

La Sonda de Prueba del Osciloscopio

La Sonda de Prueba del Osciloscopio

Rommel J. Contreras G.
Universidad de Oriente

RJCG, Editor

Mayo, 2024

Rommel Contreras: Caripiteño. Cursó estudios en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea Venezolana formándose como electrónico y navegante. Se especializa en el área de comunicación de datos, seguridad de computadoras, administración de recursos informáticos y materias afines. Recibió entrenamiento en tecnología geofísica, oceanográfica y procesamiento de imágenes de satelitales. Licenciado en Física (UDO/Venezuela). Su tesis de grado la dedica al estudio del Perfil Cortical de la Cuenca del Golfo de Cariaco, área donde participa en diversas investigaciones teóricas y de campo; tiene varias publicaciones científicas. Entre otros, ha sido docente en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana, jefe del departamento de Redes de la Coordinación de Teleinformática de la Universidad de Oriente (Administrador jefe de Tecnología de Información y Comunicación), Director de la Oficina de Catastro de la Ciudad de Cumaná y Secretario General de la Academia de Geo Historia del Estado Sucre.

Diseño de la Portada: RJCG

Editor Productor: Rommel Contreras

Edición: 1^{ra} edición digital RJCG, 2023

Sitio Web: [Sonda_Osciloscopio](#)

©2023 Hecho el Depósito de Ley: SU2023000013

©2023 ISBN: 978-980-18-3957-6

A mi hijo Rommel Aser; por su esfuerzo y dedicación al estudio de la Ingeniería Electrónica. Solo te puedo dejar por herencia, el ejemplo de lo que puede lograr el compromiso y el amor paterno.

Agradecimientos

A todos los profesores, familiares y amigos que impulsaron su desarrollo profesional; en especial:

A la Sra. Alicia Peñalosa; luz amiga en el sendero.

Al profesor Guillermo Villegas; su amigo, ejemplo y tutor.

A *tía Gloria* e hijo Ángel, por su constancia esmerada.

Al par de amores:...

mi hija Stephanie, que lo ha cuidado con esmero fraterno.

y *mi Fidia*; esposa y madre: sacrificio y amor.

Prefacio

El inicio de mi interés por este interesante tema, se remontan a mi tiempo de estudiantes de electrónica: el osciloscopio podía hacer que “observara” las señales eléctricas. Pero es la sonda o punta de prueba la que permite e inicia esa maravilla. La sonda del osciloscopio, es un buen punto de partida para visualizar el abstracto mundo de los electrones en su curso por la materia física.

La punta de prueba pasiva o sonda es el elemento sensor del osciloscopio. La capacitancia de los cables de interconexión, es el efecto más importante a considerar en su diseño y fabricación; ya que ésta puede reducir la impedancia efectiva a valores mínimos, permitiendo de esta manera cargar la medición y como consecuencia distorsionar la señal medida. Un osciloscopio típico moderno, tiene una impedancia de entrada (Z_i) de $1M\Omega$ y una capacitancia de entrada (C_i) con valores que oscilan entre 12 y $25pF$. Estas condiciones de entradas deben ser compensadas para que el acople de la sonda al instrumento genere la menor afectación posible a la señal medida; la capacitancia del cable de la punta de prueba (C_c) suele ser de $25pF$, y las otras capacitancias parásitas (C_s) de unos cuantos picofaradios.

Con frecuencia, para compensar la capacitancia de derivación adicionada por los cables, se emplea una punta de prueba de compensación pasiva en el extremo del cable de la sonda. Básicamente, esto consiste de un condensador coaxial variable (C_p), en paralelo con una resistencia fija (R_p). Este arreglo inevitablemente provoca una disminución en la amplitud de la señal. Los valores de la resistencia se seleccionan para que resulte un valor conveniente de atenuación. Suele utilizarse un factor 10X, de manera que el efecto sea el mismo al que se consigue cuando se conmuta el atenuador de entrada del osciloscopio a la siguiente posición

más alta.

La compensación pasiva es independiente de la frecuencia y en estas condiciones la punta de prueba está compensando correctamente las diferentes capacitancias, por lo que la señal no es afectada, excepto por la magnitud.

Estas notas técnicas, originalmente fueron publicadas en forma resumida en el [blog](#) personal del autor, luego como un [papel de trabajo](#) y en esta oportunidad (revisado y ampliado) como un pequeño obsequio que puede ser útil a los que se inician (o recién gradúan) en este fascinante mundo de la electrónica; como mi hijo Rommel Aser (de haber estudiado medicina, seguro hubiera escrito sobre el estetoscopio). Para él y para ellos son todos estos esfuerzos.

