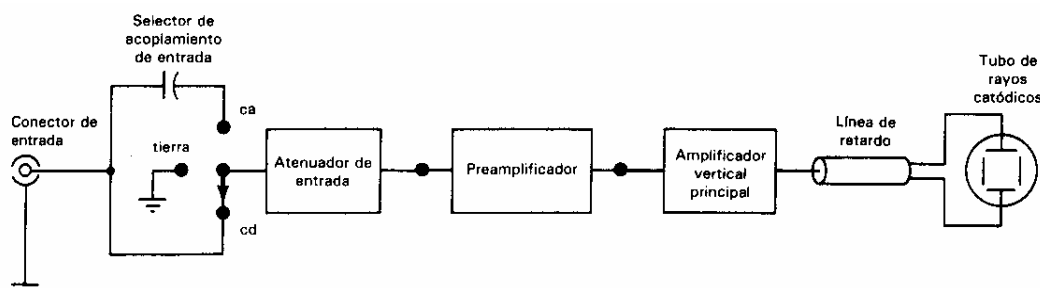


Figura 3 Subsistema de deflexión vertical

El selector de acoplamiento de entrada permite escoger cual de los componentes de la señal (alterna o continua) ingresará para su despliegue posterior. El atenuador reduce la amplitud de las señales de entrada a un valor seleccionado, antes de que se apliquen al pre-amplificador. Su respuesta de frecuencia debe ser constante.

La sensibilidad, expresada en Volts/división, determina la ganancia de las etapas de pre-amplificación y amplificación.

4.- Subsistema de Deflexión Horizontal

Este subsistema se muestra en la figura 4 y consiste del amplificador de deflexión horizontal y los circuitos de base de tiempo.

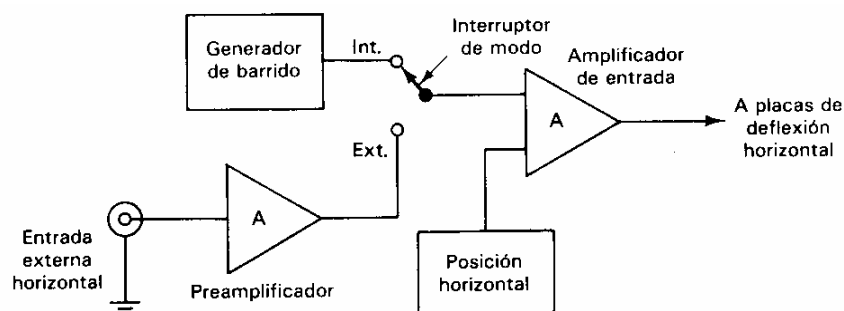


Figura 5 Subsistema de deflexión horizontal

Se emplea el amplificador horizontal de dos maneras. La primera es en la amplificación directa de señales externas de entrada, que alimentan a continuación a las placas de deflexión horizontal del tubo de rayos catódicos. Como lo que muestra el osciloscopio al operar en este modo consiste en la variación de alguna señal (mostrada en la dirección Y o vertical) contra la de otra (que se muestra a lo largo del eje X u horizontal), se dice que el osciloscopio está trabajando en el modo X-Y de despliegue.

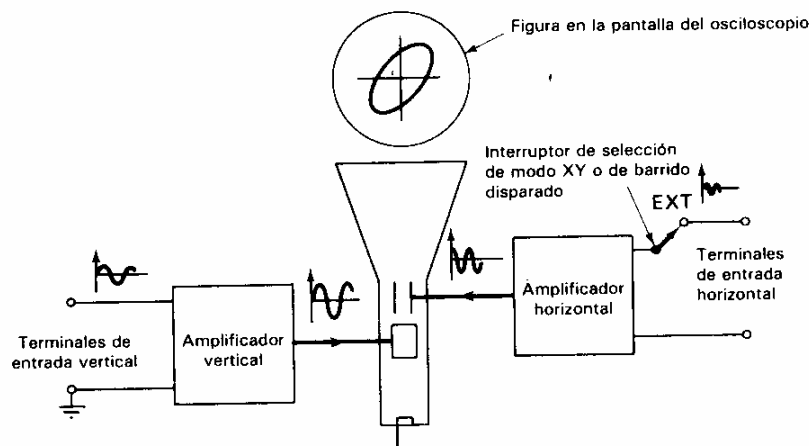


Figura 6 Modo X – Y de operación

El segundo uso del amplificador horizontal es para amplificar las ondas de barrido generadas por los circuitos de base de tiempo. Este tipo de operación se llama modo de Y contra t, porque se observa la variación de la señal de entrada (que aparece en la dirección Y o vertical) contra el tiempo (que se muestra a lo largo de la dirección horizontal).

En la mayor parte de los osciloscopios convencionales no son tan grandes los requerimientos de funcionamiento (ganancia / ancho de banda) del amplificador horizontal como los de los amplificadores verticales. Mientras que el amplificador vertical debe ser capaz de manejar señales de amplitud pequeña y tiempos de subida rápidos, el amplificador horizontal se necesita principalmente sólo para amplificar señales de barrido, con sus amplitudes relativamente grandes y tiempos de subida relativamente lentos.

5.- Circuitos de Base de Tiempo

La aplicación más común de un osciloscopio es mostrar variaciones de señal contra el tiempo (modo Y-t). Para generar este tipo de despliegue se debe aplicar a las placas de deflexión horizontal un voltaje que haga que la posición horizontal del haz sea proporcional al tiempo. Además, se debe aplicar este mismo voltaje repetidas veces a las placas horizontales para que el haz pueda volver a trazar la misma trayectoria con la suficiente rapidez para que el punto móvil de luz se vea como una línea sólida. Por último, se debe sincronizar dicho voltaje con la señal periódica que se esté mostrando de tal manera que realmente se vuelva a trazar la misma trayectoria y aparezca una imagen estable en la pantalla del osciloscopio.

