

Circuitos de Potencia y Transformadores

FESTO

Electricidad y Nuevas
Energías

LabVolt Series

Manual del estudiante

FESTO

Manual del estudiante

Circuitos de Potencia y Transformadores



Alemania

Festo Didactic SE
Rechbergstr. 3
73770 Denkendorf
Tel.: +49 711 3467-0
Fax: +49 711 347-54-88500
did@festo.com

Estados Unidos

Festo Didactic Inc.
607 Industrial Way West
Eatontown, NJ 07724
Tel.: +1 732 938-2000
Sin cargo: +1-800-522-8658
Fax: +1 732 774-8573
services.didactic@festo.com

Canadá

Festo Didactic Ltée/Ltd
675, rue du Carbone
Québec (Québec) G2N 2K7
Tel.: +1 418 849-1000
Sin cargo: +1-800-522-8658
Fax: +1 418 849-1666
services.didactic@festo.com

www.festo-didactic.com

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Festo Didactic
es
584081



0010000000001807850000

Electricidad y Nuevas Energías

Circuitos de Potencia y Transformadores

Manual del estudiante

584081

Nº de artículo: 584081
Tercera edición
Actualización: 02/2015

Por el personal de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 1995, 2015
Internet: www.festo-didactic.com
e-mail: did@de.festo.com

Impreso en Canadá

Todos los derechos reservados

ISBN 978-2-89747-286-3 (Versión impresa)

ISBN 978-2-89747-287-0 (CD-ROM)

Depósito legal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2015

Depósito legal – Library and Archives Canada, 2015

El comprador adquiere un derecho de utilización limitado simple, no excluyente, sin limitación en el tiempo, aunque limitado geográficamente a la utilización en su lugar / su sede.

El comprador tiene el derecho de utilizar el contenido de la obra con fines de capacitación de los empleados de su empresa, así como el derecho de copiar partes del contenido con el propósito de crear material didáctico propio a utilizar durante los cursos de capacitación de sus empleados localmente en su propia empresa, aunque siempre indicando la fuente. En el caso de escuelas/colegios técnicos, centros de formación profesional y universidades, el derecho de utilización aquí definido también se aplica a los escolares, participantes en cursos y estudiantes de la institución receptora.

En todos los casos se excluye el derecho de publicación, así como la inclusión y utilización en Intranet e Internet o en plataformas LMS y bases de datos (por ejemplo, Moodle), que permitirían el acceso a una cantidad no definida de usuarios que no pertenecen al lugar del comprador.

Todos los otros derechos de reproducción, copiado, procesamiento, traducción, microfilmación, así como la transferencia, la inclusión en otros documentos y el procesamiento por medios electrónicos requieren la autorización previa y explícita de Festo Didactic GmbH & Co. KG.

La información contenida en este documento está sujeta a cambios sin previo aviso y no representa ningún compromiso por parte de Festo Didactic. Los materiales Festo descritos en este documento se suministran bajo un acuerdo de licencia o de confidencialidad.

Festo Didactic reconoce los nombres de productos como marcas de comercio o marcas comerciales registradas por sus respectivos titulares.

Todas las otras marcas de comercio son propiedad de sus respectivos dueños. Es posible que en este manual se utilicen otras marcas y nombres de comercio para referirse a la entidad titular de las marcas y nombres o a sus productos. Festo Didactic renuncia a todo interés de propiedad relativo a las marcas y nombres de comercio que no sean los propios.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Símbolos de seguridad y de uso frecuente

Los siguientes símbolos de seguridad y de uso frecuente pueden encontrarse en este manual y en los equipos:

Símbolo	Descripción
	PELIGRO indica un nivel alto de riesgo que, de no ser evitado, ocasionará la muerte o lesiones de gravedad.
	ADVERTENCIA indica un nivel medio de riesgo, que de no ser evitado, puede ocasionar la muerte o lesiones de gravedad.
	ATENCIÓN indica un nivel bajo de riesgo, que de no ser evitado, puede ocasionar lesiones menores o leves.
	ATENCIÓN utilizado sin el <i>símbolo de riesgo</i>  , indica una situación de riesgo potencial que, de no ser evitada, puede ocasionar daños materiales.
	Precaución, riesgo de descarga eléctrica
	Precaución, superficie caliente
	Precaución, posible riesgo
	Precaución, riesgo al levantar
	Precaución, riesgo de atrapar las manos
	Aviso, radiación no ionizante
	Corriente continua
	Corriente alterna
	Corriente alterna y continua
	Corriente alterna trifásica
	Terminal de tierra (común)

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Símbolos de seguridad y de uso frecuente

Símbolo	Descripción
	Terminal de conductor protegido
	Terminal de chasis
	Equipotencial
	Encendido (fuente)
	Apagado (fuente)
	Equipo protegido con aislamiento doble o reforzado
	Botón biestable en posición pulsado
	Botón biestable en posición no pulsado

Índice

Prefacio	XI
Acerca de este manual	XIII
Unidad 1	Fundamentos de las tecnologías de la energía eléctrica..... 1
	<i>Revisión de los conceptos básicos y leyes de la electricidad. Utilización del Sistema de instrumentación virtual para medir tensión, corriente y potencia.</i>
	Ej. 1-1 Tensión, corriente, ley de Ohm 5
	<i>Definiciones de tensión, corriente y resistencia. Demostración de la ley de Ohm por medio de la medición de los parámetros en un circuito.</i>
	Ej. 1-2 Resistencia equivalente 13
	<i>Determinación de la resistencia equivalente mediante diferentes combinaciones de circuitos serie y paralelo. Verificación de los cálculos mediante las mediciones de tensión y corriente en un circuito.</i>
	Ej. 1-3 Potencia en circuitos CC..... 23
	<i>Distinción entre energía, trabajo y potencia. Determinación de la potencia en circuitos CC, fórmula de potencia.</i>
	Ej. 1-4 Circuitos serie y paralelo 33
	<i>Resolución de circuitos utilizando las leyes de tensiones y de corrientes de Kirchhoff. Uso de las mediciones en un circuito para verificar los cálculos teóricos.</i>
Unidad 2	Corriente alterna..... 47
	<i>Introducción a los conceptos de corriente alterna, formas de ondas c.a., desfasaje y potencia instantánea.</i>
	Ej. 2-1 Onda seno 51
	<i>Definición de corriente alterna (c.a.), amplitud (valores eficaz o rms, promedio y máximo), frecuencia y fase de las señales c.a.</i>
	Ej. 2-2 Ángulo de fase 61
	<i>Definición de fase, medición del desfasaje. Ángulo de fase en atraso y en adelanto.</i>

Índice

	Ej. 2-3 Potencia instantánea.....	67
	<i>Concepto de potencia instantánea. Potencia promedio disipada en una carga resistiva alimentada por una fuente c.a.. Visualización de las formas de ondas de la potencia instantánea.</i>	
Unidad 3	Condensadores en los circuitos ca.....	77
	<i>Comportamiento de los condensadores en los circuitos c.a.. Reactancia capacitiva, combinaciones serie y paralelo de condensadores, desfasaje capacitivo. Introducción a los conceptos de potencias activa, reactiva y aparente.</i>	
	Ej. 3-1 Reactancia capacitiva	79
	<i>Definición de reactancia capacitiva. Aplicación de la ley de Ohm y mediciones de tensión y corriente en un circuito para determinar la reactancia capacitiva.</i>	
	Ej. 3-2 Capacitancia equivalente.....	87
	<i>Determinación de la capacitancia equivalente por medio de diferentes combinaciones de circuitos serie y paralelo. Verificación de los cálculos mediante las mediciones de tensión y corriente en un circuito.</i>	
	Ej. 3-3 Desfasaje capacitivo y potencia reactiva.....	95
	<i>Medición y demostración del desfasaje entre la tensión y la corriente causado por los condensadores. El fenómeno de potencia reactiva "negativa".</i>	
Unidad 4	Inductores en los circuitos ca	105
	<i>Comportamiento de los inductores en los circuitos c.a.. Reactancia inductiva, combinaciones serie y paralelo de inductores, desfasaje inductivo. Potencias activa, reactiva y aparente asociadas con los inductores.</i>	
	Ej. 4-1 Reactancia inductiva.....	107
	<i>Definición de reactancia inductiva. Aplicación de la ley de Ohm y mediciones de tensión y corriente en un circuito para determinar la reactancia inductiva.</i>	
	Ej. 4-2 Inductancia Equivalente	115
	<i>Determinación de la inductancia equivalente por medio de diferentes combinaciones de circuitos serie y paralelo. Verificación de los cálculos mediante las mediciones de tensión y corriente en un circuito.</i>	

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Índice

Ej. 4-3 Desfasaje inductivo y potencia reactiva..... 123

Medición y demostración del desfasaje entre la tensión y la corriente causado por los inductores. Diferencia entre potencia reactiva capacitiva y potencia reactiva inductiva.

Unidad 5 Potencia, fasores e impedancia en los circuitos ca 133

Mediciones de potencias activa, reactiva y aparente. Uso de los fasores y de la impedancia para analizar los circuitos c.a.

Ej. 5-1 Potencia en circuitos ca..... 137

Mediciones de potencias activa, reactiva y aparente. Definición de factor de potencia. Agregado de capacitancias en paralelo con una carga inductiva para mejorar el bajo factor de potencia.

Ej. 5-2 Vectores y fasores en circuitos ca serie 147

Definiciones de vectores y fasores. Uso de vectores y fasores para analizar el funcionamiento de los circuitos c.a. serie. Visualización de fasores de tensión en circuitos serie RL, RC y RLC.

Ej. 5-3 Vectores y fasores en circuitos CA paralelo157

Uso de vectores y fasores para analizar el funcionamiento de los circuitos c.a. paralelo. Visualización de fasores de corriente en circuitos paralelo RL, RC y RLC.

Ej. 5-4 Impedancia 165

Definición de impedancia, ley de Ohm en los circuitos c.a.. Uso del concepto de impedancia para simplificar el análisis de los circuitos c.a. complejos.

Unidad 6 Circuitos trifásicos..... 183

Conceptos asociados con los circuitos trifásicos, cargas equilibradas, conexiones estrella y triángulo, secuencia de fases. Factor de potencia, medición de potencia trifásica, vatímetros, vármetros.

Ej. 6-1 Circuitos trifásicos equilibrados 185

Definiciones de tensiones de línea y de fase, corrientes de línea y de fase. Definición de carga trifásica equilibrada. Montaje de conexiones estrella y triángulo. El factor $\sqrt{3}$ entre los valores de línea y de fase.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Índice

	Ej. 6-2 Medición de potencia trifásica	197
	<i>Aplicación del método de los dos vatímetros para medir la potencia total suministrada a una carga trifásica. El factor de potencia en circuitos trifásicos.</i>	
	Ej. 6-3 Secuencia de fase	221
	<i>Definición de secuencia de fases y su importancia para ciertos tipos de cargas trifásicas. Cómo determinar la secuencia de fases.</i>	
Unidad 7	Transformadores monofásicos	235
	<i>Principios de funcionamiento del transformador. Inducción magnética, carga del transformador, configuraciones serie aditiva y serie substractiva.</i>	
	Ej. 7-1 Relaciones de tensiones y corrientes	237
	<i>Arrollamientos primario y secundario. Definición de relación de espiras, funcionamiento como elevador y como reductor. Saturación del transformador, características de tensión y corriente.</i>	
	Ej. 7-2 Polaridad del transformador.....	245
	<i>Determinación de la polaridad de los arrollamientos de un transformador. Conexión de los arrollamientos en serie aditiva para sumar sus tensiones o, en serie substractiva para restarlos.</i>	
	Ej. 7-3 Regulación del transformador	253
	<i>Definición de regulación del transformador. Determinación de la tensión de regulación de un transformador con cargas variables. Cargas inductiva y capacitiva.</i>	
Unidad 8	Conexiones especiales de transformadores.....	263
	<i>Diferentes formas de conectar los arrollamientos de un transformador para obtener transformadores para usos particulares. Voltio-amperios nominales.</i>	
	Ej. 8-1 El autotransformador	265
	<i>Interconexión de los arrollamientos primario y secundario de un transformador estándar para obtener un autotransformador. Conexiones como elevador y como reductor.</i>	

Índice

	Ej. 8-2 Transformadores en paralelo	273
	<i>Conexión de transformadores en paralelo para suministrar mayor potencia a la carga. Medición del rendimiento de transformadores conectados en paralelo.</i>	
	Ej. 8-3 Transformadores de distribución.....	281
	<i>Introducción a las características básicas de los transformadores de distribución. Comportamiento de un transformador de distribución bajo diferentes condiciones de carga.</i>	
Unidad 9	Transformadores trifásicos.....	289
	<i>Características de funcionamiento de los transformadores trifásicos. Los cuatro grupos de conexiones estrella y triángulo.</i>	
	Ej. 9-1 Conexiones de los transformadores trifásicos	291
	<i>Montaje de las configuraciones triángulo-triángulo y estrellaestrella. Observación y comprobación de las características de funcionamiento de cada tipo de configuración. Verificación de la tensión en el interior del triángulo.</i>	
	Ej. 9-2 Relaciones de tensiones y corrientes.....	301
	<i>Relaciones de tensiones y corrientes entre el primario y secundario de un transformador trifásico conectado en triánguloestrella y en estrella-triángulo, respectivamente. El factor $\sqrt{3}$, desfasaje entre el primario y secundario.</i>	
	Ej. 9-3 Conexión triángulo abierto	309
	<i>Alimentación de cargas balanceadas trifásicas con una configuración triángulo abierto. Límites y precauciones.</i>	
Apéndice A	Símbolos de los diagramas de circuitos.....	319
Apéndice B	Tabla de impedancia para los módulos de carga ...	325
Apéndice C	Tabla de utilización del equipo	329
Apéndice D	Glosario de términos nuevos.....	331
	Índice de términos nuevos	339

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Índice

Bibliografía	341
--------------------	-----

Prefacio

Las técnicas de enseñanza mediante el uso de computadoras son cada día más difundidas en el campo de la educación y tanto el sistema de Adquisición y gestión de datos y de control para los Sistemas electromecánicos (LVDAC-EMS) y el Software de Simulación para los Sistemas Electromecánicos (LVSIM[®]-EMS) son una prueba de esta nueva tendencia.

El sistema LVDAC-EMS (o LVDAM-EMS) consiste en un conjunto completo de instrumentos ejecutables sobre una computadora personal tipo Pentium que opera con un sistema de explotación Microsoft[®] Windows[®]. Los instrumentos informatizados (voltímetros, amperímetros, medidores de potencias, un osciloscopio, un analizador de fasores y un analizador de armónicos), permiten a los profesores demostrar claramente los conceptos relacionados con la Electrotecnia que, hasta la fecha, sólo se podían presentar mediante métodos de lectura de textos tradicionales y figuras estáticas.

El sistema LVDAC-EMS (o LVDAM-EMS) utiliza un módulo para la adquisición de datos especialmente concebido que permite interconectar los distintos dispositivos del Sistema Electromecánico (EMS) con una computadora personal. Un software creado específicamente para este sistema transmite los valores medidos desde el módulo para la adquisición de datos a los instrumentos informatizados. Estos últimos proporcionan todas las mediciones estándares asociadas con la tensión, la corriente, la potencia y otros parámetros eléctricos. Sin embargo, el sistema proporciona mucho más, ya que sus características incorporadas posibilitan la observación de diferentes formas de ondas, el análisis fasorial, el almacenamiento de datos y la representación gráfica. Así como, funciones de diferentes medidores programables que permiten innumerables formas de presentación del material de enseñanza.

LVSIM[®]-EMS es un software que simula de manera fiel el Sistema electromecánico (EMS). Al igual que el sistema LVDAC-EMS (o LVDAM-EMS), LVSIM[®]-EMS se ejecuta sobre una computadora personal tipo Pentium que opera con un sistema de explotación Microsoft[®] Windows[®].

LVSIM[®]-EMS presenta, en la pantalla de la computadora, un puesto de trabajo de un laboratorio en tres dimensiones. Utilizando el ratón, los estudiantes pueden instalar un sistema didáctico EMS en ese laboratorio virtual, configurar los equipos y realizar los ejercicios como si estuviesen utilizando los módulos EMS reales. Los equipos que se pueden instalar en ese laboratorio virtual reproducen de manera fiel los módulos EMS reales incluidos en el Sistema didáctico en electromecánica de 0,2 kW asistido por computadora (modelo 8006). Al igual que en el sistema EMS real, el funcionamiento y el comportamiento de los circuitos simulados con LVSIM[®]-EMS se pueden observar por medio de las mediciones de tensión, corriente, velocidad y par que proporciona el conjunto de instrumentos informatizados del sistema LVDAC-EMS (o LVDAM-EMS).

El material didáctico EMS ya existente fue completamente revisado y adaptado para los sistemas LVDAC-EMS (o LVDAM-EMS) y LVSIM[®]-EMS y esta nueva serie se llama Aplicación de la adquisición de datos en electrotecnia. Los ejercicios se agruparon en 2 tomos: Tomo 1 - *Circuitos de potencia y transformadores* y Tomo 2 - *Motores y generadores cc/ca*.

Cada ejercicio aborda la materia a partir de un punto de vista práctico y utiliza un enfoque de tipo experimental para el estudio de la Electrotecnia. Los estudiantes

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Prefacio

son guiados, paso a paso, mediante un procedimiento que permite fortalecer la teoría que se incluye en la presentación de los ejercicios. Cada uno de éstos se completa con una conclusión y un cuestionario de repaso, mientras que un examen final de 10 preguntas ayuda a evaluar los conocimientos adquiridos durante el estudio de la unidad.

Invitamos a los lectores de este manual a enviarnos sus opiniones, comentarios y sugerencias para mejorarlo.

Por favor, envíelos a did@de.festo.com.

Los autores y Festo Didactic estamos a la espera de sus comentarios.

Acerca de este manual

Los 29 ejercicios del presente manual, *Circuitos de potencia y transformadores*, proporcionan una base para el estudio de la Electrotecnia. Su realización permitirá a los estudiantes continuar con el segundo manual, *Motores y generadores cc/ca*.

El presente manual se encuentra dividido en nueve unidades:

- Las unidades 1 a 4 proveen una revisión básica de la teoría y conceptos eléctricos, destacando los detalles específicos relativos a los condensadores, inductores y circuitos monofásicos.
- La unidad 5 introduce y explora los conceptos de vectores, fasores e impedancia y cómo se los emplea en el análisis del funcionamiento de los circuitos.
- Las unidades 6 a 9 se ocupan de los circuitos trifásicos, de los transformadores monofásicos y trifásicos y de las conexiones especiales de los transformadores.

Los ejercicios prácticos de este manual se pueden realizar utilizando el Sistema Electromecánico (EMS) o el Sistema Electromecánico con Equipo Virtual de Laboratorio (LVSIM[®]-EMS). Cuando se utiliza el primero, se debe encender la computadora e iniciar Windows[®] antes de cada ejercicio. En cambio, cuando se emplea LVSIM[®]-EMS, se debe encender la computadora, luego iniciar Windows[®] y por último iniciar LVSIM[®]-EMS, antes de cada ejercicio.

Los ejercicios prácticos guían a los estudiantes a través del montaje y funcionamiento de los circuitos. Además, permiten explorar muchas de las posibilidades de medición y observación del sistema de instrumentación virtual. Con este último, se puede visualizar mucha información detallada acerca de los parámetros de los circuitos (niveles de tensión y corriente, formas de ondas, ángulos de fase, etc.). Se estimula a los estudiantes para que exploren la totalidad de posibilidades que ofrece el sistema.

En los ejercicios se incluyen diagramas de los circuitos utilizando diferentes símbolos. Cada símbolo es una representación funcional de un dispositivo empleado en Electrotecnia. Como el uso de estos símbolos reduce el número de interconexiones mostradas, se simplifican enormemente los diagramas de circuitos y se facilita la comprensión del funcionamiento de los mismos. En el Apéndice A se encuentra la lista de los símbolos utilizados, el nombre del dispositivo que representa cada uno y un diagrama que muestra el equipo y las conexiones requeridas para dicho dispositivo.

Los ejercicios en este manual se pueden realizar en redes de alimentación local de 120 V, 220 V, y 240 V. Los valores de los componentes utilizados en los diferentes circuitos a menudo dependen de la tensión de línea ca. Por esta razón, los componentes en los diagramas de circuitos se identifican con letras y los subíndices cuando sea necesario. Una tabla que acompaña al diagrama del circuito indica el valor del componente necesario para cada tensión de red ca (120 V, 220 V, 240 V).

El Apéndice B proporciona una tabla que muestra los valores usuales de impedancia que se pueden obtener con cada una de las versiones de los

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Acerca de este manual

módulos de carga del EMS 120 V, 220-V, y 240-V. Por último, el Apéndice C proporciona un gráfico que describe el equipo requerido para cada ejercicio.

Consideraciones de seguridad

Los símbolos de seguridad que pueden emplearse en este manual y en los equipos están listados en la tabla de Símbolos de seguridad al principio de este manual.

Los procedimientos de seguridad relacionados con las tareas que se le pedirán realizar están indicados en cada ejercicio.

Asegúrese de emplear el equipo protector adecuado al realizar las tareas requeridas en los ejercicios prácticos. Nunca realice una tarea si tiene alguna razón para pensar que una manipulación podría ser peligrosa para usted o sus compañeros.

Fundamentos de las tecnologías de la energía eléctrica

OBJETIVO DE LA UNIDAD

Cuando complete esta unidad, usted será capaz de demostrar y de aplicar los conceptos básicos para resolver circuitos eléctricos simples. Además, usted sabrá medir las tensiones y corrientes de un circuito utilizando el Sistema de adquisición y gestión de datos y de control (LVDAC-EMS) [o el Sistema de adquisición y gestión de datos (LVDAM-EMS)].

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

El estudio de la electricidad y de los circuitos eléctricos gira alrededor de unas pocas leyes fundamentales, de algunos principios y de unos cuantos términos y expresiones claves. Los símbolos que se utilizan en las representaciones son universales y forman parte del lenguaje básico de las personas que trabajan en el dominio eléctrico. Por lo tanto, resulta importante conocer esos símbolos y la terminología. Si se habla de **tensión** (E), **corriente** (I), **resistencia** (R), **potencia** (P), o de otro concepto eléctrico, estos están siempre representados de manera concisa por medio de diferentes símbolos. El Apéndice A proporciona una lista de símbolos de los dispositivos que se emplean en los diagramas de circuitos de este manual.

Para conocer mejor la relación entre la tensión, la corriente y la resistencia, resulta útil tener un conocimiento básico de la naturaleza de la electricidad. Esta última es otra clase de energía. La energía se presenta de diferentes formas, tales como atómica, química, térmica, hidráulica, etc., y un tipo de energía se puede transformar en otra. Por ejemplo, la energía química de una pila seca produce electricidad para alimentar dispositivos electrónicos de manera continua.

La electricidad está íntimamente ligada a la estructura de la materia y el electrón es una de las partículas atómicas presentes en la materia. El electrón tiene carga negativa y gira alrededor del núcleo del átomo. Se mantiene en su órbita debido a que su carga negativa resulta atraída por la carga positiva del núcleo. Cuanto más alejado está el electrón del núcleo, menor será la fuerza atómica de atracción. Ciertos materiales, llamados conductores, tienen electrones en su órbita exterior que se pueden desalojar fácilmente, empleando medios externos como el calentamiento o la aplicación de un **campo eléctrico**. De esta manera, los electrones desalojados de sus órbitas se transforman en electrones libres y se desplazan entre los átomos. Esto conduce a un flujo de corriente eléctrica, que es simplemente el movimiento de muchos electrones al mismo tiempo. La figura 1-1 de (a) a (d), muestra las representaciones simplificadas del campo eléctrico alrededor de una única carga eléctrica positiva, alrededor de una única carga eléctrica negativa, entre cargas eléctricas con polaridades opuestas y entre cargas eléctricas de igual polaridad.

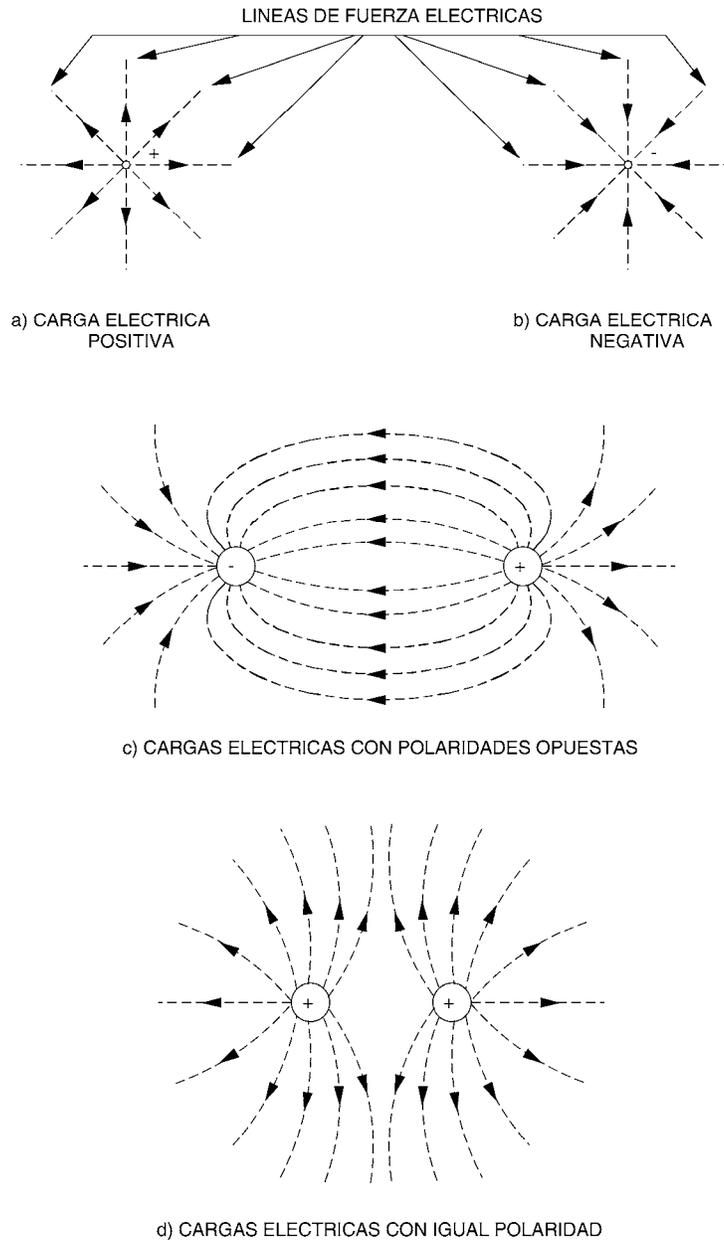


Figura 1-1. Representación simplificada de campos eléctricos.

Si el campo eléctrico crece, más electrones se moverán al mismo tiempo y mayor será la corriente eléctrica. La magnitud del campo eléctrico se mide entre dos puntos del mismo y se llama diferencia de potencial o tensión. El concepto de diferencia de potencial es similar a aquél de presión hidráulica. Una represa de agua situada a 300 metros de altura, produce una presión mayor en el caudal de agua de un tubo, que otra que se encuentra a sólo 30 metros de altura. Esto se debe a que la energía potencial aumenta cuando la altura crece. De manera similar, una tensión de 100 V crea una presión eléctrica mayor en los electrones para su movimiento que una tensión de 10 V. Los alternadores y generadores mecánicos, los acumuladores de plomo, las baterías de pilas secas y las células fotoeléctricas, son algunas de las diversas fuentes que producen diferentes niveles de presión eléctrica o tensión.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Tensión, corriente, ley de Ohm

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de medir las tensiones y corrientes de un circuito y de demostrar la ley de Ohm, empleando las mediciones de los parámetros de dicho circuito.

PRINCIPIOS En general, se considera la ley de Ohm como el fundamento para el análisis de circuitos, y se la expresa mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{E}{R}$$

donde I es la corriente que fluye a través del dispositivo eléctrico y se expresa en amperios (A).

E es la diferencia de potencial, o tensión, a través de un dispositivo eléctrico y se expresa en voltios (V).

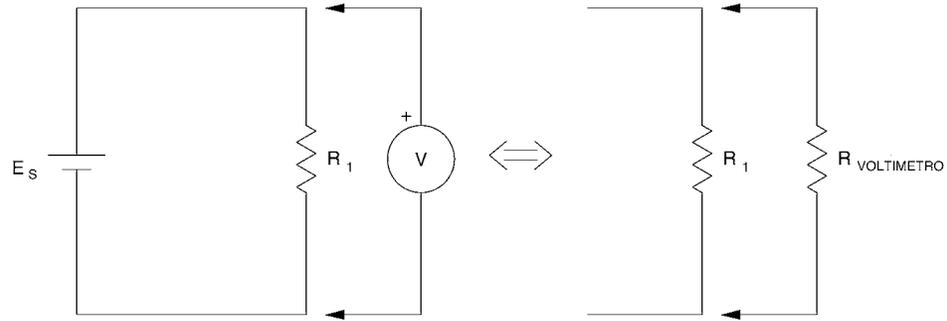
R es la resistencia del dispositivo eléctrico y se expresa en ohmios (Ω).

Esta simple ecuación indica que cuando se aplica una tensión E a un dispositivo eléctrico que tiene una resistencia R , una corriente I fluye a través de dicho dispositivo. Dos expresiones de uso frecuente derivan de la ley de Ohm, a saber:

$$E = I \times R \quad \text{y} \quad R = \frac{E}{I}$$

El instrumento básico para medir una resistencia es el ohmímetro. Generalmente contiene una fuente de tensión cc (normalmente una batería), un medidor de corriente y un conmutador de rangos para seleccionar la calibración interna de los resistores. La escala del instrumento está calibrada con los valores de resistencias que corresponden a determinadas corrientes. Para medir un resistor desconocido, se lo coloca entre los terminales del ohmímetro y se lee el valor de la resistencia en la escala del instrumento. El ohmio (Ω) es la unidad de medida de la resistencia.

El voltio (V) es la unidad de medida de la diferencia de potencial y la tensión se mide con un voltímetro. Este último se conecta siempre en paralelo con el circuito o componente, como lo muestra la figura 1-3. Los voltímetros tienen una resistencia interna elevada, para minimizar la cantidad de corriente que circula entre sus terminales. Por eso su influencia en el funcionamiento del circuito es mínima.



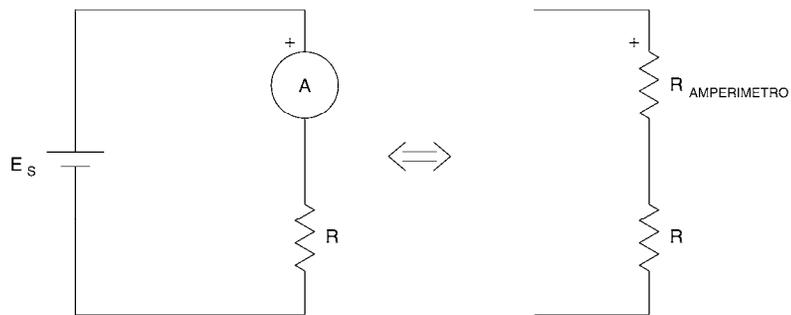
NOTA: CUANDO $R_{\text{VOLTIMETRO}}$ ES MUY BAJA, LA RESISTENCIA DEL CIRCUITO SE REDUCE Y CIRCULA MAS CORRIENTE.

Figura 1-3. Medición de tensión con un voltímetro.

Para obtener una lectura positiva, se deben respetar las polaridades marcadas en los terminales de los instrumentos analógicos estándares. Si las conexiones están invertidas, la lectura resultará negativa (la aguja se desvía hacia la dirección negativa).

La unidad de medida del flujo de corriente eléctrica es el amperio (A). La corriente se mide con un amperímetro y estos se conectan siempre en serie con el circuito, como lo muestra la figura 1-4. Los amperímetros tienen una resistencia interna baja, para minimizar el agregado de una resistencia extra en el circuito.

Cuando se conecta un amperímetro analógico, también se deben respetar las polaridades para asegurarse de que la aguja se desviará en la dirección apropiada.



NOTA: CUANDO $R_{\text{AMPERIMETRO}}$ ES MUY ELEVADA, LA RESISTENCIA DEL CIRCUITO AUMENTA Y CIRCULA MENOS CORRIENTE.

Figura 1-4. Medición de corriente con un amperímetro.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.



Si realiza este ejercicio utilizando el software LVSIM-EMS, omita las manipulaciones 1 y 2.

1. Utilice un ohmímetro para medir la resistencia de un par de terminales de entrada de tensión (E1, E2 y E3) del módulo de adquisición de datos.

$$R = \text{_____} \Omega$$

2. Utilice un ohmímetro para medir la resistencia de un par de terminales de entrada de corriente (I1, I2 e I3) del módulo de adquisición de datos.

$$R = \text{_____} \Omega$$

3. ¿Encuentra usted que la entrada de tensión tiene una resistencia mucho más alta que la entrada de corriente? ¿Por qué?

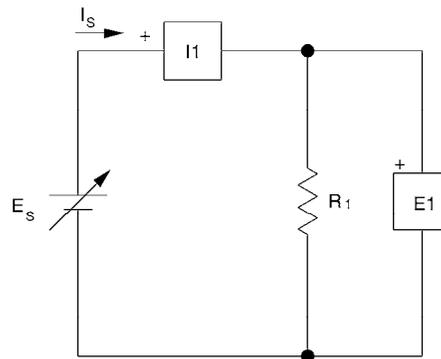
4. En el puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga resistiva.
5. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
6. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de adquisición de datos a la salida de 24 V- ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de encendido en la posición I (ON).

7. Monte el circuito que se muestra en la figura 1-5. Conecte la entrada E1 del módulo para la adquisición de datos a través de R_1 y conecte la entrada I1 de dicho módulo para medir la corriente del circuito. Cuando conecte el módulo para la adquisición de datos, asegúrese de que se respetan las polaridades para las mediciones de tensión y corriente.



Los valores de los distintos componentes (resistencias, inductores, condensadores, etc.) que componen los circuitos utilizados en este manual dependen de la tensión de la línea eléctrica ca local. Cada vez que es necesario, el esquema de los circuitos incluye una tabla con el valor de cada componente para las tensiones de las líneas eléctricas ca (tensiones de línea) de 120 V, 220 V y 240 V. Utilice los valores de los componentes que corresponden a la tensión de la línea eléctrica ca local.



Red local de potencia ca		
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	R_1 (Ω)
120	60	171
220	50	629
220	60	629
240	50	686

NOTA: USE LA TABLA DE IMPEDANCIAS DEL APENDICE B PARA AJUSTAR EL VALOR DE LA RESISTENCIA REQUERIDO POR EL CIRCUITO.

Figura 1-5. Ajuste de un circuito para medir tensión y corriente.

8. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES11-1.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú Archivo.



Los archivos de configuración pretenden ser un punto de partida y se pueden cambiar en cualquier momento durante el ejercicio, no son esenciales para la realización de éste.

Asegúrese de que el modo Regeneración continua está seleccionado.

9. Encienda la Fuente de alimentación.

10. Ajuste la perilla principal de control de tensión de la Fuente de alimentación, para obtener una serie de tensiones de 0 a 100% del rango de dicha perilla. Siete u ocho valores resultarán suficientes. En cada ajuste, haga clic sobre el botón *Registro de datos* para almacenar los valores en la *Tabla de Datos*. Apague la Fuente de alimentación principal después de ingresar el último dato.



La ventana Tabla de Datos debe estar abierta para registrar los datos.

11. Verifique que los valores medidos fueron almacenados en la *Tabla de Datos*.
12. Haga clic sobre el botón *Gráfico* para mostrar la ventana *Gráfico*. Haga la siguiente selección.

Eje Y: I1 (I_S)

Eje X: E1 (E_S)

13. En la ventana *Gráfico* asegúrese de que el formato *Gráfico continuo* y la *escala lineal* están seleccionados. La representación gráfica de los datos debe aparecer en esa ventana.
14. Observando el gráfico, ¿encuentra usted que la corriente resulta el doble, el triple, etc., cuando la tensión se duplica, se triplica, etc.?
-
15. Calcule el cociente E_S/I_S para varios pares de valores tensión/corriente. ¿Resulta el cociente aproximadamente igual a la resistencia del elemento resistor utilizado en el circuito?
-

16. Calcule el cociente E_S/R_1 empleando los datos de la última fila de la *Tabla de Datos* (100%). ¿Es aproximadamente igual al valor de I_S ?

$$\frac{E_S}{R_1} = \text{_____} \text{ A}$$

- Sí No

17. Cambie el valor de la resistencia por el indicado en la tabla 1-1. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la tensión para obtener la corriente I_S de la misma tabla. Utilice el botón Registro de datos para almacenar el valor de tensión medida en la *Tabla de Datos*. Luego, apague la Fuente de alimentación.

Tabla 1-1. Resistor R_1 y corriente I_S .

Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	I_S (A)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	200	0,6
220	50	733	0,3
220	60	733	0,3
240	50	800	0,3

18. ¿Resulta el producto $I_S \times R_1$ aproximadamente igual al valor de E_S ?

- Sí No

19. Ahora, usted utilizará las mediciones de tensión y corriente, para determinar la resistencia equivalente del circuito. Utilizando el circuito existente, encienda la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de tensión hasta el 50%. En el módulo Carga resistiva, seleccione una combinación de resistores en paralelo para que circule en el circuito una corriente aproximadamente igual a la indicada en la tabla 1-1.

20. Calcule la resistencia del circuito empleando E_S e I_S .

$$R_{EQ} = \frac{E_S}{I_S} = \text{_____} \Omega$$



Si realiza este ejercicio utilizando el software LVSIM-EMS, Omita las manipulaciones 21 y 22.

- 21.** Gire completamente a la izquierda la perilla del control de tensión y apague la Fuente de alimentación. Desconecte el circuito poniendo atención de no cambiar la posición de los conmutadores selectores del módulo Carga resistiva. Utilice un ohmímetro para medir la resistencia equivalente del módulo.

$$R_{EQ} = \text{_____} \Omega$$

- 22.** ¿Resultan similares los resultados de las etapas 20 y 21?

Sí No

- 23.** Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó las mediciones de tensión y corriente para demostrar la ley de Ohm y ha determinado los valores desconocidos de la tensión, la corriente y la resistencia. También, usted ha observado que la ley de Ohm se puede utilizar para predecir los valores de tensión, corriente y resistencia de un circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un voltímetro con una resistencia interna de 100.000 ohmios, ¿tiene menor influencia en el funcionamiento de un circuito que otro con una resistencia de 1.000.000 ohmios?
 - a. Verdadero.
 - b. Falso.
 - c. Depende de la tensión del circuito.
 - d. No hay diferencia.

2. Un amperímetro tiene una resistencia interna igual a la resistencia equivalente del circuito en que se deben tomar las mediciones. ¿Cómo afectará esto la corriente?
 - a. No tendrá efecto.
 - b. La corriente decrecerá la mitad.
 - c. La corriente se duplicará.
 - d. La corriente se triplicará.

3. La diferencia de potencial se refiere a la presión eléctrica de una fuente de tensión que provoca un flujo de corriente en el circuito.
 - a. Verdadero.
 - b. Falso.
 - c. Verdadero, sólo en los circuitos cc.
 - d. Ninguna de las anteriores.

4. Cuando a un circuito se le aplica una tensión de 120 V circulan 2,5 A. ¿Cuál es la resistencia del circuito?
 - a. 300 Ω .
 - b. 48 Ω
 - c. 0,03 Ω
 - d. 480 Ω

5. Para provocar un flujo de corriente de 3 A en un elemento resistor de 15 Ω , ¿qué tensión se debe aplicar?
 - a. 5 V
 - b. 0,2 V
 - c. 45 V
 - d. 50 V

Resistencia equivalente

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar la resistencia equivalente de diferentes combinaciones de resistores en serie y en paralelo. Además, usted podrá explicar el concepto de resistencia equivalente empleando la información disponible en el ejercicio. Verificará sus resultados utilizando mediciones de tensión y de corriente en los circuitos.

PRINCIPIOS La mayoría de los circuitos eléctricos están hechos con diferentes combinaciones de resistores en serie y en paralelo. La **resistencia equivalente** de un circuito completo depende de cómo se conectan los resistores.

Resistores en serie

Cuando se conecta un grupo de resistores en serie, la resistencia total (equivalente) es simplemente la suma de los valores de cada uno. Si se conecta un resistor de 5 ohmios (Ω) en serie con uno de 20 Ω , como lo muestra la figura 1-6, la resistencia total entre los terminales A y B es 25 Ω .

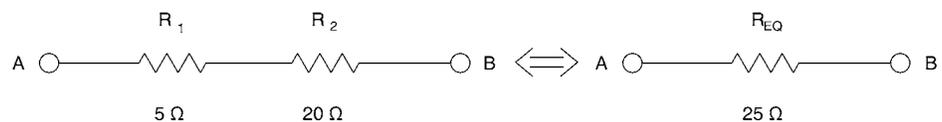


Figura 1-6. Combinación de resistores en serie.

Se puede reemplazar los dos resistores por un resistor único con una resistencia equivalente R_{EQ} igual al valor de $R_1 + R_2$, que para este caso es 25 Ω . La fórmula general para diversos resistores en serie es:

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$$

Resistores en paralelo

Cuando dos o más resistores se conectan en paralelo entre dos terminales, la resistencia (equivalente) resultante es siempre menor que el valor del resistor que tiene la menor resistencia. Como lo muestra la figura 1-7, la resistencia inicial entre los terminales A y B es $5\ \Omega$. Se agrega un resistor de $20\ \Omega$ en paralelo con el de $5\ \Omega$ y la oposición al flujo de corriente resultará menor que antes. Esto se debe a que ahora la corriente tiene un camino adicional para fluir, que no existía cuando el único resistor del circuito era el de $5\ \Omega$. Similar al agua, la corriente eléctrica fluirá a través de todo camino disponible. Cuando se conecta un resistor a una fuente de alimentación, circulará una corriente a través del mismo. Cuando se conecta un segundo resistor en paralelo con el primero, circulará una corriente adicional, lo que significa que la resistencia efectiva del circuito se redujo. Si el segundo resistor tiene el mismo valor que el primero, la cantidad de corriente que circulará por cada uno será la misma. De este modo, el efecto de adicionar un resistor de igual valor duplica la corriente o hace que la resistencia total sea la mitad. Si ahora se agrega un tercer resistor en paralelo de igual valor, la corriente se triplica, lo que significa que la resistencia equivalente es sólo un tercio de la resistencia original. Esta relación es válida para cualquier número de resistores iguales. La fórmula para calcular la resistencia equivalente (R_{EQ}) para un número n de resistores en paralelo es:

$$1/R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$$

Para el caso especial de sólo dos resistores en paralelo, la fórmula se convierte en:

$$R_{EQ} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

De este modo, $20\ \Omega$ en paralelo con $5\ \Omega$ es igual a:

$$\frac{20 \times 5}{20 + 5} = \frac{100}{25} = 4\ \Omega$$

Significa que R_1 y R_2 se pueden reemplazar por un único resistor $R_{EQ} = 4\ \Omega$.

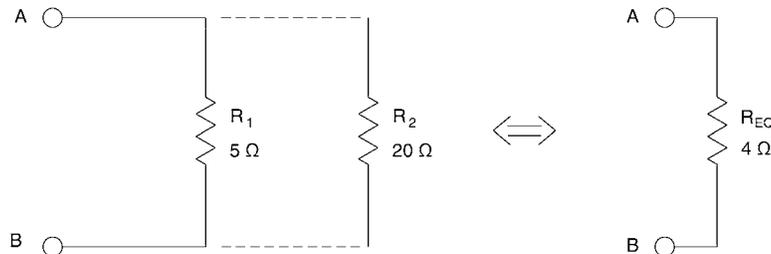


Figura 1-7. Combinación de resistores en paralelo.

El módulo Carga resistiva del sistema EMS cuenta con tres secciones idénticas, y cada una tiene tres resistores que se pueden agregar en el circuito mediante interruptores de palanca. Cerrando el interruptor apropiado, el valor seleccionado aparece en los terminales de salida de cada sección y cualquier par de interruptores, o los tres, se pueden colocar en paralelo. Luego, la resistencia en paralelo equivalente está presente en los terminales de salida. Esta disposición de los resistores permite ajustar diferentes valores de resistencias. En el Apéndice B de este manual, se encuentra una tabla que muestra los diferentes valores que se pueden obtener. Entre los diferentes tipos de circuitos y disposiciones posibles de los resistores, en la figura 1-8 se muestran las cuatro combinaciones que se utilizarán en todo este manual.

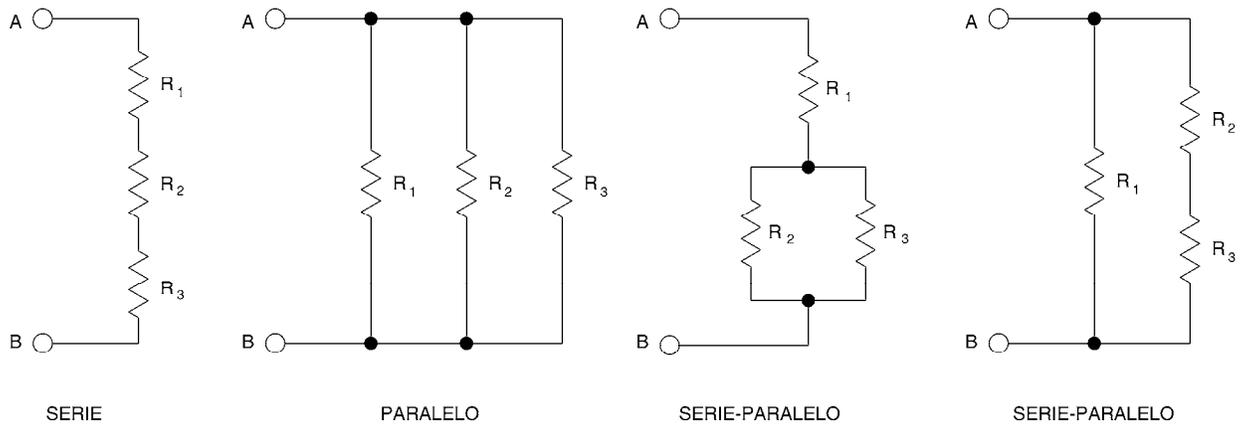


Figura 1-8. Diferentes combinaciones de resistores en serie y en paralelo.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



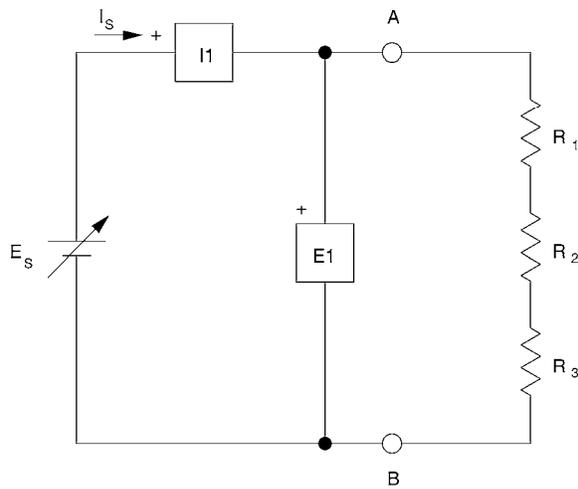
Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la Adquisición de datos y la Carga resistiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.

3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora se encuentra conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de adquisición de datos a la salida de 24 V- ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de encendido en la posición I (ON).

4. Monte el circuito serie que muestra la figura 1-9. Conecte la entrada E1 del módulo para la adquisición de datos en los puntos A y B del circuito y conecte la entrada I1 del módulo para la adquisición de datos para medir la corriente del circuito. Cuando conecte el módulo de adquisición de datos para las mediciones de tensión y corriente, respete las polaridades.



Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	171	200	240
220	50	629	733	880
220	60	629	733	880
240	50	686	800	960

Figura 1-9. Determinación de la resistencia equivalente de un circuito serie.

5. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES11-2.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú Archivo.



Este ejercicio se realizó con la configuración por defecto. Si lo desea, esta configuración se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo Regeneración continua está seleccionado.

6. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión en 100%. Desde la aplicación *Tablas de datos* haga clic en el botón *Registrar datos* para almacenar los valores medidos de tensión y corriente. Apague la Fuente de alimentación.

7. Calcule la resistencia equivalente en el circuito serie de la figura 1-9.

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 = \text{_____} \Omega$$

8. Calcule R_{EQ} empleando los valores medidos de tensión y corriente.

$$R_{EQ} = \frac{E_S}{I_S} = \text{_____} \Omega$$



Si realiza este ejercicio con el software LVSIM-EMS, omite esta manipulación y vaya directamente a la manipulación 10.

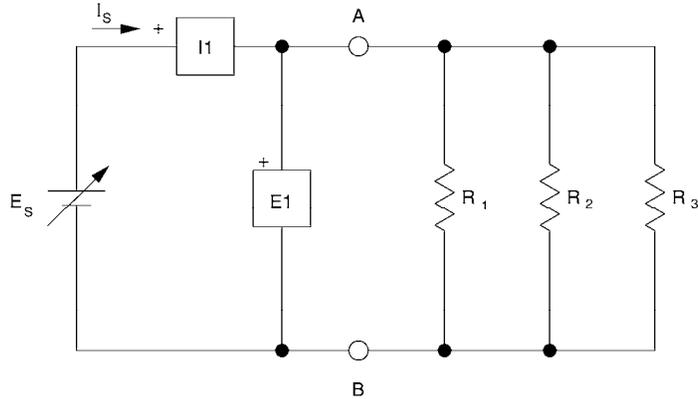
9. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y utilice un ohmímetro para medir la resistencia equivalente del circuito.

$$R_{EQ} = \text{_____} \Omega$$

10. Los resultados de las etapas 7, 8 y 9, ¿son aproximadamente iguales?

Sí No

11. Monte el circuito serie que muestra la figura 1-10. Conecte la entrada E1 del módulo para la adquisición de datos en los puntos A y B del circuito y conecte la entrada I1 del módulo para la adquisición de datos para medir la corriente del circuito. Cuando conecte el módulo de adquisición de datos para las mediciones de tensión y corriente, respete las polaridades.



Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	300	600	1200
220	50	1100	2200	4400
220	60	1100	2200	4400
240	50	1200	2400	4800

Figura 1-10. Determinación de la resistencia equivalente en un circuito paralelo.

12. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión en 100%. Para almacenar las mediciones de tensión y corriente del circuito utilice la *Tabla de Datos*. Apague la Fuente de alimentación.
13. Calcule la resistencia equivalente del circuito de la figura 1-10.

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{EQ} = \text{_____ } \Omega$$

14. Calcule la resistencia equivalente los valores medidos de tensión y corriente de la figura 1-10.

$$R_{EQ} = \frac{E_S}{I_S} = \text{_____ } \Omega$$



Si realiza este ejercicio con el software LVSIM-EMS, omite la siguiente manipulación y vaya directamente a la manipulación 16.

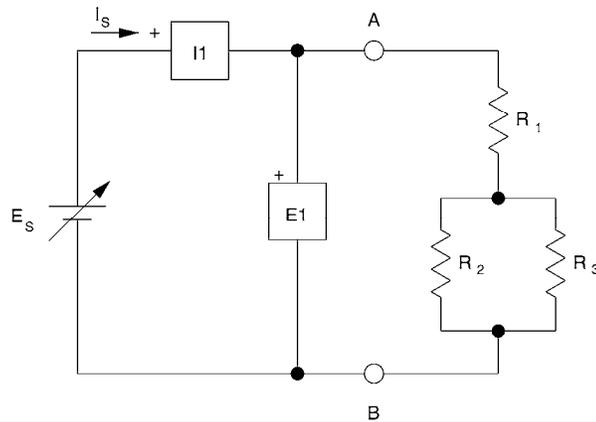
15. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y utilice un ohmímetro para medir la resistencia equivalente del circuito.

$$R_{EQ} = \text{_____ } \Omega$$

16. Los resultados de las etapas 13, 14 y 15, ¿son aproximadamente iguales?

- Sí No

17. Configure el circuito serie-paralelo que muestra la figura 1-11. Conecte la entrada E1 del módulo para la adquisición de datos en los puntos A y B del circuito y conecte la entrada I1 del módulo para la adquisición de datos para medir la corriente del circuito. Cuando conecte el módulo de adquisición de datos para las mediciones de tensión y corriente, respete las polaridades.



Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	171	300	600
220	50	629	1100	2200
220	60	629	1100	2200
240	50	686	1200	2400

Figura 1-11. Determinación de la resistencia equivalente de un circuito serie-paralelo.

18. Encienda la Fuente de alimentación principal, ajuste la perilla de control de tensión en 100% y utilice la *Tabla de datos* para almacenar los valores de tensión y corriente medidos del circuito como se realizó anteriormente. Apague la Fuente de alimentación.

19. Calcule la resistencia equivalente del circuito de la figura 1-11.

$$R_{EQ} = \text{_____ } \Omega$$

20. Calcule la resistencia equivalente empleando las mediciones de tensión y corriente de la figura 1-11.

$$R_{EQ} = \frac{E_S}{I_S} = \text{_____ } \Omega$$



Si realiza este ejercicio con el software LVSIM-EMS, omite la siguiente manipulación y vaya directamente a la manipulación 22.

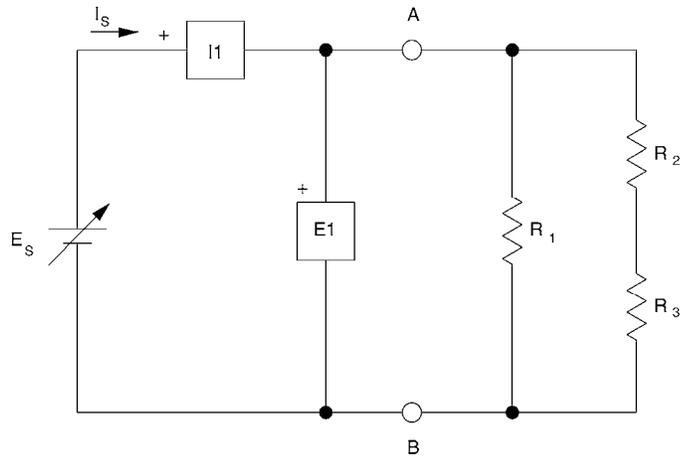
21. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y utilice un ohmímetro para medir la resistencia equivalente del circuito.

$$R_{EQ} = \text{_____ } \Omega$$

22. Los resultados de las etapas 19, 20 y 21, ¿son los mismos?

Sí No

23. Configure el circuito serie-paralelo que muestra la figura 1-12. Conecte la entrada E1 del módulo para la adquisición de datos en los puntos A y B del circuito y conecte la entrada I1 del módulo para la adquisición de datos para medir la corriente del circuito. Cuando conecte el módulo de adquisición de datos para las mediciones de tensión y corriente, respete las polaridades.



Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	300	171	200
220	50	1100	629	733
220	60	1100	629	733
240	50	1200	686	800

Figura 1-12. Determinación de la resistencia equivalente de un circuito serie-paralelo.

24. Encienda la Fuente de alimentación, ajuste el control de tensión en 100%. Como se hizo antes, use la *Tabla de Datos* para almacenar las mediciones de tensión y corriente del circuito. Apague la Fuente de alimentación.

25. Calcule la resistencia equivalente del circuito de la figura 1-12.

$$R_{EQ} = \text{_____} \Omega$$

26. Calcule la resistencia equivalente empleando las mediciones de tensión y corriente de la figura 1-12.

$$R_{EQ} = \frac{E_S}{I_S} = \text{_____} \Omega$$



Si realiza este ejercicio con el software LVSIM-EMS, omite la siguiente manipulación y vaya directamente a la manipulación 28.

27. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y utilice un ohmímetro para medir la resistencia equivalente del circuito.

$$R_{EQ} = \text{_____} \Omega$$

28. Los resultados de las etapas 25, 26 y 27, ¿son los mismos?

Sí No

29. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó las fórmulas para las resistencias equivalentes en serie y en paralelo y determinó la resistencia equivalente para diferentes combinaciones de resistores. Además, utilizó las mediciones de tensión y de corriente del circuito para hallar la resistencia equivalente del mismo y pudo comparar sus cálculos con las mediciones efectuadas con un ohmímetro.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es la fórmula para hallar la resistencia equivalente de un circuito serie?
 - a. $1/R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$
 - b. $R_{EQ} = (R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$
 - c. $R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$
 - d. $R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$

2. ¿Cuál es la fórmula que se utiliza para hallar la resistencia equivalente de un circuito paralelo?
 - a. $R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$
 - b. $R_{EQ} = (R_1 + R_2)/(R_1 \times R_2)$
 - c. $1/R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$
 - d. $R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$

3. Cuando cada una de los tres resistores de la figura 1-10 tienen un valor de 100 Ω , la resistencia equivalente es
 - a. 300 Ω .
 - b. 1/3 Ω .
 - c. 33,3 Ω .
 - d. imposible de determinar.