RJCG

15/12/2023

Índice

Agradecimientos	vii
Prefacio	ix
1 Osciloscopio: Sondas Pasivas	1
1.1 RESUMEN	1
1.2 La sonda de prueba ideal:	2
1.3 Ancho de banda; aspectos generales	5
1.4 Las impedancias en la medida:	7
1.5 El efecto de la impedancia de la fuente:	8
1.6 El efecto de la carga capacitiva:	10
1.7 El efecto capacitivo sobre el <i>rise time</i> :	10
1.8 El efecto sobre la amplitud y la fase:	12
1.9 Consideraciones de Ancho de Banda:	15
1.10 El ancho de banda y el <i>rise time</i>	15
1.11 Ancho de banda de la sonda de prueba:	17
1.12 Efecto del cable de conexión a tierra:	18
1.13 Sondas de prueba pasivas para el osciloscopio: . .	20
1.14 Análisis de los Requerimientos en DC:	20
1.15 Sondas para amplio rango	22
1.16 El efecto del cable coaxial:	25

2 Calculos típicos de la punta de prueba	29
2.1 Problemas, Respuesta y Soluciones:	29

Páginas finales

Glosario	37
-----------------	-----------

Bibliografía:	45
----------------------	-----------

Capítulo 1

Osciloscopio: Sondas Pasivas

1.1 RESUMEN

Básicamente, el **osciloscopio** es un dispositivo de presentación de gráficas, es decir, traza una gráfica de una señal eléctrica. En la mayoría de las aplicaciones, esta gráfica muestra cómo cambia una señal con el tiempo: el eje vertical (Y) representa el voltaje, y el eje horizontal (X) representa el tiempo. La intensidad o brillo de la pantalla se denomina, a veces, eje Z.

Para conectar un circuito bajo prueba con un osciloscopio, se requiere una sonda de prueba para osciloscopio, que es un conector y conductor eléctrico que sirve para llevar la señal desde el circuito hasta el osciloscopio, donde las señales eléctricas presentes en el circuito serán monitoreadas. Dependiendo del tipo de medida que se requiera, esta conexión puede ser hecha con un trozo de cable, una sonda pasiva o mediante una sonda sofisticada (activa y diferencial). El contacto físico de la punta de la sonda con el circuito, hace que una muestra de la señal en el punto de monitoreo, sea conducida hasta los circuitos del osciloscopio. Esta interacción debe tener un efecto mínimo sobre la manera que el circuito opera, la señal debe ser conducida (transmitida) a través de la punta y el cable de la sonda, hasta el osciloscopio: con la mayor fidelidad. Esos tres factores: contacto físico, mínimo impacto en la operación del circuito y una adecuada fidelidad, son de incidencia primaria en la selección de tipo de sondas de pruebas para osciloscopios.

Incluso el instrumento más avanzado sólo puede ser tan preciso como preciso sean los datos que recibe. Una sonda funciona conjuntamente

con un osciloscopio como parte de un sistema de medida. La precisión de las medidas comienza en la punta de la sonda, incluye el osciloscopio y al dispositivo bajo prueba (DUT); no sólo debe permitir que la señal sea llevada al osciloscopio limpiamente, sino que también debe preservar y adecuar la señal para conseguir una mayor integridad y precisión de la medida. En realidad, las sondas se convierten en parte del circuito, introduciendo cargas resistivas, capacitivas e inductivas que, inevitablemente, alteran la medida. Para lograr los resultados más precisos, se debe seleccionar una sonda que ofrezca una carga mínima. La adaptación ideal de la sonda con el osciloscopio minimizará esta carga y permitirá tener acceso a toda la potencia, características y capacidades del osciloscopio.

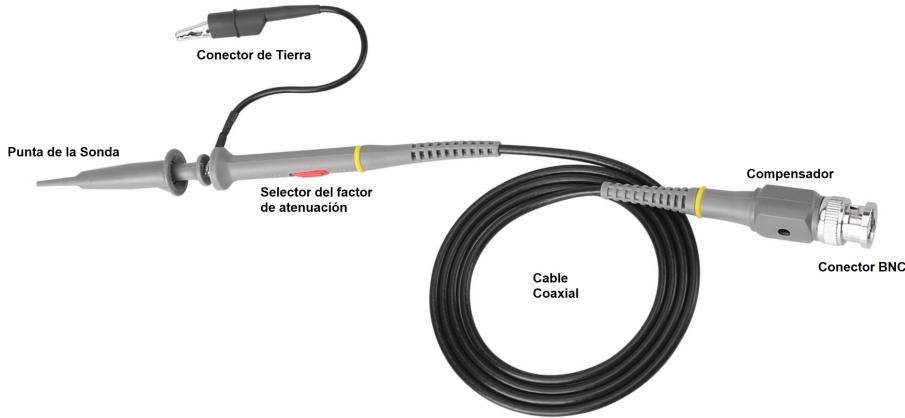


Figura 1.1.1 Partes de una sonda de prueba para el osciloscopio.

