



MATRIX | locktronics[®]

Three phase systems



LK2686

MATRIX
www.matrixtsl.com

Copyright © 2014 Matrix Multimedia Limited

	Introducción	3
Ficha 1	-CA monofásica	9
Ficha 2	-Ac trifásica	11
Ficha 3	-Fases básicas	13
Ficha 4	-Y ahora el fasor	15
Ficha 5	-Es una estrella	17
Ficha 6	-En el delta	19
Ficha 7	-Rectificación de media onda	21
Ficha 8	-Rectificación de onda completa	23
Ficha 9	-Entregar energía	25

En hardware:



El hardware:

Generador trifásico

- convierte la red de CA monofásica en trifásica. Estas pueden comportarse como tres fuentes separadas de alimentación de CA, o pueden enlazarse como una sola fuente.

Motor trifásico

- contiene tres conjuntos independientes de bobinas, cada uno de los cuales utiliza una alimentación de CA para producir un campo magnético giratorio en el interior del motor. Esto crea un par que hace girar el rotor del motor.

Osciloscopio digital

- se utiliza para estudiar las señales de CA que intervienen en los sistemas trifásicos;
- puede crear archivos de imagen que registren estas señales para su posterior análisis, o como registros del comportamiento de los sistemas trifásicos.

Pinza de corriente

- genera una tensión que refleja el tamaño y la dirección de la corriente alterna;
- está conectado al osciloscopio digital, que muestra gráficos de tensión/tiempo, pero no puede mostrar directamente la corriente alterna.

Multímetro

- mide la tensión, la corriente, la resistencia y una serie de magnitudes relacionadas;
- no puede "seguir" señales que cambian rápidamente;
- muestra los valores eficaces (root-mean-square) de las magnitudes de CA normalmente.

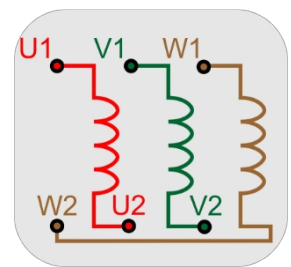
Utilización de hardware

Generador trifásico

- dispone de controles que permiten al usuario realizar ajustes:
 - amplitud de la señal, a 6V o 9V;
 - frecuencia de la señal, a 0,1Hz (variable), 0,1Hz fija, 1 Hz, 50Hz y 150Hz;
- tiene tomas rojas, verdes y amarillas para las tres fases, y azules para la conexión del neutro;
- puede suministrar corrientes de hasta 0,8 A desde cada fase;
- dispone de LED en cada fase que indican sobrecargas o cortocircuitos.

Motor trifásico

- tiene tres juegos de bobinas, **U**, **V** y **W**, que utilizan las señales trifásicas para producir campos magnéticos giratorios. Cada una crea cuatro polos magnéticos (dos "norte" y dos "sur"), por lo que se conoce como motor tetrapolar;
- tiene un rotor de jaula de ardilla en el que los campos magnéticos giratorios inducen corrientes;
- puede funcionar como un motor monofásico (véase la hoja de cálculo 4);
- dispone de un disco estroboscópico para facilitar la medición de la velocidad de rotación.



Osciloscopio digital

- monitoriza señales, normalmente variables en el tiempo, y presenta sus resultados en forma de gráfico tensión / tiempo.
- Los osciloscopios digitales utilizan técnicas de procesamiento digital para obtener los resultados. (Para este curso se puede utilizar cualquier osciloscopio, aunque a veces es necesario monitorizar cuatro señales simultáneamente. Más adelante se dan más instrucciones sobre el uso del Picoscopio).

Pinza de corriente

- tiene un mango para abrir las mordazas y poder sujetarlas alrededor del cable que transporta la corriente;
- puede utilizarse con corriente alterna y continua;
- produce una tensión de salida proporcional a la corriente;
- tiene dos rangos - 1mV/10mA y 1mV/100mA, que permiten medir hasta 20A y 60A;
- tiene un interruptor para seleccionar los rangos (y encendido/apagado.)

Multímetro

- Para medir la tensión:
 - enchufe las sondas en 'V Ω Hz' (o equivalente,) y 'COM';
 - seleccione la gama, CA o CC;
 - conecte las sondas en paralelo con el dispositivo sometido a prueba.
- Para medir la corriente:
 - enchufe las sondas en 'mA' o '10A' (o equivalente) y 'COM';
 - seleccione la gama, CA o CC;
 - interrumpa el circuito justo antes o después del dispositivo sometido a prueba y conecte las sondas a cada extremo de la interrupción;
 - (La ausencia de lectura puede significar que el fusible interno se ha "fundido").

Consideraciones energéticas:

En ciencias elementales e ingeniería, la potencia eléctrica, P , se calcula mediante la fórmula:
 $P = \text{corriente } I \times \text{tensión } V$

En los circuitos de corriente continua no hay ningún problema. Las corrientes estacionarias sólo implican resistencias, en las que la tensión y la corriente están en fase. Cuando fluye una corriente, la resistencia disipa energía y se calienta.

Sin embargo, en los circuitos de CA, la corriente y la tensión pueden no estar en fase.

- En los condensadores, la corriente "adelanta" a la tensión con un desfase de 90° .
- En los inductores, la tensión "adelanta" a la corriente con un desfase de 90° .

Como sugiere la fórmula anterior, para suministrar potencia se necesita una tensión y una corriente. En los gráficos siguientes, cuando la tensión y la corriente son positivas o negativas, la potencia es positiva. Decimos que se suministra potencia al circuito. Cuando uno es positivo y el otro negativo, la potencia es negativa - decimos que la potencia vuelve a la alimentación.

En el gráfico de la resistencia, la tensión y la corriente están siempre en fase. ¡la resistencia se calienta!

fluye corriente, ¡la resistencia se calienta!

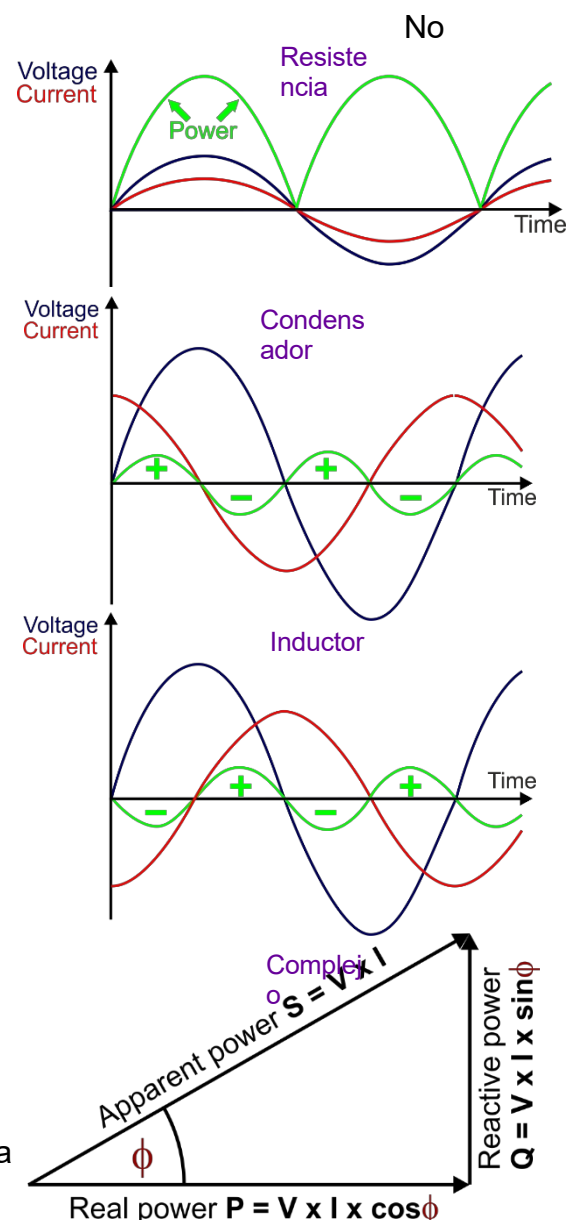
La resistencia recibe corriente todo el tiempo.

El gráfico del condensador muestra que la corriente disminuye a medida que aumenta la tensión en el condensador. Cuando la corriente se invierte, el condensador se descarga y la tensión cae. Aunque hay tensión y corriente en todo momento, a veces se suministra energía al condensador para crear el campo eléctrico, y a veces se **devuelve** al circuito, cuando el campo se colapsa. Como son idénticas, la potencia **neta** suministrada es cero.

En el gráfico del inductor, una vez aplicada una tensión, se acumula lentamente una corriente. En el proceso, la energía se almacena en el campo magnético del inductor. Cuando la tensión y la corriente se invierten, la energía se devuelve a la alimentación. Una vez más, la potencia neta suministrada es cero.

El gráfico inferior muestra la situación en un circuito complejo, es decir, que contiene componentes resistivos y reactivos. Ahora, el ángulo de fase se sitúa entre 0° y 90° .

Ahora se suministra potencia neta al circuito.



Consideraciones sobre la alimentación, continuación...

En los circuitos de CA, la cuestión del desfase da lugar a tres medidas diferentes de la potencia eléctrica:

Potencia real (o verdadera, o activa):

Los únicos elementos del circuito que disipan realmente potencia son los que tienen resistencia, **R**. Esta potencia real **P**, medida en vatios (W), se calcula mediante las fórmulas:

$$P = I^2 R \quad RP = V^2 / R$$

(I = corriente eficaz, V = tensión eficaz)

Potencia reactiva:

es la potencia "imaginaria", **Q**, medida en "voltio-amperio-reactivo" (VAR), suministrada a los componentes con reactancia, **X**, es decir, condensadores e inductancias. Se calcula mediante:

$$Q = I^2 X \quad XQ = V^2 / X$$

Aunque aparentemente inútil, ya que suministra una potencia neta nula a cargas puramente reactivas, sigue fluyendo por el circuito, por lo que los cables, etc., deben ser capaces de manejarla.

