

TEMA 4: Circuitos en corriente alterna (AC)**OBJETIVOS**

La corriente/tensión alterna (ACA/ACV) tiene unas características que la diferencian muy notablemente respecto a la corriente/tensión continua (DCA/DCV). En esta área de prácticas vamos a usar las diferentes señales alternas que ofrece el entrenador o laboratorio de prácticas. Emplearemos un osciloscopio "imaginario" o "virtual" para visualizarlas, calcular frecuencias y periodos, así como medir sus amplitudes. También vamos a experimentar con sencillos circuitos capacitivos e inductivos.

RELACIÓN DE MATERIALES

1 x Entrenador Universal Trainer V3 (o plataforma equivalente)
1 x Polímetro digital (o analógico)
1 x Osciloscopio. Como no está al alcance de todos nos "inventaremos" uno virtual.
Cables de conexión
Resistencias de carbón de 1/4W: 1 x 2.2 K Ω ; 1 x 4.7 K Ω y 3 x 10 K Ω
Condensadores: 3 x 1 nF y 1 x 680 nF
Bobina: 1 x 100 mH

INDICE GENERAL**P1: EL OSCILOSCOPIO IMAGINARIO**

P1-1 Introducción

P1-2 Controles básicos del osciloscopio imaginario

Ejemplo 1: Señal sinusoidal; periodo, frecuencia y amplitud

Ejemplo 2: Señal triangular; periodo, frecuencia y amplitud

Ejemplo 3: Señal en diente de sierra; periodo, frecuencia y amplitud

Ejemplo 4: Dos señales simultáneas; periodo, frecuencia y amplitud

Ejemplo 5: Señal cuadrada; periodo, frecuencia y amplitud

P2: EL TRANSFORMADOR DEL ENTRENADOR

P2-1 Ejercicio 1: Emplea del polímetro y completa la tabla

P2-2 Ejercicio 2: El osciloscopio virtual, representación sobre la pantalla

P3: EL GENERADOR DE FRECUENCIAS DEL ENTRENADOR

P3-1 Empleo del osciloscopio virtual

Ejercicio 3: Representación de señales sinusoidales

Ejercicio 4: Representación de señales triangulares

Ejercicio 5: Representación de señales cuadradas

P4: CIRCUITOS CAPACITIVOS (RC) EN AC

P4-1 Un circuito básico...

Ejercicio 6: Cálculos teóricos

Ejercicio 7: Medidas prácticas

Ejercicio 8: Una modificación

P4-2 Aplicación práctica: el desplazamiento de fase

Ejercicio 9: Cálculos teóricos

Ejercicio 10: Montaje práctico

Ejercicio 11: Desfase de 180°

P5: CIRCUITOS INDUCTIVOS (RL) EN AC

P5-1 Un circuito básico

Ejercicio 12: Cálculos teóricos

Ejercicio 13: Medidas prácticas

P5-2 Aplicación práctica: los filtros pasivos

Ejercicio 14: Cálculos teóricos

Ejercicio 15: Representación gráfica

TEMA 4: Circuitos en corriente alterna (AC)

P1: EL OSCILOSCOPIO IMAGINARIO

P1-1 Introducción

Uno de los instrumentos que no puede faltar en los centros de estudios, centros de I+D, laboratorios, talleres de electrónica, etc... es el osciloscopio. Se trata del aparato ideal para visualizar, analizar y trabajar con las señales de corriente/tensión alterna, que estamos tratando en este Tema 4.

Bien es cierto que con un sencillo polímetro, seleccionado en las escalas de medir tensiones alternas (ACV), podemos conocer la tensión alterna eficaz (V_{ef}) que hay en un circuito. Algunos modelos disponen de escalas para medir intensidades en alterna (ACA), aunque no es el caso del modelo que venimos usando hasta ahora como ejemplo.

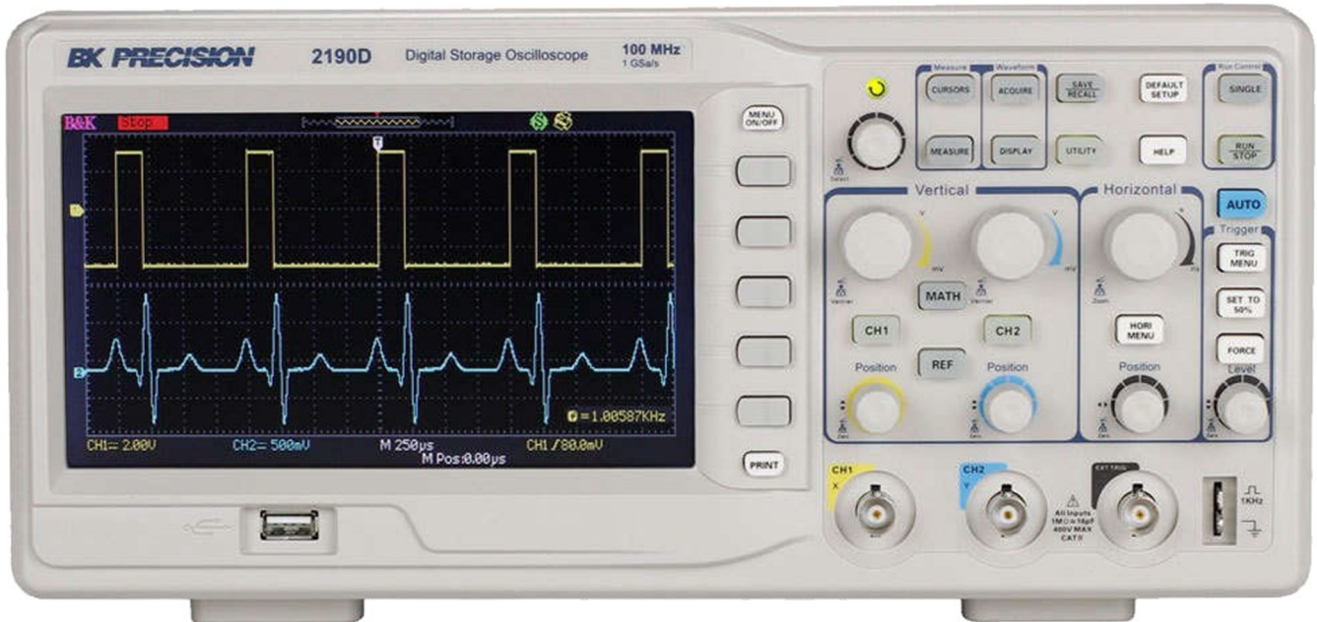
En cualquier caso, con un polímetro no podrás conocer la "forma" de una señal alterna, que no tiene porqué ser sinusoidal. Tampoco podrás ver si está o no en fase con otra señal alterna. Incluso la mayor parte de polímetros no te permiten medir la frecuencia ni por tanto conocer el periodo de esa señal.



Para hacer todo eso está el osciloscopio. Se trata de un instrumento dotado de una pantalla gráfica graduada sobre la que podremos visualizar la forma de las señales y sus fases.

Gracias a esa graduación se puede medir el periodo T de la señal y calcular así su frecuencia F . También se puede medir la amplitud de la señal y conocer su tensión pico a pico (V_{pp}), la de pico (V_p) y deducir por tanto la tensión eficaz (V_{ef}), la misma que hubiera medido un polímetro en sus escalas de ACV.

Puedes encontrar osciloscopios que sólo visualizan una señal (en desuso), o varias al mismo tiempo. Aunque los hay de más, lo más normal es que visualicen dos señales. Se les denomina osciloscopio de doble trazo.



Según la tecnología que empleen, hay osciloscopios analógicos y digitales. Estos últimos son los más actuales. En general tienen muchas más prestaciones y son más fáciles de manejar.

Para que te hagas una idea aquí tienes algunas de las características básicas que definen a un osciloscopio:

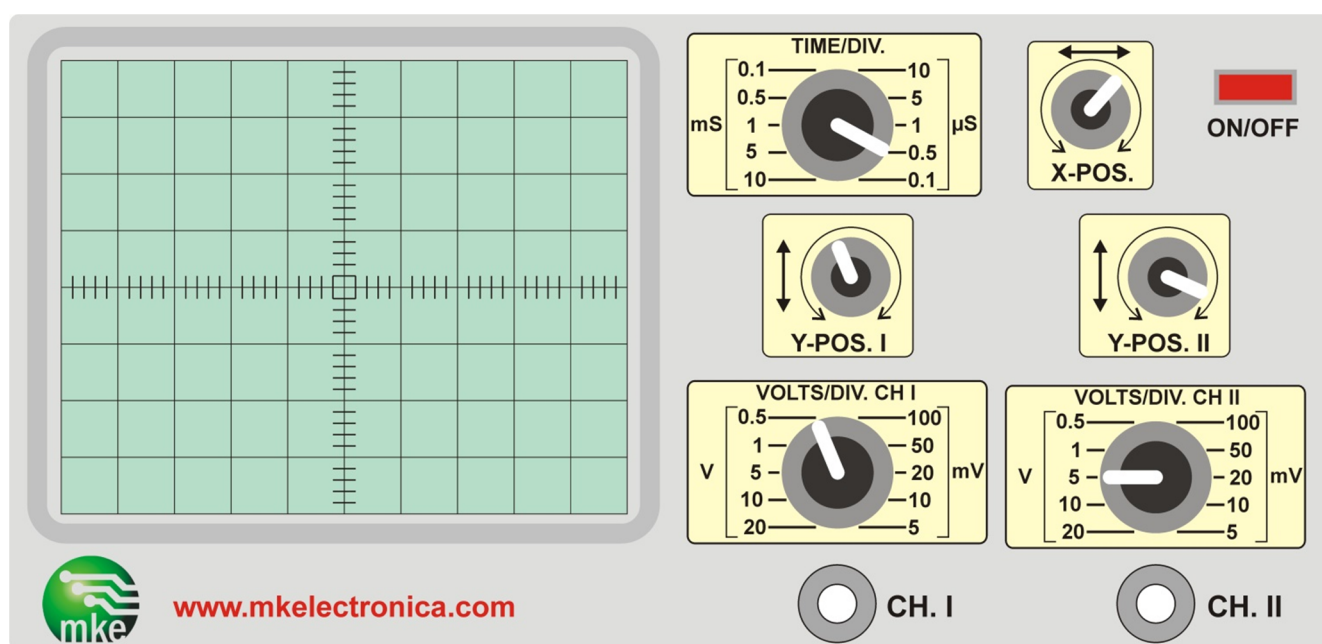
- Analógico o Digital
- N° de trazos o señales con las que puede trabajar y visualizar.
- Pantalla en color o monocroma
- Ancho de banda o frecuencia máxima de la señal que puede medir
- Amplitud o tensión máxima de la señal que puede medir. Se pueden usar atenuadores externos para aumentar la medida.
- Capacidad de operar con las señales: adición y sustracción
- Diferentes opciones de disparo o "trigger" para realizar una nueva medida
- Funciones para memorizar las señales medidas
- Si es de sobremesa, o portátil o bien se conecta a un PC vía USB
- Lo más evidente... el precio. Uno medianamente bueno puede costar a partir de los 300 €

P1-2 Controles básicos del osciloscopio imaginario

Precisamente de todas las características anteriores el precio es lo que nos echa para atrás a la mayor parte de los mortales. Las empresas y centros de estudios no tienen demasiados problemas para equipar sus talleres o aulas con uno o varios de estos instrumentos. No podemos decir lo mismo de la mayor parte de estudiantes, aficionados o "makers" en general.