4. Cuando se conecta un resistor de 100 Ω a través de los puntos A y B de la figura 1-11, la resistencia equivalente del circuito resultante es
 - a. mayor que antes.
 - b. menor que antes.
 - c. la misma que antes.
 - d. imposible de determinar.

5. La resistencia equivalente de un circuito que contiene cien resistores de 100 Ω cada uno, todos conectados en paralelo y en serie con un resistor de 1 Ω es
 - a. 100 Ω .
 - b. 10 000 Ω .
 - c. $(1/100) \times 100 \Omega$.
 - d. 2 Ω .

Potencia en circuitos CC

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar la potencia disipada en un circuito cc. Usted verificará sus cálculos de potencia utilizando las mediciones de tensión y corriente.

PRINCIPIOS En un circuito eléctrico, una fuente de alimentación se emplea para suministrar energía a una carga. La carga utiliza esta energía para llevar a cabo alguna función útil o trabajo. En electricidad, el trabajo lo realiza el movimiento de electrones y la potencia es la velocidad con que se realiza ese trabajo. Una tensión de un voltio que produce la circulación de una corriente de un amperio a través de un resistor de un ohmio, es igual a un vatio de potencia. En los circuitos cc, la potencia suministrada a una carga es siempre igual al producto entre la tensión a través de la carga y la corriente cc que circula por dicha carga.

Este hecho, lo mismo que la ley de conservación de la energía, nos permite concluir que la potencia disipada por la combinación de diversos resistores de un circuito, es igual a la potencia total suministrada por la fuente. Se puede obtener la potencia total, sumando las potencias disipadas por cada resistor.

Cuando se suministra energía eléctrica a un resistor, dicha energía se convierte inmediatamente en calor y el resistor se calienta. Cuanto más potencia se suministra al resistor, más se calentará, hasta llegar a un punto donde el resistor u otro componente cercano, se quema. Para mantener una temperatura aceptable, los resistores que deben disipar grandes potencias se construyen físicamente más grandes que aquéllos que deben disipar menor potencia. Por esta razón, el tamaño físico de los resistores depende casi exclusivamente de la potencia que deben disipar, y no del valor de sus resistencias. De allí que las lámparas de 150 W son físicamente más grandes que aquellas de 25 W. El aumento de tamaño permite un mejor enfriamiento, tanto por convección como por radiación.

La fórmula para determinar la potencia en cualquier dispositivo de dos terminales es:

$$P = E \times I$$

donde P es la potencia en el dispositivo, expresada en vatios (W).

E es la tensión a través del dispositivo, expresada en voltios (V).

I es la corriente que fluye en el dispositivo, expresada en amperios (A).

A partir de la fórmula de potencia, se pueden obtener otras expresiones útiles, a saber:

$$E = \frac{P}{I} \quad \text{e} \quad I = \frac{P}{E}$$

Dado que la tensión y la corriente están relacionadas con la resistencia a través de la ley de Ohm, la fórmula para calcular la potencia en cualquier dispositivo de dos terminales, se puede escribir en términos de corriente o de tensión.

Substituyendo IR por E , se tendrá:

$$P = IR \times I = I^2 \times R$$

Mientras que substituyendo E/R por I , tendremos:

$$P = \frac{E^2}{R}$$

Por lo tanto, la potencia en un resistor se puede calcular empleando la tensión y la corriente en dicho resistor o uno de esos parámetros y el valor de su resistencia.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.



Si realiza este ejercicio con el software LVSIM-EMS, omite la manipulación 1.

1. Examine los resistores del módulo Carga resistiva. En base a sus tamaños, ordénelos según su capacidad de disipación y establezca cuál es el resistor que puede manejar mayor potencia.

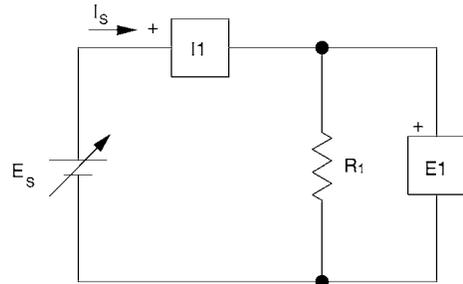
2. En el puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga resistiva.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

3. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora se encuentra conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

5. Monte el circuito que muestra la figura 1-13. Seleccione el resistor apropiado para la tensión de línea dada y conecte las entradas E1 e I1 como se indica. Respete la polaridad de las conexiones.



Red local de potencia ca		R_1 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	120
220	50	440
220	60	440
240	50	480

Figura 1-13. Circuito para determinar la potencia.

6. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES11-3.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo Regeneración continua está seleccionado.

7. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste el control de tensión en 100%.
8. A partir de la pantalla principal de instrumentos virtuales, haga clic sobre el botón Registro de datos para almacenar las mediciones de tensión y corriente del circuito en la *Tabla de Datos*. Apague la Fuente de alimentación.
9. Utilice las mediciones para calcular la potencia disipada en el circuito.

$$P = E_S \times I_S = \text{_____ W}$$



Si realiza este ejercicio con el software LVSIM-EMS, omita la siguiente manipulación y vaya directamente a la manipulación 11.

10. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión en 100%. Espere unos minutos antes de apagar la fuente. Acerque su mano al resistor y verifique si está caliente (*el mismo está diseñado para funcionar a una temperatura continua de 350°C*). **Tenga mucho cuidado de no tocar el resistor.**



Tenga cuidado de no tocar las resistencias, ya que algunas de ellas pueden estar muy calientes. El contacto con las resistencias calientes puede provocar quemaduras

11. Duplique el valor de la resistencia del circuito. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión en 100%. Utilice la *Tabla de Datos* para almacenar los valores medidos de tensión y corriente. Luego apague la Fuente de alimentación.
12. Calcule la potencia disipada por el resistor, empleando las tres fórmulas indicadas en la sección PRINCIPIOS.

$$P = E_S \times I_S = \text{_____ W}$$

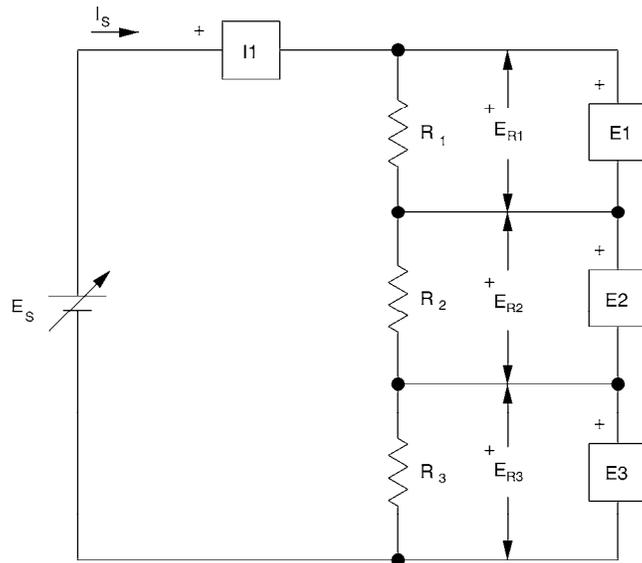
$$P = I_S^2 \times R = \text{_____ W}$$

$$P = \frac{E_S^2}{R} = \text{_____ W}$$

13. Las tres fórmulas, ¿dan aproximadamente el mismo resultado?

- Sí No

14. Configure el circuito que muestra la figura 1-14 y utilice la Tabla de impedancias del Apéndice B para seleccionar los valores de los resistores dados. Conecte la entrada E1 a través de R_1 , la E2 a través de R_2 y la E3 a través de R_3 . Utilice la entrada I1 para medir la corriente total I_S del circuito. Para ajustar los medidores, seleccione el archivo *ES11-4.dai*. Para las mediciones de tensión y corriente, respete las polaridades.



Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	171	200	240
220	50	629	733	880
220	60	629	733	880
240	50	686	800	960

Figura 1-14. Determinación de la potencia total en un circuito con varios resistores.

15. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión en 100%. Utilice la *Tabla de Datos* para registrar los valores medidos de tensión y corriente. Luego apague la Fuente de alimentación.

16. Calcule la potencia disipada por cada resistor empleando las mediciones registradas en la *Tabla de Datos*.

$$P_1 = E_{R1} \times I_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_2 = E_{R2} \times I_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_3 = E_{R3} \times I_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

17. Calcule la potencia total disipada y compárela con la potencia total suministrada por la fuente.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_T = E_S \times I_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

18. Los resultados, ¿son aproximadamente iguales?

Sí No

19. En el circuito de la figura 1-14, desconecte las conexiones para la medición de tensión y Conecte la entrada E1 para medir la tensión en los terminales 7-N de la fuente. Deje conectada la entrada I1 para medir la corriente del circuito. Edite la etiqueta del medidor asociado con la entrada E1 para que ésta corresponda con E_S en lugar de E_{R1} .

20. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión alrededor de 75%. Utilice la *Tabla de datos* para almacenar los valores medidos de tensión y corriente. Reduzca la tensión a cero y apague la Fuente de alimentación.

21. Calcule la potencia disipada por cada una de los resistores.

$$P_1 = I_S^2 \times R_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_2 = I_S^2 \times R_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_3 = I_S^2 \times R_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

22. Calcule la potencia total disipada y compárela con la potencia total suministrada por la fuente.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 = \text{_____ W}$$

$$P_T = E_S \times I_S = \text{_____ W}$$

23. Los resultados, ¿son aproximadamente iguales?

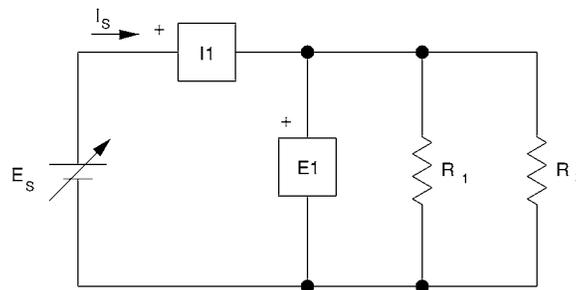
Sí No

24. La figura 1-15 muestra la fuente de tensión E_S aplicada a la combinación en paralelo de R_1 y R_2 . Utilice la fórmula para hallar la potencia, a partir de la tensión, para determinar la potencia disipada por cada resistor y calcule la potencia total (use el valor de E_S indicado en la figura 1-15).

$$P_{R1} = \frac{E_S^2}{R_1} = \text{_____ W}$$

$$P_{R2} = \frac{E_S^2}{R_2} = \text{_____ W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} = \text{_____ W}$$



Red local de potencia ca		E_S (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	120	171	200
220	50	220	629	733
220	60	220	629	733
240	50	240	686	800

Figura 1-15. Determinación de la potencia total en un circuito con resistores en paralelo.

25. Sabiendo que la Fuente de alimentación puede proporcionar la potencia total y que la tensión de la fuente es E_S , calcule la corriente suministrada por la fuente.

$$I_S = \frac{P_T}{E_S} = \text{_____ A}$$

26. Monte el circuito que muestra la figura 1-15. Conecte la entrada E1 para medir la tensión de la fuente E_S y utilice I1 para medir la corriente total I_S del circuito.

No guarde las modificaciones realizadas al archivo *ES11-4.dai*. Seleccione el archivo *ES11-5.dai* para ajustar los medidores.

Encienda la Fuente de alimentación y ajuste E_S con el valor dado en la figura 1-15. Utilice la *Tabla de datos* para almacenar los valores de E_S e I_S . Luego, apague la Fuente de alimentación.

27. Compare el valor medido de la corriente con el calculado en la etapa 25. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

28. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted demostró que la potencia de un circuito cc se puede determinar a partir de las mediciones de tensión y de corriente. Además, pudo comprobar que la potencia total de un circuito con varios resistores es la suma de las potencias disipadas por cada resistor. Finalmente, verificó que la potencia en un resistor se puede calcular utilizando la tensión del circuito o la corriente en combinación con la resistencia, sin necesidad de conocer ambas magnitudes.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Una tensión de un voltio provoca la circulación de una corriente de un amperio a través de un resistor de un ohmio. Lo anterior es la definición de
 - a. trabajo
 - b. tensión
 - c. un vatio de potencia.
 - d. resistencia.

2. La potencia disipada en un circuito cc resistivo, se puede determinar
 - a. a partir de E y I .
 - b. a partir de E y R .
 - c. a partir de I y R .
 - d. todas las anteriores.

3. El arrollamiento de campo en derivación de un motor cc tiene una resistencia de 240Ω . ¿Qué cantidad de potencia disipa dicho arrollamiento cuando se le aplica una tensión cc de 120 V ?
 - a. 480 W
 - b. 120 W
 - c. 60 W
 - d. 600 W

4. La resistencia de la puesta a tierra de la base de una torre de transmisión es 2Ω . Si un rayo de 20.000 A alcanza la torre, ¿qué potencia se disipará en la puesta a tierra?
 - a. 800 megavatios
 - b. 80 kilovatios
 - c. 40 kilovoltios
 - d. Ninguna

5. Un motor cc toma una corriente de 50 A a 230 V y disipa 1.200 W de potencia en forma de calor. ¿De cuánta potencia se dispone para el trabajo mecánico?
 - a. $11\,500 \text{ W}$
 - b. $10\,300 \text{ W}$
 - c. $12\,100 \text{ W}$
 - d. $11\,900 \text{ W}$

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Circuitos serie y paralelo

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de resolver circuitos serie y paralelo y podrá demostrar las leyes de tensiones y de corrientes de Kirchhoff.

PRINCIPIOS A medida que usted avance en el estudio de los circuitos eléctricos, comprobará que hasta los circuitos más complejos se pueden resolver empleando unas pocas reglas fundamentales. Como se muestra más abajo, estas reglas están resumidas en dos grupos: reglas para los circuitos serie y reglas para los circuitos paralelo. Dichas reglas se encuentran directamente relacionadas con la ley de Ohm, con las fórmulas para la resistencia equivalente y con las leyes de tensiones y de corrientes de Kirchhoff. La ley de tensiones de Kirchhoff establece que la suma de las tensiones en un circuito cerrado es igual a cero. La ley de corrientes de Kirchhoff establece que la suma de las corrientes que entran en un nodo de un circuito es igual a la suma de las corrientes que salen del mismo.

Reglas para los circuitos serie

1. La suma de las caídas de tensión a través de cada resistor de un circuito serie es igual a la tensión aplicada.
2. La corriente que circula es la misma en cada uno de los resistores en serie.
3. La resistencia total del circuito serie es la suma de las resistencias de cada resistor.

La figura 1-16 se utilizará para ilustrar las reglas para los circuitos serie. Como lo muestra dicha figura, una fuente cc E_S está conectada a la combinación en serie de los resistores R_1 , R_2 y R_3 . La corriente I_S fluye en el circuito por un camino que está disponible. De la ley de Ohm sabemos que la tensión a través de cada resistor es igual a $I_S R$, de modo que las tensiones resultarán $E_{R1} = I_S R_1$, $E_{R2} = I_S R_2$ e $E_{R3} = I_S R_3$. Ahora, basándonos en la regla 1 para este circuito, vemos que figura 1-16

$$E_{R1} + E_{R2} + E_{R3} = E_S$$

e

$$I_S R_1 + I_S R_2 + I_S R_3 = E_S$$

Dado que I_S es común a todos los términos, se puede escribir la ecuación de la forma siguiente:

$$I_S (R_1 + R_2 + R_3) = E_S$$

Empleando la ecuación de la resistencia equivalente R_{EQ} de los circuitos serie ($R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3$), o regla 3, obtenemos:

$$I_S \times R_{EQ} = E_S$$

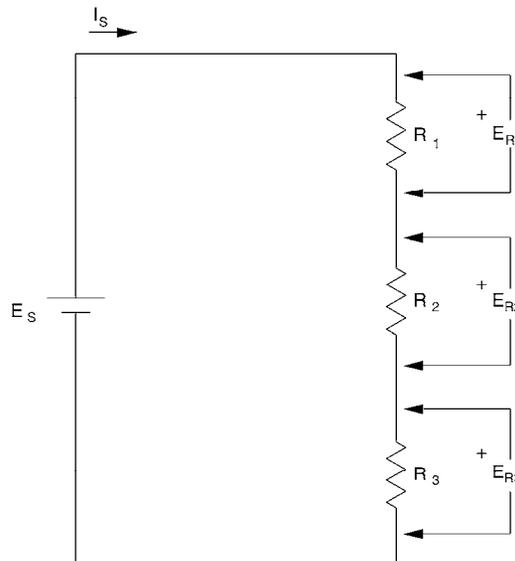


Figura 1-16. Circuito serie típico.

Reglas para los circuitos paralelos

1. La suma de las corrientes de las ramas de un circuito paralelo es igual a la corriente total de la fuente.
2. La tensión es el misma a través de todas las ramas en paralelo.
3. La recíproca de la resistencia total del circuito paralelo es igual a la suma de las recíprocas de las resistencias de cada resistor.

La figura 1-17 se utilizará para ilustrar las reglas para los circuitos paralelos. Como lo muestra, una fuente cc E_S está conectada a través de la combinación en paralelo de los resistores R_1 , R_2 y R_3 . La corriente I_S se divide y fluye por las tres ramas del circuito. Además, la figura 1-17 muestra que la tensión a través de cada resistor es el misma. Por lo tanto, las corrientes de las tres ramas se pueden determinar utilizando la ley de Ohm. Partiendo de la regla 1 para este circuito, obtenemos:

$$I_{R1} + I_{R2} + I_{R3} = I_S$$

y

$$\frac{E_S}{R_1} + \frac{E_S}{R_2} + \frac{E_S}{R_3} = I_S$$

Dado que E_S es común a todos los términos, se puede escribir la ecuación de la forma siguiente:

$$E_S \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = I_S$$

Empleando la ecuación de la resistencia equivalente R_{EQ} en los circuitos paralelo ($1/R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$), o regla 3, obtenemos:

$$E_S \times \frac{1}{R_{EQ}} = I_S$$

y

$$\frac{E_S}{R_{EQ}} = I_S$$

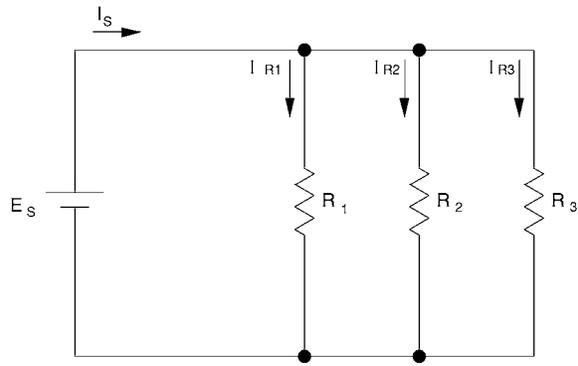


Figura 1-17. Circuito paralelo típico.

Existen otros dos principios fundamentales que se utilizan en la resolución de circuitos eléctricos: el principio divisor de tensión y el principio divisor de corriente. El primero dice que la tensión E_s , aplicada a dos resistores en serie R_1 y R_2 , se divide de manera que el cociente entre las caídas de tensión a través de los resistores (E_{R1} y E_{R2}) resulte igual al cociente entre las resistencias de dichos resistores. Esto se puede escribir de la forma siguiente:

$$\frac{E_{R1}}{E_{R2}} = \frac{R_1}{R_2}$$

Esto conduce a las dos ecuaciones siguientes:

$$E_{R1} = \frac{E_s \times R_1}{R_1 + R_2}$$

y

$$E_{R2} = \frac{E_s \times R_2}{R_1 + R_2}$$

El principio divisor de corriente afirma que la corriente I_s se reparte entre dos resistores en paralelo R_1 y R_2 , de manera que el cociente entre las corrientes en esos resistores (I_{R1} y I_{R2}) resulte igual a la inversa del cociente entre las resistencias de dichos resistores. Esto se puede escribir de la forma siguiente:

$$\frac{I_{R1}}{I_{R2}} = \frac{R_2}{R_1}$$

Esto conduce a las dos ecuaciones siguientes:

$$I_{R1} = \frac{I_s \times R_2}{R_1 + R_2}$$

y

$$I_{R2} = \frac{I_s \times R_1}{R_1 + R_2}$$

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. En el puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga resistiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro de la Fuente de alimentación en la posición 7-N CC. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora se encuentra conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de adquisición de datos a la salida de 24 V- ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de encendido en la posición I (ON).

4. Monte el circuito que muestra la figura 1-18. Seleccione el resistor apropiado para la tensión de línea dada y conecte las entradas I1, E1, E2 y E3, como se indica, para medir la corriente y las tensiones del circuito serie. Respete la polaridad de las conexiones.

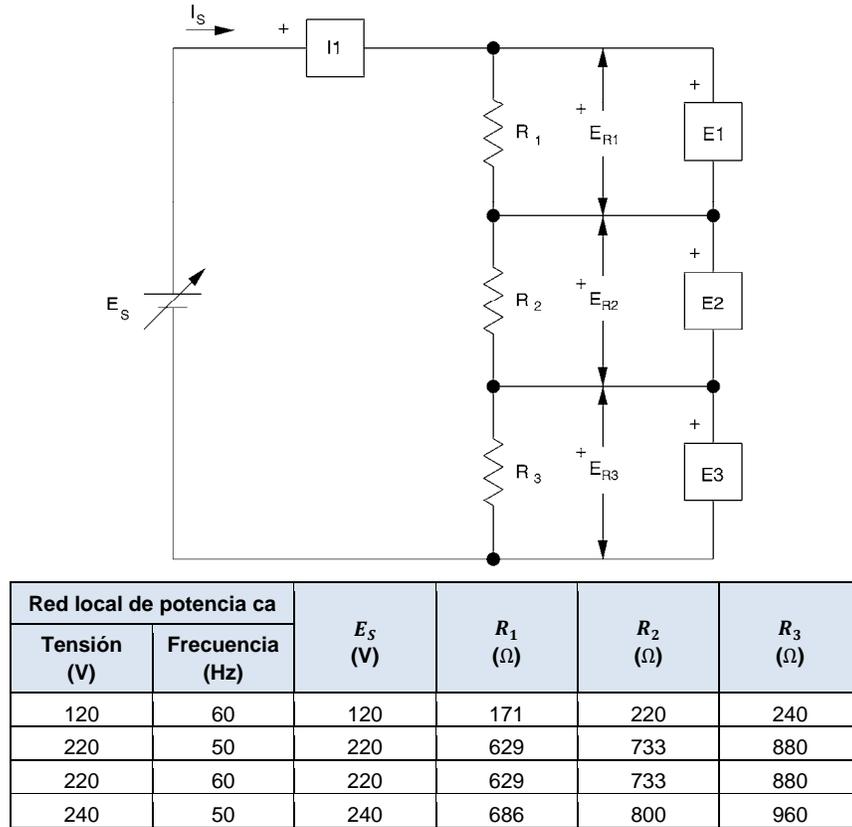


Figura 1-18. Ajuste de un circuito serie típico.

- Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES11-6.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo Regeneración continua está seleccionado.

- Encienda la fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión para obtener el valor E_s , que se indica en la figura 1-18.

7. Utilice la *Tabla de Datos* para almacenar los valores medidos de tensión y corriente. Apague la Fuente de alimentación.
8. Calcule la resistencia equivalente R_{EQ} y la corriente I_S del circuito, empleando los valores dados en la figura 1-18.

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$I_S = \frac{E_S}{R_{EQ}} = \underline{\hspace{2cm}} A$$

9. Calcule las caídas de tensión en cada resistor, empleando la corriente I_S calculada en la etapa anterior y los valores de los resistores dados en la figura 1-18. Compare con los valores medidos.

$$E_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} V$$

$$E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} V$$

$$E_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} V$$

10. ¿Existe concordancia entre los valores?

Sí No

11. Monte el circuito combinación serie de la figura 1-19 y ajuste el módulo Carga resistiva con los valores de resistencias indicados. Conecte las entradas I1, E1 y E2 para medir los parámetros del circuito. Para las mediciones del circuito, utilice el archivo de configuración existente *ES11-7.dai*.

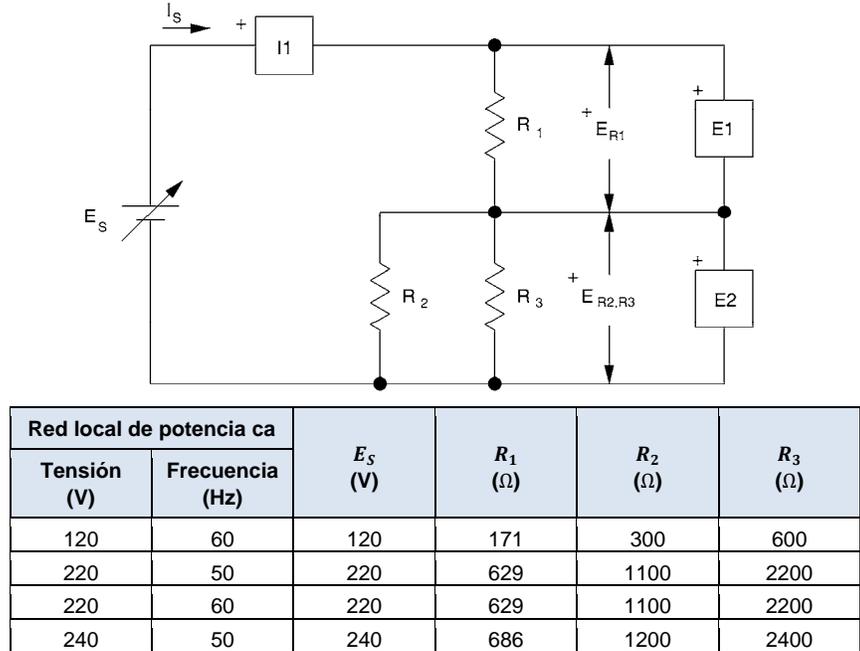


Figura 1-19. Ajuste de un circuito combinación serie.

- Encienda la Fuente de alimentación, ajuste E_s según lo requerido y mida los parámetros del circuito.
- Apague la Fuente de alimentación y calcule E_{R1} y $E_{R2,R3}$, empleando la resistencia equivalente de R_2 en paralelo con R_3 , $R_{R2,R3}$ y R_1 y el valor medido de I_s .

$$R_{R2,R3} = \text{_____ } \Omega$$

$$E_{R1} = \text{_____ } V$$

$$E_{R2,R3} = \text{_____ } V$$

- Calcule E_{R1} y $E_{R2,R3}$, empleando el principio divisor de tensión.

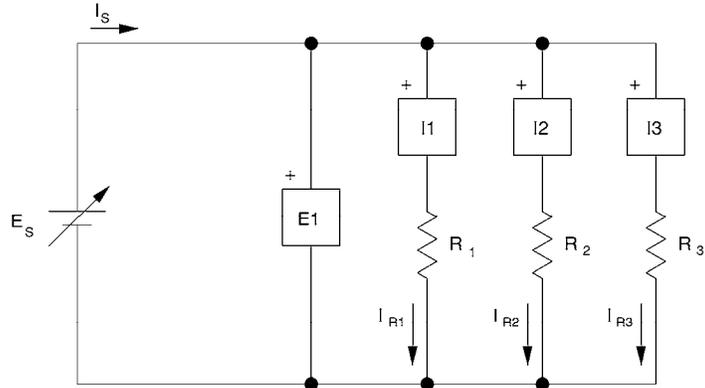
$$E_{R1} = \text{_____ } V$$

$$E_{R2,R3} = \text{_____ } V$$

- Compare los valores obtenidos en las etapas anteriores. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

16. Monte el circuito paralelo que muestra la figura 1-20 y ajuste el módulo Carga resistiva con los valores de resistencias indicados. Conecte las entradas I1, I2, I3 y E1 para medir las corrientes y la tensión del circuito paralelo.



Red local de potencia ca		E_S (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	120	300	600	1200
220	50	220	1100	2200	4400
220	60	220	1100	2200	4400
240	50	240	1200	2400	4800

Figura 1-20. Ajuste de un circuito paralelo típico.

17. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste E_S , según lo requerido. Mida los parámetros del circuito, empleando el archivo de configuración *ES11-8.dai*.
18. Apague la Fuente de alimentación y calcule los valores de R_{EQ} , I_S y de las corrientes de rama, utilizando los valores dados en la figura 1-20.

$$R_{EQ} = \text{_____} \Omega$$

$$I_S = \text{_____} A$$

$$I_{R1} = \text{_____} A$$

$$I_{R2} = \text{_____} A$$

$$I_{R3} = \text{_____} A$$

19. Determine las corrientes de rama empleando el principio divisor de corriente.

$$I_{R1} = \text{_____} \text{ A}$$

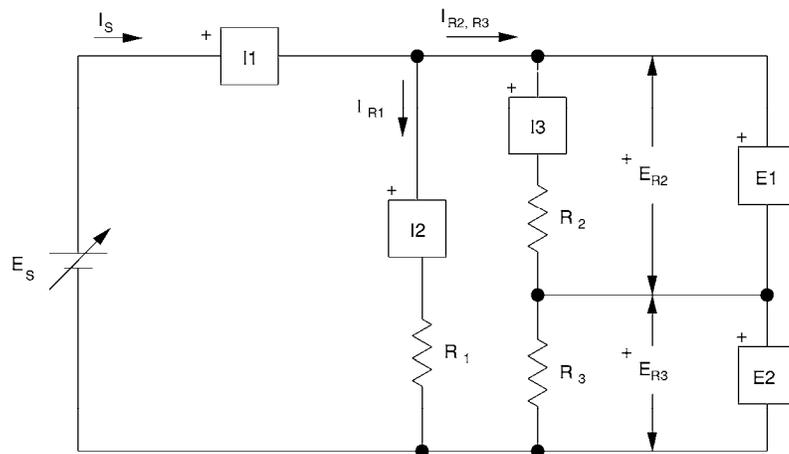
$$I_{R2} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{R3} = \text{_____} \text{ A}$$

20. Compare los valores calculados con los medidos. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

21. Monte el circuito combinación paralelo de la figura 1-21 y ajuste el módulo Carga resistiva con los valores de resistencias indicados. Conecte las entradas I1, I2, I3, E1 y E2 para medir los parámetros del circuito.



Red local de potencia ca		E_S (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	120	300	171	200
220	50	220	1100	629	733
220	60	220	1100	629	733
240	50	240	1200	686	800

Figura 1-21. Ajuste de un circuito combinación paralelo.

22. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste E_S , según lo requerido. Mida los parámetros del circuito empleando el archivo de configuración *ES11-9.dai*.

23. Apague la Fuente de alimentación y, utilizando los valores indicados en la figura 1-21, calcule los valores de I_{R1} e $I_{R2,R3}$.

$$I_{R1} = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_{R2,R3} = \text{_____} \text{ A}$$

24. Compare los valores medidos con los calculados. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

25. Compare la corriente de la fuente I_S con la suma de las corrientes de rama. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

26. Calcule E_{R2} y E_{R3} utilizando los valores dados en la figura 1-21 y compárelos con los valores medidos.

$$E_{R2} = \text{_____} \text{ V}$$

$$E_{R3} = \text{_____} \text{ V}$$

27. ¿Los valores medidos y los calculados son aproximadamente iguales?

Sí No

28. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted demostró que mediante reglas y principios basados en la ley de Ohm y en las leyes de Kirchhoff, se pueden resolver diferentes combinaciones de circuitos serie y paralelo. Además, usted pudo practicar las técnicas presentadas en los ejercicios anteriores.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Los principales principios y reglas para resolver circuitos eléctricos están basados en
 - a. la ley de conservación de la energía.
 - b. las combinaciones de diferentes circuitos.
 - c. las leyes de Kirchhoff, la ley de Ohm y las reglas para las resistencias equivalentes.
 - d. el funcionamiento aleatorio de un circuito.

2. Se duplica el valor de la fuente de tensión del circuito de la figura 1-19. ¿Qué efecto tendrá esto en la corriente y tensiones del circuito?
 - a. Ambos se duplicarán.
 - b. Ambos disminuirán un medio.
 - c. Ambos aumentarán un medio.
 - d. No habrá cambios.

3. El valor del resistor R_3 de la figura 1-19 se reduce a la mitad. La corriente a través de R_2 , ¿aumentará o disminuirá?
 - a. Aumentará.
 - b. Disminuirá.
 - c. No cambiará.
 - d. Ninguna de las anteriores.

4. ¿Qué efecto tendrá la desconexión de uno de los resistores del circuito de la figura 1-20?
 - a. La tensión de la fuente caerá.
 - b. La corriente de la fuente aumentará.
 - c. La corriente de la fuente disminuirá.
 - d. No tendrá ningún efecto.

5. En el circuito de la figura 1-21, ¿cómo se puede reducir la corriente I_S a la mitad?
 - a. Disminuyendo la tensión de la fuente a la mitad o duplicando R_1 .
 - b. Aumentando un medio la tensión de la fuente o duplicando R_{EQ} .
 - c. Disminuyendo un medio la tensión de la fuente o duplicando R_{EQ} .
 - d. Aumentando un medio la tensión de la fuente y duplicando R_{EQ} .

Examen de la unidad

1. La tensión se puede definir como
 - a. la diferencia de corriente entre dos circuitos acoplados.
 - b. la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico.
 - c. el flujo de electrones libres en un conductor eléctrico.
 - d. la razón entre la resistencia y la corriente.

2. ¿Cuál de las siguientes fórmulas es una expresión válida de la ley de Ohm?
 - a. $E^2 = PR$
 - b. $E = I^2/R$
 - c. $E = RI$
 - d. a y c.

3. La fórmula para hallar la resistencia equivalente de un circuito serie es
 - a. $1/R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$
 - b. $R_{EQ} = (R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$
 - c. $R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$
 - d. $R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$

4. La fórmula para hallar la resistencia equivalente de un circuito paralelo es
 - a. $R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$
 - b. $R_{EQ} = (R_1 + R_2)/(R_1 \times R_2)$
 - c. $1/R_{EQ} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + \dots + 1/R_n$
 - d. $R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \dots + R_n$

5. ¿Cuál es la resistencia equivalente de cuatro resistores de 1Ω dispuestos en paralelo?
 - a. 4Ω
 - b. 12Ω
 - c. $0,25 \Omega$
 - d. 1Ω

6. En un circuito cc, la potencia se puede definir como
 - a. el producto de la tensión por la corriente.
 - b. la razón entre la tensión y la corriente.
 - c. la razón entre la corriente y la tensión.
 - d. el producto de la corriente por la resistencia.

7. La potencia de un circuito cc resistivo se puede calcular utilizando
 - a. la corriente y la tensión.
 - b. la corriente y la resistencia.
 - c. la tensión y la resistencia.
 - d. cualquier par de parámetros entre la tensión, la corriente y la resistencia.

8. Para resolver los circuitos eléctricos, se requiere el conocimiento
 - a. de la ley de la conservación de la materia.
 - b. de las leyes de Kirchhoff, de la ley de Ohm y de las reglas para la resistencia equivalente.
 - c. Cálculo vectorial.
 - d. de la ley natural de conservación de la energía.

9. Si en un circuito se duplica la tensión de la fuente, la corriente aumentará
 - a. Verdadero, si se duplica la resistencia del circuito.
 - b. Verdadero, si la resistencia del circuito permanece igual.
 - c. Falso, porque la tensión y la corriente son independientes.
 - d. No habrá cambios.

10. Si se duplica la resistencia de una rama de un circuito paralelo, la tensión de esa rama cambiará.
 - a. Verdadero, porque el producto IR será diferente.
 - b. Verdadero, ya que la tensión es proporcional a la resistencia.
 - c. Falso, no hay cambio en la tensión a lo largo de la rama.
 - d. Verdadero, ya que la corriente del circuito también cambia.

Corriente alterna

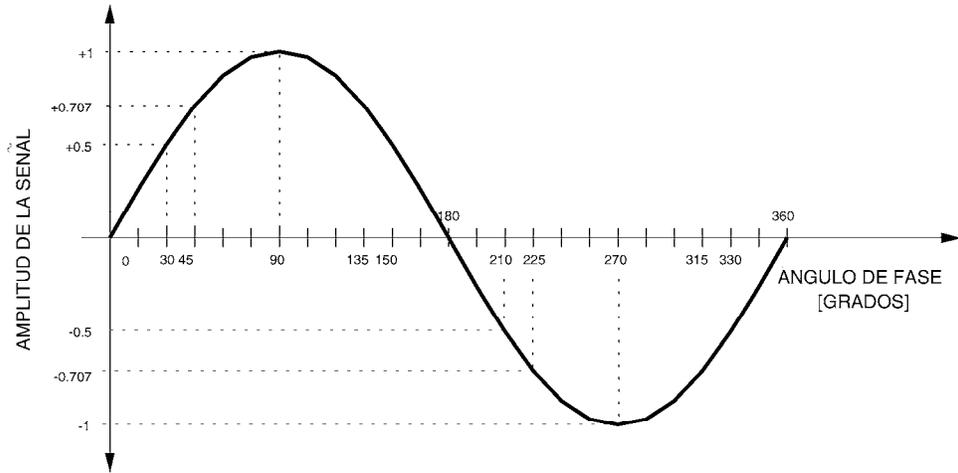
OBJETIVO DE LA UNIDAD Después de completar esta unidad, usted será capaz de explicar y demostrar los conceptos de amplitud, frecuencia y fase de las formas de ondas alternas de la tensión y la corriente. Además, usted demostrará los conceptos relacionados con la potencia instantánea.

**PRINCIPIOS
FUNDAMENTALES**

La **corriente alterna** (ca) se utiliza a través de todo el mundo como fuente de alimentación de motores y de diferentes equipos eléctricos. Como su nombre lo indica, una tensión alterna invierte (alterna) su polaridad en forma permanente. Cuando se habla de tensiones ca es correcto considerarlas como tensiones cc que cambian continuamente sus valores y polaridades. El número de veces que, en un segundo, la polaridad pasa de un valor positivo a uno negativo y de uno negativo a uno positivo se llama **frecuencia**. La frecuencia ca normalizada en América del Norte es 60 Hz, mientras que en la mayoría de los países de Europa y en muchos otros es 50 Hz.

Además de invertir sus polaridades periódicamente, las tensiones ca cambian su valor en todo instante, de acuerdo al tipo de fuente de alimentación. Es posible obtener ondas de tensión cuadradas, triangulares u otros tipos de formas de onda. La teoría y la práctica demostraron que la forma de onda más apropiada para el funcionamiento de la maquinaria eléctrica es la **onda seno**. Esta **forma de onda periódica** permite obtener un mayor rendimiento de los transformadores, motores y generadores y un funcionamiento más silencioso de los mismos. Aunque la onda seno parece más complicada que la cuadrada o la triangular, es la que resulta más simple para el cálculo de corrientes y tensiones en circuitos eléctricos. El valor de una onda seno se puede calcular en cualquier instante de su ciclo utilizando la función seno y ese valor siempre se repite después de un ciclo completo.

La figura 2-1 proporciona los valores fraccionados de una onda seno para un ciclo completo. A partir de dicha figura, es posible realizar rápidamente el cálculo y el dibujo de la forma de onda. Utilizando simples proporciones, se pueden calcular otras formas de ondas cuyos valores máximos difieren de la unidad. Los valores negativos indican que la polaridad de la tensión o de la corriente está invertida.



Ángulo de fase	Amplitud	Ángulo de fase	Amplitud
0°	0	180°	0
15°	0,26	195°	-0,26
30°	0,50	210°	-0,50
45°	0,71	225°	-0,71
60°	0,87	240°	-0,87
75°	0,97	250°	-0,97
90°	1,00	270°	-1,00
105°	0,97	285°	-0,97
120°	0,87	300°	-0,87
135°	0,71	315°	-0,71
150°	0,50	330°	-0,50
165°	0,26	345°	-0,26
180°	0	360°	0

Figura 2-1. Valores de la onda seno para un ciclo completo.

En un instante dado, la onda seno estará en una posición determinada, medida en grados, a partir de un punto de referencia. Consideremos que hay dos generadores que se ajustaron exactamente a la misma frecuencia. Supongamos ahora que se pone en marcha el segundo generador un instante después que el primero. Cuando se observan simultáneamente ambas formas de ondas en un osciloscopio, éste mostrará algo similar a lo que ilustra la figura 2-2. Si se toma como referencia la forma de onda del primer generador, podemos ver que la segunda se encuentra atrasada varios grados con respecto a dicha referencia. La separación, en el tiempo, de las dos formas de ondas ca es el **desfasaje**. Normalmente, los desfasajes se miden utilizando los **ángulos de fase**. El término desfasaje en adelante o en atraso se utiliza para indicar si la forma de onda alcanza su máximo antes o después de la referencia

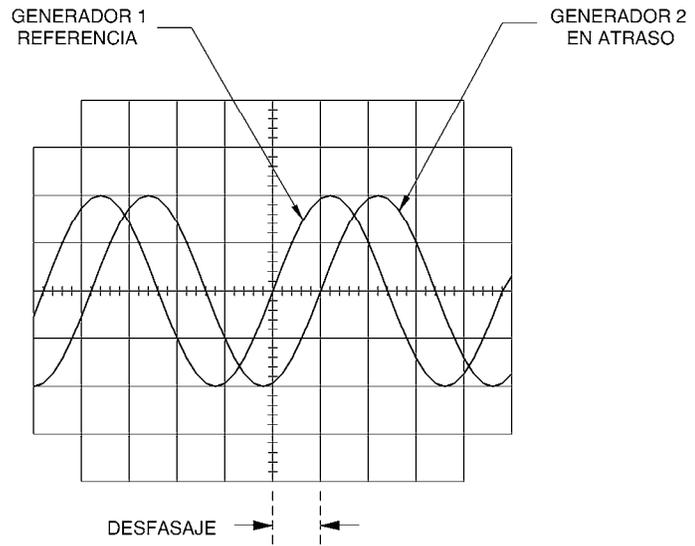


Figura 2-2. Desfasaje entre dos ondas seno de igual frecuencia.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Onda seno

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de medir la amplitud y la frecuencia de las formas de ondas ca. Además, usted podrá demostrar conceptos asociados con esos parámetros.

PRINCIPIOS Como lo muestra la figura 2-3, la función seno guarda una relación directa con la rotación circular. Cada ciclo de una función seno es equivalente a una revolución completa (360°). De hecho, la tensión alterna estándar que produce la planta de generación local es una onda seno. La tensión parte de cero y se incrementa hasta un valor máximo. Luego decrece hasta alcanzar cero nuevamente y en este punto la tensión cambia la polaridad. Luego comienza a aumentar hasta llegar al máximo de polaridad opuesta y una vez más decrece hacia cero. En el punto donde la tensión alcanza el cero por segunda vez se ha completado una revolución completa de 360 grados angulares. Esto significa que en un sistema de 60 Hz, la onda seno completará 60 ciclos o períodos, en un segundo. Por lo tanto, el período T de una onda seno de 60 Hz es $1/60$ segundos.

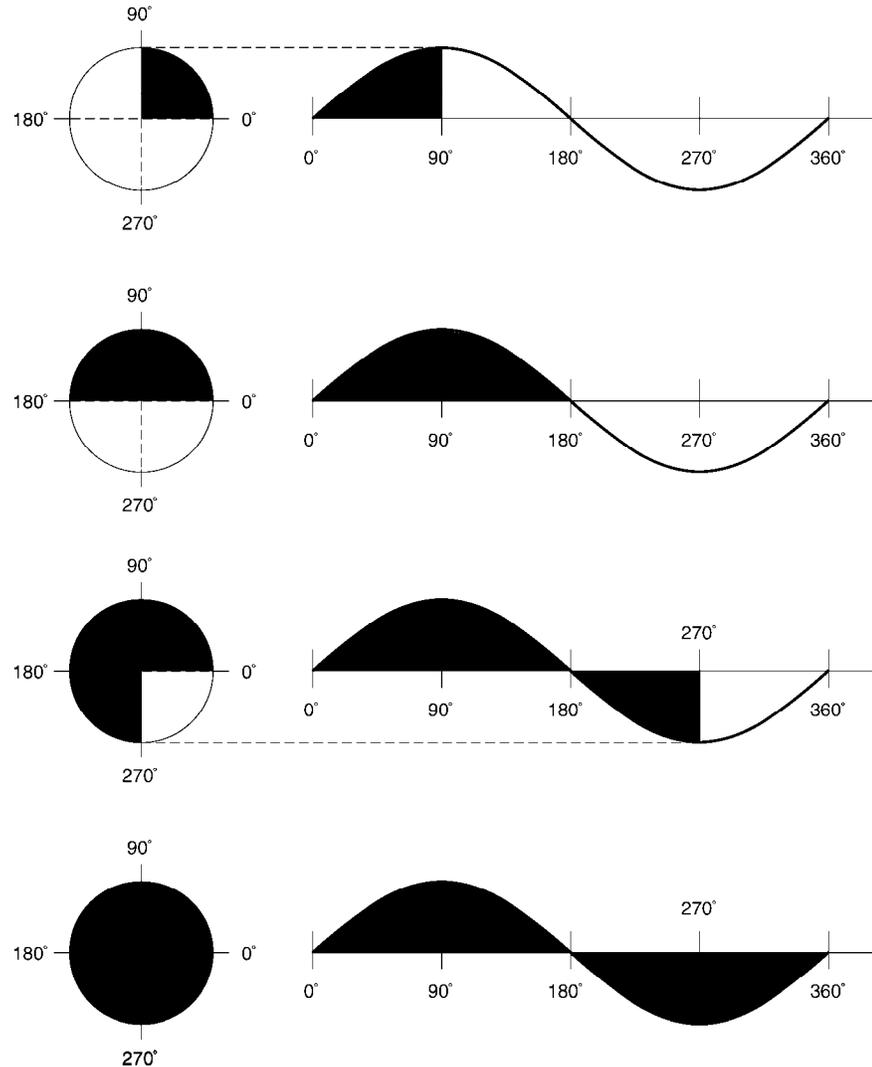


Figura 2-3. Un ciclo completo de una onda seno equivale a una rotación de 360°.

La amplitud y la frecuencia son dos parámetros importantes de la onda seno. La amplitud se puede indicar con sus valores pico a pico, máximo, o eficaz. El valor máximo es el valor más alto que puede alcanzar una onda seno durante su ciclo. La **amplitud pico a pico** es simplemente el doble del valor máximo. El **valor eficaz o rms (raíz cuadrática media)**, se define como el efecto de calentamiento que produce una onda seno en un elemento resistor. Supongamos que se aplica una onda seno de tensión ca de 100 V de valor máximo a una resistencia de carga y, una vez su temperatura estabilizada, se mide dicha temperatura. Para encontrar el valor eficaz de la tensión ca se utiliza una fuente de alimentación cc. En dicha fuente se ajusta el valor de tensión cc hasta que la temperatura del elemento resistor se establece en el mismo punto que el anterior. La tensión cc que resulta es 71 V y esto significa que el valor eficaz de la tensión ca es 71 V. Otra forma de medir el valor eficaz es aplicando una tensión cc a una lámpara y una tensión ca a otra. Como la luminosidad de la lámpara es un indicador bastante preciso de la potencia disipada, se puede

ajustar la tensión cc para obtener la misma luminosidad que con la tensión ca. Naturalmente, estos métodos implican tiempo y no son muy precisos para determinar el valor eficaz de una tensión ca o de una corriente ca.

Los instrumentos de medición para la corriente alterna estándar (onda seno) están calibrados para indicar directamente el valor eficaz. Este último está relacionado con el valor máximo por medio de la simple relación $E_{ef} = E_{m\acute{a}x} \times 0,707$ (el valor máximo multiplicado por $1/\sqrt{2}$). Note que esta relación es válida sólo para las ondas seno. Se utiliza el subíndice ef solamente cuando es necesario.

Finalmente, el otro parámetro importante de la onda seno es la frecuencia que es el valor recíproco del período de la forma de onda, es decir, $f = 1/T$. Para un sistema de potencia ca de 60 Hz, el período es $1/60 = 0,0167$ seg. y, naturalmente, su recíproco es 60 Hz. Para un sistema de potencia ca de 50 Hz, el período es $1/50 = 0,02$ seg. y, naturalmente, su recíproco es 50 Hz. A la inversa, el período es el recíproco de la frecuencia, $T = 1/f$. La figura 2-4 muestra los parámetros de la onda seno.

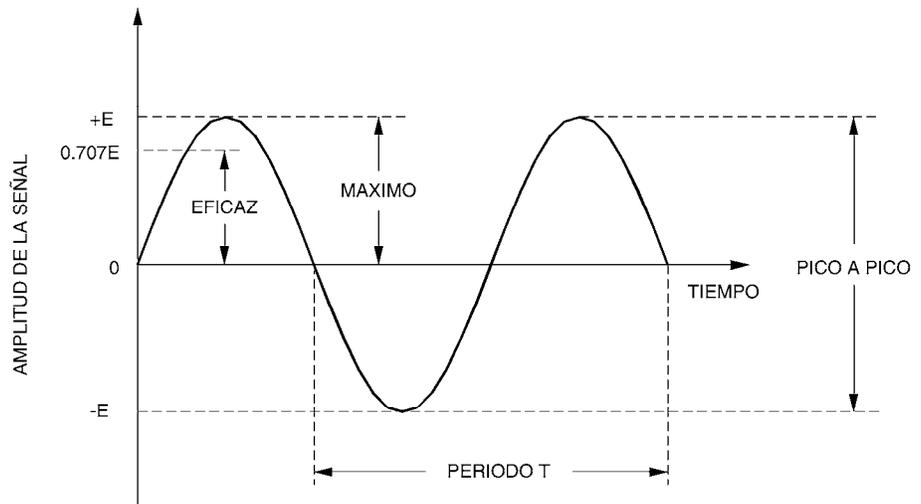


Figura 2-4. Amplitud y período de la onda seno.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. En el puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga resistiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que se muestra en la figura 2-5. Observe el tipo de símbolo que se utiliza para indicar la fuente variable ca del circuito. Ajuste el módulo Carga resistiva para el valor de resistencia indicado y conecte las entradas E1 e I1 para medir la tensión y la corriente del circuito.

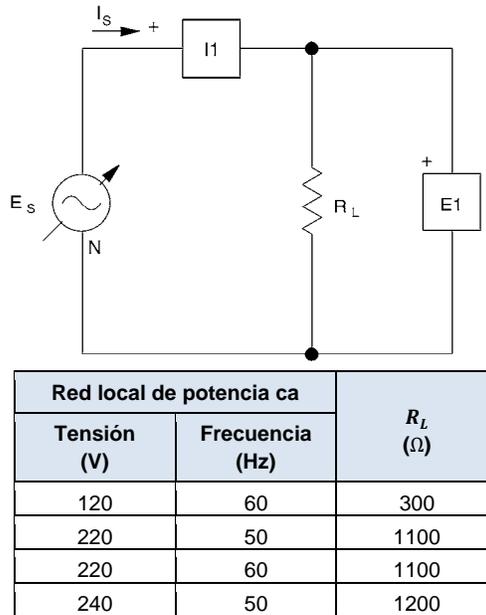


Figura 2-5. Onda seno en un circuito ca.

4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora se encuentra conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de adquisición de datos a la salida de 24 V- ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de encendido en la posición I (ON).

5. Inicie el software *Adquisición de datos* (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración ES12-1.dai.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción **IMPORTAR (IMPORT)** en el menú **File**.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

6. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión en 100%.
7. Utilice el botón *Registro de datos* para ingresar los valores de las mediciones de tensión y corriente en la *Tabla de Datos*.
8. Haga clic sobre el botón *Osciloscopio* y muestre E1 e I1 en los canales CH1 y CH2, respectivamente. Si es necesario, ajuste la base de tiempo para visualizar, por lo menos, dos ciclos completos de las ondas seno.
9. Ajuste convenientemente las escalas verticales de la pantalla y anote las amplitudes máximas de la tensión y de la corriente.

$$E_{m\acute{a}x} = \text{_____} \text{ V}$$

$$I_{m\acute{a}x} = \text{_____} \text{ A}$$

10. Multiplique los valores máximos por 0,707 y compare los resultados con los valores almacenados en la *Tabla de Datos*.

$$E_{m\acute{a}x} \times 0,707 = E_S = \text{_____} \text{ V}$$

$$I_{m\acute{a}x} \times 0,707 = I_S = \text{_____} \text{ A}$$

11. ¿Qué diferencia observa entre sus cálculos y los valores almacenados?



Los resultados de la *Tabla de Datos* son los valores eficaces rms. Además, la *caja Datos* de las formas de ondas de la aplicación *Osciloscopio*, muestra los valores eficaces de las señales aplicadas en los canales de entrada, sus valores promedio y la frecuencia.

12. Compare la forma de onda de corriente con la de tensión. ¿Las dos son ondas seno?

Sí No

13. ¿Cuál es la amplitud aproximada de la onda seno de tensión para 225 grados?

Amplitud = _____ V

14. ¿Cuál es el período para un ciclo completo de la forma de onda de tensión ca?

$T =$ _____ ms

15. Calcule la frecuencia.

$f = \frac{1}{T} =$ _____ Hz

16. Compare la frecuencia de la forma de onda de corriente con la de tensión. ¿Son iguales?

Sí No

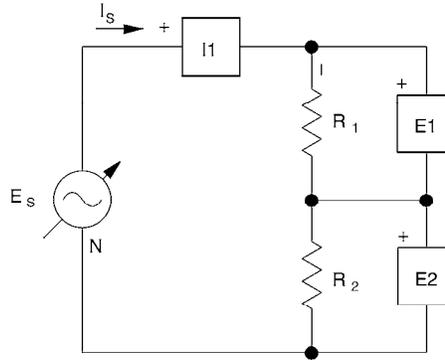
17. ¿Encuentra usted que las formas de ondas de corriente y tensión alcanzan sus valores máximos y mínimos al mismo tiempo y que coinciden en el pasaje por la amplitud cero?



Cuando las condiciones de pasaje a través de cero y de alcance de los valores máximos se dan al mismo tiempo, se dice que las formas de ondas están en fase. Esto significa que no hay un ángulo de fase entre ellas.

Sí No

18. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito serie de la figura 2-6. Ajuste el módulo Carga resistiva para los valores de resistencia indicados y conecte las entradas I1, E1 y E2 como se muestra en la figura.



Red local de potencia ca		E_S (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	120	171	300
220	50	220	629	1100
220	60	220	629	1100
240	50	240	686	1200

Figura 2-6. Circuito serie CA.

19. Coloque el selector del voltímetro en la posición 4-N. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión para obtener el valor E_S , que se muestra en la figura 2-6. Para las mediciones del circuito, use el archivo de configuración *ES12-2.dai*.
20. Haga clic sobre el botón *Osciloscopio* y muestre E1, E2 e I1 en los canales CH1, CH2 y CH3, respectivamente. Asegúrese de que el control de la base de tiempo se encuentra ajustado para mostrar, por lo menos, dos ciclos completos de las ondas seno.
21. Ajuste convenientemente las escalas verticales de la pantalla y anote los valores eficaces rms de las tensiones y de la corriente.

$$E1 (E_{R1}) = \text{_____ V}$$

$$E2 (E_{R2}) = \text{_____ V}$$

$$I1 (I_S) = \text{_____ A}$$

- 22.** Compare la relación entre las tensiones con la relación entre las resistencias.

$$\frac{E_{R1}}{E_{R2}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 23.** Calcule la caída de tensión a través de cada elemento resistor utilizando los valores indicados en la figura 2-6. Compare los resultados con los valores eficaces medidos en la etapa 21.

$$E_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

- 24.** Calcule el valor de la corriente de la fuente que debería circular en este circuito y compare el resultado con el valor eficaz medido en la etapa 21.

$$I_S = \frac{E_S}{R_{EQ}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

- 25.** ¿Encuentra usted que los resultados de las etapas 21, 22, 23 y 24 demuestran que la ley de Ohm, las leyes de Kirchhoff y la teoría de circuitos de la Unidad 1 son válidas para los circuitos ca?

Sí No

- 26.** Si observa las formas de ondas de corriente y tensión, usted advertirá que tienen el mismo tipo de relación que las formas de ondas de la etapa 17. ¿Esto significa que están en fase?