Potencia aparente:

La potencia aparente, **S**, medida en "voltios-amperios" (VA), es la suma de la potencia real y reactiva, es decir, la potencia que la alimentación de CA parece suministrar a la carga, de impedancia **Z**.

Se puede calcular utilizando:

$$S = I^2 Z \quad ZS = V^2 / Z$$
$$oS = I \times V$$

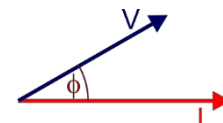
El tamaño relativo de estas tres medidas depende del "factor de potencia" del circuito.

Factor de potencia:

En un circuito de corriente alterna, la corriente, **I**, puede estar desfasada respecto a la tensión, **V**, en un ángulo de fase ϕ .

El diagrama lo muestra mediante fasores (véase la ficha 4).

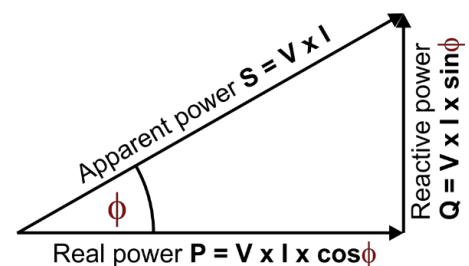
El término $\cos \phi$ se conoce como **factor de potencia**.



Utilizando fasores, los tres tipos de potencia pueden relacionarse en el "triángulo de potencia".

La potencia **real** utiliza la componente de la tensión que es en fase con la corriente, lo que conduce a: $P = V I \cos \phi$ La potencia **reactiva** implica el componente de tensión que es 90° fuera de fase con la corriente y así: $Q = V I \sin \phi$

La potencia **aparente** es la suma vectorial de la potencia real y reactiva, calculada mediante $S = V I$.



El factor de potencia puede calcularse a partir de la relación

$$\text{Factor de potencia} = \text{potencia real} / \text{potencia aparente}$$

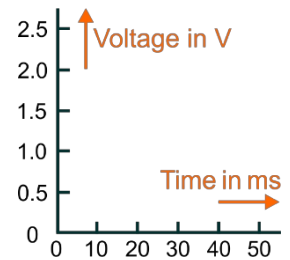
Uso del hardware continuado...

Osciloscopio digital

Un osciloscopio ('CRO') monitoriza señales, normalmente las que varían con el tiempo. Presenta los resultados en forma de gráfico tensión/tiempo.

Los controles básicos de los osciloscopios son:

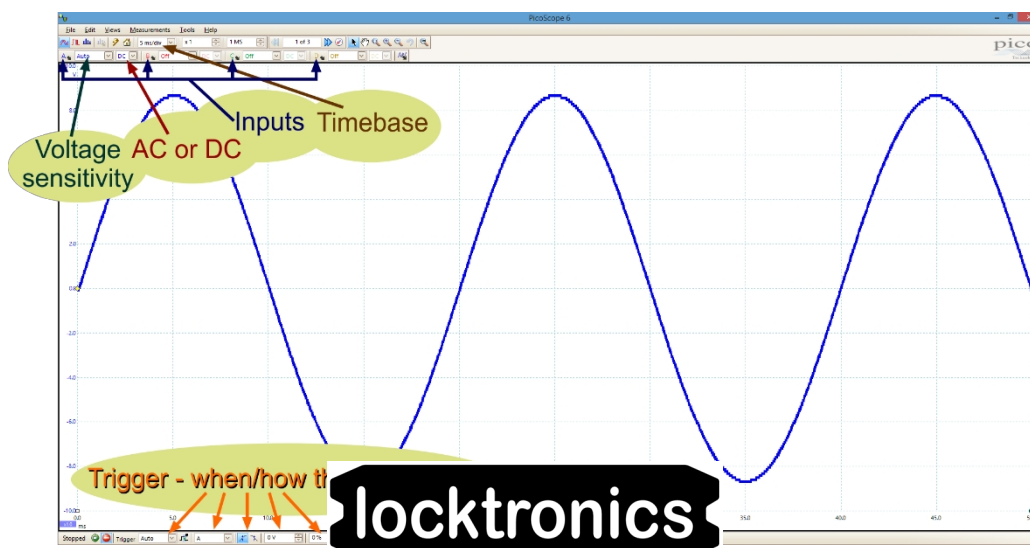
- Sensibilidad de tensión: establece la escala en el eje de tensión (vertical);
 - extiende el trazo verticalmente si un número más bajo es utilizado. El diagrama muestra un ajuste de 0,5 V/div.
- **Base de tiempo** - fija la escala en el eje temporal (horizontal). extiende la traza horizontalmente si se utiliza un número inferior. El diagrama muestra un ajuste de 10 ms/div.
- Disparador establece el umbral de tensión de la señal que inicia la recopilación
 - puede ajustarse para una señal ascendente o descendente a ese nivel de tensión.



Un osciloscopio informatizado, como el Picoscope, es un registrador de datos que supervisa las tensiones a intervalos regulares y transmite los resultados al software del ordenador. Allí, los datos se procesados para producir gráficos de tensión/tiempo, información de frecuencia, etc. que se mostrarán en el monitor, almacenado como un archivo, o impreso, como cualquier otra información en el ordenador. El Picoscopio utiliza los controles del osciloscopio descritos anteriormente, más:

- AC o DC
 - sólo muestra tensiones variables para 'AC' (así que centra la traza en 0V;)
 - muestra los niveles de tensión reales si se elige CC.
- **Stop /Go**
 - '**Stop**' - la traza se 'congela' (es decir, muestra un evento almacenado;)
 - '**Go**' - la traza muestra los eventos en tiempo real;
 - Haz clic en la casilla correspondiente para cambiar de una a otra.

Los ajustes se seleccionan en pantalla mediante los cuadros desplegable previstos para ello. El siguiente diagrama muestra algunos de los controles principales de la pantalla del Picoscope 6.



Picoscope continúa...

En este rastro:

Timebase - 5 ms/div - por lo que la escala de tiempo (eje horizontal) se marca en pasos de 5 ms.

Sensibilidad de tensión -auto- para que el software ajuste la escala de tensión (eje vertical) a la señal. La escala en el borde izquierdo de la imagen aumenta en pasos de 2V. La traza mostrada tiene un valor máximo de unos 8,7V.

Disparador -Auto- así se mostrarán los cambios en la señal a medida que se produzcan.

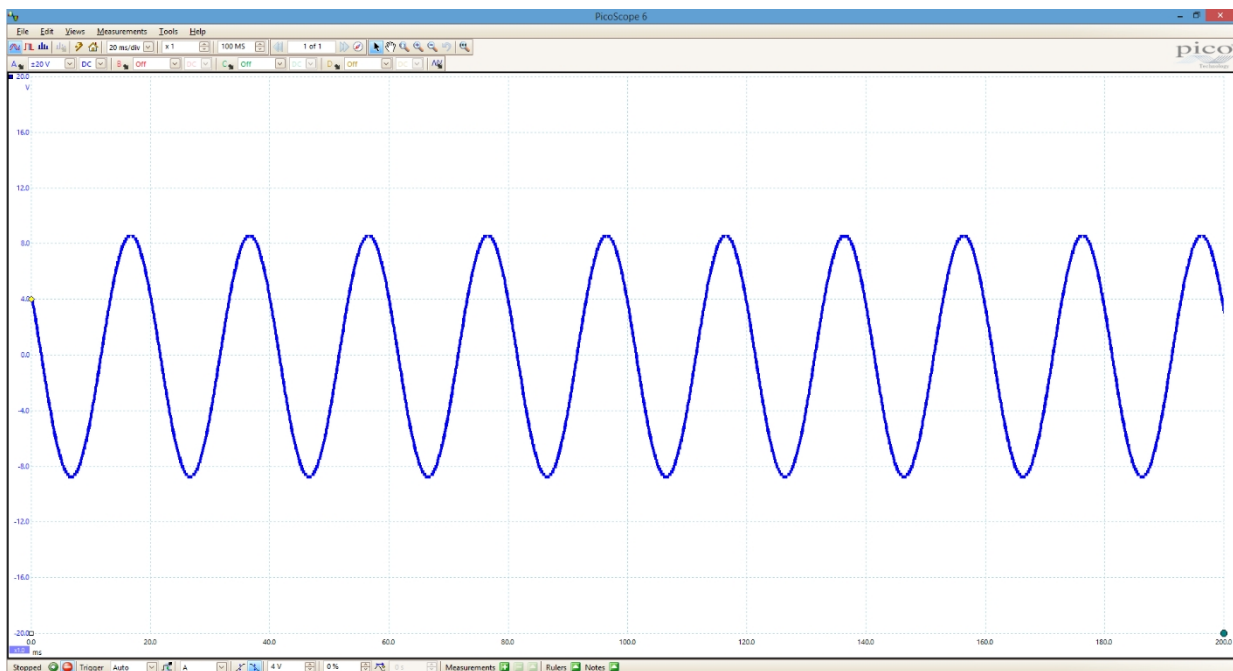
Canal **A** - mira la señal en el canal **A** para decidir cuándo iniciar la traza.

Subida - espera a que una tensión **ascendente** alcance el umbral;

Umbral - **0** mV - inicia la traza cuando la señal del canal **A** pasa por **0V**.

Predisparo - 0% - para que la visualización comience con el primer dato capturado.

En el siguiente trazo, la señal es la misma, pero se han cambiado algunos ajustes.



Nuevos ajustes:

Base de tiempo - 20 ms/div para que la escala de tiempo se marque en pasos de 20 ms.

Sensibilidad de tensión - 4V/div - para que la escala de tensión se marque en pasos de 4V.

La traza sigue teniendo un valor máximo de unos 8,7V.

Disparador - Auto por lo que todavía muestra cualquier cambio en la señal a medida que ocurren.

Canal A - sigue observando la señal del canal A para decidir cuándo iniciar la traza.

Caída - ahora espera a que una tensión descendente alcance el umbral;

Umbral - 4V - inicia la traza cuando la señal del canal A cae a 4V.

Pre-disparo - 0% - para que la pantalla comience con el primer dato capturado.

Encontrará más información sobre el uso de Picoscope en el Manual del usuario de Picoscope, que se encuentra en el CD-ROM que acompaña al instrumento o en el sitio www.picotech.com.