Sin embargo, en un curso de electrónica en el que no se hable de él quedaría un poco "cojo". Por este motivo nos vamos a inventar un osciloscopio virtual, para "pobres". Con él vamos a intentar estudiar los controles y el manejo básico y, si algún día tienes la fortuna de hacerte con uno, al menos que te "suene" de algo.

Aquí lo tienes...



Vamos a hacer una descripción de los mandos o controles fundamentales que, como comentaba, son similares a los que tiene un osciloscopio de verdad.

- **CH. I y CH. II** Son dos conectores por los que se conectan el equivalente a las puntas de prueba de un polímetro y que reciben el nombre de "sondas". Con ellas podrás tocar los puntos eléctricos cuyas señales quieres visualizar y medir. Nuestro modelo tiene dos entradas o canales (Channels), **CH. I y CH. II**.

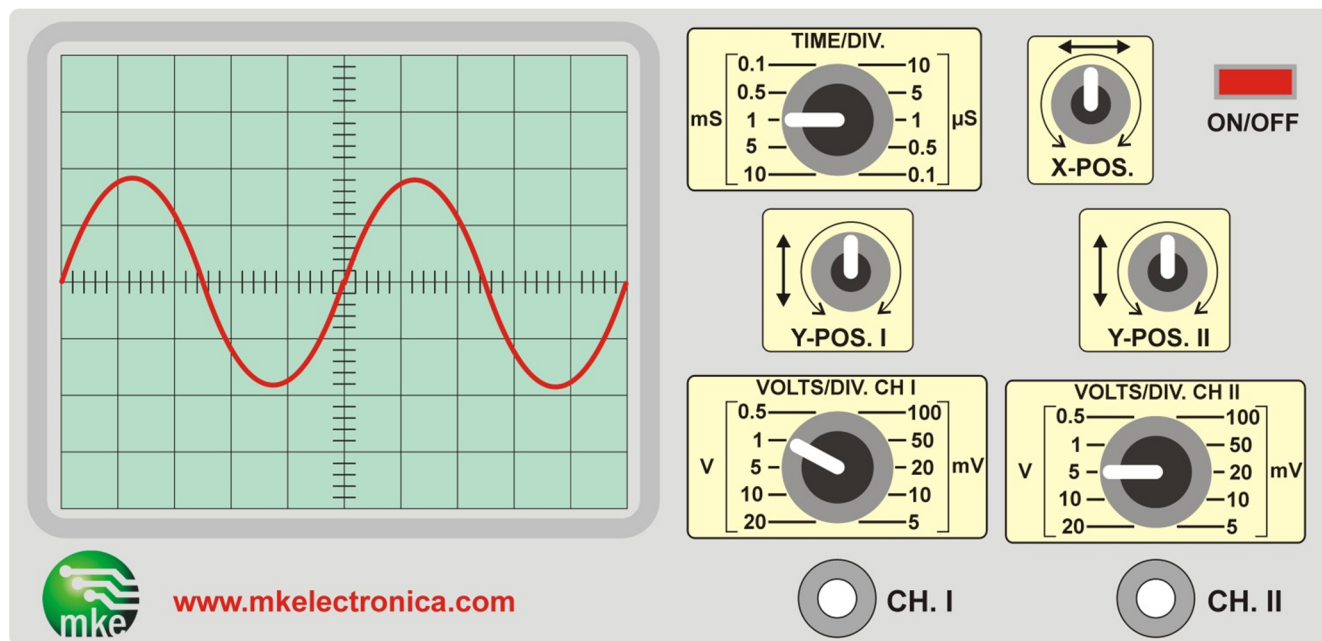
- **Pantalla** Se trata de una pantalla gráfica y graduada. Sobre ella se visualizan las señales que estás midiendo. Para conocer su amplitud (tensión) basta con contar, en sentido vertical, el número de cuadrículas que ocupa la señal: desde el centro hacia arriba sería la tensión de pico (V_p), desde un pico de la señal al pico contrario sería la tensión pico a pico (V_{pp}). Enseguida verás unos ejemplos.
- **ON/OFF**. Como cualquier instrumento o aparato tenemos el interruptor de encendido/apagado.
- **Y-POS. I e Y-POS. II** Son potenciómetros que permiten desplazar en sentido vertical la imagen de ambos trazos o señales que estás visualizando. Se emplean para poder desplazar la señal sobre la escala graduada y poder determinar su amplitud con mayor precisión.
- **VOLTS/DIV. CH I y VOLTS/DIV. CH II**. Uno por cada trazo. Funcionan de forma parecida a las escalas de un voltímetro. Determinan el valor de la amplitud (tensión) de cada cuadrícula o división que ocupa la señal en la pantalla en sentido vertical.
- **X-POS**. Es un potenciómetro que permite desplazar la imagen en sentido horizontal. Con él desplazas la señal sobre la escala graduada para determinar su periodo con mayor precisión.
- **TIMR/DIV**. Esta escala nos habla de tiempo. Determina lo que tarda el osciloscopio en dibujar cada cuadrícula que ocupa la señal en sentido horizontal.

Para intentar asentar las ideas básicas de cómo manejar nuestro osciloscopio virtual, y con ello aproximarnos a cómo lo haríamos con un osciloscopio real, vamos a ver unos cuantos ejemplos.

En ellos se presenta una o dos señales de diferentes tipos y nos enseña a calcular su periodo, frecuencia y amplitud.

Ejemplo1 1: Señal sinusoidal; periodo, frecuencia y amplitud

Señal que se introduce por la sonda de entrada **CH. I**



Vamos por partes...

1. Medir el periodo T :

- ¿Cuántas divisiones en sentido horizontal ocupa un ciclo de la señal? 5
- ¿Qué valor se ha seleccionado en la escala TIME/DIV.? 1 ms
- Multiplica el número de divisiones por el valor de la escala: $5 \times 1 = 5 \text{ ms}$

2. Calcular la frecuencia F :

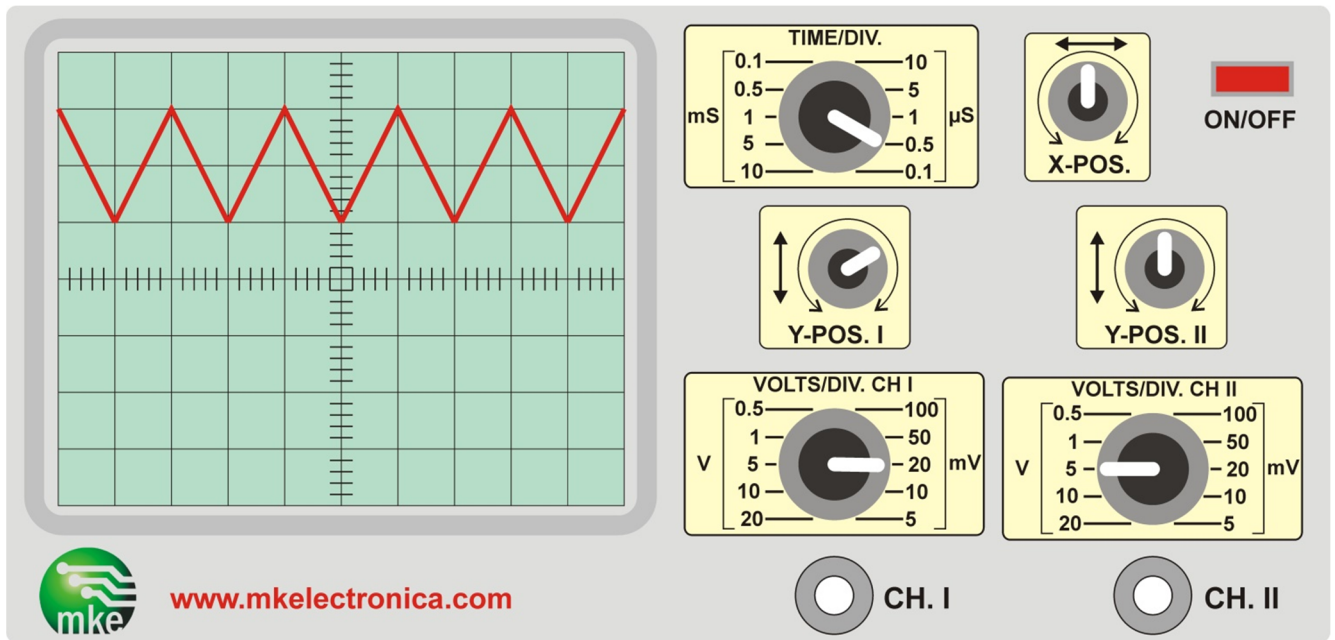
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{5 \text{ ms}} = \frac{1}{0.005} = 200 \text{ Hz}$$

3. Medir la amplitud (tensión):

- ¿Cuántas divisiones en sentido vertical ocupa un ciclo de la señal? 3.6
- ¿Qué valor se ha seleccionado en la escala VOLTS/DIV. CH I? 1 V
- Multiplica las divisiones por el valor de la escala: $3.6 \times 1 = 3.6 \text{ Vpp}$
- Calcula: $V_p = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{3.6}{2} = 1.8 \text{ Vp}$; $V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{1.8}{1.4142} = 1.27 \text{ V}$

Ejemplo 2: Señal triangular: periodo, frecuencia y amplitud

Señal que se introduce por la sonda de entrada CH. I

**1. Medir el periodo T.:**

- ¿Cuántas divisiones en sentido horizontal ocupa un ciclo de la señal? 2
- ¿Qué valor se ha seleccionado en la escala TIME/DIV.? 0.5 μs
- Multiplica el número de divisiones por el valor de la escala: $2 \times 0.5 = \underline{1 \mu s}$