Sí No

- 27.** Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted demostró que la onda seno de tensión produce una onda seno de corriente y que el valor eficaz de una onda seno es 0,707 veces la amplitud máxima. Además, usted pudo confirmar que la frecuencia es la recíproca del período de la forma de onda y observó que la teoría presentada en la Unidad 1 resulta válida para los circuitos ca.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. La amplitud pico a pico de una onda seno es 200 V. ¿Cuál es su valor eficaz rms?
 - a. 282 V
 - b. 70,7 V
 - c. 141 V
 - d. 14,1 V

2. El período de una onda seno es 0,02 segundos. ¿Cuál es su frecuencia?
 - a. 5 Hz
 - b. 50 Hz
 - c. 50 s
 - d. 0,02 Hz

3. Una onda de tensión ca puede considerarse como una tensión cc que cambia continuamente su amplitud y polaridad.
 - a. Falso.
 - b. Verdadero, sólo en los casos que la corriente es cero.
 - c. Verdadero.
 - d. Ninguna de las anteriores.

4. Un ciclo completo de una onda seno es lo mismo que una rotación circular de 360°.
 - a. Verdadero, en los casos donde la frecuencia es menos que 100 Hz.
 - b. Verdadero.
 - c. Falso, porque una onda seno no es un círculo.
 - d. Falso.

5. ¿Cuándo se dice que dos ondas seno están en fase?
 - a. Cuando la corriente adelanta la tensión.
 - b. Cuando ambas alcanzan sus valores máximos al mismo tiempo.
 - c. Cuando ambas pasan por cero al mismo tiempo.
 - d. b y c.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Ángulo de fase

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar el ángulo de fase entre ondas seno y de distinguir entre un desfase en adelanto y uno en atraso.

PRINCIPIOS El ángulo de fase se utiliza para medir el desplazamiento (desfase) entre dos ondas seno de igual frecuencia. Estas ondas seno a comparar deben tener la misma frecuencia, pero no necesariamente la misma amplitud. En las próximas unidades usted verá que los condensadores y los inductores causan un desfase entre la tensión y la corriente. Normalmente, la magnitud del desfase entre dos ondas seno se la expresa como un ángulo de fase. Una de las dos ondas seno se emplea como referencia para las mediciones de los desfases.

Para determinar el ángulo de fase utilizando un osciloscopio, se aplica la forma de onda de referencia en uno de los canales de entrada. En otro canal, se aplica la forma de onda cuya diferencia de fase relativa queremos medir. La figura 2-7, proporciona un ejemplo de cómo lo anterior se puede realizar. Se ajusta el osciloscopio para visualizar, sobre un número exacto de divisiones, un ciclo completo (360°) de la forma de onda de referencia. Para este caso, el número de divisiones, es decir 8. Cada una de éstas igual a 45° y cada división secundaria representa 9° . Luego, se ajustan los controles de atenuación para que ambas formas de ondas tengan aproximadamente la misma amplitud. Finalmente, se mide el desplazamiento horizontal entre las formas de ondas. Para este ejemplo, dicho desplazamiento es de 0,8 divisiones (d) y en consecuencia, el ángulo de fase es $0,8 \times 45^\circ = 36^\circ$.

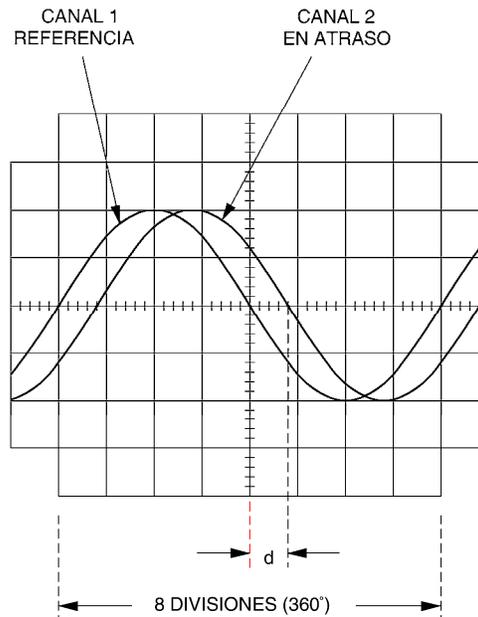


Figura 2-7. Ángulo de fase entre dos formas de ondas.

La segunda forma de onda atrasa la forma de onda de referencia porque alcanza su amplitud máxima después que dicha referencia. Como lo muestra la pantalla del osciloscopio, una forma de onda en atraso se encuentra desplazada a la derecha de la referencia. Dado que la fase está en atraso, es común ver un signo negativo, o la expresión en atraso, acompañando el número, es decir, -36° ó 36° en atraso. Esta última es una manera corriente de indicar si la fase se encuentra en atraso o en adelanto. Si en la pantalla del osciloscopio la segunda forma de onda apareciera desplazada a la izquierda, el desfase estaría en adelanto. Esto se debe a que la segunda forma de onda alcanzará su amplitud máxima antes que la referencia. También, para diferencias de fase superiores a 180° , los desfases podrían indicarse mediante números positivos. Si usted examina atentamente la figura 2-3, puede comprobar que un desfase de 270° en adelanto es lo mismo que 90° en atraso. A lo largo del programa de estudio, usted montará circuitos con condensadores e inductores que provocarán desfases considerables entre las tensiones y corrientes.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO**⚠ ADVERTENCIA**

Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación y el módulo para la adquisición de datos.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que se muestra en la figura 2-8. Para medir las tensiones de cada fase de la Fuente de alimentación, conecte las entradas E1, E2 y E3 a 1-N, 2-N y 3-N, respectivamente.

Asegúrese de que el módulo de adquisición de datos está conectado a un puerto USB. Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

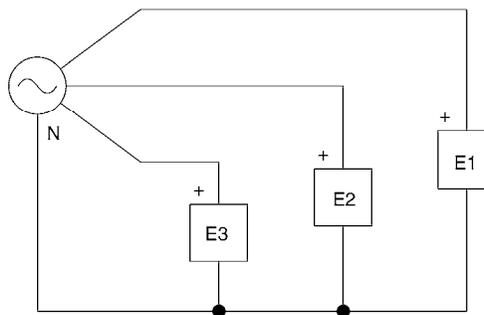


Figura 2-8. Medición del ángulo de fase.

4. Inicie el software *Adquisición de datos* (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración ES12-3.dai.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción **IMPORTAR (IMPORT)** en el menú **File**.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

5. Encienda la Fuente de alimentación principal y verifique que las tensiones de cada fase se visualizan en la aplicación *Aparatos de Medición*.
6. Haga clic sobre el botón Osciloscopio y muestre E1, E2 y E3 (estos son las tensiones 1-N, 2-N y 3-N) en los canales CH1, CH2 y CH3, respectivamente. Asegúrese de que el control de la base de tiempo se encuentra ajustado para visualizar, por lo menos, dos ciclos completos de las ondas seno.
7. Si es necesario, seleccione convenientemente las escalas verticales para las amplitudes y utilice E1 como forma de onda de referencia para la medición del desfase.
8. Al mirar las tres formas de ondas, ¿hay un desfase entre ellas?
 Sí No
9. Dé el desplazamiento en grados de la tensión
Entre E1 y E2 = _____°
Entre E2 y E3 = _____°
Entre E3 y E1 = _____°
10. ¿La tensión E1 está en adelanto o en atraso respecto a E2?

11. ¿La tensión E3 está en adelanto o en atraso respecto a E1?

12. Usted ha notado que E1, E2 y E3 se encuentran desplazadas 120°, que es el caso de la corriente alterna trifásica estándar. Si ahora se usa E2 como forma de onda de referencia, ¿está E2 en adelanto o en atraso en 120° respecto a E1?

13. Cambie el ajuste de la base de tiempo del osciloscopio para incrementar el número de ciclos mostrados. ¿Varía la magnitud del desfase entre las formas de ondas?
 Sí No

14. Cambie los ajustes de la escala vertical del osciloscopio. ¿Varía la magnitud del desfase entre las formas de ondas?

Sí No

15. Encienda Cursores y utilice los cursores izquierdo y derecho para medir la diferencia en tiempo t_d entre las formas de ondas mostradas en los canales E1, E2 y E3, en el punto donde las mismas pasan a través de la amplitud cero.

$$t_d (E1 - E2) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$t_d (E3 - E1) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$t_d (E2 - E3) = \underline{\hspace{2cm}}$$

16. Determine el ángulo de fase entre las formas de ondas. Note que T es el período de la forma de onda de referencia.

$$\text{Ángulo de fase} = \frac{t_d}{T} \times 360^\circ = \underline{\hspace{2cm}}^\circ$$

17. ¿Sus resultados concuerdan con los de la etapa 9?

Sí No

18. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada, que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda y que todos los cables han sido desconectados.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted observó tres ondas seno desfasadas 120 grados. Además, comprobó que para determinar si una forma de onda adelanta o atrasa a otra, es necesario decidir cuál se deberá tomar como referencia.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. El ángulo de fase se utiliza para
 - a. medir el período de una forma de onda periódica.
 - b. indicar la frecuencia de una señal.
 - c. medir el desfase entre dos formas de ondas.
 - d. válido solamente cuando se consideran señales trifásicas.

2. Una onda seno tiene un ángulo de fase en adelanto de 72° . Esta onda alcanzará su máximo, ¿antes o después de la onda de referencia?
 - a. Después.
 - b. Antes.
 - c. Depende de la frecuencia.
 - d. Ninguna de las anteriores.

3. Un sistema de potencia ca trifásico consiste en tres ondas seno desfasadas 120°
 - a. Verdadero, solamente en América del Norte.
 - b. Falso.
 - c. Verdadero.
 - d. Falso, dado que algunas veces se usan las ondas cuadradas.

4. Una onda seno tiene un ángulo de fase de -45° . La forma de onda de referencia, ¿está en adelanto o en atraso respecto a esa onda seno?
 - a. En adelanto.
 - b. En atraso.
 - c. Ni uno ni el otro, está en fase.
 - d. La referencia no puede ni adelantar ni atrasar a otra forma de onda.

5. El osciloscopio muestra una gran diferencia de fase entre las formas de ondas de tensión y corriente de un circuito. ¿Qué indica esto acerca de los componentes del circuito?
 - a. Nada
 - b. Deben estar averiados.
 - c. Son todos elementos resistores.
 - d. Debe haber condensadores y/o inductores en el circuito.

Potencia instantánea

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de explicar y demostrar el concepto de **potencia instantánea**. Además, usted podrá determinar la potencia promedio que disipa una carga resistiva, cuando esta última se encuentra conectada a una fuente de corriente alterna.

PRINCIPIOS Cuando se suministra potencia eléctrica a un motor cc, una parte de esa potencia se convierte en energía mecánica y el resto en calor. Cuando se alimenta una batería para cargarla, una parte de la potencia que se le suministra se convierte en energía química mientras que el resto se convierte en calor. Sin embargo, en un elemento resistor, toda la potencia que se le suministra se transforma en calor. Esta conversión de la energía eléctrica en calor es un proceso muy importante y nosotros hacemos uso de él diariamente en las tostadoras eléctricas, en las cocinas y en las casas calefaccionadas eléctricamente.

Como usted ha visto en la Unidad 1, en los circuitos cc, la potencia es el producto de la tensión por la corriente. Lo mismo es válido para los circuitos ca, excepto que en estos últimos es importante saber si se está hablando de potencia instantánea o de potencia promedio. Con lo visto hasta el presente, debería resultar claro que en un circuito ca, en el cual la tensión y la corriente son ondas seno, la potencia disipada por un elemento resistor conectado a dicho circuito variará en forma sinusoidal con el tiempo. La potencia instantánea es simplemente el producto La potencia instantánea calculada es simplemente el producto $E \times I$ en cada instante del ciclo de la onda seno. Si se conecta un **vatímetro** para medir la potencia del circuito que se muestra en la figura 2-9, el instrumento indicará un valor distinto de cero, aunque sea cero el valor promedio de las formas de ondas de tensión y corriente en todo un período.

Esto es lo que muestra la forma de onda de la potencia instantánea de la figura 2-9. Un examen atento de dicha figura muestra que cuando la tensión es negativa, la corriente también es negativa, por eso el producto $E \times I$ es siempre positivo. Como usted aprenderá en este ejercicio, la potencia promedio disipada por una resistencia de carga es, simplemente, el producto de los valores eficaces de tensión y corriente del circuito. Otro punto importante a retener es que la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea es el doble de la frecuencia de la fuente. Esto se debe a que el producto $E \times I$ da una función seno cuadrática, que tiene una frecuencia doble de las ondas seno originales.

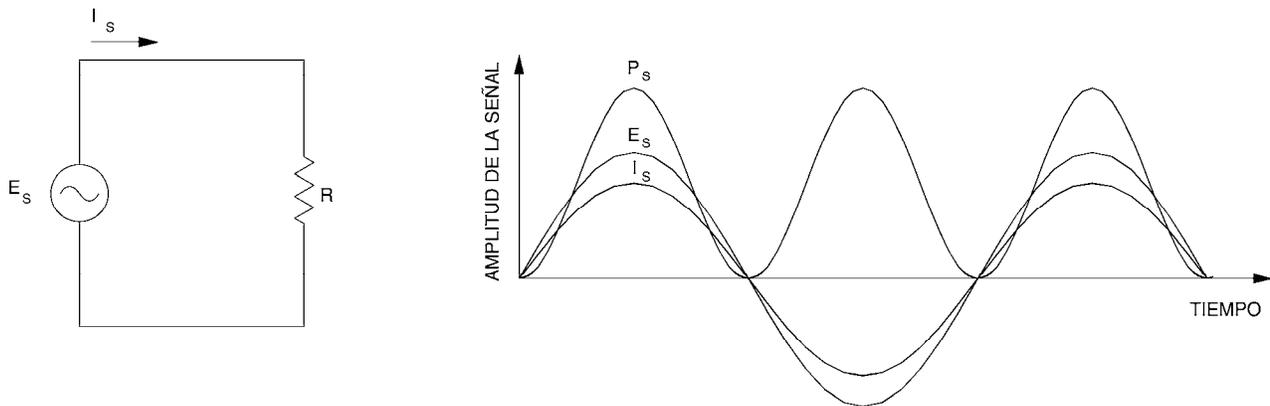


Figura 2-9. Forma de onda de la potencia instantánea, en una carga resistiva.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

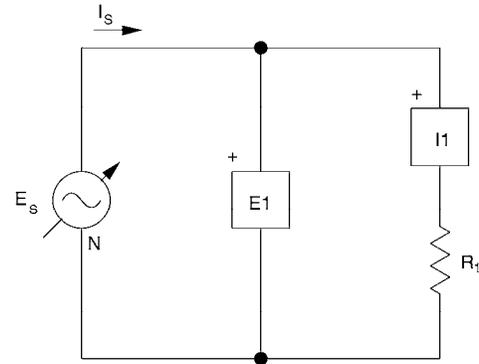
PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga resistiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que se muestra en la figura 2-10. Ajuste el módulo Carga resistiva para los valores indicados y conecte las entradas E1 e I1 para medir la corriente y tensión del circuito.

Asegúrese de que el cable USB de la computadora se encuentra conectado al módulo para la adquisición de datos. Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).



Red local de potencia ca		
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	R_1 (Ω)
120	60	171
220	50	629
220	60	629
240	50	686

Figura 2-10. Potencia instantánea en una carga resistiva.

- Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES12-4.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

- Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión en 100%. Verifique que los parámetros del circuito aparezcan en la aplicación *Aparatos de Medición*.
- Haga clic sobre el botón Osciloscopio y muestre E1, I1 y P1 en los canales CH1, CH2 y CH3, respectivamente (estos son las tensiones 1-N, 2-N y 3-N). Asegúrese de que el control de la base de tiempo se encuentra ajustado para visualizar, por lo menos, dos ciclos completos de las ondas seno.

7. Seleccione convenientemente las escalas verticales de la pantalla y anote los valores eficaces de la tensión y de la corriente, así como el valor de la potencia promedio (PROM.) para P1.

$$E1 (E_S) = \text{_____ V}$$

$$I1 (I_S) = \text{_____ A}$$

$$P1 (P_{R1}) = \text{_____ W}$$

8. Compare las formas de ondas de corriente y tensión. ¿Son dos ondas seno de igual frecuencia?

Sí No

9. ¿Cuáles son el período y la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea?

$$T = \text{_____ ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \text{_____ Hz}$$

10. ¿Cómo es la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea, si se la compara con aquéllas de la corriente y de la tensión?

11. ¿Están en fase las formas de ondas de corriente, tensión y potencia?

12. Calcule el producto de los valores eficaces de la corriente y de la tensión y compárelo con el valor promedio P1 que se indica en la caja Datos de las formas de ondas de la aplicación *Osciloscopio*.

$$E_S \times I_S = \text{_____ W}$$

$$P1 (P_{R1}) = \text{_____ W}$$

13. ¿Son aproximadamente los mismos resultados?

Sí No

14. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito que se muestra en la figura 2-11. Ajuste el módulo Carga resistiva con los valores de resistencias indicados y conecte I1, I2, I3 y E1, E2, E3, tal como se muestra en la figura.

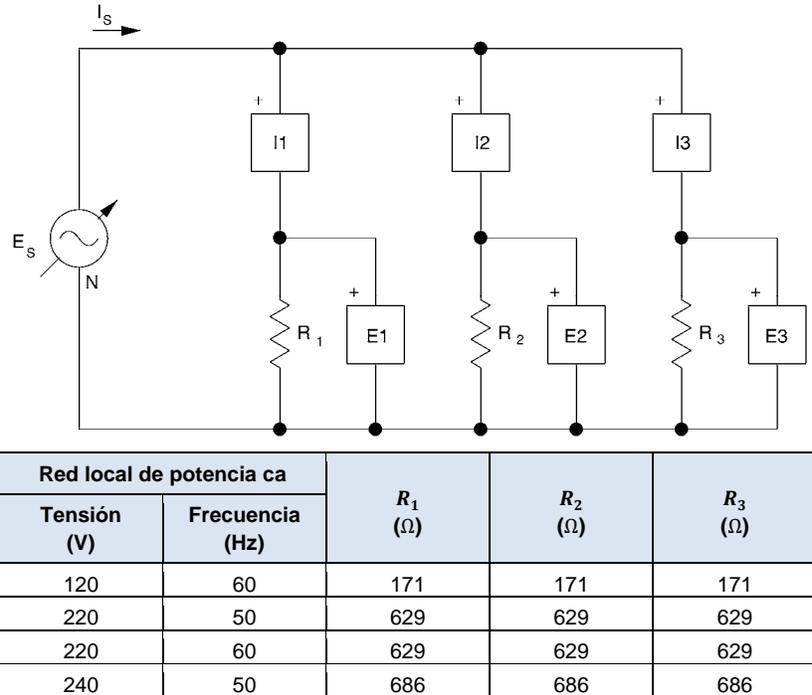


Figura 2-11. Potencia instantánea en un circuito paralelo.

15. Abra el archivo de configuración *ES12-5.dai*.
16. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión en 100%. Verifique que los parámetros del circuito aparezcan en la aplicación *Aparatos de Medición*.
17. Haga clic sobre el botón Osciloscopio y muestre I1, I2, I3 y E1 en los canales CH1, CH2, CH3 y CH4, respectivamente. Asegúrese de que el control de la base de tiempo se encuentra ajustado para visualizar, por lo menos, dos ciclos completos de las ondas seno.

18. Seleccione convenientemente las escalas verticales de la pantalla y anote los valores eficaces de las corrientes.

$$E1 (E_S) = \text{_____ V}$$

$$I1 (I_{R1}) = \text{_____ A}$$

$$I2 (I_{R2}) = \text{_____ A}$$

$$I3 (I_{R3}) = \text{_____ A}$$

19. Calcule los productos de la tensión por las corrientes para obtener las potencias disipadas en los tres elementos resistores R1, R2, y R3.

$$P_{R1} = \text{_____ W}$$

$$P_{R2} = \text{_____ W}$$

$$P_{R3} = \text{_____ W}$$

20. ¿Cuál es la potencia total disipada por el circuito?

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \text{_____ W}$$

21. Muestre P1, P2 y P3 en la pantalla de la aplicación *Osciloscopio* y anote los valores indicados en la caja Datos de las formas de ondas.

$$P1 (P_{R1}) = \text{_____ W}$$

$$P2 (P_{R2}) = \text{_____ W}$$

$$P3 (P_{R3}) = \text{_____ W}$$

22. ¿Cuál es la potencia total medida?

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \text{_____ W}$$

23. Compare los resultados de las etapas 20 y 22. ¿Es aproximadamente la misma potencia total en ambos casos?

Sí No

24. Compare los ángulos de fases entre las diferentes formas de ondas. ¿Existe un desfase apreciable?

Sí No

25. ¿Encuentra usted que las formas de ondas de las potencias instantáneas de P_{R1} , P_{R2} , y P_{R3} , confirman que la potencia disipada en un circuito resistivo es siempre positiva?

Sí No

26. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted demostró que cuando se conecta una carga resistiva a una corriente alterna, la forma de onda de la potencia instantánea es siempre positiva y que dicha forma de onda tiene una frecuencia igual al doble de la correspondiente a la fuente ca. Además, observó que la potencia promedio disipada por la carga es el producto de los valores eficaces de las corrientes y tensiones del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. La potencia promedio disipada en un circuito ca es
 - a. igual a cero en todo un período.
 - b. igual al cuadrado de la tensión dividido por la corriente.
 - c. igual a la mitad del valor máximo.
 - d. igual al producto de los valores eficaces de E e I .

2. La forma de onda de la potencia en un circuito ca es una onda seno, cuya frecuencia es el doble de la correspondiente a la fuente.
 - a. Verdadero.
 - b. Falso, porque la potencia promedio es mayor que cero.
 - c. Verdadero, sólo con una carga resistiva.
 - d. Falso, la forma de onda de la potencia es una onda cuadrada.

3. La forma de onda de la potencia instantánea muestra que la potencia es siempre positiva, aunque las formas de ondas de tensión y corriente en un circuito ca alternen entre valores positivos y negativos.
 - a. Falso.
 - b. Verdadero cuando la carga es resistiva.
 - c. Verdadero todo el tiempo.
 - d. Depende de la frecuencia de la forma de onda.

4. ¿Cuál es la potencia promedio disipada por un elemento resistor de $100\ \Omega$, cuando está conectado a una fuente ca cuya tensión máxima es $141\ \text{V}$?
 - a. $1410\ \text{W}$
 - b. $14,1\ \text{W}$
 - c. $141\ \text{W}$
 - d. $100\ \text{W}$

5. Es posible tener "potencia negativa" en un circuito ca?
 - a. Sí, cuando el circuito contiene condensadores o inductores.
 - b. No.
 - c. Solamente si la frecuencia de la fuente es muy baja.
 - d. La potencia negativa es posible, sólo en casos extremos.

Examen de la unidad

1. El valor eficaz de una onda seno de tensión es igual a $E_{m\acute{a}x} \times 1/\sqrt{2}$, que es el valor equivalente cc capaz de producir el mismo efecto de calentamiento.
 - a. Falso.
 - b. Verdadero.
 - c. Depende de la carga.
 - d. Depende de la frecuencia.

2. ¿Cuál es el período de una onda seno, si su frecuencia es 120 Hz?
 - a. 120 ms
 - b. 8,3 ms
 - c. 33,4 ms
 - d. 16,7 ms

3. La corriente alterna es aquélla que cambia periódicamente de dirección y alterna entre valores máximos positivos y negativos.
 - a. Verdadero.
 - b. Falso.
 - c. Sólo si el valor eficaz es mayor que cero.
 - d. Ninguna de las anteriores.

4. ¿Cuál es el desfase normal entre la tensión y la corriente en un circuito con sólo una carga resistiva?
 - a. 180°
 - b. 90°
 - c. No hay desfase.
 - d. Depende de la potencia disipada en la carga.

5. ¿Cuál es el período de una onda seno, si su frecuencia es 50 Hz?
 - a. 35 ms
 - b. 25 ms
 - c. 20 ms
 - d. 16,7 ms

6. Si se conoce el ángulo de fase entre la tensión y la corriente, eso permite
 - a. conocer la frecuencia.
 - b. determinar si la potencia es instantánea.
 - c. determinar el valor eficaz de la amplitud de la forma de onda.
 - d. conocer si sólo hay elementos resistores en el circuito.

7. En un circuito dado, la corriente alterna produce más potencia que una tensión cc con el mismo valor que la tensión máxima de la corriente alterna.
- Verdadero.
 - Falso, porque el valor promedio ca es cero en el período completo.
 - Falso, porque la tensión cc es mayor que el valor eficaz de la tensión ca.
 - Verdadero, porque la potencia es igual al producto de los valores eficaces de E e I .
8. La forma de onda de la potencia instantánea en un circuito cc es igual que la de un circuito ca.
- Verdadero.
 - Falso, porque es una línea recta.
 - Verdadero, pero la frecuencia es muy baja.
 - Falso, la potencia instantánea no existe en los circuitos cc.
9. Es imposible resolver circuitos ca, dado que no se puede aplicar la ley de Ohm ni las leyes de Kirchhoff utilizadas para resolver esos circuitos.
- Verdadero.
 - Falso, excepto cuando se trata de cargas inductivas.
 - Verdadero, si tiene sólo elementos resistores.
 - Falso, todas las leyes utilizadas anteriormente se aplican a los circuitos ca.
10. ¿Cuál es la tensión ca máxima requerido para producir la misma potencia promedio que una tensión cc de 50 V?
- 141 V
 - 70,7 V
 - 50 V
 - $50/\sqrt{2}$ V

Condensadores en los circuitos ca

OBJETIVO DE LA UNIDAD

Después de completar esta unidad, será capaz de demostrar y explicar los efectos de los condensadores en los circuitos ca. Usted utilizará las mediciones del circuito para determinar la reactancia capacitiva de los condensadores y observará y medirá el desfase entre la tensión y la corriente, causado por dichos condensadores.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

La característica fundamental de los condensadores es que se oponen a los cambios de la tensión a través de sus terminales. Esta oposición es proporcional a la **capacitancia** (C) de los condensadores. Cuando se añade una capacitancia a un circuito ca, el efecto que se produce es similar a aquél que se observó en los circuitos resistivos, es decir, hay una oposición al flujo de corriente. Este efecto se debe a la **reactancia capacitiva** (X_C) y se define como la oposición que crea la capacitancia al flujo de corriente alterna.

La capacitancia es la medida de carga eléctrica que un condensador puede almacenar cuando se le aplica una tensión determinada. La unidad de medida de la capacitancia es el **faradio** (F), que es una cantidad extremadamente grande. La mayoría de los condensadores tienen valores en el rango de los microfaradios y picofaradios, según se los utiliza en circuitos de potencia eléctrica o en circuitos electrónicos.

Cuando se aplica una tensión cc a un condensador, circula una corriente elevada al interior de éste. La circulación de corriente decrece hasta que el condensador se carga con la tensión E_S de la fuente. En este punto, la corriente caerá a cero, debido a que la tensión en el condensador no cambia más, y éste ya ni se carga ni se descarga. La corriente puede ser bastante grande si la tensión en el condensador cambia rápidamente. Si se incrementa la tensión de la fuente más rápidamente, una gran corriente de carga circulará en el condensador y éste actúa como una carga que almacena energía. A la inversa, si la fuente de tensión decrece rápidamente, una gran corriente de descarga circulará en el condensador y éste actúa como una fuente momentánea de potencia, semejante a un generador, que libera energía. La capacidad para almacenar energía eléctrica proviene del campo eléctrico que se establece entre las placas del condensador. La cantidad de energía almacenada depende de la capacitancia del condensador y de la tensión aplicada. Cuando se carga un condensador, éste recibe y almacena energía, pero no la disipa. Al descargarse, la energía almacenada se libera hasta que la tensión en el condensador cae a cero. Este factor ayuda a la comprensión del comportamiento del condensador cuando se encuentra conectado a una fuente de alimentación ca.

Cuando la tensión ca crece, el condensador almacena energía y cuando la tensión decrece, el condensador libera la energía almacenada. Durante el período de "almacenamiento", el condensador representa una carga para la fuente pero durante el período de "liberación", el condensador devuelve potencia inversa a la fuente. Lo interesante de esta situación es que el condensador actúa, en forma periódica, como una fuente de potencia que devuelve a la fuente la energía que ésta le suministró en primer lugar. En los circuitos ca, la potencia va y viene entre el condensador y la fuente de alimentación y podemos decir que nada aprovechable se lleva a cabo. Como lo muestra la figura 3-1, la potencia fluye de izquierda a derecha cuando el condensador se carga y de derecha a izquierda cuando se descarga.

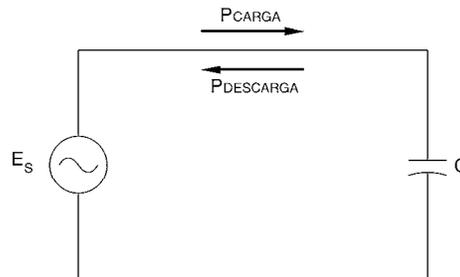


Figura 3-1. Flujo de potencia durante la carga y descarga de un condensador.

Como el condensador no disipa potencia, al conectar un vatímetro para medir la potencia del circuito, el instrumento indicará cero. El vatímetro intenta mostrar una lectura positiva cuando el condensador se carga y negativa cuando se descarga, pero la inversión tiene lugar tan rápidamente que el indicador del instrumento no puede seguir ese cambio. La potencia real, llamada más correctamente **potencia activa**, en un condensador ideal es siempre cero aunque haya una caída de tensión en el condensador y circule una corriente en el circuito. El producto $E \times I$ se llama **potencia aparente** y se expresa en voltio-amperios (VA). Para el caso especial de circuitos ca puramente capacitivos e inductivos, la potencia aparente se conoce como **potencia reactiva** y se expresa en voltio-amperios reactivos (var). La forma de onda de la potencia instantánea muestra que existen picos de potencia positiva y negativa en los circuitos reactivos, dado que la potencia va y viene entre la carga y la fuente. Como usted aprenderá en esta unidad, el **desfasaje capacitivo**, entre la tensión y la corriente, está directamente vinculado con el flujo de potencia alternativo.

Reactancia capacitiva

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar la reactancia capacitiva mediante las mediciones de tensiones y corrientes del circuito.

PRINCIPIOS

La reactancia capacitiva es la oposición al flujo de corriente alterna y la capacitancia es la que provoca dicha oposición. El efecto es similar al que produce la resistencia pero, a diferencia de esta última, la reactancia capacitiva depende de la frecuencia. Además, depende del valor de la capacitancia del condensador. Existe una capacitancia siempre que dos superficies conductoras se encuentran separadas por un medio no conductor. Los contactos abiertos de un interruptor, los terminales de una batería, los devanados aislados de una bobina o de un transformador e incluso, los conductores en paralelo de una línea de transmisión, son condensadores. Sin embargo, en la práctica se fabrican condensadores compactos con valores de capacitancia específica, que reúnen las características requeridas por los circuitos.

Cuando se energiza por primera vez un circuito que contiene un condensador, la corriente fluye y los electrones se agrupan en una de las placas de dicho condensador, mientras que abandonan la otra. En el espacio entre las dos placas se crea un campo eléctrico. Como hay exceso de electrones en una de las placas, los electrones intentan saltar a la otra. La corriente inicial, que en ese momento es máxima, decrece a medida que se incrementa el potencial a través de las placas del condensador. Cuando ese potencial alcanza la tensión de la fuente, cesa la circulación de corriente. Si en este momento se quita el condensador del circuito, dicho condensador deberá guardar ese potencial durante algún tiempo. Cuando se provee un camino conductor entre las placas del condensador, circula una corriente durante un corto período, hasta que el condensador se descargue. Después de cargar un condensador en un circuito cc, el mismo representa un circuito abierto debido a que la corriente ya no puede circular.

La fórmula para determinar la reactancia capacitiva de un circuito ca, es:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

donde X_c es la reactancia capacitiva expresada en ohmios (Ω).

C es la capacitancia expresada en faradios (F).

f es la frecuencia de la fuente ca expresada en Hz.

En la mayoría de los cálculos, en los que se utiliza la reactancia capacitiva, se puede emplear el valor 6,28 para reemplazar la constante 2π . De la misma manera, se puede reemplazar $2\pi f$ por 314 (para 50 Hz) y por 377 (para 60 Hz), sin demasiado error.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

La fórmula de cálculo para determinar la reactancia capacitiva muestra que la ésta inversamente proporcional a la frecuencia y a la capacitancia. Por esta razón, la reactancia se puede reducir a la mitad cada vez que se duplica la capacidad. Se obtiene el mismo resultado si se duplica la frecuencia.

Dado que es posible aplicar la ley de Ohm a los circuitos cc y ca, se puede determinar la reactancia capacitiva a partir de la tensión y corriente del circuito, utilizando la fórmula ya vista en la Unidad 1.

$$I = \frac{E}{R}$$

Esto es, $X_C = E_C/I_C$, igual que las expresiones equivalentes, $I_C = E_C/X_C$, y $E_C = I_C \times X_C$. E_C e I_C representan los valores eficaces de la tensión y de la corriente.

Estas expresiones de la ley de Ohm, lo mismo que las leyes de Kirchhoff vistas en los ejercicios anteriores, son válidas para la resolución de circuitos ca capacitivos.

El módulo Carga capacitiva EMS, que se utiliza en este ejercicio, cuenta con tres secciones idénticas, cada una de las cuales posee tres condensadores que se pueden agregar al circuito por medio de interruptores de palanca. Cuando se cierra el interruptor apropiado, se dispone del valor seleccionado en los terminales de salida de cada sección. Dos condensadores cualesquiera, o los tres, se pueden disponer en paralelo. La capacitancia equivalente en paralelo está entonces disponible en los terminales de salida. Este arreglo permite ajustar diferentes valores de capacitancia y, consecuentemente, de reactancias capacitivas que se pueden obtener. En el Apéndice B de este manual, se encuentra una tabla con una lista de valores de reactancias que se pueden obtener. Además, los valores de capacitancia, corriente y reactancia para los condensadores individuales, están indicados al lado de cada componente del panel frontal del módulo. La corriente y la reactancia corresponden a los valores nominales obtenidos con la frecuencia y la tensión de línea especificadas.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

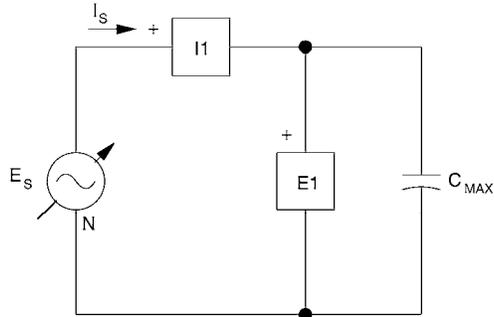
PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. En del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga capacitiva.

2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Coloque el selector del voltímetro de la Fuente de alimentación en la posición 4-N y enchufe dicha fuente a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que muestra la figura 3-2. Cierre todos los interruptores del módulo Carga capacitiva para que todos los condensadores queden en paralelo. Esto producirá un valor de capacitancia $C_{MÁX}$. Conecte las entradas E1 e I1 para medir la tensión y la corriente del circuito.



Red local de potencia ca		$E_s = E_c$ (V)	$C_{MÁX}$ (μF)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	120	46,2*
220	50	220	15,2*
220	60	220	12,7*
240	50	240	13,9

* VALOR OBTENIDO CON TODOS LOS CAPACITORES EN PARALELO.

Figura 3-2. Circuito ca capacitivo.

4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

5. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES13-1.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

6. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión para obtener el valor E_S , que muestra la figura 3-2.

7. Utilice el botón Registro de datos para ingresar los valores de las mediciones de tensión y corriente en la *Tabla de Datos*. Anote los resultados más abajo.

$$E_S = E_C = \text{_____ V}$$

$$I_S = I_C = \text{_____ A}$$

8. Utilice los valores medidos de E_S e I_S para determinar la reactancia capacitiva X_{C1} del circuito. $E_S = E_C$ y $I_S = I_C$.

$$X_{C1} = \frac{E_C}{I_C} = \text{_____ } \Omega$$

9. Utilice el valor obtenido de X_{C1} para determinar la capacitancia $C_{MÁX}$ del circuito.

$$C_{MÁX} = \frac{1}{2\pi X_{C1}} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

10. ¿Encuentra usted que el valor calculado en la etapa 9 se aproxima al valor de capacitancia ajustado en el módulo Carga capacitiva?

Sí No

11. Reduzca la capacitancia del circuito, abriendo los tres interruptores de una sección completa del módulo Carga capacitiva. Mida y anote E_S e I_S .

$$E_S = E_C = \text{_____ V}$$

$$I_S = I_C = \text{_____ A}$$

12. Determine X_{C2} para esos nuevos valores de tensión y de corriente obtenidos en los pasos anteriores.

$$X_{C2} = \text{_____ } \Omega$$

13. Reduzca una vez más la capacitancia del circuito, abriendo los interruptores de una segunda sección de condensadores. Mida E_S e I_S y calcule X_{C3} .

$$E_S = E_C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_S = I_C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$X_{C3} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

14. Calcule las relaciones entre las reactancias de los diferentes circuitos.

$$\frac{X_{C2}}{X_{C1}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\frac{X_{C3}}{X_{C1}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

15. Sabiendo que el circuito original se configuró con tres condensadores en paralelo de igual capacidad, ¿encuentra usted que las relaciones de la etapa 14 muestran que la reactancia capacitiva cambia en proporción inversa con las relaciones del cambio de capacitancia?

Sí No

16. Con E_S igual al 50% del valor que se utilizó en la etapa 6, calcule la corriente para la reactancia actual del circuito, que se ajustó en la etapa 13.

$$I_S = \frac{E_S}{X_{C3}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

17. Utilice la perilla de control de tensión para ajustar E_S en un valor igual al 50% del que se empleó en la etapa 6. Mida la tensión y la corriente del circuito.

$$E_S = E_C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_S = I_C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

18. Compare el valor de la corriente medido con el calculado en la etapa 16. ¿Concuerdan?

Sí No

19. ¿Qué puede decir del cociente entre la tensión y la corriente del circuito con respecto al presente valor de reactancia capacitiva X_C ?

20. El cambio que se realizó en la tensión de la fuente, ¿afecta el valor de la reactancia del circuito?

Sí No

21. ¿Los valores de tensiones y corrientes que se midieron en el circuito, demuestran que la ley de Ohm es válida para los circuitos ca capacitivos?

Sí No

22. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó la ley de Ohm y las mediciones de tensiones y de corrientes del circuito para calcular la reactancia capacitiva para diferentes circuitos ca. Además, observó que la ley de Ohm es válida para los circuitos ca capacitivos y ha demostrado que la reactancia cambia en proporción inversa con la capacitancia del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. En un circuito ca capacitivo, con dos condensadores distintos en paralelo, los valores eficaces de la tensión y de la corriente son 100 V y 2 A, respectivamente. ¿Cuál es el valor de X_C ?
 - a. 200 Ω
 - b. 50 Ω
 - c. 35,3 Ω
 - d. 35,3 F

2. Si se reduce a la mitad la frecuencia de la fuente ca de un circuito, ¿qué sucede con la reactancia capacitiva de dicho circuito?
 - a. Se duplica.
 - b. Se reduce a la mitad.
 - c. No cambia.
 - d. Cambia sólo si no hay resistencias en el circuito.

3. Con un condensador de 27 μF , ¿a qué frecuencia se tiene una reactancia de 98 Ω ?
 - a. 300 Hz
 - b. 60 Hz
 - c. 16 Hz
 - d. 6 Hz

4. La fórmula que se utiliza para calcular la reactancia capacitiva es
 - a. $X_C = I_C / E_C$
 - b. $I_C = E_C \times X_C$
 - c. $X_C = 2\pi f C$
 - d. $X_C = 1 / 2\pi f C$

5. ¿Cómo varía la reactancia capacitiva con relación a la frecuencia y la capacitancia?
 - a. Directamente con la frecuencia e inversamente con la capacitancia.
 - b. Directamente con la frecuencia y con la capacitancia.
 - c. Inversamente con la frecuencia y con la capacitancia.
 - d. Inversamente con la frecuencia y directamente con la capacitancia.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Capacitancia equivalente

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de calcular la capacitancia equivalente para condensadores conectados en serie y en paralelo. Además, usted estará en condiciones de explicar y demostrar el concepto de capacitancia equivalente, utilizando las mediciones de tensión y corriente del circuito.

PRINCIPIOS Los condensadores son dispositivos eléctricos que constan de dos placas conductoras dispuestas en paralelo, separadas por aire, papel, mica u otro tipo de material. El material que separa las placas se llama dieléctrico y cada material tiene su propia constante dieléctrica. De manera similar, diferentes materiales poseen diferentes valores de resistividad. Al igual que la resistencia, la capacitancia provoca una oposición en los circuitos eléctricos. Sin embargo, a diferencia de la resistencia que se opone al flujo de corriente, el condensador se opone a los cambios de la tensión a través de sus terminales. La figura 3-3 ilustra la construcción básica de diferentes tipos de condensadores.

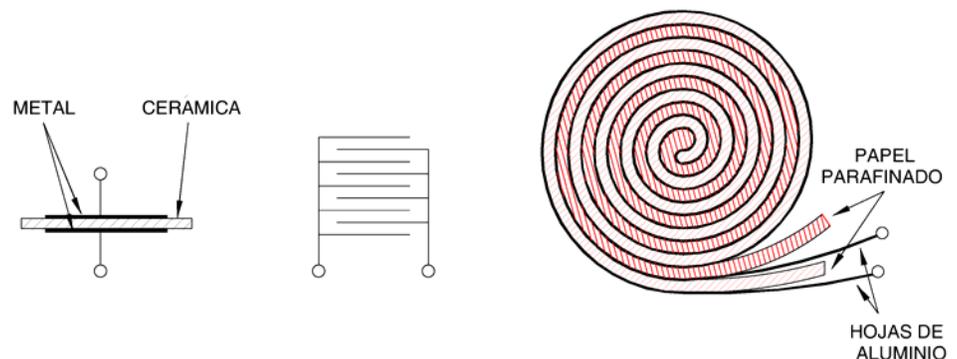


Figura 3-3. Construcción de diferentes tipos de condensadores.

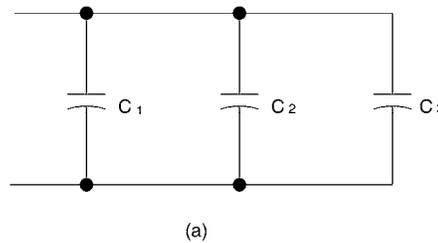
Cuando se aplica una tensión a través de los terminales de un condensador, éste almacena energía en el campo eléctrico creado entre sus placas. La cantidad de energía que un condensador puede almacenar depende de su capacitancia. Esta última está relacionada con la constante dieléctrica del material separador, el tamaño de las placas y la distancia entre ellas. La unidad de medida de la capacitancia es el faradio (F) y resulta una unidad extremadamente grande. En la práctica, los condensadores tienen valores en el rango de los microfaradios y picofaradios. Una forma efectiva de aumentar la capacitancia es utilizar un electrólito químico entre las placas del condensador. Esto permite producir condensadores polarizados, llamados **condensadores electrolíticos**. Con estos últimos es posible obtener valores de capacitancia relativamente altos y se debe respetar su polaridad para evitar su deterioro o posibles explosiones peligrosas. En todos los casos, los condensadores se deben tratar cuidadosamente, especialmente cuando se los utiliza en circuitos de potencia y en dispositivos que emplean altas tensiones, como los tubos de

Property of Festo Didactic

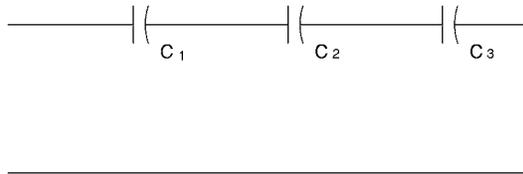
Sale and/or reproduction forbidden

rayos catódicos. Son capaces de almacenar gran cantidad de energía y puede tomar varios días, incluso semanas, para que se descarguen. Es aconsejable verificar que los condensadores se encuentran descargados antes de su manipulación.

Cuando se conectan condensadores en serie o en paralelo, las fórmulas que se utilizan para calcular la capacitancia equivalente son similares a aquéllas que se emplearon para determinar la resistencia equivalente. Sin embargo, existe una diferencia dado que para la capacitancia las fórmulas están invertidas. En las combinaciones en paralelo, la capacitancia equivalente C_{EQ} es mayor, mientras que en las combinaciones en serie C_{EQ} es menor. Esto no es sorprendente si se considera que varios condensadores en paralelo representan una superficie mayor de placa en la cual almacenan energía. Colocarlos en serie es equivalente a incrementar la separación entre las placas. Se señalan estos efectos en la figura 3-4.



(a)



(b)

Figura 3-4. (a) Condensadores en paralelo, (b) condensadores en serie.

La fórmula para calcular la capacitancia equivalente de los condensadores en paralelo es:

$$C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$$

Mientras que para calcular la capacitancia equivalente de los condensadores en serie es:

$$1/C_{EQ} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_n$$

Reorganizando la fórmula $X_C = 1/(2\pi fC)$, que relaciona la reactancia capacitiva con la capacitancia, tenemos: $C = 1/(2\pi fX_C)$. Esta otra forma puede utilizarse para calcular la capacitancia a partir de las mediciones de tensión y corriente del circuito.

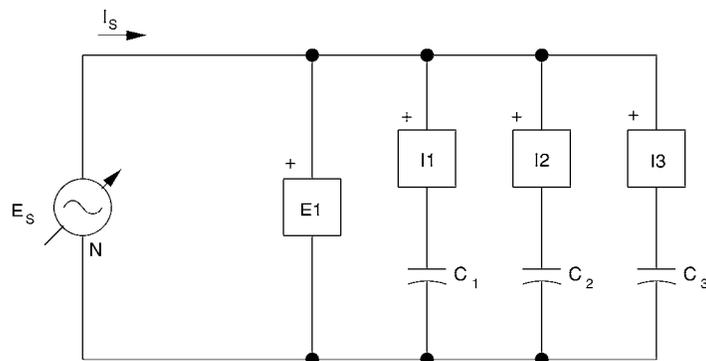
EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO**⚠ ADVERTENCIA**

Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga capacitiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que dicha fuente esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Configure el circuito en paralelo de la figura 3-5 y conecte las entradas I1, I2, I3, y E1 como se muestra. Ajuste el módulo Carga capacitiva para los valores de C_1 , C_2 y C_3 , como lo muestra la figura 3-5.



Red local de potencia ca		C_1 (μF)	C_2 (μF)	C_3 (μF)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	15,4	15,4	15,4
220	50	5,1	5,1	5,1
220	60	4,2	4,2	4,2
240	50	4,6	4,6	4,6

Figura 3-5. Determinación de la capacitancia equivalente de un circuito paralelo.

4. Utilice los valores de capacitancia que muestra la figura 3-5, para calcular la capacitancia equivalente del circuito C_{EQ} .

$$C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 = \text{_____ } \mu\text{F}$$

5. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

6. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES13-2.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

7. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión en 100%.
8. Utilice la *Tabla de Datos* para ingresar los valores de las mediciones de tensión y corriente. Anote los resultados más abajo.

$$I_{C1} = \text{_____ } \text{A}$$

$$I_{C2} = \text{_____ } \text{A}$$

$$I_{C3} = \text{_____ } \text{A}$$

$$E_S = E_C = \text{_____ } \text{V}$$

9. Utilice las mediciones del circuito para calcular los valores de las capacitancias C_1 , C_2 y C_3 . Recuerde que $X_C = E_C/I_C = 1/(2\pi fC)$.

$$C_1 = \frac{I_{C1}}{2\pi f E_C} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = \frac{I_{C2}}{2\pi f E_C} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

$$C_3 = \frac{I_{C3}}{2\pi f E_C} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

10. ¿Encuentra usted que los resultados de la etapa 9 concuerdan con los valores ajustados en el módulo Carga capacitiva?

Sí No

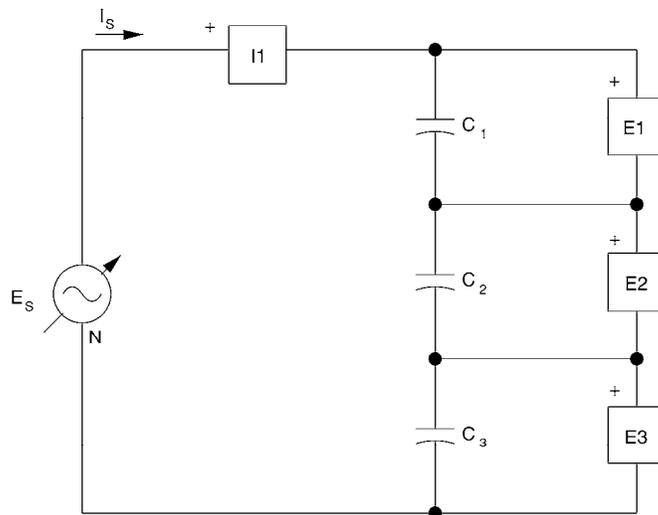
11. Calcule C_{EQ} empleando los valores de capacitancia de la etapa 9.

$$C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 = \text{_____ } \mu\text{F}$$

12. Compare el resultado de la etapa 11 con los cálculos teóricos realizados en la etapa 4. ¿Concuerdan?

Sí No

13. Apague la alimentación y monte el circuito de la figura 3-6. Conecte I1, E1, E2 y E3 como se muestra y ajuste el módulo Carga capacitiva para los valores requeridos de capacitancia.



Red local de potencia ca		C_1 (μF)	C_2 (μF)	C_3 (μF)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	15,4	15,4	15,4
220	50	5,1	5,1	5,1
220	60	4,2	4,2	4,2
240	50	4,6	4,6	4,6

Figura 3-6. Determinación de la capacitancia equivalente de un circuito serie.

14. Calcule la capacitancia equivalente C_{EQ} del circuito empleando los valores de capacitancia que se indican en la figura 3-6.

$$\frac{1}{C_{EQ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$C_{EQ} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

15. Abra el archivo de configuración *ES13-3.dai*.

16. Encienda la Fuente de alimentación y verifique que la perilla de control de tensión se encuentra en 100%. Mida y anote la corriente y las tensiones del circuito.

$$E_{C1} = \text{_____ V}$$

$$E_{C2} = \text{_____ V}$$

$$E_{C3} = \text{_____ V}$$

$$I_S = \text{_____ A}$$

17. Utilice las mediciones del circuito para calcular los valores de las capacitancias C_1 , C_2 , y C_3 .

$$C_1 = \frac{I_{C1}}{2\pi f E_{C1}} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = \frac{I_{C2}}{2\pi f E_{C2}} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

$$C_3 = \frac{I_{C3}}{2\pi f E_{C3}} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

18. Calcule C_{EQ} empleando los valores de capacitancia de la etapa 17.

$$\frac{1}{C_{EQ}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$C_{EQ} = \text{_____ } \mu\text{F}$$

19. Compare el resultado de la etapa 18 con el valor calculado en la etapa 14. ¿son aproximadamente iguales?

Sí No

20. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó las fórmulas correspondientes para calcular la capacitancia equivalente del circuito para combinaciones de condensadores en serie y en paralelo. Además, combinó el uso de esas fórmulas con las mediciones de tensiones, corrientes y reactancia capacitiva del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es la fórmula para calcular la capacitancia equivalente de un circuito paralelo?
 - a. $C_{EQ} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_n$
 - b. $1/C_{EQ} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_n$
 - c. $C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$
 - d. $1/C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$

2. ¿Cuál es la fórmula para calcular la capacitancia equivalente de un circuito serie?
 - a. $C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$
 - b. $1/C_{EQ} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_n$
 - c. $C_{EQ} = 1/(C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n)$
 - d. $1/C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$

3. ¿Cuál es la capacitancia equivalente de tres condensadores de 15 μF conectados en paralelo?
 - a. 50 μF
 - b. 4,5 μF
 - c. 45 μF
 - d. 5,0 μF

4. ¿Cuál es la capacitancia equivalente de tres condensadores conectados en serie y cuyos valores son 1 μF , 2 μF y 4 μF ?
 - a. 7 μF
 - b. 8 μF
 - c. 1,75 μF
 - d. 0,57 μF

5. ¿Cuál es la capacitancia equivalente de la combinación de dos condensadores de 10 μF conectados en paralelo, con otro conectado en serie de 5 μF ?
 - a. 50 μF
 - b. 25 μF
 - c. 10 μF
 - d. 4 μF

Desfasaje capacitivo y potencia reactiva

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de demostrar el concepto de desfasaje capacitivo y de medir dicho desfasaje. Además, usted observará las instancias de la potencia positiva y negativa en la forma de onda de los circuitos reactivos ca.

PRINCIPIOS

Como usted ha visto en las unidades anteriores, en los circuitos ca resistivos, las tensiones y corrientes se encuentran en fase y la potencia que disipan los resistores es potencia activa en forma de calor. A diferencia del caso en que sólo la resistencia forma parte del circuito ca, ahora tenemos una capacitancia que provoca un desfasaje entre la tensión y la corriente del circuito. Este desfasaje se debe a que el condensador se opone a los cambios de la tensión a través de sus terminales.

Como se indicó anteriormente, la circulación de la corriente en un circuito capacitivo se debe al proceso de carga y descarga de los condensadores y dicho proceso se produce porque la tensión aplicada es cambiante. Si por un momento consideramos lo que sucede cuando la tensión ca está pasando por uno de sus máximos (por ejemplo, el pico negativo), comprobamos que en ese instante la tensión ya no cambia. En consecuencia, como la velocidad de variación de la tensión es cero, la corriente debe ser cero. Luego, cuando la tensión ca está pasando por su valor de amplitud cero, la velocidad de variación de dicha tensión es máxima y la corriente debe ser máxima. Como resultado, la tensión atrasa la corriente en 90° . En el caso de un condensador ideal, el desfasaje es 90° . La figura 3-7 muestra el desfasaje de 90° entre la tensión y la corriente.

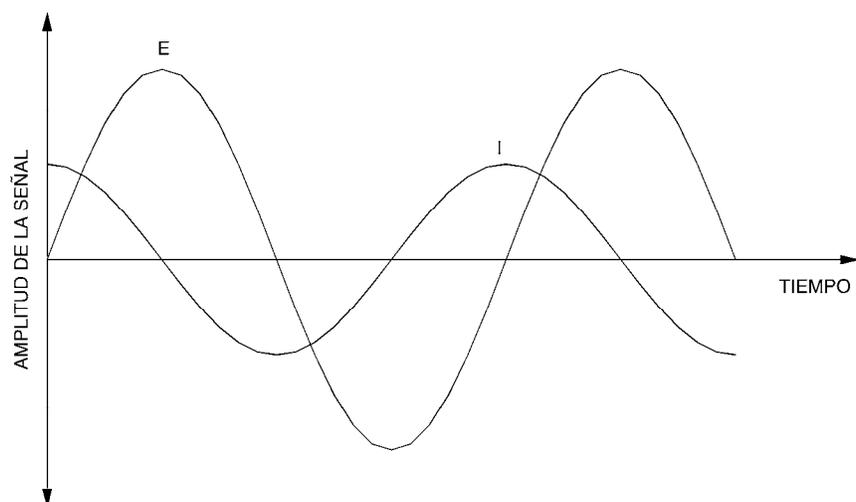


Figura 3-7. Desfasaje capacitivo en un circuito ca.

Como se mencionó en la Unidad 2, las componentes reactivas, tal como los condensadores que provocan un desfasaje entre la tensión y la corriente de un circuito, producen una forma de onda de potencia instantánea que tiene valores negativos y positivos. La "potencia positiva y negativa" indica, justamente, que esa potencia va y viene entre a la fuente y el condensador. La figura 3-8 muestra la forma de onda de la potencia instantánea para un circuito ca puramente capacitivo. En dicha forma de onda, las áreas de potencias positiva y negativa son iguales, por lo tanto, la potencia promedio para un ciclo completo resulta igual a cero. Las porciones negativa y positiva de la forma de onda indica la presencia de potencia reactiva y ésta será igual a la potencia aparente cuando no haya resistencias en el circuito. Además, observe que la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea es el doble de la frecuencia de la fuente ca.