Ficha 1

CA monofásica



La electricidad de la red se distribuye tradicionalmente en corriente alterna. Las razones para ello son:

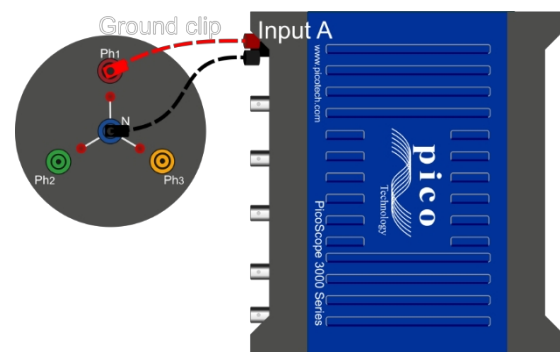
- Los alternadores que generan electricidad en las centrales eléctricas son más ligeros y baratos que los generadores de corriente continua equivalentes;
- Los transformadores pueden elevar o reducir la tensión, lo que permite la transmisión eficaz de energía eléctrica a alta tensión (y baja corriente) a grandes distancias.



Te toca a ti:

En esta hoja de ejercicios se estudian aspectos de la corriente alterna monofásica, utilizando la señal obtenida de una salida del generador trifásico, a través de las tomas 'Ph1' y 'N'.

- Construye el circuito que se muestra al lado.
- En el generador trifásico:
 - ajusta la frecuencia a 50 Hz;
 - ajusta la amplitud a 6V;
 - encender.



- Ajustes del picoscopio:

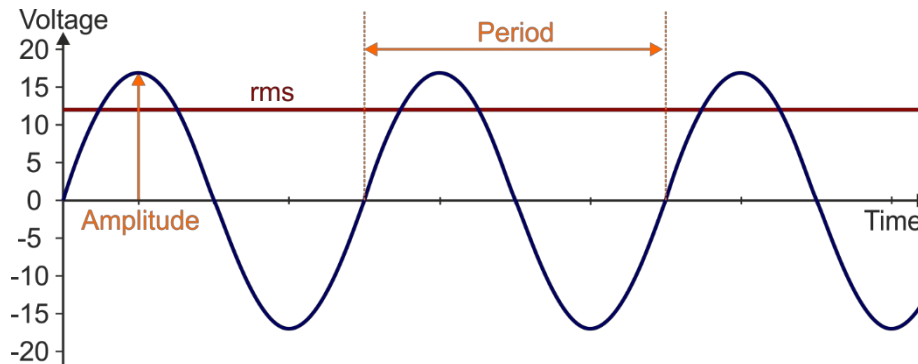
Base de tiempo	5 ms/div
Canal A	Auto
Canales B, C y	DOff
Disparo	Auto
Umbral	0V
Pre-disparo	0%

- Obtenga una traza que muestre la salida de CA y guárdela para sus archivos.
- Apague el generador trifásico.
- Ahora cambia los ajustes del generador trifásico a:
 - frecuencia 150 Hz
 - amplitud 9V.
- Utiliza el Picoscopio para obtener una nueva traza.
- Guárdalo para tus archivos, con los detalles de la nueva configuración.

Un reto

Investiga el efecto de cambiar los ajustes del Picoscopio.

¿Y qué?



Amplitud -la tensión máxima de la señal.

Periodo - tiempo que tarda en producirse un ciclo de la onda (es decir, 1 pico más 1 valle).
- medido en segundos.

Frecuencia: número de ciclos de la onda producidos por segundo;
- medido en hercios. (1 Hz significa un ciclo producido cadasegundo.)

La relación entre ellos es:

$$\text{Frecuencia} = 1 / \text{período}$$

Suministrando energía:

A veces, una fuente de alimentación de CA suministra cero voltios. Otras veces, suministra valores más altos o más bajos. Un dato inútil: ¡la tensión media de una alimentación de CA (cualquier alimentación de CA) es cero!

Esto NO significa que los suministros de CA no hagan nada, ¡ni mucho menos! - la potencia media suministrada NO es cero. (Para una resistencia, R, la potencia suministrada = V^2 / R , es decir, ¡depende de la tensión al cuadrado! Por lo tanto, la tensión puede ser negativa, pero la potencia suministrada sigue siendo positiva. Una tensión negativa significa simplemente que la corriente fluye en sentido contrario, como has visto en el tercer circuito).

Para una alimentación de CA, una medida más significativa que la tensión media es la tensión eficaz. Aunque significa "tensión cuadrática media", es mejor considerarla como la tensión continua que suministraría la misma potencia a una carga.

Para una señal senoidal, la tensión de pico y la tensión eficaz están unidas por:

$$V_{rms} = 0,7 \times V_{pico}$$

Para que lo sepas:

- Copia el diagrama de la señal de corriente alterna y explica el significado de los términos *amplitud*, *periodo* y *frecuencia*.
- Copia la tabla y utiliza las medidas que tomaste en la primera parte de la investigación para completarla.

Amplitud en V	Período en s	Frecuencia en Hz

- Copia y completa el enunciado calculando la tensión eficaz:

En el primer circuito, la tensión eficaz era

Corriente alterna trifásica

La energía eléctrica se transmite por todo el país mediante un sistema trifásico, en lugar de monofásico.

Las ventajas de la trifásica incluyen:

- menos cobre necesario para los cables de transmisión;
- dispositivos como los motores se ven menos afectados por las vibraciones - la potencia se suministra con mayor suavidad;
- Los alternadores trifásicos son más pequeños y ligeros que los trifásicos. versiones monofásicas equivalentes;
- tanto los dispositivos trifásicos como los monofásicos pueden alimentarse de una alimentación trifásica, pero lo contrario no es cierto.



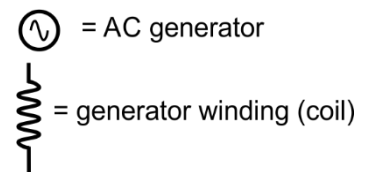
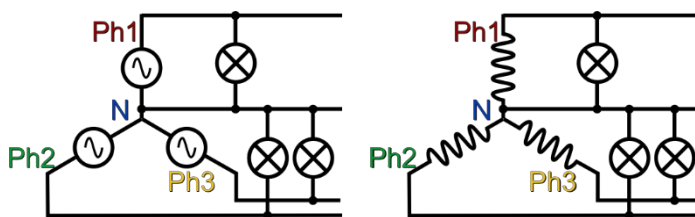
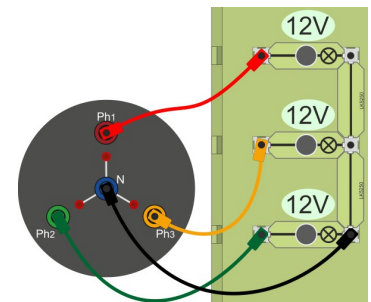
Esta hoja de ejercicios examina las propiedades básicas de la distribución trifásica de energía.

Te toca a ti:

Las dos investigaciones analizan por qué se llama así a la "trifásica": la primera a baja frecuencia, con lámparas, y la segunda a alta frecuencia, con el "Picoscopio".

- Construye el primer circuito, utilizando tres bombillas MES de 12V y sus soportes.
- En el generador trifásico, ajuste la frecuencia a 0,1 Hz (fija) y la amplitud a 6 V.
- Enciéndelo y observa las lámparas. No están ni escalonadas ni completamente desfasadas, sino que alcanzan su máxima luminosidad en momentos diferentes.

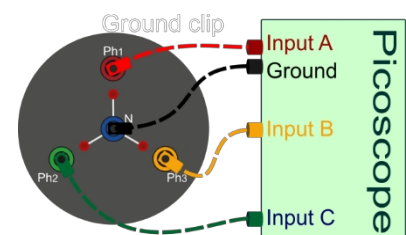
El siguiente diagrama muestra dos formas de representar este circuito, utilizando diferentes símbolos para el generador trifásico.



- Construya el segundo circuito, conectando el generador trifásico al Picoscopio, como se muestra. De nuevo, observe la pinza de masa que conecta la masa del Picoscopio al terminal 'N'.

Ajustes del picoscopio:

Base de tiempo	5 ms/div
Canales A, B y C	Auto
Disparador	Auto
Umbral	0V
Pre-disparo	0%



- Ajusta la frecuencia del generador a 50 Hz y la amplitud a 6 V y enciéndelo.
- Obtenga una traza que muestre las tres salidas y guárdela para sus archivos.

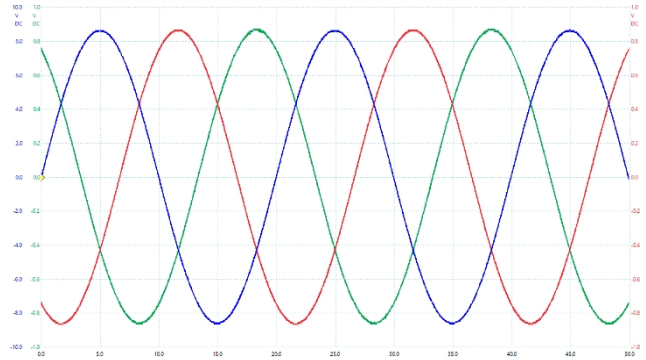
Ficha 2

Corriente alterna trifásica

¿Y qué?

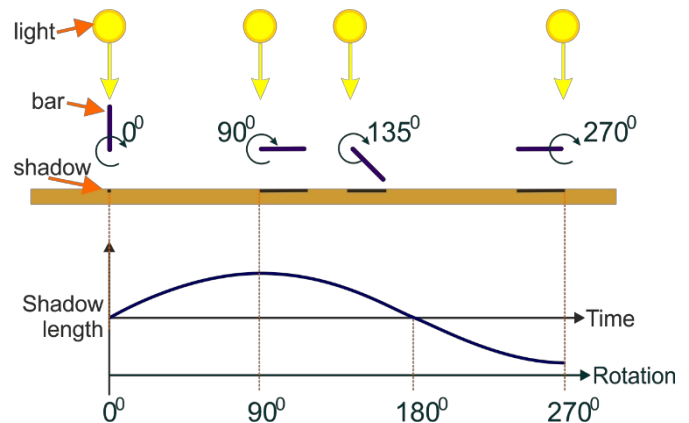
El diagrama de al lado muestra la salida típica del Picoscopio.