2. Calcular la frecuencia F:

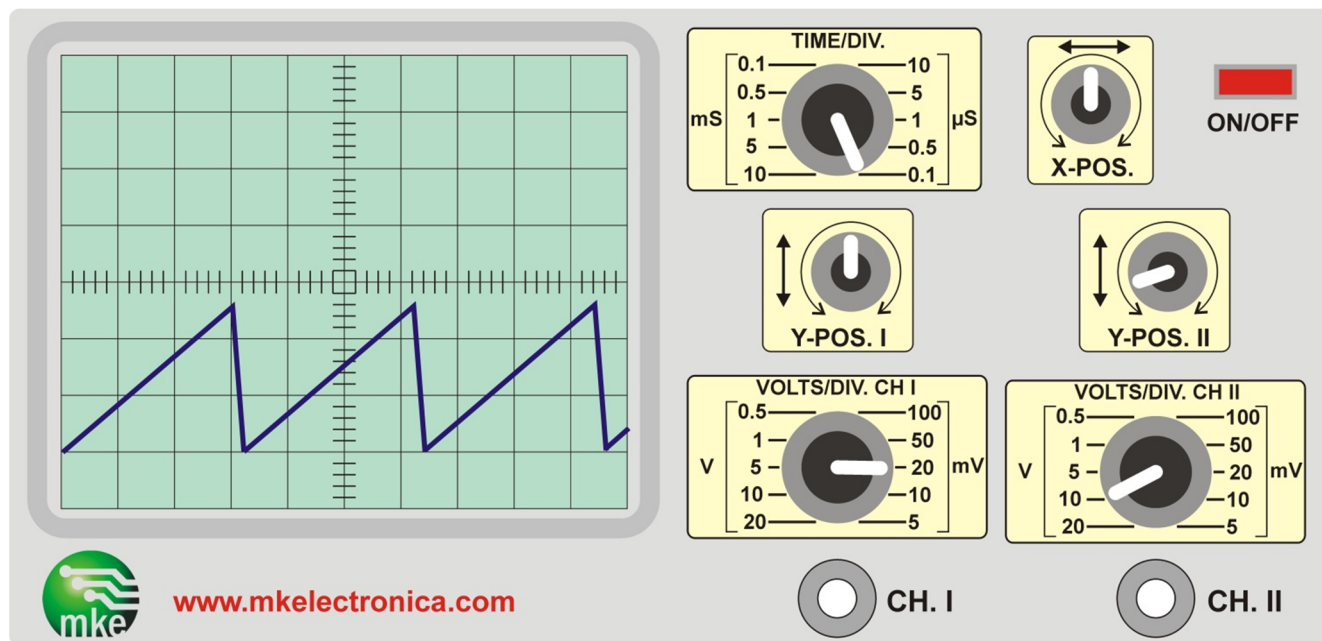
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{1 \mu s} = \frac{1}{0.000001} = 1000000 Hz = 1000 KHz = 1 MHz$$

3. Medir la amplitud (tensión):

- ¿Cuántas divisiones en sentido vertical ocupa un ciclo de la señal? 2
- ¿Qué valor se ha seleccionado en la escala VOLTS/DIV. CH I? 20 mV
- Multiplica el número de divisiones por el valor de la escala: $2 \times 20 mV = 40 mV_{pp}$
- Calcula: $V_p = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{40 mV}{2} = 20 mV_p$; $V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{3}} = \frac{20 mV}{1.7320} = 11.54 mV$

Ejemplo 3: Señal en diente de sierra: periodo, frecuencia y amplitud

Señal que se introduce por la sonda de entrada CH. II

**1. Medir el periodo T.:**

- ¿Cuántas divisiones en sentido horizontal ocupa un ciclo de la señal? **3.2**
- ¿Qué valor se ha seleccionado en la escala TIME/DIV.? **0.1 μs**
- Multiplica el N° de divisiones por el valor de la escala: $3.2 \times 0.1 = \mathbf{0.32 \mu s}$

2. Calcular la frecuencia F:

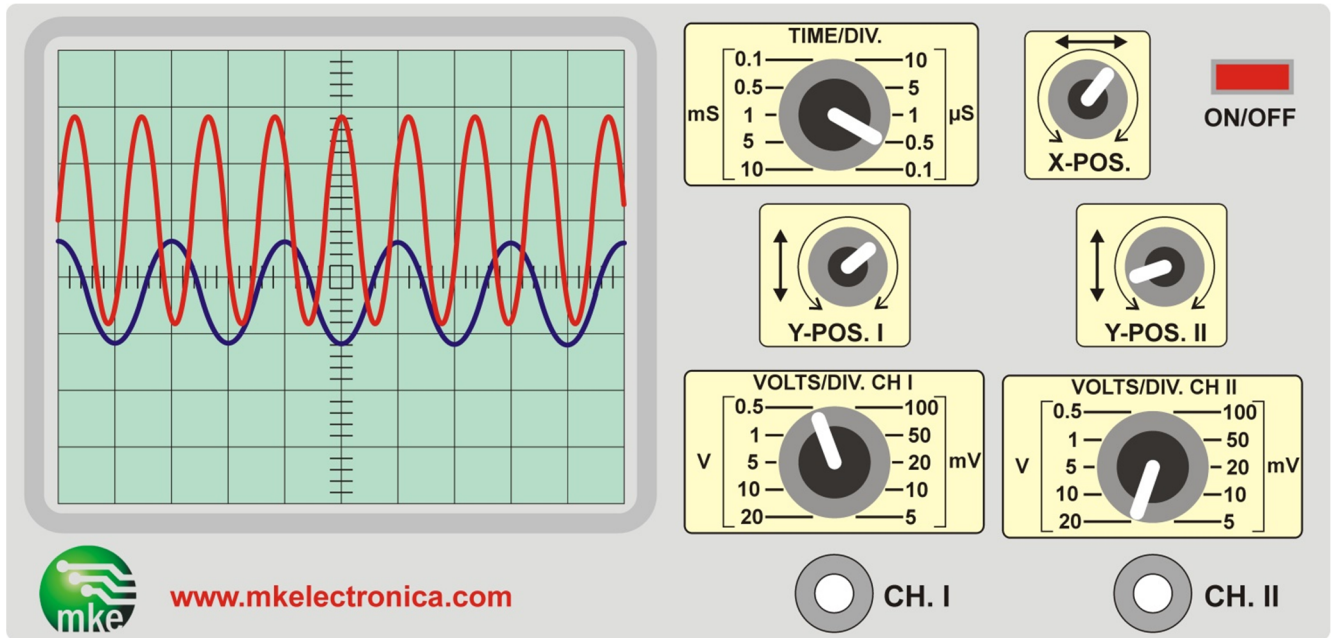
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.32 \mu s} = \frac{1}{0.00000032} = 3125000 Hz = 3125 KHz = 3.125 MHz$$

3. Medir la amplitud (tensión):

- ¿Cuántas divisiones en sentido vertical ocupa un ciclo de la señal? **2.8**
- ¿Qué valor se ha seleccionado en la escala VOLTS/DIV. CH II? **10 V**
- Multiplica el N° de divisiones por el valor de la escala: $2.8 \times 10 V = 28 V_{pp}$
- Calcula: $V_p = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{28 V}{2} = 14 V_p$; $V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{3}} = \frac{14 V}{1.7320} = 8.08 V$

Ejemplo 4: Dos señales simultáneas; periodo, frecuencia y amplitud

Señales introducidas por CH. I (roja) y CH. II (azul)



Para medir con la mejor precisión posible imagina que ambas señales las puedes mover por las cuadrículas graduadas de la pantalla en sentido horizontal y/o vertical. Es lo que tendrías que hacer en la realidad con el mando **X-POS** para el desplazamiento horizontal y los mandos **Y-POS. I** e **Y-POS. II** para el desplazamiento vertical de la señal CH. I (roja) y CH. II (azul) respectivamente.

Señal en CH. I (roja)

$$T = 1.2 \times 0.5 \mu\text{s} = 1.2 \times 0.0000005 \text{ s} = 0.0000006 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.0000006} = 1666666 \text{ Hz} = 1666 \text{ KHz} = 1.666 \text{ MHz}$$

$$V_{pp} = 3.6 \times 0.5 \text{ V} = 1.8 \text{ V}_{pp}; V_p = 1.8 / 2 = 0.9 \text{ V}_p; V_{ef} = 0.9 / 1.4142 = 0.6364 \text{ V}$$

Señal en CH. II (azul)

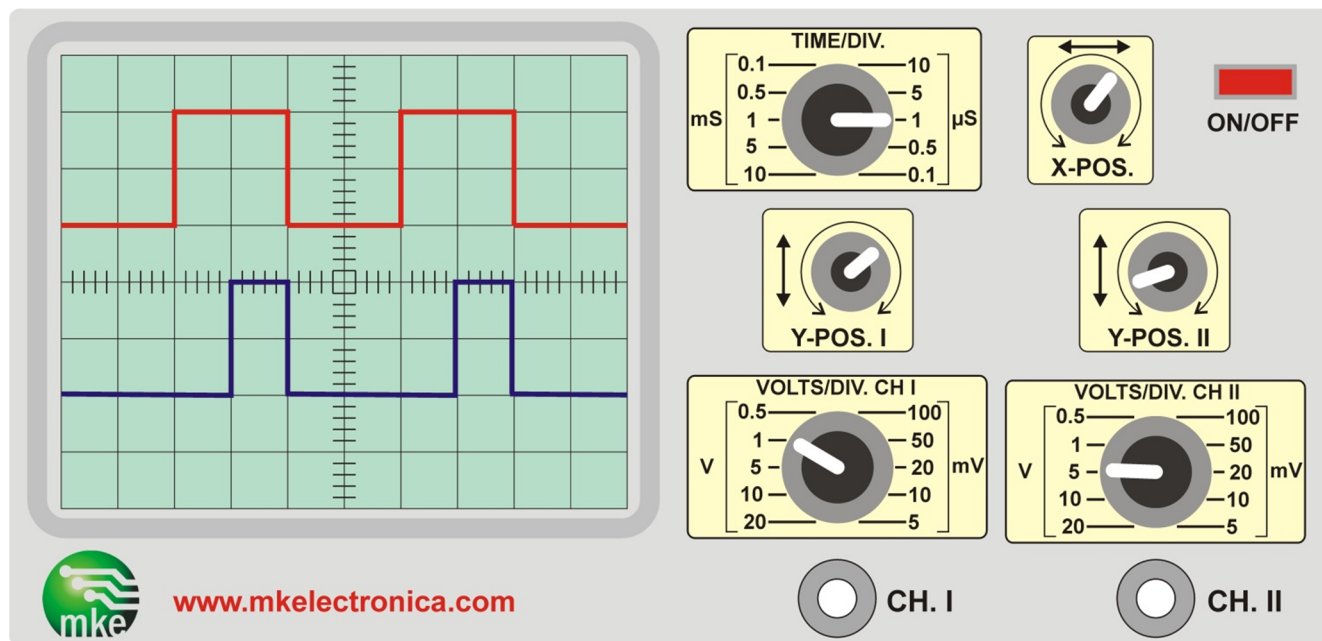
$$T = 2 \times 0.5 \mu\text{s} = 2 \times 0.0000005 \text{ s} = 0.000001 \text{ s}$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.0000001} = 1000000 \text{ Hz} = 1000 \text{ KHz} = 1 \text{ MHz}$$

$$V_{pp} = 1.8 \times 20 \text{ V} = 36 \text{ V}_{pp}; V_p = 36 / 2 = 18 \text{ V}_p; V_{ef} = 18 / 1.4142 = 12.728 \text{ V}$$

Ejemplo 5: Señal cuadradas; periodo, frecuencia y amplitud

Su valor eficaz es el mismo que el de su valor de pico.

