



66.02 LABORATORIO

Trabajo Práctico 2: Osciloscopios

Padrón	Alumno	Dirección de correo
102592	Gandolfo Mariet, Joaquín	jgandolfo@fi.uba.ar
101148	Feijoo, Sofia	sfeijoo@fi.uba.ar
103207	Viñas, Francisco Nicolás	fvinas@fi.uba.ar

Índice

1. Objetivo	2
2. Enfoque	2
3. Parte A) Mediciones	2
3.1. Inicialización	2
3.2. Modo de disparo normal y automático	2
3.3. Modo X-Y y figuras de Lissajous	8
3.4. Medición sobre un CIRCUITO EXTERNO. Uso de las puntas 1:1 (x1) y 10:1 (x10)	11
3.4.1. Desarrollo teórico preliminar	11
3.4.2. Realización de las mediciones	16
3.4.3. Análisis	21
4. Parte B) Conclusiones	22
5. Parte C) Bibliografía	22
6. Parte D) Anexos	23
6.1. Anexo 1: Consideraciones preliminares	23
6.1.1. Diagrama en bloques	23
6.1.2. Controles del osciloscopio	25
6.1.3. Errores	27
6.1.4. Efecto de carga	28
6.1.5. Incertidumbre	29
6.1.6. Ancho de banda	29
6.1.7. Rango dinámico	30
6.1.8. Circuito RC	30
6.2. Anexo 2: Mediciones Complementarias	32

1. Objetivo

Los objetivos del presente trabajo son que el estudiante se familiarice con las propiedades, aplicaciones y utilización del osciloscopio como instrumento de visualización y medición de formas de onda. Se pretende además que el estudiante tenga destreza en la realización de mediciones elementales. Así también se desea que el estudiante logre comparar el modelo teórico planteado en cada etapa del trabajo con las mediciones obtenidas y saque conclusiones.

2. Enfoque

La presentación del informe de trabajo práctico debe ser autocontenida, recorriendo de manera ordenada y prolija, respondiendo todos los puntos que se señalan debajo (sin necesidad de copiar las consignas), y en el formato informe explicado anteriormente, con portada, índice, objetivos, introducción, desarrollo, y conclusiones.

Se incluyen dos anexos. Anexo 1: consideraciones preliminares que es conveniente que el alumno desarrolle previo a la realización del TP con la colaboración del equipo docente (teórica y práctica) a fin de poder sacarle el máximo provecho posible a las mediciones. Anexo 2: mediciones adicionales que se sugieren a modo complementario.

3. Parte A) Mediciones

3.1. Inicialización

Ubique un punto luminoso en el centro de la pantalla y explique su utilidad. Comente el procedimiento utilizado, indicando los controles involucrados.

Centrar el punto luminoso en la pantalla es útil para asegurarse que las placas de deflexión funcionan correctamente. Lo que vemos en la pantalla es la sumatoria de los movimientos del haz de luz generados por las placas (horizontal y vertical).

Para ubicar un punto luminoso en el centro de la pantalla podemos poner el modo XY y los canales A y B en GND. Deberíamos ver un punto porque al no haber señales, el haz de luz no se va a mover ni vertical ni horizontalmente.

3.2. Modo de disparo normal y automático

Con el fin de mostrar el funcionamiento del sistema de disparo del osciloscopio, se pide generar una señal de amplitud pico-a-pico de 2 V, con una frecuencia de 1 kHz que tenga además una tensión continua de 2 V (offset) provista por el generador de funciones (tal como muestra la figura 1). Sincronice dicha señal en el osciloscopio y grafique para la configuración inicial de la tabla 1.

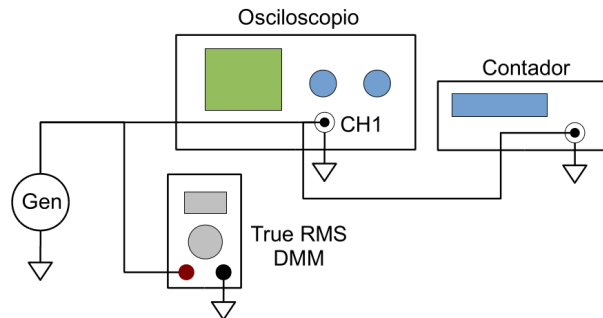


Figura 1: Banco de medición formado por una fuente de alimentación y un voltímetro

Control	Configuración
Trigger LEVEL	0 V
Trigger SLOPE	+ (Positivo)
Trigger MODE	Auto
VOLT / DIV	0,5 V
TIME / DIV	0,2 ms
POSITION (Vertical)	0 V al centro

Tabla 1: Configuración del osciloscopio

Teniendo una señal como la indicada hay que tener en cuenta las siguientes cuestiones:

- La señal tiene una amplitud pico-a-pico de 2V entonces para que pueda visualizarse la onda debemos establecer una cantidad de Volts por división acorde. Con 0,5V por división podría visualizarse correctamente ya que tendríamos una onda que ocupa 4 divisiones verticales.
- La señal tiene una frecuencia de 1kHz. Teniendo en cuenta que el período es la inversa de la frecuencia, podemos saber que el período de esta onda es de 1ms. Por lo tanto, configurando el instrumento en 0,2ms por división se visualizaría una onda cuyo período equivale a 5 divisiones. Esto es suficiente para ver y entender la señal.
- La señal de entrada tiene una componente continua de 2V. Podríamos ajustar la posición vertical de forma tal que la onda quede centrada en el eje horizontal.
- Hay que ajustar el trigger LEVEL dentro de los valores picos de la señal que se muestra. Es decir, con las configuraciones señaladas en los items anteriores tenemos una señal senoidal centrada en 0V y de amplitud 1V,

por lo tanto el trigger LEVEL tiene que tomar un valor entre -1V y 1V. Nosotros elegimos ajustarlo en 0V.

a) ¿Qué sucede en el trayecto si se incrementa lentamente el Trigger LEVEL hasta 3 V?

La onda es una senoidal entre -1V y 1V. Si se incrementa el trigger LEVEL hasta 3V estaría por encima de 1V y visualizaríamos una onda que se mueve constantemente ya que se pierde el sincronismo.

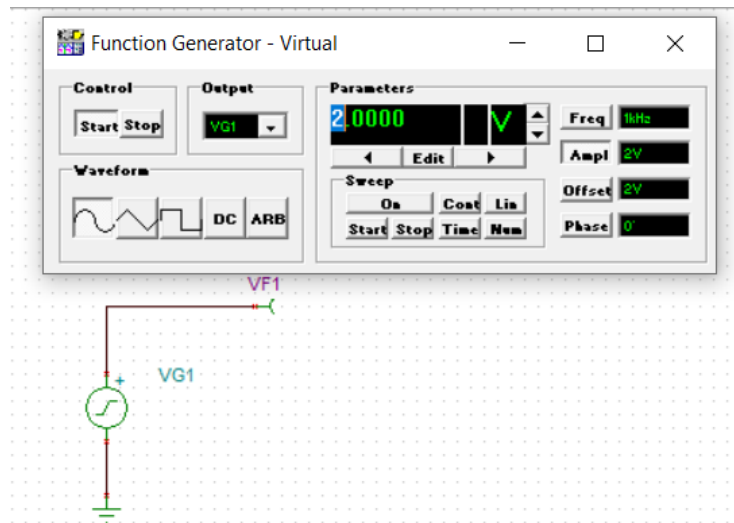


Figura 2: Función generada

Normal:

Abriendo el osciloscopio virtual y poniendo en primera instancia level 0, vamos a ver la pantalla en blanco ya que hay que ajustar el parámetro LEVEL dado que este se encuentra entre los valores de amplitud que toma la onda. En la siguiente figura se observa tanto este parámetro, como también el que determina los Volts que se visualizan por división ya ajustados.

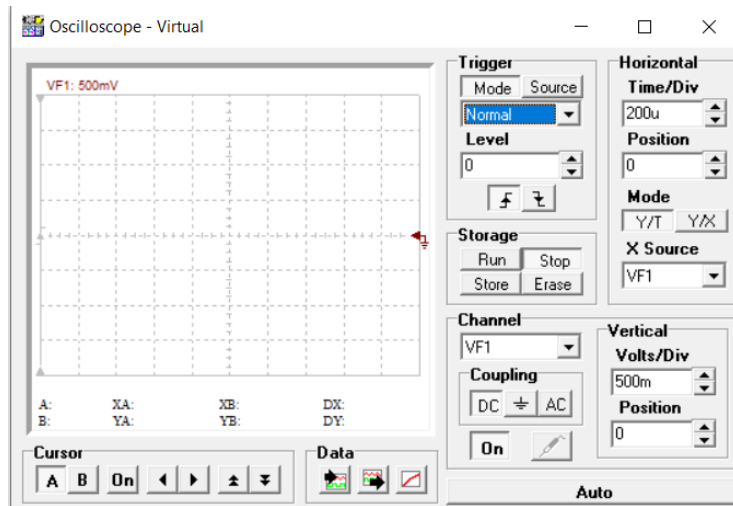


Figura 3: Level en 0

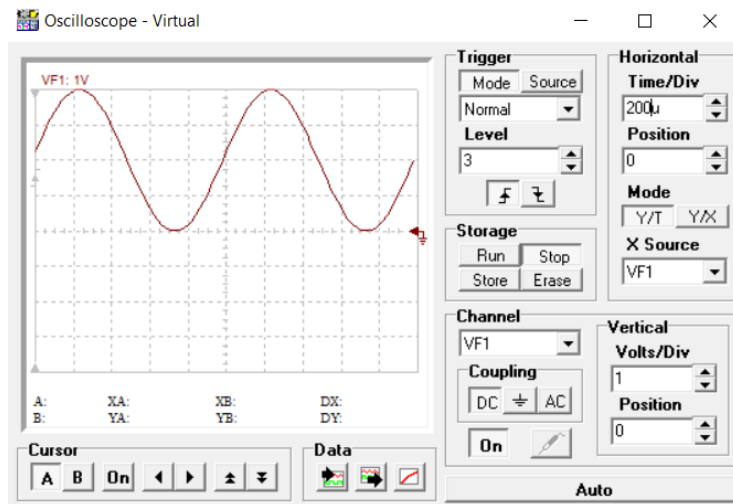


Figura 4: Level en 3 y 1 Volt/Div

b) Probar todas las combinaciones posibles entre el acoplamiento de entrada (AC/DC), el acoplamiento del Trigger (AC/DC) y el modo del Trigger (Normal/Auto). Explicar lo observado en cada caso.