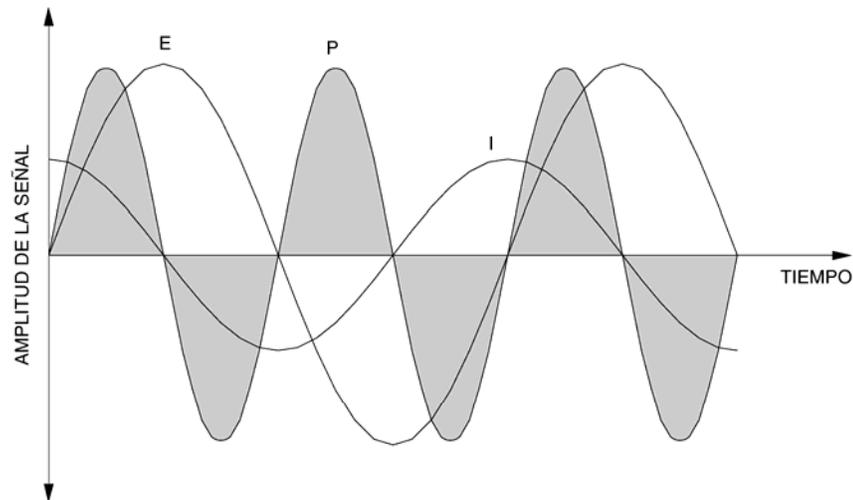


Figura 3-8. Potencia instantánea en un circuito ca capacitivo.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

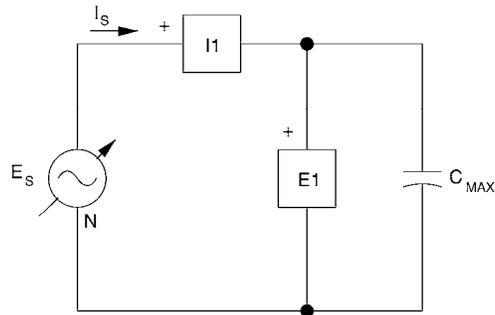
PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga capacitiva.

2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que dicha fuente esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito de la figura 3-9 y Conecte las entradas E1 e I1 para medir la tensión y la corriente del circuito. Ajuste el módulo Carga capacitiva para el valor de $C_{MÁX}$, que muestra la figura 3-9.



Red local de potencia ca		$C_{MÁX}$ (μF)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	46,2*
220	50	15,2*
220	60	12,7*
240	50	13,9

* VALOR OBTENIDO CON TODOS LOS CAPACITORES EN PARALELO.

Figura 3-9. Desfasaje capacitivo y potencia reactiva en un circuito ca.

4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos. Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES13-4.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

5. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión en 100%. Verifique que los parámetros del circuito se visualizan en la aplicación *Aparatos de Medición*.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

6. Anote los valores eficaces de la tensión y de la corriente y la potencia aparente que muestran los instrumentos.

$$E_S = \text{_____ V}$$

$$I_S = \text{_____ A}$$

$$S \text{ (PQS1)} = \text{_____ VA}$$

7. ¿Resulta la potencia aparente igual al producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente?

Sí No

8. Haga clic sobre el botón Osciloscopio y visualice E1, I1 y P1 en CH1, CH2 y CH3, respectivamente. Asegúrese de que el control de la base de tiempo está ajustado para mostrar, por lo menos, dos ciclos completos de las ondas seno.

9. Compare la forma de onda de corriente con la correspondiente a la tensión. Ambas ondas seno, ¿tienen igual frecuencia?

Sí No

10. ¿Cuál es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente?

$$\text{Ángulo de fase} = \text{_____}^\circ$$

11. ¿Encuentra usted que la etapa 10 confirma que la corriente adelanta la tensión en aproximadamente 90°?

Sí No

12. ¿Encuentra usted que la forma de onda de la corriente alcanza su valor máximo cuando la tensión pasa por la amplitud cero y que dicha forma de onda pasa por cero cuando la tensión alcanza su valor máximo?

Sí No

13. Calcule el período y la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea.

$$T = \text{_____ ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \text{_____ Hz}$$

14. ¿Cómo es la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea con relación a la de la fuente ca?

15. ¿Encuentra usted que la forma de onda de la potencia instantánea muestra que las áreas positiva y negativa de la potencia son aproximadamente iguales?

Sí No

16. Calcule la potencia aparente (S) multiplicando los valores rms de corriente y tensión mostrados en el osciloscopio y compare los resultados con la potencia activa P [valor de potencia promedio (PROM) P1 mostrado en la información de la forma de onda de la pantalla *Osciloscopio*].

Potencia aparente (S) = $E_S \times I_S =$ _____ VA

Potencia activa (P) = _____ W

17. Debido a la presencia de potencia reactiva (Q) en el circuito, ¿los resultados del paso 16 confirman que las potencias aparente y activa son diferentes?

Sí No

18. ¿Cuál es la potencia activa total que consume el circuito?

$P_{ACTIVA} =$ _____ W

19. Cuando la corriente o la tensión es nula, ¿la potencia instantánea es igual a cero?

Sí No

20. Cambie la capacitancia del circuito abriendo los tres interruptores de una de las secciones del módulo Carga capacitiva.

21. Explique el efecto que produce el cambio de la reactancia capacitiva en la corriente, en la tensión y en la potencia reactiva del circuito

22. ¿Cambió el desfasaje entre la tensión y la corriente?

Sí No

23. ¿Por qué la amplitud de la forma de onda de la potencia instantánea es diferente?

24. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó las mediciones de las formas de ondas de tensión y de corriente para determinar el desfasaje capacitivo en un circuito ca. Además, analizó la forma de onda de la potencia instantánea y comprobó que en un circuito puramente capacitivo no se disipa potencia activa. Finalmente, la observación de las formas de ondas del circuito le permitió confirmar el comportamiento teórico de la tensión y de la corriente del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Cuando se aplica una tensión a un condensador, éste almacena energía en el campo eléctrico que se establece entre sus placas.
 - a. Verdadero.
 - b. Falso.
 - c. Falso, la energía se almacena en el dieléctrico.
 - d. Verdadero, sólo en los circuitos ca.

2. El desfasaje entre la corriente y la tensión provocado por un condensador es igual a
 - a. $+90^\circ$, si se usa la tensión como referencia.
 - b. $+90^\circ$, si se usa la corriente como referencia.
 - c. -90° , si se usa la tensión como referencia.
 - d. b y c.

3. En un circuito ca puramente capacitivo, ¿cuándo es igual a cero la forma de onda de la potencia instantánea?
 - a. Cada vez que la tensión o la corriente es cero.
 - b. Cada vez que las formas de ondas de tensión y corriente se interceptan.
 - c. Cada vez que los valores eficaces de la tensión y corriente son máximos.
 - d. Ninguna, porque la potencia activa es cero.

4. ¿Cuál es la potencia reactiva en un circuito ca puramente capacitivo cuando los valores eficaces de tensión y corriente son 250 V y 3 A, respectivamente?
 - a. 750 W
 - b. 750 VA
 - c. 750 var
 - d. 83,3 var

5. La forma de onda de la potencia instantánea de un circuito tiene áreas positivas y negativas iguales. ¿Qué significa lo anterior?
 - a. Que el circuito es resistivo.
 - b. Que el circuito contiene sólo componentes reactivas.
 - c. Que la potencia activa es cero.
 - d. b y c.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Examen de la unidad

- Si la corriente del circuito es 1,2 A, ¿cuál es la tensión máxima en una reactancia capacitiva de 100 Ω ?
 - 1200 V
 - 80 V
 - 120 V
 - 120 kV
- El valor de la reactancia capacitiva de un circuito se puede duplicar si se
 - incrementa la frecuencia de la fuente a la mitad.
 - duplica la tensión de la fuente.
 - duplica la capacitancia.
 - reduce la capacitancia a la mitad.
- La fórmula $X_C = 1/(2\pi fC)$ puede emplearse para calcular
 - la reactancia de los resistores.
 - la resistencia capacitiva de los condensadores.
 - la reactancia capacitiva de los condensadores.
 - el desfase capacitivo de un circuito.
- La frecuencia y la capacitancia afectan directamente
 - la resistencia de una fuente de alimentación.
 - la cantidad de potencia activa disipada por un resistor.
 - la polaridad de la corriente que circula en un circuito.
 - la reactancia capacitiva de un circuito.
- ¿Qué fórmula se utiliza para calcular C_{EQ} en una conexión de condensadores en paralelo?
 - $C_{EQ} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_n$
 - $1/C_{EQ} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_n$
 - $C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$
 - $1/C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$
- ¿Qué fórmula se utiliza para calcular C_{EQ} en una conexión de condensadores en serie?
 - $C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$
 - $1/C_{EQ} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_4 + \dots + 1/C_n$
 - $C_{EQ} = 1/(C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n)$
 - $1/C_{EQ} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + \dots + C_n$

7. ¿Cuál es la capacitancia equivalente de tres condensadores de $15 \mu\text{F}$ que están conectados en serie?
- $45 \mu\text{F}$
 - $4,5 \mu\text{F}$
 - $50 \mu\text{F}$
 - $5,0 \mu\text{F}$
8. ¿Cuál es la capacitancia equivalente de tres condensadores que están conectados en paralelo y cuyos valores son $1 \mu\text{F}$, $2 \mu\text{F}$ y $4 \mu\text{F}$, respectivamente?
- $8 \mu\text{F}$
 - $7 \mu\text{F}$
 - $0,57 \mu\text{F}$
 - $1,75 \mu\text{F}$
9. En un circuito ca puramente capacitivo, el desfase entre la tensión y la corriente es
- -90° si se usa la corriente como referencia.
 - $+90^\circ$ si se usa la tensión como referencia.
 - $+90^\circ$ si se usa la corriente como referencia.
 - es a o b, dependiendo cual se tome como referencia.
10. ¿Cuál es la potencia reactiva que consume un circuito ca puramente capacitivo, si los valores eficaces de tensión y corriente son 75 V y 5 A , respectivamente?
- 375 W
 - 375 VA
 - 375 var
 - 15 var

Inductores en los circuitos ca

OBJETIVO DE LA UNIDAD

Después de completar esta unidad, usted será capaz de demostrar y explicar los efectos de los inductores en los circuitos ca. Usted utilizará las mediciones del circuito para determinar la reactancia inductiva de los inductores y observará y medirá el desfase entre la tensión y la corriente, causado por dichos inductores.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Los ejercicios de esta unidad son similares a aquéllos de la Unidad 3 y usted comprobará que en un circuito eléctrico el comportamiento de un inductor es contrario al de un condensador. Ambos componentes almacenan energía y ambos causan un desfase de 90° entre la tensión y la corriente. Los condensadores almacenan energía en un campo eléctrico creado por la aplicación de una tensión, mientras que los inductores almacenan energía en un **campo magnético** producido por una corriente que circula en el arrollamiento de alambre.

Con frecuencia, a los inductores se los llama reactores o bobinas. Toda la industria eléctrica gira alrededor de las bobinas y se las puede encontrar en motores, generadores, relés y en otros numerosos dispositivos eléctricos. La propiedad fundamental de los inductores es que se oponen a los cambios de la corriente que fluye por sus arrollamientos. La oposición a los cambios de la corriente es proporcional a la **inductancia** (L). La inductancia es una medida de la cantidad de energía que un inductor almacena en el campo magnético y éste se crea cuando una corriente circula en los arrollamientos de dicho inductor. La unidad de medida de la inductancia es el **henrio** (H).

Cuando se añade una inductancia a un circuito ca, el efecto que se observa es similar al de una capacitancia, es decir, hay oposición al flujo de corriente. Este efecto se llama **reactancia inductiva** (X_L) y se define como la oposición que crea la inductancia al flujo de corriente alterna. Cuando una corriente circula a través de un arrollamiento de alambre, se crea un campo magnético que contiene energía. Cuando la corriente aumenta, la energía que contiene dicho campo también aumenta. Cuando la corriente disminuye la energía se libera y en el momento en que la corriente se hace cero, el campo magnético cae a cero. La situación es similar a la que se vio con el condensador, salvo que en éste, la tensión es la que determina la cantidad de energía a almacenar, mientras que en el inductor es la corriente.

En el circuito inductivo de la figura 4-1, la fuente de energía ca provoca la circulación de una corriente alterna en el arrollamiento del inductor. Esta corriente aumenta, decrece y cambia de polaridad en forma alternada, al igual que la tensión de la fuente. En consecuencia, la bobina recibe energía de la fuente en forma alternativa para luego devolverla a dicha fuente; dependiendo de si la corriente a través del inductor es creciente (campo magnético en expansión) o decreciente (campo magnético en extinción). En un circuito ca, la potencia va y viene entre el inductor y la fuente de alimentación. Al igual que con los condensadores, podemos decir que nada aprovechable se lleva a cabo.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

La figura 4-1 muestra que la potencia fluye de izquierda a derecha mientras el campo magnético está en expansión (la magnitud de la corriente crece) y de derecha a izquierda cuando el campo magnético está en extinción (la magnitud de la corriente decrece). Como usted verá más tarde, la potencia alterna que fluye en los circuitos ca se encuentra en relación con el **desfasaje inductivo** entre la corriente y la tensión, de manera similar al desfasaje capacitivo.

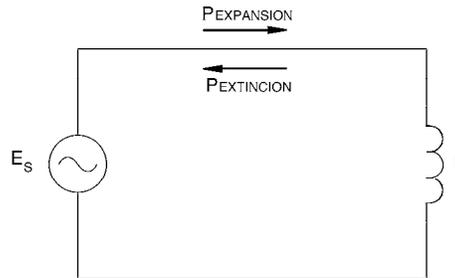


Figura 4-1. Flujo de potencia durante la expansión y la extinción del campo magnético.

Si se conectara un vatímetro para medir la potencia que consume un inductor ideal, dicho vatímetro indicaría cero. En la práctica, todas las bobinas disipan un poco de energía activa y el vatímetro indica una pequeña cantidad de potencia. Esto se debe a que el alambre de la bobina tiene cierta resistencia, por lo tanto, disipa potencia como un elemento resistor.

De forma muy similar a los circuitos puramente capacitivos, cuando circula una corriente en un circuito ca inductivo, se produce una caída de tensión a través del inductor. Para el caso de un inductor ideal, la potencia aparente (producto EI) es igual a la potencia reactiva y, como en los circuitos ca capacitivos, la forma de onda de la potencia instantánea muestra picos de potencia negativa. Para distinguir entre **potencia reactiva capacitiva** y **potencia reactiva inductiva**, se coloca un signo negativo a los var capacitivos y uno positivo a los var inductivos.

Reactancia inductiva

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar la reactancia inductiva mediante las mediciones de tensiones y corrientes del circuito.

PRINCIPIOS

La reactancia inductiva es la oposición al flujo de corriente alterna y la inductancia es la que provoca dicha oposición. La inductancia es una propiedad de los inductores y aumenta cuando el inductor tiene un núcleo de hierro. La unidad de medida de la inductancia es el henrio (H). El efecto es similar al que produce la capacitancia y, al igual que la reactancia capacitiva, la reactancia inductiva varía con la frecuencia. Como esa variación es directamente proporcional a la frecuencia, cuando ésta aumenta, la reactancia inductiva también aumenta. Lo anterior es lo opuesto a lo que ocurre con la reactancia capacitiva. Además, si se incrementa la inductancia de un inductor, aumenta la reactancia inductiva.

Cuando se aplica una tensión cc a un inductor, una corriente cc fluye a través de su arrollamiento. Como la corriente cc no cambia, el inductor no se opone a ese flujo y el valor de la corriente está limitado solamente por la resistencia de la bobina. Cuando al mismo inductor se le aplica una tensión ca, de valor eficaz igual a la tensión cc, una corriente alterna circula a través de su arrollamiento. Como esta corriente cambia continuamente, el inductor se opone a ese cambio y el valor de la corriente está limitado a un valor mucho más bajo que el obtenido con la tensión cc. Cuanto mayor es la inductancia de un inductor, mayor será la oposición a los cambios de la corriente. La oposición causada por un inductor al flujo de corriente ca, se llama reactancia inductiva.

La fórmula para la determinación de la reactancia inductiva en un circuito ca es:

$$X_L = 2\pi fL$$

donde X_L es la reactancia inductiva en ohmios (Ω).

L es la inductancia en henrios (H).

f es la frecuencia de la fuente en Hz.

En la mayoría de los cálculos, en los que se utiliza la reactancia inductiva, se puede emplear el valor 6,28 para reemplazar la constante 2π . De la misma manera, se puede reemplazar $2\pi f$ por 314 (para 50 Hz) y por 377 (para 60 Hz), sin demasiado error. La fórmula de cálculo para determinar la reactancia inductiva muestra que ésta es directamente proporcional a la frecuencia y a la inductancia. Por lo tanto, si se duplica el valor de una de estas últimas, la reactancia inductiva resultará el doble.

A partir de la tensión y de la corriente del circuito y aplicando la fórmula de la ley de Ohm, se puede determinar la reactancia inductiva; esto es, $X_L = E_L / I_L$, al igual que las expresiones equivalentes, $I_L = E_L / X_L$ y $E_L = I_L \times X_L$, donde E_L e I_L representan los valores eficaces de la tensión y corriente.

Estas expresiones de la ley de Ohm, y las leyes de Kirchhoff vistas en los ejercicios anteriores, son válidas para la resolución de circuitos ca inductivos.

El módulo Carga inductiva EMS, que se utiliza en este ejercicio, cuenta con tres secciones idénticas y cada una posee 3 inductores que se pueden agregar al circuito por medio de interruptores de palanca. Cuando se cierra el interruptor apropiado, se dispone del valor seleccionado en los terminales de salida de cada sección. Además, dos inductores cualesquiera, o los tres, se pueden disponer en paralelo. La inductancia equivalente en paralelo estará entonces disponible en los terminales de salida. Este arreglo permite ajustar diferentes valores de inductancias y, consecuentemente, de reactancias inductivas. En el Apéndice B de este manual se encuentra una tabla con una lista de valores de reactancias que se pueden obtener. Además, los valores de inductancia, corriente y reactancia para los inductores individuales, están indicados al lado de cada componente del panel frontal del módulo. La corriente y la reactancia corresponden a los valores nominales obtenidos con la frecuencia y la tensión de línea especificadas.

EQUIPO REQUERIDO

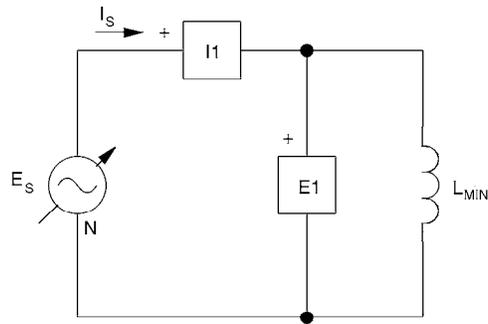
A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga inductiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Coloque el selector del voltímetro en la posición 4-N. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté conectada a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que se muestra en la figura 4-2. Cierre todos los interruptores del módulo Carga inductiva para que todos los inductores queden en paralelo. Esto producirá un valor de inductancia L_{MIN} . Conecte las entradas E1 e I1 para medir la tensión y la corriente del circuito.



Red local de potencia ca		$E_S = E_L$ (V)	L_{MIN} (H)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	120	0,15*
220	50	220	0,67*
220	60	220	0,55*
240	50	240	0,72

* VALOR OBTENIDO CON TODOS LOS INDUCTORES EN PARALELO.

Figura 4-2. Circuito ca inductivo.

4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos. Encienda la computadora

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

5. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES14-1.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

6. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión para obtener el valor $E_S (= E_L)$, que se muestra en la figura 4-2.

7. Para ingresar los valores de las mediciones de tensión y corriente, utilice la *Tabla de Datos*. Anote los resultados más abajo.

$$E_L = \text{_____ V}$$

$$I_L = \text{_____ A}$$

8. Utilice los valores medidos de E_L e I_L para determinar la reactancia inductiva X_{L1} del circuito.

$$X_{L1} = \frac{E_L}{I_L} = \text{_____ } \Omega$$

9. Utilice el valor obtenido de X_{L1} para determinar la capacitancia $L_{MÍN}$.

$$L_{MÍN} = \frac{X_{L1}}{2\pi f} = \text{_____ H}$$

10. ¿Encuentra usted que el valor calculado en la etapa 9 resulta aproximadamente igual que el valor de capacitancia ajustado en el módulo Carga capacitiva?

Sí No

11. Aumente la inductancia del circuito abriendo los tres interruptores de una sección del módulo Carga inductiva. Mida y anote E_L e I_L .

$$E_L = \text{_____ V}$$

$$I_L = \text{_____ A}$$

12. Determine X_{L2} para esos nuevos valores de tensión y de corriente.

$$X_{L2} = \text{_____ } \Omega$$

13. Aumente una vez más la capacitancia del circuito abriendo los interruptores de una segunda sección de inductores. Mida E_L e I_L y calcule X_{L3} .

$$E_L = \text{_____ V}$$

$$I_L = \text{_____ A}$$

$$X_{L3} = \text{_____ } \Omega$$

14. Calcule las relaciones entre las reactancias de los diferentes circuitos.

$$\frac{X_{L2}}{X_{L1}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\frac{X_{L3}}{X_{L1}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

15. Sabiendo que el circuito original se configuró con tres inductores en paralelo de igual inductancia, ¿encuentra usted que las relaciones de la etapa 14 muestran que la reactancia inductiva cambia en proporción directa con las relaciones de los cambios de inductancia?

Sí No

16. Con E_S igual al 50% del valor que se utilizó en la etapa 6, calcule la corriente para la reactancia actual del circuito, que se ajustó en la etapa 13.

$$I_L = \frac{E_S}{X_{L3}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

17. Utilice la perilla de control de tensión para ajustar E_S en un valor igual al 50% del que se empleó en la etapa 6. Mida la tensión y la corriente del circuito.

$$E_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

18. Compare el valor de la corriente medido con el calculado en la etapa 16. ¿Concuerdan?

Sí No

19. ¿Qué puede decir del cociente entre la tensión y la corriente del circuito con respecto al presente valor de reactancia inductiva X_L ?

20. El cambio que se realizó en la tensión de la fuente, ¿afecta el valor de la reactancia del circuito?

Sí No

21. Los valores de tensiones y corrientes que se midieron en el circuito, ¿demuestran que la ley de Ohm es válida para los circuitos ca inductivos?

Sí No

22. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó la ley de Ohm y las mediciones de tensiones y de corrientes del circuito para calcular la reactancia inductiva para diferentes circuitos ca. Además, observó que la ley de Ohm es válida para los circuitos ca inductivos y demostró que la reactancia cambia en proporción directa con el valor de la inductancia del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. En un circuito ca inductivo con un inductor en serie, los valores eficaces de la tensión y de la corriente son 120 V y 3 A, respectivamente. ¿Cuál es el valor de X_L ?
 - a. 360 Ω
 - b. 36 Ω
 - c. 40 Ω
 - d. 40 H

2. Si la frecuencia de la fuente ca de un circuito se reduce a la mitad, ¿qué sucede con la reactancia inductiva de dicho circuito?
 - a. Se duplica.
 - b. Se reduce a la mitad.
 - c. No cambia.
 - d. Cambia sólo si no hay resistencias en el circuito.

3. ¿Qué sucede cuando en un circuito cc se interrumpe de repente la corriente que fluye a través del inductor?
 - a. El campo magnético se expande y se desarrolla un elevado potencial en el circuito.
 - b. El campo magnético se extingue y la tensión cae instantáneamente.
 - c. El campo magnético se extingue y se desarrolla un elevado potencial en el circuito.
 - d. El campo magnético se expande y la tensión cae instantáneamente.

4. La fórmula que se utiliza para calcular la reactancia inductiva es
 - a. $X_L = I_L/E_L$
 - b. $I_L = E_L \times X_L$
 - c. $X_L = 2\pi fL$
 - d. $X_L = 1/2\pi fL$

5. ¿Cómo varía la reactancia inductiva en relación con la frecuencia y con la inductancia?
 - a. Directamente con la frecuencia e inversamente con la inductancia.
 - b. Directamente con la frecuencia y con la inductancia.
 - c. Inversamente con la frecuencia y con la inductancia.
 - d. Inversamente con la frecuencia y directamente con la inductancia.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Inductancia Equivalente

OBJETIVO DEL EJERCICIO

Después de completar este ejercicio, usted será capaz de calcular la inductancia equivalente para inductores conectados en serie y en paralelo. Además, usted estará en condiciones de explicar y demostrar el concepto de inductancia equivalente, utilizando las mediciones de tensión y corriente del circuito.

PRINCIPIOS

Los inductores son dispositivos eléctricos y consisten en una bobina de alambre enrollada alrededor de un núcleo. El material de dicho núcleo puede ser no magnético, como la madera o el plástico, o magnético, como el hierro o el acero. Los inductores con núcleo no magnético se llaman inductores con núcleo de aire y los que tienen el núcleo magnético se llaman inductores con núcleo de hierro. Los núcleos con material magnético permiten aumentar el valor de la inductancia porque concentran las líneas de fuerza magnéticas en un área más pequeña. La figura 4-3 muestra ejemplos de inductores con núcleo de aire y con núcleo de hierro.

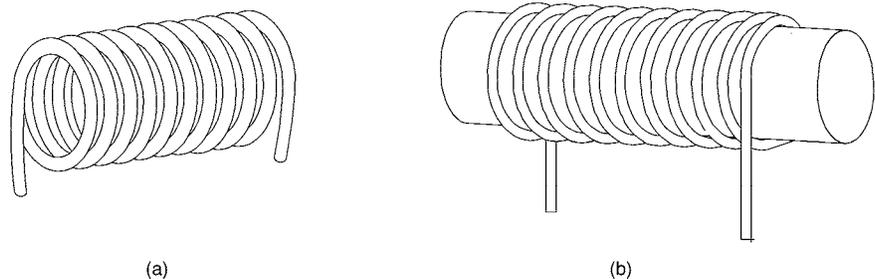


Figura 4-3. (a) Inductor con núcleo de aire, (b) inductor con núcleo de hierro.

Cuando la corriente que circula a través de un inductor cambia, dicho inductor almacena energía en el campo magnético creado alrededor de su arrollamiento de alambre. La magnitud de la energía que el inductor es capaz de almacenar depende de su inductancia, del tipo de núcleo y del número de vueltas del alambre. La unidad de medida de la inductancia es el henrio (H) y un henrio equivale al valor que se obtiene cuando una corriente, que cambia a razón de 1 A por segundo, provoca una tensión auto inducida de 1 V en el inductor.

Las fórmulas utilizadas para determinar la inductancia equivalente son similares a aquéllas empleadas para la resistencia equivalente. Lo mismo que para esta última, la inductancia equivalente L_{EQ} es mayor para inductores conectados en serie y menor para combinaciones en paralelo. En la figura 4-4 y figura 4-5 se muestran combinaciones de inductores en serie y en paralelo.

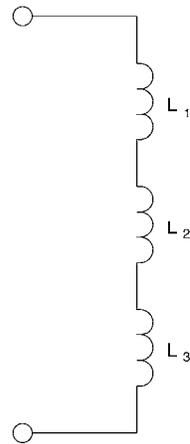


Figura 4-4. Inductores en serie.

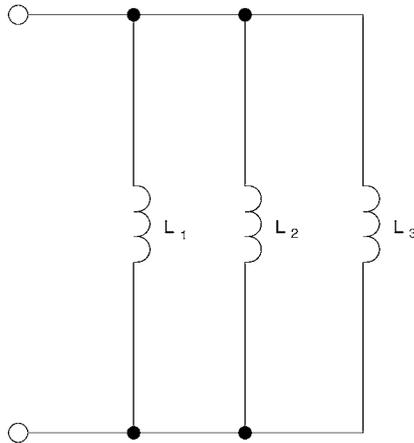


Figura 4-5. Inductores en paralelo.

La fórmula para calcular la inductancia equivalente de los inductores en serie es:

$$L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$$

Mientras que la fórmula para calcular la inductancia equivalente para los inductores en paralelo es:

$$1/L_{EQ} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_n$$

Reorganizando la fórmula $X_L = 2\pi fL$, que relaciona la reactancia inductiva con la inductancia, tenemos: $L = X_L/2\pi f$. Esta otra forma puede utilizarse para calcular la inductancia a partir de las mediciones de tensión y corriente del circuito.

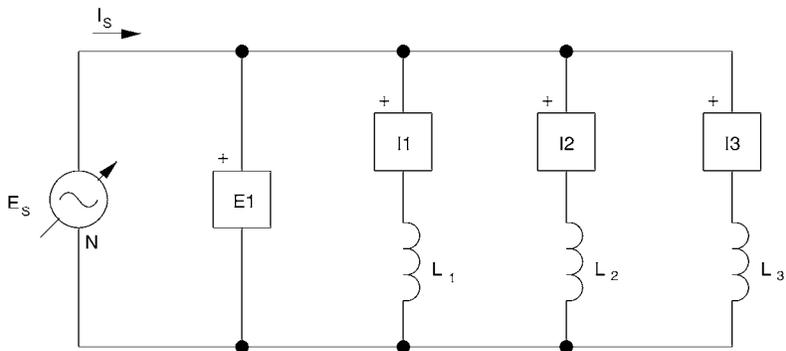
EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO

Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga inductiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Coloque el selector del voltímetro de la Fuente de alimentación en la posición 4-N y enchufe dicha fuente a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito paralelo que se muestra en la figura 4-6. Conecte las entradas I1, I2, I3 y E1 como lo indica dicha figura. Ajuste el módulo Carga inductiva para los valores de L_1 , L_2 , y L_3 , como lo muestra la figura 4-6.



Red local de potencia ca		L_1 (H)	L_2 (H)	L_3 (H)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	0,46	0,46	0,46
220	50	2,0	2,0	2,0
220	60	1,66	1,66	1,66
240	50	2,2	2,2	2,2

Figura 4-6. Determinación de la inductancia equivalente de un circuito paralelo.

4. Calcule la inductancia equivalente L_{EQ} del circuito utilizando los valores de inductancia que muestra la figura 4-6.

$$\frac{1}{L_{EQ}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

$$L_{EQ} = \text{_____ H}$$

5. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

6. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES14-2.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

7. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión en 100%.
8. Utilice la *Tabla de Datos* para ingresar los valores de las mediciones de tensión y corriente. Anote los resultados más abajo.

$$I_{L1} = \text{_____ A}$$

$$I_{L2} = \text{_____ A}$$

$$I_{L3} = \text{_____ A}$$

$$E_S = \text{_____ V}$$

9. Utilice las mediciones del circuito para calcular los valores de las inductancias L_1 , L_2 , y L_3 . Recuerde que $X_L = E_S/I_L = 2\pi fL$.

$$L_1 = \frac{E_S}{2\pi f I_{L1}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ H}$$

$$L_2 = \frac{E_S}{2\pi f I_{L2}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ H}$$

$$L_3 = \frac{E_S}{2\pi f I_{L3}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ H}$$

10. ¿Encuentra usted que los resultados de la etapa 9 concuerdan con los valores ajustados en el módulo Carga inductiva?

Sí No

11. Calcule L_{EQ} empleando los valores de inductancia de la etapa 9.

$$\frac{1}{L_{EQ}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

$$L_{EQ} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ H}$$

12. Compare el resultado de la etapa 11 con los cálculos teóricos realizados en la etapa 4, ¿son aproximadamente iguales?

Sí No

13. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito de la figura 4-7. Conecte las entradas I1, E1, E2 y E3 como se muestra y ajuste el módulo Carga inductiva para los valores requeridos de inductancia.

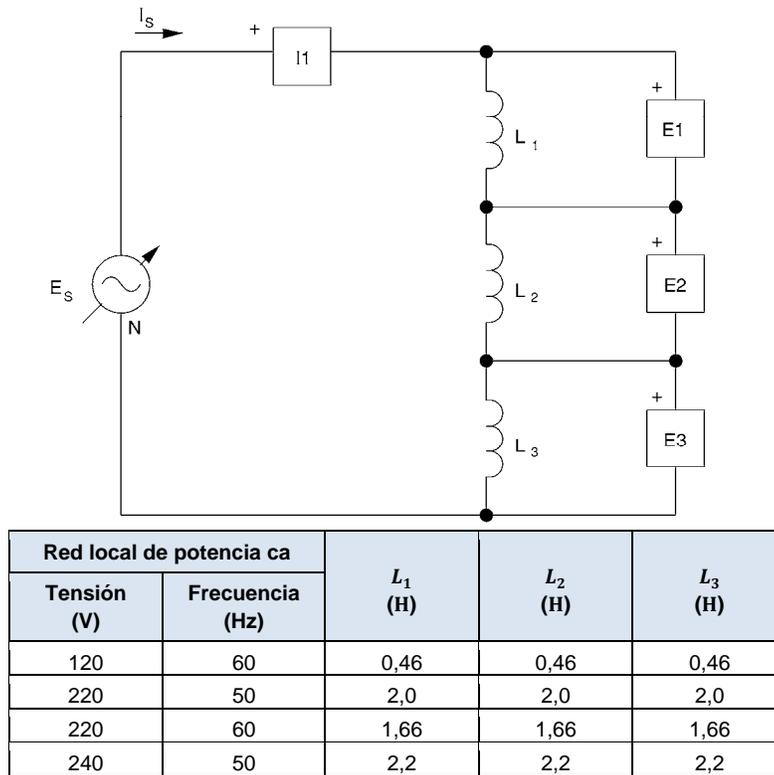


Figura 4-7. Determinación de la inductancia equivalente de un circuito serie.

14. Calcule la inductancia equivalente L_{EQ} empleando los valores de inductancia que se indican en la figura 4-7.

$$L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 = \text{_____ H}$$

15. Abra el archivo de configuración *ES14-3.dai*.

16. Encienda la Fuente de alimentación y verifique que la perilla de control de tensión se encuentra en 100%. Mida y anote la corriente y las tensiones del circuito.

$$E_{L1} = \text{_____ V}$$

$$E_{L2} = \text{_____ V}$$

$$E_{L3} = \text{_____ V}$$

$$I_S = \text{_____ A}$$

17. Utilice las mediciones del circuito para calcular los valores de las inductancias L_1 , L_2 y L_3 .

$$L_1 = \frac{E_{L1}}{2\pi f I_S} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ H}$$

$$L_2 = \frac{E_{L2}}{2\pi f I_S} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ H}$$

$$L_3 = \frac{E_{L3}}{2\pi f I_S} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ H}$$

18. Calcule L_{EQ} empleando los valores de inductancia de la etapa 17.

$$L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ H}$$

19. Compare el resultado de la etapa 18 con el valor calculado en la etapa 14. ¿Concuerdan?

Sí No

20. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó las fórmulas correspondientes para calcular la inductancia equivalente del circuito para combinaciones de inductores en serie y en paralelo. Además, combinó el uso de estas fórmulas con las mediciones de tensiones, corrientes y reactancia inductiva del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es la fórmula para calcular la inductancia equivalente de inductores conectados en paralelo?

- a. $L_{EQ} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_n$
- b. $1/L_{EQ} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_n$
- c. $L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$
- d. $1/L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$

2. ¿Cuál es la fórmula para calcular la inductancia equivalente de inductores conectados en serie?

- a. $L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$
- b. $1/L_{EQ} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_n$
- c. $L_{EQ} = 1/(L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n)$
- d. $1/L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$

3. ¿Cuál es la inductancia equivalente de tres inductores de 15 H conectados en paralelo?

- a. 50 H
- b. 4,5 H
- c. 45 H
- d. 5,0 H

4. ¿Cuál es la inductancia equivalente de tres inductores conectados en serie y cuyos valores son 1 H, 2 H y 4 H?

- a. 7 H
- b. 8 H
- c. 1,75 H
- d. 0,57 H

5. ¿Cuál es la inductancia equivalente de la combinación de dos inductores de 10 H conectados en paralelo, con otro conectado en serie de 5 H?

- a. 50 H
- b. 25 H
- c. 10 H
- d. 5 H

Desfasaje inductivo y potencia reactiva

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de demostrar el concepto de desfasaje inductivo y de medir dicho desfasaje. Además, usted observará las instancias negativa y positiva de potencia en la forma de onda de la potencia de circuitos reactivos ca.

PRINCIPIOS

Como usted ha visto en las unidades anteriores, en los circuitos ca resistivos, las formas de onda de tensiones y corrientes se encuentran en fase y la potencia que disipan los resistores es potencia activa en forma de calor. Como en el caso de una capacitancia en un circuito ca, ahora tenemos una inductancia que provoca un desfasaje entre la tensión y la corriente de dicho circuito. Este desfasaje se debe a la oposición de los inductores a los cambios de la corriente.

Cuando la corriente que circula a través de un inductor comienza a cambiar, el inductor reacciona produciendo una tensión que se opone a dicho cambio. Cuanto más rápido cambia la corriente, mayor será la tensión que produce el inductor para oponerse. En otras palabras, la tensión a través del inductor es proporcional a la velocidad de cambio de la corriente. Supongamos ahora que una onda seno de corriente fluye por un inductor. En el instante en que la corriente alcanza un valor máximo (por ejemplo, un pico negativo), dicha corriente ya no cambia, por lo tanto, la tensión en el inductor deberá ser cero, dado que la velocidad de cambio de la corriente es cero. Luego, cuando la corriente pasa por la amplitud cero, la velocidad de cambio de dicha corriente es máxima y la tensión del inductor deberá ser máxima. Como resultado, en un inductor ideal la corriente atrasa la tensión en 90° . La figura 4-8 muestra el desfasaje inductivo de 90° .

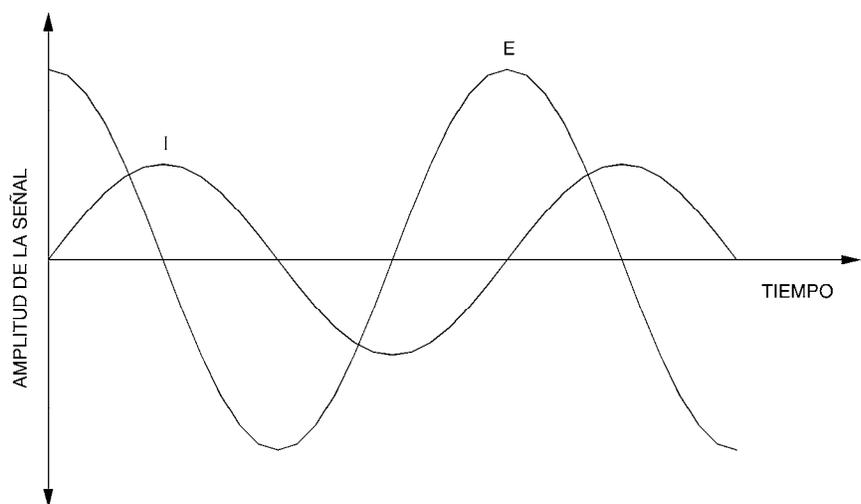


Figura 4-8. Desfasaje inductivo en un circuito CA.

Como se mencionó en la Unidad 2, las componentes reactivas que provocan un desfasaje entre la tensión y la corriente de un circuito, producen una forma de onda de potencia instantánea que tiene valores negativos y positivos. La "potencia negativa" indica, justamente, que esa potencia se devuelve a la fuente. La figura 4-9 muestra la forma de onda de la potencia instantánea para un circuito ca puramente inductivo. En dicha forma de onda, las áreas de potencias positiva y negativa son iguales, del mismo modo que en los circuitos ca capacitivos. Por lo tanto, la potencia promedio para un período completo es cero. Sin embargo, como usted verá en este ejercicio, los inductores reales tienen algo de resistencia y consumen una pequeña cantidad de energía activa. En consecuencia, las áreas positiva y negativa de la forma de onda no serán exactamente iguales. Observe que, como en los circuitos capacitivos, la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea es el doble de la frecuencia de la fuente ca.

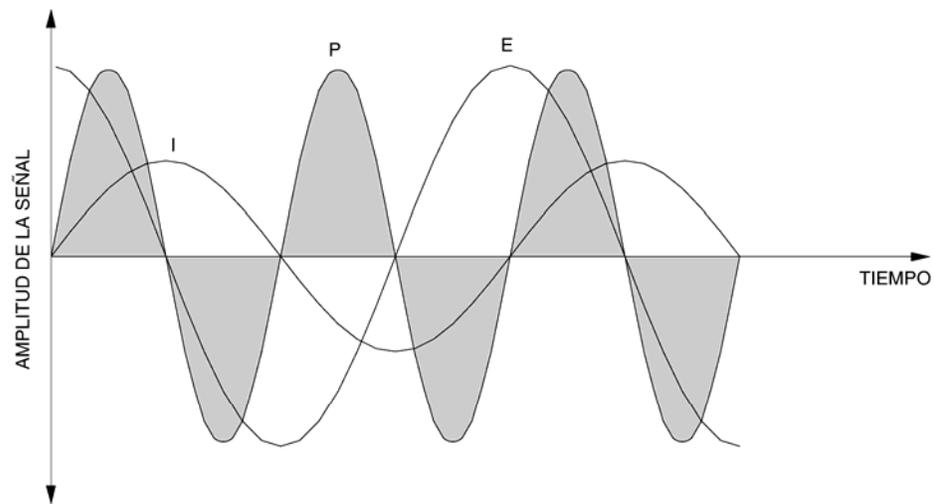


Figura 4-9. Potencia instantánea en un circuito ca inductivo.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

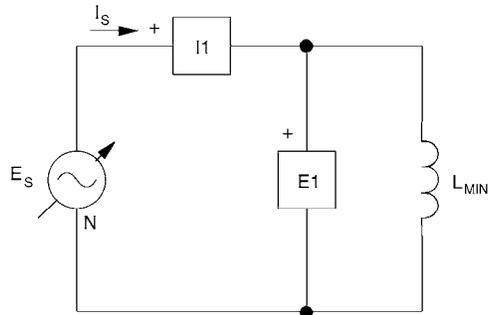
PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga inductiva.

2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Coloque el selector del voltímetro de la Fuente de alimentación en la posición 4-N y enchufe dicha fuente a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito de la figura 4-10 y Conecte las entradas E1 e I1 para medir la tensión y la corriente del circuito. Ajuste el módulo Carga inductiva en el valor $L_{MÍN}$ que muestra la figura 4-10.



Red local de potencia ca		$L_{MÍN}$ (H)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	0,15*
220	50	0,67*
220	60	0,55*
240	50	0,72

* VALOR OBTENIDO CON TODOS LOS INDUCTORES EN PARALELO.

Figura 4-10. Desfasaje inductivo y potencia reactiva en un circuito ca.

4. Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES14-4.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

5. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión en 100%. Verifique que los parámetros del circuito se visualizan en la aplicación *Aparatos de Medición*.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

6. Anote los valores eficaces de la tensión y de la corriente y la potencia aparente (S) que muestran los instrumentos.

$$E_L = \text{_____ V}$$

$$I_L = \text{_____ A}$$

$$S \text{ (PQS1)} = \text{_____ VA}$$

7. ¿Resulta la potencia aparente igual al producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente?

Sí No

8. Haga clic sobre el botón Osciloscopio y visualice E_1 , I_1 y P_1 en CH1, CH2 y CH3, respectivamente. Asegúrese de que el control de la base de tiempo está ajustado para mostrar, por lo menos, dos ciclos completos de las ondas seno.

9. Compare la forma de onda de corriente con la correspondiente a la tensión. Ambas ondas seno, ¿tienen igual frecuencia?

Sí No

10. ¿Cuál es el desfasaje entre la tensión y la corriente?

$$\text{Desfasaje} = \text{_____}^\circ$$

11. ¿Encuentra usted que el desfasaje anterior muestra que la corriente en el inductor atrasa la tensión en aproximadamente 80° ?

Sí No



La resistencia del alambre del inductor provoca un desfasaje menor que el valor teórico de 90° y causa, en los inductores reales, algo de consumo de energía activa.

12. ¿Encuentra usted que la forma de onda de la corriente alcanza su valor máximo cuando la tensión pasa por la amplitud cero y que dicha forma de onda pasa por cero cuando la tensión alcanza su valor máximo?

Sí No

13. Calcule el período y la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea.

$$T = \text{_____ ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \text{_____ Hz}$$

14. ¿Cómo es la frecuencia de la forma de onda de la potencia instantánea con relación a la de la fuente ca?
-

15. ¿Encuentra usted que la forma de onda de la potencia instantánea muestra que las áreas positiva y negativa no son iguales y que esto demuestra que los inductores consumen potencia activa?

Sí No

16. Calcule la potencia aparente (S) multiplicando los valores rms de corriente y tensión mostrados en el osciloscopio y compare los resultados con la potencia activa P [valor de potencia promedio (PROM) P1 mostrado en la información de la forma de onda de la pantalla *Osciloscopio*].

$$\text{Potencia aparente } (S) = E_L \times I_L = \text{_____ VA}$$

$$\text{Potencia activa } (P) = \text{_____ W}$$

17. ¿Encuentra usted que el resultado de la etapa 16 confirma que la potencia aparente es diferente de la potencia activa debido a la presencia de potencia reactiva en el circuito?

Sí No

18. ¿Cuál es la potencia activa total que consume el circuito?

$$P_{ACTIVA} = \text{_____ W}$$

19. ¿Cuándo la forma de onda de la potencia instantánea atraviesa el valor de amplitud cero?
-

20. ¿Encuentra usted que la etapa 19 confirma que la potencia instantánea es cero cuando la corriente o la tensión es cero?

Sí No

21. Cambie la inductancia del circuito abriendo los tres interruptores de una de las secciones del módulo Carga inductiva.

22. Explique el efecto que produce el cambio de la reactancia inductiva en la corriente, en la tensión y en la potencia reactiva del circuito.

23. ¿Cambió el desfasaje entre la corriente y la tensión?

Sí No

24. ¿Por qué la amplitud de la forma de onda de la potencia instantánea es diferente?

25. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó las mediciones de las formas de ondas de tensión y de corriente para determinar el desfasaje inductivo en un circuito ca. Demostró además que cierta potencia activa se disipa en el circuito inductivo, a causa de la resistencia del alambre del inductor. Finalmente, la observación de las formas de ondas del circuito le permitió confirmar el comportamiento teórico de la tensión y de la corriente de dicho circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Los inductores almacenan energía en un campo magnético creado y mantenido por
 - a. una corriente que fluye a través del arrollamiento de alambre.
 - b. una tensión conectada a la parte resistiva del inductor.
 - c. la conexión de un inductor a un condensador.
 - d. la conexión entre los extremos del inductor.

2. El ángulo de fase entre la corriente y la tensión provocado por un inductor es igual a
 - a. $+90^\circ$, si se usa la tensión como referencia.
 - b. $+90^\circ$, si se usa la corriente como referencia.
 - c. -90° , si se usa la tensión como referencia.
 - d. b y c.

3. En un circuito ca puramente inductivo, ¿cuándo la forma de onda de la potencia instantánea pasa por la amplitud cero?
 - a. Cuando la tensión y la corriente son máximas.
 - b. Cuando las formas de ondas de tensión y corriente se interceptan.
 - c. Cuando los valores eficaces de tensión y corriente son máximos.
 - d. Siempre que la tensión o la corriente sea cero.

4. ¿Cuál será la potencia reactiva de un circuito ca puramente inductivo, si los valores eficaces de tensión y corriente son 80 V y 3 A, respectivamente?
 - a. 240 W
 - b. 240 VA
 - c. 240 var
 - d. 26,7 var

5. La forma de onda de la potencia instantánea de un circuito tiene el área positiva distinta de la negativa. ¿Qué puede indicar lo anterior?
 - a. Que el circuito es resistivo, además de reactivo.
 - b. Que el circuito contiene sólo componentes reactivas.
 - c. Que la potencia aparente es cero.
 - d. a y c.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Examen de la unidad

1. ¿Qué corriente circulará en un circuito ca inductivo que tiene una reactancia de 60Ω , cuando la tensión es 120 V ?
 - a. 20 A
 - b. $0,5 \text{ A}$
 - c. 2 A
 - d. 2 H

2. ¿Cómo se puede reducir a la mitad la reactancia inductiva de un circuito, sin cambiar ningún componente del mismo?
 - a. Incrementando la inductancia la mitad.
 - b. Reduciendo la frecuencia de la fuente a la mitad.
 - c. Incrementando la frecuencia de la fuente la mitad.
 - d. Reduciendo la tensión de la fuente a la mitad.

3. ¿Cómo se puede triplicar la reactancia inductiva de un circuito ca?
 - a. Triplicando la tensión de la fuente.
 - b. Reduciendo un tercio la frecuencia de la fuente.
 - c. Triplicando la inductancia.
 - d. Reduciendo la inductancia un tercio.

4. La reactancia inductiva puede determinarse a partir de
 - a. $E_L = 2\pi f l I_L$
 - b. $I_L = E_L/X_L$
 - c. $X_L = 2\pi f L$
 - d. a, b y c

5. ¿Qué fórmula se utiliza para calcular la inductancia equivalente de inductores en paralelo?
 - a. $L_{EQ} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_n$
 - b. $1/L_{EQ} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_n$
 - c. $L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$
 - d. $1/L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$

6. ¿Qué fórmula se utiliza para calcular la inductancia equivalente de inductores en serie?
 - a. $L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$
 - b. $1/L_{EQ} = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3 + 1/L_4 + \dots + 1/L_n$
 - c. $L_{EQ} = 1/(L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n)$
 - d. $1/L_{EQ} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + L_n$

7. ¿Cuál es la inductancia equivalente de tres inductores de 15 H, conectados en serie?
- a. 5,0 H
 - b. 45 H
 - c. 4,5 H
 - d. 50 H
8. ¿Cuál es la inductancia equivalente de tres inductores conectados en paralelo y cuyos valores son 1 H, 2 H y 4 H, respectivamente?
- a. 7 H
 - b. 1,75 H
 - c. 0,57 H
 - d. 8 H
9. En un circuito ca puramente inductivo, la tensión adelanta la corriente en
- a. 80°
 - b. 90°
 - c. 270°
 - d. b y c.
10. ¿Cuál es la potencia reactiva que consume un circuito ca puramente inductivo, si los valores eficaces de la tensión y corriente son 85 V y 10 A, respectivamente?
- a. 850 W
 - b. 850 VA
 - c. 850 var
 - d. 8,5 var

Potencia, fasores e impedancia en los circuitos ca

OBJETIVO DE LA UNIDAD

Después de completar esta unidad, usted será capaz de determinar las potencias activa, reactiva y aparente en los circuitos ca y de calcular el factor de potencia. Usted utilizará los diagramas vectoriales para resolver los circuitos ca y para determinar la impedancia del circuito. Mediante las mediciones del circuito y la observación de las formas de ondas, usted verificará los conceptos asociados con los fasores, la impedancia y la potencia ca.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Como se vio en las dos últimas unidades, un circuito ca, puramente inductivo o capacitivo, tiene la corriente y la tensión desfasadas 90° y consume una potencia que no es potencia activa. En la práctica, los circuitos ca tienen resistencia y reactancia y la potencia aparente en voltio-amperios, resulta mayor que la potencia activa en vatios. La diferencia entre la potencia aparente y la activa es la potencia reactiva en var, siendo la reactancia la causa de dicha diferencia. Dado que la potencia reactiva capacitiva tiene signo opuesto al de la potencia reactiva inductiva, la potencia aparente de los circuitos ca se puede reducir al mínimo, ajustando la cantidad de reactancia inductiva y capacitiva de dichos circuitos. Lo anterior permite reducir al mínimo el valor de la corriente que se extrae de la fuente de alimentación (corriente de línea), sin cambiar la potencia activa consumida por la carga. Minimizar la corriente de línea implica aumentar el **factor de potencia** ($\cos \varphi$), que es igual a la unidad para el caso de una carga resistiva pura. Los circuitos con cargas puramente reactivas tienen un factor de potencia igual a cero porque ellas consumen potencia que no es activa. Esto último se debe a que esas cargas puramente reactivas, extraen corriente de línea y representan una carga para la fuente.

En los ejercicios precedentes, se utilizaron las ondas seno para comprender el concepto de desfasaje en los circuitos ca. Sin embargo, cuando un circuito contiene tres, cuatro o más ondas seno, resulta complicado el trazado de varias formas de ondas para determinar la relación de fase entre los diferentes tensiones y corrientes. Por ejemplo, en el circuito de la figura 5-1, la tensión de la fuente es la suma de los valores instantáneos de las tres formas de ondas de tensión desfasadas 90° , una respecto de la otra. La cantidad de información presente hace que el trazado resulte difícil de interpretar y, por lo tanto, complica el análisis del circuito.

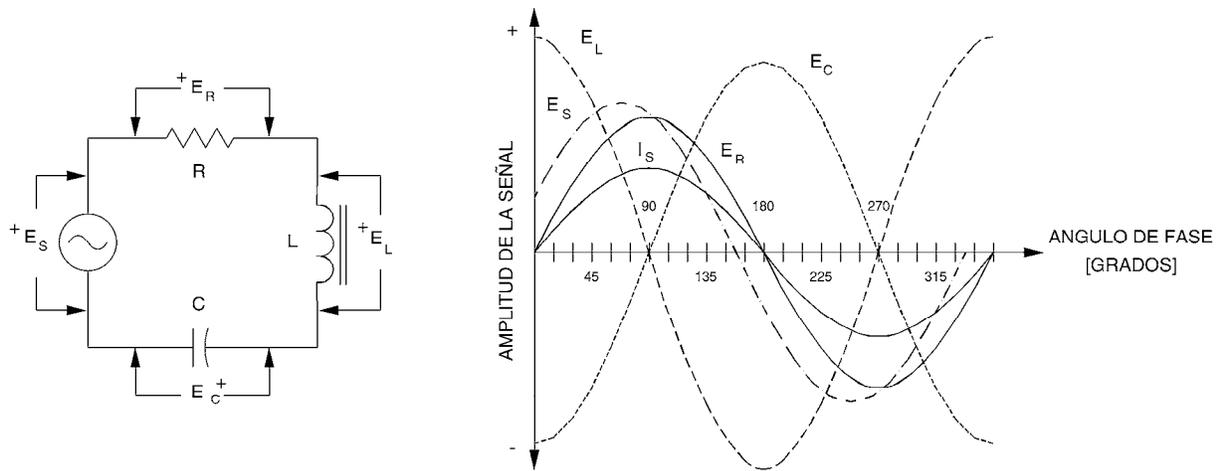


Figura 5-1. Formas de ondas de tensión y corriente de un circuito serie RLC.

Afortunadamente, para simplificar el análisis del circuito, las ondas seno de tensión y corriente con igual frecuencia se pueden representar como **fasores**. Además, los fasores de tensión y corriente, así como la reactancia, la **impedancia** y otros parámetros eléctricos del circuito, se pueden representar mediante un simple medio gráfico llamado **vector**. La figura 5-2 es un diagrama vectorial (plano X-Y) que representa las ondas seno de tensión y corriente que se muestran en la figura 5-1. El empleo de los diagramas vectoriales simplifica mucho el estudio de los circuitos ca, porque la forma compleja de cada forma de onda se reduce a una simple línea recta. El diagrama vectorial permite determinar la resultante de diferentes tensiones o corrientes, utilizando simples técnicas gráficas de suma de vectores. Mediante el análisis vectorial, también se pueden determinar el factor de potencia, la impedancia y la distribución entre potencias activas, reactiva y aparente de los circuitos ca.

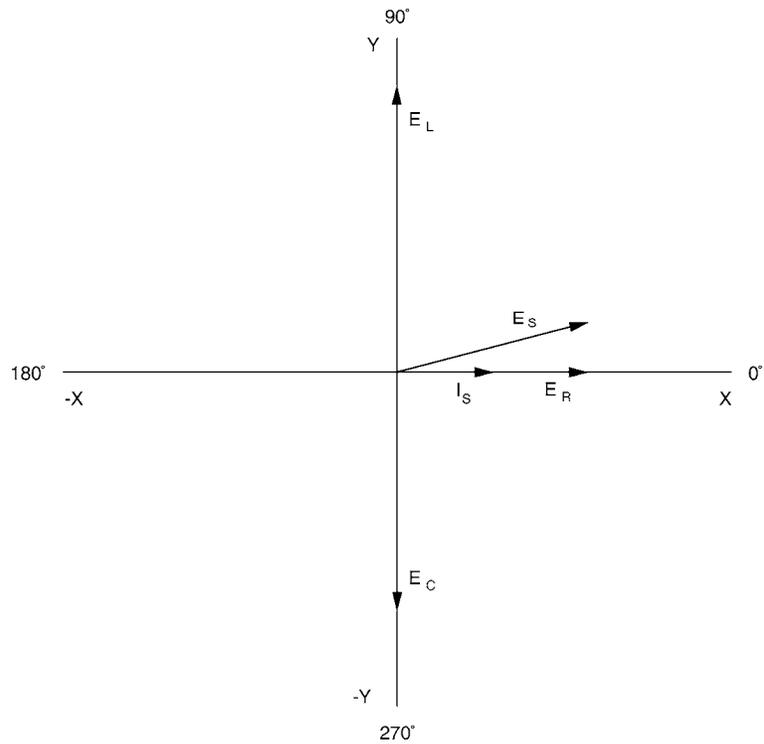


Figura 5-2. Diagrama vectorial del circuito serie RLC de la figura 5-1.