Los circuitos de base de tiempo del osciloscopio efectúan la tarea de producir esta señal de voltaje repetitiva y sincronizada. La señal generada por los circuitos de base de tiempo se llama onda de barrido. Tiene la forma de un diente de sierra y se muestra un ciclo en la Figura 6 (en donde V_H , es el voltaje aplicado a las placas horizontales del tubo de rayos catódicos).

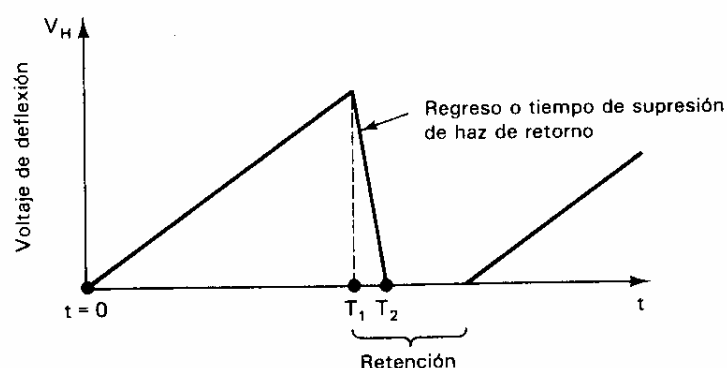


Figura 7 Ciclo de onda de barrido

Si el punto del haz de electrones se localiza en la orilla izquierda de la pantalla cuando $t = 0$, el voltaje en aumento de la onda de barrido hará que el haz (y por lo tanto el punto) recorra horizontalmente la pantalla. Al final de T_1 segundos, el punto se habrá movido horizontalmente a lo ancho de toda la pantalla. Durante el tiempo de T_1 a T_2 , V_H disminuirá hasta cero y el punto

regresará rápidamente al extremo izquierdo de la pantalla. De $t = 0$ hasta $t = T_1$, V_H aumenta linealmente con el tiempo y así la posición del punto durante este intervalo será proporcional al tiempo transcurrido desde el principio de la onda de barrido. El control Tiempo / div en el tablero del instrumento determina cuánto tiempo toma la onda de barrido para mover el punto a través de una división de la pantalla. Si no se aplica una señal externa a las placas verticales, la onda de barrido hará que el punto trace una línea horizontal en la pantalla del osciloscopio. Si hay voltaje de entrada vertical, la onda de barrido originará el despliegue de una gráfica de V contra t en la pantalla. La figura 8 muestra cómo se despliega la variación de una señal de entrada con ayuda de la onda de señal de barrido.

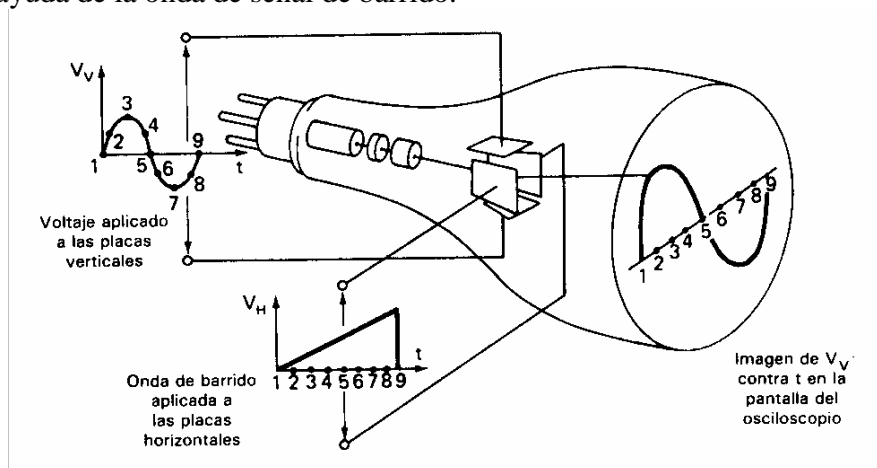


Figura 8 Generación de una gráfica en pantalla

Durante el intervalo pequeño $t = T_1$ a $t = T_2$, el punto se regresa del extremo derecho de la pantalla hasta su posición inicial. Para evitar que el haz deje una línea en la trayectoria de regreso, se emplean circuitos adicionales para apagar el haz; se llama blanqueo o supresión del haz de retorno a esta acción.

La figura 9 muestra un diagrama de bloques de los circuitos de base de tiempo para comprender cómo se genera la onda de barrido. Una señal llamada la señal de disparo alimenta primero al generador de pulsos de la base de tiempo. Cada vez que esta señal de disparo cruza una condición preseleccionada de pendiente y nivel de voltaje, el generador de pulsos emite un pulso.

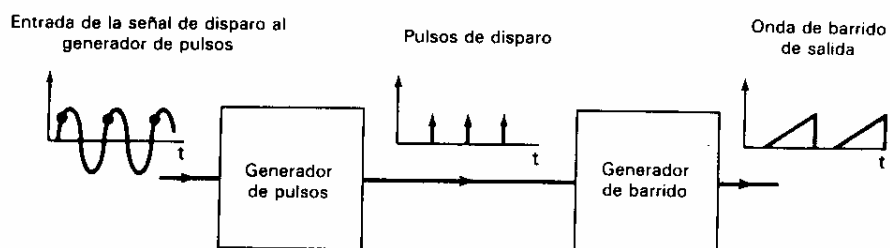


Figura 9 Generación de una onda de barrido

El pulso emitido dispara al generador de barrido que comienza a producir un ciclo de la onda de barrido.

La figura 10 muestra cómo se relacionan con el tiempo la señal de disparo, los pulsos emitidos y la onda de barrido. No todos los pulsos del generador de pulsos hacen que el generador de barrido origine una onda de barrido por cada pulso. Si el generador de barrido recibe un pulso a la mitad de un ciclo de barrido, lo ignora. Esto permite que el osciloscopio muestre más de un período de la señal de entrada sin tener que volverse a disparar una nueva onda de barrido. El generador de barrido detiene su salida al final de cada ciclo y espera la llegada del siguiente pulso antes de producir una nueva onda de barrido.