El acoplamiento de entrada AC/DC tiene 3 opciones. En primer lugar, la opción AC indica que debe filtrarse la componente continua de la señal. Otra opción es AC, la cual indica que debe pasar la señal completa (AC+DC). Por último está la opción GND que sirve para calibrar el instrumento.

En el modo DC Normal (ver figura 5) vemos una señal que oscila entre el centro de la pantalla y las 4 divisiones superiores. Además el período de la señal ocupa aproximadamente 5 divisiones. Teniendo en cuenta que el instrumento está configurado con $1\text{V}/\text{Div}$ y $200\mu\text{s}$, la señal visualizada es una senoidal de amplitud pico-a-pico de 4V , frecuencia de $\frac{1}{T} = \frac{1}{1\text{ms}} = 1\text{kHz}$ y una componente continua de 2V .

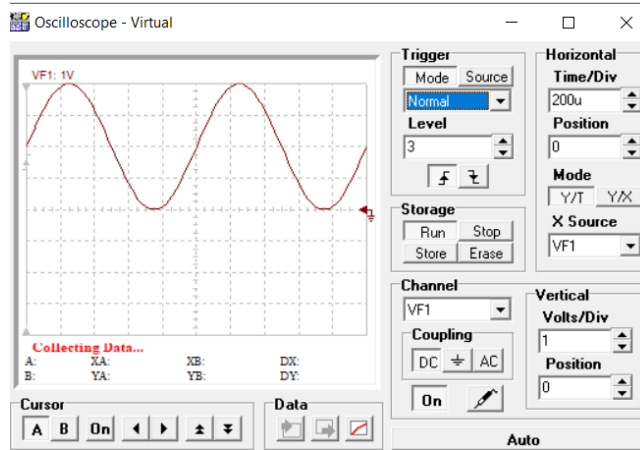


Figura 5: DC Normal

En el modo DC Auto vemos una senoidal con su componente continua como sucedía con AC Normal, la diferencia es que con el modo Auto el instrumento siempre nos muestra una señal sin importar si los ajustes de trigger no son los que corresponden para la onda.

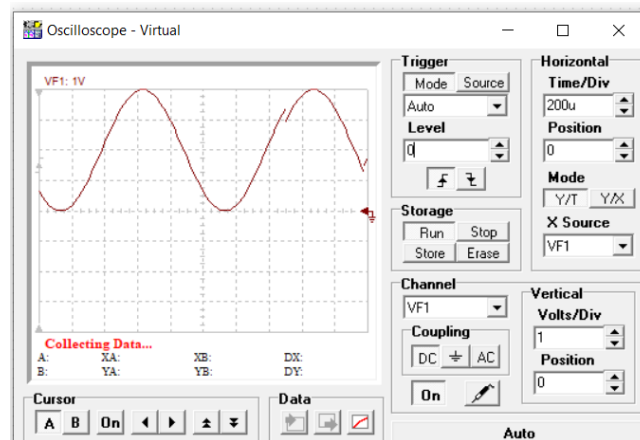


Figura 6: DC Auto

En el modo AC Normal (ver figura 7) vemos una señal que oscila entre las dos divisiones inferiores al centro de la pantalla y las 2 divisiones superiores. Además el período de la señal ocupa aproximadamente 5 divisiones. Teniendo en cuenta que el instrumento está configurado con $1\text{V}/\text{Div}$ y $200\mu\text{s}$, la señal visualizada es una senoidal de amplitud pico-a-pico de 4V , frecuencia de $\frac{1}{T} = \frac{1}{1\text{ms}} = 1\text{kHz}$ y una componente continua nula.

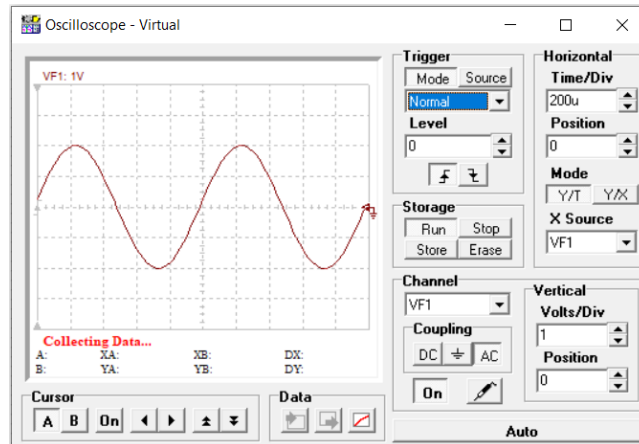


Figura 7: AC Normal

En el modo AC Auto tenemos una onda senoidal sin componente continua (centrada en la pantalla). Y al estar en modo Auto vemos que la imagen se mueve constantemente a diferencia del modo Normal.

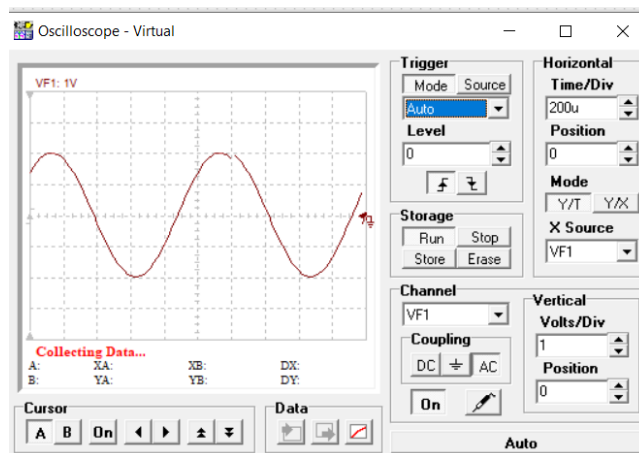


Figura 8: AC Auto

En el modo de trigger auto vemos una señal que se mueve constantemente.

En cambio, en el modo normal vemos que el instrumento mantiene la imagen de la señal quieta según los ajustes de trigger level, position y slope.

c) Si en el punto b) además se varía (lentamente) el control **POSITION** vertical, ¿Se pierde el sincronismo? Explique brevemente. El control POSITION agregará un offset a la señal vertical, pero también, se bifurcará la señal al canal horizontal, por lo tanto no tendrá efecto en el barrido, son independientes, es decir que no se pierde el sincronismo.

3.3. Modo X-Y y figuras de Lissajous

Se desea mostrar en la pantalla del osciloscopio la relación de fase que hay entre dos señales, mediante el funcionamiento del modo X-Y. Usando el circuito de la Figura 9, un filtro pasa bajos (provisto por el docente).

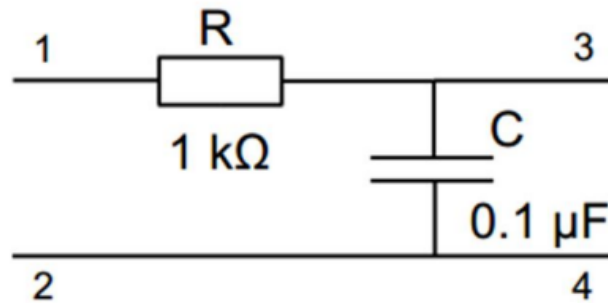


Figura 9: Filtro pasa bajos a medir

Conecte el generador al Canal 1 del osciloscopio y a la entrada del circuito (puntos 1-2). Conecte la salida del circuito al otro canal de osciloscopio, luego seleccione el modo vertical en X-Y. Varíe la frecuencia del generador, de manera de obtener desfases aproximados de 0° , 45° y 90° (ver Figura 10), Indique en una tabla los valores obtenidos. Realice un análisis teórico que permita verificar los resultados obtenidos.



Figura 10: Figuras de Lissajous correspondientes a los distintos desfases mencionados

Para estas mediciones usamos un generador de onda senoidal pura con una amplitud pico-a-pico de 6V. El único ajuste que variamos es la frecuencia de la

onda.

Empezamos con una frecuencia de 20Hz. Al ser una frecuencia tan baja, el capacitor se carga y se comporta como un circuito abierto. Por lo tanto, para este caso tenemos como resultado un desfase nulo y en el instrumento vemos una linea recta como se muestra en la figura 11.

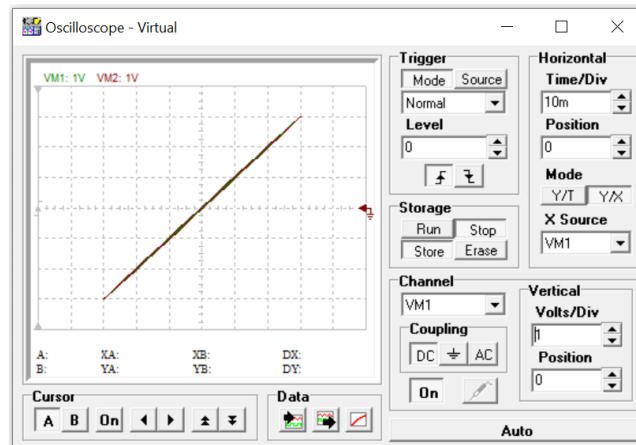


Figura 11: Salida del osciloscopio cuando el generador está ajustado en 20Hz

Aumentamos la frecuencia en el generador a 1500Hz. La figura 12 muestra la salida del osciloscopio para esta frecuencia. Vemos que para esta frecuencia tenemos un desfase de aproximadamente $\frac{\pi}{4}$.