Cada fase, mostrada en colores diferentes, tiene el mismo periodo de tiempo, 20 ms. Alcanzan su punto máximo en momentos separados por $20/3 = 6 \frac{2}{3}$ ms.



Ángulo de fase:

Imagina una barra que gira alrededor de un extremo. Encima de ella brilla una luz que crea una sombra de la barra. A medida que la barra gira, la sombra se alarga, luego se acorta, luego se reduce a cero, luego se alarga en la otra dirección, y así sucesivamente.

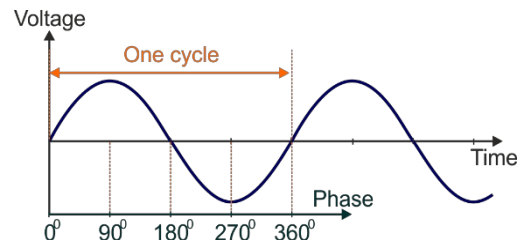


A medida que la barra sigue girando, la secuencia de sombras se repite. Una rotación completa de la barra crea un ciclo de la secuencia.

Podemos utilizar la misma idea para describir la fase en señales de tensión alterna. En este caso, el punto inicial y el punto final de un ciclo de la señal están separados por una diferencia de fase de 360° .

Utilizando la información anterior, un ciclo de cada fase dura 20 ms, por lo que los puntos que están separados 20 ms tienen un ángulo de fase de 360° entre ellos.

Los picos de las tres fases están separados por 6,66 ms. En otras palabras, las fases están separadas por ángulos de fase de $(360/20) \times 6 \frac{2}{3} = 120^\circ$.



Para que lo sepas:

- Describe cinco ventajas de la transmisión trifásica sobre la monofásica. (Es posible que tengas que investigar un poco sobre este tema, utilizando internet, por ejemplo).
- Dibuja dos ciclos de una señal sinusoidal. Añade una segunda señal en la que el ángulo defase entre ambas sea de 180° .
- Vuelva a hacer lo mismo, con un ángulo de fase de 270° entre las dos señales.

Ficha 3

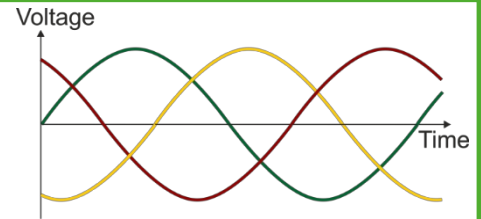
Más aspectos básicos de las fases



¡Es complicado!

Las tensiones y corrientes cambian de tamaño y dirección con el tiempo. Parece que hay tres fuentes separadas, todas con picos en momentos diferentes.

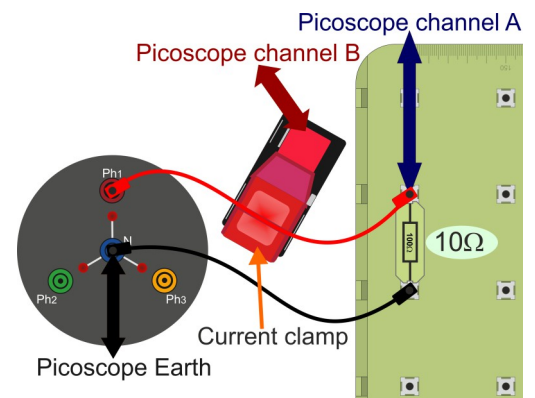
Necesitamos una palabra para describir todo esto: fase.



Te toca a ti:

Estas investigaciones se centran en la relación entre corriente y tensión en tres tipos diferentes de carga: resistiva, capacitiva e inductiva. La carga inductiva se crea uniendo en serie las bobinas del motor trifásico.

- Construye el circuito que se muestra al lado. Esta vez estamos monitoreando el voltaje de CA a través de la resistencia de 10Ω y la corriente que fluye a través de ella.
- Sujete las mordazas de la pinza amperimétrica alrededor de uno de los cables del generador trifásico.
- Utilice los mismos ajustes para la base de tiempos, para el canal A y para el disparador. Cambia el canal B a "Auto".
- Encienda la pinza amperimétrica, en el rango de 20A.
- **¡Compruebe que el generador trifásico está ajustado a la salida '6V' o la resistencia de 10Ω podría sobrecalentarse!**
Enciende el generador.
- Obtén un trazado que compare la tensión alterna a través de la resistencia con la corriente que circula por ella, y guárdalo para tus archivos.
- Observa que las dos señales de CA (la tensión a través de la resistencia y la corriente a través de ella), están en fase entre sí.
- Desconecte el generador trifásico y la pinza amperimétrica.



Un reto:

Utilizando el mismo método, modifica el circuito para obtener trazas de tensión y corriente para:

- un condensador de $33\mu\text{F}$;
- un inductor, fabricado utilizando una de las bobinas del motor.

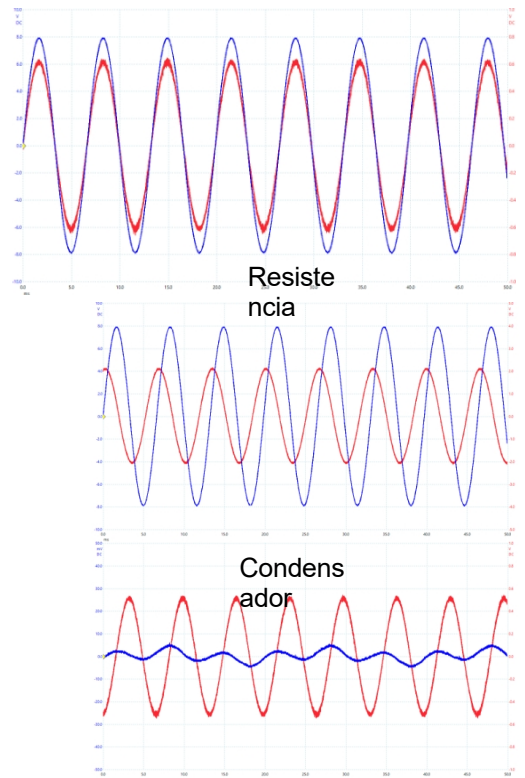
Ficha 3

Más aspectos básicos de las fases

¿Y qué?

Al lado se muestra una traza típica de Picoscope para la resistencia.

El trazo rojo indica la corriente que circula por la resistencia y el trazo azul la tensión a través de ella. Suben y bajan de forma escalonada. Están en fase.



Cuando modificó el circuito para investigar el otros componentes, debería haber obtenido trazas como las que se muestran al lado.

- En el condensador, la corriente alcanza su valor máximo cuando la tensión es cero.
- En el inductor, la tensión alcanza su valor máximo cuando la corriente es nula.

Ángulo de fase:

Utilizando los ángulos de fase, podemos refinar nuestras afirmaciones anteriores:

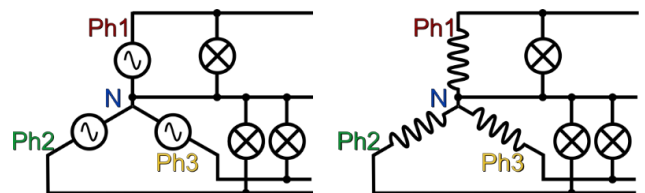
- En un condensador, la señal de corriente adelanta a la de tensión en un ángulo de fase de 90° .
- En el inductor, la tensión adelanta a la corriente en un ángulo de fase de 90° .

Tensión de fase frente a tensión de línea:

Al hablar de sistemas trifásicos, se utilizan dos medidas diferentes de tensión: la tensión de fase y la tensión de línea.

- Tensión de fase: medida entre una fase y el terminal común ('N').
- Tensión de línea: medida entre una fase y otra.

El circuito que montaste antes medía tensiones de fase.



Para que lo sepas:

- Copia el diagrama que muestra la diferencia entre la tensión de fase y la tensión de línea.
- Copie y complete la declaración:

Para una carga resistiva, la tensión y la corriente alterna son

- ¿Cuál es el ángulo de fase entre la corriente y la tensión en una resistencia?
- Copia las dos viñetas que describen los ángulos de fase en condensadores e inductores.

Ficha 4

Y ahora el faser

Es aún más complicado de lo que pensábamos.

Hemos visto que la corriente que circula por el componente puede no estar en fase con la tensión que lo atraviesa. Y lo que es peor, ¡el tamaño y la dirección de ambas cambian con el tiempo!

El lenguaje de la corriente alterna se amplía con la introducción del faser (no el "phaser", que pertenece a "Star Trek").

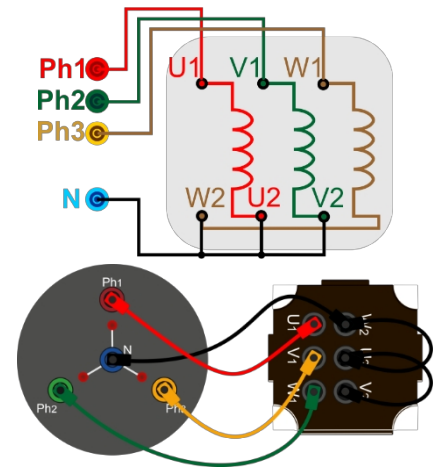
La hoja de ejercicios comienza utilizando el motor trifásico, en una alimentación trifásica y después en una monofásica, para pasar a continuación a los fasores y su interpretación.



Te toca a ti:

Alimentación trifásica:

- Construye el primer circuito, que se muestra al lado.
- Ajusta la frecuencia a 0,1Hz y la amplitud a 6V.
- Conecte la alimentación trifásica.
- Apoye con cuidado un dedo en el volante del motor, para juzgar la suavidad con la que se aplica el par.
- ¿Cuál es el efecto de poner la amplitud a 9V?
- ¿Cuál es el efecto de aumentar la frecuencia a 50 Hz?
- ¿Qué ocurre cuando se aumenta la frecuencia a 150 Hz?