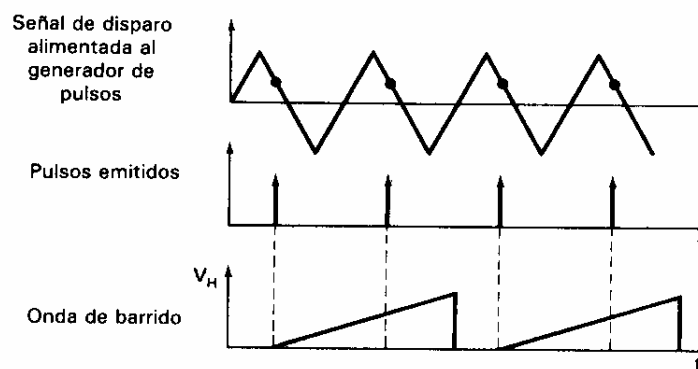


Figura 10 Señal de disparo, pulsos emitidos y onda de barrido a través del tiempo

El punto en la señal de disparo en el que el generador de pulsos emite un pulso se controla mediante los interruptores de pendiente de disparo (trigger slope) y de nivel de disparo (trigger level) del osciloscopio. El interruptor de pendiente de disparo permite escoger si la pendiente de la señal de disparo debe ser positiva o negativa cuando el generador emite un pulso. De igual modo, el interruptor de nivel de disparo determina el valor (con signo y magnitud) del voltaje de disparo al cual se genera un pulso.

La condición final necesaria para el despliegue estable de una señal variable en el tiempo es que la onda de barrido se debe iniciar en el mismo punto de la onda de la señal de entrada con respecto al punto en el que comenzó la onda previa de barrido.

Como la señal de disparo es el estímulo que origina que se inicie la onda de barrido, la señal de disparo y el despliegue en la pantalla del osciloscopio deben sincronizarse para lograr una imagen estable. Es fácil lograr esta sincronización si la señal de entrada también actúa como su propia señal de disparo. En esos casos la señal de entrada y la de disparo están siempre sincronizadas (siendo una misma señal). Como resultado, la misma señal de entrada inicia la onda de barrido y el primer punto de la imagen en la pantalla será igual al punto en el que la pendiente y el nivel de la señal de entrada dispara la onda de barrido. En un osciloscopio real, este tipo de disparo se llama disparo interno porque una parte de la señal de entrada se toma del amplificador vertical y se emplea como señal de disparo.

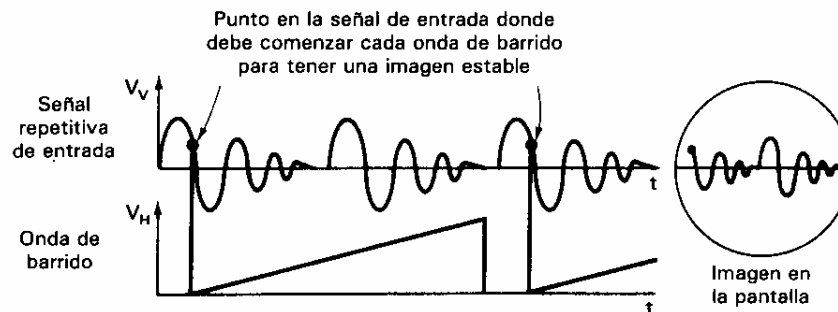


Figura 11 Formación de imagen estable

6.- Puntas de Prueba del Osciloscopio

Las puntas de prueba (o también sondas) de osciloscopios efectúan la importante tarea de detectar las señales en su fuente y transferirlas hasta las entradas del osciloscopio. Idealmente, las puntas deberían efectuar esta función sin cargar o perturbar de modo alguno los circuitos bajo prueba. No deben recoger y alimentar al osciloscopio con señales indeseables de ruido.

La cabeza de la punta contiene los circuitos sensores de la señal. Estos circuitos pueden ser pasivos (es decir, que contienen sólo elementos pasivos de circuito como resistencias y capacitores), o activos (porque contienen elementos activos como transistores de efecto de campo (FETs) de alta impedancia de entrada). Casi siempre se emplea un cable coaxial para transmitir la señal desde la cabeza de la punta hasta las terminales de entrada del osciloscopio. Los cables coaxiales son capaces de transmitir señales de alta frecuencia sin deformación y las puede aislar contra captación de interferencia externa.

La respuesta de frecuencia de una punta de prueba se debe igualar a la respuesta del osciloscopio en el que se fije. Una punta con una frecuencia de 50 MHz y -3dB no sería adecuada para un osciloscopio de 300 MHz. Esto es, se podría observar una señal de baja frecuencia sin distorsionarla, pero no se podrían usar las posibilidades de altas frecuencias del osciloscopio. También, se debe observar la capacidad máxima de voltaje tanto de la punta como del osciloscopio para evitar daños que sucederían en caso contrario. Cuando la frecuencia aumenta a más de 100 kHz, se debe reducir la capacidad máxima de voltaje de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Las Puntas de Prueba pasivas de voltaje son las que se emplean con mayor frecuencia para acoplar las señales de interés al osciloscopio. Las no atenuadoras (1 x) son las más sencillas de las puntas pasivas, pero están limitadas a aplicaciones de medición con bajas frecuencias. Las puntas pasivas atenuadoras con compensación aumentan las posibilidades de medición del osciloscopio incrementando la impedancia de entrada, pero esas puntas atenúan (reducen) la señal de entrada de modo que la deflexión del haz en el tubo de rayos catódicos es menor para un ajuste dado de sensibilidad del amplificador del osciloscopio.