El análisis vectorial se aplica fácilmente a los circuitos serie y paralelo. En los primeros, la corriente es la misma para todos los elementos del circuito. De esta manera, la corriente es normalmente el parámetro de referencia y se dibuja en la dirección +X. El vector que representa el fasor tensión con desfase inductivo, se dibuja en la dirección +Y porque en un inductor, la tensión adelanta la corriente. El vector tensión capacitiva se dibuja en la dirección -Y. En los circuitos en paralelo existe una tensión común para todos los elementos del circuito, de esta manera, la tensión es normalmente el parámetro de referencia. El vector que representa al fasor corriente capacitiva se dibuja en la dirección +Y, porque en un condensador la corriente adelanta la tensión. El vector que representa al fasor corriente inductiva se dibuja en la dirección -Y.

La oposición total al flujo de corriente en los circuitos ca que contienen resistencia y reactancia, se conoce con el nombre de impedancia. Su determinación puede realizarse mediante el análisis vectorial. De hecho, la impedancia cuenta con dos componentes ortogonales: una componente resistiva y una reactiva (en forma matemática, $Z = +jX$). La impedancia es un fasor, de este modo, se la puede representar en un diagrama vectorial, como lo muestra la figura 5-3. Utilizando la geometría, la magnitud de Z es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los lados del triángulo, la $\tan \varphi$ igual a X/R y el $\cos \varphi$ igual a R/Z .

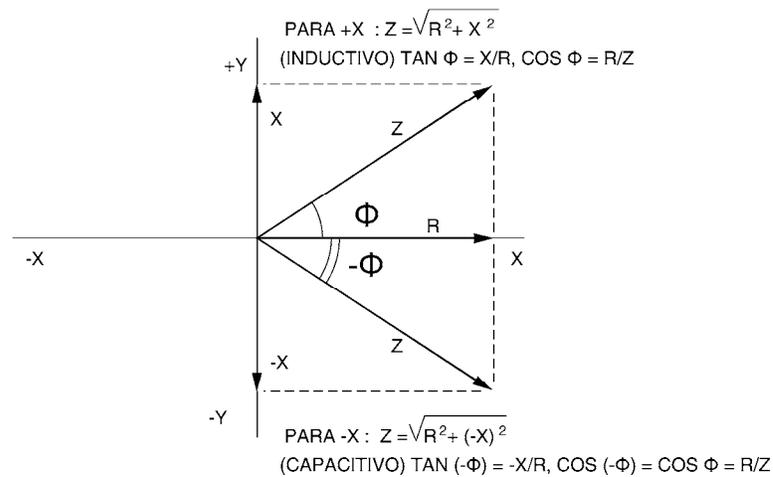


Figura 5-3. Diagrama vectorial de la impedancia de un circuito reactivo.

Si la diferencia entre circuitos serie y paralelo no se considera correctamente, los cálculos de impedancia pueden prestarse a confusión y terminar por obtener resultados incorrectos. Los puntos importantes a retener para la ejecución de los cálculos son:

- $Z = R \pm jX$ es una expresión matemática en la cual $+jX$ representa la reactancia inductiva y $-jX$ representa la reactancia capacitiva.
- La magnitud de Z se calcula sin considerar el signo de j .
- El signo de j se debe considerar cuando se calcula el ángulo de Z .
- En los circuitos en paralelo, el signo de j se invierte porque $1/j = -j$ y $1/-j = j$.

Potencia en circuitos ca

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar las potencias activa, reactiva y aparente suministradas a una **carga inductiva**, utilizando las tensiones y corrientes medidas en un circuito. Usted también aprenderá cómo mejorar el factor de potencia de una carga inductiva, añadiendo capacitancia al circuito.

PRINCIPIOS Como se ha señalado, la potencia aparente que se suministra a una carga es igual al producto entre la tensión y la corriente de la carga. En los circuitos ca que contienen reactancia, la potencia aparente es siempre superior a la potencia activa, dado que la fuente debe suministrar una potencia reactiva. Esta última puede ser inductiva o capacitiva, pero la mayoría de los dispositivos electromecánicos son inductivos, a causa de la inductancia de las bobinas de los motores y transformadores.

La fórmula para determinar la potencia reactiva en un circuito ca es:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

donde Q es la potencia reactiva en var.

S es la potencia aparente en VA.

P es la potencia activa en W.

Cuando se conoce el ángulo φ entre la tensión E y la corriente I , se puede determinar la potencia activa a partir de la siguiente fórmula:

$$P = EI \cos \varphi = S \cos \varphi$$

En los circuitos ca, donde la tensión y la corriente son ondas seno, el término $\cos \varphi$ se llama factor de potencia y es la relación entre la potencia activa y la aparente, o sea P/S . El verdadero valor del factor de potencia depende del desfase entre la corriente y la tensión. Si E e I están en fase (circuito puramente resistivo), significa que el desfase φ es 0° , el $\cos \varphi = 1$ y la potencia activa igual al producto EI (potencia aparente). Cuando el ángulo de fase entre la corriente y la tensión es 90° (circuito puramente reactivo), el $\cos \varphi = 0$, en consecuencia, la potencia activa es cero. Cuando un circuito contiene resistencia y reactancia, el desfase φ se ubica entre 0° y $\pm 90^\circ$, según si la reactancia del circuito es inductiva o capacitiva. Por su parte, el $\cos \varphi$ tendrá un valor entre 0 y 1, y la potencia resultará igual a una fracción de la potencia aparente.

El análisis de la distribución de potencia en los circuitos ca se simplifica si se utiliza la técnica del triángulo de potencias. La figura 5-4 muestra cómo se relacionan P , Q y S . El ángulo ϕ corresponde al ángulo entre el eje de la potencia activa (eje X) y la hipotenusa del triángulo del desfase entre la fuente de tensión E_s y la fuente de corriente I_s . La potencia reactiva inductiva se representa en la dirección +Y, mientras que la potencia reactiva capacitiva se representa en la dirección -Y.

Para la potencia reactiva inductiva y capacitiva, algunos textos utilizan una convención opuesta a la que se emplea aquí. Representan la potencia inductiva como una cantidad vectorial negativa, porque la corriente inductiva atrasa la tensión a través del inductor. A la potencia capacitiva la representan como una cantidad vectorial positiva, dado que la corriente capacitiva adelanta la tensión.

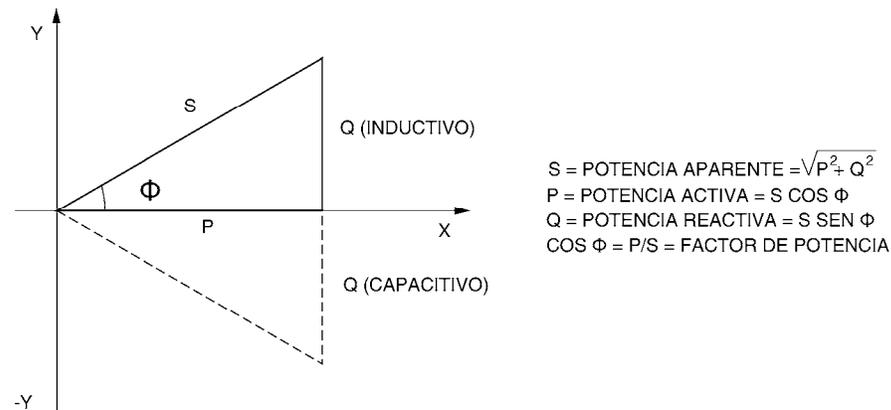


Figura 5-4. Triángulo de potencias.

Para crear el campo magnético necesario, los motores ca consumen potencia reactiva inductiva de la fuente de alimentación ca. Además, los motores absorben potencia activa, cuya mayor parte la convierten en potencia mecánica y el resto la disipan en forma de calor. La potencia reactiva va y viene entre la carga y la fuente de alimentación ca y el único trabajo útil es crear el campo magnético para el motor. Si se conecta un condensador en paralelo con el motor y se ajusta el valor de dicho condensador para que la potencia reactiva capacitiva sea exactamente igual a la potencia reactiva inductiva, la potencia reactiva negativa del condensador anulará la potencia reactiva positiva del motor. De hecho, la potencia reactiva va y viene entre el motor y el condensador en lugar de ir y venir entre el motor y la fuente de alimentación ca. Esta última ya no tiene que suministrar potencia reactiva, lo que representa una gran reducción de la corriente que el motor exige a la fuente de alimentación. El hecho de añadir capacitancia de esta manera para disminuir la corriente (la exigida a la fuente de alimentación), se llama **corrección del factor de potencia**. Esto permite mejorar la regulación de las líneas de transmisión y reducir el diámetro de sus conductores. El factor de potencia de un motor ca es bastante bajo, normalmente inferior a 0,7. Adoptando una buena combinación condensador / motor, el factor de potencia se puede mejorar substancialmente. Con una elección apropiada de la capacitancia, el factor de potencia puede acercarse a la unidad.

EQUIPO REQUERIDO

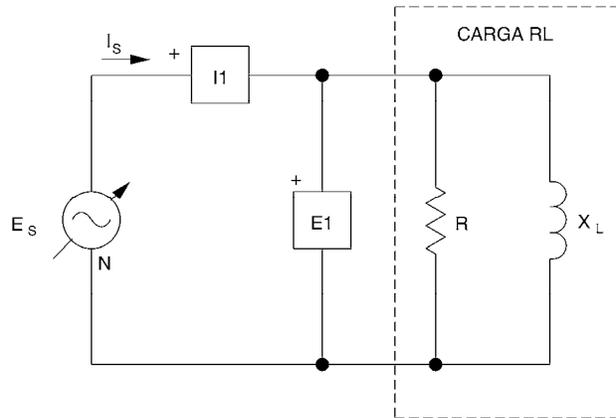
A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva, la Carga inductiva y la Carga capacitiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Coloque el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que se muestra en la figura 5-5. La sección RL del circuito simula la carga de un motor ca monofásico. Conecte las tres secciones de los módulos Carga resistiva y Carga inductiva en paralelo y ajuste R y X_L para obtener los valores indicados. Conecte las entradas I1 y E1 como se muestra para medir la corriente y la tensión del circuito.



Red local de potencia ca		E_S (V)	R (Ω)	X_L (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	120	100	100
220	50	220	367	367
220	60	220	367	367
240	50	240	400	400

Figura 5-5. Carga RL para simular un motor ca.

4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

5. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES15-1.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

6. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión para obtener el valor E_S que muestra la figura 5-5.

7. Mida la tensión y la corriente de la carga y la potencia activa (P) que consume el circuito. Anote los resultados y luego apague la Fuente de alimentación.

$$E = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$P = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

8. Utilice los valores medidos de E e I para determinar la potencia aparente (S) suministrada a la carga.

$$S = E \times I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$$

9. Determine el factor de potencia $\cos \varphi$ y la potencia reactiva Q .

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$$

10. Para la carga que simula el motor, ¿encuentra usted que los valores calculados en la etapa 9 muestran un bajo factor de potencia y un valor importante de potencia reactiva?

Sí No

11. Modifique el circuito RL, agregando reactancia capacitiva en paralelo con la carga, como lo muestra la figura 5-6. Asegúrese de que todas las secciones del módulo Carga capacitiva están en paralelo y que todos los interruptores de dicho módulo se encuentran abiertos.

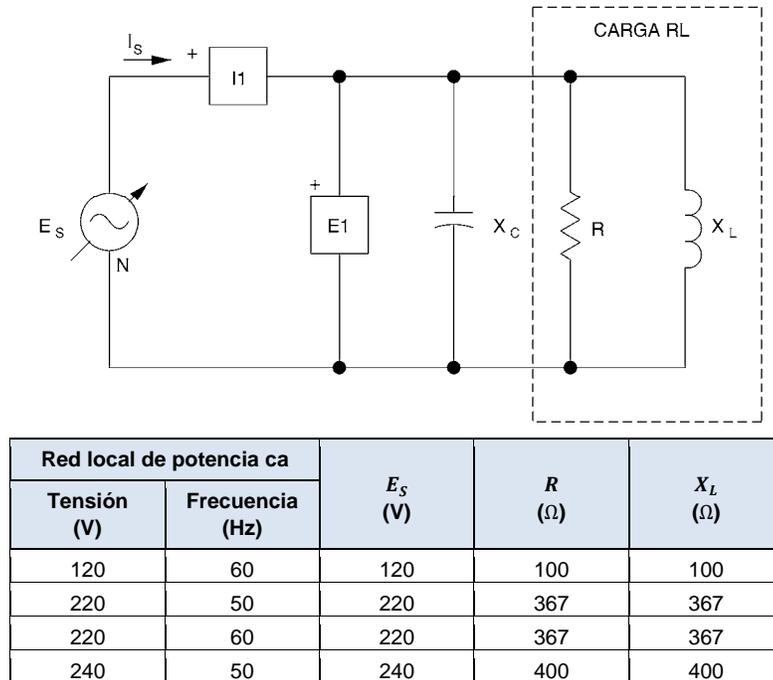


Figura 5-6. Corrección del factor de potencia adicionando reactancia capacitiva.

12. Encienda la Fuente de alimentación y adicione capacitancia al circuito cerrando el primer interruptor de cada sección, uno tras otro. Luego haga lo mismo con los interruptores centrales y finalmente con los terceros de cada sección, hasta cerrarlos a todos. Para cada nuevo valor de capacitancia, haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar la medición de la corriente de línea en la *Tabla de Datos*.
13. Después de ingresar todos los datos, muestre la ventana *Gráfico*, seleccione I1 (corriente I) como parámetro para el eje Y y asegúrese de que el formato Gráfico continuo y la escala lineal están seleccionados. Observe la curva de variación de la corriente de la fuente. Al agregar más capacitancia al circuito, ¿encuentra usted que dicha corriente aumenta, disminuye o permanece constante?

14. Cuando se agrega más capacitancia, ¿hay un punto en el que la corriente de fuente deja de disminuir y comienza a aumentar nuevamente?

Sí No

15. Ajuste cuidadosamente los interruptores del módulo Carga capacitiva para obtener el mínimo valor de corriente de fuente. Al mismo tiempo, reajuste el control de tensión para mantener el valor exacto de E_S , que se muestra en la tabla. Utilice los ajustes del módulo para determinar el valor de reactancia capacitiva que produce la mínima corriente de fuente.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \text{_____ } \Omega$$



Usted ha notado que la corriente de fuente es mínima cuando la reactancia capacitiva es igual a la reactancia inductiva. Luego, la potencia reactiva negativa anula la potencia reactiva positiva y la corriente de línea se reduce.

16. Con X_C ajustada para la mínima corriente de fuente, anote los valores de E , de I y de la potencia activa P .

$$E = \text{_____ V}$$

$$I = \text{_____ A}$$

$$P = \text{_____ W}$$

17. Determine la potencia aparente S .

$$S = E \times I = \text{_____ VA}$$

18. Calcule el factor de potencia $\cos \varphi$ y la potencia reactiva Q .

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \text{_____}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \text{_____ var}$$

19. La potencia reactiva (Q) que el circuito consume, ¿disminuyó entre las etapas 9 y 18?

Sí No

20. La corriente de línea, ¿se redujo de manera significativa con el agregado de capacitancia?

Sí No

21. La potencia activa P consumida por la carga RL, ¿es aproximadamente la misma con capacitancia o sin ella?

Sí No

22. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted determinó las potencias activa, reactiva y aparente para una carga inductiva y pudo observar el efecto que produce el agregado de una capacitancia en paralelo con la carga. Pudo observar cómo se puede mejorar el factor de potencia con la adición de una capacitancia y fue capaz de demostrar que es posible reducir la corriente de línea sin afectar la cantidad de potencia activa que consume la carga.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un electroimán consume 3 kW de potencia activa y 4 Kvar de potencia reactiva inductiva. ¿Cuál es la potencia aparente?
 - a. 500 VA
 - b. 5 kVA
 - c. 50 kVA
 - d. 7 kVA
2. ¿Cuál es el factor de potencia $\cos \varphi$ para el electroimán de la pregunta 1?
 - a. 0,75
 - b. 1,33
 - c. 0,60
 - d. 1,00
3. Si un condensador que consume 4 kvar de potencia reactiva se coloca en paralelo con el electroimán de la pregunta 1, ¿cómo afecta esto a la potencia aparente S y al factor de potencia $\cos \varphi$?
 - a. La potencia aparente es igual a la potencia activa y el $\cos \varphi$ igual a 1.
 - b. La potencia aparente se duplica y el $\cos \varphi$ permanece igual.
 - c. La potencia aparente permanece igual y el $\cos \varphi$ disminuye.
 - d. La potencia aparente y el $\cos \varphi$ aumentan.
4. ¿Qué fórmula se utiliza para determinar la potencia reactiva Q ?
 - a. $Q = S - P$
 - b. $Q = S \cos \varphi$
 - c. $Q = EI \cos \varphi$
 - d. $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$

5. Un condensador que consume 8 kvar se coloca en paralelo con un electroimán que consume 3 kW de potencia activa y 4 kvar de potencia reactiva. ¿Qué efecto tiene esto sobre la potencia reactiva Q , suministrada por la fuente de alimentación, y sobre el factor de potencia $\cos \varphi$?
- Q pasa de +4 a -4 kvar y $\cos \varphi$ se corrige a la unidad.
 - Q pasa de +4 a -8 kvar y $\cos \varphi$ permanece igual.
 - Q pasa de +4 a -4 kvar y $\cos \varphi$ permanece igual.
 - Q pasa de +4 a -8 kvar y $\cos \varphi$ se corrige a la unidad.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Vectores y fasores en circuitos ca serie

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de emplear los fasores para resolver los circuitos ca serie y para determinar las tensiones del circuito. Los conceptos básicos sobre vectores, combinados con las mediciones de tensiones y corrientes del circuito, se utilizarán para la verificación de su trabajo.

PRINCIPIOS En los circuitos ca, las ondas seno de corriente fluyen atravesando los elementos del circuito y las ondas seno de tensión aparecen a través de dichos elementos. Cada una de las ondas seno de corriente y tensión tienen su propia amplitud, pero todas tienen igual frecuencia. Como resultado, existe una relación de fase fija entre las diferentes ondas seno de tensión y corriente. Cada una de esas ondas seno de los circuitos ca puede definirse por una amplitud y un ángulo de fase. Esto permite usar un fasor (en coordenadas polares) para representar cada una de las ondas seno de tensión y corriente. El módulo y el ángulo de fase del fasor corresponden a la amplitud y al ángulo de fase de la onda seno, respectivamente.

En los circuitos ca, los fasores representan las ondas seno de tensión y corriente (fasores de tensión y corriente) y se los puede simbolizar empleando vectores que se dibujan en el plano X-Y. Esta representación gráfica se llama diagrama vectorial y permite reducir a una simple línea cada una de las ondas seno de un circuito. Esto simplifica sobremanera el análisis de los circuitos ca, como quedará demostrado en el resto de esta PRINCIPIOS.

La figura 5-7 muestra dos ondas seno de tensión y el diagrama vectorial correspondiente. La onda seno E_2 adelanta la onda seno E_1 en 90° . En este ejemplo, la onda seno E_1 se toma como referencia. En consecuencia, dicha onda se define por un fasor de tensión de magnitud E_1 , igual a la amplitud de la onda seno E_1 y un ángulo de fase de 0° ($E_1 \angle 0^\circ$). Como resultado, la onda seno E_2 se definirá por un fasor de tensión de magnitud E_2 , igual a la amplitud de la onda seno E_2 y un ángulo de fase de $+90^\circ$ ($E_2 \angle +90^\circ$), porque la onda seno E_2 adelanta en 90° la onda seno E_1 . El vector correspondiente al fasor de tensión E_1 se dibuja en el sentido positivo del eje X, dado que se utiliza como referencia y su longitud corresponde a la magnitud E_1 . El vector correspondiente al fasor de tensión E_2 , se dibuja en la dirección +Y a fin de formar un ángulo recto con el vector E_1 y su longitud corresponde a la magnitud E_2 . El diagrama vectorial muestra claramente que E_2 adelanta E_1 en 90° y que E_1 y E_2 tienen la misma amplitud.



Los ángulos que se miden en sentido contrario al de las agujas del reloj se consideran positivos y de ese modo indican un adelanto de fase. A la inversa, los ángulos que se miden en sentido horario, a partir del fasor de referencia, se consideran negativos y de ese modo indican un atraso de fase.

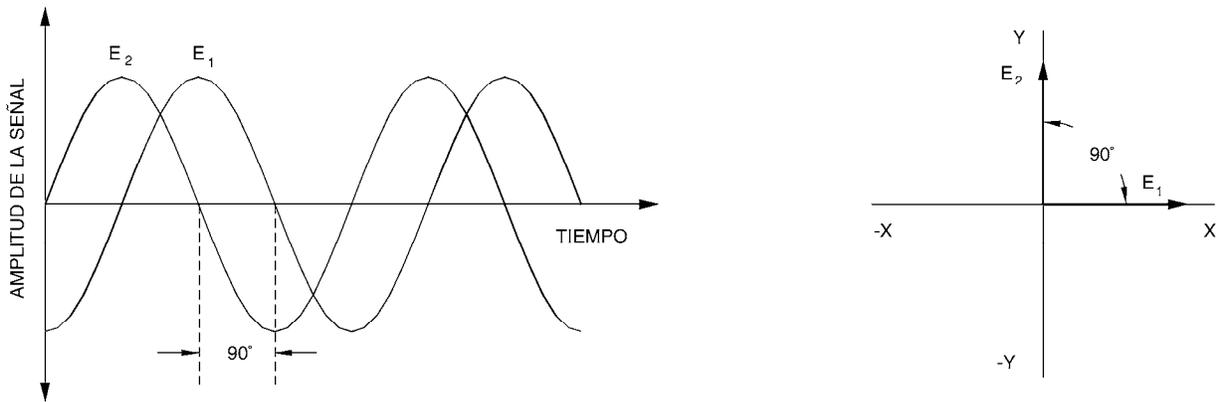


Figura 5-7. Representación vectorial de dos ondas seno.

Empleando la suma de vectores, la figura 5-8 muestra cómo sumar un par de fasores que representan dos ondas seno de tensión (E_A y E_B). Primero se ubica la cola del vector E_B en el extremo del vector E_A . Esto debe realizarse sin modificar ni la dirección ni la amplitud de ninguno de los vectores. Se traza un tercer vector a partir de la cola del vector E_A a la punta de flecha del vector E_B . Este tercer vector es el vector suma de los dos originales y su amplitud y dirección (ángulo de fase ϕ), se pueden medir directamente sobre el dibujo.

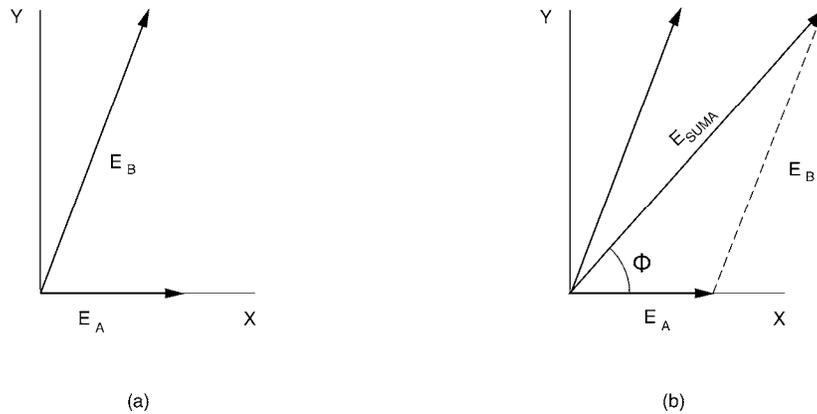


Figura 5-8. Vector suma de dos fasores.

Con el método indicado anteriormente, se puede adicionar un número cualquiera de vectores. Cada vector se coloca, a su turno, en la punta de flecha del vector precedente. Para hallar la suma, se traza un vector final a partir de la cola del primer vector a la punta de flecha del último. La figura 5-9 presenta el diagrama vectorial del circuito de la figura 5-1 y muestra el vector suma de todos los fasores de tensión. La amplitud y el ángulo de fase de la tensión de la fuente E_S , se pueden medir directamente a partir del diagrama. Dado que la corriente I_S es común a todos los elementos en serie del circuito, normalmente se la utiliza como fasor de referencia.

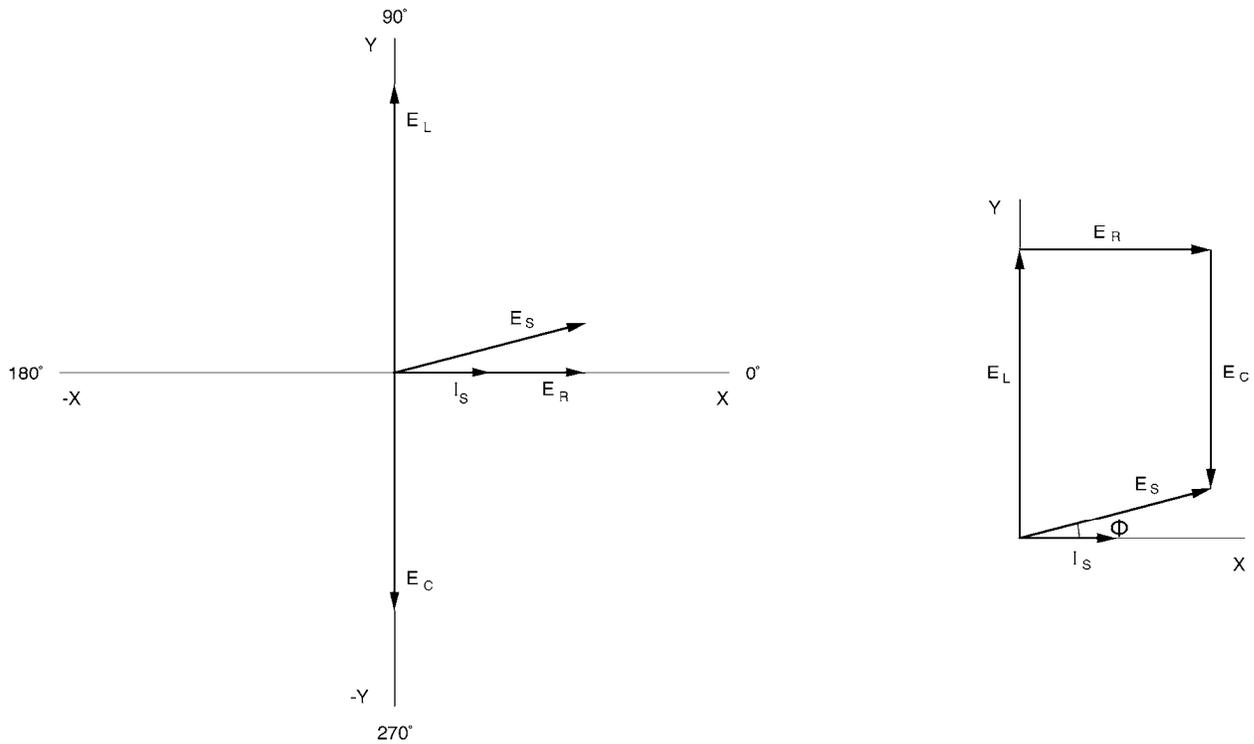


Figura 5-9. Suma de vectores de varios fasores de tensión.

Cuando se aplica una tensión ca a un circuito serie RL o RC, la corriente provoca una caída de tensión a través de los elementos resistivo y reactivo. La caída de tensión a través del elemento resistivo está en fase con la corriente que la provoca, mientras que la caída de tensión a través de la componente reactiva adelanta (reactancia inductiva) o atrasa (reactancia capacitiva) la corriente en 90° . La caída de tensión resistiva es proporcional a la corriente de línea y a la resistencia ($E_R = IR$), mientras que la caída de tensión reactiva es proporcional a la corriente y al valor de X_L o X_C , ($E_L = IX_L$, $E_C = IX_C$).

Debido a que esas caídas de tensión no están en fase, su suma aritmética será mayor que la tensión de la fuente. Sin embargo, cuando se adicionan en forma vectorial, el resultado de la suma resulta igual a la tensión de la fuente. El desfase φ entre la fuente de tensión E_S y la fuente de corriente I_S se puede determinar mediante la fórmula $\varphi = \arctan (E_L - E_C)/E_R$. Note que la caída de tensión capacitiva se resta de la caída de tensión inductiva, porque existe una diferencia de fase entre ellos de 180° . En un circuito ca serie, que sólo tiene reactancia capacitiva, la tensión E_C atrasa la corriente y de esta manera el desfase φ resulta negativo.

EQUIPO REQUERIDO

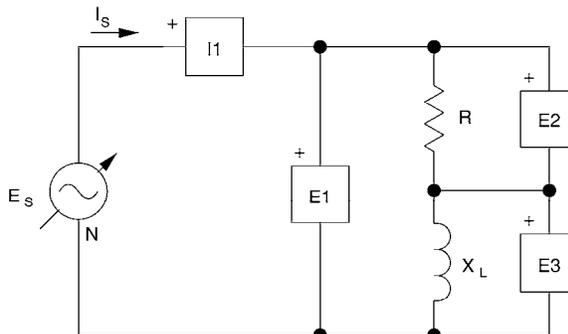
A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva, la Carga inductiva y la Carga capacitiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Coloque el selector del voltímetro en la posición 4-N y enchufe la Fuente de alimentación a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que se muestra en la figura 5-10. Conecte todas las secciones de los módulos de carga en paralelo y ajuste R y X_L para obtener los valores indicados. Conecte las entradas I1, E1, E2 y E3, como se muestra, para medir las tensiones y la corriente del circuito.



Red local de potencia ca		I_S (A)	R (Ω)	X_L (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	1,0	80	60
220	50	0,5	293	220
220	60	0,5	293	220
240	50	0,5	320	240

Figura 5-10. Fasores de tensión de un circuito ca serie.

4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

5. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES15-2.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

6. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste lentamente el control principal de tensión para obtener el valor exacto de corriente I_S , que muestra la figura 5-10.
7. Mida las tensiones del circuito y anote los resultados más abajo.

$$E_S = \text{_____ V}$$

$$E_R = \text{_____ V}$$

$$E_L = \text{_____ V}$$

8. Determine la suma aritmética de E_R y E_L y compare el resultado con el valor medido de E_S .

$$E_R + E_L = \text{_____ V}$$

9. ¿Encuentra usted que la suma de las caídas de tensión es igual al valor de tensión medido de la fuente?

Sí No

10. Calcule la magnitud de la fuente de tensión y el desfase φ entre las fuentes de tensión E_S y de corriente I_S .

$$E_S = \sqrt{E_R^2 + E_L^2} = \text{_____ V}$$

$$\varphi = \arctan \frac{E_L}{E_R} = \text{_____}^\circ$$

11. Haga clic sobre el botón *Analizador de Fasores* y visualice los tres fasores que representan las tensiones del circuito (E_S , E_R y E_L sobre los canales E1, E2, y E3, respectivamente), así como el fasor de referencia I_S (canal I1). ¿Encuentra usted que el diagrama fasorial muestra que E_S es el vector suma de E_R y E_L ?



El fasor de la tensión E_L no está perfectamente en cuadratura con el fasor E_R . Esto se debe a que la resistencia del inductor no es despreciable si se le compara con la reactancia del inductor.

Sí No

12. ¿Encuentra usted que los resultados de la etapa 10 son aproximadamente iguales a los valores de magnitud y fase que muestra la sección Datos de los fasores de la aplicación *Analizador de Fasores*?



Debido a que el inductor contiene un componente resistivo, los valores medidos difieren significativamente de aquellos calculados.

Sí No

13. Apague la Fuente de alimentación y reemplace, en el circuito de la figura 5-10, la reactancia inductiva X_L por una reactancia capacitiva. Ajuste X_C con el valor X_L utilizado previamente y *ajuste la resistencia con igual valor que X_C* . Encienda la Fuente de alimentación y reajuste la tensión de la fuente para obtener el mismo valor de corriente I_S empleado en la etapa 6.

14. Utilice nuevamente la aplicación *Analizador de Fasores* para examinar otra vez los fasores de tensión (E_S , E_R , y E_C en los canales E1, E2, y E3, respectivamente). Calcule la magnitud de la fuente de tensión y el desfase φ entre la fuente de tensión E_S y la corriente de la fuente, luego compare los resultados con los valores proporcionados en la sección Datos del fasor. Note que E_C atrasa la corriente.

$$E_S = \sqrt{E_R^2 + (-E_C)^2} = \text{_____ V}$$

$$\varphi = \arctan \frac{-E_C}{E_R} = \text{_____}^\circ$$

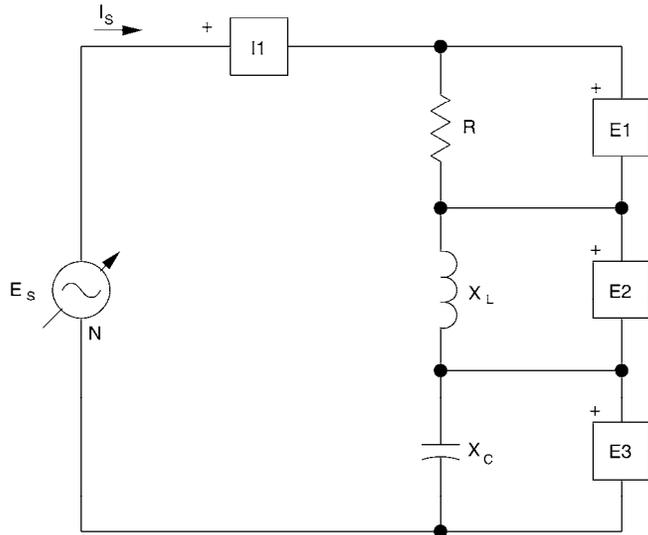
15. ¿Encuentra usted que sus resultados son aproximadamente los mismos que aquéllos mostrados en el diagrama fasorial?

Sí No

16. Sus cálculos y el diagrama fasorial, ¿muestran que ahora el ángulo de fase está en atraso?

Sí No

17. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito serie RLC de la figura 5-11. Conecte las entradas I1, E1, E2 y E3 como se muestra para medir I_S , E_R , E_L y E_C , respectivamente. Ajuste R , X_L y X_C con los valores que muestra la figura. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste cuidadosamente la tensión E_S de dicha fuente para obtener el valor exacto requerido para I_S .



Red local de potencia ca		I_S (A)	R (Ω)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	1,0	80	80	60
220	50	0,5	293	293	220
220	60	0,5	293	293	220
240	50	0,5	320	320	240

Figura 5-11. Fasores de tensión de un circuito serie RLC.

18. Utilice nuevamente la aplicación *Analizador de Fasores* para examinar otra vez los fasores de tensión (E_S , E_R , y E_C en los canales E1, E2, y E3, respectivamente). Determine la magnitud del fasor E_S .

$$E_S = \sqrt{E_R^2 + (E_L - E_C)^2} = \text{_____ V}$$

19. Apague la Fuente de alimentación y conecte de nuevo las entradas E1, E2, y E3 como lo muestra la figura 5-12 para medir E_S , E_R , y $E_L - E_C$. Encienda la Fuente de alimentación y visualice otra vez los fasores de tensión.

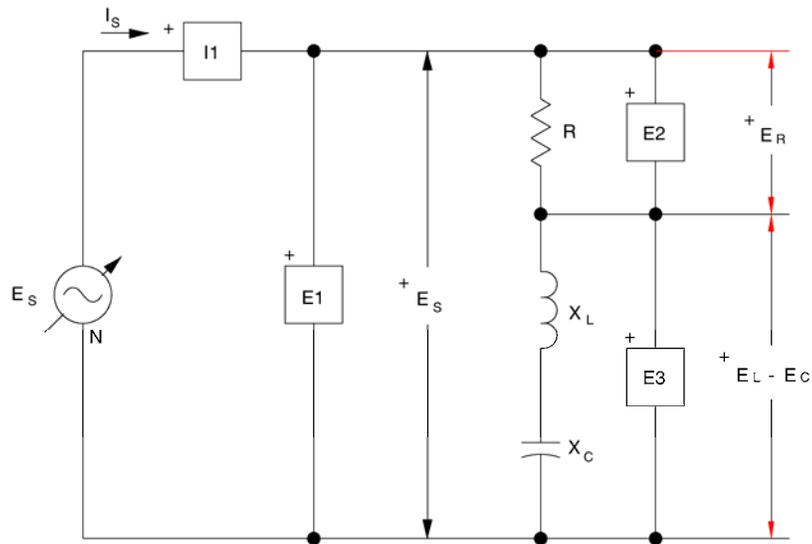


Figura 5-12. Medición de la tensión de la fuente de un circuito serie RLC.

20. ¿Encuentra usted que el diagrama fasorial que se visualiza confirma que E_S es el vector suma de las tensiones del circuito y que es aproximadamente igual al valor calculado?

Sí No

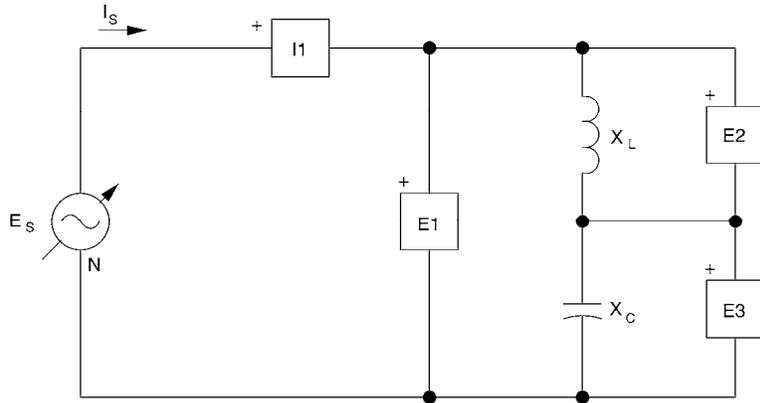
21. Calcule el desfase φ entre las fuentes de tensión E_S y de corriente I_S . Recuerde que las tensiones inductiva y capacitiva están desfasados 180° , una respecto de la otra.

$$\varphi = \arctan \frac{E_L - E_C}{E_R} = \text{_____}^\circ$$

22. ¿Encuentra usted que el desfase calculado es aproximadamente igual al valor que indica la sección Datos de los fasores de la aplicación *Analizador de Fasores*?

Sí No

23. Antes de montar el circuito de la figura 5-13, gire la perilla de control de tensión de salida completamente a la izquierda y apague la Fuente de alimentación. Ajuste el valor de X_L con el mismo valor de X_C , utilizado en la etapa 17. Conecte las entradas I1, E1, E2 y E3 como se muestra. El circuito resultante es el caso especial de un *circuito resonante serie*. En éste, ambas reactancias son iguales pero de signos opuestos.



Red local de potencia ca		I_S (A)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	1,0	60	60
220	50	0,5	220	220
220	60	0,5	220	220
240	50	0,5	240	240

Figura 5-13. Fasores de tensión de un circuito resonante serie.

24. Encienda la Fuente de alimentación y, de manera muy cuidadosa, ajuste la perilla del control de tensión para obtener el valor exacto de la corriente I_S , utilizado previamente. Calcule el valor de la tensión E_S y compare su resultado con el fasor de tensión que muestra la aplicación *Analizador de Fasores*.

$$E_S = E_L - E_C = \text{_____ V}$$

25. ¿Encuentra usted que los datos de la ventana *Analizador de Fasores* confirman que la tensión E_S de la fuente es aproximadamente igual a cero?



El alambre del inductor tiene cierta resistencia, en consecuencia, existirá una pequeña tensión en fase. Por lo tanto, la tensión E_S tendrá un valor cercano a cero voltio.

Sí No

26. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted empleó los fasores y las técnicas del análisis vectorial para determinar las diferentes tensiones de un circuito ca serie. Utilizó la corriente de la fuente como fasor de referencia, dado que dicha corriente es común a todos los elementos en serie del circuito. Observó que en los circuitos resonante serie, las reactancias iguales, pero con signos opuestos, reducen la oposición a la corriente de la fuente a un valor muy bajo. Para confirmar sus cálculos, utilizó la visualización de los fasores (diagramas vectoriales) de las diferentes tensiones del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. En un circuito serie RL, R y X_L son iguales a 100 ohmios. ¿Cuál es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente?
 - a. 37°
 - b. 53°
 - c. 45°
 - d. 90°

2. La característica principal de un circuito resonante serie es que
 - a. la tensión de la fuente es un valor elevado.
 - b. la corriente de la fuente es un valor bajo.
 - c. la tensión de la fuente es casi igual a cero.
 - d. la corriente de la fuente es casi igual a cero.

3. En un circuito serie RL, el parámetro que se utiliza como referencia para dibujar un diagrama vectorial es
 - a. la tensión.
 - b. la corriente.
 - c. la reactancia.
 - d. la resistencia.

4. En un circuito serie RL, la magnitud de un vector suma de dos tensiones se puede determinar con la fórmula
 - a. $E_S = E_R + E_L$
 - b. $E_S = I_S R X_L$
 - c. $E_S = \sqrt{2 I_S E_R}$
 - d. $E_S = \sqrt{E_R^2 + E_L^2}$

5. En un circuito serie RL, el desfase entre E_S e I_S se puede determinar
 - a. a partir de la relación E_S/E_R .
 - b. a partir de la relación E_L/E_R .
 - c. a partir de la relación P/Q .
 - d. Ninguna de las anteriores.

Vectores y fasores en circuitos CA paralelo

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de emplear los fasores para resolver los circuitos ca paralelo y para determinar las corrientes en las ramas del circuito. Los conceptos básicos sobre vectores, combinados con las mediciones de tensiones y corrientes del circuito, se utilizarán para la verificación de su trabajo.

PRINCIPIOS

Cuando se aplica una tensión a un circuito paralelo, la tensión de la fuente provoca una corriente que fluye a través de los elementos resistivos y reactivos. La corriente resistiva está en fase con la tensión de la fuente, mientras que la corriente reactiva adelanta (reactancia capacitiva) o atrasa (reactancia inductiva) dicha tensión en 90° .

Como la tensión presente a través de todos los elementos en paralelo del circuito es el mismo, dicha tensión se utiliza como fasor de referencia. En los diagramas vectoriales, el vector que representa el fasor de corriente capacitiva se dibuja en la dirección +Y, porque la corriente adelanta la tensión a través del condensador. El vector que representa el fasor de corriente inductiva se dibuja en la dirección -Y.

Dado que en un circuito paralelo las corrientes de rama se encuentran fuera de fase entre ellas, su suma aritmética resulta superior a la corriente real que suministra la fuente. Sin embargo, cuando las corrientes de rama se representan como fasores, su vector suma resulta igual a la corriente de la fuente. El desfase φ entre las fuentes de tensión E_S y de corriente I_S se puede determinar con la fórmula $\varphi = \arctan (I_C - I_L)/I_R$. Advierta que la corriente inductiva se resta a partir de la corriente capacitiva, debido a la diferencia de fase de 180° entre las mismas. En un circuito ca paralelo, que sólo tiene reactancia inductiva, la corriente I_L atrasa la tensión y el ángulo de fase φ será negativo. Note que este ejercicio de laboratorio es muy similar al precedente, pero los circuitos paralelos se resuelven mediante la adición vectorial de los fasores de corriente, en lugar de los fasores de tensión.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

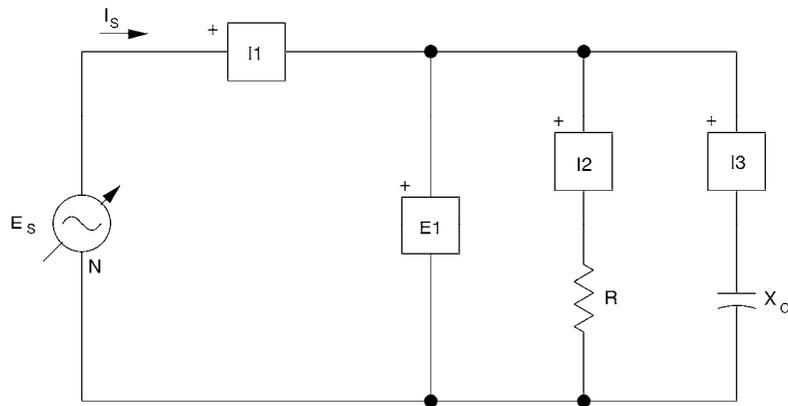
PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva, la Carga inductiva y la Carga capacitiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Coloque el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que dicha fuente se encuentra enchufada a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que se muestra en la figura 5-14. Conecte todas las secciones de los módulos de carga en paralelo y ajuste R y X_C para obtener los valores indicados en la figura. Para medir la tensión y las corrientes del circuito conecte las entradas E1, I1, I2 y I3, como se muestra.



Red local de potencia ca		E_s (V)	R (Ω)	X_C (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	120	60	60
220	50	220	220	220
220	60	220	220	220
240	50	240	240	240

Figura 5-14. Fasores de corriente de un circuito ca paralelo.

4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

5. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES15-3.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

6. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste lentamente el control principal de tensión para obtener el valor exacto de E_S , que muestra la figura 5-14.

7. Mida las corrientes del circuito y anote los resultados más abajo.

$$I_S \text{ (corriente 1)} = \text{_____ A}$$

$$I_R \text{ (corriente 2)} = \text{_____ A}$$

$$I_C \text{ (corriente 3)} = \text{_____ A}$$

8. Determine la suma aritmética de I_R e I_C y compare el resultado con el valor medido de I_S .

$$I_R + I_C = \text{_____ A}$$

9. ¿Encuentra usted que la suma de las corrientes de las ramas del circuito resulta igual al valor de la corriente medida de la fuente?

Sí No

10. Calcule la magnitud de la corriente de la fuente y el desfase φ entre la fuente de tensión E_S y la de corriente I_S .

$$I_S = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \text{_____ A}$$

$$\varphi = \arctan \frac{I_C}{I_R} = \text{_____ } ^\circ$$

11. Muestre la aplicación *Analizador de Fasores* y visualice los tres fasores que representan las corrientes del circuito, así como el fasor de referencia E_S . ¿Encuentra usted que el diagrama fasorial muestra que I_S es el vector suma de I_R e I_C ?

Sí No

12. ¿Encuentra usted que los resultados de la etapa 10 son aproximadamente iguales a los valores de magnitud y fase que muestra la sección Datos de los fasores de la aplicación *Analizador de Fasores*?

Sí No

13. Apague la Fuente de alimentación y reemplace, en el circuito de la figura 5-14, la reactancia capacitiva X_C por una reactancia inductiva. Ajuste X_L igual al doble del valor previamente utilizado por X_C y deje el valor de la resistencia tal como está. Asegúrese que las entradas E1, I1, I2 e I3 están conectadas y mida E_S , I_S , I_R e I_L , respectivamente. Encienda la Fuente de alimentación y reajuste la tensión de la fuente para obtener el mismo valor de E_S empleado en la etapa 6.

14. Utilice el *Analizador de fasores* para analizar nuevamente los fasores de la corriente. Calcule la magnitud de la corriente de la fuente y el desfase φ entre las fuentes de tensión E_S y de corriente I_S , luego compare los resultados con los valores dados en la sección Datos de fasores.

$$I_S = \sqrt{I_R^2 + (-I_L)^2} = \text{_____ A}$$

$$\varphi = \arctan \frac{-I_L}{I_R} = \text{_____}^\circ$$

15. ¿Encuentra usted que sus resultados son aproximadamente los mismos que aquéllos mostrados en el diagrama fasorial?

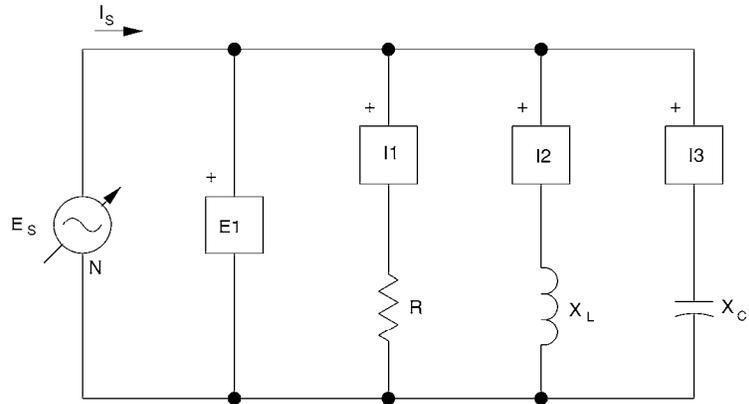
Sí No

16. Sus cálculos y el diagrama fasorial, ¿muestran que ahora el desfase está en atraso?

Sí No

17. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito paralelo RLC de la figura 5-15. Ajuste R , X_L y X_C con los valores que muestra la figura. Conecte las entradas E1, I1, I2, y I3 como se indica para medir E_S , I_R , I_L , y I_C , respectivamente. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste cuidadosamente la tensión de dicha fuente para obtener el valor exacto de E_S indicado en la figura 5-15.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden



Red local de potencia ca		E_S (V)	R (Ω)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	120	60	80	100
220	50	220	220	293	367
220	60	220	220	293	367
240	50	240	240	320	400

Figura 5-15. Fasores de corriente de un circuito paralelo RLC.

18. Utilice nuevamente la aplicación *Analizador de Fasores* para examinar otra vez los fasores de corriente. Determine la magnitud del fasor I_S .

$$I_S = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2} = \text{_____ A}$$

19. Apague la Fuente de alimentación. Conecte las entradas E1, L1, L2 y I3 como se muestra en la figura 5-16, para medir I_R , I_S , e $I_C - I_L$. Encienda la Fuente de alimentación y visualice otra vez los fasores de corriente.

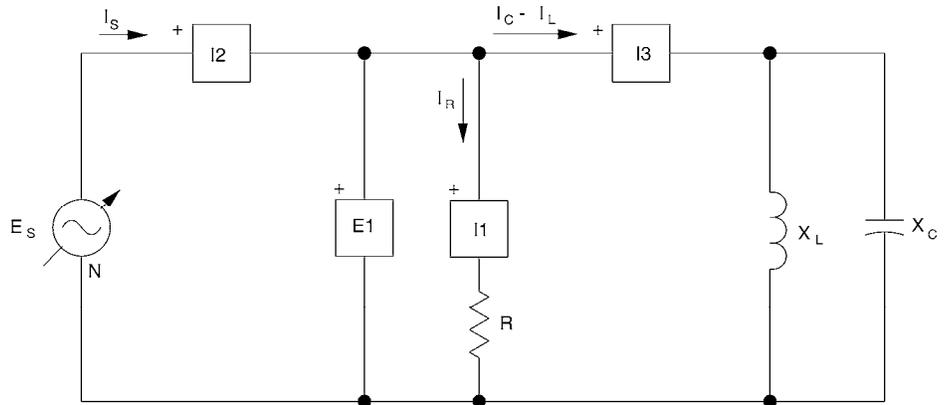


Figura 5-16. Medición de la corriente de la fuente de un circuito resonante paralelo.

20. ¿Encuentra usted que el diagrama fasorial que se visualiza, confirma que I_S es el vector suma de las corrientes del circuito y que es aproximadamente igual al valor calculado?

Sí No

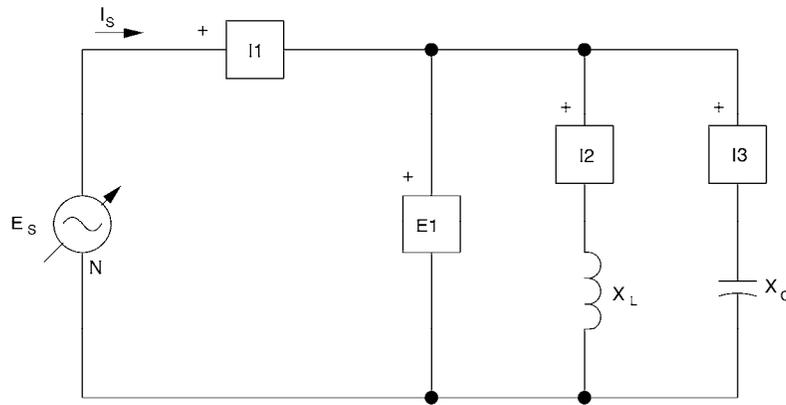
21. Calcule el desfase φ entre E_S e I_S . Recuerde que el ángulo de fase entre las corrientes inductiva y capacitiva es 180° .

$$\varphi = \arctan \frac{I_C - I_L}{I_R} = \text{_____}^\circ$$

22. ¿Encuentra usted que el desfase calculado es aproximadamente igual al valor que indica la sección Datos de los fasores de la aplicación *Analizador de Fasores*?

Sí No

23. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito que muestra la figura 5-17. Ajuste X_L y X_C con los valores indicados y conecte las entradas E1, I1, I2 e I3 como se muestra para medir E_S , I_S , I_L e I_C . El circuito resultante es el caso especial de un *circuito resonante paralelo*. En éste, ambas reactancias son iguales pero de signos opuestos.



Red local de potencia ca		E_S (V)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	120	60	60
220	50	220	220	220
220	60	220	220	220
240	50	240	240	240

Figura 5-17. Fasores de corriente de un circuito paralelo RLC.

24. Encienda la Fuente de alimentación y, de manera muy cuidadosa, ajuste el control de tensión para obtener el valor exacto de E_S proporcionado en la figura 5-17. Calcule el valor de I_S y compare su resultado con los datos de la aplicación *Analizador de Fasores*.

$$I_S = \sqrt{(I_C - I_L)^2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

25. ¿Encuentra usted que los Datos de los fasores de la aplicación *Analizador de Fasores* confirman que la corriente de la fuente es aproximadamente igual a cero?



El alambre del inductor tiene cierta resistencia, en consecuencia, existirá una pequeña corriente en fase. Por lo tanto, I_S tendrá un valor cercano a cero amperios.

Sí No

26. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted utilizó los fasores y las técnicas del análisis vectorial para determinar las diferentes corrientes de un circuito ca paralelo. Empleó la tensión de la fuente como fasor de referencia, dado que dicha tensión es común a todos los elementos en paralelo del circuito. Observó que en los circuitos resonante paralelo, las reactancias iguales, pero con signos opuestos, producen una corriente de fuente baja. Para confirmar sus cálculos, empleó la visualización de los fasores (diagramas vectoriales) de las diferentes corrientes del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. En un circuito paralelo RC, R y X_C valen $30\ \Omega$ y $40\ \Omega$ ohmios, respectivamente. ¿Cuál es el desfase entre la tensión y la corriente?
 - a. 37°
 - b. 53°
 - c. 45°
 - d. 90°

2. La principal característica de un circuito resonante paralelo es que
 - a. el corriente de la fuente es un valor elevado.
 - b. la tensión de la fuente es un valor bajo.
 - c. la corriente de la fuente es casi igual a cero.
 - d. la tensión de la fuente es casi igual a cero.

3. En un circuito paralelo RL, el parámetro que se utiliza como referencia para dibujar un diagrama vectorial es
 - a. la tensión.
 - b. la corriente.
 - c. la reactancia.
 - d. la resistencia.

4. En un circuito paralelo RL, la magnitud de un vector suma de dos corrientes se puede determinar con la fórmula
 - a. $I_S = I_R + I_L$
 - b. $I_S = E_S/RX_L$
 - c. $I_S = \sqrt{2E_S I_R}$
 - d. $I_S = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$

5. En un circuito paralelo RL, el desfase entre E_S e I_S se puede determinar a partir de
 - a. la relación I_S/I_R
 - b. la relación I_L/I_R
 - c. la relación S/Q
 - d. Ninguna de las anteriores.

Impedancia

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de explicar el concepto de impedancia y de determinar su valor en los circuitos ca. Se utilizarán las mediciones de corrientes y tensiones de un circuito, para verificar la teoría y las fórmulas presentes en las ecuaciones de impedancia.

