



Experiencia 3: Osciloscopio

Guía previa

1. Objetivos

En esta guía se estudia el uso avanzado del osciloscopio. Además, se presenta brevemente el puente universal, instrumento utilizado para la medición precisa de impedancias.

2. Material de estudio

2.1. Más sobre el osciloscopio

En este apartado se explicarán algunas de las características del osciloscopio que le permitirán enfrentar mediciones de bastante dificultad, para las que el comando de autoconfigurar no es suficiente. Gran parte del contenido de esta guía está sacado del manual del osciloscopio, y es recomendable que lea o revise dicho manual por iniciativa propia.

2.1.1. Disparo

El osciloscopio proporciona dos tipos de disparo: por flanco y video. Para efectos del laboratorio, solamente se utilizará el disparo por flanco. Este tipo de disparo se produce cuando la entrada cruza por un nivel de voltaje especificado (nivel de disparo) en la dirección indicada (pendiente de disparo).

Modos de disparo

El modo de disparo determina cómo se comporta el osciloscopio en ausencia de un evento de disparo. El osciloscopio proporciona tres modos de disparo: auto, normal y único.

- **Auto:** este modo de disparo permite que el osciloscopio adquiera una forma de onda incluso si no detecta una condición de disparo. Si no se produce una condición de disparo mientras el osciloscopio espera durante un intervalo concreto (determinado por el ajuste de base de tiempo), forzará un disparo. Al forzar disparos no válidos, el osciloscopio no puede sincronizar la forma de onda, y ésta parece desplazarse por la pantalla. Si se produce un disparo válido, la representación se estabiliza en la pantalla.

- **Normal:** este modo permite que el osciloscopio adquiera una forma de onda sólo si se detecta una condición de disparo. Si no se produce un disparo, el osciloscopio no adquirirá la nueva forma de onda, y la forma de onda anterior, si la hubiera, permanecerá en la pantalla.
- **Único:** este modo permite que el osciloscopio adquiera una forma de onda cada vez que se pulsa el botón *RUN* y se detecta la condición de disparo.

Retención

A veces se requiere una gran habilidad para conseguir que el osciloscopio dispare en la parte deseada de una señal. Muchos osciloscopios tienen características especiales para facilitar esta tarea. La retención del disparo es un período de tiempo ajustable después de un disparo válido durante el cual el osciloscopio no puede disparar. Esta característica es útil cuando se está disparando sobre formas de onda de gran complejidad, de manera que el osciloscopio solamente pueda disparar sobre un punto deseado.

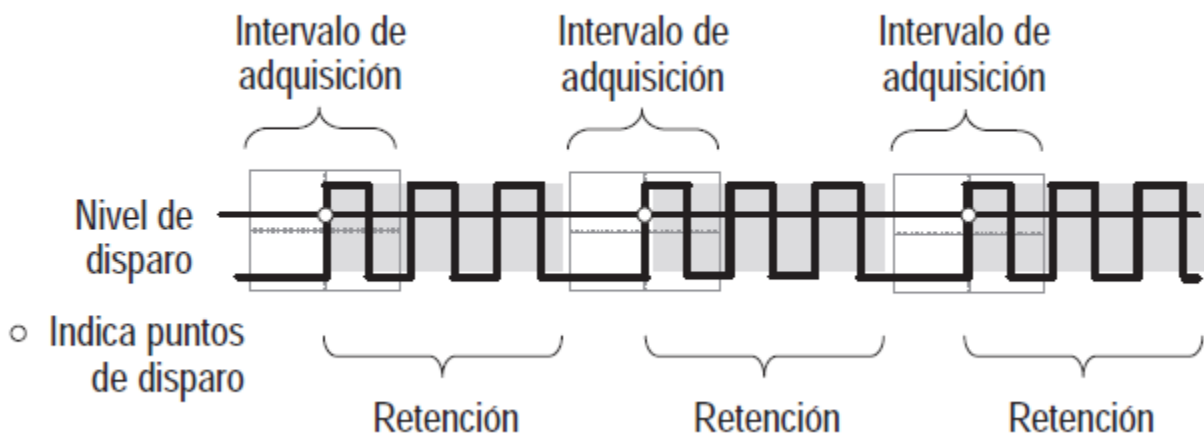


Figura 1: Aplicación de retención de disparo [2].