Los osciloscopios son básicamente voltímetros y por lo mismo pueden cargar los circuitos en los que efectúan las mediciones. La impedancia de entrada de los amplificadores de osciloscopio da una medida de cuánto cargará el instrumento al circuito de prueba. Típicamente, la impedancia de entrada del osciloscopio es equivalente a la que presenta el circuito mostrado en la figura siguiente. Para un amplificador típico de osciloscopio, R es aproximadamente 1 MOhms y C está entre 30 y 50 pF.

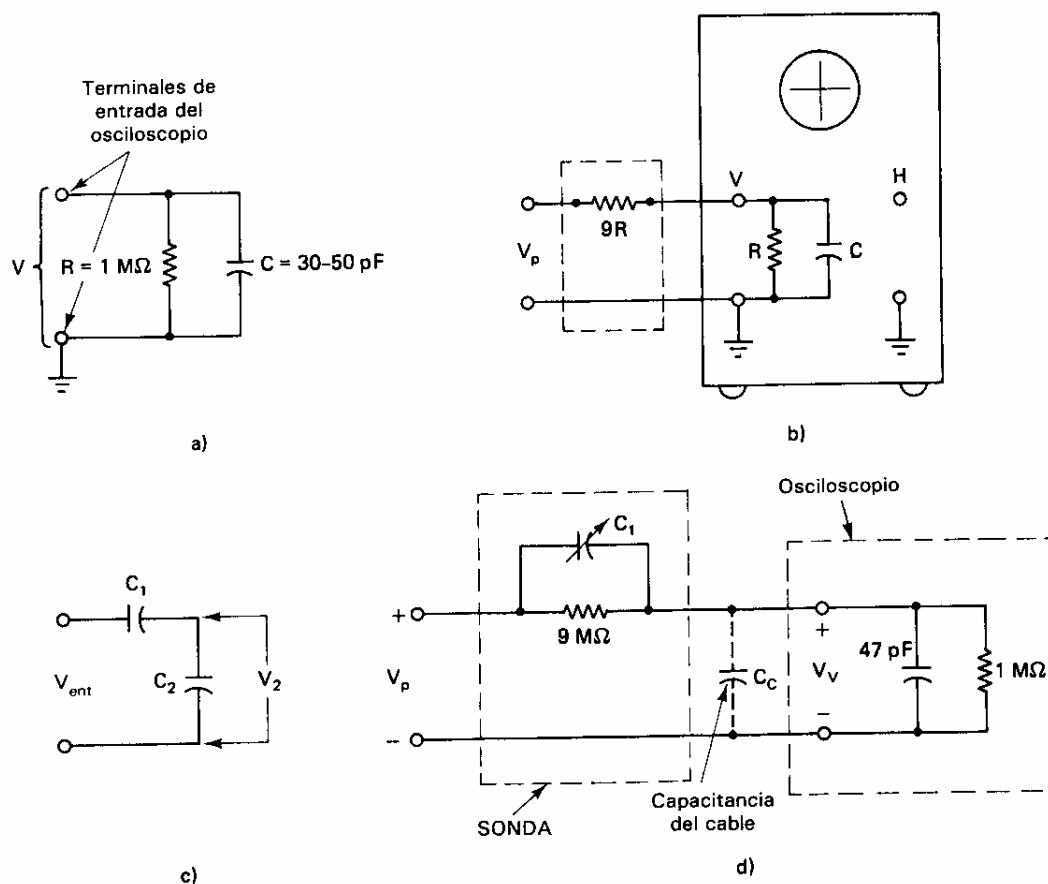


Figura 6-21 a) Impedancia de entrada de un osciloscopio típico; b) la impedancia de entrada del osciloscopio aumenta en un factor de 10 para señales de cd introduciendo una resistencia de $9R$ en serie; c) dos capacitores conectados en serie $V_2 = [C_1/(C_1 + C_2)]C_{ent}$; d) una impedancia de entrada del osciloscopio más la sonda $10\times$.

7.- Controles del Osciloscopio

Aunque la siguiente lista describe los controles de osciloscopio que se emplean con mayor frecuencia, pueden ser ligeramente distintos sus nombres en determinado modelo de aparato. Cuando se puede emplear más de un nombre, se lista también los nombres alternativos.

- **Potencia de alimentación (o línea).** Enciende y apaga al osciloscopio (después que se ha conectado).

- **Intensidad.** Controla la brillantez del trazo del osciloscopio. La perilla da una conexión a la rejilla de control del cañón de electrones en el tubo de rayos catódicos. Cuando se gira en el sentido de las manecillas del reloj, se disminuye el voltaje de repulsión de la rejilla y pueden emerger más electrones del agujero en la rejilla del cátodo para formar el haz. Un mayor número de electrones en el haz origina un punto más luminoso en la pantalla. Precaución: se debe tener cuidado para evitar que el haz de electrones queme la pantalla. Un punto estacionario se debe mantener en una intensidad muy baja. Si se mantiene alta la intensidad, el punto debe estar en movimiento. Si aparece un “halo” alrededor del punto, la intensidad es demasiado alta. Antes de encender el osciloscopio, baje la intensidad.

- **Enfoque.** El control de enfoque se conecta al ánodo del cañón de electrones que comprime el haz de electrones emergente para formar un punto fino. Cuando se ajusta este control, el trazo en la pantalla del osciloscopio se hace más agudo y definido.

- **Localizador del haz.** Regresa el despliegue a la zona de visión del tubo de rayos catódicos sin importar los demás ajustes de control. Para ello reduce los voltajes de deflexión vertical y horizontal. Observando el cuadrante en el que aparece el haz cuando se activa el localizador, se sabrá en qué direcciones se deben girar los controles de posición horizontal y vertical para volver a colocar el trazo en la pantalla una vez que vuelva a operarse normalmente el osciloscopio.

- **Posición.** Las perillas de posición se emplean para desplazar el trazo o el centro de la imagen mostrada por toda la pantalla. Las perillas de posición dan este control ajustando los voltajes de continua aplicados a las placas deflectoras del tubo de rayos catódicos.