PRINCIPIOS En los ejercicios anteriores, usted ha observado que en los circuitos que contienen resistencia y reactancia (X_L o X_C), la oposición total al flujo de corriente no es la simple suma de ambas. Tal lo mencionado, la reactancia debe sumarse a la resistencia teniendo en cuenta el desfase de 90° entre los dos tensiones en los circuitos serie, o de las dos corrientes en los circuitos paralelo. La oposición total al flujo de corriente se llama impedancia (Z) y, matemáticamente, se expresa como un fasor en coordenadas rectangulares o polares:

$$Z = R \pm jX \quad (\text{coordenadas rectangulares})$$

$$Z = A \angle \theta \quad (\text{coordenadas polares})$$

donde A es la magnitud de la impedancia.

θ es el ángulo de fase relativo a la impedancia.

En los circuitos serie RL o RC, la tensión a través de un resistor, de un inductor o de un condensador, es igual al producto de la corriente por la resistencia, por la reactancia inductiva o por la reactancia capacitiva, respectivamente. Si se aplica la ley de Ohm al circuito serie RL de la figura 5-18, resulta:

$$E_R = I \times R \quad \text{y} \quad E_L = I \times X_L$$

La tensión total es el producto de la corriente por la oposición total al flujo de corriente del circuito y se expresa como, $E = I \times Z$. La impedancia y la caída de tensión total a través de los elementos del circuito (tensión de la fuente E_S), también se pueden determinar gráficamente utilizando vectores, tal como lo muestra la figura 5-18.

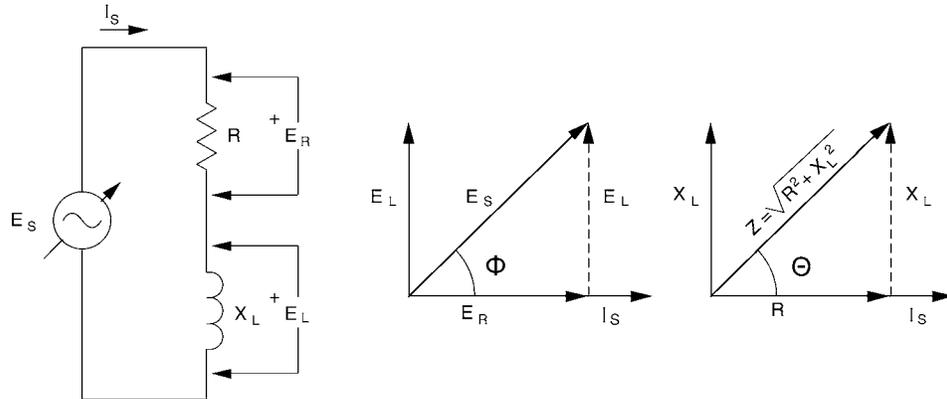


Figura 5-18. Impedancia de un circuito ca.

La tensión E_R es igual a $I_S \times R$ y la tensión E_L es igual a $I_S \times X_L$. El vector suma de E_R y E_L es la tensión de la fuente E_S , que es igual a $I_S \times Z$. Dado que cada vector representa un producto, donde la corriente I_S es un factor común, los vectores deben dibujarse proporcionales a R y X_L , tal como se muestra. Por lo tanto, el vector suma de R y X_L representa la impedancia Z del circuito. Además, el vector suma es la hipotenusa del triángulo recto a, b, c y se puede calcular mediante el teorema de Pitágoras:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

El ángulo de fase θ de Z es el mismo que el desfase φ entre E_S y I_S . Geométricamente, tenemos que:

$$\tan \varphi = \frac{X_L}{R} \quad \text{o} \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

En los circuitos ca, las relaciones entre E , I y Z son similares a aquellas entre E , I y R de los circuitos cc. En consecuencia, para resolver los circuitos ca, se puede aplicar la ley de Ohm, utilizando Z en lugar de R . Por lo tanto:

$$E = I \times Z$$

$$Z = \frac{E}{I}$$

$$I = \frac{E}{Z}$$

En los circuitos paralelo RL o RC, la tensión aplicada E_S se toma como referencia, porque es el mismo a través de todas las ramas. Para hallar la corriente de cada rama, se divide E_S por la impedancia de la rama (R , X_L o X_C). Para encontrar la corriente I_S de la fuente, se suman vectorialmente las corrientes de las ramas. Esto es:

$$I_S = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} \quad \text{y} \quad I_S = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

En los circuitos paralelos, la impedancia se puede hallar utilizando la ley de Ohm, $Z = E/I$. También se puede calcular la magnitud de Z , mediante la suma vectorial de los valores de resistencia y reactancia, empleando las fórmulas siguientes:

$$Z = \frac{RX_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad \text{y} \quad Z = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Para los circuitos paralelos, el desfase φ se determina empleando las relaciones:

$$\tan \varphi = R/X_L \quad \text{y} \quad \cos \varphi = \frac{Z}{R}$$

Cuando un circuito contiene elementos inductivos y capacitivos, primero halle la reactancia equivalente X_{EQ} y luego utilice este valor en las fórmulas precedentes. *Para los circuitos serie use $X_{EQ} = X_L - X_C$, mientras que para los circuitos paralelo utilice $X_{EQ} = (X_L \times X_C)/(X_C - X_L)$.* Dependiendo de si $(X_C - X_L)$ es positiva o negativa, la reactancia combinada será inductiva o capacitiva y el correspondiente ángulo de fase resultará en adelanto (positivo) o en atraso (negativo).

Este ejercicio está dividido en dos partes: **Impedancia en circuitos serie** e **Impedancia en circuitos paralelo**. Si el tiempo de un período es insuficiente, el ejercicio se puede completar en dos sesiones consecutivas de laboratorio.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO

Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

Impedancia en circuitos serie

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva, la Carga inductiva y la Carga capacitiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Coloque el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que dicha fuente se encuentra enchufada a una toma mural trifásica.
3. Monte el circuito que se muestra en la figura 5-19. Conecte todas las secciones de los módulos de carga en paralelo y ajuste R y X_L para obtener los valores indicados. Conecte las entradas I1, I2, I3, E1, E2 y E3 como se muestra para medir las corrientes y las tensiones del circuito.
4. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

5. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES15-4.dai*.

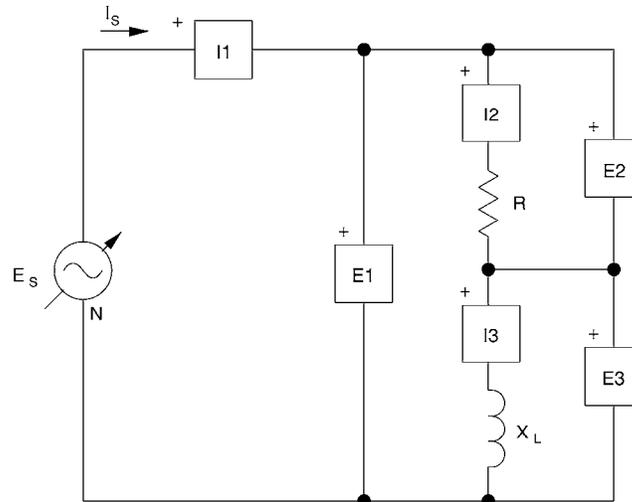


Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.



Red local de potencia ca		I_s (A)	R (Ω)	X_L (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	1,0	80	60
220	50	0,5	293	220
220	60	0,5	293	220
240	50	0,5	320	240

Figura 5-19. Determinación de la impedancia de un circuito serie RL.

6. Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste lentamente el control principal de tensión para obtener el valor exacto de I_s mostrado en la figura 5-19.
7. Anote las tensiones medidas en el circuito, así como los valores de Z , R y X_L , que muestran los medidores programables.

$$E_s = \text{_____ V}$$

$$E_R = \text{_____ V}$$

$$E_L \text{ (tensión 3)} = \text{_____ V}$$

$$Z \text{ (E1, I1)} = \text{_____ } \Omega$$

$$R \text{ (E2, I2)} = \text{_____ } \Omega$$

$$X_L \text{ (E3, I3)} = \text{_____ } \Omega$$

8. Calcule Z y φ empleando los valores que se indican en la figura 5-19.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$\varphi = \arctan \frac{X_L}{R} = \underline{\hspace{2cm}} ^\circ$$

9. Utilice la ley de Ohm, el valor de Z calculado en la etapa precedente y los valores de I_S , R y X_L indicados en la figura 5-19, para calcular las tensiones del circuito ($E_S = I_S \times Z$, $E_R = I_S \times R$ y $E_L = I_S \times X_L$).

$$E_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

10. Para los diferentes tensiones, compare los valores calculado y medido de Z . ¿Son aproximadamente iguales?



Los resultados reales deben diferir ligeramente de los valores calculados ya que la resistencia de la bobina del inductor no es despreciable.

Sí No

11. ¿Encuentra usted que los valores medidos de R y X_L son aproximadamente los mismos que los ajustados en los módulos de carga?

Sí No

12. Utilice la aplicación *Analizador de Fasores* para observar el ángulo de fase φ entre la tensión E_S y la corriente I_S de la fuente. ¿Resulta el valor medido de φ aproximadamente igual al calculado?



Los resultados reales deben diferir ligeramente de los valores calculados ya que la resistencia de la bobina del inductor no es despreciable.

Sí No

13. Apague la Fuente de alimentación y reemplace, en el circuito de la figura 5-19, la reactancia inductiva por una reactancia capacitiva. Ajuste X_C con el mismo valor que se utilizó para X_L y *ajuste el valor de R igual al de X_C* . Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de tensión para obtener el mismo valor de I_S utilizado en la etapa 6.

14. Anote las mediciones mostradas por los medidores.



El signo menos aparece en el medidor programable X (E3,I3) indica que se está midiendo una reactancia capacitiva. No tenga en cuenta el signo menos cuando anote el valor de X_C .

$$E_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_C \text{ (tensión 3)} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$Z \text{ (E1, I1)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$R \text{ (E2, I2)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$X_C \text{ (E3, I3)} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

15. Calcule Z y φ , empleando los valores del circuito indicados en la etapa 13

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

$$\varphi = \arctan \frac{-X_C}{R} = \underline{\hspace{2cm}} ^\circ$$

16. Utilice nuevamente la ley de Ohm, el valor calculado de Z en la etapa precedente y los valores de I_S , R y X_C de la etapa 13, para calcular las tensiones del circuito.

$$E_S = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_C = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

17. Para los diferentes tensiones, compare los valores calculado y medido de Z . ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

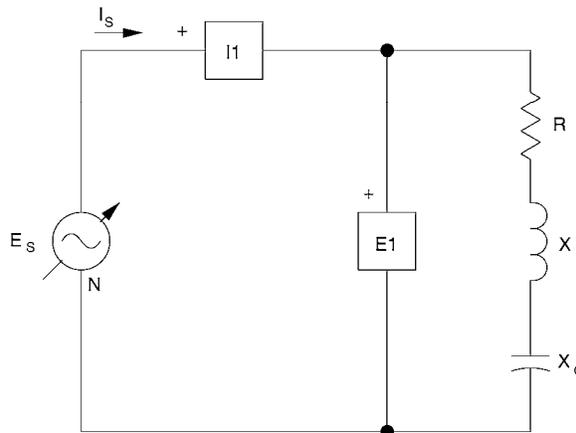
18. ¿Encuentra usted que los valores medidos de R y X_C son aproximadamente los mismos que los ajustados en los módulos de carga?

Sí No

19. Utilice la aplicación *Analizador de Fasores* para observar el desfase φ entre la tensión E_S y la corriente I_S de la fuente. ¿Resulta la magnitud del valor medido de φ aproximadamente igual al calculado?

Sí No

20. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito serie RLC de la figura 5-20, agregando reactancia inductiva. Conecte las entradas I1 y E1 como se muestra en la figura y ajuste R , X_L y X_C con los valores indicados. Seleccione el archivo de configuración existente *ES15-5.dai*. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste cuidadosamente la perilla de la tensión de dicha fuente para obtener el valor exacto de I_S indicado en la figura 5-20.



Red local de potencia ca		I_S (A)	R (Ω)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	0,5	80	60	120
220	50	0,25	293	220	440
220	60	0,25	293	220	440
240	50	0,25	320	240	480

Figura 5-20. Determinación de la impedancia de un circuito serie RLC.

21. Anote los valores de Z , R y X_{EQ} (igual a $X_L - X_C$) que muestran los medidores A, B y C.

$Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

$R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

$X_{EQ} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

22. Calcule Z y φ empleando los valores del circuito que se indican en la figura 5-20.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \text{_____ } \Omega$$

$$\varphi = \arctan \frac{X_{EQ}}{R} = \text{_____ } ^\circ$$

23. Compare los valores calculado y medido de Z . ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

24. ¿Encuentra usted que los valores medidos de R y X_{EQ} son aproximadamente los mismos que los ajustados en el circuito?

Sí No

25. Utilice la aplicación *Analizador de Fasores* para observar el desfase φ entre la tensión E_S y la corriente I_S de la fuente. ¿Resulta el valor medido de φ aproximadamente igual al calculado?



Los resultados reales deben diferir ligeramente de los valores calculados ya que la resistencia de la bobina del inductor no es despreciable.

Sí No

Impedancia en los circuitos paralelo

26. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito paralelo RL de la figura 5-21. Ajuste R y X_L con los valores indicados y conecte las entradas I1, I2, I3, E1, E2 y E3, como se muestra, para medir las corrientes y tensiones del circuito. Abra el archivo de configuración existente *ES15-6.dai*.

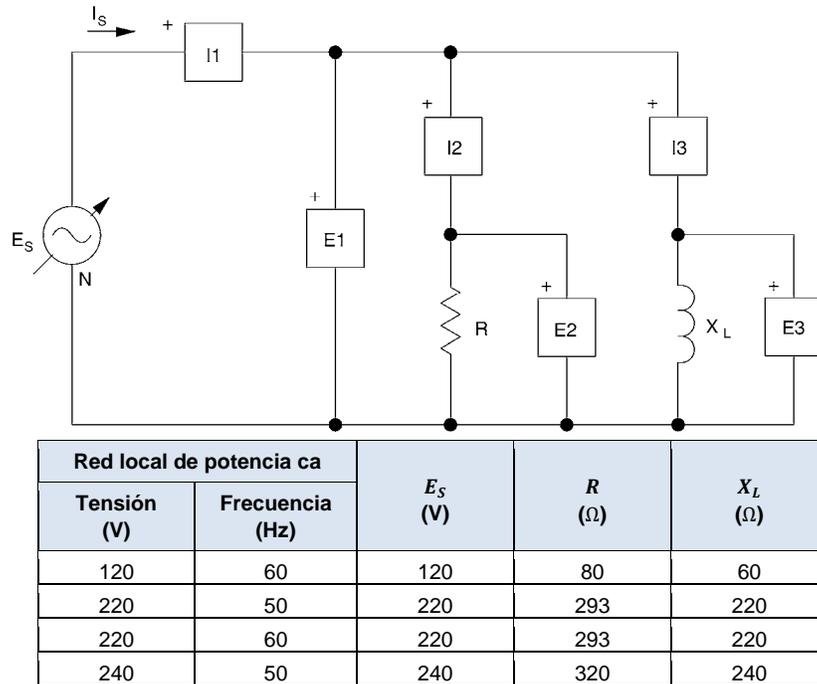


Figura 5-21. Determinación de la impedancia de un circuito paralelo RL.

27. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para obtener el valor de E_S , indicado en la figura 5-21. Anote los valores de las corrientes en el circuito, así como los valores de Z , R y X_L , que muestran los medidores A, B y C.

$$I_S = \text{_____ A}$$

$$I_R = \text{_____ A}$$

$$I_L \text{ (corriente 3)} = \text{_____ A}$$

$$Z = \text{_____ } \Omega$$

$$R = \text{_____ } \Omega$$

$$X_L = \text{_____ } \Omega$$

28. Calcule Z y φ empleando los valores del circuito que se indican en la figura 5-21.

$$Z = \frac{RX_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \text{_____} \Omega$$

$$\varphi = \arctan \frac{R}{X_L} = \text{_____}^\circ$$

29. Utilice el valor de Z , calculado en la etapa precedente, y los valores de E_S , R y X_L mostrados en la figura 5-21, para calcular las corrientes del circuito.

$$I_S = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_R = \text{_____} \text{ A}$$

$$I_L = \text{_____} \text{ A}$$

30. Para las diferentes corrientes, compare los valores calculado y medido de Z . ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

31. ¿Encuentra usted que los valores medidos de R y X_L son aproximadamente los mismos que los ajustados en los módulos de carga?

Sí No

32. Utilice la aplicación *Analizador de Fasores* para observar el desfase φ entre la tensión E_S y la corriente I_S de la fuente. ¿Resulta el valor medido de φ aproximadamente igual al calculado?



Los resultados reales deben diferir ligeramente de los valores calculados ya que la resistencia de la bobina del inductor no es despreciable.

Sí No

33. Apague la Fuente de alimentación y reemplace, en el circuito de la figura 5-21, X_L por una reactancia capacitiva para obtener un circuito paralelo RC. Ajuste X_C con el mismo valor que se utilizó para X_L y *deje R con igual valor*. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste cuidadosamente el control de tensión de dicha fuente para obtener el mismo valor de E_S , utilizado en la etapa 27.

34. Anote las mediciones indicadas por los medidores.



El signo menos aparece en el medidor programable C indica que se está midiendo una reactancia capacitiva. No tenga en cuenta el signo menos cuando anote el valor de X_C .

$$I_S = \text{_____ A}$$

$$I_R = \text{_____ A}$$

$$I_C \text{ (corriente 3)} = \text{_____ A}$$

$$Z = \text{_____ } \Omega$$

$$R = \text{_____ } \Omega$$

$$X_C = \text{_____ } \Omega$$

35. Calcule Z y φ empleando los valores del circuito configurado en la etapa 33.

$$Z = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \text{_____ } \Omega$$

$$\varphi = \arctan\left(-\frac{R}{X_C}\right) = \text{_____ } ^\circ$$

36. Utilice el valor de Z , calculado en la etapa precedente, y los valores de E_S , R y X_C indicados en la etapa 33, para calcular las corrientes del circuito.

$$I_S = \text{_____ A}$$

$$I_R = \text{_____ A}$$

$$I_C = \text{_____ A}$$

37. Para las diferentes corrientes, compare los valores calculado y medido de Z . ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

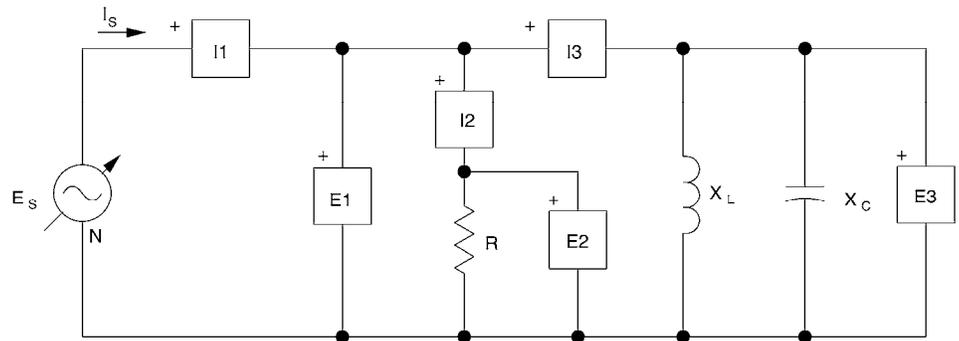
38. ¿Encuentra usted que los valores medidos de R y X_C son aproximadamente los mismos que los ajustados en los módulos de carga?

Sí No

39. Utilice la aplicación *Analizador de Fasores* para observar el ángulo de fase φ entre la tensión E_S y la corriente I_S de la fuente. ¿Resulta el valor medido de φ aproximadamente igual al calculado?

Sí No

40. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito paralelo RLC de la figura 5-22. Conecte las entradas E1 e I1 como se muestra. Ajuste R , X_L y X_C con los valores mostrados. Abra el archivo de configuración existente *ES15-7.dai*. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste cuidadosamente el control de tensión de dicha fuente para obtener el mismo valor de E_S , mostrado en la figura 5-22.



Red local de potencia ca		E_S (V)	R (Ω)	X_L (Ω)	X_C (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	120	80	80	60
220	50	220	293	293	220
220	60	220	293	293	220
240	50	240	320	320	240

Figura 5-22. Determinación de la impedancia de un circuito paralelo RLC.

41. Anote los valores de Z , R y X_{EQ} [igual a $(X_L \times X_C)/(X_C - X_L)$], mostrados por los medidores.

$Z = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

$R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

$X_{EQ} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

42. Calcule Z , X_{EQ} y φ empleando los valores del circuito indicados en la figura 5-22.



Omita el signo negativo de X_{EQ} cuando se calcula la impedancia Z y el desfase φ .

$$X_{EQ} = \frac{X_C \times X_L}{X_C - X_L} = \text{_____ } \Omega$$

$$Z = \frac{R \times X_{EQ}}{\sqrt{R^2 + X_{EQ}^2}} = \text{_____ } \Omega$$

$$\varphi = \arctan \frac{R}{X_{EQ}} = \text{_____ } ^\circ$$

43. Compare el valor calculado y el valor medido de Z . ¿Son aproximadamente iguales?



Los resultados reales deben diferir ligeramente de los valores calculados ya que la resistencia de la bobina del inductor no es despreciable.

Sí No

44. ¿Encuentra usted que los valores medidos de R y X_{EQ} son aproximadamente los mismos que los ajustados en el circuito?



Los resultados reales deben diferir ligeramente de los valores calculados ya que la resistencia de la bobina del inductor no es despreciable.

Sí No

45. Utilice la aplicación *Analizador de Fasores* para observar el ángulo de fase φ entre la tensión E_S y la corriente I_S de la fuente. ¿Resulta el valor medido de φ aproximadamente igual al calculado?

Sí No

46. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted calculó la impedancia de circuitos serie y paralelo y comparó sus resultados con aquéllos obtenidos mediante la medición de corriente y tensión. Demostró que la impedancia es el cociente entre la tensión de la fuente y la corriente, y que la reactancia combinada en los circuitos RLC es inductiva o capacitiva, dependiendo de las magnitudes relativas de X_L y X_C . Por último, la observación de los fasores de tensión y corriente en la aplicación *Analizador de Fasores*, le permitió verificar sus cálculos del desfase de la impedancia.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. En un circuito ca, la oposición total al flujo de corriente se llama
 - a. resistencia.
 - b. reactancia.
 - c. impedancia.
 - d. inductancia.
2. La impedancia de un circuito se puede determinar a partir de
 - a. $Z = E/I$
 - b. $Z = R + X_L + X_C$
 - c. $Z = E \times I$
 - d. $Z = I/E$
3. ¿Cuál es la impedancia de un circuito paralelo RLC, si R , X_L y X_C tienen el mismo valor, E_S es igual a 120 V e I_S es igual a 2 A?
 - a. 60 Ω
 - b. 240 Ω
 - c. 20 Ω
 - d. 180 Ω
4. La reactancia combinada de un circuito ca serie resulta una impedancia con un ángulo de fase positivo. La corriente del circuito, ¿adelanta o atrasa la tensión de la fuente?
 - a. La corriente adelanta la tensión, porque la reactancia es capacitiva.
 - b. La corriente atrasa la tensión, porque la reactancia es inductiva.
 - c. La corriente adelanta la tensión, porque la reactancia es inductiva.
 - d. La corriente atrasa la tensión, porque la reactancia es capacitiva.

5. La impedancia de un circuito paralelo RLC, se puede determinar mediante
- el cociente entre la tensión de la fuente y la corriente del circuito.
 - el producto de la tensión de la fuente por la corriente del circuito.
 - la fórmula $Z = \frac{R \times X_{EQ}}{\sqrt{R^2 + X_{EQ}^2}}$.
 - a y c.

Examen de la unidad

- Un motor cuyo factor de potencia es 0,8 consume 4 kW de potencia activa. ¿Cuál es la potencia aparente S suministrada al motor?
 - $\cos \varphi = P/S = 0,80$, por lo tanto $S = 5$ kVA
 - $\cos \varphi = S/P = 0,80$, por lo tanto $S = 3,2$ kVA
 - $\cos \varphi = \sqrt{P^2 + Q^2} = 0,80$, por lo tanto $S = 7,2$ kVA
 - $\cos \varphi/S - Q = 0,8$, por lo tanto $S = 8,8$ kVA
- La potencia aparente está relacionada con las potencias activa y reactiva, mediante la siguiente fórmula:
 - $S = P + Q$
 - $S = P - Q$
 - $S = \sqrt{P^2 - Q^2}$
 - $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
- Un condensador que consume 8 kvar se conecta en paralelo con un electroimán que consume 6 kW de potencia activa y 6 kvar de potencia reactiva. ¿Qué efecto tendrá sobre el $\cos \varphi$?
 - El factor de potencia se corrige a la unidad.
 - El factor de potencia pasa de 0,5 a 0,67.
 - El factor de potencia cambia de polaridad positiva a negativa.
 - Ninguna de las anteriores.
- En un circuito serie RLC, R , X_L y X_C son iguales a 100 Ω . ¿Cuál es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente?
 - 45°
 - 37°
 - 0°
 - 30°
- El parámetro del circuito que se utiliza como referencia para el análisis vectorial es
 - la tensión en los circuitos serie y la corriente en los circuitos paralelo.
 - la corriente en los circuitos serie y la tensión en los circuitos paralelos.
 - la reactancia en los circuitos serie y paralelo.
 - siempre la tensión.
- En un circuito serie RL, el desfase entre E_S e I_S se puede determinar a partir de
 - la relación E_S/E_R .
 - la relación E_L/E_R .
 - la relación P/Q .
 - Ninguna de las anteriores.

7. En un circuito RC paralelo, R y X_C son iguales a 60Ω y 100Ω , respectivamente. ¿Cuál es el ángulo de fase entre la tensión y la corriente?
- 53°
 - 31°
 - 59°
 - 37°
8. La impedancia es la oposición total al flujo de corriente de un circuito y está compuesta de
- resistencia y reactancia.
 - reactancia solamente.
 - capacitancia solamente.
 - inductancia solamente.
9. ¿Cuál es la impedancia de un circuito serie RLC si R , X_L y X_C tienen el mismo valor, E_S es igual a 120 V e I_S es igual a 2 A ?
- 60Ω
 - 240Ω
 - 20Ω
 - 180Ω
10. La impedancia de un circuito ca paralelo tiene un desfase positivo. La corriente del circuito, ¿adelanta o atrasa la tensión de la fuente?
- La corriente adelanta la tensión, porque la reactancia es capacitiva.
 - La corriente atrasa la tensión, porque la reactancia es inductiva.
 - La corriente adelanta la tensión, porque la reactancia es inductiva.
 - La corriente atrasa la tensión, porque la reactancia es capacitiva.

Circuitos trifásicos

OBJETIVO DE LA UNIDAD

Después de completar esta unidad, usted será capaz de resolver los circuitos ca trifásicos equilibrados conectados en configuración estrella y triángulo. Además, usted podrá demostrar la diferencia entre tensión de línea y de fase, determinar las potencias activa, reactiva y aparente, así como establecer la secuencia de fases de una fuente de alimentación ca trifásica. Usted utilizará las mediciones de tensión y corriente para verificar la teoría y los cálculos presentes en los ejercicios.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

La resolución de los circuitos trifásicos no es más complicada que la de los circuitos monofásicos. En la mayoría de los casos, los circuitos trifásicos son simétricos y tienen impedancias iguales en cada una de las tres ramas. Cada rama se puede considerar exactamente como un circuito monofásico, porque un **circuito trifásico equilibrado** es, simplemente, la combinación de tres circuitos monofásicos. En consecuencia, las relaciones de tensión, corriente y potencia para los circuitos trifásicos, se pueden determinar empleando los mismos métodos y reglas desarrollados para los circuitos monofásicos. Los circuitos trifásicos asimétricos, o desequilibrados, representan una condición especial y su análisis puede resultar complicado. Los circuitos trifásicos desequilibrados no están tratados en este manual.

Un circuito ca trifásico está alimentado por tres ondas seno de igual frecuencia y magnitud, desplazadas 120° unas de otras. Por lo tanto, y como se vio en la Unidad 2, el desfase entre las tensiones de una fuente de alimentación trifásica es 120° . Las tensiones de una fuente de alimentación trifásica se pueden producir con el generador trifásico elemental (alternador), que se ilustra en la figura 6-1. Un campo magnético giratorio (creado por un imán que gira) rota en el interior de tres arrollamientos de alambre idénticos (bobinas), ubicados físicamente 120° unos de otros, para producir tres tensiones ca separadas (uno por bobina). Como el imán gira con velocidad invariable, la frecuencia es constante. Las tres tensiones separadas alcanzan su máximo a intervalos de 120° , uno detrás de otro.

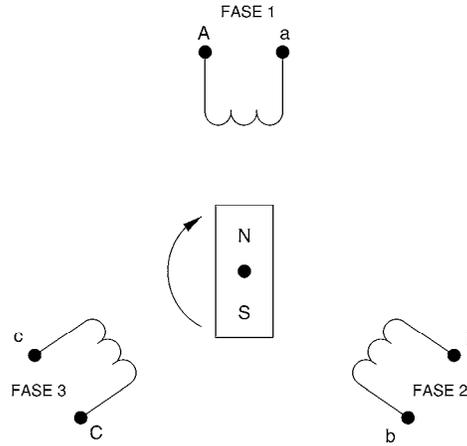


Figura 6-1. Generador trifásico elemental.

La **secuencia de fases** de las tensiones de una fuente de alimentación trifásica es el orden en que cada tensión alcanza su máximo. La figura 6-2 es un ejemplo de las formas de ondas producidas por una fuente de alimentación trifásica. Estas tensiones se muestran con la secuencia de fases E_A , E_B , E_C y se escribe secuencia A-B-C. La secuencia de fases es importante porque determina el sentido de giro de un motor trifásico. Si las fases se conectan fuera de secuencia, el motor girará en sentido opuesto y las consecuencias podrían resultar graves. Por ejemplo, si la rotación horaria es el sentido normal de giro de un motor para hacer subir un elevador, la conexión incorrecta de los conductores de fase provocaría que el elevador baje en lugar de subir, y viceversa, y un serio accidente podría ocurrir.

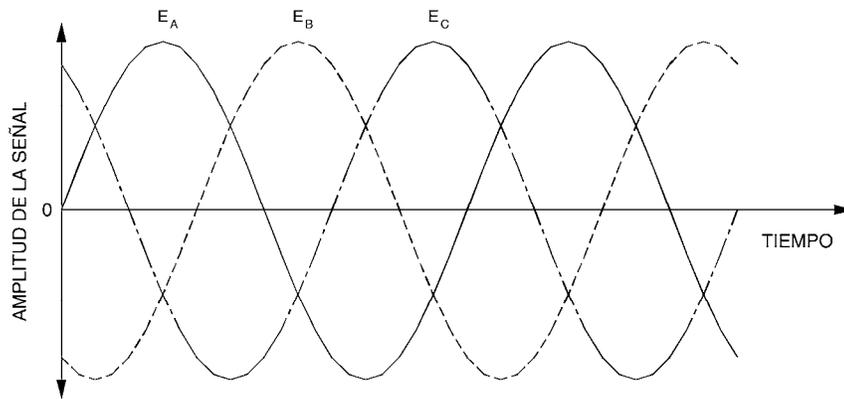


Figura 6-2. Secuencia de fases A-B-C de una alimentación trifásica.

Circuitos trifásicos equilibrados

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de distinguir entre tensiones de línea y de fase en las conexiones estrella y triángulo de los circuitos ca. Los parámetros medidos en las cargas resistivas equilibradas se utilizarán para verificar los cálculos del circuito.

PRINCIPIOS

Las bobinas de una fuente de alimentación ca trifásica (el generador de la figura 6-1) se pueden conectar en configuración estrella o configuración triángulo. Las conexiones para cada configuración se muestran en la figura 6-3 y cada una tiene características eléctricas determinadas. La tensión que produce cada una de las bobinas es la **tensión de fase**, E_{Fase} (E_{AN} , E_{BN} , E_{CN}), mientras que la tensión entre dos bobinas cualesquiera es la **tensión de línea**, o tensión de línea a línea, $E_{Línea}$ (E_{AB} , E_{BC} , E_{CA}). En un sistema conectado en triángulo, la tensión de línea E_{AB} es la tensión entre los bobinados AC y BC, asimismo AB. En consecuencia, la fase de la tensión (es decir, la tensión a lo largo de un solo bobinado) iguala la tensión de línea (la tensión entre dos de los tres bobinados) en un sistema conectado en triángulo. En un sistema conectado en estrella, la tensión de línea es $\sqrt{3}$ (aproximadamente 1,73) veces mayor que la tensión de fase, tal como lo indica la ecuación siguiente;

$$E_{Línea} = \sqrt{3} E_{Fase}$$



En el Sistema EMS, en lugar de utilizar las letras A, B, C, para indicar los correspondientes tensiones de línea y de fase, se emplean los números 1,2,3 (tensiones fijos de salida) y los números 4,5,6 (tensiones variables de salida). Al neutro se lo designa con la letra N.

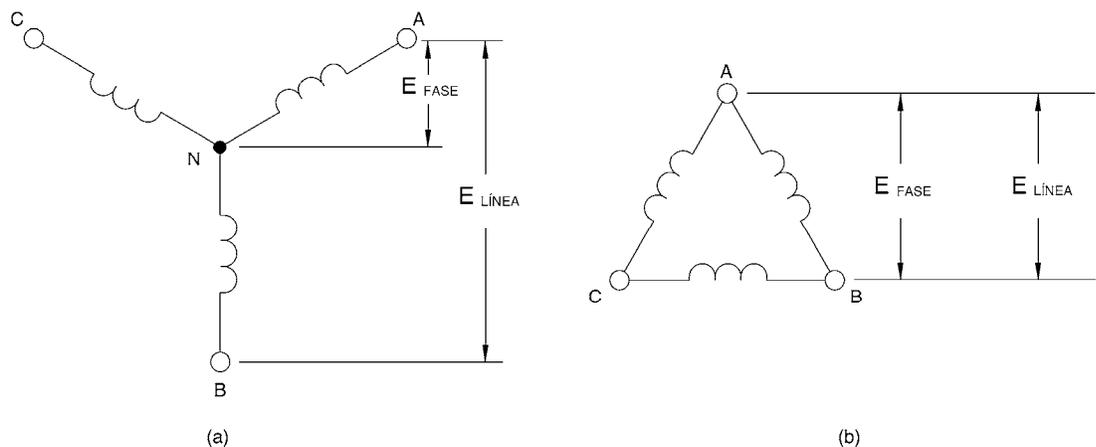


Figura 6-3. (a) Configuración trifásica estrella. (b) Configuración trifásica triángulo.

Por lo general, los tres conductores de línea (conductores conectados a los puntos A, B y C) y el conductor neutro de un sistema de potencia trifásico, se encuentran disponibles para su conexión a la carga. Esta última se puede disponer como **conexión estrella** o **conexión triángulo**. En la figura 6-4 se ilustran las dos configuraciones mencionadas. El análisis de circuitos demuestra que la tensión entre dos conductores de línea cualesquiera, o líneas, en una carga conectada en estrella, es 1,73 veces mayor que la tensión a través de cada carga resistiva (tensión de fase). Igualmente, la **corriente de línea**, en una carga conectada en triángulo, es 1,73 veces mayor que la corriente en cada carga resistiva (corriente de fase). En consecuencia, en una carga conectada en triángulo, la **corriente de fase** es 1,73 veces menor que la corriente de línea.

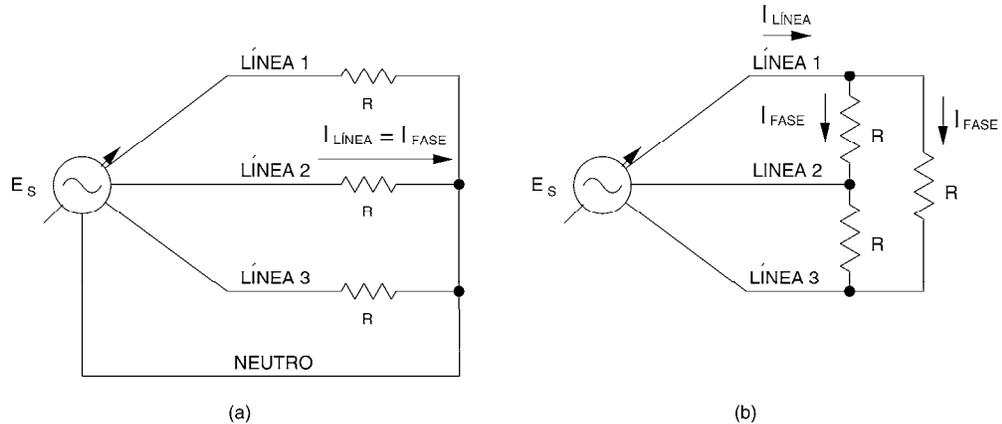


Figura 6-4. (a) Carga conectada en estrella. (b) Carga conectada en triángulo.

Las relaciones entre tensiones y corrientes de línea y de fase simplifican el análisis de los circuitos trifásicos equilibrados. Una manera de escribir lo anterior es,

Para circuitos en estrella:

$$E_{Línea} = \sqrt{3} E_{Fase} \quad e \quad I_{Línea} = I_{FASE}$$

Para circuitos en triángulo:

$$E_{Línea} = E_{Fase} \quad e \quad I_{Línea} = \sqrt{3} I_{FASE}$$

Las fórmulas para calcular las potencias activa, reactiva y aparente en los circuitos trifásicos equilibrados, son las mismas que las empleadas para los circuitos monofásicos. Basándonos en la fórmula usada para calcular la potencia en un circuito monofásico, podemos establecer que la potencia activa disipada en cada fase de una carga conectada en estrella o en triángulo es:

$$P_{Fase} = E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi$$

donde φ es el ángulo entre la tensión y la corriente de fase.

En consecuencia, la potencia activa total P_T suministrada a la carga es:

$$P_T = 3 \times P_{Fase} = 3 E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi$$

Para una carga resistiva el $\cos \varphi$ es igual a 1, por lo tanto:

$$P_T = 3 E_{Fase} \times I_{Fase}$$

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y la Carga resistiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES16-1.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción **IMPORTAR (IMPORT)** en el menú **File**.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

- Conecte las entradas medidoras E1, E2 y E3 para medir las tensiones fijas de línea a neutro y luego de línea a línea de la Fuente de alimentación de la figura 6-5.



En este manual se designan E_{Fase} a la tensión de línea a neutro y $E_{Línea}$ a la tensión de línea a línea.

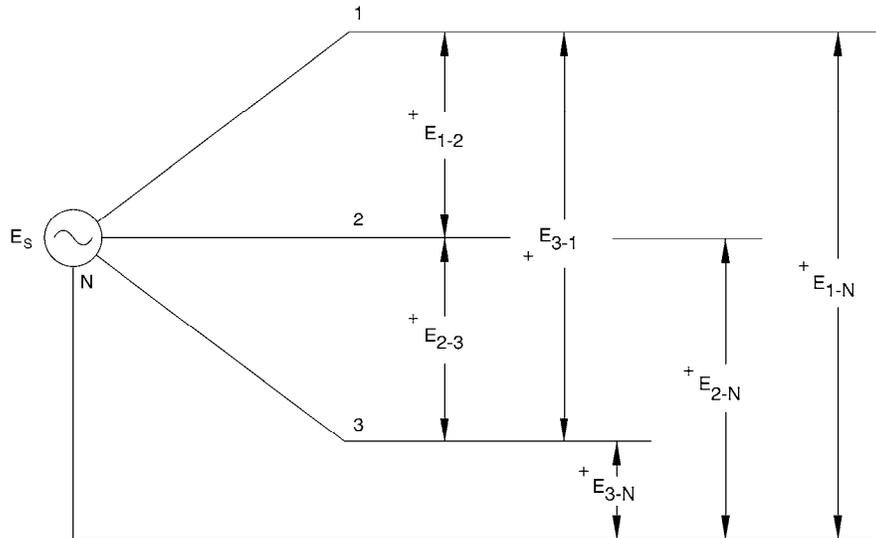


Figura 6-5. Medición de las tensiones de línea y de fase.

- Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión en 100%.
- Anote sus mediciones y luego apague la Fuente de alimentación. Determine los valores promedio de las tensiones de fase y de línea.

$$E_{1-N} = \text{_____ V}$$

$$E_{2-N} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-N} = \text{_____ V}$$

$$\text{Promedio } E_{Fase} = \frac{E_{1-N} + E_{2-N} + E_{3-N}}{3} = \text{_____ V}$$

$$E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{2-3} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-1} = \text{_____ V}$$

$$\text{Promedio } E_{Línea} = \frac{E_{1-2} + E_{2-3} + E_{3-1}}{3} = \text{_____ V}$$

8. Calcule la relación entre las tensiones de línea y de fase.

$$\frac{\text{Promedio } E_{\text{Línea}}}{\text{Promedio } E_{\text{Fase}}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

9. ¿Encuentra usted que la relación es aproximadamente igual a $1,73 (\sqrt{3})$?

Sí No

10. Conecte las entradas medidoras E1, E2 y E3 para medir las tensiones variables de línea a neutro y de línea a línea de la Fuente de alimentación, E_{4-N} , E_{5-N} , E_{6-N} , y E_{4-5} , E_{5-6} , E_{6-4} .

11. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión en 100%. Anote sus mediciones y luego apague la fuente. Determine el valor promedio de las tensiones de fase y de línea.

$$E_{4-N} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{5-N} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{6-N} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$\text{Promedio } E_{\text{Fase}} = \frac{E_{4-N} + E_{5-N} + E_{6-N}}{3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{4-5} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{5-6} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{6-4} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$\text{Promedio } E_{\text{Línea}} = \frac{E_{4-5} + E_{5-6} + E_{6-4}}{3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

12. Calcule la relación entre las tensiones de línea y de fase.

$$\frac{\text{Promedio } E_{\text{Línea}}}{\text{Promedio } E_{\text{Fase}}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

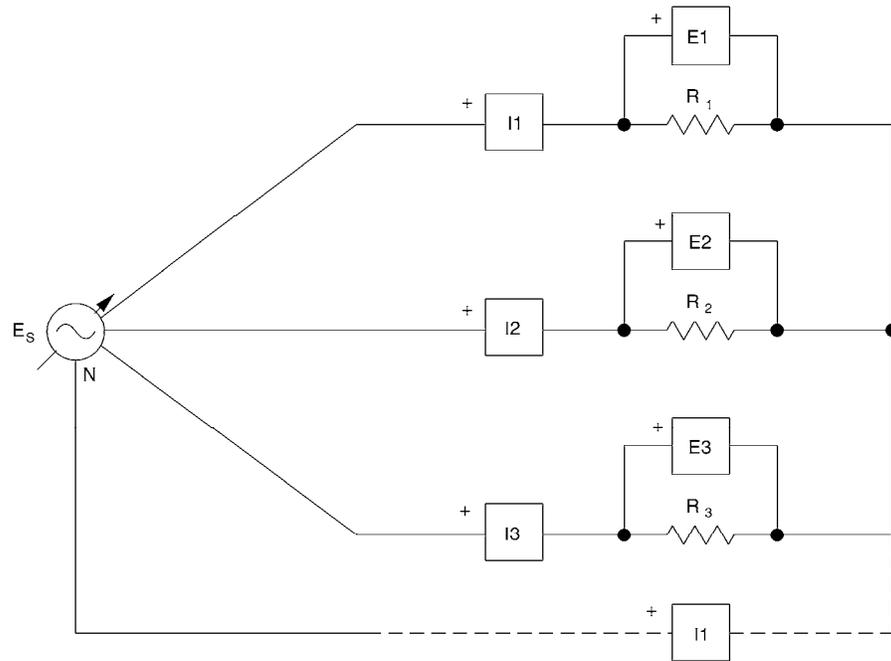
13. ¿Encuentra usted que la relación es aproximadamente igual a $1,73 (\sqrt{3})$?

Sí No

14. Monte el circuito resistivo trifásico conectado en estrella de la figura 6-6. No conecte el neutro de la carga resistiva al neutro de la Fuente de alimentación. Conecte I1, I2, I3, E1, E2 y E3, como se muestra, para medir las corrientes y las tensiones.



No realice por ahora la conexión indicada con una línea punteada. Ésta se hará en un paso posterior.



* Leer la nota de la etapa 14.

Red local de potencia ca		E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	208	300	300	300
220	50	380	1100	1100	1100
220	60	380	1100	1100	1100
240	50	415	1200	1200	1200

Figura 6-6. Carga resistiva trifásica conectada en estrella.

15. Coloque el selector del voltímetro en la posición 4-5. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para la tensión de línea a línea E_S (E_{4-5} , E_{5-6} o E_{4-6}), indicada en la figura 6-6. Abra el archivo de configuración existente *ES16-2.dai*. Mida las tensiones y corrientes del circuito y luego apague la Fuente de alimentación.

$$E_{R1} = \text{_____ V}$$

$$E_{R2} = \text{_____ V}$$

$$E_{R3} = \text{_____ V}$$

$$I_{R1} = \text{_____ A}$$

$$I_{R2} = \text{_____ A}$$

$$I_{R3} = \text{_____ A}$$

16. Compare las tensiones y corrientes individuales de la carga. ¿Encuentra usted que son aproximadamente iguales y que eso muestra que la carga está equilibrada?

Sí No

17. Calcule la tensión de fase promedio, a partir de las mediciones de la etapa 15.

$$\text{Promedio } E_{Fase} = \frac{E_{R1} + E_{R2} + E_{R3}}{3} = \text{_____ V}$$

18. ¿Encuentra usted la relación entre $E_{Línea}$ y E_{Fase} aproximadamente igual a $\sqrt{3}$?

Sí No

19. Medir la corriente en el neutro, conectando la entrada I1 en la línea punteada como lo muestra la figura 6-6, y con el neutro de la Fuente de alimentación conectado con el neutro de la carga en estrella. Abra el archivo de configuración existente *ES16-3.dai*. Encienda la Fuente de alimentación y anote el valor de I_N , con E_S ajustado en el mismo valor de la etapa 15.

$$I_N = \text{_____ A}$$

20. La corriente del neutro, ¿es igual a cero?

Sí No

21. Utilizando los resultados de la etapa 15, calcule la potencia activa consumida en cada fase del circuito y la potencia total consumida por la carga.

$$P_{R1} = E_{R1} \times I_{R1} = \text{_____ W}$$

$$P_{R2} = E_{R2} \times I_{R2} = \text{_____ W}$$

$$P_{R3} = E_{R3} \times I_{R3} = \text{_____ W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \text{_____ W}$$

22. Determine la corriente de fase empleando los valores medidos en la etapa 15.

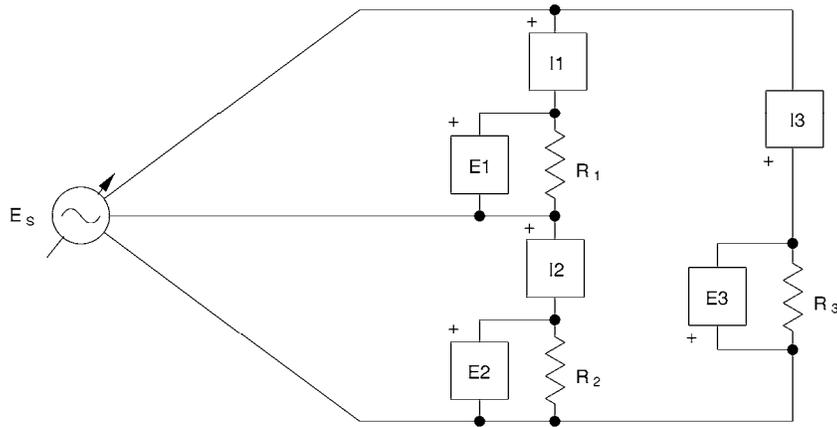
$$I_{Fase} = \text{_____ A}$$

Calcule P_T utilizando la tensión y la corriente de fase y compárela con el valor obtenido en la etapa 21. ¿Son aproximadamente iguales?

$$P_T = 3 (E_{Fase} \times I_{Fase}) = \text{_____ W}$$

Sí No

23. Apague la Fuente de alimentación y monte el circuito resistivo trifásico conectado en triángulo de la figura 6-7. Conecte las entradas I1, I2, I3, E1, E2 y E3, como se muestra en la figura, para medir las corrientes y las tensiones.



Red local de potencia ca		E_S (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_3 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	120	300	300	300
220	50	220	1100	1100	1100
220	60	220	1100	1100	1100
240	50	240	1200	1200	1200

Figura 6-7. Carga resistiva trifásica conectada en triángulo.

24. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para la tensión de línea a línea E_S (E_{4-5} , E_{5-6} o E_{4-6}), indicada en la figura 6-7. Abra el archivo de configuración existente *ES16-4.dai*. Mida las tensiones y corrientes del circuito y luego apague la Fuente de alimentación.

$$E_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$E_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

$$I_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

25. Compare las tensiones y las corrientes individuales de la carga. ¿Encuentra usted que son aproximadamente iguales y que eso muestra que la carga está equilibrada?

Sí No

26. Calcule la corriente promedio de fase, a partir de las mediciones de la etapa 24.

$$\text{Promedio } I_{\text{fase}} = \frac{I_{R1} + I_{R2} + I_{R3}}{3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

27. Conecte nuevamente las entradas medidoras I1, I2 e I3, como lo muestra la figura 6-8, para medir las corrientes de línea de la carga conectada en triángulo. Asegúrese de que E_S está ajustado con el mismo valor que el utilizado en la etapa 24. Seleccione el archivo de configuración existente *ES16-5.dai*. Mida y anote las corrientes de línea, luego apague la Fuente de alimentación. Determine la corriente promedio de línea.

$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$\text{Promedio } I_{\text{línea}} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

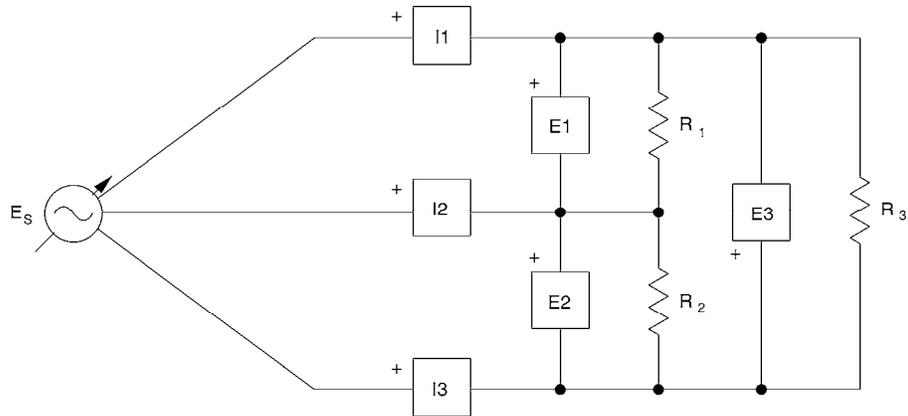


Figura 6-8. Medición de las corrientes de línea en una carga resistiva conectada en triángulo.

28. Calcule la relación entre la corriente promedio de línea y la corriente promedio de fase.

$$\frac{\text{Promedio } I_{\text{Línea}}}{\text{Promedio } I_{\text{Fase}}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

¿Resulta igual a $\sqrt{3}$?

- Sí No

29. Utilizando los resultados de la etapa 24, calcule la potencia activa consumida en cada fase del circuito y la potencia total consumida por la carga.

$$P_{R1} = E_{R1} \times I_{R1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_{R2} = E_{R2} \times I_{R2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_{R3} = E_{R3} \times I_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$P_T = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

30. Determine la tensión de fase empleando los valores medidos en la etapa 24.

$$E_{\text{Fase}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

Calcule P_T utilizando la tensión de fase y compárela con el valor obtenido en la etapa 29. ¿Son aproximadamente iguales?

$$P_T = 3 (E_{\text{Fase}} \times I_{\text{Fase}}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

- Sí No

31. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted midió las tensiones y corrientes de línea y de fase para cargas resistivas conectadas en estrella y en triángulo. Observó que los valores de línea y de fase están relacionados por medio del factor $\sqrt{3}$. Pudo constatar que cuando se tienen una carga equilibrada trifásica no circula corriente por el conductor neutro y demostró que, con cargas trifásicas equilibradas, las tensiones de línea son iguales, así como las corrientes de línea. Por último, demostró que la potencia total de una carga resistiva trifásica resulta tres veces la potencia suministrada a una de las ramas del circuito.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. En un circuito equilibrado conectado en estrella
 - a. las tensiones y corrientes de línea son iguales a las de la carga.
 - b. la tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase.
 - c. la tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión de fase.
 - d. la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase.

2. En un circuito equilibrado conectado en triángulo
 - a. las tensiones y corrientes de línea son iguales a las de la carga.
 - b. la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces menor que la corriente de fase.
 - c. la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase.
 - d. la tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase.

3. ¿Cuál es la tensión de línea a neutro (fase) en un circuito equilibrado conectado en estrella, si la tensión de línea a línea es 346 V?
 - a. 346 V
 - b. 600 V
 - c. 200 V
 - d. 245 V

4. ¿Cuál es la corriente de línea en una carga resistiva equilibrada conectada en triángulo, si la corriente de carga a través de cada rama es 10 A?
 - a. 27,3 A
 - b. 17,3 A
 - c. 11,6 A
 - d. 5,8 A

5. La corriente de línea de una carga resistiva trifásica equilibrada conectada en estrella es 25 A. ¿Qué sucede si se desconecta el conductor neutro?
 - a. Los circuitos de protección actuarán a causa del desequilibrio.
 - b. Nada, porque no hay corriente en el neutro.
 - c. Habrá desequilibrio entre las tensiones de línea.
 - d. La corriente de fase crecerá hasta alcanzar valores peligrosos.

Medición de potencia trifásica

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya terminado este ejercicio será capaz de calcular las potencias activa, reactiva y aparente de circuitos trifásicos balanceados conectados en estrella o en triángulo. Aprenderá a utilizar un medidor de potencia en circuitos monofásicos. También conocerá cómo medir potencia en circuitos trifásicos de tres y cuatro conductores.

PRINCIPIOS

Cálculo de potencia en circuitos trifásicos balanceados

Como se observó en el ejercicio previo, la potencia activa total P_T entregada a una carga trifásica balanceada (es decir, la potencia activa total disipada en un circuito), se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$P_T = 3 \times P_{Fase} = 3 (E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi)$$

En un circuito conectado en estrella, $E_{Fase} = E_{Línea}/\sqrt{3}$ y la corriente de fase I_{Fase} es igual a la corriente de línea $I_{Línea}$. La ecuación anterior se convierte en:

$$P_T = \frac{3}{\sqrt{3}} \times E_{Línea} \times I_{Línea} \times \cos \varphi$$

El factor $3/\sqrt{3}$ se puede simplificar para obtener $\sqrt{3}$, de tal forma que la ecuación final para la potencia activa total disipada en el circuito conectado en estrella es:

$$P_T = \sqrt{3} (E_{Línea} \times I_{Línea} \times \cos \varphi) \quad (6-1)$$

donde P_T es la potencia activa total disipada en el circuito trifásico expresada en vatios (W)

En un circuito conectado en triángulo, se obtiene la misma ecuación porque la tensión de fase E_{Fase} es igual a la tensión de línea $E_{Línea}$ e $I_{Fase} = I_{Línea}/\sqrt{3}$. Por lo tanto, en todo circuito balanceado conectado en estrella o en triángulo, la potencia activa total P_T disipada en el circuito trifásico se puede calcular utilizando la ecuación (6-1).