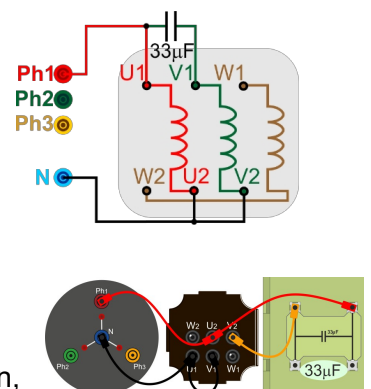


Desafíos:

Investiga qué ocurre cuando cambias las conexiones de fase del motor o dejas una desconectada. ¿Puedes invertir el sentido de giro?

Alimentación monofásica:

- Construye el segundo circuito, que se muestra al lado. Utiliza sólo una fase de la fuente de alimentación para accionar dos conjuntos de bobinas, las bobinas "U" y "V", (si están configuradas como en el diagrama). El condensador añade un desfase entre las alimentaciones de las dos bobinas.
- Con la misma frecuencia y amplitud de 6 V, enciéndelo.
- Cuando el motor esté en marcha, desconecte uno de los cables del condensador. Debería seguir funcionando.
- Una vez más, apoye un dedo en el volante del motor, para juzgar la suavidad con la que se aplica el par.
- ¿Necesita el motor la segunda bobina, o funcionará utilizando sólo la alimentación de una bobina? (Pruebe desconectando uno de los cables del condensador).
- Investiga los efectos de cambiar la frecuencia y la amplitud de la alimentación, con y sin el condensador conectado.



Ficha 3

Y ahora el fasor

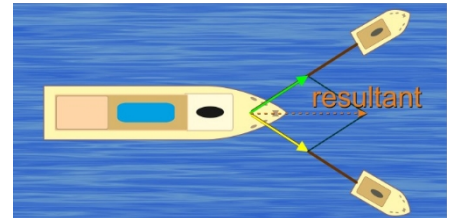


¿Y qué?

Para entender los circuitos de CA que contienen condensadores e inductores, es necesario comprender los fasores. El primer paso es examinar los vectores:

Vectores: las magnitudes vectoriales, como las fuerzas y las velocidades, sólo se describen completamente cuando se indican tanto el tamaño como la dirección. Combinarlas no es sencillo.

Por ejemplo, el diagrama muestra dos remolcadores tirando de un barco. La fuerza ejercida por cada remolcador se muestra como una flecha.

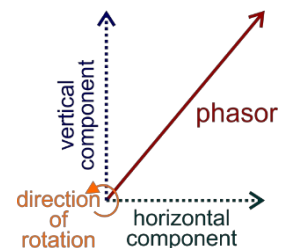


- su longitud representa el tamaño de la fuerza;
- su dirección es la dirección de la fuerza.

Para hallar la fuerza total (**resultante**), completa el paralelogramo y construye la diagonal, como se muestra. Su longitud da el tamaño de la fuerza resultante, su dirección, la dirección de la fuerza resultante.

Fasores: la corriente y la tensión tienen tamaño y dirección, como los vectores, pero cambian con el tiempo. También pueden representarse mediante flechas, pero éstas giran.

La longitud de la componente horizontal da el tamaño de la tensión o corriente en ese instante. A medida que el fasor gira, ésta aumenta hasta un máximo, disminuye hasta cero, aumenta y así sucesivamente, (como la barra giratoria de la ficha 2.) Dirección - cuando la componente horizontal está en el lado derecho del diagrama, la corriente fluye hacia la derecha, digamos, y cuando la componente está en el lado izquierdo, fluye hacia la izquierda.



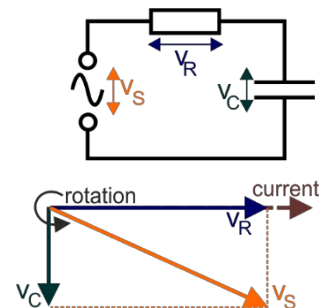
Combinación de fasores: también utiliza la regla del paralelogramo, pero la corriente es "arrastrada" por varias tensiones.

Por ejemplo, en el circuito descrito por el diagrama de al lado:

- la tensión de alimentación, **v_S** , se reparte entre la resistencia y el condensador;
- la corriente a través de ambos es la misma ya que están en serie;
- la corriente está en fase con la tensión de la resistencia, **v_R** , pero va por delante de la tensión del condensador, **v_C** , por 90° .

Esto conduce al diagrama de fasores de la figura de al lado. (Las longitudes de **v_R** y **v_C** son arbitrarias.) Aunque todos los fasores giran (a la frecuencia de alimentación), el diagrama muestra la situación cuando la corriente es máxima.

- Comprueba el diagrama para asegurarte de que puedes ver la información sobre **v_R** , **v_C** y la corriente. La regla del paralelogramo vectorial da **v_S** como resultante de **v_R** y **v_C** .



Para que lo sepas:

- Describe cómo un fasor de corriente contiene información sobre su tamaño y dirección.
- Copie el esquema del circuito y el diagrama fasorial indicados anteriormente. Explica la relación entre ellos.
- Se añade un inductor puro (sin resistencia) en serie con la resistencia y el condensador. Dibuja el esquema y el diagrama fasorial del nuevo circuito. Elige tamaños iguales para v_C y v_L . (Cuando se suman, ¡se anulan mutuamente!)

Ficha 5

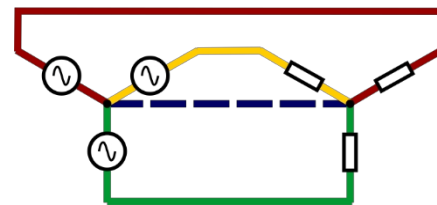
¡Es una estrella!



Existen dos formas de conectar cargas y suministros trifásicos: la configuración en estrella (o "Wye", por su parecido con la letra "Y") y la configuración en triángulo.

El diagrama muestra una alimentación trifásica conectada en estrella que impulsa una carga configurada en estrella.

En la configuración en estrella, hay un punto neutro en el que se conectan todas las fases o cargas.



Te toca a ti:

- Construye el circuito que se muestra al lado.
- En el generador trifásico, ajusta la frecuencia a 50 Hz y la amplitud a 6 V y enciéndelo.

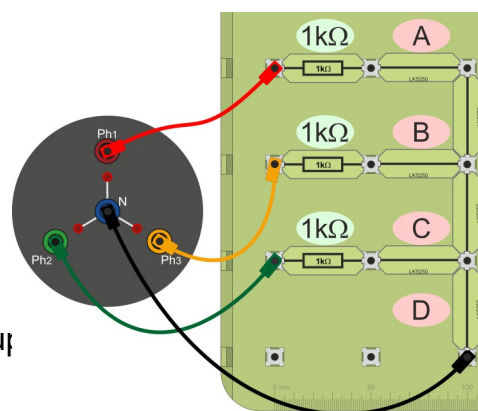
Tensiones en una configuración en estrella:

Tensiones de fase:

- Utilice un multímetro en el rango de 20VAC para medir la tensión de fase "roja", V_R , a través de la resistencia superior.
- Del mismo modo, mida la tensión de fase 'amarilla', V_Y , a través de la resistencia central y la tensión de fase 'verde', V_G , a través de la inferior.
- Introduzca todos los valores en la tabla.

Tensiones de línea:

- Con los mismos ajustes, mida la tensión de línea, V_{RY} , entre la fase "roja" y la fase "amarilla".
- Del mismo modo, mida las tensiones de línea V_{RG} y V_{RY} .
- Introduzca todos los valores en la tabla.



Tensión	Valor en V
Tensión de fase "roja", V_R	
Tensión de fase "amarilla", V_Y	
Tensión de fase "verde", V_G	
tensión de línea V_{RY}	
tensión de línea V_{RG}	
tensión de línea V_{YG}	

Corrientes en una configuración en estrella:

- Retire el eslabón de conexión A. Con un multímetro en 20 mA CA, mida la corriente de fase I_R , e introduzca el resultado en la tabla.
- Sustituya el eslabón de unión A.
- Del mismo modo, mida las corrientes de fase I_Y e I_G . Introduzca sus valores en la tabla.
- Retire el eslabón de conexión D. Mida la corriente en el conductor neutro, I_N y anote su valor en la tabla.

Actual	Valor en mA
Corriente de fase "roja", I_R	
Corriente de fase "amarilla", I_Y	
Corriente de fase "verde", I_G	
Corriente neutra, I_N	

Ficha 5

¡Es una estrella!



¿Y qué?

Tensiones de fase - Las magnitudes de las tres tensiones de fase son prácticamente idénticas. Esto se debe a la forma en que está construido el generador trifásico.

Tensiones de línea: la teoría predice la relación:

$$\text{Tensión de línea} = \sqrt{3} \times \text{Tensión de fase}$$

- Completa la tabla utilizando las medidas de la página anterior.

Tensión	Valor en V	$\sqrt{3}$ x tensión de fase
Tensión de fase "roja", V_R		
Tensión de fase "amarilla", V_Y		
Tensión de fase "azul", V_B		
tensión de línea V_{RY}		
tensión de línea V_{YB}		
tensión de línea V_{BR}		

- ¿Apoyan los resultados esta relación?

Corriente en una configuración en estrella -

Este circuito tiene la fuente de alimentación trifásica conectada en estrella y las cargas conectadas en estrella. Los puntos neutros de cada estrella están conectados entre sí. En este caso, la carga se conoce como **carga equilibrada**, ya que la impedancia (en este caso resistencia) en cada fase es idéntica ($1k\Omega$).

- Como puede verse en el circuito, la corriente de fase y la corriente de línea son idénticas.
- Observa que las corrientes en las tres fases son idénticas, lo cual no es sorprendente, ya que las tensiones de fase son idénticas y las cargas son idénticas.
- Lo que puede sorprender es el valor de la corriente en el hilo neutro: ¡prácticamente cero! Es el resultado de las diferencias de fase entre las corrientes.
 - No están en fase.
 - No todos alcanzan máximos a la vez.
 - No se suman aritméticamente.