- Posición vertical. Controla el centrado vertical del trazo. Se emplea este control con el control acoplamiento de entrada puesto en continua para localizar o ajustar el trazo a la tierra del chasis.
- Posición horizontal. Controla el centrado horizontal de la imagen.

- **Sensibilidad vertical V/div o V/cm.** Determina el valor necesario de voltaje que se debe aplicar a las entradas verticales para desviar el haz una división (o un cm). Este control conecta un atenuador de pasos al amplificador del osciloscopio y permite controlar la sensibilidad vertical en pasos discretos. El rango típico es de 10 mV/cm hasta 10 V/cm.

- **V/div variable.** Generalmente un disco rojo de movimiento continuo marcado VAR. Permite una variación continua (y no en escalones) de la sensibilidad vertical. Se debe ajustar esta perilla a la posición calibrada (generalmente girando por completo en sentido horario pasando el tope donde se oye un chasquido) para igualar la sensibilidad vertical del osciloscopio al valor marcado en el interruptor Sensibilidad Vertical. Cuando se mide la amplitud de las ondas senoidales, se lleva el control hasta el mayor tiempo posible tal que los picos aparezcan como una línea. Esto facilita mucho la lectura de la amplitud.

- **Tiempo de barrido o tiempo/div.** Controla el tiempo que el punto toma para moverse horizontalmente a través de una división en la pantalla cuando se emplea el modo de barrido disparado. Un valor muy pequeño de Tiempo/div indica un tiempo de barrido muy corto. Los tiempos típicos de barrido varían desde 1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ hasta 5 s/cm.

- **Tiempo variable.** Generalmente, un disco rojo de movimiento continuo marcado. Este control de vernier permite escoger una velocidad continua pero no calibrada de tiempo/div.

- **Fuente de disparo (Trigger).** Selecciona la fuente de la señal de disparo. Empleando este control, se escoge el tipo de señal que se emplea para sincronizar la onda de barrido horizontal con la señal de entrada vertical. Las selecciones posibles comprenden por lo general:

- Interna. La salida del amplificador vertical se emplea para disparar el barrido. Esta opción hace que la señal de entrada controle el disparo. Este tipo es adecuado para la mayor parte de las aplicaciones tipo de disparo.
- Línea. Esta posición selecciona al voltaje de línea de 50 Hz como señal de disparo. El disparo de línea es útil cuando hay una relación entre la frecuencia de la señal vertical de entrada y la frecuencia de la línea.
- Ex;. Cuando se emplea esta posición, se debe aplicar una señal externa para disparar la onda de barrido. Esta señal se debe conectar a la entrada Disparo (Trigger)

Parámetros que influyen en la calidad de un osciloscopio

Ancho de Banda . Especifica el rango de frecuencias en las que el osciloscopio puede medir con precisión. Por convenio el ancho de banda se calcula desde 0Hz (continua) hasta la frecuencia a la cual una señal de tipo senoidal se visualiza a un 70.7% del valor aplicado a la entrada (lo que corresponde a una atenuación de 3dB).

Tiempo de subida: Es otro de los parámetros que nos dará, junto con el anterior, la máxima frecuencia de utilización del osciloscopio. Es un parámetro muy importante si se desea medir con fiabilidad pulsos y flancos (recordar que este tipo de señales poseen transiciones entre niveles de tensión muy rápidas). Un osciloscopio no puede visualizar pulsos con tiempos de subida más rápidos que el suyo propio.

Sensibilidad vertical: Indica la facilidad del osciloscopio para amplificar señales débiles. Se suele proporcionar en mV por división vertical, normalmente es del orden de 5 mV/div (llegando hasta 2 mV/div).

Velocidad: Para osciloscopios analógicos esta especificación indica la velocidad máxima del barrido horizontal, lo que nos permitirá observar sucesos más rápidos. Suele ser del orden de nanosegundos por división horizontal.

Exactitud en la ganancia: Indica la precisión con la cual el sistema vertical del osciloscopio amplifica ó atenúa la señal. Se proporciona normalmente en porcentaje máximo de error.

Exactitud de la base de tiempos: Indica la precisión en la base de tiempos del sistema horizontal del osciloscopio para visualizar el tiempo. También se suele dar en porcentaje de error máximo.

Resolución vertical: Se mide en bits y es un parámetro que nos da la resolución del conversor A/D del osciloscopio digital. Nos indica con que precisión se convierten las señales de entrada en valores digitales almacenados en la memoria. Técnicas de cálculo pueden aumentar la resolución efectiva del osciloscopio.

Osciloscopios analógicos

Cuando se conecta la sonda a un circuito, la señal atraviesa esta última y se dirige a la sección vertical. Dependiendo de donde situemos el mando del amplificador vertical atenuaremos la señal ó la amplificaremos. En la salida de este bloque ya se dispone de la suficiente señal para atacar las placas de deflexión verticales y que son las encargadas de desviar el haz de electrones, que surge del cátodo e impacta en la capa fluorescente del interior de la pantalla, en sentido vertical. Hacia arriba si la tensión es positiva con respecto al punto de referencia (GND) ó hacia abajo si es negativa.

La señal también atraviesa la sección de disparo para de esta forma iniciar el barrido horizontal (este es el encargado de mover el haz de electrones desde la parte izquierda de la pantalla a la parte derecha en un determinado tiempo). El trazado (recorrido de izquierda a derecha) se consigue aplicando la parte ascendente de un diente de sierra a las placas de deflexión horizontal, y puede ser regulable en tiempo actuando sobre el mando TIME-BASE. El trazado (recorrido de derecha a izquierda) se realiza de forma mucho más rápida con la parte descendente del mismo diente de sierra.

De esta forma la acción combinada del trazado horizontal y de la deflexión vertical traza la gráfica de la señal en la pantalla. La sección de disparo es necesaria para estabilizar las señales repetitivas (se asegura que el trazado comience en el mismo punto de la señal repetitiva). Como conclusión para utilizar de forma correcta un osciloscopio analógico necesitamos realizar tres ajustes básicos:

La atenuación ó amplificación que necesita la señal. Utilizar el mando AMPL para ajustar la amplitud de la señal antes de que sea aplicada a las placas de deflexión vertical. Conviene que la señal ocupe una parte importante de la pantalla sin llegar a sobrepasar los límites.