Considere el ejemplo que se muestra en la Fig. 1, en la que se tienen varios trenes de pulsos rectangulares. Gracias al ajuste de retención, es posible que el disparo se produzca siempre en el primer pulso, obteniendo una señal estable que permite medir la distancia entre cada tren de pulsos. En caso contrario, cada pulso generaría una señal de disparo válida, con lo que resultaría imposible estabilizar la imagen en la pantalla del osciloscopio.

La manera de configurar la retención del disparo puede variar en diferentes osciloscopios, por lo que se recomienda que revise el manual del instrumento si necesita modificar este parámetro.

Acoplamiento de disparo

El acoplamiento de disparo determina qué parte de la señal pasa al circuito de disparo. Existen diferentes tipos de acoplamiento de disparo, los que pueden variar según el osciloscopio. Algunos tipos que se encuentran en el osciloscopio disponible en el laboratorio son:

- **CC:** pasa tanto los componentes de CA como de CC.
- **CA:** bloquea la componente CC.
- **Rechazo de ruido:** reduce la sensibilidad de disparo y precisa de más amplitud de señal para un disparo estable. Esto reduce las posibilidades de disparar en falso debido al ruido.
- **Rechazo de alta frecuencia:** bloquea la parte de alta frecuencia y sólo deja pasar las componentes de baja frecuencia.
- **Rechazo de baja frecuencia:** funciona al revés del rechazo de alta frecuencia, bloqueando las componentes de baja frecuencia.

No se debe confundir el acoplamiento de disparo con el acoplamiento del canal, pues son parámetros independientes.

Pendiente y nivel

Los controles pendiente y nivel le ayudan a definir el disparo. El control pendiente determina si el osciloscopio debe buscar el punto de disparo en el flanco ascendente o descendente de una señal. El control de nivel determina el voltaje al que se produce el disparo, y está indicado por una flecha al lado derecho de la pantalla del osciloscopio (ver Fig. 2).

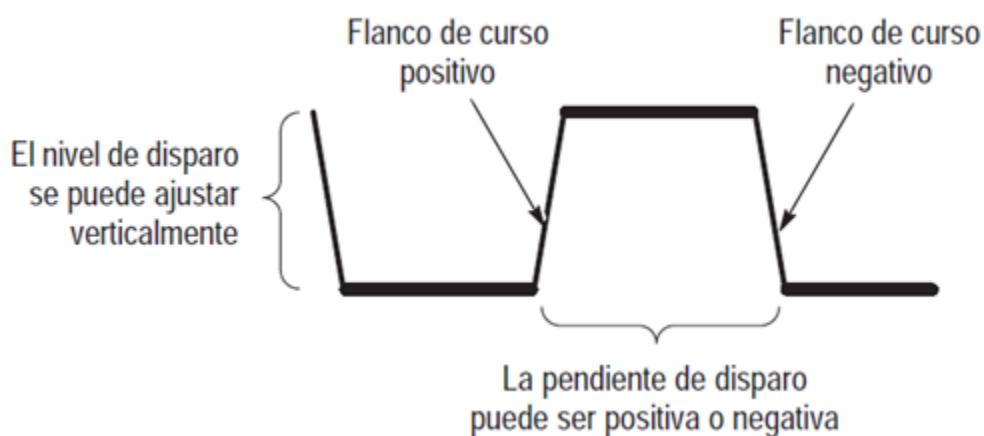


Figura 2: Pendiente y nivel de disparo [2].

El nivel de disparo debe estar dentro del rango de amplitud de la señal a medir, ya que en caso contrario nunca se va a producir la condición de disparo. Además, es importante tener claro en qué canal está ajustado el disparo.