Un reto: quita el cable neutro. ¿Hay alguna diferencia en las lecturas?

Investiga qué ocurre cuando la carga está desequilibrada. (Cambia una de las resistencias de $1k\Omega$ por un valor diferente, como $2,2k\Omega$).

Para que lo sepas:

- Dibuja el esquema del sistema que has construido para esta investigación.
- Resume las conclusiones de la sección anterior.
- Explica el misterio de la "corriente desaparecida" cuando se utilizaba una carga equilibrada. ¿Adónde ha ido a parar?
- Explica por qué la electricidad se transmite normalmente utilizando un sistema de cuatro hilos, en lugar de uno de tres.

Ficha 6

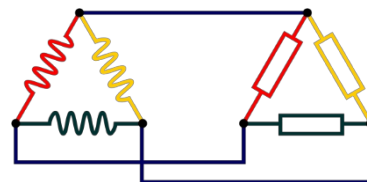
En el delta



La otra forma de configurar los circuitos trifásicos es utilizar la conexión "delta", (llamada así por la similitud de la forma con la letra griega "delta" (Δ)).

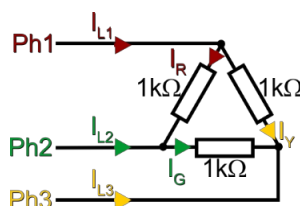
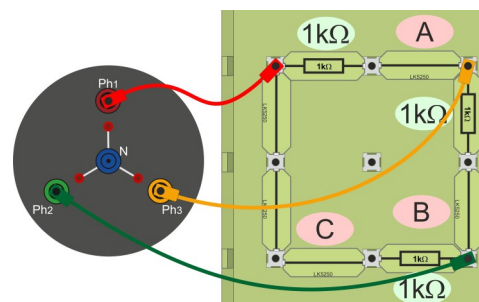
El diagrama muestra una fuente de alimentación trifásica, conectada en configuración delta a una carga, también en configuración delta.

Esta vez, no hay punto neutro, y sólo tres hilos unen la fuente de alimentación y la carga.



Te toca a ti:

- Construye el circuito que se muestra al lado. Es posible que la conexión en triángulo no resulte evidente a primera vista. Compárela con el siguiente esquema:
 - fases se conectan entre sí a través de cargas de $1k\Omega$;
 - las tres resistencias de carga están conectadas en bucle.



- En el generador, ajusta la frecuencia a 50 Hz y la amplitud a 6 V y enciéndelo.

Tensiones en configuración delta:

Como puede verse en el diagrama, la tensión de fase y la tensión de línea son ahora idénticas.

- Utilice un multímetro para medir las tensiones de línea a través de las tres cargas $1k$
- Anótalos en la tabla.

Tensión de línea	Valor en V
V12	
V13	
V23	

Corrientes en una configuración en estrella:

- Retire el enlace de conexión A. Con el multímetro en el rango de 20 mA CA, mida la corriente de fase, I_R , a través de la resistencia de $1k\Omega$ conectada entre las fases **Ph1** y **Ph2**.
- Introduce el resultado en la tabla.
- Sustituya el eslabón de unión A.
- A continuación, mida las corrientes de fase I_Y e I_G .
- Introduce sus valores en la tabla.
- Retire el cable rojo que conecta **Ph1** a la carga.
- Sustitúyalo por el multímetro y lea la corriente de línea I_{L1} . Introduce su valor en la tabla.
- Haga lo mismo para las otras dos corrientes de línea, I_{L2} e I_{L3} .

Actual	Valor en mA
corriente de fase, I_R	
corriente de fase, I_Y	
corriente de fase, I_G	
corriente de línea I_{L1}	
corriente de línea I_{L2}	
corriente de línea I_{L3}	

¿Y qué?

La teoría predice la relación:

$$\text{Corriente de línea} = \sqrt{3} \times \text{Corriente de fase}$$

- Completa la tabla utilizando las medidas de la página anterior.

Actual	Valor en mA	$\sqrt{3}$ x corriente de fase
corriente de fase, I_R		
corriente de fase, I_Y		
corriente de fase, I_G		
corriente de línea I_{L1}		
corriente de línea I_{L2}		
corriente de línea I_{L3}		

- ¿Apoya esta relación?

Resumen:

En una configuración delta:

Tensión de línea = Tensión de fase
Corriente de línea = $\sqrt{3}$ x Corriente de fase

Un reto -

- Conecte el motor trifásico utilizando una configuración en triángulo:
 - conecte las tres bobinas en formación delta: U2 a V1, V2 a W1 y W2 a U1.
 - conecte las tres fases a U1, V1 y W1.
- ¿Qué ocurre cuando se invierten dos de las fases?
- Compara el rendimiento del motor en configuración triángulo con el visto anteriormente utilizando la configuración estrella.

Para que lo sepas:

- Copie el esquema del circuito que muestra una alimentación trifásica configurada en triángulo, que impulsa una carga trifásica configurada en triángulo.
- Resuma las conclusiones de esta investigación.
- Utilizando un buscador de Internet, o libros de texto, elabore una tabla de ventajas relativas y desventajas de las configuraciones estrella y delta.
- Dibuje el esquema del motor configurado en triángulo con alimentación trifásica.
- Compare el rendimiento del motor en configuración estrella y triángulo.

Ficha 7

Rectificación de media onda



Algunos aparatos eléctricos requieren una alimentación de CC y no funcionan con CA.

La rectificación es el proceso de transformar una alimentación de corriente alterna en corriente continua. Se basa en el hecho de que los diodos permiten una corriente apreciable en un solo sentido.

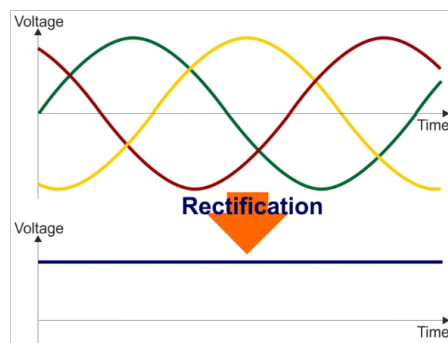
Comparación entre trifásica rectificada y monofásica: La ventaja:

- el resultado es mucho más suave.

La desventaja:

- requiere más diodos para lograrlo.

Esta hoja de ejercicios introduce el proceso mediante el estudio de la rectificación de media onda.



Te toca a ti:

- Construye el circuito que se muestra al lado. (Debajo figura el esquema del circuito). Utiliza el generador trifásico, en configuración de estrella, para conducir corriente a través de una carga de $1k\Omega$. Cada fase tiene un diodo en serie para garantizar que la corriente fluya solo en un sentido a través de la carga.

Fíjese en la pinza de masa del picoscopio.

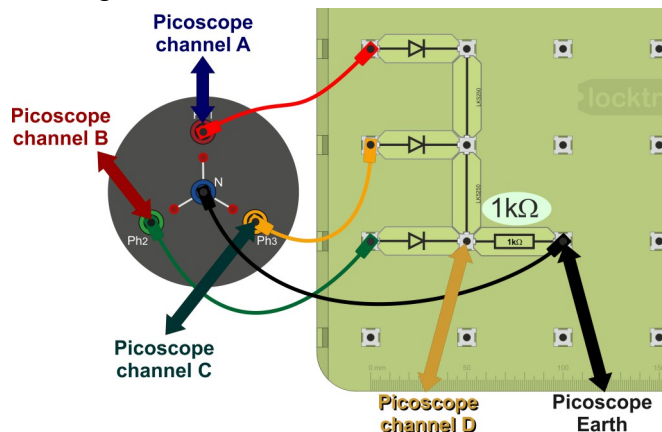
- En el generador trifásico, ajuste :

- la frecuencia a 50 Hz;
- la amplitud a 9V.

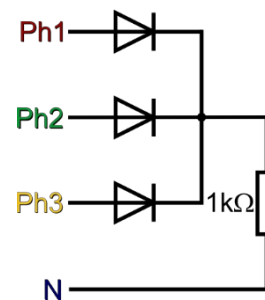
- Utilice los siguientes ajustes de

Picoscope:

Base de tiempo	5ms/div
Canal A, B, C y D	Auto
Trigger	Auto
Umbral	0V
Pre-disparo	0%



- Encienda el generador trifásico.
- Obtenga una traza que muestre las tres fases que suministran potencia a la carga y la salida rectificada de media onda aplicada a la misma.
- Guárdalo para tus archivos.
- Para que quede más claro lo que ocurre, apague los canales B y C en el Picoscopio y obtener otra traza, mostrando las salidas en los canales A y D, es decir, una fase de entrada y la salida.
- Guárdalo para tus archivos con una explicación de lo que muestra.



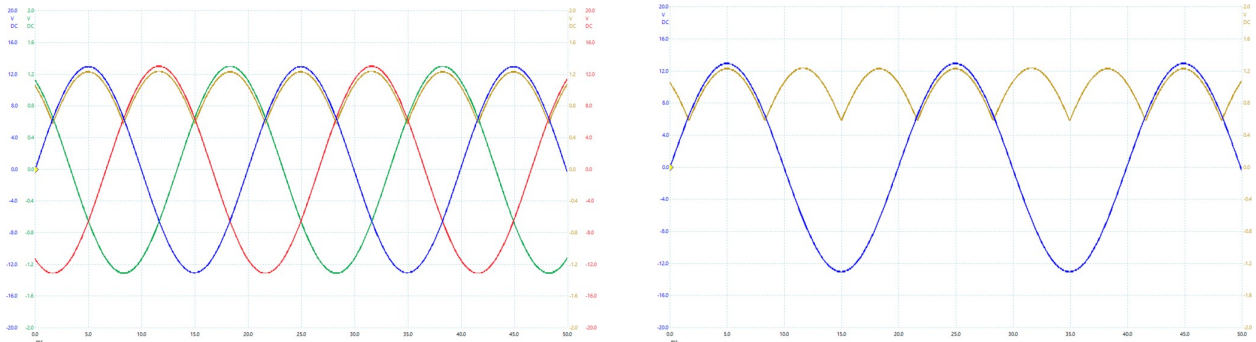
Ficha 7

Rectificación de media onda



¿Y qué?