La base de tiempos. Utilizar el mando TIME-BASE para ajustar lo que representa en tiempo una división en horizontal de la pantalla. Para señales repetitivas es conveniente que en la pantalla se puedan observar aproximadamente un par de ciclos.

Disparo de la señal. Utilizar los mandos TRIGGER LEVEL (nivel de disparo) y TRIGGER SELECTOR (tipo de disparo) para estabilizar lo mejor posible señales repetitivas. Por supuesto, también deben ajustarse los controles que afectan a la visualización: FOCUS (enfoque), INTENS (intensidad) nunca excesiva, Y-POS (posición vertical del haz) y X-POS (posición horizontal del haz).

8.- El Osciloscopio Digital

Osciloscopios digitales

Los osciloscopios digitales poseen además de las secciones explicadas anteriormente un sistema adicional de proceso de datos que permite almacenar y visualizar la señal. Cuando se conecta la sonda de un osciloscopio digital a un circuito, la sección vertical ajusta la amplitud de la señal de la misma forma que lo hacía el osciloscopio analógico. El conversor analógico-digital del sistema de adquisición de datos hace un muestreo la señal a intervalos de tiempo determinados y convierte la señal de voltaje continua en una serie de valores digitales llamados *muestras*. En la sección horizontal una señal de reloj determina cuando el conversor A/D toma una muestra. La velocidad de este reloj se denomina velocidad de muestreo y se mide en muestras por segundo.

Los valores digitales muestreados se almacenan en una memoria como puntos de señal. El número de los puntos de señal utilizados para reconstruir la señal en pantalla se denomina registro. La sección de disparo determina el comienzo y el final de los puntos de señal en el registro. La sección de visualización recibe estos puntos del registro, una vez almacenados en la memoria, para presentar en pantalla la señal.

Dependiendo de las capacidades del osciloscopio se pueden tener procesos adicionales sobre los puntos muestreados, incluso se puede disponer de un predisparo, para observar procesos que tengan lugar antes del disparo.

Fundamentalmente, un osciloscopio digital se maneja de una forma similar a uno analógico, para poder tomar las medidas se necesita ajustar el mando AMPL, el mando TIME-BASE así como los mandos que intervienen en el disparo. Los osciloscopios también son del tipo analógico y digital. El osciloscopio analógico funciona mediante la aplicación directa de la tensión que se mide a un haz de electrones que recorre la pantalla del osciloscopio. La tensión desvía el haz proporcionalmente hacia arriba y hacia abajo, trazando la forma de onda en la pantalla. Así, se obtiene una imagen inmediata de la forma de onda.

El osciloscopio digital, por el contrario, toma muestras de la forma de onda y utiliza un convertidor analógico-digital (CAD) para convertir la tensión que se está midiendo en información digital. A continuación, el osciloscopio usa esta información para reconstruir la forma de onda en pantalla.

Para muchas aplicaciones, se puede utilizar tanto un osciloscopio analógico como digital. No obstante, cada tipo posee características únicas que lo hacen más o menos apropiado para trabajos específicos. A menudo, los usuarios prefieren los osciloscopios analógicos cuando es importante visualizar señales que varían rápidamente en “tiempo real” (o a medida que ocurren).

Los osciloscopios digitales permiten capturar y ver eventos que pueden ocurrir solamente una vez. Pueden procesar los datos de la forma de onda digital asociada o enviarlos a un computador para ser procesados. Además, los osciloscopios digitales pueden almacenar los datos de la forma de onda digital para ser visualizados, analizados, o impresos posteriormente. Actualmente, los osciloscopios digitales no tienen problemas en mostrar señales en tiempo real, al igual que los análogos, sin embargo, tienen una desventaja en su precio y en el grado de especialización que debe tener el usuario para aplicarlos.

Algunos de los sistemas del osciloscopio digital son iguales a los del osciloscopio analógico; no obstante, el osciloscopio digital contiene sistemas de procesamiento de datos adicionales. Con estos sistemas adicionales, el osciloscopio digital reúne datos de toda la forma de onda y luego los muestra en pantalla. En la figura siguiente se ilustra un diagrama de bloques para un osciloscopio digital típico.