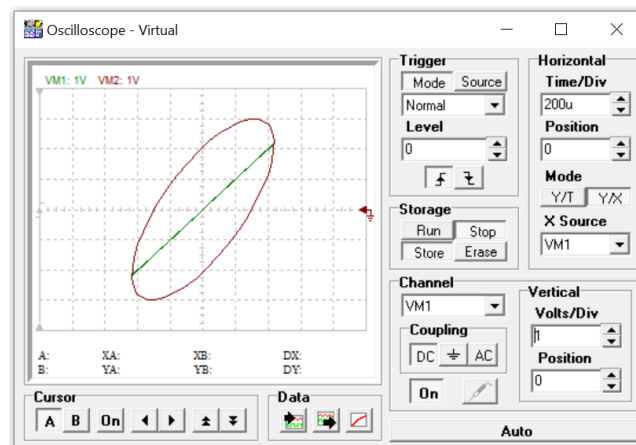


Figura 12: Salida del osciloscopio cuando el generador está ajustado en 1500Hz

Ahora aumentamos nuevamente la frecuencia del generador. Primero ajustamos la frecuencia en 100kHz y luego en 1MHz, las salidas del osciloscopio para

estas frecuencia son las mostradas en las figura 13 y 14 respectivamente.

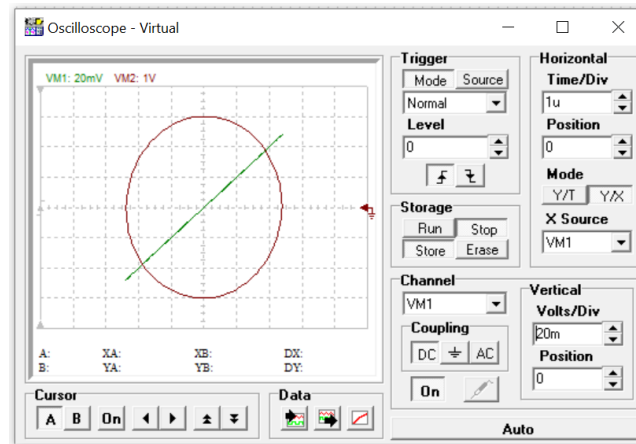


Figura 13: Salida del osciloscopio cuando el generador está ajustado en 100kHz

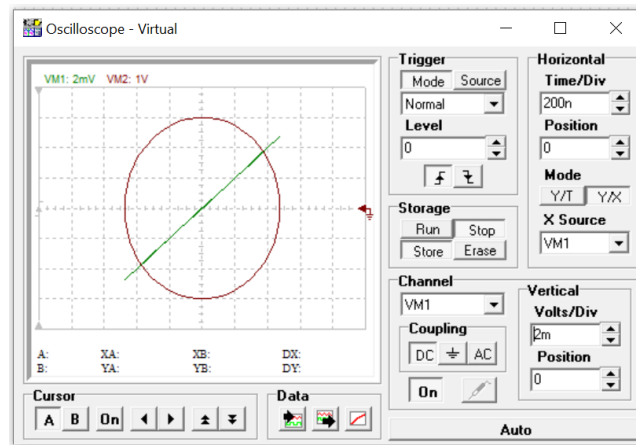


Figura 14: Salida del osciloscopio cuando el generador está ajustado en 1MHz

A partir de estos resultado podemos deducir que para frecuencias muy bajas el desfase es nulo, pero a medida que la frecuencia de la onda aumenta el desfase se acerca cada vez más a $\frac{\pi}{2}$. Esto se debe a que cuando la frecuencia tiende a cero, el capacitor se carga y toma el comportamiento de un corto circuito. En cambio, cuando la frecuencia tiende a infinito el capacitor nunca se carga y entonces toma el comportamiento de un cable.

3.4. Medición sobre un CIRCUITO EXTERNO. Uso de las puntas 1:1 (x1) y 10:1 (x10)

Con el circuito R-C provisto por el docente implemente el banco de medición que se muestra en la Figura 15.

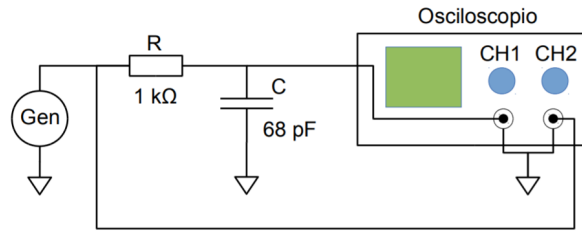


Figura 15: Banco de medición para el circuito R-C

3.4.1. Desarrollo teórico preliminar

Grafique el circuito equivalente. Calcule cual sería el valor teórico de frecuencia de corte y tiempo de crecimiento para los siguientes casos:

- caso ideal en el que no hay efecto de carga de la punta
- caso considerando el efecto de carga de la punta 1:1 (x1)
- caso considerando el efecto de carga de la punta 10:1 (x10)

La **frecuencia de corte** es la frecuencia para la cual la transferencia del sistema o el valor de la amplitud cae al 70 % del valor máximo. En los gráficos que se muestran a continuación tenemos las frecuencias en el eje X y los decibels en el eje Y. Por lo tanto, la frecuencia de corte en cada caso será la frecuencia para la cual el valor en el eje Y de la curva sea -3dB. En un circuito RC se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

El **ancho de banda** es el rango de frecuencias comprendidas entre las frecuencias de corte.

El **tiempo de crecimiento** es el tiempo que requiere un pulso para cambiar desde un valor mínimo dado a un valor máximo dado. Vamos a usar una onda cuadrada de amplitud 1V y una frecuencia de 1kHz. Y tomamos estos valores como el 10 % y el 90 % de la máxima amplitud. Entonces, queda definido el tiempo de crecimiento como:

$$t_r = t_{90\%} - t_{10\%}$$

Si tenemos un circuito como el de la figura 15 podemos obtener el tiempo de crecimiento a partir del siguiente calculo:

$$t_r = 2,2 \cdot RC$$

Sin embargo, debemos tener en cuenta que el generador tiene una resistencia interna y que el osciloscopio tiene una impedancia y una capacitancia que cargan al circuito. Entonces para obtener el tiempo de crecimiento no podemos usar directamente los valores de R y C que se muestran en la figura.

Además podemos obtener el ancho de banda (BW) como:

$$BW = \frac{0,35}{t_r}$$

Para todos los casos consideramos un generador de función con una resistencia en serie de 50Ω y un osciloscopio con una resistencia de $1M\Omega$ y una capacitancia de $25pF$.

Veamos cada uno de estos 3 casos en particular:

a) **caso ideal en el que no hay efecto de carga de la punta**

Como dijimos anteriormente, para usar la formula $t_r = 2,2 \cdot RC$ debemos considerar la efecto de carga que provocan el generador y el osciloscopio. El circuito equivalente usando puntas ideales es el que se puede observar en la figura 16. Vemos que el capacitor de $68pF$ está en paralelo con el capacitor (de $25pF$) que representa al osciloscopio. Luego, un capacitor equivalente a estos dos es $C_{eq} = 68pF + 25pF = 93pF$. En cuanto a las resistencias, la resistencia interna del generador está en serie con la resistencia de $1k\Omega$ y estas dos estan en paralelo con la resistencia interna del osciloscopio, por lo tanto una resistencia equivalente es: $R_{eq} = (50\Omega + 1k\Omega) // 1M\Omega = 1,049k\Omega$.

Ahora si podemos aplicar la formula para obtener el tiempo de crecimiento:

$$t_r = 2,2 \cdot R_{eq}C_{eq} = 214,63ns$$

Entonces el ancho de banda es:

$$BW = \frac{0,35}{214,63ns} = 1,63MHz$$

La frecuencia de corte en este caso es igual al ancho de banda porque no hay frecuencia de corte inferior. Esto es porque se pueden realizar mediciones a frecuencias sin problemas.

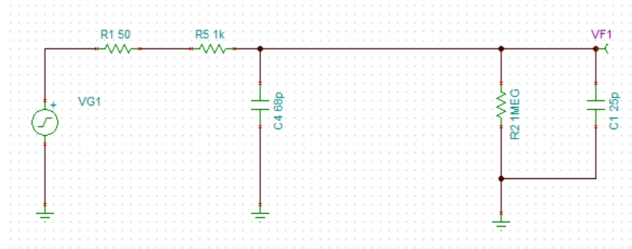


Figura 16: Circuito equivalente donde no hay efecto de carga de la punta

Realizamos una simulación en el *TINA* para comprobar que el valor obtenido teóricamente sea correcto.