1.2 La sonda de prueba ideal:

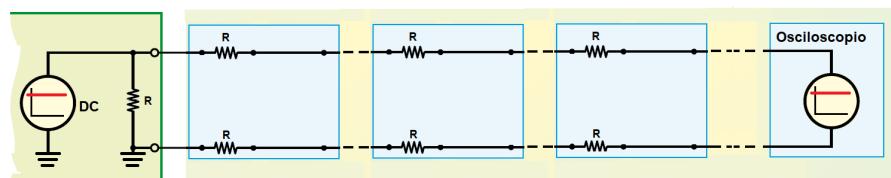
Una sonda ideal debe operar con los siguientes atributos: conexión conveniente y sencilla, absoluta fidelidad de la señal, cero perturbaciones sobre la fuente de la señal medida y una completa inmunidad al ruido.

Al respecto de la absoluta fidelidad, la sonda de prueba ideal debería trasmisitir fielmente cualquier señal desde la punta de prueba hasta el osciloscopio. Lo que implica que la sonda de prueba ideal (toda ella) debería tener cero atenuaciones, infinito ancho de banda y una fase lineal a través de toda la gama de frecuencias; condiciones imposibles

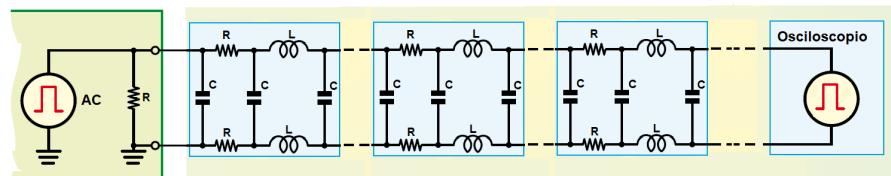
de alcanzar (pero que también resultan ser imprácticas). Sin embargo, dentro de un determinado ancho de banda de operación, la fidelidad absoluta de la señal es un objetivo que debe ser buscado.

Un dispositivo externo conectado a un circuito electrónico (como la sonda de prueba), puede comportarse como una carga adicional al circuito en el punto donde se realiza prueba; lo que implicaría cambios en la operación del circuito y en el valor de la medida que se realiza. Por ello, es de esperarse que una sonda ideal no drene ninguna corriente de la señal del circuito; lo que implicaría una impedancia infinita de la sonda; esencialmente se presentaría como un circuito abierto conectado en ese punto del circuito.

La Impedancia: Se conoce como el proceso que impide o restringe el flujo de la corriente alterna (AC). Se expresa en Ohm (Ω) y consiste esencialmente de un componente resistivo (R) y una componente reactiva (X); esta componente reactiva puede ser capacitiva (X_C) o inductiva (X_L). La impedancia (Z) es expresada en forma compleja como: $Z = R + X$ (como una magnitud y una fase). Donde la magnitud (M) es: $M = \sqrt{R^2 + X^2}$ y la fase (θ) es $\theta = \tan^{-1}(X/R)$; [con $\tan^{-1} = \arctan$].



a) Parámetro resistivo distribuido en una sonda de prueba para una señal DC (0Hz).



b) Parámetros R , L , C , distribuidos en una sonda de prueba para una señal AC.

Figura 1.2.1 Las sondas de pruebas conforman un circuito distribuido de resistencias, inductancias y capacitancia (R, L, C) [9].

En la práctica una sonda de prueba con cero efectos sobre la señal fuente, no puede ser alcanzada; debido a que la sonda debe drenar una pequeña cantidad de corriente para generar una señal de voltaje en el osciloscopio,

consecuentemente alguna «carga» en la señal fuente dese ser esperada. Pero el objetivo a tener presente debe ser siempre minimizar el efecto de carga, mediante la selección de la sonda apropiada.