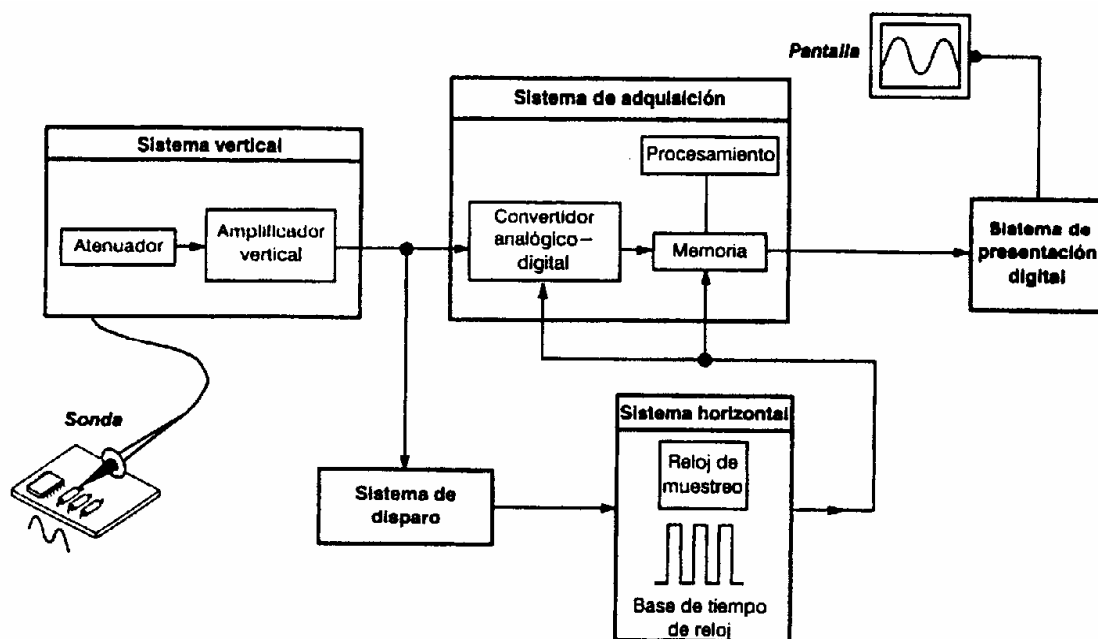


Figura 13 Esquema de un osciloscopio digital

Cuando se conecta la sonda de un osciloscopio digital a un circuito, el sistema vertical ajusta la amplitud de la señal, tal como lo hace el osciloscopio analógico.

Luego, el convertidor analógico – digital en el sistema de adquisición toma muestras de la señal a intervalos discretos de tiempo y convierte la tensión de la señal en estos puntos a valores digitales llamados puntos de muestra. El reloj de muestra del sistema horizontal determina con qué frecuencia el CAD toma las muestras. La velocidad a que marcha el reloj se llama velocidad de muestreo, y se mide en muestras por segundo.

Los puntos de muestreo del CAD están almacenados en la memoria como puntos de la forma de onda. Estos puntos de la forma de onda pueden estar constituidos por uno o más puntos de muestreo.

El conjunto de puntos de la forma de onda constituye un registro de la forma de onda. El número de puntos de la forma de onda utilizados para formar el registro se llama longitud del registro. El sistema de disparo determina los puntos de partida y término del registro. La pantalla recibe estos puntos de registro una vez que han sido almacenados en la memoria. Según las características del osciloscopio, es posible que tenga lugar algún procesamiento adicional de los puntos de muestreo con el fin de mejorar la imagen.

Básicamente, con un osciloscopio digital al igual que con uno analógico, es necesario ajustar las configuraciones vertical, horizontal y de disparo para realizar con éxito una medida.

Respecto de los métodos de muestreo que utilizan los osciloscopios digitales (esto es, la forma de reunir los puntos de muestra) hay que mencionar, que para señales que cambian lentamente, el osciloscopio reúne fácilmente un número de puntos de muestra más que suficiente para construir una imagen precisa de la señal. No obstante, para señales más rápidas (la rapidez depende de la velocidad máxima de muestreo del osciloscopio) el osciloscopio puede no ser capaz de reunir suficientes muestras. En estos casos, el osciloscopio digital puede hacer dos cosas:

- Puede tomar unos pocos puntos de muestreo de la señal en un solo paso (en modo de muestreo de tiempo real) y luego utilizar interpolación. La interpolación es una técnica de procesamiento usada para estimar la forma de onda, basándose en unos pocos puntos.
- Puede construir, en algún tiempo, una imagen de la forma de onda siempre que la señal se repita (modo de muestreo de tiempo equivalente). En este caso la imagen se forma captando “un poco” de información de cada repetición.

9.- Osciloscopios de Almacenamiento Digital

Este tipo de osciloscopio difiere de su contraparte analógica debido a que “digitaliza” o convierte la onda analógica de entrada a una señal digital que se almacena en una memoria de semiconductor para después convertirla de nuevo a una forma analógica que se muestra en un tubo convencional de rayos catódicos. Los datos se muestran con mayor frecuencia en forma de puntos individuales que constituyen en forma colectiva el trazo del tubo de rayos catódicos.

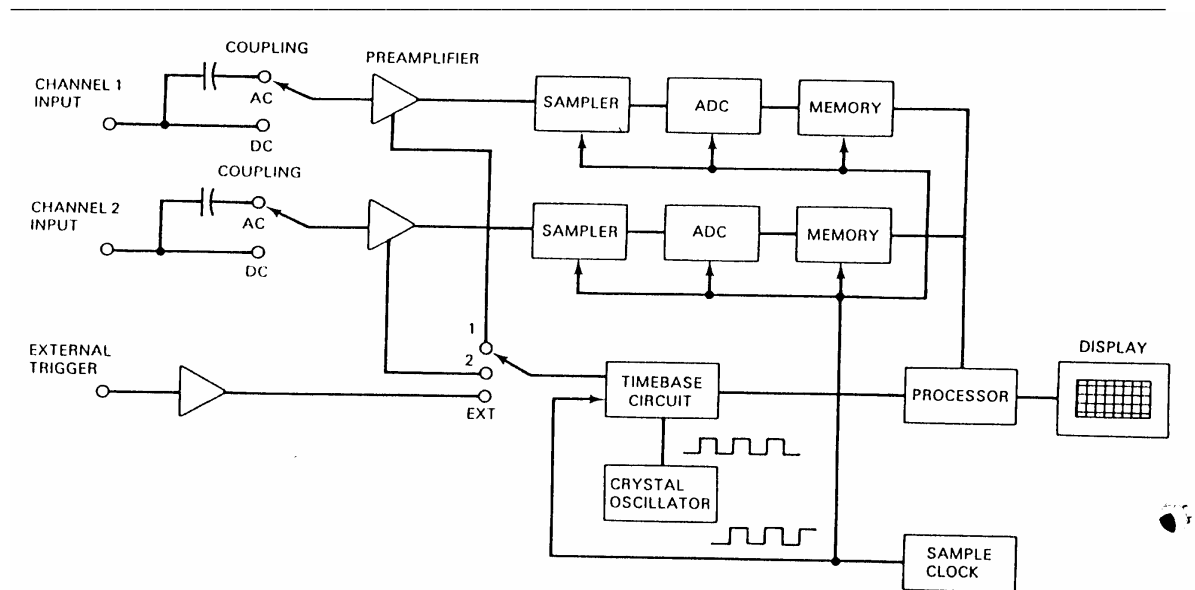


Figura 14 Osciloscopio de almacenamiento digital

La posición vertical de cada uno de los puntos está dada por el número binario almacenado en cada una de las localidades de la memoria y la posición horizontal en la pantalla se deriva de la dirección binaria de esa localidad de memoria. El número de puntos que se muestran depende de tres factores: la frecuencia de la señal de entrada con respecto a la velocidad de digitalización, el tamaño de la memoria y la velocidad a la cual se leen los contenidos de la memoria. Mientras mayor sea la frecuencia de la señal de entrada con respecto a la velocidad de digitalización, serán menos los puntos de datos capturados en la memoria en un paso sencillo, y menos serán los puntos disponibles en la onda reconstruida.