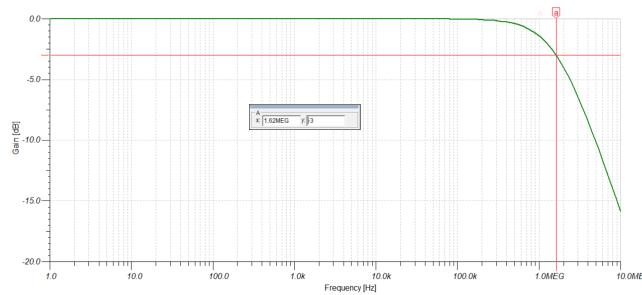


Figura 17: Gráfico del circuito equivalente donde no hay efecto de carga de la punta

En la figura 17 vemos que la frecuencia de corte para este caso es 1,62MHz. Esto es prácticamente lo mismo que obtuvimos teóricamente. La diferencia probablemente se deba a algún valor redondeado.

b) **caso considerando el efecto de carga de la punta 1:1 (x1)**

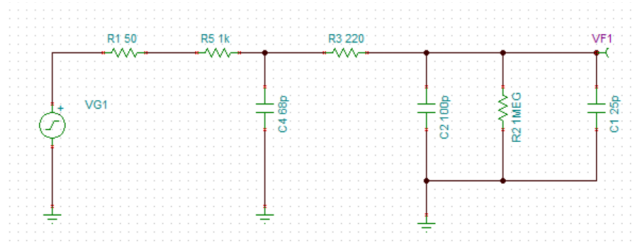


Figura 18: Circuito equivalente considerando el efecto de carga de la punta 1:1 (x1)

En este caso consideramos el efecto de carga en las puntas, por lo tanto

el circuito equivalente es el que se muestra en la figura 18. Tendremos un efecto de carga debido a la capacitancia propia del osciloscopio y a las resistencias internas del generador de función y de los osciloscopio como sucedió en el caso a. Además tendremos un efecto de carga provocado por las puntas. Esto tiene como consecuencia que la frecuencia de corte sea mucho menor al caso ideal.

El modelo de osciloscopio con la punta x1 puede simplificarse a un circuito RC donde $C_{op} = 200pF$ y $R_{op} = 1M\Omega$. El circuito simplificado queda como muestra la figura 19. La resistencia interna del generador ($R_g = 50\Omega$) y la resistencia de $1k\Omega$ están en serie entre sí y al mismo tiempo están en paralelo con la resistencia de $1M\Omega$. Esta último es de una magnitud mucho entonces, al estar en paralelo con las otras, es despreciable. Por otro lado, las capacitancias tienen valores comparables entonces no podemos despreciar ninguna. Finalmente, la frecuencia de corte aproximada por este modelo simplificado es:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 1050\Omega \cdot 268pF} = 566kHz$$

También podemos calcular el tiempo de crecimiento:

$$t_r = 2,2 \cdot RC = 2,2 \cdot 1050\Omega \cdot 268pF = 619ns$$

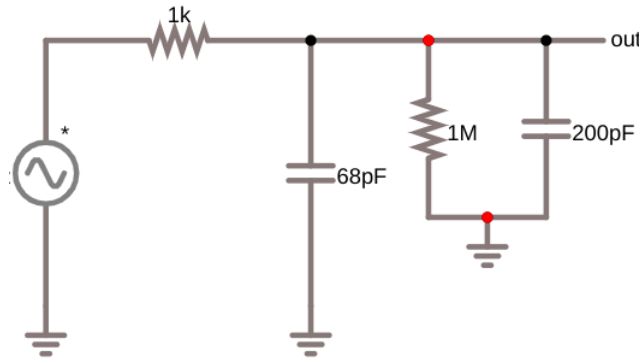


Figura 19: Circuito simplificado usando una punta 1:1 (x1)

c) caso considerando el efecto de carga de la punta 10:1 (x10)

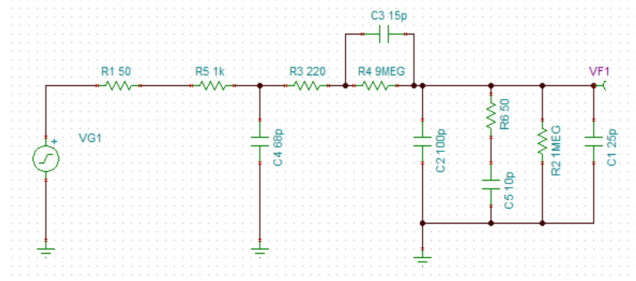


Figura 20: Circuito equivalente considerando el efecto de carga de la punta 10:1 (x10)

Al igual que en el caso anterior consideramos el efecto de carga en las puntas, por lo tanto el circuito equivalente es el que se muestra en la figura 20. Tendremos un efecto de carga debido a la capacitancia propia del osciloscopio y a las resistencias internas del generador de función y de los osciloscopio como sucedió en el caso a. Además tendremos un efecto de carga provocado por las puntas. Esto tiene como consecuencia que la frecuencia de corte sea mucho menor al caso ideal.

El modelo de osciloscopio con la punta x10 puede simplificarse a un circuito RC donde $C_{op} = 20pF$ y $R_{op} = 10M\Omega$. El circuito simplificado queda como muestra la figura 21. La resistencia interna del generador ($R_g = 50\Omega$) y la resistencia de $1k\Omega$ están en serie entre sí y al mismo tiempo están en paralelo con la resistencia de $10M\Omega$. Esta último es de una magnitud mucho entonces, al estar en paralelo con las otras, es despreciable. Por otro lado, las capacitancias tienen valores comparables entonces no podemos despreciar ninguna. Finalmente, la frecuencia de corte aproximada por este modelo simplificado es:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 1050\Omega \cdot 88pF} = 1,72kHz$$

También podemos calcular el tiempo de crecimiento:

$$t_r = 2,2 \cdot RC = 2,2 \cdot 1050\Omega \cdot 88pF = 203ns$$

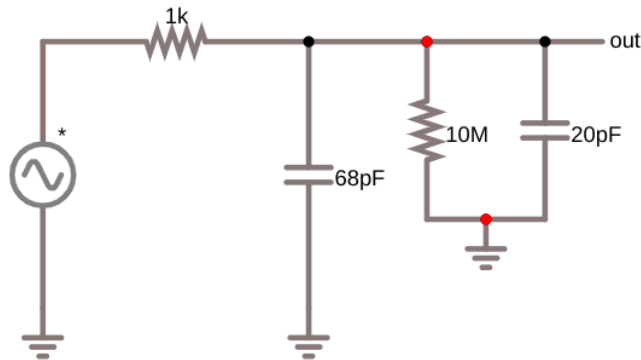


Figura 21: Circuito simplificado usando una punta 10:1 (x10)

De este análisis teórico podemos ver claramente que la punta x10 carga mucho menos al circuito que la punta x1 y esto se debe principalmente a la diferencia de la capacitancia que hay entre las dos. Como consecuencia, la punta x10 tiene una frecuencia de corte más alta y un tiempo de crecimiento menor.

3.4.2. Realización de las mediciones

- a) Mida el tiempo de crecimiento de la tensión sobre el capacitor (C) en los siguientes casos, expresando la medición correctamente con su correspondiente incerteza.
 - Con la punta x1
 - Con la punta x10

¿Se observan diferencias entre ambas mediciones? De ser así, explique su origen apoyándose en el marco teórico.

Para realizar las mediciones con la punta x1 y con la punta x10 usamos los circuitos presentados en las figuras 18 y 20 respectivamente.

Con la punta x1 observamos en el osciloscopio lo que muestra la figura 22. Vemos que la señal ocupa 4 divisiones verticales. Por lo tanto el 10 % de la amplitud de la tensión se encuentra a 0,4 divisiones del valor mínimo. Y el 90 % de la amplitud de la señal se encuentra 0,4 divisiones por debajo del valor máximo. Para encontrar $t_{10\%}$ y $t_{90\%}$ observamos las divisiones horizontales. $t_{10\%}$ se encuentra 3,75 divisiones a la izquierda del centro de la pantalla y $t_{90\%}$ se encuentra 1 división a la derecha del centro de la pantalla. Luego, teniendo en cuenta que hay 100ns por división horizontal podemos deducir que:

$$t_{10\%} = 3,75div \cdot \frac{100ns}{div} = 375ns$$

$$t_{90\%} = 1div \cdot \frac{100ns}{div} = 100ns$$

Luego,

$$t_r = t_{90\%} - t_{10\%} = 475ns$$

La incerteza de la medición está dada por la siguiente expresión:

$$\xi t = \xi_{ap} + \xi_{al} + \xi_{ex}$$

donde ξ_{ap} es el error de apreciación ($\xi_{ap} = 0,125div$; media división pequeña), ξ_{al} es el error debido a las alinealidades de los amplificadores de barrido (3%) y ξ_{ex} es la exactitud (3%).

Entonces, las incertezas de las mediciones $t_{10\%}$ y $t_{90\%}$ son:

$$\xi t_{10\%} = 0,125div \cdot \frac{100ns}{div} + 0,03 \cdot 375ns + 0,03 \cdot 375ns = 35ns$$

$$\xi t_{90\%} = 0,125div \cdot \frac{100ns}{div} + 0,03 \cdot 100ns + 0,03 \cdot 100ns = 18,5ns$$

Entonces, el tiempo de crecimiento con su incerteza usando una punta x1 es:

$$t_r = 475ns \pm 54ns$$

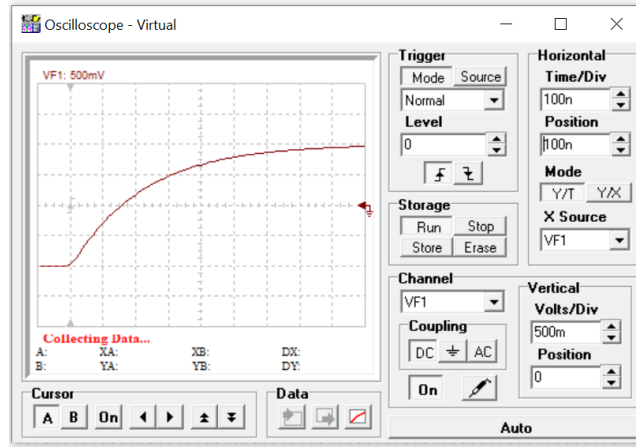


Figura 22: Pantalla del osciloscopio usando la punta 1:1 (x1)

Con la punta x10 observamos en el osciloscopio lo que muestra la figura 23. Vemos que la señal ocupa 4 divisiones verticales. Por lo tanto el 10 % de la amplitud de la tensión se encuentra a 0,4 divisiones del valor mínimo.