**Señal en CH. I (roja)**

$$T = 4 \times 1 \mu S = 4 \times 0.000001 s = 0.000004 s$$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.000004} = 250000 \text{ Hz} = 250 \text{ KHz} = 0,25 \text{ MHz}$$

$$V_{pp} = 2 \times 1 = 2V_{pp}; V_p = 2 / 2 = 1 V_p; V_{ef} = V_p = 1 V$$

Es una señal **simétrica**. La duración de la parte alta o superior es igual a la de la parte baja, 2 divisiones en cada caso.

Señal en CH. II (azul)

$$T = 4 \times 1 \mu S = 4 \times 0.000001 s = 0.000004 s$$

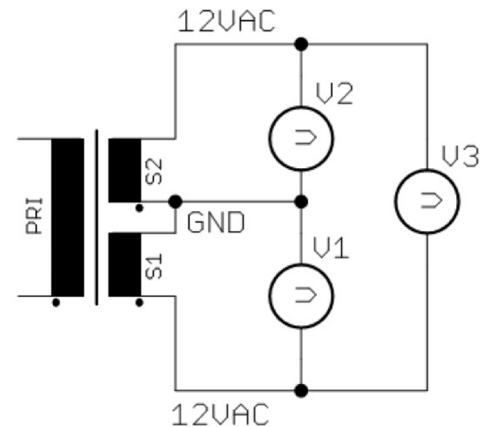
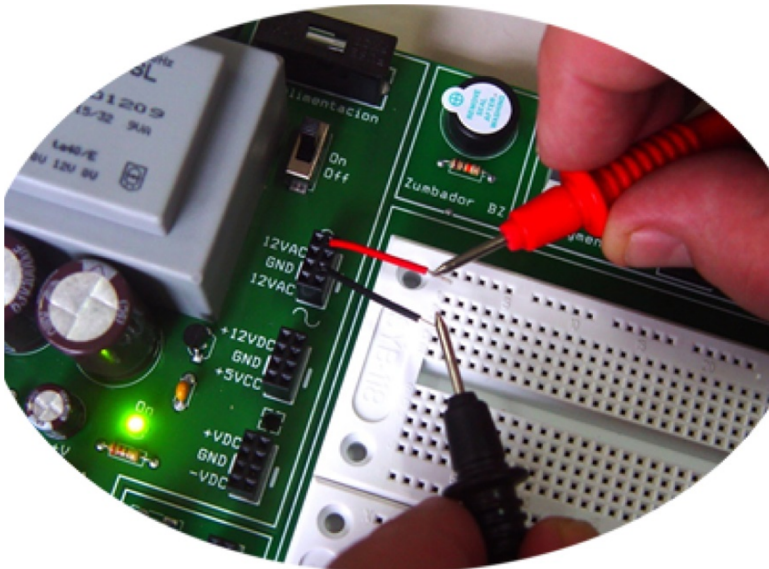
$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.000004} = 250000 \text{ Hz} = 250 \text{ KHz} = 0,25 \text{ MHz}$$

$$V_{pp} = 2 \times 5 V = 10 V_{pp}; V_p = 10 / 2 = 5 V_p; V_{ef} = V_p = 5 V$$

Es una señal **asimétrica**. La duración de la parte alta es menor, una división, que la de la parte baja, tres divisiones.

P2: EL TRANSFORMADOR DEL ENTRENADOR

Aunque en las prácticas de la unidad 2 anterior ya mediste la tensión alterna que proporciona el transformador del entrenador Universal Trainer, ahora las vas a volver repetir.



Se trata de un transformador a cuyo primario se le aplica la tensión de red de 220 V (si no se dice nada se supone que son eficaces). Tiene dos secundarios, S1 y S2, conectados internamente en serie. Se dice que es un secundario con "toma intermedia". En este modelo cada secundario ofrece una tensión de 12V entre las conexiones GND, la toma intermedia, y cada uno de los extremos (12VAC).

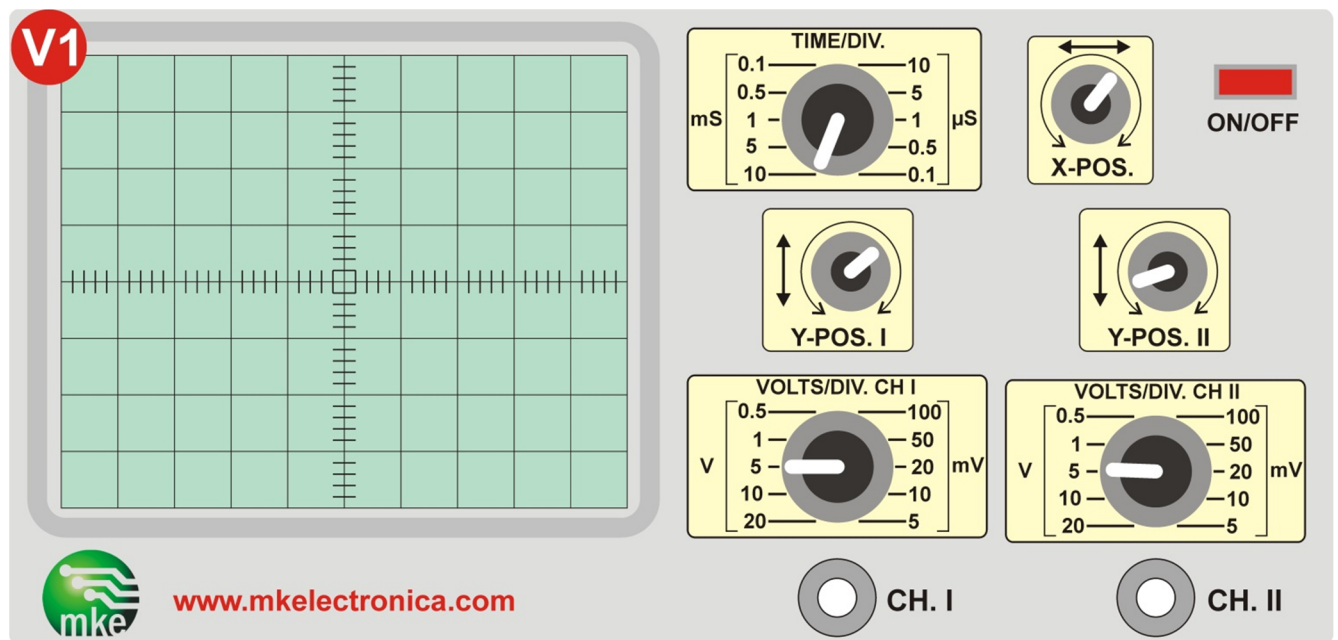
P2-1 Ejercicio 1: Emplea del polímetro y completa la tabla

Con el polímetro seleccionado para medir voltios en alterna (ACV) mide las tensiones en los puntos V1 (entre GND y un extremo 12VAC), V2 (entre GND y el otro extremo 12VAC) y V3 (entre ambos extremos 12VAC). Haz los cálculos oportunos y anótalos en la siguiente tabla.