Como $(E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi)$ es la expresión que representa la potencia activa P_{Fase} disipada en una sola fase de un circuito trifásico, se desprende que la expresión $E_{Fase} \times I_{Fase}$ representa la potencia aparente en esa única fase. La potencia aparente total S_T en un circuito trifásico balanceado conectado en estrella o en triángulo se puede calcular entonces utilizando la siguiente ecuación:

$$S_T = 3 (E_{Fase} \times I_{Fase}) \quad (6-2)$$

donde S_T es la potencia aparente total en el circuito trifásico, expresada en voltio-amperios (VA)

Siguiendo los mismos pasos utilizados para obtener la ecuación de la potencia activa total P_T en circuitos trifásicos mediante la tensión de línea $E_{Línea}$ y la corriente de línea $I_{Línea}$, la ecuación para la potencia aparente total S_T se puede reescribir como se muestra a continuación:

$$S_T = \sqrt{3} (E_{Línea} \times I_{Línea})$$

El factor de potencia de un circuito trifásico balanceado es la relación entre la potencia activa total y la potencia aparente total (es decir, P_T/S_T) y la relación entre P_T , Q_T y S_T es la misma que para los circuitos ca monofásicos (es decir, $S_T^2 = P_T^2 + Q_T^2$). Por lo tanto, la potencia reactiva total Q_T de un circuito trifásico se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_T = \sqrt{S_T^2 - P_T^2} \quad (6-3)$$

donde Q_T es la potencia reactiva total en el circuito trifásico, expresada en voltio-amperios reactivos (var)

Medición de potencia en circuitos monofásicos

Los instrumentos comerciales disponibles miden directamente la potencia activa, reactiva y aparente. Estos instrumentos se conocen como medidores de potencia. Por lo general, el medidor de potencia cuenta con un selector que le permite medir potencia activa, reactiva o aparente. Un medidor de potencia mide la tensión y corriente del circuito para calcular la potencia. Por lo tanto, todos estos instrumentos tienen en general por lo menos una entrada de tensión y una de corriente para medir dichas variables del circuito. La figura 6-9(a) muestra las conexiones típicas de un medidor de potencia en un circuito monofásico y la figura 6-9(b) muestra las conexiones equivalentes necesarias para medir potencia utilizando el módulo Interfaz de adquisición de datos y de control (DACI).

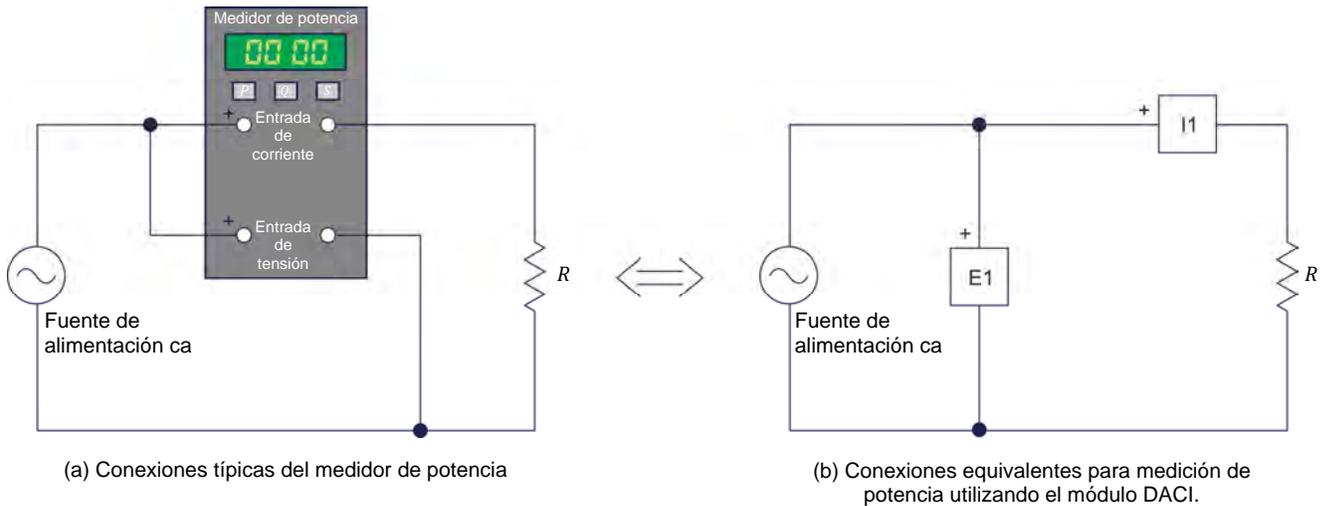


Figura 6-9. Diagramas de circuito que muestran las conexiones requeridas para la medición de potencia.

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores

La medición de la potencia total en un circuito trifásico de cuatro conductores se realiza midiendo la tensión y la corriente en cada fase del circuito (es decir, la tensión en cada elemento de carga y la corriente que fluye en el mismo), calculando la potencia en cada fase a partir de la tensión y la corriente medidas y sumando los valores de potencia medidos en las tres fases. En otras palabras, es como medir la potencia en cada fase de manera independiente utilizando tres medidores de potencia y sumando los tres valores medidos. La figura 6-10 muestra las conexiones requeridas para medir la potencia total en un circuito trifásico de cuatro conductores utilizando el módulo DACI. Observe que en el diagrama del circuito, las entradas E1 e I1, las entradas E2 e I2 y las entradas E3 e I3, representan cada una un medidor de potencia.

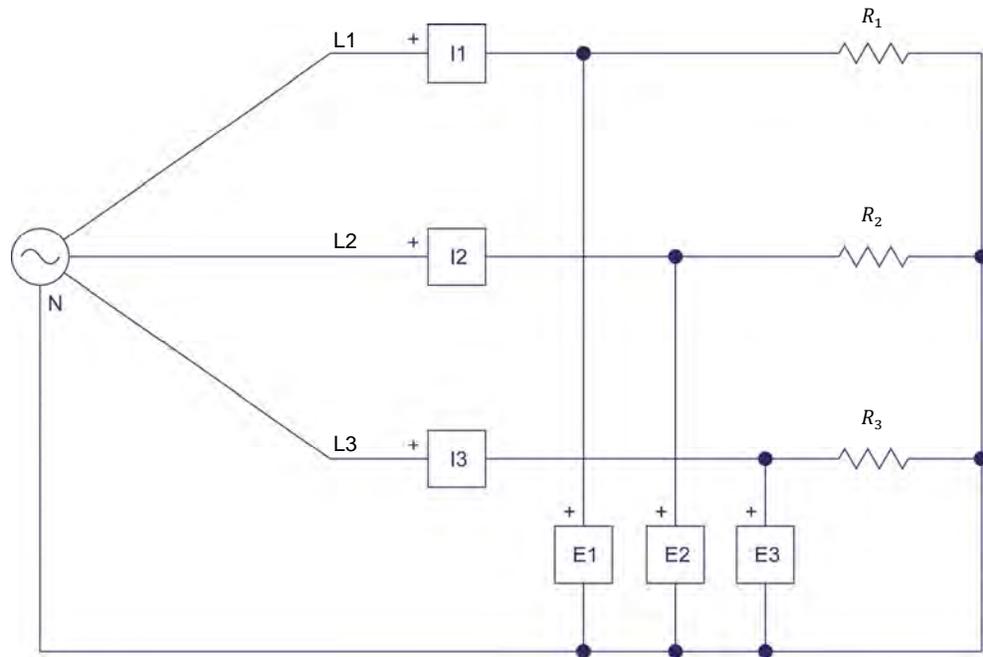


Figura 6-10. Medición de potencia trifásica utilizando tres medidores de potencia.

El método de medición de potencia mostrado en la figura 6-10 se puede utilizar para medir la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en circuitos trifásicos de cuatro conductores. Este método de medición de potencia funciona sin importar si el circuito trifásico está balanceado o no.

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (método de los dos vatímetros)

Un circuito trifásico de tres conductores es simplemente un circuito trifásico con tres conductores de línea pero sin conductor neutro. Los circuitos trifásicos de tres conductores se utilizan de manera corriente porque permiten transportar potencia trifásica utilizando tres conductores en lugar de cuatro. Esto hace que estos circuitos sean más económicos que los circuitos trifásicos de cuatro conductores.

El método para medir la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores visto en la sección anterior no se puede utilizar para medir la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores. Por ejemplo, cuando la carga se conecta en configuración en estrella, las corrientes de fase se pueden medir pero las tensiones de fase (tensión en cada elemento de carga) no, porque el punto neutro generalmente no está disponible para conectar las entradas de tensión de los medidores de potencia, como lo muestra la figura 6-11.

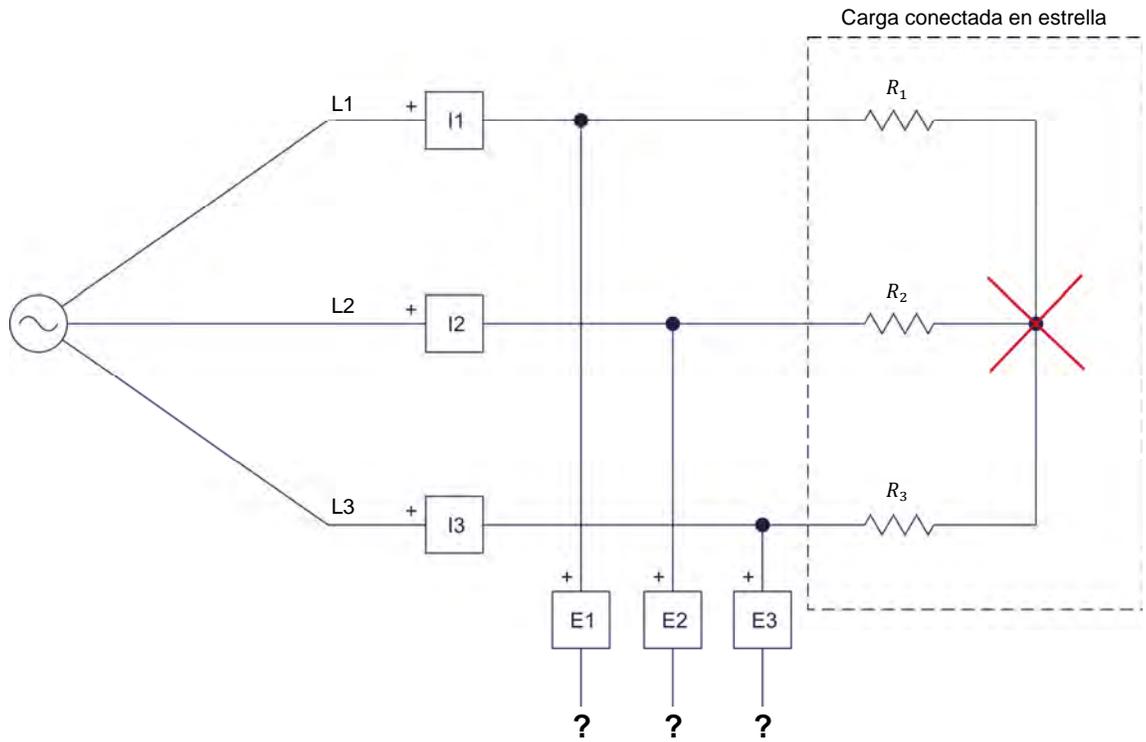


Figura 6-11. Diagrama de circuito trifásico de tres conductores conectado en estrella que muestra que las entradas de tensión de los medidores de potencia generalmente no se pueden conectar al punto neutro del circuito.

De forma similar, cuando se conecta la carga en configuración en triángulo, las tensiones de fase se pueden medir pero las corrientes de fase (corriente que fluye hacia cada elemento de carga) no, porque el acceso individual a cada elemento de carga no es posible (es decir, es imposible conectar la entradas de corriente de los medidores para medir las corrientes de fase), como lo muestra la figura 6-12.

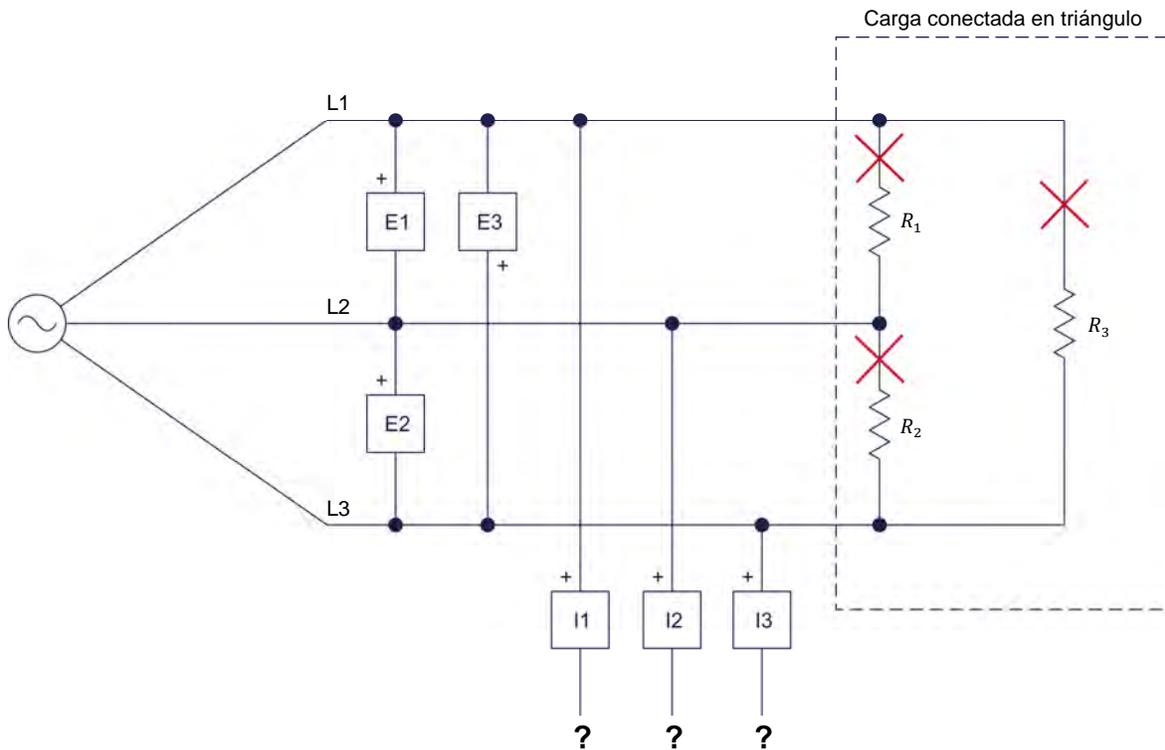


Figura 6-12. Diagrama de un circuito trifásico de tres conductores conectado en triángulo que muestra que las entradas de corriente de los medidores de potencia no se pueden conectar para medir las corrientes de fase.

Para medir la potencia total (ya sea la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T o la potencia aparente total S_T) en circuitos trifásicos de tres conductores, se puede utilizar un método que emplea sólo dos medidores de potencia. Este método se conoce normalmente como **método de los dos vatímetros** porque inicialmente se implementó con dos vatímetros en lugar de dos medidores de potencia. La figura 6-13 muestra las conexiones de las entradas de tensión y corriente de los dos medidores de potencia requeridos por dicho método para medir potencia trifásica. Observe que las entradas de tensión y corriente de los medidores de potencia se deben conectar con la polaridad indicada en la figura para obtener mediciones correctas.

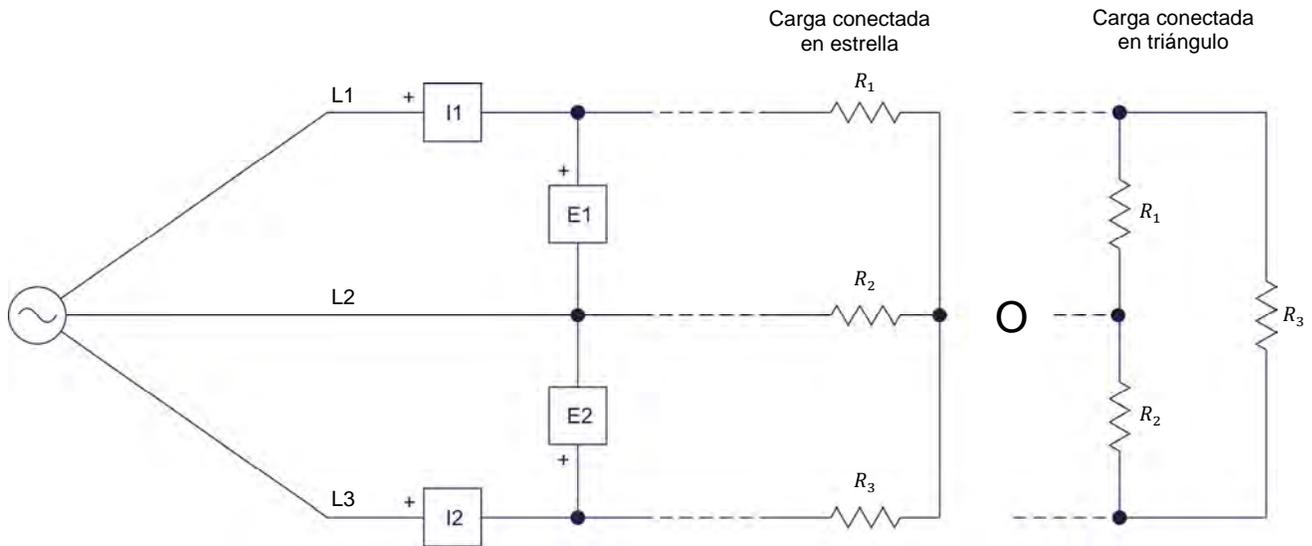


Figura 6-13. Conexiones de las entradas de tensión y corriente de los medidores de potencia en un circuito trifásico de tres conductores cuando se mide la potencia total utilizando el método de los dos vatímetros.

La potencia total (ya sea activa, reactiva o aparente) en circuitos trifásicos de tres conductores es simplemente igual a la suma de los valores de potencia indicados por los dos medidores de potencia. Este método de medición funciona ya sea que el circuito esté balanceado o no.

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores utilizando el método de los dos vatímetros

El método de los dos vatímetros para medición de potencia también se puede utilizar para medir la potencia total (ya sea activa, reactiva o aparente) en circuitos trifásicos de cuatro conductores. Esto es útil porque el método de los dos vatímetros requiere sólo dos medidores de potencia (es decir, dos entradas de tensión y dos entradas de corriente) en lugar de tres (es decir, tres entradas de tensión y tres entradas de corriente) como se vio anteriormente en la teoría. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado cuando se usa el método de los dos vatímetros para medir la potencia total de un circuito trifásico de cuatro conductores, porque el método sólo funciona con circuitos balanceados.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

Montaje y conexiones

En esta sección configurará el equipo para medir potencia en un circuito trifásico de cuatro conductores.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva y la Carga capacitiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-5 y luego asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES16-6a.dai*.



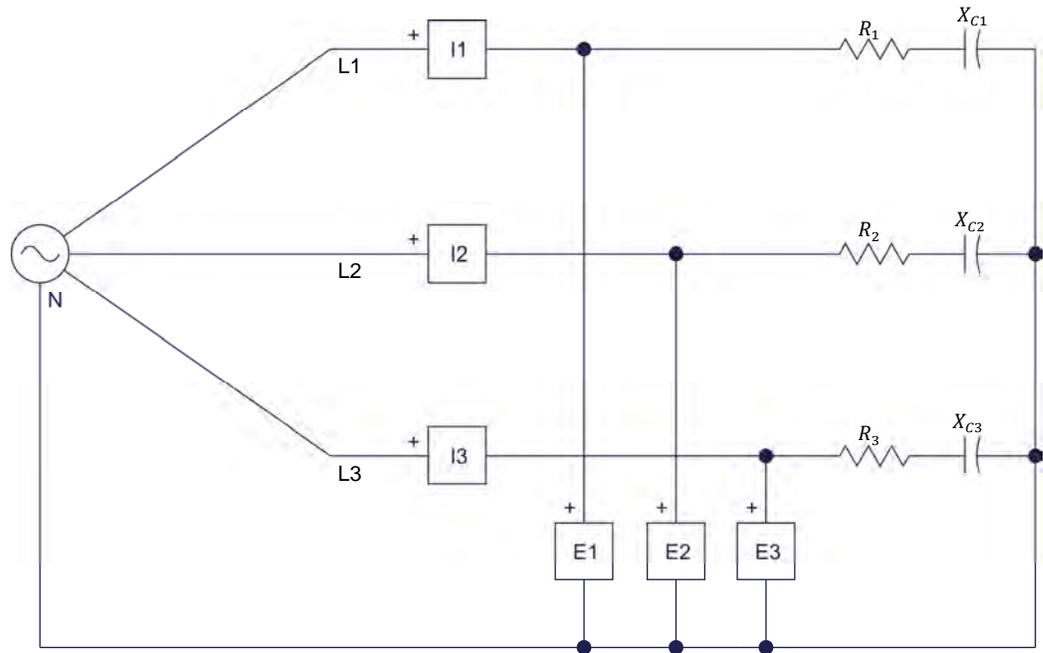
Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

Asegúrese de que el modo de Regeneración continua está seleccionado.

5. Configure el circuito mostrado en la figura 6-14.



Red local de potencia ca		R_1, R_2, R_3 (Ω)	X_{C1}, X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	171	240
220	50	629	880
220	60	629	880
240	50	686	960

Figura 6-14. Configuración de un circuito trifásico balanceado de cuatro conductores conectado en estrella para medición de potencia.

6. Asegúrese de hacer los ajustes necesarios en los módulos Carga resistiva y Carga capacitiva para obtener los valores de resistencia y reactancia capacitiva requeridos.

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores

En esta sección resolverá el circuito configurado en la sección previa calculando los valores de potencia activa, reactiva y aparente de cada fase del circuito. Medirá los valores de tensión, corriente y potencia para confirmar que los parámetros medidos son iguales a los calculados. Luego desbalanceará el circuito trifásico modificando la impedancia en una de sus fases y resolverá el circuito trifásico desbalanceado resultante. Finalmente, medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales para verificar que los parámetros medidos del circuito son iguales a los calculados en el mismo, confirmando así que la potencia total tanto en circuitos trifásicos de cuatro conductores balanceados como desbalanceados, se puede medir utilizando tres medidores de potencia.

7. Resuelva el circuito de la figura 6-14 para determinar los siguientes parámetros: potencia activa P , potencia reactiva Q y potencia aparente S en cada fase del circuito, así como la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T .

8. Encienda la fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión de forma tal que la tensión de la fuente de alimentación (indicada por el medidor E_{1-N}) sea igual a la tensión nominal de la red local ca. No cambie los ajustes de la tensión hasta el final del ejercicio.

Mida y registre a continuación las tensiones y corrientes en el circuito de la figura 6-14, así como las potencias activa, reactiva y aparente en cada fase del circuito, luego apague la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.



Puede cambiar el tipo de potencia (es decir, activa, reactiva o aparente) medida por el medidor de potencia en la ventana Aparatos de medición haciendo clic en el botón Modo del medidor. Con este método, puede realizar rápidamente todas las mediciones de potencia activa, luego todas las mediciones de potencia reactiva y finalmente todas las mediciones de potencia aparente utilizando los mismos tres medidores.

Mediciones de tensión y corriente:

$$E_{1-N} = \text{_____ V}$$

$$E_{2-N} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-N} = \text{_____ V}$$

$$I_{Fase 1} = \text{_____ A}$$

$$I_{Fase 2} = \text{_____ A}$$

$$I_{Fase 3} = \text{_____ A}$$

Mediciones de potencia activa, reactiva y aparente:

$$P_1 = \text{_____ W}$$

$$P_2 = \text{_____ W}$$

$$P_3 = \text{_____ W}$$

$$Q_1 = \text{_____ var}$$

$$Q_2 = \text{_____ var}$$

$$Q_3 = \text{_____ var}$$

$$S_1 = \text{_____ VA}$$

$$S_2 = \text{_____ VA}$$

$$S_3 = \text{_____ VA}$$

9. Compare los valores de tensión, corriente y potencia (activa, reactiva y aparente) medidos en el paso anterior con los valores de los parámetros calculados en el paso 7. ¿Estos valores son aproximadamente iguales?

Sí No

10. Abra el archivo de configuración *ES16-7a.dai*. Este archivo adiciona un medidor en la ventana *Medición* que indica la potencia total en el circuito trifásico.

11. Encienda la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

Mida y registre sucesivamente la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor configurado para la medición de potencia total, luego apague la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

$$P_T = \text{_____ W}$$

$$Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

Compare los valores de potencia total que acaba de medir con la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T calculada en el paso 7 y medida en el paso 8 ¿Todos los valores son aproximadamente iguales?

Sí No

12. Modifique las configuraciones en los módulos Carga resistiva y Carga capacitiva del circuito de la figura 6-14 para obtener los valores de resistencia y reactancia capacitiva indicados en la tabla 6-1. Debido a estas modificaciones, la carga trifásica ahora está desbalanceada (es decir, la primera fase del circuito tiene una impedancia diferente a la de la segunda y tercera fases).

Tabla 6-1. Valores de resistencia y reactancia capacitiva utilizados para desbalancear el circuito trifásico de cuatro conductores conectado en estrella de la figura 6-14.

Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	R_2, R_3 (Ω)	X_{C1} (Ω)	X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	300	171	600	240
220	50	1100	629	2200	880
220	60	1100	629	2200	880
240	50	1200	686	2400	960

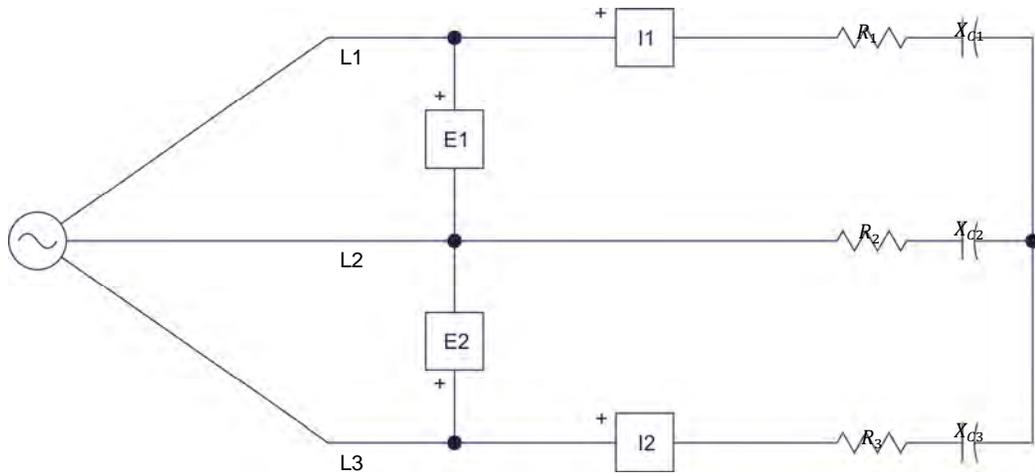
Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (configuración en estrella)

En esta sección configurará un circuito trifásico balanceado de tres conductores conectado en estrella. Medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales en el circuito utilizando el método de los dos vatímetros y verificará que los valores de potencia medidos son iguales a los valores calculados, confirmando así que el método de los dos vatímetros funciona para medir la potencia total en circuitos trifásicos balanceados de tres conductores.

16. Configure el circuito mostrado en la figura 6-15.



La carga trifásica balanceada en el circuito de la figura 6-15 es idéntica a la que se utilizó en la sección previa de este ejercicio. La potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T son en conclusión iguales a aquellas que se calcularon en la sección previa (ver paso 7) del ejercicio.



Red local de potencia ca		R_1, R_2, R_3 (Ω)	X_{C1}, X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	171	240
220	50	629	880
220	60	629	880
240	50	686	960

Figura 6-15. Configuración de un circuito trifásico balanceado de tres conductores conectado en estrella para medición de potencia mediante el método de los dos vatímetros.

17. Asegúrese de hacer los ajustes necesarios en los módulos Carga resistiva y Carga capacitiva para obtener los valores de resistencia y reactancia capacitiva requeridos.

18. Abra el archivo de configuración *ES16-8a.dai*.

19. Encienda la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

Mida y registre sucesivamente la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor configurado para la medición de potencia total, luego apague la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

$$P_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$$

$$Q_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ var}$$

$$S_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$$

20. Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T medidas en el paso anterior con los valores calculados en el paso 7. ¿Todos los valores son aproximadamente iguales?

Sí No

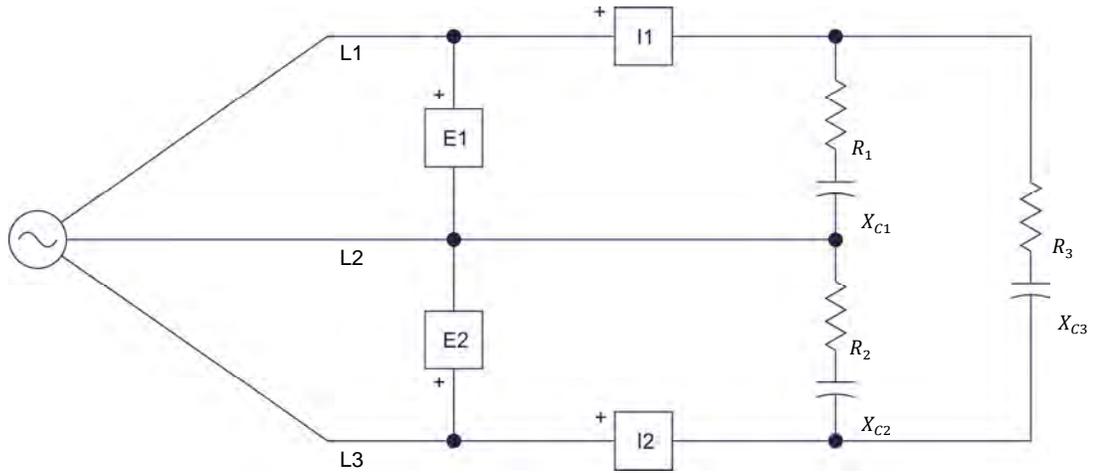
El método de los dos vatímetros se puede utilizar para medir la potencia total en circuitos trifásicos balanceados de tres conductores conectados en estrella. ¿Las mediciones realizadas en esta sección lo confirman?

Sí No

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores (configuración en triángulo)

En esta sección configurará un circuito trifásico balanceado de tres conductores conectado en triángulo. Resolverá el circuito calculando los valores de potencia activa, reactiva y aparente en cada fase del mismo y los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales. Medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales utilizando el método de los dos vatímetros y confirmará que los valores medidos son iguales a los valores calculados. Luego desbalanceará el circuito trifásico modificando la impedancia de una de sus fases y resolverá el circuito trifásico desbalanceado resultante. Finalmente, medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales utilizando el método de los dos vatímetros y verificará que los valores medidos son iguales a los valores calculados confirmando así que dicho método se puede utilizar para medir la potencia total tanto en circuitos trifásicos de tres conductores balanceados como desbalanceados.

21. Configure el circuito que se muestra en la figura 6-16.



Red local de potencia ca		R_1, R_2, R_3 (Ω)	X_{C1}, X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	171	240
220	50	629	880
220	60	629	880
240	50	686	960

Figura 6-16. Configuración de un circuito trifásico balanceado de tres conductores conectado en triángulo para la medición de potencia utilizando el método de los dos vatímetros.

22. Haga los ajustes necesarios en los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva** para obtener los valores de resistencia y reactancia capacitiva requeridos.

- 23.** Resuelva el circuito de la figura 6-16 para determinar los siguientes parámetros: potencia activa P , potencia reactiva Q y potencia aparente S en cada fase del circuito, así como la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T .

- 24.** Encienda la fuente alimentación.

Mida y registre sucesivamente la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor configurado para la medición de potencia total, luego apague la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

$$P_T = \text{_____ W}$$

$$Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

- 25.** Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T medidas en el punto anterior con los valores calculados en el paso 23. ¿Todos los valores son aproximadamente iguales?

Sí No

- 26.** Modifique los valores en los módulos Carga resistiva y Carga capacitiva del circuito de la figura 6-16 para obtener los valores de resistencia y reactancia capacitiva indicados en la tabla 6-2. Debido a estas modificaciones, la carga trifásica ahora está desbalanceada (es decir, la primera fase del circuito tiene una impedancia diferente a la de la segunda y tercera fases).

29. Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T medidas en el paso anterior con los valores calculados en el paso 27. ¿Todos los valores son aproximadamente iguales?

Sí No

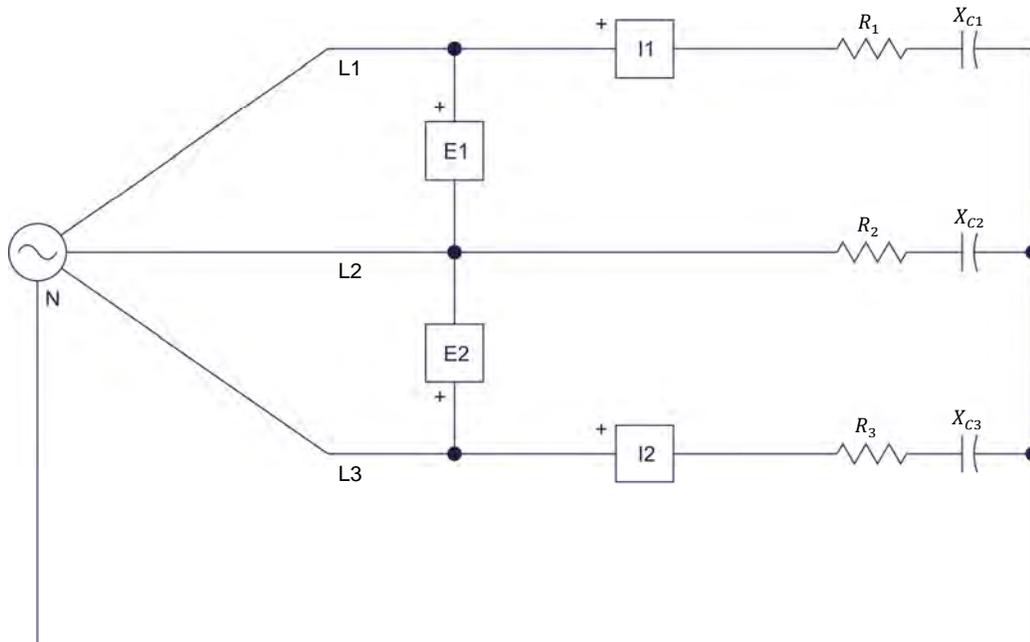
El método de medición de potencia de los dos vatímetros se puede utilizar para medir la potencia total en circuitos trifásicos de tres conductores conectados en triángulo tanto balanceados como desbalanceados. ¿Las mediciones realizadas en esta sección lo confirman?

Sí No

Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores utilizando el método de los dos vatímetros

En esta sección configurará un circuito trifásico balanceado de cuatro conductores conectado en estrella similar (con la misma carga pero con entradas de tensión y corriente conectadas para la medición de potencia total utilizando el método de los dos vatímetros) al que configuró en la sección "Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores" de este ejercicio. Medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales en el circuito utilizando el método de los dos vatímetros y confirmará que los valores medidos son iguales a los valores calculados para el circuito trifásico balanceado de la sección "Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores" de este ejercicio. Luego desbalanceará el circuito trifásico modificando la impedancia en una fase del mismo. Finalmente, medirá los valores de potencia activa, reactiva y aparente totales en el circuito y verificará que los valores medidos difieren de los valores calculados para el circuito trifásico desbalanceado de la sección "Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores" de este ejercicio. Confirmará que el método de los dos vatímetros para la medición de potencia sólo se puede utilizar en circuitos trifásicos de cuatro conductores que estén balanceados.

30. Configure el circuito que se muestra en la figura 6-17.



Red local de potencia ca		R_1, R_2, R_3 (Ω)	X_{C1}, X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	171	240
220	50	629	880
220	60	629	880
240	50	686	960

Figura 6-17. Configuración de un circuito trifásico de cuatro conductores conectado en estrella para la medición de potencia utilizando el método de los dos vatímetros.

31. Haga los ajustes necesarios en los módulos Carga resistiva y Carga capacitiva para obtener los valores de resistencia y reactancia capacitiva requeridos.



El circuito trifásico balanceado que acaba de configurar corresponde al circuito trifásico balanceado de cuatro conductores utilizado en la sección "Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores" de este ejercicio. Los cálculos requeridos para resolver el circuito son idénticos y no es necesario repetirlos.

32. Encienda la Fuente de alimentación.

Mida y registre sucesivamente la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor configurado para la medición de potencia total, luego apague la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

$$P_T = \text{_____ W}$$

$$Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

33. Compare la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T medidas en el paso anterior con los valores calculados en el paso 7. ¿Todos los valores son aproximadamente iguales?

Sí No

34. Modifique los valores en los módulos **Carga resistiva** y **Carga capacitiva** del circuito de la figura 6-17 para obtener los valores de resistencia y reactancia capacitiva indicados en la tabla 6-3. Debido a estas modificaciones, la carga trifásica ahora está desbalanceada (es decir, la primera fase del circuito tiene una impedancia diferente a la de la segunda y tercera fases).

El circuito trifásico que acaba de configurar corresponde al circuito trifásico desbalanceado de cuatro conductores utilizado en la sección “Medición de la potencia total en circuitos trifásicos de cuatro conductores” de este ejercicio. Los cálculos requeridos para resolver el ejercicio son idénticos y no es necesario repetirlos.

Tabla 6-3. Valores de resistencia y reactancia capacitiva utilizados para desbalancear el circuito trifásico de cuatro conductores conectado en estrella.

Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	R_2, R_3 (Ω)	X_{C1} (Ω)	X_{C2}, X_{C3} (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)				
120	60	300	171	600	240
220	50	1100	629	2200	880
220	60	1100	629	2200	880
240	50	1200	686	2400	960

35. Encienda la Fuente de alimentación.

Mida y registre sucesivamente la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T en el circuito utilizando el medidor configurado para la medición de potencia total, luego apague la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

$$P_T = \text{_____ W}$$

$$Q_T = \text{_____ var}$$

$$S_T = \text{_____ VA}$$

36. Compare los valores de la potencia activa total P_T , la potencia reactiva total Q_T y la potencia aparente total S_T medidos en el paso anterior con los valores de potencia calculados en el paso 13. ¿Todos los valores son iguales?

Sí No

¿Qué conclusiones puede sacar con respecto al método de medición de potencia de los dos vatímetros en circuitos trifásicos de cuatro conductores?

37. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted aprendió a calcular la potencia activa, reactiva y aparente en circuitos trifásicos balanceados conectados en estrella y en triángulo. También aprendió a utilizar los medidores de potencia en circuitos trifásicos. Observó cómo medir la potencia en circuitos trifásicos de tres y cuatro conductores y aprendió cuándo es posible utilizar el método de los dos vatímetros para medir potencia en esos circuitos.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un circuito trifásico puramente resistivo conectado en triángulo tiene una tensión de línea $E_{Línea}$ de 100 V y una corriente de línea $I_{Línea}$ de 1,5 A. Calcule la potencia activa total P_T disipada en la carga resistiva del circuito.
 - a. 260 W
 - b. 300 W
 - c. 450 W
 - d. 150 W

2. Explique cómo conectar dos medidores de potencia a las líneas de un circuito trifásico de tres conductores cuando se utiliza el método de los dos vatímetros para medición de potencia.
 - a. la entrada de corriente de uno de los medidores de potencia se conecta para medir la corriente de línea que fluye en uno de los cables de línea del circuito, mientras que la segunda entrada se conecta para medir la corriente de línea en el neutro. Una entrada de tensión del medidor de potencia está conectada para medir la tensión de línea entre dos cables de línea y la otra entrada para medir dicha tensión entre un cable de línea y uno de línea a neutro.
 - b. Las entradas de corriente de los medidores de potencia están conectadas para medir la corriente de línea que fluye en dos de los cables de línea del circuito, mientras que las entradas de tensión están conectadas para medir la tensión de línea entre cada una de los dos cables de línea conectados a las entradas de corriente y al cable de neutro.
 - c. Las entradas de corriente de los medidores de potencia están conectadas para medir la corriente que fluye en dos de los cables de línea, mientras que las entradas de tensión están conectadas para medir la tensión de línea entre dos de los cables de línea conectados a las entradas de corriente y el cable de línea restante.
 - d. La entrada de corriente de uno de los medidores de potencia esta conectada para medir la corriente de línea que fluye en uno de los cables de línea del circuito, mientras que la segunda entrada de corriente está conectada para medir la corriente de línea que fluye en dos de los cables de línea del circuito. Una entrada de tensión del medidor de potencia se conecta entonces a un cable de tensión de línea y al cable de línea neutro.

3. Un circuito trifásico balanceado resistivo y capacitivo conectado en estrella tiene una tensión de fase E_{Fase} de 80 V y una corriente de fase I_{Fase} de 2,5 A. Calcule la potencia aparente total S_T en el circuito.
 - a. 350 VA
 - b. 800 VA
 - c. 600 VA
 - d. 1000 VA

4. Un circuito trifásico balanceado de tres conductores resistivo y capacitivo se conecta a dos medidores de potencia configurados para la medición de potencia utilizando el método de los dos vatímetros. Los dos medidores indican lecturas de potencia activa de 175 W y -35 W. Calcule la potencia activa total P_T disipada en el circuito.
 - a. 120 W
 - b. 375 W
 - c. 230 W
 - d. 140 W

5. El método de medición de potencia de los dos vatímetros para medir la potencia total en el circuito, ¿en qué tipo de circuitos trifásicos no funciona?
 - a. en circuitos trifásicos de cuatro conductores desbalanceados
 - b. en circuitos trifásicos de tres conductores balanceados
 - c. en circuitos trifásicos de tres conductores desbalanceados
 - d. en ninguno de los anteriores

Secuencia de fase

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya completado este ejercicio sabrá qué es la secuencia de fases y por qué es importante conocerla en un sistema de potencia trifásico. Será capaz de determinar la secuencia de fases de un sistema trifásico utilizando un osciloscopio.

PRINCIPIOS

Fundamentos de la secuencia de fases

Como se mencionó antes en este manual, un sistema trifásico es un sistema polifásico en el que tres tensiones E_A , E_B y E_C tienen igual magnitud y están desfasadas 120° entre sí. Sin embargo, el simple hecho de decir que las tensiones están 120° fuera de fase no es suficiente para describir al sistema. El orden en el que las tensiones se suceden entre sí, es decir, la secuencia de fases del sistema de potencia, es también importante.

La secuencia de fases de un sistema se determina directamente en la estación generadora de potencia por la dirección de rotación de los generadores ca. La figura 6-18a muestra un sistema de potencia trifásico girando en sentido horario (cw). La secuencia de fases es entonces A-B-C-A-B-C.... La figura 6-18b y la figura 6-18c muestran las formas de onda y el diagrama de fasores correspondiente a las tensiones de fase, respectivamente.

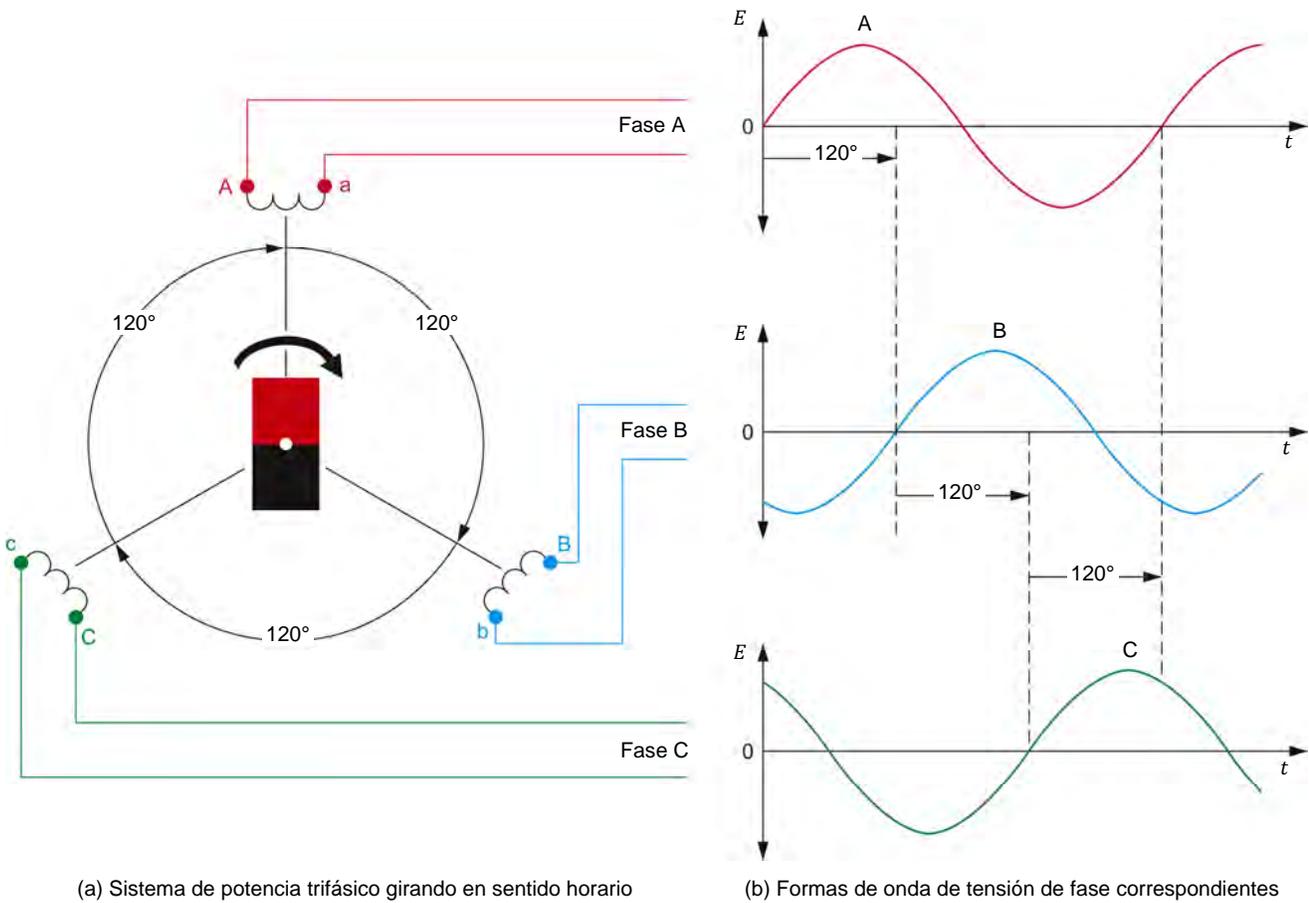
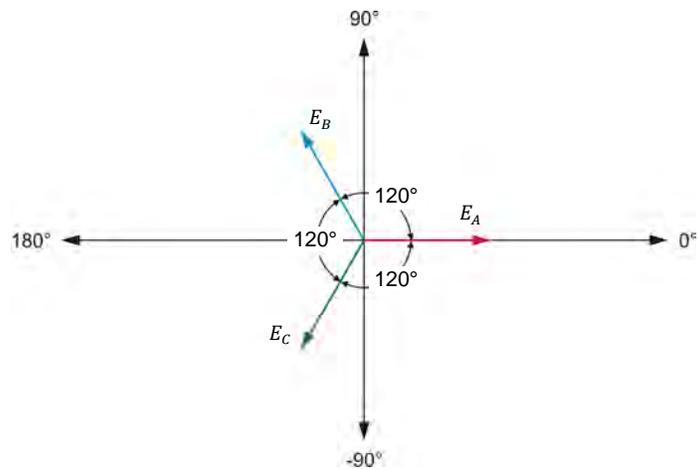
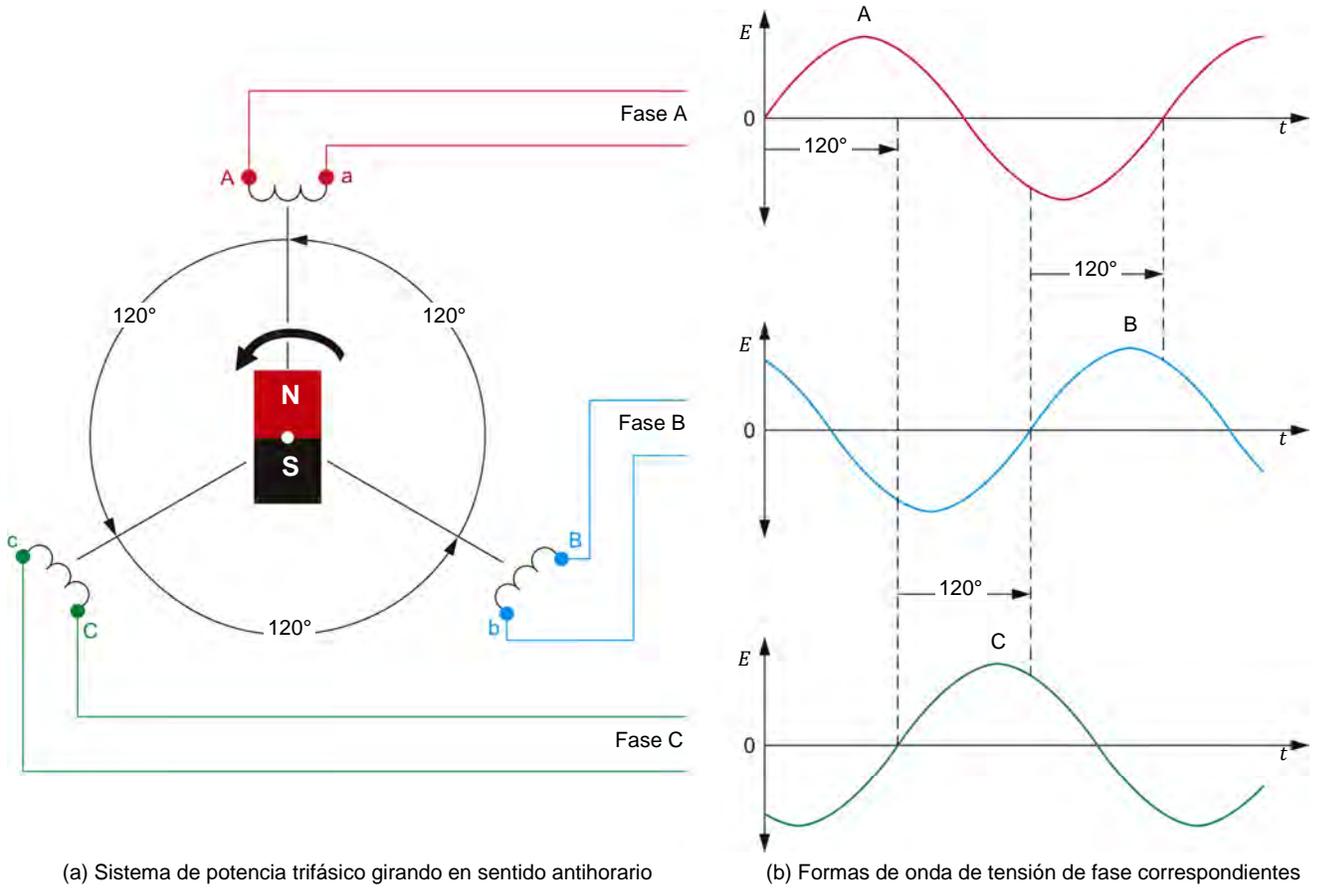


Figura 6-18. Secuencia de fases A-B-C-A-B-C...

La figura 6-19a, por otro lado, muestra el mismo sistema de potencia trifásico girando en sentido antihorario (ccw). La secuencia de fases correspondiente es A-C-B-A-C-B.... La figura 6-19b y la figura 6-19c muestran las formas de onda y

Property of Festo Didactic
 Sale and/or reproduction forbidden

el diagrama de fasores correspondiente a las tensiones de fase, respectivamente.



(c) Diagrama de fasores de tensiones de fase correspondiente

Figura 6-19. Secuencia de fases A-C-B-A-C-B...

Property of Festo Didactic
 Sale and/or reproduction forbidden

Cuando la secuencia de fases A-B-C se escribe como A-B-C-A-B-C..., es claro que B-C-A y C-A-B representan la misma secuencia que A-B-C y que solamente ha cambiado la fase utilizada como referencia para describir la secuencia. La secuencia opuesta a A-B-C es A-C-B, que es la misma secuencia que C-B-A y B-A-C (como se demostró cuando la secuencia se escribe en la forma A-C-B-A-C-B...). Por lo tanto, la secuencia de fases de un sistema trifásico se puede invertir simplemente intercambiando dos de las fases del sistema.

Cuando se conecta un motor trifásico a la alimentación eléctrica, es fundamental conocer la secuencia de fases del sistema de distribución porque la dirección en la que el motor girará depende de dicha secuencia. Considere por ejemplo la conexión a la red de un motor trifásico de 4000 kW. Se necesitan varias horas de trabajo de un técnico en electricidad para conectar los tres enormes conductores del motor a la red trifásica local. Si no se conoce la secuencia de fases con anterioridad, hay un cincuenta por ciento de probabilidad de que el motor gire en la dirección equivocada. En ese caso todo el trabajo deberá realizarse nuevamente y se corre el riesgo de dañar el equipo si el motor está conectado a la carga. Otra situación en la que la secuencia de fases es de importancia crítica, es cuando se requiere potencia adicional en una red de potencia ca trifásica y se debe añadir uno o más alternadores (generadores ca trifásicos) para compartir la carga. Si en el momento de conectar los alternadores en paralelo la secuencia de fases es incorrecta, se provocarán serios daños cuando se cierre el interruptor que conecta los alternadores a la red de potencia.

Determinación de la secuencia de fases de un sistema de potencia trifásico utilizando un osciloscopio

La secuencia de fases de un sistema de potencia trifásico se puede determinar de forma rápida observando las formas de onda de la tensión de fase del sistema en un osciloscopio. La figura 6-20 muestra la pantalla de un osciloscopio en el momento en que los canales 1, 2 y 3 están conectados a las fases A, B y C, respectivamente de una fuente de potencia ca trifásica. En este caso, las formas de onda de tensión de las fases A, B y C se muestran en secuencia desde la parte superior hasta la parte inferior de la pantalla del osciloscopio, indicando por consiguiente que la secuencia de fases con las conexiones actuales a los canales 1, 2 y 3 es A-B-C.

Configuración del Osciloscopio
 Escala del canal 1.....200 V/div
 Escala del canal 2.....200 V/div
 Escala del canal 3.....200 V/div
 Escala de tiempo 5 ms/div

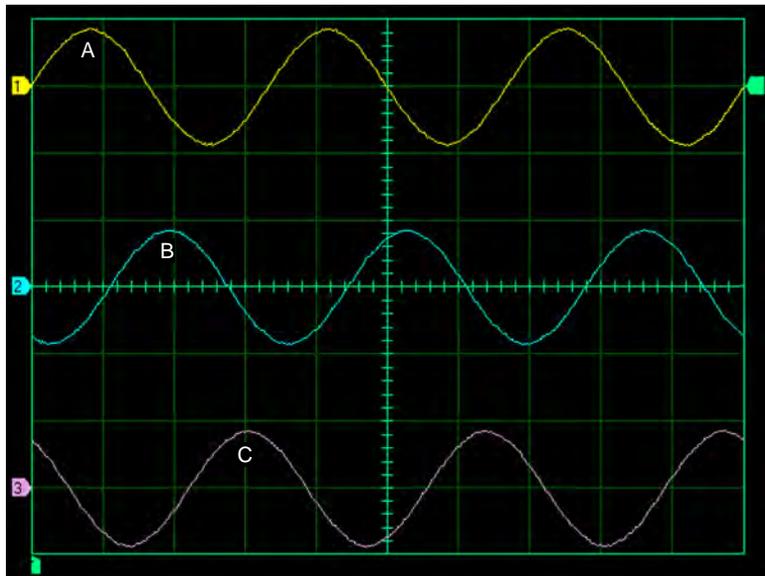


Figura 6-20. Pantalla de un osciloscopio cuando los canales 1, 2 y 3 están conectados a las fases A, B y C respectivamente de una fuente de potencia ca trifásica.

En la figura 6-21, se invirtieron las conexiones a las fases B y C de la fuente de potencia ca trifásica y los canales 1, 2 y 3 del osciloscopio están ahora conectados a las fases A, C y B respectivamente. En este caso, las formas de onda de tensión de las fases A, C y B aparecen en secuencia desde la parte superior hasta la parte inferior de la pantalla del osciloscopio, indicando por consiguiente que la secuencia de fases con las conexiones actuales a los canales 1, 2 y 3 es A-C-B. Por lo tanto, la pantalla del osciloscopio muestra claramente que la secuencia de fases se ha invertido.