2.1.2. Adquisición

Modos de adquisición

Como se mencionó en la guía anterior, existen diferentes modos de adquisición. A continuación se presentan los modos disponibles en el osciloscopio del laboratorio.

- **Muestro normal:** el osciloscopio muestrea la señal a intervalos regulares a fin de construir la forma de onda. Este modo representa las señales analógicas con precisión la mayor parte de las veces. Sin embargo, este modo no adquiere variaciones rápidas de la señal analógica que se puedan producir entre muestreos. Esto puede provocar efecto alias (explicado más adelante) y hacer que se pierdan los pulsos más estrechos o detalles de la forma de onda. En este caso, debe usar el modo de detección de picos para adquirir los datos.
- **Detección de picos:** el osciloscopio busca los valores superior e inferior de la señal de entrada en cada intervalo de muestreo, y usa estos valores para representar la forma de onda. De esta manera, es posible adquirir y representar pulsos estrechos, que se habrían perdido utilizando el modo muestreo normal. En este modo el ruido parecerá ser mayor.
- **Promedio:** el osciloscopio adquiere varias formas de onda, calcula el promedio y muestra la forma de onda resultante. Puede usar este modo para reducir el ruido en la visualización de la pantalla.

Efecto alias

El efecto alias se produce cuando el osciloscopio no muestrea la señal lo suficientemente rápido como para construir un registro de forma de onda preciso. Cuando se produce el efecto alias, se ve una forma de onda con una frecuencia inferior a la forma de onda real que se está introduciendo, o una forma de onda que no es estable, incluso si se ha producido el disparo. En la Fig. 3 se muestra una representación gráfica de la causa del efecto alias.

Una forma de comprobar si se produce el efecto de alias consiste en cambiar la escala horizontal con el mando *Sec/Div*. Si la forma de onda cambia drásticamente, es posible que se esté produciendo aliasing. Para evitar que se produzca este efecto, se debe muestrear la señal a una tasa superior al doble de su frecuencia máxima. Esta corresponde a la Tasa de Nyquist y aprenderá más sobre ella en el curso Señales y Sistemas.

En la Tabla 1 se muestra la frecuencia de muestreo que se utiliza en cada base de tiempo (por división), y la frecuencia máxima que puede medir para evitar el efecto alias (válido para el osciloscopio TDS200 disponible en el laboratorio).

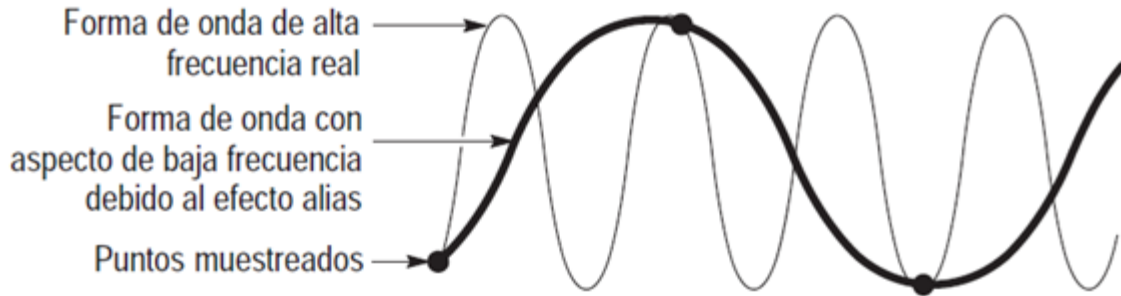


Figura 3: Efecto alias [2].

2.1.3. Otras funcionalidades

Doble base de tiempo

Algunos osciloscopios permiten utilizar una ventana de tiempo ampliada, en la que se puede seleccionar un segmento del eje horizontal y realizar una ampliación usando una base de tiempo secundaria. De esta manera, se pueden visualizar detalles de una onda sin modificar la base de tiempo principal. Esto permite hacer zoom en un punto determinado de la pantalla sin perder el disparo, ya que está definido en la base de tiempo principal. De esta manera, la posición de la señal en la pantalla no varía al realizar una ventada de tiempo ampliada.