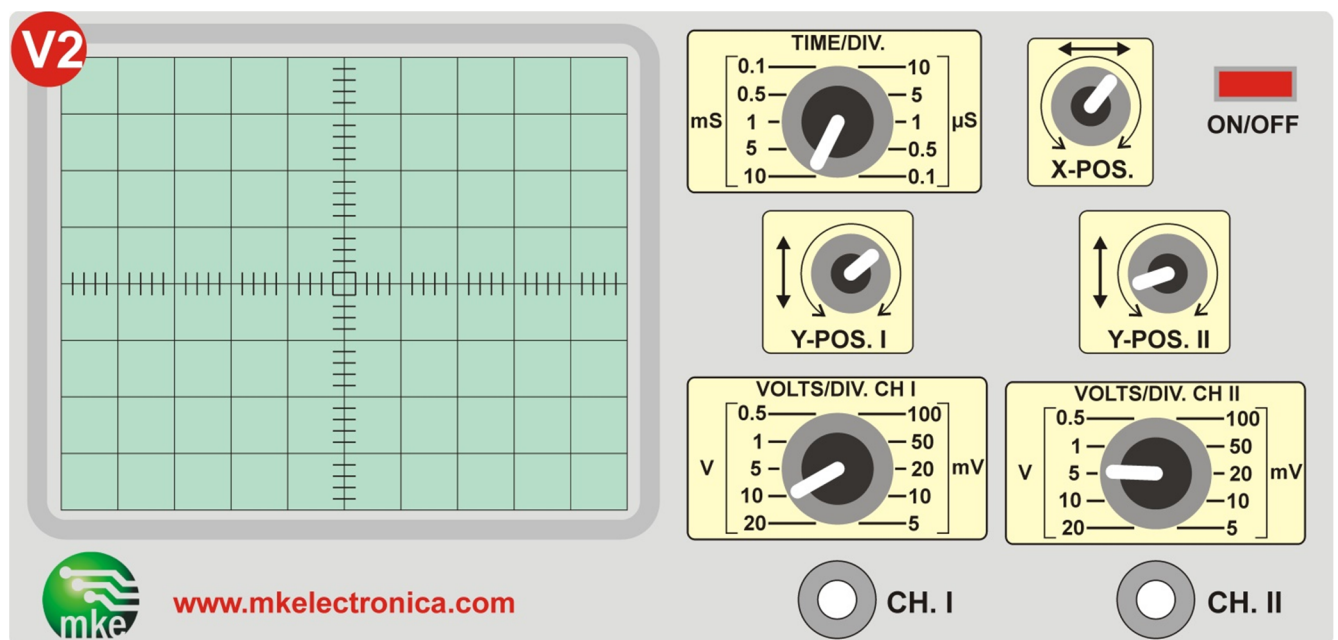
	V _{ef}	V _p	V _{pp}
V1			
V2			
V3			

P2-2 Ejercicio 2: El osciloscopio virtual, representación sobre la pantalla

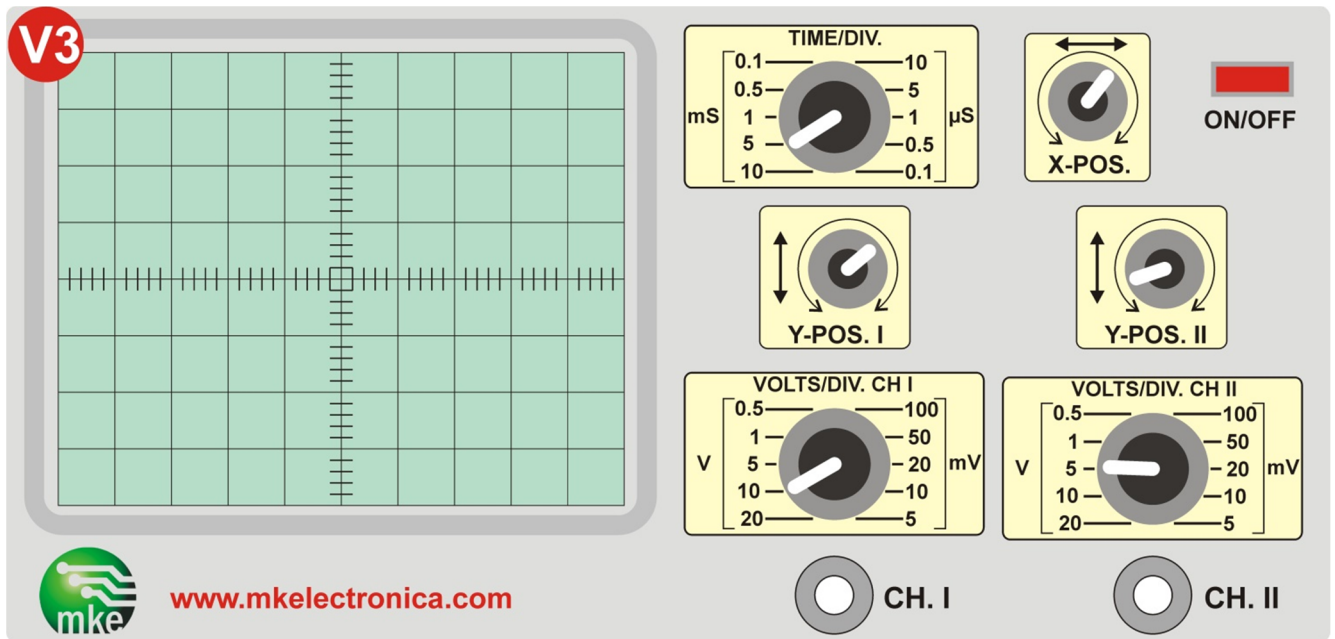
Ahora todo un reto. Trata de imaginar cómo serían las tensiones V1, V2 y V3 y dibújalas sobre la pantalla cuadrículada de nuestro osciloscopio virtual. Fíjate cómo están los mandos de **TIME/DIV** y **VOLTS/DIV**. **CH I** para cada caso.



Señal V1 entre GND y uno de los extremos 12VAC



Señal V2 entre GND y el otro de los extremos 12VAC

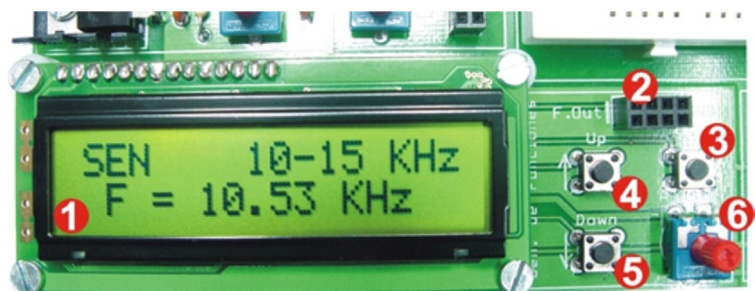


Señal V3 entre los dos extremos 12VAC

P3: EL GENERADOR DE FUNCIONES

Es una pena no disponer de un osciloscopio real que nos permite ver las señales que ofrece el generador de funciones de nuestro entrenador Universal Trainer. Nos las vamos a imaginar y a dibujar sobre la pantalla cuadrículada de nuestro osciloscopio virtual. No es lo mismo, lo sé, pero por lo menos nos familiarizaremos con los controles básicos de un osciloscopio convencional.

El generador de funciones nos suministra tres señales alternas: cuadrada (o digital), sinusoidal y triangular:

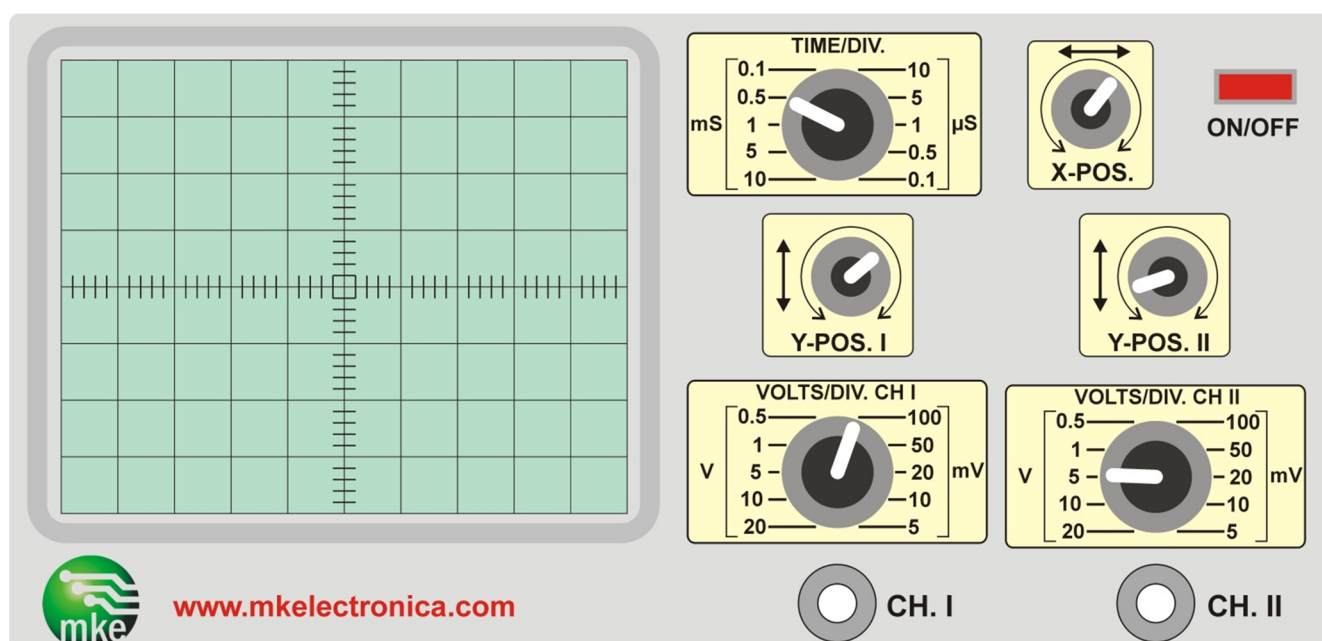


1. Pantalla LCD que visualiza los ajustes actuales
2. Conector para la señal de salida entre los terminales F.Out y GND
3. Selecciona el tipo de señal de salida: cuadrada, sinusoidal y triangular
4. Aumenta la escala
5. Disminuye la escala
6. Ajuste fino de la frecuencia de salida dentro de la escala seleccionada.

Te recuerdo que la amplitud de la señal de salida para las ondas sinusoidales y triangulares es de 600 mVpp mientras que la onda cuadrada tiene una amplitud $V_p = V_{ef} = 5V$.

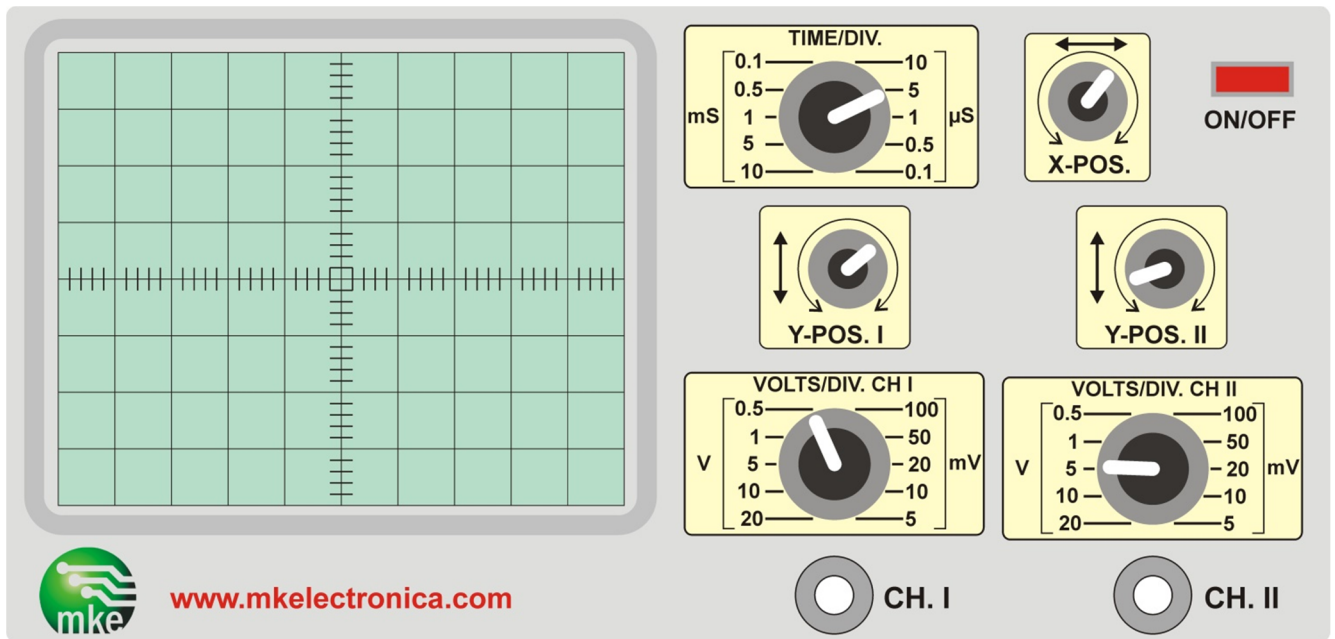
Ejercicio 3: Representación de señales sinusoidales

Ajusta el generador para que produzca una señal sinusoidal de 625 Hz. Imagínatela y dibújla sobre la pantalla graduada del osciloscopio virtual. Presta atención a la posición de los mandos **TIME/DIV** y **VOLTS/DIV. CH I**