Y el 90 % de la amplitud de la señal se encuentra 0,4 divisiones por debajo del valor máximo. Para encontrar $t_{10\%}$ y $t_{90\%}$ observamos las divisiones horizontales. $t_{10\%}$ se encuentra 3,8 divisiones a la izquierda del centro de la pantalla y $t_{90\%}$ se encuentra en centro de la pantalla. Luego, teniendo en cuenta que hay 50ns por división horizontal podemos deducir que:

$$t_{10\%} = 3,8div \cdot \frac{50ns}{div} = 190ns$$

$$t_{90\%} = 0div \cdot \frac{50ns}{div} = 0ns$$

Luego,

$$t_r = t_{90\%} - t_{10\%} = 190ns$$

La incerteza de la medición está dada por la siguiente expresión:

$$\xi t = \xi_{ap} + \xi_{al} + \xi_{ex}$$

donde ξ_{ap} es el error de apreciación ($\xi_{ap} = 0,125div$; media división pequeña), ξ_{al} es el error debido a las alinealidades de los amplificadores de barrido (3%) y ξ_{ex} es la exactitud (3%).

Entonces, las incertezas de las mediciones $t_{10\%}$ y $t_{90\%}$ son:

$$\xi t_{10\%} = 0,125div \cdot \frac{50ns}{div} + 0,03 \cdot 190ns + 0,03 \cdot 190ns = 18ns$$

$$\xi t_{90\%} = 0,125div \cdot \frac{50ns}{div} + 0,03 \cdot 0ns + 0,03 \cdot 0ns = 6ns$$

Entonces, el tiempo de crecimiento con su incerteza usando una punta x10 es:

$$t_r = 190ns \pm 24ns$$

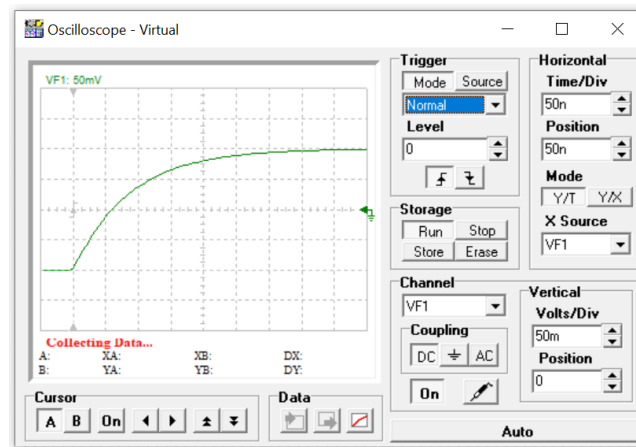


Figura 23: Pantalla del osciloscopio usando la punta 10:1 (x10)

El tiempo de crecimiento usando una punta x10 es notoriamente menor que usando una punta x1. Sin embargo, como se dijo en secciones anteriores de este informe la desventaja de la punta x10 es que la señal está atenuada. Esto se puede observar en las figuras 22 y 23 donde los Volts/Div son 500mV y 50mV respectivamente mientras que la señal ocupa 4 divisiones en ambos casos.

- b) Para el mismo circuito y con el mismo banco de medición. Mida la respuesta en frecuencia y establezca el ancho de banda en los siguientes casos
- Con la punta x1
 - Con la punta x10

Trace ambas curvas de respuesta en frecuencia en un gráfico semilogarítmico (amplitud lineal-frecuencia logarítmica) colocando el eje X la frecuencia y en el eje Y la amplitud obtenida respecto de la amplitud al 100 %.

Determine el valor del tiempo de crecimiento (t_c) para cada punta a partir del ancho de banda.

Para la punta x1 tenemos un circuito como el que se muestra en la figura 18. Realizamos una simulación en *TINA* con esos valores.

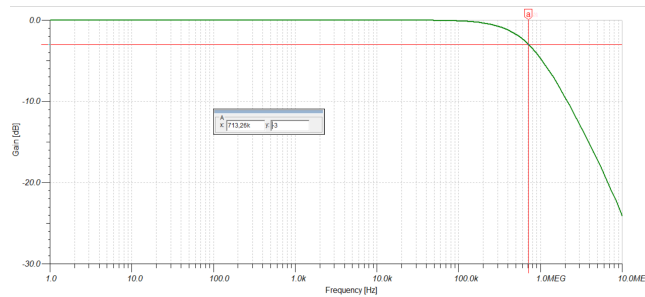


Figura 24: Gráfico del circuito equivalente considerando el efecto de carga de la punta 1:1 (x1)

La frecuencia de corte la obtenemos como el frecuencia donde la señal se atenúa -3dB. En el gráfico de la figura 24 se puede observar que la frecuencia de corte es 713,26kHz. Como era de esperarse la frecuencia de corte usando una punta 1:1 es mucho menor que usando una punta ideal (esto se analizo teóricamente en la sección 3.4.1).

Para la punta x10 tenemos un circuito como el que se muestra en la figura 20. Realizamos una simulación en *TINA* con esos valores.

A diferencia de los casos anteriores, para esta punta la medición está atenuada -20dB. Esta es la amplitud máxima entonces la frecuencia de corte se encuentra a los -23dB.

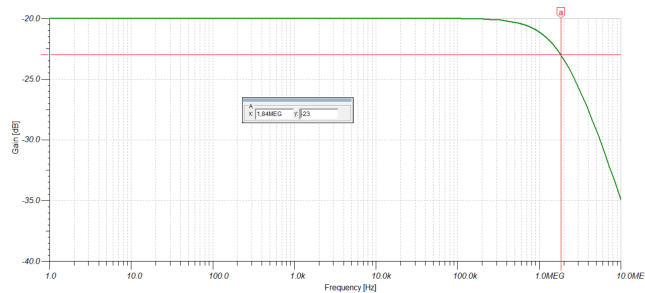


Figura 25: Gráfico del circuito equivalente considerando el efecto de carga de la punta 10:1 (x10)

Como vemos en el gráfico de la figura 25 la frecuencia de corte es 1,84MHz. La frecuencia de corte es considerablemente mayor que usando una punta 1:1. Esto es una gran ventaja ya que nos permite trabajar con frecuencias altas, sin embargo no podemos dejar de tener en cuenta que la punta 10:1 atenúa la señal -20dB.

Con los mediciones realizadas para las dos puntas podemos obtener el valor del tiempo de crecimiento. El ancho de banda es igual a la frecuencia de

corte porque estamos trabajando con un circuito pasa bajos, por lo tanto las frecuencias bajas se pueden medir sin que se atenue la señal. El tiempo de crecimiento (t_r) es:

$$t_r = \frac{0,35}{BW}$$

Luego, para la punta x1:

$$t_r = \frac{0,35}{713,26kHz} = 491ns$$

Y para la punta x10:

$$t_r = \frac{0,35}{1,84MHz} = 190ns$$

3.4.3. Análisis

- a) ¿Hay coincidencia entre los t_r obtenidos por distintos métodos en el punto anterior?

RTA: Sí, hay coincidencia. Para la punta x1 con el primer método obtuvimos que el tiempo de crecimiento es 475ns con una incerteza de 54ns y con el segundo método obtuvimos que su valor es 491ns lo cual tiene sentido ya que está dentro de rango de valores válidos con la incerteza que tenemos.

Para la punta x10 obtuvimos con ambos métodos que el tiempo de crecimiento es 190ns.

- b) ¿Qué sucede si modifica el valor de la capacitancia? ¿Y si cambia el valor de la resistencia? Compare con los valores teóricos.

RTA: Simulando en el *TINA* vemos que a medida que aumentamos la capacitancia o la resistencia el tiempo de crecimiento aumenta y el ancho de banda disminuye. Esto tiene sentido si analizamos las fórmulas ya presentadas anteriormente

$$t_r = 2,2 \cdot RC$$

$$BW = \frac{0,35}{t_r}$$

En estas fórmulas se ve que tanto la capacitancia como la resistencia aumentan o disminuyen tienen una proporcionalidad directa con el tiempo de crecimiento. En cambio, el ancho de banda es inversamente proporcional al tiempo de crecimiento, por lo tanto también lo es con respecto a la capacitancia y a la resistencia.

- c) Compare los resultados de las mediciones con las predicciones teóricas. ¿Hay coincidencias?

RTA: En el desarrollo teórico obtuvimos que para la punta x1 $f_c = 566kHz$ y $t_r = 619ns$; para la punta x10 $f_c = 1,72MHz$ y $t_r = 203ns$. Por otro lado, a partir de las simulaciones obtuvimos que para la punta x1 $f_c = 713kHz$ y $t_r = 475ns$; para la punta x10 $f_c = 1,84MHz$ y $t_r = 190ns$.

Las predicciones son cercanas a lo simulado pero no tanto como esperábamos, probablemente se deba a que en el desarrollo teórico usamos un circuito simplificado y esto impactó en el valor obtenido. El hecho de que con los dos métodos usados en las simulaciones hayamos llegado a resultados muy similares refuerza la posibilidad de que el problema esté en la simplificación mencionada.

4. Parte B) Conclusiones

La principal conclusión que se desprende de este trabajo es que tenemos que pensar al osciloscopio como la suma del instrumento y las puntas usadas. Ninguno de estos tiene sentido sin el otro, por lo tanto a la hora de realizar una medición tenemos que tener en cuenta a las dos partes. Si queremos medir frecuencias altas hay que recurrir a las puntas x10 ya que estas tienen un ancho de banda mucho mayor a las puntas x1. Además tienen la ventaja de tener un tiempo de crecimiento claramente menor que las puntas x1. Esta virtud que tienen las puntas x10 tiene como costo que la señal medida esté atenuada. Sin embargo, sabemos exactamente cuán atenuada está la señal, entonces podemos deducir cuál la tensión real con un cálculo auxiliar. Si por algún motivo no nos sirve medir una señal atenuada (por ejemplo porque la señal original ya tiene una amplitud demasiado pequeña y el error sería demasiado grande) podemos hacer uso de las puntas x1 siempre y cuando esté dentro del rango de frecuencias permitidas.