Funciones matemáticas

Muchos osciloscopios digitales permiten realizar operaciones matemáticas sobre las señales medidas. Entre estas operaciones se encuentran normalmente el cálculo de la transformada rápida de Fourier (FFT), suma y resta entre los diferentes canales, invertir un canal, etc.

La manera de configurar estas funciones varía en diferentes osciloscopios, por lo que deberá revisar el manual del instrumento disponible en el laboratorio para aprender a utilizarlas. En algunos casos, para la función de suma y resta es necesario que los canales estén configurados en la misma división vertical, pues de lo contrario se obtiene un resultado equivocado.

Pantalla y formato de visualización

En el menú de pantalla de su osciloscopio podrá encontrar diferentes parámetros que puede configurar. En esta guía revisaremos dos de ellos: persistencia y modo de visualización.

La persistencia establece el tiempo que cada punto muestreado permanece en la pantalla. Se puede configurar su duración desde sin persistencia hasta infinito. Esta configuración puede ser útil para ver detalles que se producen de manera irregular (por lo que desaparecen instantáneamente con el nuevo disparo), para determinar la desviación del flanco de una señal cuadrada, etc.

Base de tiempo	Muestreos por segundo	Frecuencia máxima	Base de tiempo	Muestreos por segundo	Frecuencia máxima
1,0 μ s	250,0 MS/s	125,0 MHz*	5,0 ms	50,0 kS/s	25,0 kHz
2,5 μ s	100,0 MS/s	50,0 MHz*	10,0 ms	25,0 kS/s	12,5 kHz
5,0 μ s	50,0 MS/s	25,0 MHz*	25,0 ms	10,0 kS/s	5,0 kHz
10,0 μ s	25,0 MS/s	12,5 MHz*	50,0 ms	5,0 kS/s	2,5 kHz
25,0 μ s	10,0 MS/s	5,0 MHz*	100,0 ms	2,5 kS/s	1,25 kHz
50,0 μ s	5,0 MS/s	2,5 MHz	250,0 ms	1,0 kS/s	500,0 Hz
100,0 μ s	2,5 MS/s	1,25 MHz	500,0 ms	500,0 S/s	250,0 Hz
250,0 μ s	1,0 MS/s	500,0 kHz	1,0 s	250,0 S/s	125,0 Hz
500,0 μ s	500,0 kS/s	250,0 kHz	2,5 s	100,0 S/s	50,0 Hz
1,0 ms	250,0 kS/s	125,0 kHz	5,0 s	50,0 S/s	25,0 Hz
2,5 ms	100,0 kS/s	50,0 kHz			

*** El ancho de banda no es válido para la sonda P2100 cuando el interruptor está establecido en 1X.**

Tabla 1: Frecuencia de muestreo y ancho de banda según base de tiempo [2].

El formato de visualización permite seleccionar los datos que se grafican en cada eje. En el modo $Y(t)$, ambos canales se grafican en el eje de las ordenadas (Eje Y), mientras que el tiempo se muestra en el eje de las abscisas (Eje X). Al seleccionar el modo XY, uno de los canales se grafica en el eje vertical y el otro en el eje horizontal. Este formato suele ser útil para graficar curvas de transferencia de un sistema, medir impedancias y desfases, etc.

2.1.4. Aplicaciones

Cálculo de desfase con modo XY

Dadas dos señales sinusoidales

$$\begin{aligned} S_1 &= V_1 \sin(\omega t + \phi_1) \\ S_2 &= V_2 \sin(\omega t + \phi_2) \end{aligned}$$

La medida del desfase entre ambas señales $\phi = \phi_2 - \phi_1$ puede obtenerse mediante la visualización XY de un osciloscopio. La gráfica de S_1 en función de S_2 es una elipse, a partir de la cual puede medirse el módulo del desfase $|\phi|$ según (1).

$$\sin(|\phi|) = A/B \quad (1)$$

Donde A y B se obtienen como se muestra en la Fig. 4.