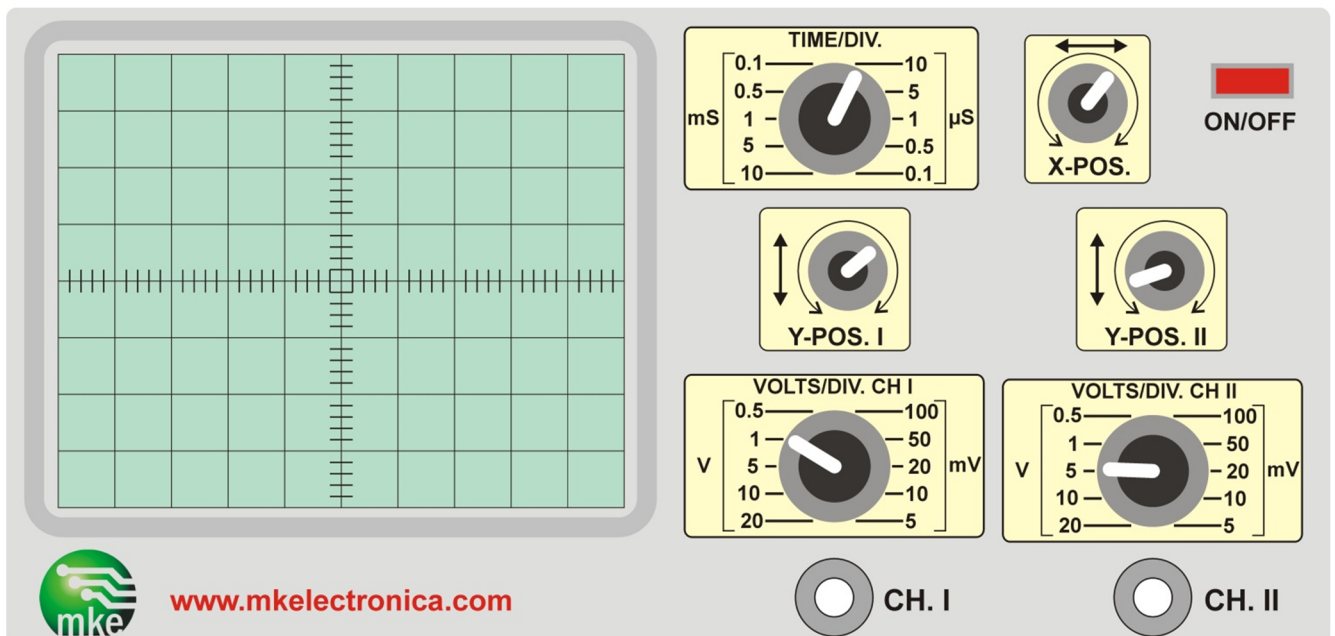
Ejercicio 4: Representación de señales Triangulares

Ajusta el generador para que proporcione una señal triangular con un frecuencia de 95KHz y a continuación la dibujas sobre la pantalla virtual. Presta atención a la posición de los mandos **TIME/DIV** y **VOLTS/DIV. CH I**



Ejercicio 5: Representación de señales Cuadradas

Ajusta el generador para que proporcione una señal digital de onda cuadrada con una frecuencia de 40KHz. Como en los ejercicios anteriores la dibujas sobre la pantalla virtual. Presta atención a la posición de los mandos **TIME/DIV** y **VOLTS/DIV. CH I**



P4: CIRCUITOS CAPACITIVOS (RC) EN AC

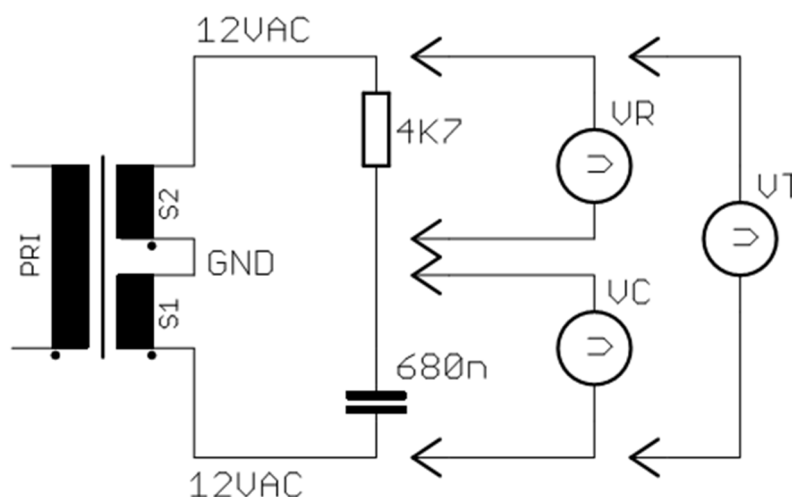
P4-1 Un circuito básico

Cuando a un circuito formado por un condensador se le aplica una tensión alterna, la intensidad que lo recorre está adelantada con un desfase de 90° respecto a la tensión V_C en el condensador. Si a ese circuito se le añade una resistencia, la intensidad estará en fase con su tensión V_R . La tensión aplicada no está en fase ni con V_C ni con V_R , estará desfasada un ángulo comprendido entre 0 y 90° . Esta tabla resume las ecuaciones más importantes.

ECUACION	DESCRIPCIÓN
$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$	X_C (Reactancia capacitiva) Representa a la resistencia que presenta el condensador al paso de la corriente. Depende de la frecuencia f (en hercios) y de la capacidad C (en faradios)
$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	Z (Impedancia) Representa a la resistencia total del circuito. Es la suma vectorial (NO algebraica) de la resistencia R y la reactancia X_C
$V_T = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$	V_T Representa la tensión total aplicada. Es la suma vectorial (NO algebraica) de la caída de tensión en la resistencia (V_R) y en el condensador (V_C)
$I = \frac{V_T}{Z}$	I Representa la intensidad total que consume el circuito
$V_R = R \times I$	V_R Es la caída de tensión que se produce en la resistencia
$V_C = X_C \times I$	V_C Es la caída de tensión que se produce en el condensador
$\sin \varphi = \frac{X_C}{Z}; \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \tan \varphi = \frac{X_C}{R}$	Los cocientes entre X_C/Z , R/Z y X_C/R permiten conocer el seno, el coseno o la tangente del ángulo de desfase y con él su valor en grados (usa una calculadora).

Ejercicio 6: Cálculos teóricos

Monta el circuito de la figura que emplea el secundario del transformador del entrenador Universal Trainer.



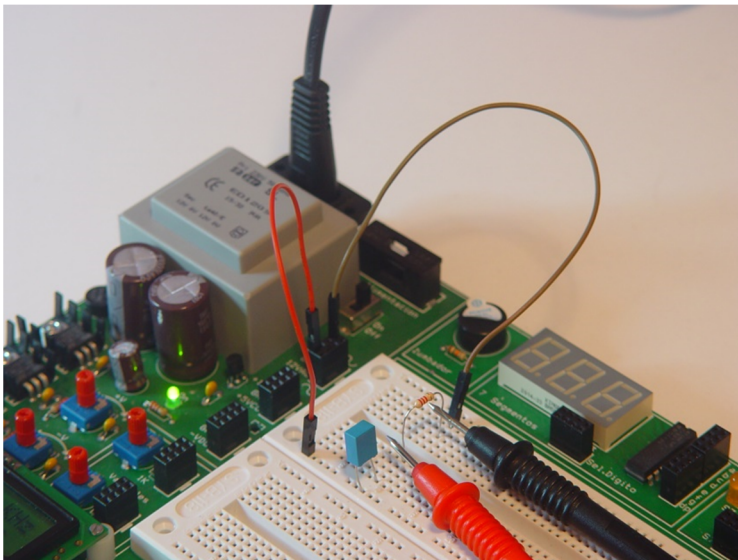
Realiza los cálculos teóricos oportunos suponiendo que la VT que proporciona el secundario del transformador es de 12VAC. Completa la tabla:

X_c	Z	I	V_R	V_C	V_T	$\text{Sen } \varphi$	Angulo φ

Ejercicio 7: Medidas prácticas

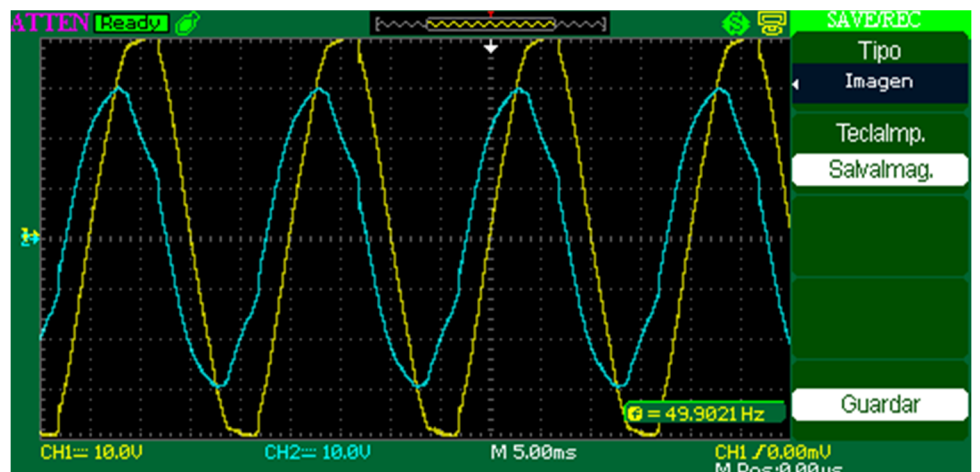
Ahora, con el polímetro en la escala de ACV, mide la tensión en V_R , V_C y V_L y las anotas a continuación. Compáralas con las calculadas anteriormente. Recuerda que el polímetro siempre mide tensión eficaz (V_{ef}).

V_T	V_R	V_C



Por mucho que se trate de un circuito serie, donde sabes que las caídas de tensión en cada componente se suman, puedes comprobar que esta suma algebraica de $V_C + V_R$ **NO** es igual a V_T . La suma algebraica de $V_R + V_C$ es notablemente mayor que la tensión total aplicada. ¡¡ Menudo chollo !!

No. En un circuito capacitivo (RC) al que se le aplica una tensión alterna, debes hacer la suma vectorial ya que las tensiones V_R y V_C están desfasadas entre sí en un ángulo comprendido entre 0 y 90°. En este ejemplo como X_C se parece bastante a R , el desfase es de unos 45° aproximadamente. En la figura tienes una imagen (un poco distorsionada) de lo que ve mi osciloscopio. El trazo amarillo (CH1 = 10.0 V/DIV) representa la tensión total aplicada (V_T) y el trazo azul (CH2 = 10.0 V/DIV.) la tensión en V_R .



Ejercicio 8: Una modificación

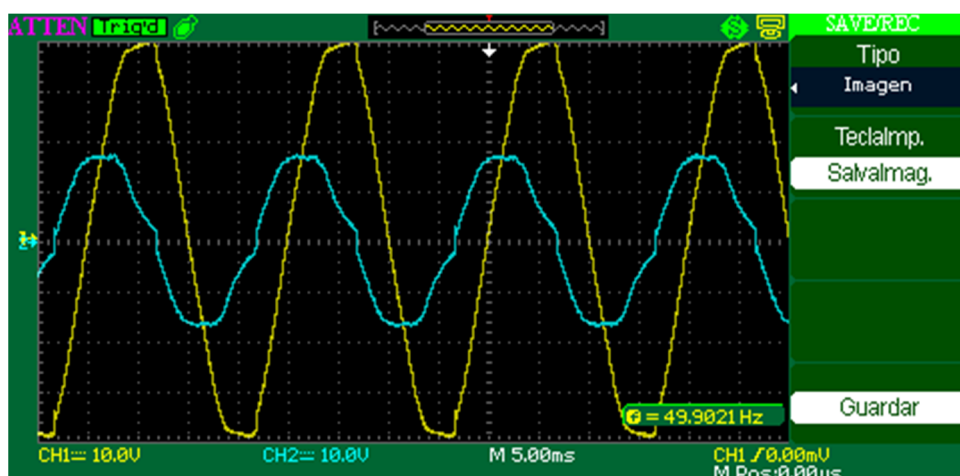
Vas a cambiar el valor de la resistencia de $4K7\Omega$ por otra de $2K2\Omega$, casi la mitad. Repite los cálculos teóricos y los anotas en la tabla.