5. Parte C) Bibliografía

- Clases teóricas dictadas por el profesor Adrián Darío Rosa
- Clases prácticas dictadas por los profesores Pablo Marino, Marcos Cervetto y Francisco Soler
- PDFs provistas por la cátedra
- Manual del usuario del Osciloscopio GOOD-WILL mod. 653G

6. Parte D) Anexos

6.1. Anexo 1: Consideraciones preliminares

6.1.1. Diagrama en bloques

- a) Realice un diagrama en bloques simplificado del sistema vertical del osciloscopio indicando los controles principales. Explique brevemente el camino y como se va modificando la señal hasta que llega a la pantalla.
 - b) Ídem para el sistema horizontal.
 - c) Dibuje los diagramas de tiempo de las señales principales: diente de sierra y señal de disparo.
- a)

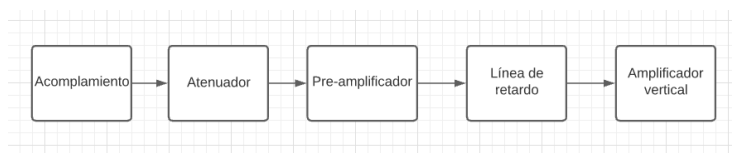


Figura 26: Diagrama en bloques del sistema vertical del osciloscopio

La señal a analizar entra al canal vertical del osciloscopio y pasa por el bloque de acoplamiento. El acoplamiento tiene tres posiciones: DC, AC o GND. La primera define si se deja pasar la señal completa (AC+DC), la segunda si se deja pasar sólo la alterna y la puesta a tierra permite realizar la calibración. Luego pasa por el bloque atenuador, donde se atenúa la señal para que entre en el rango de funcionamiento del instrumento. El atenuador cuenta con una perilla V/DIV para seleccionar una cantidad entre varias de voltios por división y con un modo VAR para escalar la presentación de la señal a una cantidad exacta de voltios por división.

En el bloque pre-amplificador a la señal ya atenuada se le agrega un off-set para poder desplazar la señal verticalmente en la pantalla con el control de la posición.

El bloque de línea de retardo se encarga de sincronizar la señal del canal vertical con la señal del canal horizontal.

Por último, la señal pasa por el bloque amplificador vertical. En este bloque se amplifica la señal de modo que pueda ingresar a las placas de deflexión vertical.

b)

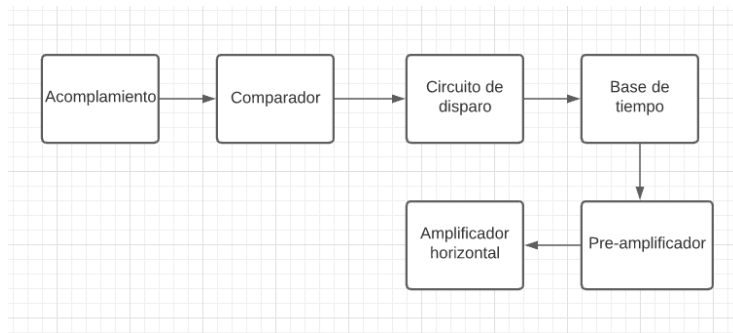


Figura 27: Diagrama en bloques del sistema horizontal del osciloscopio

Luego del bloque atenuador en el canal vertical, hay una bifurcación hacia el canal horizontal. Entonces, la señal ya atenuada llega al bloque de acoplamiento del canal horizontal.

En el bloque de acoplamiento existen dos modos: AC y DC. Según el osciloscopio, puede haber opciones de acoplamiento adicionales, como de rechazo de altas frecuencias, de bajas frecuencias, o de ruido.

La señal acoplada ingresa ahora al comparador. En este bloque se selecciona cuándo se realiza el disparo con los controles LEVEL y SLOPE. El circuito de disparo envía un impulso de acuerdo al LEVEL y SLOPE seleccionados en el bloque anterior, enviándolo cuando la señal alcanza un cierto nivel con una cierta pendiente (negativa o positiva). Este impulso es recibido por la base de tiempo.

En la base de tiempo se produce una señal de tipo diente de sierra de modo que el haz de electrones es deflectado horizontalmente por las placas a velocidad constante (dada por la pendiente del diente de sierra). Ésta pendiente define la escala horizontal de la pantalla, y puede variarse usando el control T/DIV, que varía la magnitud de tiempo por división observada en pantalla. Al igual que en el canal vertical, se puede seleccionar una opción para tener un ajuste exacto con el control SWP VAR (swipe variable).

Luego en el bloque pre-amplificador se suma un offset a la señal, al igual que en el canal vertical, para poder desplazar la señal en la pantalla horizontalmente con el control de posición.

Por último, la señal diente de sierra pasa por un bloque amplificador que adecua la señal para las placas de deflexión horizontales.

c) En la figura 28 se muestra un ejemplo de diagramas de tiempos de un osciloscopio con un circuito de disparo configurado en pendiente positiva (flanco ascendente) y nivel de disparo coincidente con la componente DC de la señal de disparo. Notar que el período de la señal es durante la pendiente positiva del diente (ver el gráfico de base de tiempo en la misma figura). La pendiente negativa corresponde al tiempo de retroceso del haz de luz.

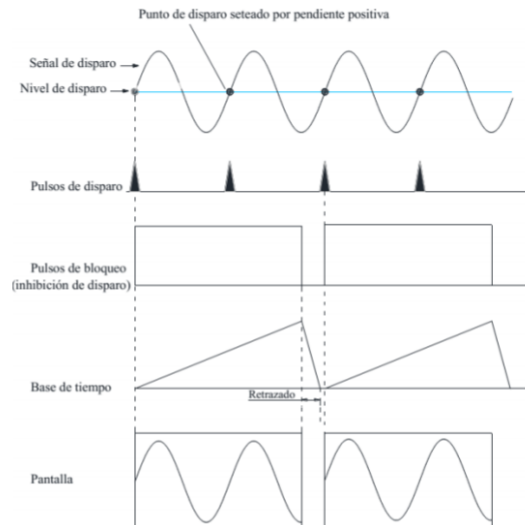


Figura 28: Diagrama de tiempos

6.1.2. Controles del osciloscopio

Con ayuda del manual del usuario y/o material de lectura recomendada describa el funcionamiento de los controles principales del osciloscopio:

- a) Haz: INTEN, FOCUS, ILLUM, TRACE ROTATION.
- b) Canal vertical: Vertical Mode, Chop, CH2 Inv, Position, Volt/div, AC-DC-GND, VAR.
- c) Canal horizontal: A Time/div, SWP VAR, SWP UNCAL, Position, B Time/div, X10 MAG, X-Y.
- d) Disparo: Trigger source, Coupling, Slope, Level, Level lock, Normal-Auto-Single, Holdoff.

e) Horizontal Display (A; A int. B; B; Trig. B), DELAY TIME, TRIG. ALT.

a) Controles del haz:

1. INTEN: ajusta el brillo de la señal en la pantalla
2. FOCUS: ajusta la nitidez de la señal en la pantalla, variando el ancho del haz de electrones
3. ILLUM: varía la iluminación externa de la pantalla
4. TRACE ROTATION: permite alinear el haz con el eje horizontal de la pantalla

b) Controles del canal vertical:

1. VERTICAL MODE: selecciona los modos de operación entre
 - a) CH1: visualiza la señal conectada al canal 1
 - b) CH2: visualiza la señal conectada al canal 2
 - c) DUAL: visualiza ambas señales
 - d) ADD: visualiza la suma algebraica de las dos señales
2. CHOP: permite visualizar señales de baja frecuencia ($f < 1$ kHz)
3. CH2 INV: invierte la entrada de la señal conectada al canal 2
4. POSITION: potenciómetro que permite mover verticalmente la señal
5. VOLT/DIV: selecciona la escala del eje vertical, desde 1 mV/div a 5 mV/div en 12 pasos de secuencia 1-2-5
6. AC-DC-GND: en modo DC se deja pasar la señal completa, en modo AC se filtra la componente continua y se atenúan las bajas frecuencias y en modo GND se desconecta la señal externa del canal correspondiente y lo conecta a tierra, para facilitar la calibración
7. VAR: permite un ajuste fino de la escala vertical
- c) Controles del canal horizontal:
 1. A Time/Div: permite modificar la escala horizontal, en este caso de la base de tiempo principal o Base A
 2. SWP VAR: modo alternativo a la calibración Time/DIV, permite ajustar la escala a magnitudes más exactas que no podrían conseguirse con la perilla Time/DIV
 3. SWP UNCAL: deshabilita la perilla SWP VAR, dejándola calibrada
 4. POSITION: potenciómetro que permite mover horizontalmente la señal
 5. B Time/Div: permite modificar la escala horizontal, en este caso de la base de tiempo retardada o Base B
 6. X10 MAG: amplifica la señal horizontalmente 10 veces
 7. X-Y: desconecta el sistema de barrido interno del osciloscopio y conecta la señal del canal 2 al sistema vertical. Esto permite visualizar curvas de respuesta o las figuras de Lissajous
- d) Disparo:
 1. TRIGGER SOURCE: permite seleccionar la señal que utiliza el trigger
 2. COUPLING: permite seleccionar el modo de acoplamiento entre el circuito del trigger y la señal de entrada

3. SLOPE: define la pendiente positiva o negativa en la que se empieza a observar la señal, es decir en la que se produce el disparo
4. LEVEL: permite seleccionar el nivel a partir del cual se disparará el trigger
5. LEVEL LOCK: permite fijar el nivel del trigger para que se mantenga automáticamente dentro de la amplitud de la señal
6. NORMAL-AUTO-SINGLE: Son modos del sistema de disparo de barrido que determinan si se debe o no dibujar una señal en la pantalla. Modo normal dibuja la señal solo si llega el nivel del trigger, auto la dibuja siempre y single la dibuja una sola vez si llega el nivel del trigger.
7. HOLDOFF: permite retrasar el trigger para conseguir un dibujo constante para señales asimétricas

e) Horizontal Display

1. A: modo general, se muestra la señal principal.
2. A INT: a partir de este modo, se muestra un trazo de la señal A de forma intensificada, superpuesta con la señal B.
3. B: se muestra en pantalla únicamente la señal retardada.
4. TRIG. B: permite modificar la selección entre los modos de retraso continuo y retraso según el trigger del trazo A, disminuyendo el jitter.
5. DELAY TIME: permite modificar el tiempo de inicio de barrido entre A y B.
6. TRIG. ALT.: permite alternar el trigger entre los dos canales.