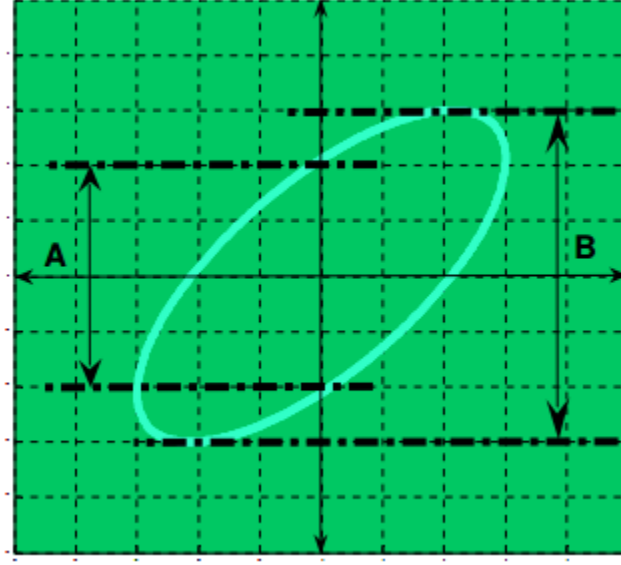


Figura 4: Medición de desfase con visualización XY [4].

Para medir el valor de A , la elipse debe estar bien centrada, ya que dicho valor queda determinado por los cortes con el eje vertical. Para centrar perfectamente la elipse se puede usar el acoplamiento a tierra en ambos canales. Esto equivale a desconectar las dos señales, con lo que se obtiene el punto $[0 \text{ V}, 0 \text{ V}]$ en la pantalla. Este punto debe centrarse usando los mandos de posición de cada canal. Luego, se selecciona nuevamente el acoplamiento AC y se verá la elipse centrada.

El cociente A/B determina el módulo de ϕ , y su signo debe deducirse por consideraciones físicas o bien por otras mediciones (por ejemplo, viendo las señales en modo $Y(t)$). Dado que A y B están sujetos a la misma escala vertical, el cociente A/B puede obtenerse sin preocuparse del valor concreto de la escala del eje Y . En la Fig. 5 se presentan los casos particulares para un desfase con módulo de 0° , 45° , 90° y 180° , utilizando la misma escala de amplitud en ambos ejes.

Existen métodos similares para medir desfase con la visualización XY. Estos difieren en los puntos que usan para el cálculo de ϕ , pero el principio es el mismo. Además, se puede obtener información de sinusoides con diferentes frecuencias de manera similar. Para más información, puede consultar [3].

Medición de jitter del generador de funciones

En una señal de reloj (normalmente una onda cuadrada), los flancos de subida y bajada no ocurren exactamente en el instante ideal, como se muestra en la Fig. 6. Esta desviación

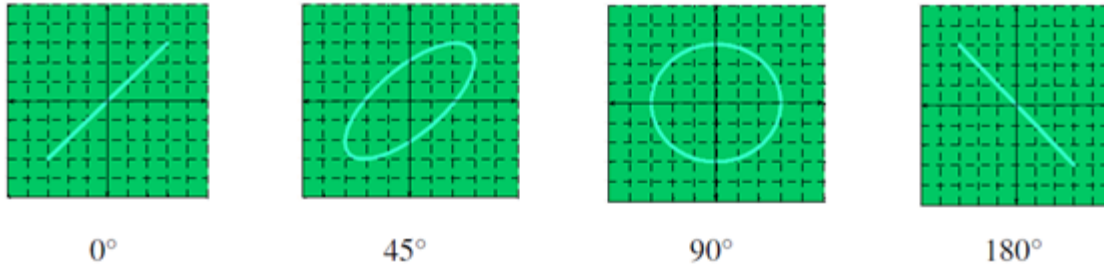


Figura 5: Ejemplos de desfase con visualización XY [4].

se conoce como jitter, y es un parámetro que indica la desviación del instante real del flanco con respecto a su valor ideal. Conocer la precisión del instante de subida o bajada puede ser fundamental para algunas aplicaciones como conversores de datos y comunicaciones digitales.