Xc	Z	I	VR	VC	VT	Sen ϕ	Angulo ϕ

Nuevamente, mediante el polímetro en la escala de ACV, realizas las medidas de VT, VR y VC. Las anotas en la tabla y las comparas con las teóricas.

VT	VR	VC

Nuevamente se cumple que $VT \neq VR + VC$. No sirve hacer la suma algebraica, hay que hacer la suma vectorial: $VT = \sqrt{VR^2 + VC^2}$



En esta ocasión, al ser Xc mayor que R, se dice que el circuito tiene un carácter más capacitivo que resistivo. Vc es mayor que VR y el ángulo de desfase también es mayor. Esto es lo que veo con mi osciloscopio.

Además de la distorsión o deformación de la forma sinusoidal en VR, se aprecia claramente que es menor que en la imagen anterior y, si te fijas bien, el desfase es mayor.

P4-2 Aplicación práctica: el desplazamiento de fase

Vamos a hacer los cálculos a la inversa. En algunas ocasiones es necesario un circuito capacitivo RC que produzca un determinado desfase. En este ejemplo deseamos un desfase de 60° a una frecuencia de 10KHz.

Ejercicio 9: Cálculos teóricos

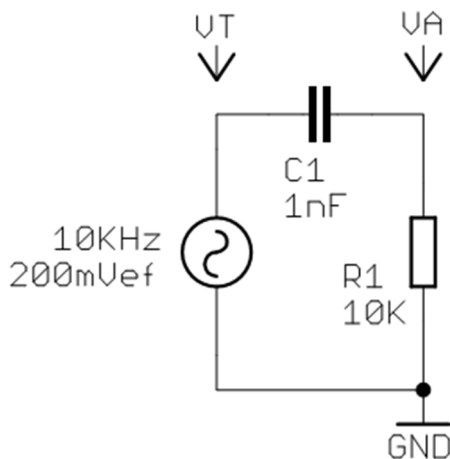
Como hay mucha más variedad para elegir los valores de las resistencias que los valores de los condensadores, es mejor partir de un valor fijo para el condensador C y calcular entonces el valor de la resistencia R .

Vamos a calcular el valor de R necesario para que a una frecuencia de 10KHz y con un condensador de 1 nF, nuestro circuito RC produzca a su salida una señal desfasada 60° respecto a la de entrada.

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} = \frac{1}{2 \times 3.1416 \times 10000 \times 1^{-9}} = 159.15$$

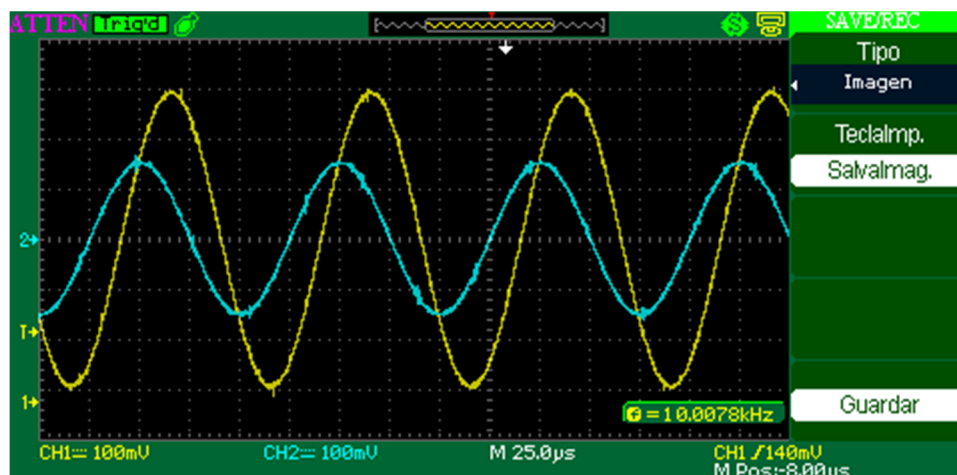
$$\tan \phi 60^\circ = 1.7320 \text{ (con la calculadora)}$$

$$R = \frac{X_C}{\tan \phi} = \frac{159.15}{1.7320} = 9188\Omega = 10\text{ K}\Omega$$

Ejercicio 10: Montaje práctico

Con todo esto, nos queda el siguiente circuito. En él emplearemos el generador de funciones del entrenador Universal Trainer (o equivalente) para que suministre al circuito una señal sinusoidal de 10 KHz. Este generador ofrece una tensión de 600 mVpp, por la que la tensión eficaz será de unos 200 mV.

Lo ideal sería disponer de un osciloscopio para ver la relación entre la señal de entrada V_T con la señal de salida V_A , en R_1 . Si esto no es posible te tendrás que conformar con la imagen que facilita el osciloscopio con el que he hecho el experimento.

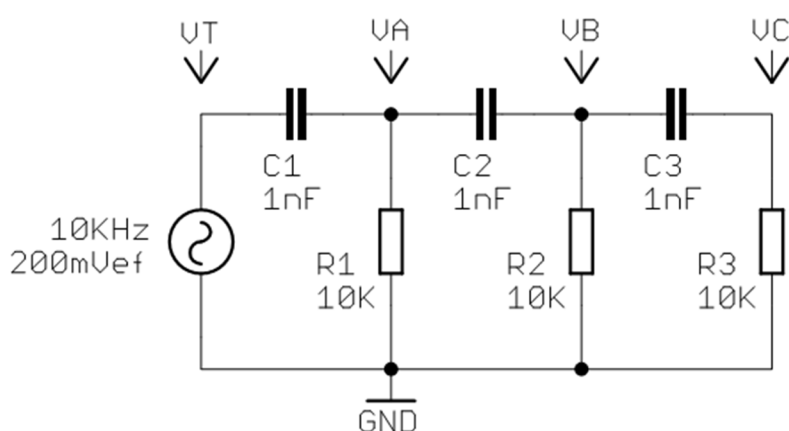


El trazo amarillo se corresponde con la señal de la tensión total V_T aplicada. Observa que $CH1=100\text{mV/DIV}$, luego $V_{pp} = 600 \text{ mV}$ y por tanto $V_{ef} = 212 \text{ mV}$.

El trazo azul se corresponde con la tensión de la señal V_A , entre los extremos de la resistencia R_1 . Observa que $CH2=100\text{mV/DIV}$, luego $V_{pp} = 300 \text{ mV}$ y por tanto la tensión eficaz $V_R = 106 \text{ mV}$. También puedes observar que esta tensión V_A está desfasada unos 60° respecto a la total aplicada V_T . Prueba a hacer los cálculos teóricos para ver si coinciden esos valores. Completa la tabla

X_c	Z	I	V_A	V_{C1}	V_T	$\text{Sen } \varphi$	Angulo φ

Ejercicio 11: Circuito para el desfase de 180°

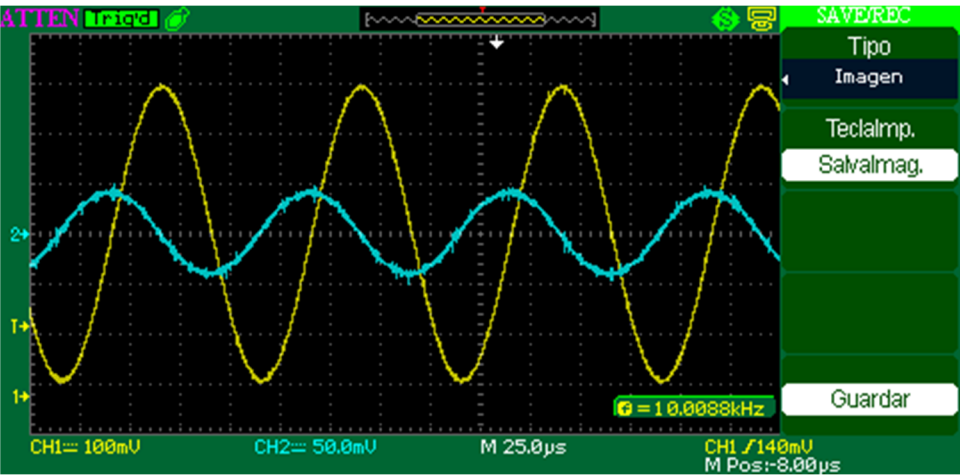
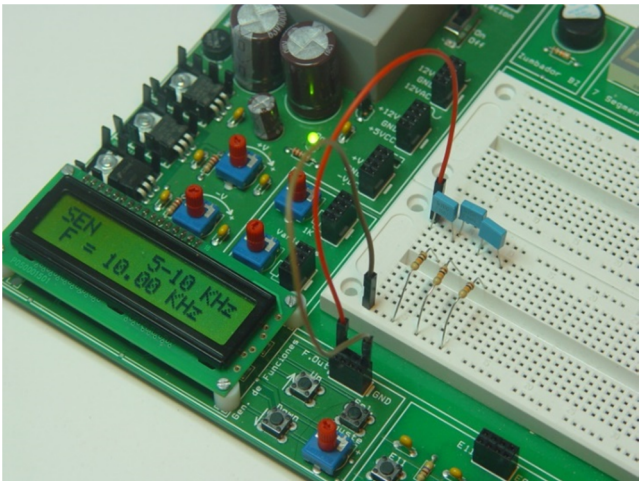


¿Qué pasa si a la salida del circuito RC anterior (V_A) le conectamos otro circuito RC idéntico, y a la salida de este otro más? Mira el circuito del esquema y su montaje práctico equivalente...

En V_T tienes la tensión total aplicada desde el generador. Es una señal sinusoidal de 10 KHz y 200 mV . En V_A tienes la señal en extremos de R_1 . Está desfasada en 60° y su valor es de 106 mV como calculaste en el ejercicio anterior.

En VB tenemos la señal de 10 KHz desfasada otros 60 ° respecto a la señal en VA y 120° respecto a VT.