6.1.3. Errores

- a) Mencione tres errores groseros que se pueden cometer con el osciloscopio.
- b) ¿Por qué deben evitarse?

Un primer error podría ser utilizar el brillo del instrumento muy elevado, o mantener un punto en un lugar de la pantalla durante un tiempo prolongado. Esto es dañino para la pantalla y hasta podría arruinarla permanentemente. Para evitar este daño, se debería utilizar el brillo en una intensidad media o baja y solo mantener encendido el osciloscopio si se lo está utilizando.

Otro error grave es conectar el osciloscopio a altas tensiones. Si se conectan las puntas o las entradas a los canales, por ejemplo, a tensiones muy elevadas se pueden causar daños permanentes en el instrumento. Siempre se debe mantener la tensión en el rango especificado por el proveedor.

También se debe prestar especial atención al ancho de banda del osciloscopio. Medir por fuera de este ancho de banda no causará daños físicos en el instrumento pero sí generará mediciones que no serán confiables. Todo lo que se mida en esta situación será muy impreciso e inútil.

6.1.4. Efecto de carga

- Indique las funciones principales de la punta de osciloscopio y su circuito equivalente.
- Compare desde el punto de vista teórico el efecto de carga que presenta el conjunto osciloscopio-punta en punta 1:1 (x1) y en punta 10:1 (x10). Analice de qué manera podría minimizarlo.

a) La punta del osciloscopio permite unir el circuito bajo medición con el instrumento. Se trata de un cable y como tal, tendrá constantes distribuidas, de manera que tendrá resistencia, capacitancia e inductancia. Tiene como función cargar lo menos posible el circuito. Al conectarse a un circuito siempre lo cargamos, y por eso resulta importante tener una buena conexión. La resistencia de la punta y su capacitancia nos ayudan a minimizar la carga.

- Los circuitos equivalentes de ambas puntas son:

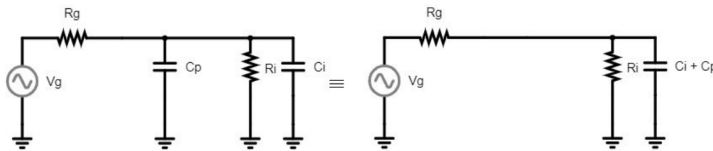


Figura 29: Punta x1

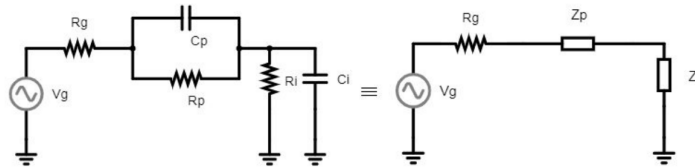


Figura 30: Punta x10

Donde:

- V_g y R_g son los valores a medir
- R_p y C_p son la resistencia y capacitancia de la punta
- R_i y C_i son la resistencia y capacitancia del instrumento

Los valores usuales de C_i y R_i rondan los 25 nF y 1 M Ω respectivamente, por lo que se genera un efecto de carga capacitivo y resistivo sobre el circuito que se está midiendo.

En corriente continua, para la punta x1 el osciloscopio medirá una tensión $V_{osc} = V_g \frac{R_i}{R_i + R_g}$. Pero a medida aumenta la frecuencia, disminuirá la reactancia del capacitor, haciendo que caiga una mayor parte de la tensión en este componente, y por lo tanto la tensión medida V_{osc} se alejará aún más de V_g . Con frecuencias de 6 MHz la tensión medida por el osciloscopio caerá un 30 % respecto de la tensión del generador. Entonces en este caso se tendría que trabajar con frecuencias más pequeñas, aunque un ancho de banda común de un osciloscopio sea mucho mayor (entre 50 y 100Mhz). Utilizar una punta x10 resolvería el problema del desperdicio del ancho de banda. En este caso se cumple que $\frac{V_{osc}}{V_i} = \frac{R_i}{R_i + R_p} = \frac{1}{10}$, teniendo una resistencia 10 veces mayor y capacitancia 10 veces menor (si está correctamente compensada). Esto significa que será más difícil cargar al circuito. Sin embargo, la amplitud de la señal medida será 10 veces menor, por lo que si estamos midiendo señales originalmente pequeñas es probable que no se lleguen a apreciar en la pantalla.

6.1.5. Incertidumbre

- a) Indique cuáles son las incertidumbres del osciloscopio en el canal vertical.
- b) Ídem en el canal horizontal.
- a) En el canal vertical nos encontraremos con las incertidumbres:
 - a) De apreciación: $\xi_{ap} = \frac{0.1}{n} \text{ divleidas}$
 - b) De exactitud: Lo especifica el fabricante. Habitualmente es del 3 %, pero depende de la escala
- b) En el canal horizontal nos encontraremos con las incertidumbres:
 - a) De apreciación: $\xi_{ap} = \frac{0.1}{n} \text{ divleidas}$
 - b) De exactitud: Lo especifica el fabricante. Habitualmente es del 3 %, pero depende de la escala
 - c) De alinealidad: Debido a las alinealidades de los amplificadores de barrido, no todas las divisiones valen lo mismo. Habitualmente es del 3 %

6.1.6. Ancho de banda

- a) Defina el ancho de banda (BW) del osciloscopio. Explique el efecto que introduce el capacitor de desacople.
- b) Indique dicho valor para el osciloscopio a utilizar.

El ancho de banda en el osciloscopio es el rango de frecuencias comprendidas entre las frecuencias de corte. La frecuencia de corte es aquella en la cual la amplitud de una señal senoidal cae 3dB de su valor máximo, que es lo mismo que hablar de una caída del 30 % respecto de este valor. Equivale también a la

mitad de la potencia. Entonces, una frecuencia estará fuera del ancho de banda del osciloscopio siempre y cuando baje 3db de su valor real.

El capacitor de desacople funciona como un filtro pasa bajos, por lo que el valor de este tendrá un gran efecto sobre la frecuencia de corte superior del ancho de banda del instrumento.

Para un osciloscopio GW, que son los del laboratorio de la facultad, el ancho de banda es de 50MHz en acoplamiento en modo DC y 10Hz como cota inferior al usar acoplamiento en modo AC.

6.1.7. Rango dinámico

- a) Defina la sensibilidad del instrumento y cuál es su valor para el osciloscopio a utilizar.
- b) Defina el valor máximo de tensión del instrumento sin dañarlo, y el papel que juegan las puntas.

En el osciloscopio, la sensibilidad es el rango de valores que pueden ser representados en el display (Volts por división). Verticalmente, la escala es desde 1mV/div hasta 5V/div y horizontalmente va desde 0,1 s/div a 0,5 Seg/div.

En un osciloscopio GoodWill

- Canal 1 y Canal 2: 400V
- EXT TRIG: 100V
- EJE Z: 50V

6.1.8. Circuito RC

- a) Dibuje un circuito R-C genérico pasa bajos y otro circuito R-C genérico pasa altos.
 - b) Calcule la constante de tiempo, frecuencia de corte y el tiempo de crecimiento. Dibuje la curva de respuesta en frecuencia (módulo y fase).
- a)

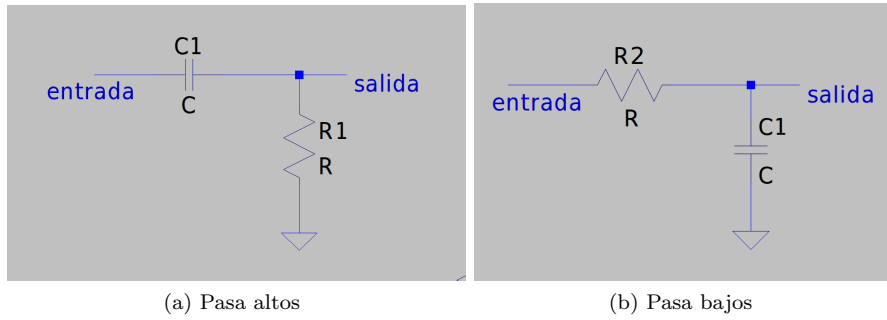


Figura 31: Circuitos RC

b) Tomando $R=1\text{ k}\Omega$ y $C=100\text{ nF}$:

La constante de tiempo τ será $\tau = RC = 100\text{ }\mu\text{s}$

La frecuencia de corte f_c será $f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = 1,59\text{ KHz}$