El entorno del laboratorio o taller donde se realizan las mediciones, puede estar saturado de ruido electromagnético (EMI; *ElectroMagnetic Interferences*), proveniente principalmente de luces fluorescentes, motores de ventiladores, contactores, etc. Estas fuentes pueden inducir ruido en el cable de la sonda y en el circuito bajo prueba, causando que ese ruido electromagnético sea adicionado a las señales monitoreadas; por ello un simple par de conductores es la peor escogencia como sonda de prueba para un osciloscopio. La sonda de prueba ideal debe ser totalmente inmune a todas las fuentes de ruido, portando sólo la señal y el ruido proveniente del circuito. En la práctica el ruido se evita, utilizando cables apantallados (coaxiales); que proporciona una alta inmunidad al ruido e impide cualquier radiación del cable (evita se comporte como antena). Sin embargo, el ruido puede ser un problema para ciertas señales de bajo nivel o cuando el ruido está presente en medidas diferenciales realizadas en modo común.

Incluso si es un simple pedazo de cable conductor el utilizado como sonda de prueba, éste representa un circuito potencialmente muy complejo. Para las señales DC (frecuencia 0 Hz), este tipo de sonda puede ser modelado por un simple par de conductores con algunas resistencias en series y una resistencia terminal ([Figura 1.2.1-a](#)). Sin embargo, para señales AC, el modelado cambiaría drásticamente a medida que se incremente la frecuencia ([Figura 1.2.1-b](#)). Este abrupto cambio en el modelo es debido a que cualquier conductor posee una inductancia distribuida (L) y cualquier par de conductores posee una capacitancia distribuida (C).

La Inductancia: Es una propiedad de los circuitos eléctricos (un conductor, por ejemplo) por la cual una fuerza electromotriz (FEM) es inducida en éste por la variación de una corriente cualquiera; en el circuito mismo o en la vecindad del circuito.

La Capacitancia: Un fenómeno eléctrico que implica el almacenamiento de cargas eléctricas.

La inductancia distribuida reacciona ante las señales AC, en proporción inversa al aumento de la frecuencia; lo que aumenta el impedimento

a que la corriente AC pueda fluir. Por el contrario, la capacitancia distribuida reacciona ante las señales AC, en proporción directa al aumento de la frecuencia; lo que disminuye el impedimento para que la corriente AC fluya. Para compensar adecuadamente el modelo, es necesario implementar un divisor de tensión, al que se añade capacidad adicional en derivación con cada resistencia buscando mantener la relación deseada.

La interacción de los elementos reactivos (L y C), combinados con el elemento resistivo (R), produce la impedancia total en la sonda; la cual varía con la frecuencia de la señal. En una buena sonda de prueba, los parámetros R , L , C , pueden ser controlados para proveer el deseado grado de fidelidad, atenuación y carga de la señal medida; dentro de un rango específico de frecuencias. Las sondas de prueba para osciloscopios están limitadas por la naturaleza de los circuitos en el interior de la sonda; lo que se debe tener presente cuando se seleccione uno de estos dispositivos accesorios para el osciloscopio.

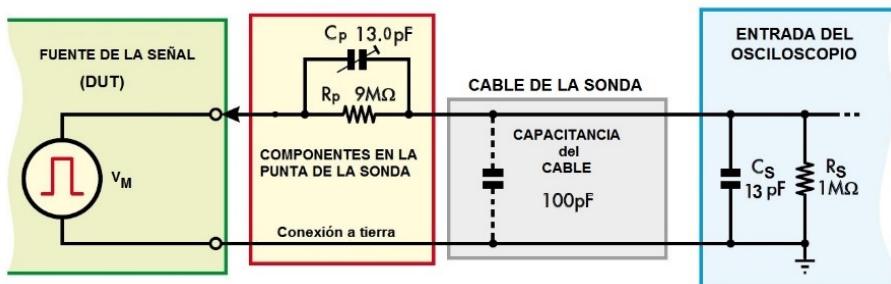


Figura 1.2.2 Dependiendo de las impedancias adicionales (de la sonda y del osciloscopio), en el punto de prueba, se generan varios tipos y efectos de cargas. Las impedancias del osciloscopio y de la sonda de prueba, se adicionan a la impedancia de la fuente; teniendo como resultado que una porción de la corriente fluya hacia el sistema acoplado (el osciloscopio).

1.3 Aspectos generales sobre el ancho de banda y el *rise time*:

El ancho de banda es el rango de frecuencias donde puede operar tanto la sonda de prueba como el osciloscopio. Como regla general para una medida precisa, es recomendable usar un instrumento (osciloscopio) que