El instante de subida de una onda cuadrada tiene una distribución de probabilidad Gaussiana en torno al tiempo ideal del flanco. Su desviación estándar (σ) corresponde al valor RMS del jitter, y es el parámetro que buscamos medir.

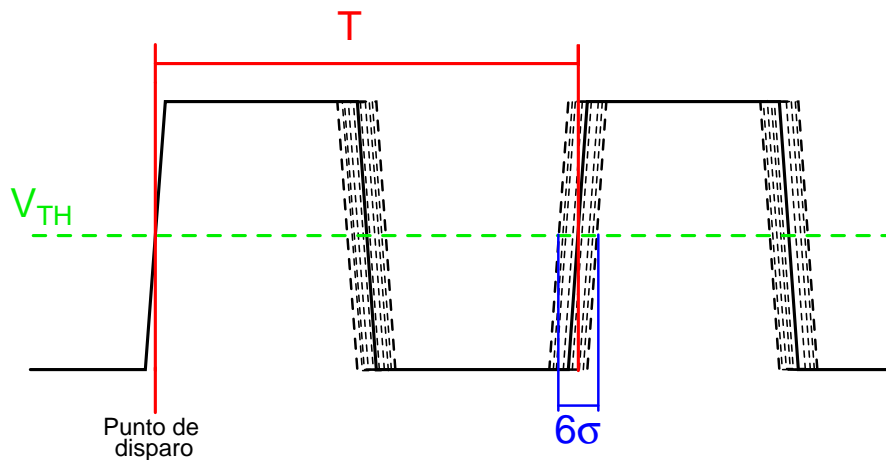


Figura 6: Jitter de una señal de reloj.

Un método sencillo y de mediana precisión para medir la desviación estándar de una señal Gaussiana corresponde a la medición de 6σ . En la Fig. 7 se muestra una distribución Gaussiana de media 0 en función de σ . Vemos que entre -3σ y 3σ se concentra el 99.75 % de la densidad de probabilidad. Por lo anterior, si se grafican los flancos de subida de una gran cantidad de ciclos de reloj, se puede medir el ancho del intervalo de tiempo en el que éstos ocurren. Esta medida corresponde a 6σ (Fig. 6), y permite obtener el valor RMS del jitter.

2.2. Puente universal

El puente universal es un instrumento utilizado para la medición precisa de la resistencia, capacitancia e inductancia de componentes pasivos. Como resultado, el puente universal

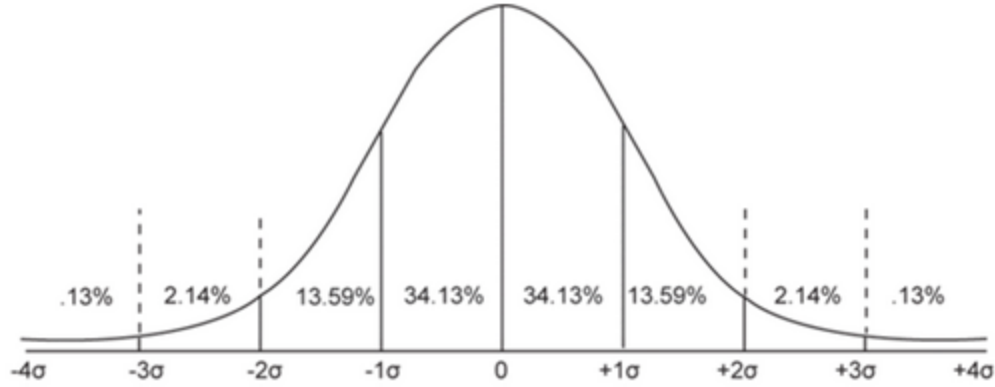


Figura 7: Densidad de probabilidad de distribución Gaussiana en función de σ .

entrega el valor numérico de la impedancia y un diagrama del circuito equivalente del componente.