El tiempo de crecimiento t_c será $t_c = 2,2\tau = 220\text{ }\mu\text{s}$

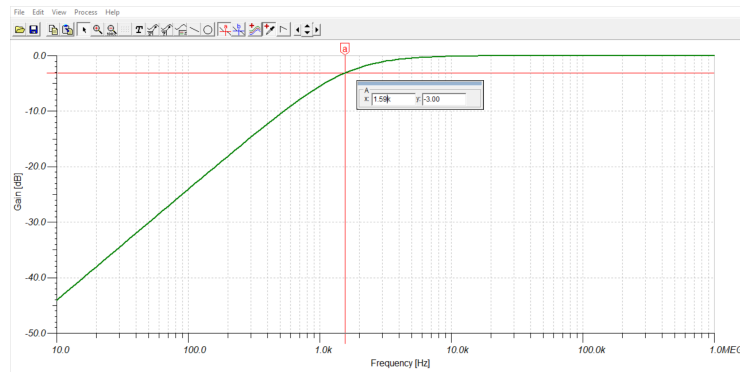


Figura 32: Filtro pasa altos

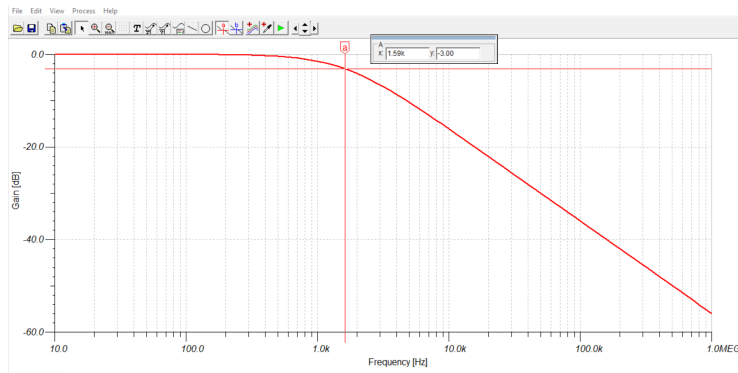


Figura 33: Filtro pasa bajos

6.2. Anexo 2: Mediciones Complementarias

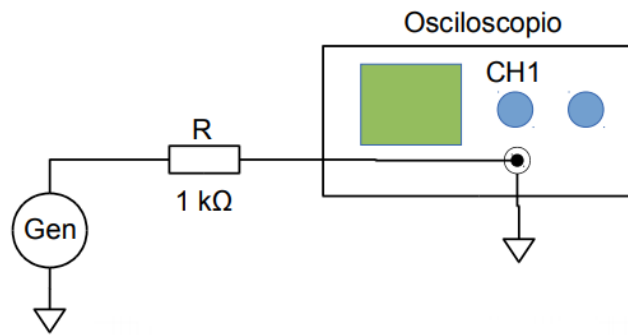


Figura 34: Banco de medición

- Calcule de forma teórica la frecuencia de corte del circuito (f_c) con la punta x1 y x10, considerando el correspondiente efecto de carga.
- Mida la f_c en los dos casos mencionados, escriba correctamente la medición con su incertidumbre, compare con los resultados teóricos.
- Explique la influencia de la resistencia de $1\text{ k}\Omega$ ubicada en serie con la punta.
- ¿Qué sucederá si elimina la resistencia y la reemplaza por un cable?

Resolución:

- Para la punta x1 la frecuencia de corte f_c será:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi 1\text{ k}\Omega 200\text{ pF}} = 795,8\text{ kHz}$$

Para la punta x10 la frecuencia de corte f_c será:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi 1\text{ k}\Omega 20\text{ pF}} = 7,958\text{ MHz}$$

En ambos casos, la resistencia $R_i = 1\text{ M}\Omega$ en paralelo con $R = 1\text{ k}\Omega$ tienen un R_{eq} que es prácticamente $1\text{ k}\Omega$.

b) **Para la punta x1**, tenemos un circuito como el de la figura 35. Este circuito tiene en cuenta a la resistencia interna del generador, así como también a la capacitancia y resistencia interna del osciloscopio.

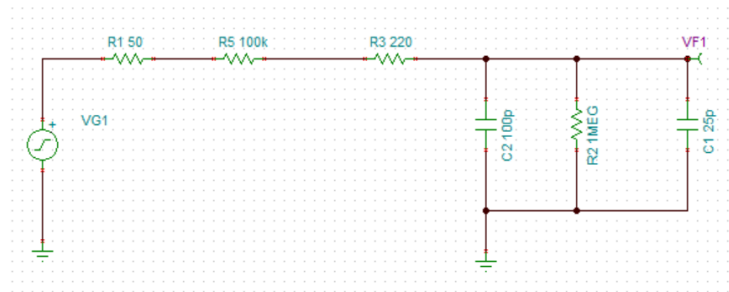


Figura 35: Circuito equivalente usando la punta 1:1(x1)

Sabemos que la frecuencia de corte es la frecuencia para la cual el valor de la amplitud de la señal cae al 70 %, es decir -3dB. En la figura 36 vemos que para una frecuencia de 13,84kHz el valor medido se encuentra -3dB respecto de su amplitud máxima. Entonces, $f_c = 13,84\text{ kHz}$.

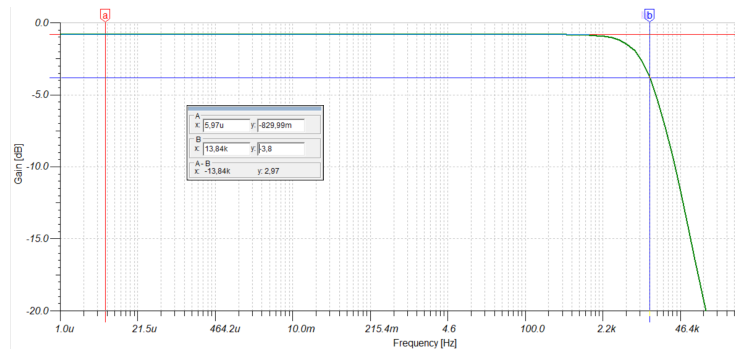


Figura 36: Gráfico que muestra la frecuencia de corte usando una punta 1:1 (x1)

Para la punta x10, tenemos un circuito como el de la figura 37. Este circuito tiene en cuenta a la resistencia interna del generador, así como también

a la capacitancia y resistencia interna del osciloscopio.

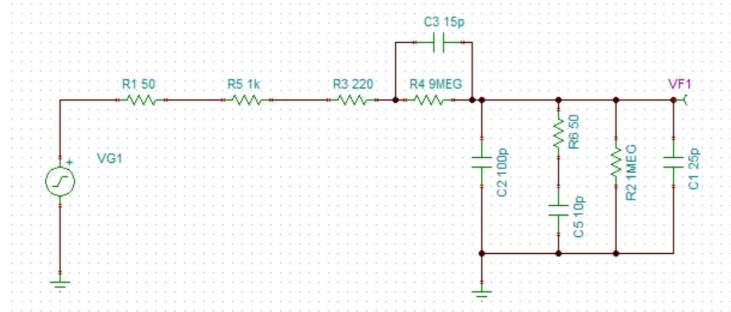


Figura 37: Circuito equivalente usando la punta 1:10(x10)

Sabemos que la frecuencia de corte es la frecuencia para la cual el valor de la amplitud de la señal cae al 70 %, es decir -3dB. En la figura 38 vemos que para una frecuencia de 9,25MHz el valor medido se encuentra -3dB respecto de su amplitud máxima. Entonces, $f_c = 9,25MHz$.

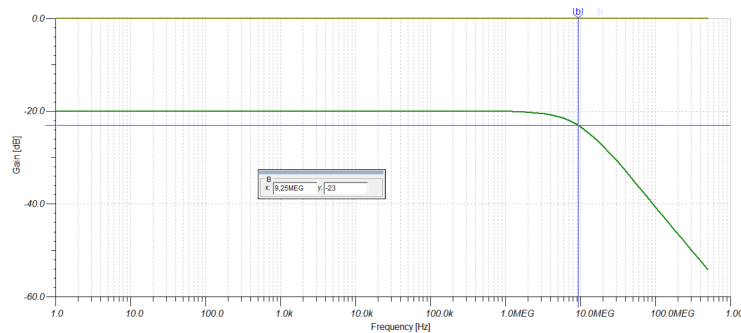


Figura 38: Gráfico que muestra la frecuencia de corte usando una punta 10:1 (x10)

El valor de frecuencia de corte obtenido tiene una incertidumbre. En la práctica para obtener f_c hay que aumentar de a poco la frecuencia del generador hasta que vemos que la amplitud de la señal cae a un 70 % de su valor máximo. Una vez que encontramos una frecuencia para la que se cumple esto, podemos calcular la incertidumbre. En el osciloscopio veremos una señal con una cierta amplitud. Esta amplitud nosotros la obtenemos mirando la cantidad de divisiones que ocupa y la cantidad de *Volts/div.*, por lo tanto tendremos un error de apreciación. Además tenemos el error de exactitud. Con estas dos consideraciones ya podemos calcular la incertidumbre de la medición.

c y d) La fórmula que relaciona a la frecuencia de corte con la resistencia y la capacitancia de un circuito RC es la siguiente:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R_{eq} \cdot C_{eq}}$$

Esta fórmula es para un circuito simplificado RC. En este caso en particular, la capacitancia C_{eq} está dada por el osciloscopio y la resistencia R_{eq} de la fórmula depende de la resistencia del circuito de la figura 34, de la resistencia interna del generador y de la resistencia interna del osciloscopio.

Si aumentamos R entonces aumenta R_{eq} . De la formula anterior podemos deducir que a mayor R_{eq} menor es la frecuencia de corte. Esto se debe a que a mayor resistencia, menos cargado está el circuito.

En particular, si reemplazamos la resistencia R por un cable lo único que estaríamos haciendo es disminuyendo R_{eq} por lo tanto lo que va a suceder que la frecuencia de corte aumentará.