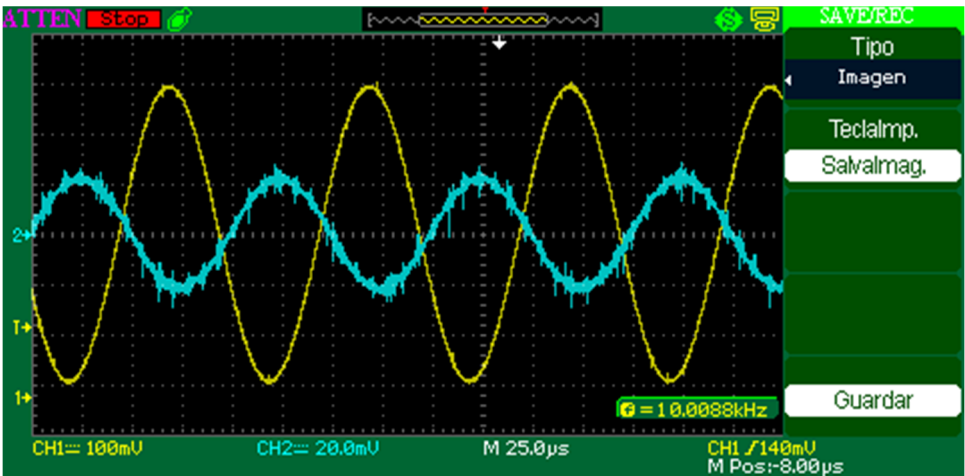
En la imagen de abajo tienes la tensión total VT representada mediante el trazo amarillo. El trazo azul representa la señal en VB. Fíjate que CH2=50mV/DIV.



Ya que VA actúa ahora como entrada de esta segunda célula RC. Calcula la tensión eficaz en VB.

Xc	Z	I	VB	VC2	VT	Sen φ	Angulo φ

Por último VB actúa como entrada a la tercera célula RC cuya señal de salida, VC, está presente en la resistencia R3. El desfase total es de 180° respecto a VT. Calcula la tensión eficaz. Mira los oscilogramas.



En amarillo puedes ver la señal VT de entrada y en azul la señal de salida en VC. Observa que esta última está desfasada 180° respecto a VT. Fíjate también que CH2=20.0mV/DIV. Calcula la tensión eficaz en VC y completa la tabla.

Xc	Z	I	VC	VC3	VT	Sen φ	Angulo φ

La razón de que la señal azul, la que hay en VC, aparezca distorsionada es debido a su bajo valor, en torno a los 14 mV (0.014 V).

P5: CIRCUITOS INDUCTIVOS (RL) EN AC

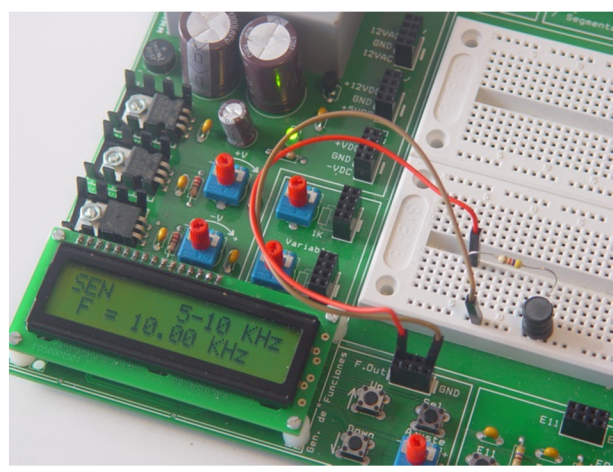
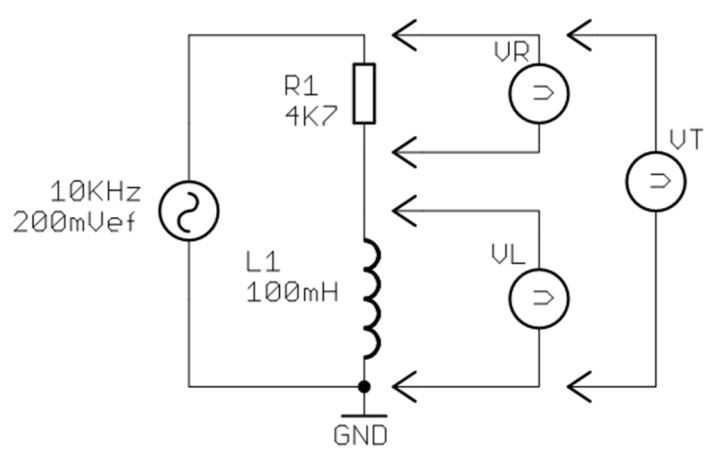
P5-1 Un circuito básico

Cuando a un circuito formado por una bobina se le aplica una tensión alterna, la intensidad que lo recorre está retrasada con un desfasada 90° respecto a su tensión VL. Si al circuito se le añade una resistencia, la intensidad estará en fase con su tensión VR. La tensión VT aplicada no está en fase ni con VL ni con VR, estará desfasada un ángulo comprendido entre 0 y 90°. Esta tabla resume las ecuaciones más importantes.

ECUACION	DESCRIPCIÓN
$XL = 2 \times \pi \times f \times L$	XL (Reactancia inductiva) Representa a la resistencia que presenta la bobina al paso de la corriente. Depende de la frecuencia f (en hercios) y de la inductancia L (en henrios)
$Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$	Z (Impedancia) Representa a la resistencia total del circuito. Es la suma vectorial (NO algebraica) de la resistencia R y la reactancia XL
$VT = \sqrt{VR^2 + VL^2}$	VT Representa la tensión total aplicada. Es la suma vectorial (NO algebraica) de la caída de tensión en la resistencia (VR) y en la bobina (VL)
$I = \frac{VT}{Z}$	I Representa la intensidad total que consume el circuito
$VR = R \times I$	VR Es la caída de tensión que se produce en la resistencia
$VL = XL \times I$	VL Es la caída de tensión que se produce en la bobina
$\sin \varphi = \frac{XL}{Z}; \cos \varphi = \frac{R}{Z}; \tan \varphi = \frac{XL}{R}$	Los cocientes entre XL/Z, R/Z y XL/R permiten conocer el seno, el coseno o la tangente del ángulo de desfase y con él su valor en grados.

Ejercicio 12: Cálculos teóricos

Monta el circuito de la figura que emplea el generador de funciones del entrenador Universal Trainer. Lo debes ajustar para que suministre una señal sinusoidal de 10KHz.



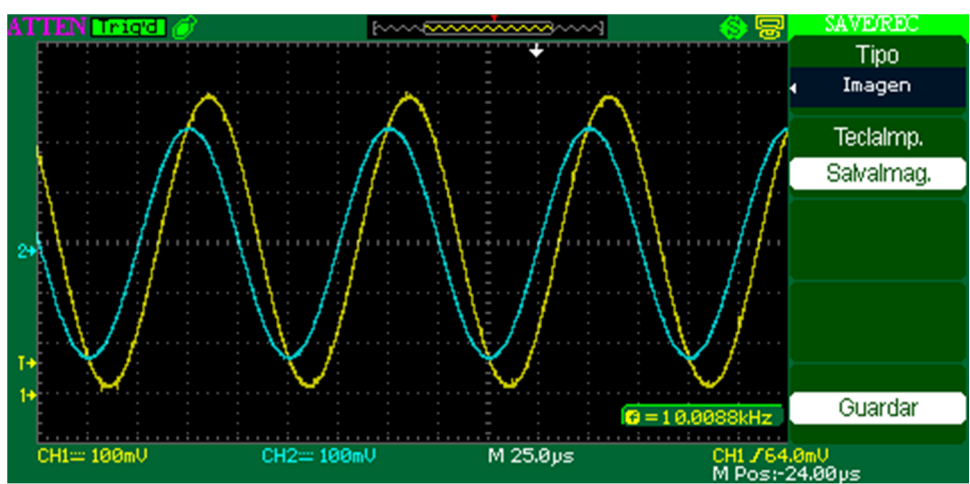
Realiza los cálculos teóricos oportunos. Ya sabes que el valor de la tensión que proporciona el generador es de unos 200 mVef. Completa la tabla:

XL	Z	I	VR	VL	VT	Sen φ	Angulo φ

Ejercicio 13: Medidas prácticas

Por desgracia aquí no vas a poder usar el polímetro en ACV ya que las tensiones a medir son muy pequeñas. Lo propio es emplear el osciloscopio. Si eres uno de esos afortunados podrás completar esta tabla.

VT	VR	VL



En caso contrario confórmate con la figura en donde se muestra la señal VT (trazo amarillo) y la señal VL (trazo azul).

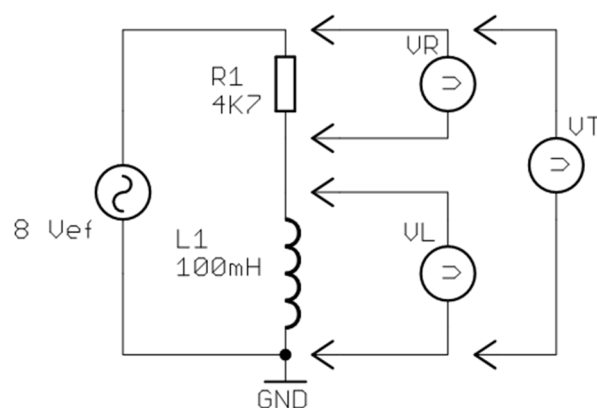
P5-2 Aplicación práctica: Los filtros pasivos

Consisten en circuitos RC o RL que a determinadas frecuencias presentan una mayor o menor impedancia. ¿Para qué sirven? Pues como su nombre indica sirven para filtrar señales de una frecuencia concreta.

Los filtros de "paso bajo" dejan pasar las señales de baja frecuencia mientras que las de alta frecuencia son atenuadas hasta hacerlas despreciables. Los filtros de "paso alto" actúan al revés. Dejan pasar las señales de frecuencias elevadas al tiempo que atenúan las señales de baja frecuencia.

Ejercicio 14: Cálculos teóricos

Voy a aprovecharme de tu infinita paciencia. Partimos de un circuito RL como el del esquema. Se le aplica la señal de un generador de funciones que produce una señal sinusoidal de frecuencia variable y una tensión eficaz de 8V. Completa la siguiente tabla con los diferentes valores que se obtienen en función de la frecuencia que se aplica al circuito. Te vas a hartar de hacer cálculos. Ten paciencia.



FRECUENCIA	XL	Z	I	VR	VL
5 KHz					
10 KHz					
15 KHz					
20 KHz					
25 KHz					
30 KHz					
35 KHz					
40 KHz					
45 KHz					
50 KHz					

Ejercicio 15: Representación gráfica

Se dice que una imagen vale más que mil palabras. Para terminar esta "tediosa" unidad 5 te propongo que pases los valores de la tabla anterior a la siguiente gráfica. En el eje vertical anota la tensión calculada tanto en VL como en VR. El eje horizontal representa el valor de la frecuencia aplicada.

Si analizas la gráfica de la la señal en extremos de la resistencia (VR) verás que a mayor frecuencia menor es su tensión. Es decir, la señal se atenúa. Es un filtro de "paso bajo". Por el contrario fíjate en la señal presente en extremos de la bobina (VL). Observa que a mayor frecuencia mayor es su tensión. Es un filtro de "paso alto".