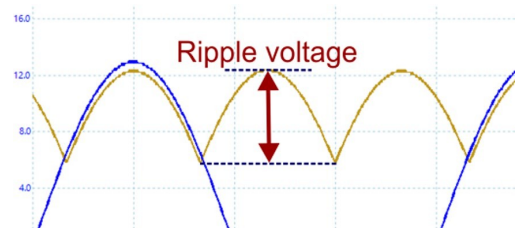
Los diagramas muestran señales típicas. La salida rectificada está en el canal D, que se muestra en dorado.



Observe que se sitúa por debajo de la señal de fase de CA correspondiente. Esto se debe a la caída de 0,7 V (aprox.) a través de un diodo de silicio conductor. El trazo es siempre positivo, por lo que se trata de una señal de CC, aunque no de CC suave.

En un ciclo de CA, hay tres picos en la señal rectificada, uno para cada una de las tres fases. Esto indica que se trata sólo de rectificación de media onda.

- se ignora el semiciclo negativo de cada fase.
(¡Compara esto con la siguiente hoja de ejercicios!)



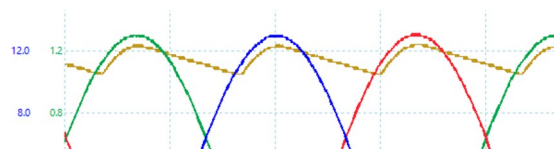
La variación de la tensión de salida (a través de la carga) se conoce como tensión de rizado.

Desafíos -

- Conecta un condensador no electrolítico de $33\mu\text{F}$ en paralelo con la carga de $1\text{k}\Omega$.
- Obtenga nuevas trazas de Picoscope para ver el efecto sobre la tensión de rizado.

Al lado se muestra una salida típica.

Observe la reducción de la ondulación.



- ¿Cuál es el efecto sobre la tensión de rizado de la utilización de diferentes valores de resistencia de carga?

Podrías aumentar la resistencia de carga conectando varias resistencias $1\text{k}\Omega$ en serie, o reducirla conectándolas en paralelo. (Dos resistencias de $1\text{k}\Omega$ en paralelo tienen una resistencia combinada de $0,5\text{k}\Omega$, cuatro en paralelo tienen una resistencia combinada de $0,25\text{k}\Omega$).

Para que lo sepas:

- Dibuje el esquema de un rectificador trifásico de media onda e incluya el condensador de alisamiento.
- Explica por qué se considera que la salida de este circuito es CC.
- Explique el término "tensión de rizado" y explique por qué la adición de un regulador (o "depósito",) reduce el rizado.

Ficha 8

Rectificación de onda completa



Un uso común de la rectificación es en los vehículos de motor. Éstos generan electricidad trifásica mediante alternadores, que son más pequeños y ligeros que los generadores de corriente continua equivalentes.

La mayor parte del sistema eléctrico del vehículo requiere una alimentación de corriente continua, por lo que el alternador lleva incorporado un rectificador de onda completa.

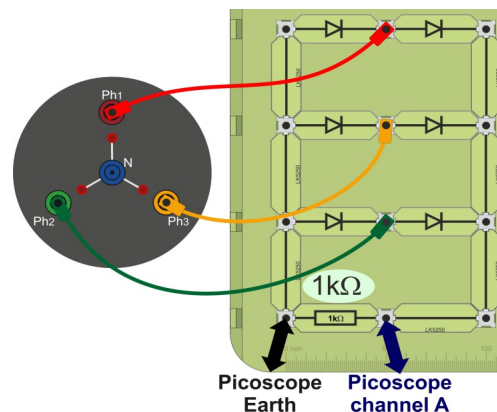
En la hoja de ejercicios anterior se analizó la rectificación de media onda, que produce una tensión de salida de CC, pero con una tensión de ondulación. Esto es a menudo indeseable, ya que puede causar "zumbido" audible en equipos de audio y efectos espurios en sistemas digitales.

La rectificación de onda completa reduce esta tensión de rizado, a costa de componentes adicionales.



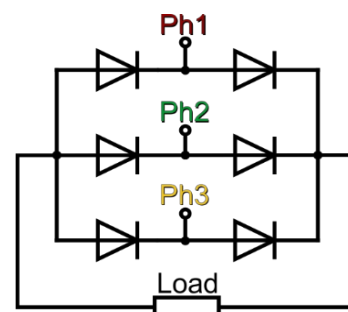
Te toca a ti:

- Construye el circuito que se muestra al lado. Fíjate en la pinza de masa del picoscopio. Asegúrese de que todos los diodos están conectados correctamente. Sin sondas especializadas, no puede obtener trazas de todas las fases Y la salida de onda completa simultáneamente, ya que cortocircuitaría parte del circuito. En su lugar, utilice sólo una sonda para controlar la salida a través de la carga, como se muestra.



Ajustes del picoscopio:

Base de tiempo	5 ms/div
Canal	AAu
to Canales B, C y	DOff
Disparo	Auto
Umbral	0V
Pre-disparo	0%



- Ajuste la frecuencia del generador trifásico a 50 Hz y la amplitud a 9 V.
- Enciéndelo.
- Obtén una traza que muestre la salida a través de la carga de 1kΩ.
- Guárdalo para tus archivos con una explicación de lo que muestra.
- Conecta un condensador de 33μF en paralelo con la carga de 1kΩ y repite el proceso. (Para ver la relación entre la salida y las fases, mueva la sonda del canal A del Picoscopio para examinar cada fase sucesivamente).

Ficha 8

Rectificación de onda completa

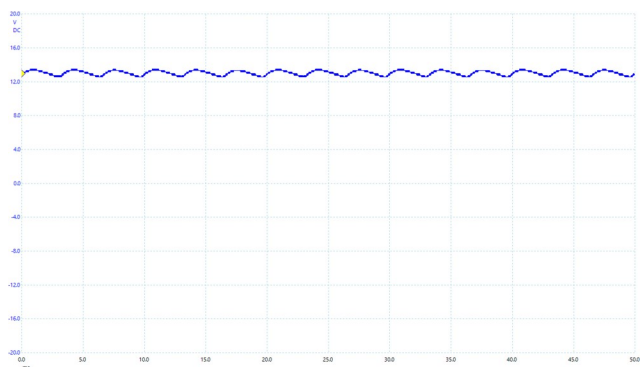
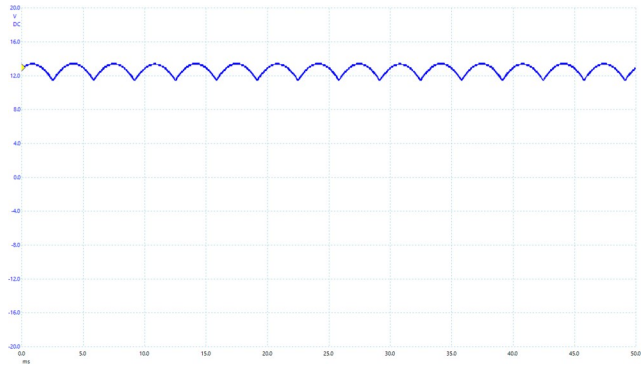


¿Y qué?

Los dos trazos opuestos muestran resultados típicos de Picoscope, sin suavizado (trazo superior) y con suavizado (trazo inferior).

Compárelos con los obtenidos para rectificación de media onda.

La amplitud de la tensión de rizado es mucho menor y la frecuencia es mayor que con la rectificación de media onda.



Un reto -

Como en la hoja de ejercicios anterior, investiga el efecto del tamaño de la resistencia de carga sobre la tensión de rizado.

Para que lo sepas:

- Dibuja el esquema de un rectificador trifásico de onda completa, incluido el alisado de condensadores.
- Al investigar este circuito:
 - ¿qué indicaba que la salida era CC?
 - ¿qué indicaba que se trataba de una salida rectificadora de onda completa, en lugar de media onda?
- Describe y *explica* el efecto sobre la tensión de rizado de aumentar el tamaño de:
 - la resistencia de carga
 - el condensador de alisado.

Ficha 9

Suministrar energía

Al final se trata de suministrar potencia del transmisor a la carga.

Como es lógico, ¡hay una complicación! La potencia real es el producto de la tensión y la corriente *en fase con la tensión*. Como hemos visto, para muchas cargas, la corriente y la tensión no están en fase.

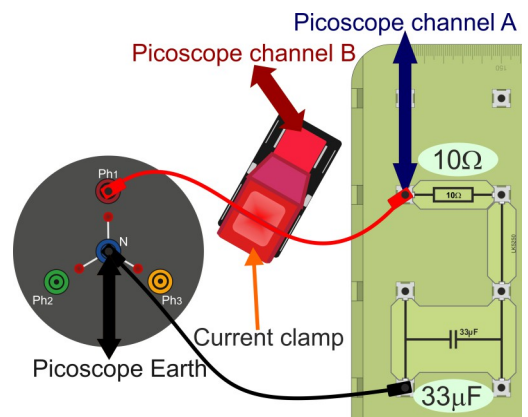
Esta hoja de ejercicios examina cómo se gestiona esta situación, en tres circuitos. Dos utilizan una alimentación monofásica en circuitos que contienen reactancia. El tercero utiliza una alimentación trifásica para accionar el motor trifásico.



Te toca a ti:

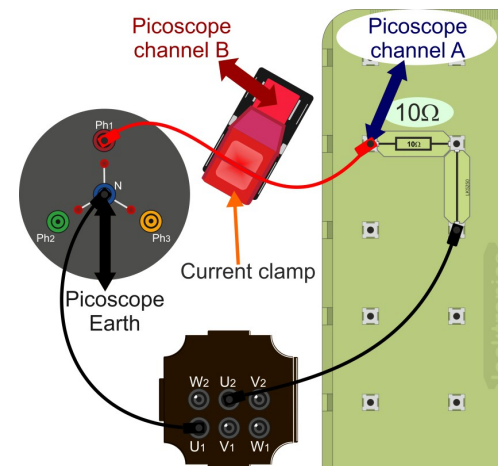
Un circuito R-C:

- Construye el circuito superior que se muestra al lado.
- Ajuste la frecuencia del generador trifásico a 150 Hz y la amplitud a 6 V. Enciéndelo.
- Utilice la misma configuración de Picoscope que en la hoja de trabajo anterior.
- Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión de alimentación y la corriente a través del circuito.
- Apague el generador y la pinza amperimétrica.