Los osciloscopios de almacenamiento digital y los osciloscopios analógicos tienen cada uno sus ventajas específicas, pero los instrumentos digitales han creado la mayor expectativa recientemente debido a que han pasado por enormes mejoras de funcionamiento. Debido a la modularidad de muchos de los osciloscopios, se pueden conseguir canales y dispositivos adicionales con sólo enchufar el accesorio adecuado al bastidor principal. Además de capturar y mostrar ondas, los osciloscopios digitales también pueden efectuar el almacenamiento indefinido de datos de ondas para comparación y la transferencia de datos almacenados a otros instrumentos digitales. Además, se puede calcular el análisis de parámetros de pulso y se puede presentar en forma decimal en la pantalla del osciloscopio. Los osciloscopios de almacenamiento digital también se adecuan para una gran cantidad de tareas especiales como de diagnóstico de problemas “intermitentes”. Llevando el osciloscopio al modo de barrido único, se pueden capturar y almacenar en forma automática los datos cuando sucede el evento de disparo. Así, se puede eliminar el constante monitoreo de un conjunto de prueba hasta que aparezca el evento “intermitente”. Los datos, una vez capturados, no sólo son los que sucedieron después de la señal de disparo, sino también antes. Esto es muy importante al tratar de determinar la causa o la fuente de una señal falsa.

El convertidor analógico-digital del osciloscopio determina algunas de sus características de operación más importantes. La resolución de voltaje está dictada por la resolución en bits del convertidor analógico a digital y la velocidad de almacenamiento por la velocidad máxima del convertidor.

10.- Términos de rendimiento

Ancho de banda: Las especificaciones de ancho de banda indican el rango de frecuencias que el osciloscopio puede medir con exactitud. A medida que aumenta la frecuencia de la señal, la capacidad del osciloscopio para responder con precisión disminuye. Por regla general, el ancho de banda indica la frecuencia en la cual la señal mostrada se reduce a un 70,7% de la señal de onda sinusoidal aplicada. (este 70,7% se conoce como “el punto de -3 dB”, un término basado en la escala logarítmica.)

Tiempo de subida: El tiempo de subida es otra forma de describir el rango de frecuencia útil de un osciloscopio. El tiempo de subida puede ser un criterio de rendimiento más apropiado cuando se espera medir pulsos y escalones. El osciloscopio no puede mostrar con exactitud pulsos cuyo tiempo de subida sea más rápido que el tiempo de subida especificado para el osciloscopio.

Sensibilidad vertical: La sensibilidad vertical indica hasta qué punto el amplificador vertical puede amplificar una señal débil. La sensibilidad vertical suele darse en milivoltios (mV) por división. La tensión más pequeña que puede detectar un osciloscopio de uso general es normalmente de 2 mV por división vertical de pantalla.

Velocidad de Barrido: Para los osciloscopios analógicos, esta especificación indica la velocidad máxima a que el trazado puede barrer la pantalla, permitiéndole ver la imagen con toda nitidez. La velocidad de barrido de un osciloscopio se suele dar en nanosegundos/división.

Precisión de ganancia: La precisión de ganancia indica la precisión con que el sistema vertical atenúa o amplifica una señal. Se suele indicar como un porcentaje de error.

Base de tiempo o precisión horizontal: La precisión de la base de tiempo o precisión horizontal indica la precisión con que el sistema horizontal representa los eventos de la señal en relación al tiempo. Se suele indicar como un porcentaje de error.

Velocidad de muestreo: En los osciloscopios digitales, la velocidad de muestreo indica cuántas muestras por segundo puede tomar el CAD y por tanto el osciloscopio). Las velocidades máximas de muestreo suelen darse en megamuestras por segundo (MM/s). Cuanto más rápidamente pueda tomar muestras el osciloscopio, con mayor precisión podrá representar los detalles de una señal rápida. La velocidad mínima de muestreo también puede ser importante si necesita observar señales que cambian lentamente en largos períodos de tiempo. Normalmente,

la velocidad de muestreo se modifica con los cambios en el control seg/div para mantener un número constante de puntos de forma de onda en el registro de la forma de onda.

Resolución CAD (o resolución Vertical): La resolución, en bits, del CAD (y por lo tanto del osciloscopio digital) indica con qué grado de precisión el instrumento puede transformar las tensiones de entrada a valores digitales. Técnicas de cálculo pueden mejorar la resolución efectiva.

Longitud del registro: La longitud de registro de un osciloscopio digital define el número de puntos que el osciloscopio puede acumular en un registro de forma de onda. Algunos osciloscopios digitales permiten ajustar la longitud del registro. La longitud máxima de registro depende de la cantidad de memoria disponible en el osciloscopio. Puesto que el osciloscopio puede almacenar solamente un número finito de puntos de registro, existe un compromiso entre el grado de detalle y la longitud del registro. Puede obtenerse una imagen detallada de una señal por un corto período de tiempo (el osciloscopio “se llena” de puntos de forma de onda rápidamente) o bien una imagen menos detallada por un período de tiempo más largo. Algunos osciloscopios de hecho permiten añadir más memoria para aumentar la longitud de registro en aplicaciones especiales.