Para la medición de impedancias es necesario ajustar la frecuencia y voltaje de prueba según las características del componente que se desea medir. Si no se elige el rango de frecuencias adecuado, es probable que obtenga un resultado equivocado debido al efecto de elementos parásitos del componente. Para más información, puede revisar el manual del puente universal que se encuentra disponible en la página del curso.

Durante el laboratorio, al calcular o medir un parámetro que dependa de componentes pasivos, se utilizará la siguiente nomenclatura:

- **Valor nominal:** calculado de manera teórica utilizando el valor nominal de los componentes. Por ejemplo, la resistencia determinada por el código de colores de resistores.
- **Valor real:** calculado teóricamente utilizando el valor de los componentes medido de manera precisa, de preferencia con el puente universal.
- **Valor medido:** valor que se obtiene experimentalmente, midiendo el parámetro mediante un circuito de prueba.

2.3. Circuitos RLC

Considere el circuito RLC de la Fig. 8. Es posible calcular la ecuación diferencial para el voltaje en el capacitor de la siguiente manera

$$\frac{d^2}{dt^2}V_c(t) + \frac{R}{L} \frac{d}{dt}V_c(t) + \frac{1}{LC}V_c(t) = \frac{1}{LC}V_{in}(t) \quad (2)$$

y su polinomio característico es de la forma

$$s^2 + 2\alpha s + w_0^2 = 0 \quad (3)$$

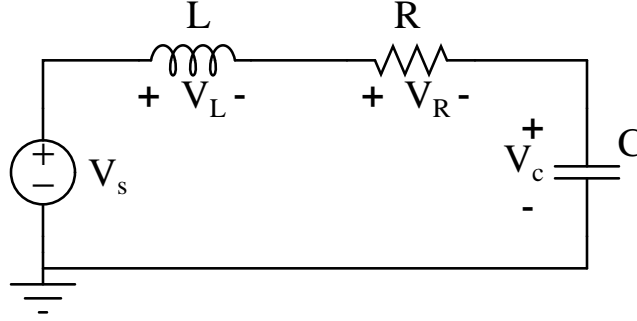


Figura 8: Circuito RLC

Considerando los valores de C y L fijos, es posible calcular el valor del resistor R_0 que produce la respuesta críticamente amortiguada del sistema. Para valores mayores a R_0 se obtiene una respuesta sobreamortiguada, mientras que para resistencias menores la respuesta es subamortiguada. En este caso, se produce una oscilación de frecuencia ω_0 (aproximadamente), llamada la frecuencia natural del sistema.

3. Trabajo previo

3.1. Investigación

1. Revise las especificaciones técnicas de la sonda disponible en laboratorio para determinar su ancho de banda e impedancia de entrada.

3.2. Simulación

Deberá adjuntar los gráficos de sus simulaciones y los resultados obtenidos en el cuadernillo de trabajo en laboratorio. Se revisará que el desarrollo del trabajo previo esté completo al inicio de la primera sesión.

3.2.1. Medición de transientes

1. Usando LTspice, simule el circuito de la Fig. 9. Utilice $R = 16 \text{ k}\Omega$ y $C = 12 \text{ nF}$. Genere una onda cuadrada de 300 Hz que oscile entre 0 y 10 V y grafique el voltaje V_C .

El establecimiento del voltaje en el capacitor está dado por la expresión:

$$V_c(t) = V_s(1 - e^{-t/\tau}) \quad (4)$$

Cuando $t = \tau$

$$V_c(\tau) = V_s(1 - e^{-1}) = 0.632 V_s \quad (5)$$

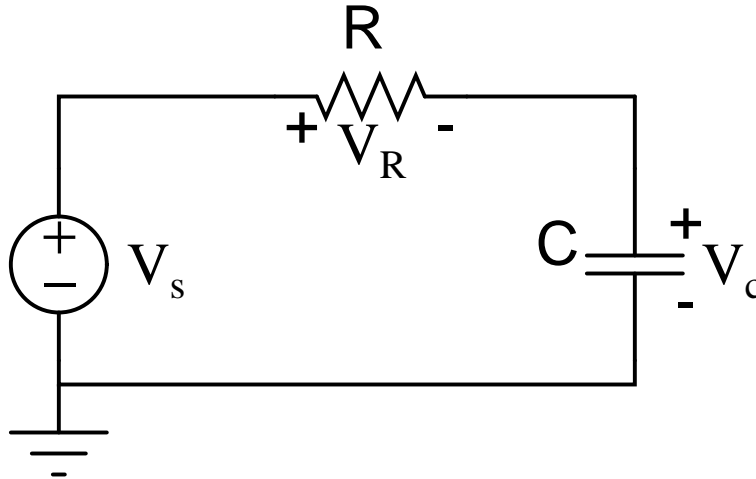


Figura 9: Circuito RC.

Por lo anterior, se puede obtener τ midiendo el tiempo en que el V_c llega a un 63.2 % de su valor final.

2. Con la información del gráfico, mida la constante de tiempo del circuito.

3.2.2. Circuito RLC

1. Calcule, en función de R , L y C , los valores de α y ω_0 del polinomio característico del circuito RLC de la Fig. 8.
2. Usando LTspice, simule el circuito de la Fig. 8. Utilice $C = 2.2$ nF, $L = 470$ μ H y $R = 330$ Ω . Genere una onda cuadrada de 1 kHz, grafique el voltaje V_C y mida los siguientes parámetros:
 - Tiempo de subida, definido como el tiempo que tarda la señal en llegar de 10 % a 90 % del valor final.
 - Amplitud del overshoot.
 - Frecuencia natural del sistema subamortiguado (ω_0).
 - Tiempo de establecimiento al 95 %, considerado como el tiempo que se demora la señal en establecerse dentro de una banda de error de un 5 %.
3. Calcule el valor del resistor R , en función de C y L , que produce la respuesta críticamente amortiguada.

3.2.3. Amplificador inversor

1. Usando LTspice, simule el circuito de la Fig. 10. Utilice un Opamp LM741 con alimentación simétrica de ± 15 V.

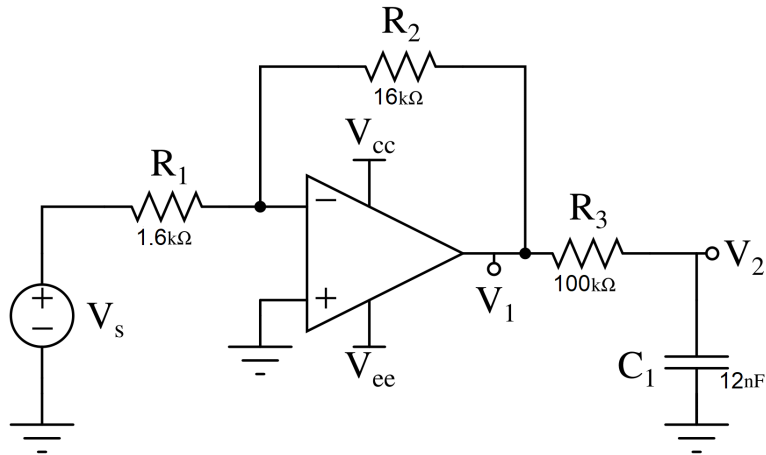


Figura 10: Circuito amplificador inversor.

2. Genere una entrada sinusoidal de 1 V de amplitud. Grafique V_2 vs V_s y calcule el desfase con el método explicado en el punto 2.2.4, cálculo de desfase en modo XY.
3. Repita para V_2 vs V_1 . ¿Cambia la forma de la elipse? ¿Y el desfase?

Referencias

- [1] TSIVIDIS, YANNIS, *A First Lab in Circuits and Electronics*, John Wiley and Sons, 2002.
- [2] TEKTRONIX, *Manual de usuario Osciloscopio TDS200*.
- [3] TEKTRONIX, *El XYZ de los osciloscopios*.
- [4] MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY, *EE214 Electronic Circuits Laboratory, Notes on oscilloscopes*.