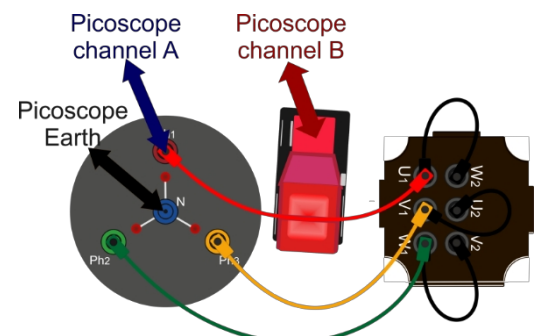
Un circuito R-L:

- Construye el circuito central.
- Utilice los mismos ajustes que antes para el generador trifásico y para el Picoscopio.
- Enciende el generador.
- Obtener y guardar una traza que muestre la tensión de alimentación y la corriente a través de este circuito.
- Apague el generador y la pinza amperimétrica.



El motor trifásico:

- Construye el circuito inferior.
- Una vez más, utilice los mismos ajustes para el generador trifásico y para el Picoscopio.
- Enciende el generador.
- Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión de alimentación y corriente a través de una fase de este circuito.
- Apague el generador y la pinza amperimétrica.



Ficha 9

Suministrar energía



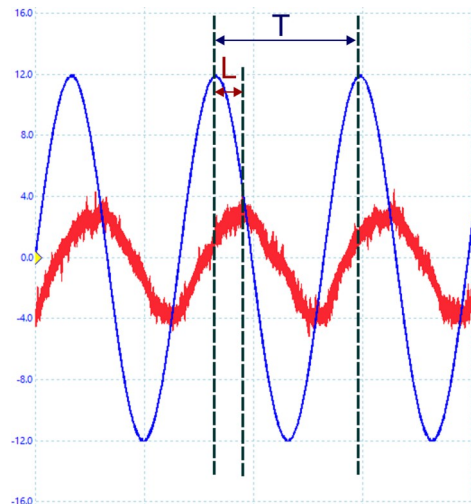
¿Y qué?

Las trazas producidas en los tres circuitos pueden analizarse para extraer la potencia real suministrada a los dispositivos de carga. A continuación se describe el procedimiento. ing una sección de una traza de corriente/tensión obtenida

para un circuito R-L para extraer el ángulo de fase ϕ .

La tensión aplicada se muestra en el trazo azul y la corriente en el rojo. La amplitud del trazo de corriente es pequeña y está afectada por el ruido eléctrico. La tensión precede a la corriente, como es de esperar en un circuito con inductancia.

- Dibuja líneas verticales a través de dos picos de tensión adyacentes y un pico de corriente, como se muestra.
- Utiliza la escala de tiempo para medir los tiempos **T** y **L**. **T** es el periodo de la señal.
L es el desfase experimentado por la corriente.



Los resultados de muestra son: **T** = 6,7ms **L** = 1,3 ms

- **T** es el tiempo entre puntos con un ángulo de fase de 360° entre ellos. Por lo tanto, 1,3 ms representa una diferencia de fase de $(1,3 / 6,7) \times 360^\circ$ o 70° aproximadamente.

En este circuito R-L, la tensión adelanta a la corriente en un ángulo de fase de unos 70° . Esto implica un factor de fase de 0,34 (es decir, $\cos 70^\circ$).

- De las huellas,

tensión de pico = 12,0V dando $V_{rms} = 8,4V$.

lectura de corriente de pico = 7mV.

Con la pinza amperimétrica en el rango de 20A (es decir, 1mV/10mA)

la corriente de pico es de $7 \times 10 = 70\text{mA}$, lo que da $I_{rms} = 49\text{mA}$.

Poniendo todo esto junto:

$$\begin{aligned} \text{Potencia real suministrada al sistema, } P &= V_{rms} I_{rms} \cos \phi \\ &= 8,4 \times 49 \times 10^{-3} \times 0,34 \\ &= \mathbf{0,14W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia aparente, } S &= V_{rms} I_{rms} \\ &= \mathbf{0,41VA} \end{aligned}$$

Para que lo sepas:

- De la misma manera, determina la potencia real y aparente para los circuitos R-C y R-L que montaste en esta investigación.
- El motor trifásico es una carga equilibrada.

La potencia total suministrada = 3 x potencia suministrada a una fase.

Utiliza los resultados del tercer circuito para determinar la potencia real suministrada al motor

Ficha 10

Corrección del factor de potencia



Un factor de potencia bajo significa que se necesita más corriente para transferir una cantidad determinada de energía útil.

La corriente adicional almacena energía, temporalmente, en el campo magnético de un motor, por ejemplo. Poco después vuelve a la fuente de alimentación.

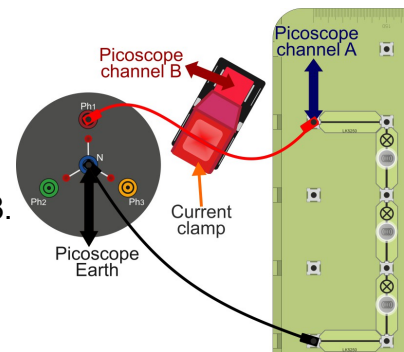
Suministra la misma potencia útil, pero puede necesitar cables más gruesos, transformadores más pesados, etc., para hacer frente a la corriente extra y, como consecuencia, el consumidor puede incurrir en gastos adicionales.

Te toca a ti:

Una carga resistiva:

Las tres lámparas representan una carga puramente resistiva.

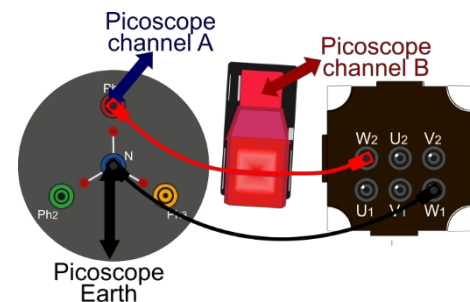
- Construye el circuito que se muestra al lado.
- Ajuste la frecuencia del generador trifásico a 150 Hz. y amplitud a 6V. Enciéndelo.
- Utilice la misma configuración de Picoscope que en la hoja de trabajo 8.
- Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión de alimentación y la corriente a través del circuito.
- Apague el generador y la pinza amperimétrica.



Una carga inductiva:

Una bobina del motor se utiliza como carga inductiva.

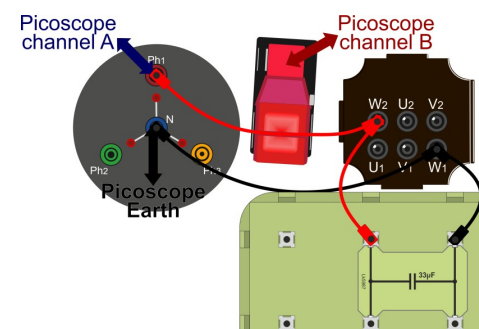
- Construye el segundo circuito.
- Utiliza el mismo generador y la misma configuración de Picoscope.
- Enciende el generador.
- Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión de alimentación y la corriente a través de este circuito.
- Apague el generador y la pinza amperimétrica.



Una carga inductiva con corrección del factor de potencia:

Un condensador equilibra la reactancia inductiva de la carga.

- Construye el tercer circuito.
- Utiliza el mismo generador y la misma configuración de Picoscope.
- Enciende el generador.
- Obtenga y guarde una traza que muestre la tensión de alimentación y la corriente a través del circuito.



Apague el generador y la pinza amperimétrica.

Ficha 10

Corrección del factor de potencia



¿Y qué?

Con una carga resistiva, la corriente está en fase con la tensión, la disposición óptima para un suministro eficiente de energía.

Sin embargo, no ocurre lo mismo con la carga inductiva no corregida. En los inductores, la corriente va por detrás de la tensión.

La zona coloreada muestra el tiempo durante el cual se suministra energía a la carga. Como se trata de un periodo relativamente corto, la corriente debe ser grande para suministrar suficiente energía.

El objetivo de la corrección del factor de potencia es volver a poner en fase la corriente y la tensión, ampliando el tiempo de suministro de energía. La corriente necesaria para suministrar la energía necesaria puede ser menor.

En realidad, la mayoría de las cargas son resistivas o inductivas en general. He aquí algunos ejemplos:

- resistivo - lámpara incandescente, calefactor;
- inductivo - motores, relés, transformadores.

Las cargas inductivas utilizan condensadores añadidos para corregir el factor de potencia. En el caso de un motor, el valor del condensador necesario para ello depende de aspectos como la velocidad del motor, su carga y la frecuencia de la alimentación. Esto causa complicaciones cuando hay varios motores en la misma fuente de alimentación y cuando su velocidad y cargas varían.

Algunas plantas industriales utilizan baterías de condensadores para acercar el factor de potencia global a la unidad y reducir así los costes de electricidad.

Ventajas de la corrección del factor de potencia:

- tarifas eléctricas reducidas y ninguna penalización económica por parte del proveedor de electricidad;
- reducción de las pérdidas de calor en cables, conmutadores, transformadores y equipos de distribución;
- prolongación de la vida útil de los equipos de transmisión y generación;
- menor caída de tensión en los cables, lo que permite utilizar cables de menor calibre.

Para tu información:

- Explique, utilizando gráficos de tensión / tiempo, el significado del término "corrección del factor de potencia".
 - Describa dos ventajas de la corrección del factor de potencia para un consumidor industrial.
 - Dibuje el esquema de un circuito que utilice una alimentación monofásica de CA para accionar un motor eléctrico e incorpore la corrección del factor de potencia.
- eléctrico e incorpore la corrección del factor de potencia.