Configuración del Osciloscopio
 Escala del canal 1.....200 V/div
 Escala del canal 2.....200 V/div
 Escala del canal 3.....200 V/div
 Escala de tiempo 5 ms/div

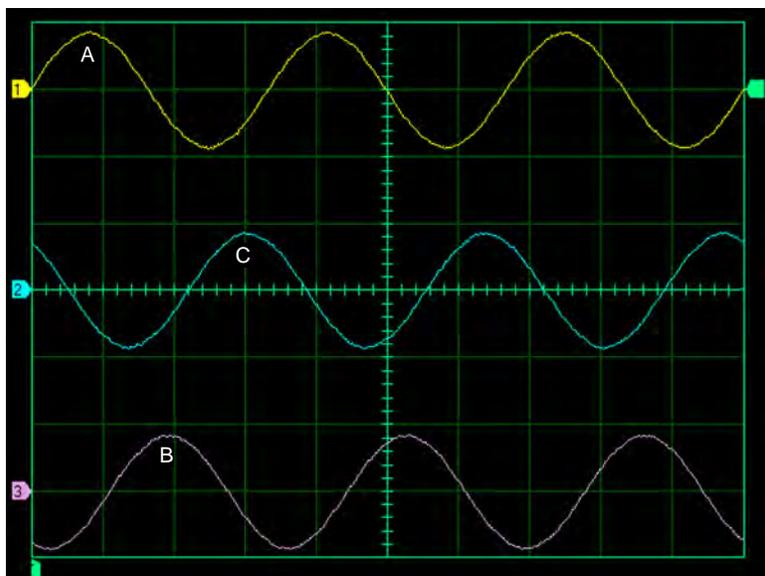


Figura 6-21. Pantalla de un osciloscopio cuando los canales 1, 2 y 3 están conectados a las fases A, C y B respectivamente de una fuente de potencia ca trifásica.

Conexión de un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico

Cuando el conductor neutro de un sistema de potencia trifásico está disponible, cada canal del osciloscopio se puede conectar directamente al conductor de línea y al conductor neutro para medir una tensión de fase, como se muestra en la figura 6-22.

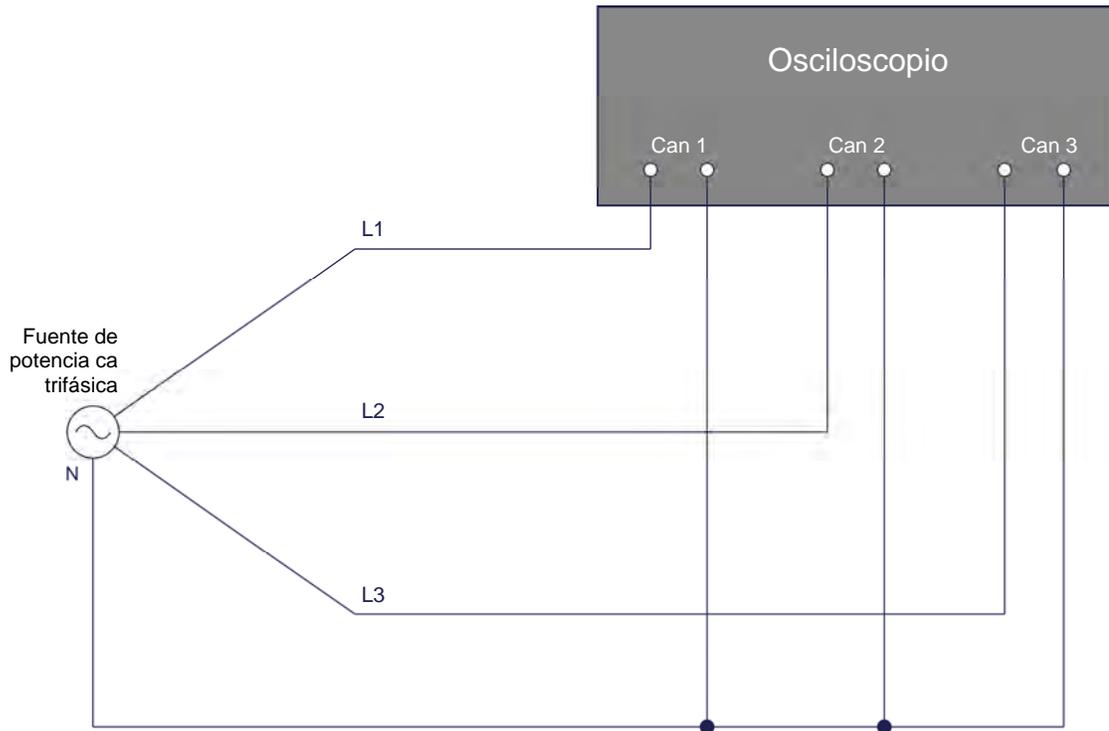


Figura 6-22. Conexión de un osciloscopio para un sistema de potencia trifásico de cuatro conductores.

En la mayoría de los casos no es posible realizar la conexión directa de un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico de tres conductores para medir las tensiones de fase, porque generalmente el punto neutro no está disponible. En este caso, se conecta temporalmente una carga resistiva balanceada conectada en estrella a los conductores de línea del sistema de potencia trifásico y cada canal del osciloscopio se conecta para medir la tensión de fase en cada una de las resistencias de carga. La figura 6-23 muestra las conexiones requeridas para conectar un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico de tres conductores (sistema sin conductor neutro).

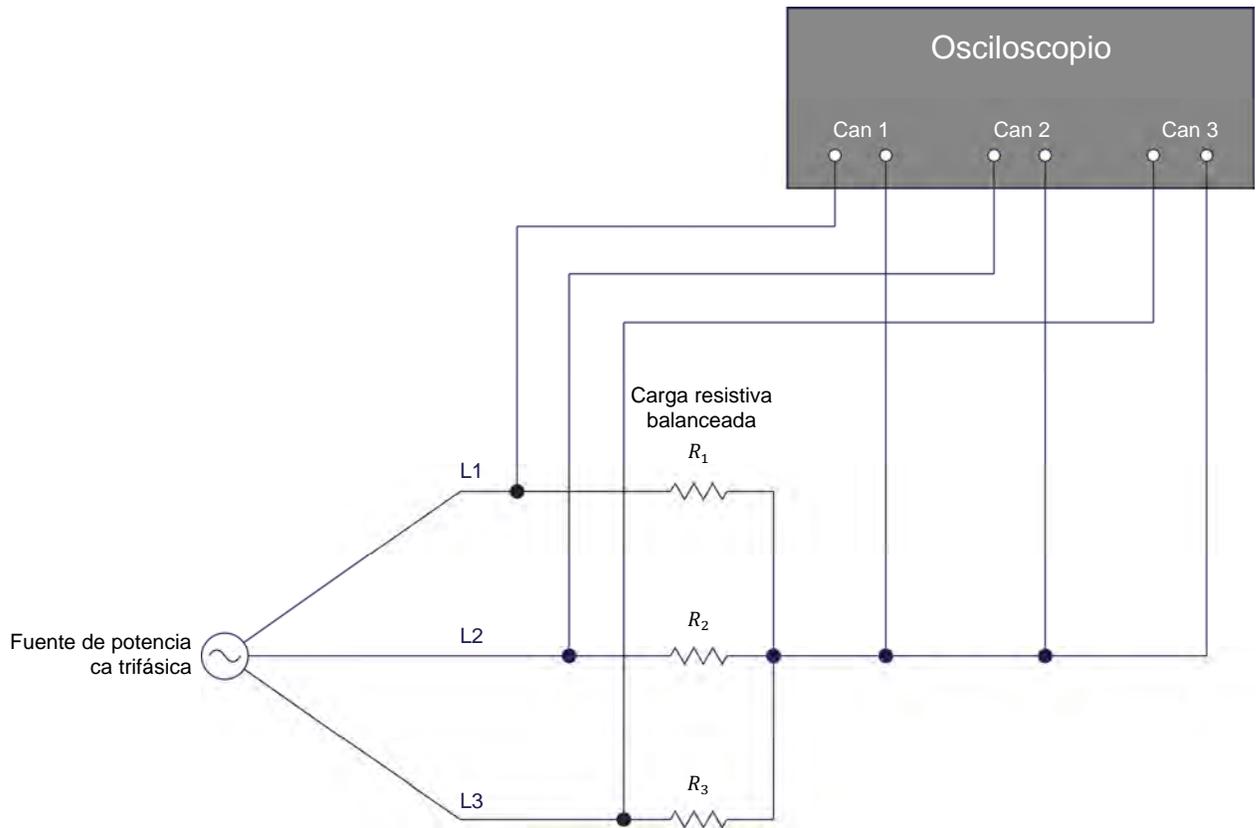


Figura 6-23. Conexión de un osciloscopio a un sistema de potencia trifásico de tres conductores (sistema sin conductor neutro).

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

Montaje y conexiones

En esta sección configurará el equipo para determinar la secuencia de fases en la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale: la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva, la Carga capacitiva, la Carga inductiva.

2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES16-11a.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.



Este ejercicio fue realizado con la configuración por defecto. Si se requiere, ésta se puede cambiar durante el ejercicio.

5. Configure el circuito mostrado en la figura 6-24.

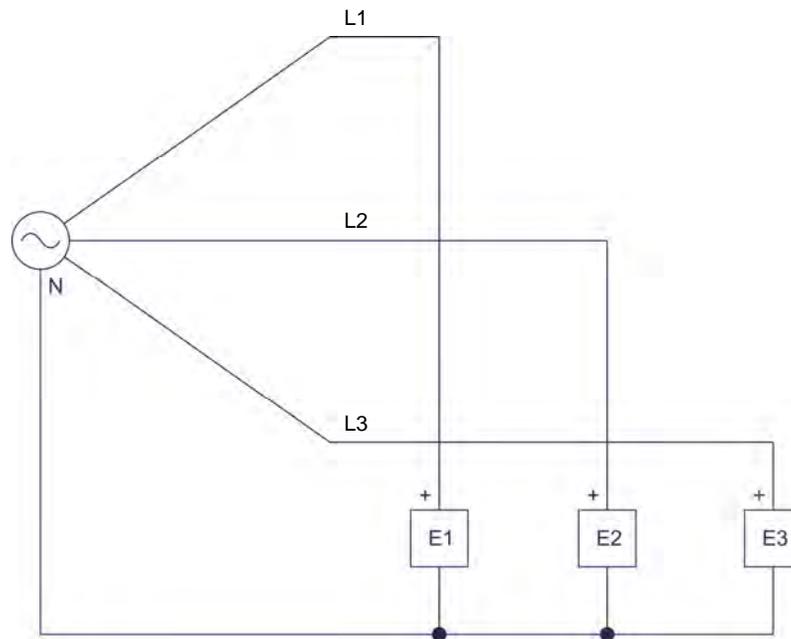


Figura 6-24. Configuración del circuito para determinar la secuencia de fases de la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

Determinación de la secuencia de fases de la fuente de potencia ca trifásica

En esta sección determinará la secuencia de fases en la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación mediante la observación de las formas de onda de tensión de fase en el Osciloscopio y confirmará la secuencia de fases observando los fasores de tensión de fase en el Analizador de fasores. Luego intercambiará las conexiones en dos de los terminales de la fuente de potencia ca trifásica y determinará la nueva secuencia de fases utilizando el Osciloscopio. Finalmente, confirmará la nueva secuencia de fases utilizando el Analizador de fasores.

6. Encienda la fuente de alimentación principal y ajuste la perilla de control de tensión de forma tal que la tensión de la Fuente de alimentación (indicada por el medidor E_{1-N}) sea igual a la tensión nominal de la red local ca. No cambie los ajustes de la tensión hasta el final del ejercicio.

Con el uso del Osciloscopio, determine la secuencia de fases de la fuente de potencia ca trifásica a partir de las formas de onda de tensión de fase que observa.



La secuencia de fases relacionada con los terminales 4, 5 y 6 de la Fuente de alimentación es A-B-C. Cuando el tomacorriente ca trifásico al que está conectada la Fuente de alimentación está cableado en consecuencia, la secuencia de las tensiones de fase en los terminales 4, 5 y 6 es A-B-C.

Secuencia de fases: _____

7. Inicie el *Analizador de fasores*, luego haga los ajustes apropiados para observar los fasores de las tensiones de fase medidos en las entradas E1, E2 y E3 de la Interfaz de adquisición de datos y de control.
8. Utilizando el *Analizador de fasores*, observe las posiciones relativas de los fasores de tensión de fase en los terminales 4,5 y 6 de la fuente de potencia ca trifásica (es decir, los fasores de las tensiones de fase medidas utilizando las entradas E1, E2 y E3). Determine la secuencia de fases a partir de los fasores de tensión de fase que observa.

Secuencia de fases: _____

La secuencia de fases, ¿es la misma que la determinada en el paso 6?

Sí No

9. Apague la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación, luego intercambie las conexiones en los terminales 5 y 6 de dicha fuente de potencia.

Vuelva a encender la fuente de potencia ca trifásica de la Fuente de alimentación.

10. Utilizando el *Analizador de fasores*, observe las posiciones relativas de los fasores de tensión de fase en los terminales 4,5 y 6 de la fuente de potencia ca trifásica (es decir, los fasores de las tensiones de fase medidas utilizando las entradas E1, E2 y E3). Determine la secuencia de fases a partir de los fasores de tensión de fase que observa.

Secuencia de fases: _____

La secuencia de fases, ¿es la misma que la determinada en el paso 6?

Sí No

11. Utilizando el *Analizador de fasores*, observe las posiciones relativas de los fasores de tensión de fase en los terminales 4,5 y 6 de la fuente de potencia ca trifásica (es decir, los fasores de las tensiones de fase medidas utilizando las entradas E1, E2 y E3). Determine la secuencia de fases a partir de los fasores de tensión de fase que observa.

Secuencia de fases: _____

La secuencia de fases, ¿es igual a la que determinó en el paso previo?

Sí No

12. Al intercambiar las conexiones en dos terminales de la Fuente de alimentación, ¿cuál es el efecto en la secuencia de fases de la fuente de potencia ca trifásica?

13. Asegúrese de que la Fuente de alimentación ha sido apagada, que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda y que todos los cables han sido desconectados.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted observó qué es la secuencia de fases y porqué es importante conocerla en un sistema de potencia ca trifásico. Aprendió cómo determinar la secuencia de fases de una fuente de potencia ca trifásica con un osciloscopio.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

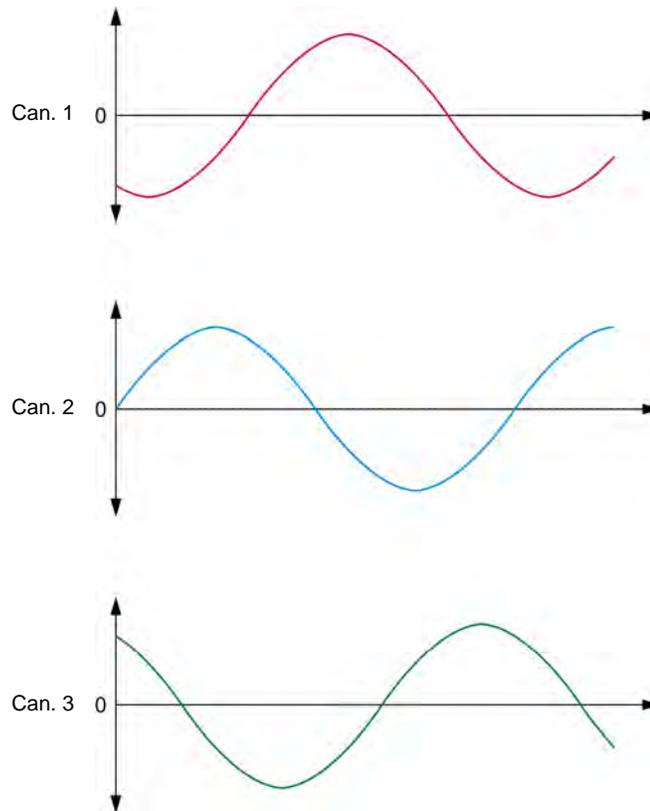
1. ¿Cuál es la secuencia de fases opuesta a B-A-C?
 - a. B-C-A (C-A-B, A-B-C).
 - b. A-C-B.
 - c. C-B-A.
 - d. ambas respuestas a y b son correctas.

2. Un motor trifásico rota en sentido horario cuando las líneas de alimentación ca A, B, y C están conectadas a los cables del motor 1,2 y 3 respectivamente. Si se cambian las conexiones de forma que ahora las líneas están conectadas a los cables 3,1 y 2 respectivamente, el motor
 - a. rotará en sentido anti horario ya que se invierte la secuencia.
 - b. continuará rotando en sentido horario ya que la nueva secuencia en los cables del motor 1,2 y 3 es B-C-A, lo cual es equivalente a la secuencia de fase original A-B-C.
 - c. oscilará entre rotaciones en sentido horario y anti horario.
 - d. se detendrá ya que la secuencia es incorrecta.

3. ¿Cómo se puede utilizar un osciloscopio para determinar la secuencia de fases de un sistema de potencia ca trifásico de tres conductores?
 - a. no es posible una conexión directa del osciloscopio a un sistema de potencia trifásico de tres conductores configurado en estrella, ya que el punto neutro no está generalmente disponible.
 - b. primero conectando una carga resistiva trifásica configurada en triangulo a los cables de línea del sistema de potencia. Los tres canales del osciloscopio se utilizan para observar la fase a lo largo de los resistores de carga y determinar la secuencia de fase.
 - c. primero conectando una carga resistiva trifásica configurada en triangulo a los cables de línea del sistema de potencia. Los tres canales del osciloscopio se utilizan para observar la fase a lo largo de los resistores de carga y determinar la secuencia de fase.
 - d. Ninguna de las respuestas anteriores.

4. Cuando se conecta un motor trifásico a un sistema de distribución de potencia trifásica, ¿por qué es importante conocer la secuencia de fases?
 - a. la secuencia de fase de un sistema de distribución determina la dirección en la cual rota el motor.
 - b. conectar el motor con la secuencia de fase incorrecta hará que el motor gire en la dirección incorrecta.
 - c. conectar el motor con la secuencia de fase incorrecta puede resultar en un daño en el motor y el equipo que lo rodea.
 - d. todas las respuestas anteriores.

5. Determine la secuencia de fases de las formas de onda de tensión mostradas en la siguiente figura.
- a. B-A-C (A-C-B, C-B-A).
 - b. B-C-A (A-B-C, C-A-B).
 - c. todas las anteriores.
 - d. ninguna de las anteriores.



Formas de onda de tensión.

Examen de la unidad

1. La corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase cuando
 - a. se trata de una carga equilibrada conectada en estrella.
 - b. se trata de una carga equilibrada conectada en triángulo.
 - c. la tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión de fase.
 - d. la tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase.

2. La tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase cuando
 - a. se trata de una carga equilibrada conectada en estrella.
 - b. se trata de una carga equilibrada conectada en triángulo.
 - c. cuando la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase.
 - d. cuando la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces menor que la corriente de fase.

3. En un circuito equilibrado conectado en estrella, ¿cuál será la corriente en el conductor neutro cuando la tensión de línea a línea es 346 V y la carga de los resistores es 100 Ω ?
 - a. 3,46 A
 - b. 10,38 A
 - c. 0 A
 - d. 2 A

4. ¿Cuál es la corriente en cada fase de una carga resistiva equilibrada conectada en triángulo, cuando la corriente de línea es 34,6 A?
 - a. 60 A
 - b. 11,5 A
 - c. 20 A
 - d. 104 A

5. En un circuito trifásico equilibrado, la potencia aparente es 150 VA y la potencia activa es 100 W. ¿Cuál es el factor de potencia?
 - a. 0,67
 - b. 1,5
 - c. 0,33
 - d. 0,25

6. El método de los dos vatímetros para medición de potencia permite determinar
 - a. la potencia reactiva de un circuito monofásico.
 - b. la potencia activa de un circuito monofásico.
 - c. la potencia activa de un circuito trifásico equilibrado.
 - d. la potencia aparente de un circuito monofásico.

7. En un circuito trifásico equilibrado, la fórmula para calcular la potencia aparente total es
- a. $P_{Aparente} = 1,73 (E_{Fase} \times I_{Fase} \times \cos \varphi)$
 - b. $P_{Aparente} = 1,73 (E_{Línea} \times I_{Fase} \times \cos \varphi)$
 - c. $P_{Aparente} = 1,73 (E_{Línea} \times I_{Línea} \times \cos \varphi)$
 - d. $P_{Aparente} = 1,73 (E_{Línea} \times I_{Línea})$
8. Para una carga trifásica equilibrada, las lecturas de dos vatímetros son 200 W y 50 W, respectivamente. Sabiendo que la medición de potencia se realizó empleando el método de los dos vatímetros, ¿cuál es la potencia total que consume la carga?
- a. 250 W
 - b. 150 W
 - c. 500 W
 - d. 750 W
9. La secuencia de fases A-C-B es la misma que
- a. A-B-C.
 - b. C-B-A.
 - c. B-C-A.
 - d. a y c.
10. Para que un motor trifásico gire en sentido inverso, ¿qué cambios deberán realizarse en las conexiones de la línea de alimentación?
- a. Todos los cables deberán invertirse.
 - b. Los cables deberán conectarse a través de un transformador.
 - c. Dos cables deberán intercambiarse.
 - d. El sentido de giro del motor no se puede cambiar por esta vía.

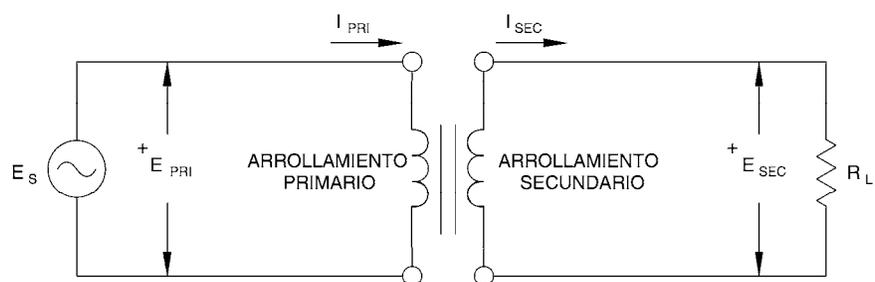
Transformadores monofásicos

OBJETIVO DE LA UNIDAD

Después de completar esta unidad, usted será capaz de explicar y demostrar las importantes características de funcionamiento de los transformadores monofásicos. Usted será capaz de conectar los arrollamientos del transformador con las configuraciones **serie aditiva** y **serie substractiva** y demostrará el efecto que tiene la carga en la tensión del secundario. Las mediciones de tensión y corriente, junto con las curvas de carga del transformador, se utilizarán para estudiar las características y el funcionamiento del mismo.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Los transformadores son dispositivos que funcionan magnéticamente y, en los circuitos ca, pueden cambiar los valores de tensión, corriente e impedancia. En su forma más simple, un transformador consiste en dos bobinas de alambre arrolladas en un núcleo común de material ferromagnético, como por ejemplo el hierro. Una de las bobinas se llama arrollamiento primario y la otra arrollamiento secundario. Probablemente, los transformadores son las piezas más comunes dentro de la industria eléctrica. Su tamaño puede ir de unidades miniatura para las radios de transistores, hasta unidades inmensas de varias toneladas para las estaciones de distribución de energía. Sin embargo, todos los transformadores tienen el mismo principio básico de funcionamiento e iguales características. Todos los transformadores tienen un **arrollamiento primario**, para la potencia de entrada y un **arrollamiento secundario**, para la carga. Algunos transformadores tienen más de un arrollamiento secundario. La relación entre el número de espiras del alambre del arrollamiento primario (N_1 o N_P) y el número de espiras del arrollamiento secundario (N_2 o N_S), se llama **relación de espiras**. Esta última establece la relación entre los valores de entrada y de salida de un transformador. La figura 7-1 muestra un transformador monofásico conectado con una carga resistiva y con una relación de espiras N_1/N_2 igual a 1:1. El primer ejercicio de la unidad mostrará cómo E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} e I_{SEC} están vinculados a través de la relación de espiras.



RELACION DE ESPIRAS $N_P/N_S = N_1/N_2 = 1/1$ (NORMALMENTE SE ESCRIBE 1:1)

Figura 7-1. Transformador monofásico conectado a una carga resistiva.

Cuando existe **inductancia mutua** entre las dos bobinas o arrollamientos, un cambio en una de las bobinas induce una tensión en la otra. Cuando el arrollamiento primario de un transformador se conecta a una fuente de alimentación, dicho arrollamiento recibe energía de la fuente y acopla esa energía al arrollamiento secundario mediante un **flujo magnético** variable. Esta energía se presenta como una fuerza electromotriz (una tensión) a través del arrollamiento secundario y cuando se conecta una carga al secundario esa energía se transfiere a la carga. Este **acoplamiento magnético** permite transferir energía eléctrica de un circuito a otro, sin ninguna conexión física entre ambos. Además proporciona una aislación eléctrica entre los circuitos. Los transformadores resultan indispensables en los sistema de distribución de potencia ca, dado que pueden convertir una potencia de un determinado nivel de tensión y corriente en otra potencia equivalente de otro nivel de tensión y corriente.

Cuando una corriente alterna fluye por un arrollamiento del transformador se crea un campo magnético alterno en el núcleo de hierro. El transformador se calienta porque disipa cierta potencia activa debida a la **pérdida en el cobre** y a la **pérdida en el hierro**. La resistencia del alambre del arrollamiento causa la pérdida en el cobre mientras que la pérdida en el hierro se debe a las **corrientes de Foucault** y a la histéresis. Esta última es la propiedad de los materiales magnéticos que causan una resistencia a los cambios en el proceso de magnetización.

A pesar de las pérdidas en el cobre y en el hierro, los transformadores son unos de los dispositivos eléctricos más eficaces que existen y, frecuentemente, la potencia aparente en el primario se considera igual que la del secundario. Por lo general, la tensión secundaria varía con los cambios de la carga, partiendo de un valor dado para el transformador en vacío, hasta el menor valor de tensión con el secundario cargado a pleno. La variación de la tensión secundaria con la carga variable aplicada en el mismo se llama **regulación del transformador**. Esta regulación depende del tipo de carga (resistiva, inductiva o capacitiva) aplicada en el secundario. Como se verá en esta unidad, la tensión secundaria puede, en ciertos casos, aumentar por encima de su valor nominal en lugar de disminuir.

Relaciones de tensiones y corrientes

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted estará familiarizado con las características de tensión y corriente de un transformador monofásico y será capaz de emplear la relación de espiras para predecir la tensión y la corriente en el arrollamiento secundario.

PRINCIPIOS Como se muestra en la figura 7-1, los devanados de un transformador monofásico estándar se llaman arrollamiento primario y arrollamiento secundario, o simplemente, primario y secundario. El primero es el arrollamiento de entrada de potencia y se conecta a la fuente de alimentación. El arrollamiento secundario se conecta a la carga y está física y eléctricamente aislado del primario. La tensión del secundario y la corriente que fluye por el mismo, se encuentran relacionados con la tensión y la corriente del primario a través de la relación de espiras del transformador, es decir, N_1/N_2 (o N_P/N_S). La razón entre las tensiones primaria y secundaria es igual a N_1/N_2 , mientras que el cociente entre las corrientes primaria y secundaria es igual a la inversa de la relación de espiras, o sea, N_1/N_2 . Lo anterior resulta:

$$\frac{E_{PRI}}{E_{SEC}} = \frac{N_1}{N_2}$$

que da:

$$E_{SEC} = \frac{E_{PRI} \times N_2}{N_1}$$

y

$$\frac{I_{PRI}}{I_{SEC}} = \frac{N_2}{N_1}$$

que da:

$$I_{SEC} = \frac{I_{PRI} \times N_1}{N_2}$$

A los transformadores se los designa con las relaciones fijas entre las tensiones primaria y secundaria y se los utiliza ampliamente para aumentar (como elevador) o bajar (como reductor) las tensiones y corrientes en la carga. Al igual que la mayoría de los transformadores, el módulo Transformador monofásico, que se utiliza en este ejercicio, tiene sus características nominales indicadas en el panel frontal. Muchos transformadores tienen tomas intermedias, o terminales de conexión, del lado secundario para obtener diferentes relaciones de tensión empleando un solo transformador.

La determinación de la relación de tensión de los transformadores resulta una cuestión relativamente simple. Con el transformador sin carga conectada en el secundario, sólo fluye en el arrollamiento primario la pequeña **corriente de excitación** necesaria para crear el flujo magnético en el interior del transformador. Las pérdidas en el transformador son mínimas y la razón entre las tensiones primaria y secundaria es igual a la relación de espiras. Para encontrar la relación de espiras, se puede aplicar la tensión nominal al primario y medir la tensión del secundario descargado. La relación de corriente se puede calcular aplicando una pequeña tensión ca al primario y medir la corriente en el secundario en cortocircuito. Para que la corriente nominal en el primario no resulte excesiva, la tensión que se aplica al primario deberá ser suficientemente baja, de lo contrario, los arrollamientos podrán recalentarse y dañarse.

La corriente de excitación, que está directamente relacionada con el flujo magnético alterno, crece en proporción directa con la tensión aplicada hasta que el núcleo comienza a saturarse. Esto ocurre cuando la tensión aplicada excede el valor nominal del primario y, en ese momento, deja de ser lineal la relación entre la tensión primaria y la corriente de excitación. Como lo muestra la figura 7-2, cuando la curva de la tensión primaria en función de la corriente de excitación se aplana, pequeños incrementos de la tensión primaria, provocan grandes aumentos de la corriente de excitación. En el módulo Transformador monofásico EMS, la corriente de excitación es de unos pocos miliamperios y, generalmente, su valor es un pequeño porcentaje de la corriente nominal del transformador.

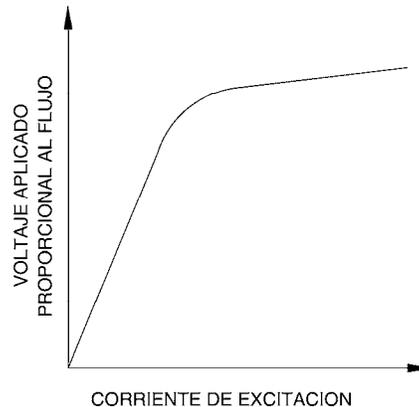


Figura 7-2. Curva de saturación de un transformador.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. En el puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y el Transformador monofásico.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

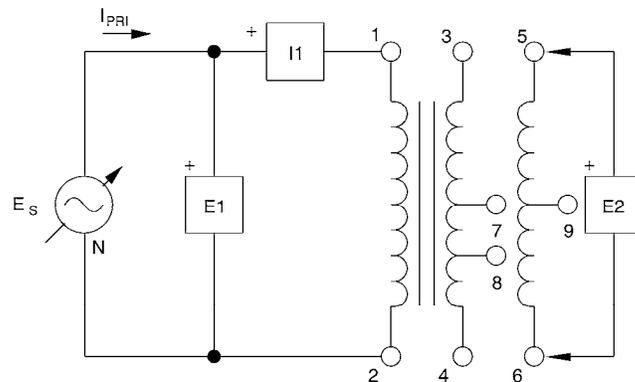
4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES17-1a.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

5. Monte el circuito del transformador de la figura 7-3. Conecte las entradas E1 e I1 como se muestra y utilice E2 para medir las diferentes tensiones secundarias.



Red local de potencia ca		E_s (V)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	120
220	50	220
220	60	220
240	50	240

Figura 7-3. Mediciones en un transformador monofásico.

6. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para obtener el valor E_S que muestra la figura 7-3. Mida la corriente primaria del transformador y las tensiones en los diferentes terminales de los bobinados secundarios de los transformadores listados anteriormente. Cambie las conexiones de la entrada E2 para medir cada tensión secundaria, asegurando apagar la Fuente de alimentación antes de modificar las conexiones de dicha entrada. Después de recolectar los datos medidos, gire completamente la perilla de control de tensión a la izquierda, luego apague la Fuente de alimentación.

$$I_S = I_{PRI} = \text{_____ A}$$

$$E_S = E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{5-6} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-4} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-7} = \text{_____ V}$$

$$E_{7-8} = \text{_____ V}$$

$$E_{8-4} = \text{_____ V}$$

$$E_{5-9} = \text{_____ V}$$

$$E_{9-6} = \text{_____ V}$$

7. Las tensiones secundarias, ¿resultan comparables con los valores nominales indicados en el panel frontal?

Sí No

8. Los arrollamientos del transformador entre los terminales 1 y 2 y entre los terminales 5 y 6, tienen 500 espiras de alambre cada uno. El arrollamiento entre los terminales 3 y 4 es de 865 espiras. Calcule para cada caso, las relaciones de espiras entre los arrollamientos primario y secundario.

$$\frac{N_{1-2}}{N_{5-6}} = \text{_____}$$

$$\frac{N_{1-2}}{N_{3-4}} = \text{_____}$$

9. Utilice los valores medidos en la etapa 6 para comparar estas relaciones de espiras del transformador con las correspondientes relaciones de tensión. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

10. Conecte I2 como lo muestra la figura 7-4 y observe que I2 cortocircuita el arrollamiento 5-6 del secundario. Seleccione el archivo de configuración existente *ES17-2.dai*. Encienda la fuente y ajuste lentamente el control de tensión para obtener el valor de corriente I_S que muestra la figura 7-4.

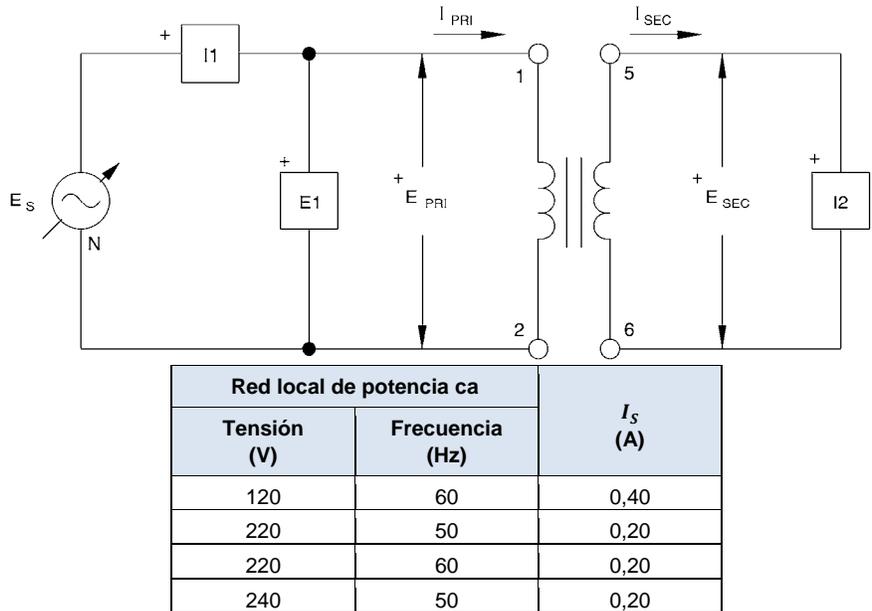


Figura 7-4. Determinación de la relación entre la corriente primaria y la corriente secundaria.

11. Anote los valores de tensión y corriente del primario y el valor de la corriente secundaria de cortocircuito del arrollamiento 5-6.

$$E_S = E_{PRI} = \text{_____ V}$$

$$I_{PRI} = \text{_____ A}$$

$$I_{SEC} = \text{_____ A}$$

12. Coloque nuevamente el control de tensión en cero y apague la fuente. Calcule la relación entre la corriente primaria y la corriente secundaria.

$$\frac{I_{PRI}}{I_{SEC}} = \text{_____}$$

13. ¿Resulta la relación aproximadamente igual a N_2/N_1 [N_{5-6}/N_{1-2}]?

Sí No

14. Conecte I2 para que ahora cortocircuite los terminales 3-4 del secundario. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste lentamente la perilla de control de tensión para obtener el mismo valor de corriente de la etapa 10. Anote nuevamente la tensión y la corriente del primario y la corriente del secundario.

$$E_{PRI} = \text{_____ V}$$

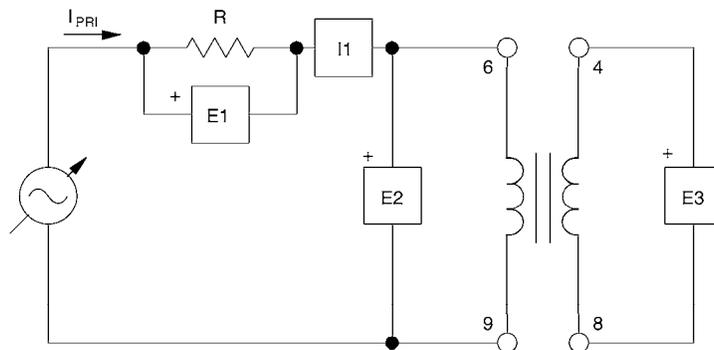
$$I_{PRI} = \text{_____ A}$$

$$I_{SEC} = \text{_____ A}$$

15. Coloque nuevamente el control de tensión en cero y apague la fuente. Calcule otra vez la relación entre la corriente primaria y la corriente secundaria. ¿Resulta igual a N_2/N_1 [N_{3-4}/N_{1-2}]?

Sí No

16. Monte el circuito del transformador de la figura 7-5. Dicho circuito se utilizará para mostrar cómo resulta afectada la corriente de excitación, cuando el núcleo del transformador se satura. Dado que la corriente de excitación es muy pequeña, para mostrar su variación se utiliza la tensión a través de un resistor de medición R. Conecte los terminales primarios del transformador a los terminales 4 y 5 de la Fuente de alimentación a través del resistor de medición R. Conecte E1, E2 y E3 para medir las tensiones E_R , E_{PRI} y E_{SEC} del transformador. Conecte I1 para medir la corriente primaria I_{PRI} .



Red local de potencia ca		R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	100
220	50	367
220	60	367

Figura 7-5. Efecto de la saturación del núcleo en la corriente de excitación.

17. Seleccione el archivo de configuración existente *ES17-3.dai*. Encienda la Fuente de alimentación y utilice el control de tensión de salida para obtener valores de E_{PRI} (E_2) a intervalos iguales y cercanos al 10% del rango de la perilla de control. Para cada ajuste de tensión, haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar las mediciones en la *Tabla de Datos*.

ATENCIÓN

No deje circular corrientes elevadas a través de la bobina primaria del transformador durante mucho tiempo. Cuando mida valores de la corriente primaria que superen la nominal de la bobina del primario del transformador, hágalo en un plazo que no supere los dos minutos. Una vez que la fuente de alimentación esté apagada, deje enfriar el transformador durante unos 15 minutos.

18. Una vez ingresados todos los datos, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la Fuente de alimentación.
19. Muestre la ventana *Gráfico* y seleccione E_1 (E_R) como parámetro del eje X y E_2 (E_{PRI}) como parámetro del eje Y. Asegúrese de que el formato Gráfico continuo y la escala lineal están seleccionados. Observe la curva de la tensión primaria representada por E_1 , en función de la corriente de excitación. ¿Encuentra usted que después de superar la tensión nominal, la corriente de excitación se incrementa más rápidamente?

Sí No

20. ¿Encuentra usted que la curva muestra que el núcleo se ha saturado?

Sí No

21. Revise los valores medidos para determinar cómo se afectó la relación entre las tensiones primaria y secundaria, cuando el núcleo del transformador se saturó.

22. Asegúrese de que la Fuente de alimentación ha sido apagada, que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda y que todos los cables han sido desconectados.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted midió las tensiones primaria y secundaria de un transformador monofásico y confirmó que la relación entre dichas tensiones es igual a la relación de espiras N_1/N_2 . Las mediciones de las corrientes primaria y secundaria demostraron que la relación de corrientes es igual a la inversa de la relación de espiras. Además, observó el fenómeno de saturación del núcleo y comprobó que dicha saturación no afecta la relación de tensiones.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Para un transformador con 225 espiras en el arrollamiento primario y 675 espiras en el secundario, la relación de espiras es
 - a. 1:3
 - b. 3:1
 - c. N_S/N_P
 - d. N_2/N_1

2. En un transformador, la corriente del secundario en cortocircuito es 5 A. Si la relación de espiras del transformador es 1:4, ¿cuál es la corriente primaria?
 - a. 20 A
 - b. 1,25 A
 - c. 2,0 A
 - d. 0,8 A

3. La saturación del transformador se produce cuando
 - a. la corriente primaria es mayor que el valor nominal.
 - b. el arrollamiento secundario está cortocircuitado.
 - c. la tensión secundaria es menor que el valor nominal.
 - d. la tensión primaria es mayor que el valor nominal.

4. Se aplican 200 V al arrollamiento primario de un transformador elevador que duplica su tensión primaria. ¿Qué corriente circulará en una carga resistiva de 100 Ω , conectada en el arrollamiento secundario?
 - a. 1 A
 - b. 2 A
 - c. 3 A
 - d. 4 A

5. Cuando se calcula la relación de corriente de un transformador, ¿por qué es necesario aplicar una tensión reducida al arrollamiento primario, en lugar de la tensión nominal?
 - a. Para asegurar la circulación de la corriente nominal secundaria.
 - b. Para asegurar que no se excede la corriente de régimen del primario.
 - c. Para asegurar que se respeta la tensión de régimen del secundario.
 - d. Para asegurar que la corriente de excitación sea máxima.

Polaridad del transformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar la polaridad de los transformadores y de emplearla para conectar correctamente los diferentes arrollamientos, de manera que las tensiones se sumen (serie aditiva) o se resten (serie substractiva).

PRINCIPIOS Cuando se energiza el arrollamiento primario de un transformador, por medio de una fuente ca, se establece un flujo magnético alterno en el núcleo de hierro. Este flujo alterno vincula, o acopla, las espiras de cada arrollamiento del transformador e induce tensiones ca en dichos arrollamientos. Como los transformadores son dispositivos ca, parece que la polaridad resulta de poca importancia. Sin embargo, cuando se conectan juntos dos o más arrollamientos, sus polaridades instantáneas relativas tienen un efecto significativo sobre la tensión resultante. Si la tensión en uno de los arrollamientos está en su valor máximo positivo y al mismo tiempo la otra tensión está en su valor máximo negativo, es decir, desfasados 180° , dichas tensiones se oponen y la tensión resultante será la diferencia entre ambos (para este caso cero voltios). Por esta razón, se adoptaron ciertas normas para marcar la polaridad de los terminales de los transformadores. Por ejemplo, las normas en América del Norte identifican los terminales de alta tensión con H1 y H2 y los de baja tensión con X1 y X2. De este modo, en el instante que H1 es positivo, X1 también lo será. Este sistema de identificación permite conectar correctamente los transformadores para adicionar o substraer las tensiones de los arrollamientos, según se desee. También se emplean otros tipos de marcaciones para identificar la polaridad de los transformadores. Sus terminales pueden resultar identificados con puntos, cruces, números u otro tipo de símbolo apropiado. En la representación esquemática de los arrollamientos de un transformador de la figura 7-6 se emplearon puntos.

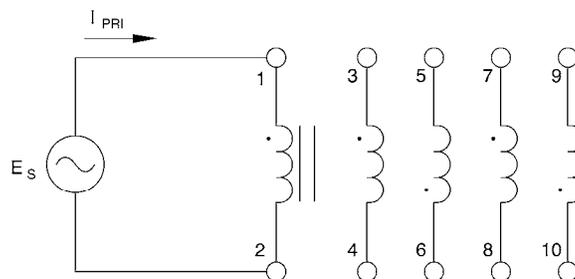


Figura 7-6. Marcación de la polaridad de un transformador.

Cuando se habla de polaridad de los arrollamientos de un transformador, se están identificando todos los terminales que tienen la misma polaridad (positiva o negativa) en un instante cualquiera. Los puntos utilizados en la figura 7-6 indican que, en un instante dado, cuando el terminal 1 es positivo con respecto al terminal 2, el

- terminal 3 es positivo con respecto al terminal 4;
- terminal 6 es positivo con respecto al terminal 5;
- terminal 7 es positivo con respecto al terminal 8;
- terminal 10 es positivo con respecto al terminal 9.

Note que un terminal no puede ser positivo con respecto a sí mismo y que sólo puede ser positivo con respecto a otro terminal. Por lo tanto, en un instante dado, los terminales 1, 3, 6, 7 y 10 son todos positivos con respecto a los terminales 2, 4, 5, 8 y 9.

Cuando se conectan en serie dos pilas (o baterías) para obtener una tensión de salida más elevada, el terminal positivo de una de las pilas se conecta con el terminal negativo de la otra. Del mismo modo, si los arrollamientos de dos transformadores se conectan en serie para adicionar sus tensiones, el terminal identificado de uno de los arrollamientos se debe conectar con el terminal no identificado del otro. Si las tensiones se deben substraer, el terminal identificado de uno de los arrollamientos se debe conectar con el terminal identificado del otro arrollamiento.

Cuando se conectan transformadores de igual tensión nominal en paralelo, para compartir la corriente que se suministra a una carga, es muy importante respetar la polaridad de sus arrollamientos. La conexión de los arrollamientos en paralelo con sus polaridades opuestas provocará un gran flujo de corriente en dichos arrollamientos. Un ejercicio de la próxima unidad de este manual se ocupa de las conexiones en paralelo de los transformadores.

Existen dos métodos para determinar la polaridad de un transformador. Uno utiliza una fuente cc y el otro una fuente ca. En el método cc, se conecta un voltímetro cc en el arrollamiento secundario y se aplica una tensión cc reducida al primario. Una vez encendida la fuente, la dirección en la cual se desvía la aguja del voltímetro, indicará la polaridad del arrollamiento secundario. La aguja se desvía a la derecha si el terminal del arrollamiento secundario, al cual está conectada la punta de prueba positiva del voltímetro, tiene la misma polaridad que el terminal del arrollamiento primario al cual está unido el lado positivo de la fuente. Si la desviación es a la izquierda, los terminales primario y secundario tienen polaridades opuestas. Con el método de la fuente ca, se aplica una tensión ca en el arrollamiento primario y este último se conecta, temporariamente, en serie con el secundario. Si la tensión medida en la combinación serie resulta más bajo que la tensión aplicada, los dos terminales unidos tienen la misma polaridad. Si esa tensión resulta mayor, los terminales interconectados tienen polaridades opuestas. La figura 7-7 ilustra los dos métodos para la determinación de la polaridad de un transformador.

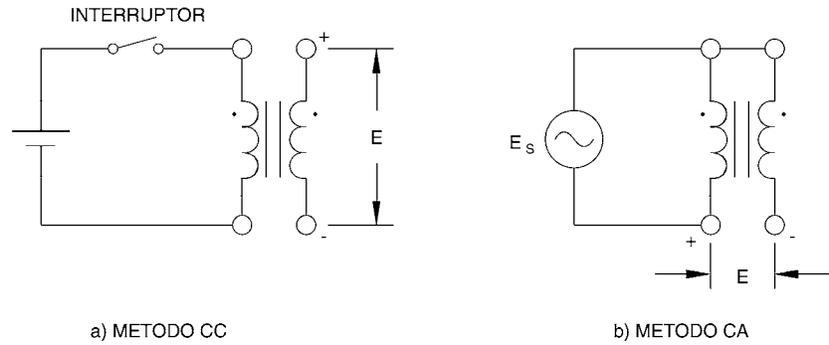


Figura 7-7. Métodos para la determinación de la polaridad de un transformador.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y el Transformador monofásico.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ac en la posición I (ON).

- Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES17-4.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

- Monte el circuito del transformador de la figura 7-8 y conecte el terminal 1 con el 5, como se muestra. Note que en este circuito, la entrada de la fuente está conectada al arrollamiento 3-4.

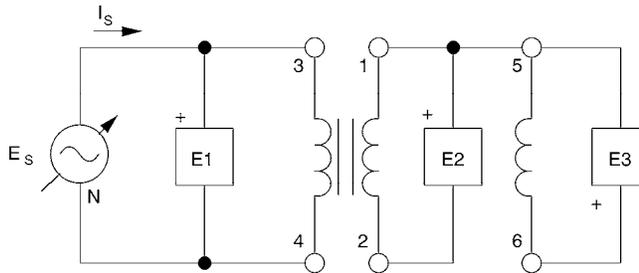


Figura 7-8. Arrollamientos de transformadores conectados en serie.

- Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para que E_s resulte exactamente igual al 50% de la tensión nominal del arrollamiento 3-4. Note que el valor de la tensión nominal es la suma de las tensiones de los arrollamientos entre los terminales 3 y 4. Mida y anote las tensiones de los arrollamientos del transformador 1-2, 5-6 y 2-6. Note que E_{2-6} se obtiene a partir del medidor programable A, empleando la función E_2+E_3 .

$$E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{5-6} = \text{_____ V}$$

$$E_{2-6} = \text{_____ V}$$

- Los arrollamientos, ¿están conectados en serie aditiva o serie substractiva?



Normalmente, la tensión medida entre los terminales 2 y 6 resulta cercano a cero voltios. Esto significa que los arrollamientos se encuentran conectados para que sus tensiones se resten. De este modo, se puede determinar la polaridad de un transformador, dado que si los terminales unidos tienen la misma polaridad, la tensión de las dos bobinas interconectadas resulta menor que la tensión aplicada.

8. Coloque nuevamente el control de tensión en cero y apague la Fuente de alimentación. Desconecte los terminales 1 y 5 y conecte el terminal 1 con el 6. Invierta las conexiones del instrumento E3. Si esta nueva conexión es serie aditiva, ¿cuál será el valor de E_{2-5} si al arrollamiento 3-4 se le aplica la misma tensión de la etapa 6?
-

9. Seleccione el archivo de configuración existente *ES17-5.dai*. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste nuevamente el control de tensión para que E_5 resulte exactamente igual al 50% de la tensión nominal del arrollamiento 3-4. Mida y anote las tensiones de los arrollamientos 1-2, 5-6 y 2-5 del transformador. Note que E_{2-5} se obtiene a partir de la función de medición E2+E3.

$$E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{5-6} = \text{_____ V}$$

$$E_{2-5} = \text{_____ V}$$

10. El valor obtenido de E_{2-5} , ¿es el mismo que el previsto en la etapa 8?

Sí No

11. Coloque nuevamente el control de tensión en cero, apague la Fuente de alimentación y desconecte los terminales 1 y 6. Cuando al arrollamiento 3-4 se le aplica la misma tensión de la etapa 9, ¿cuáles son las dos tensiones que se pueden obtener a través de la combinación serie de los arrollamientos 3-4 y 1-2?
-

12. Conecte el terminal 1 con el 4, encienda la Fuente de alimentación y ajuste E_5 para que resulte exactamente igual al 50% de la tensión nominal del arrollamiento 3-4. Seleccione el archivo de configuración existente *ES17-6.dai*. Utilice E2 y E3 para medir las tensiones de los arrollamientos 1-2 y 2-3 del transformador y anote los valores.

$$E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{2-3} = \text{_____ V}$$

13. Coloque nuevamente el control de tensión en cero y apague la Fuente de alimentación. Desconecte los terminales 1 y 4 y conecte el terminal 1 con el 3.

Intercambie las conexiones en la entrada E2 del módulo para la adquisición de datos.

14. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste E_S para que resulte exactamente igual al 50% de la tensión nominal del arrollamiento 3-4. Seleccione el archivo de configuración existente *ES17-7.dai*. Mida y anote la tensión del arrollamiento 2-4 del transformador.

$$E_{2-4} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

15. Los resultados de las etapas 12 y 14, ¿son comparables con los previstos en la etapa 11?

16. Indique cuáles juegos de terminales tienen la misma polaridad, ¿1 y 3, 2 y 4, 1 y 4 o 2 y 3?

17. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted determinó la polaridad de un transformador mediante el método de la tensión ca. Observó que cuando se conectan juntos los arrollamientos del transformador en serie y los terminales de igual polaridad, las tensiones de dichos arrollamientos se restan. A la inversa, observó que cuando se conectan juntos los terminales de polaridades opuestas, las tensiones de los arrollamientos se suman. Esto último se asemeja a la conexión de baterías en serie para obtener tensiones más elevadas.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Si los terminales de diversos arrollamientos de un transformador no están identificados, ¿se los puede conectar juntos para elevar la tensión?
 - a. Sí, pero la polaridad deberá determinarse experimentalmente de antemano.
 - b. No.
 - c. Sólo si se trata de las bobinas del lado primario del transformador.
 - d. Sólo si la corriente es menos de 1 A.

2. Dos de los cuatro terminales del secundario de un transformador están marcados con una cruz. Si a esos dos terminales se los conecta juntos, los arrollamientos secundarios están
 - a. conectados en serie substractiva.
 - b. conectados en serie aditiva.
 - c. conectados para incrementar la tensión resultante.
 - d. b y c.

3. Un voltímetro está conectado a los arrollamientos del secundario de un transformador que tiene tres arrollamientos con tensiones nominales de 50 V, 125 V y 75 V. Aunque se aplique la tensión nominal al primario del transformador, ¿el voltímetro puede medir cero voltios?
 - a. No, debe haber algún error en el voltímetro.
 - b. Sí, si los arrollamientos de 50 V y de 75 V se conectan en oposición con el arrollamiento de 125 V.
 - c. Sí, si los arrollamientos de 50 V y de 75 V se conectan para adicionarlos al arrollamiento de 125 V.
 - d. No, porque se dañará el transformador.

4. Los dos métodos para determinar la polaridad de los arrollamientos de un transformador son:
 - a. el método resistivo y el método inductivo.
 - b. el método serie substractiva y el método serie aditiva.
 - c. el método cc y el método ca.
 - d. el método experimental y el método teórico.

5. Para conectar correctamente los arrollamientos de un transformador para elevar la tensión es necesario
 - a. conocer sus características.
 - b. conocer la corriente máxima del arrollamiento.
 - c. conocer el tipo de material del núcleo.
 - d. conocer la polaridad de los arrollamientos.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Regulación del transformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de determinar la regulación de tensión de un transformador con cargas variables y de discutir sobre la regulación de un transformador con cargas capacitiva e inductiva. Se utilizarán las mediciones de tensión y corriente para trazar curvas de regulación de cargas.

PRINCIPIOS

En una subestación, la carga de un gran transformador de potencia varía desde un valor muy pequeño durante las primeras horas de la mañana, hasta valores muy elevados durante las horas de mayor actividad comercial e industrial. En cierto modo, la tensión secundaria del transformador varía con la carga y como los motores, las lámparas incandescentes y los dispositivos de calefacción son muy sensibles a los cambios en la tensión, la regulación del transformador tiene una importancia considerable. La tensión secundaria también depende de si el factor de potencia de la carga está atrasado, adelantado o es igual a la unidad. En consecuencia, se debe conocer cómo se comportará el transformador (su regulación de tensión), cuando se conecta a una carga capacitiva, inductiva o resistiva. La regulación de tensión del transformador (en porcentaje) se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Regulación de tensión (\%)} = 100 \times \frac{E_{SC} - E_{PC}}{E_{SC}}$$

donde E_{SC} es la tensión del secundario sin carga (en vacío).

E_{PC} es la tensión del secundario a plena carga.

El resultado (en valor porcentual) que se obtiene proporciona una indicación del comportamiento del transformador según la carga. Cuanto más pequeño es el porcentaje de regulación de tensión, menor es la variación de la tensión secundaria con la carga y mejor resulta la regulación de dicha tensión. Note que E_{SC} se mide con el arrollamiento secundario abierto mientras que E_{PC} se mide cuando la corriente nominal fluye en dicho arrollamiento.

Diversos factores afectan el funcionamiento de un transformador. La resistencia y la reactancia inductiva de sus arrollamientos causan caídas de tensiones internas que varían con la cantidad de corriente que circula en los mismos. Si el secundario se encuentra ligeramente cargado, la corriente que fluye por la resistencia y reactancia del arrollamiento es pequeña y la caída de tensión interna resulta insignificante. Al aumentar la carga, la corriente y la caída de tensión interna también aumentan. Si un transformador fuera perfectamente ideal, sus arrollamientos no tendrían ninguna resistencia ni reactancia inductiva para provocar esas caídas de tensión. Este transformador tendría una regulación perfecta bajo todas las condiciones de carga y la tensión secundaria permanecería absolutamente constante. Pero en la práctica, las bobinas de los transformadores están fabricadas con alambres que tienen resistencia y reactancia inductiva. En consecuencia, los arrollamientos primario y secundario tienen una resistencia total R y una reactancia total X . El circuito equivalente simplificado de un transformador real, con una relación de espiras 1:1, se aproxima a lo que muestra la figura 7-9. Los terminales de este transformador son P_1 , P_2 para el primario y S_1 , S_2 para el secundario.

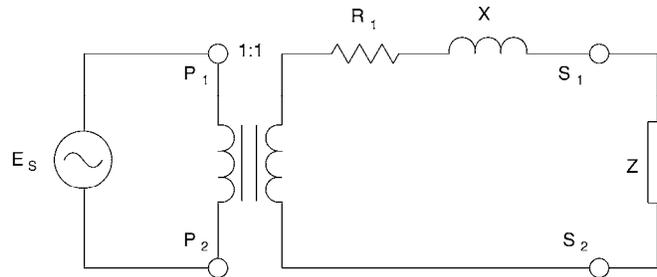


Figura 7-9. Circuito equivalente simplificado de un transformador real.

En este circuito equivalente se muestra el transformador real como uno ideal, en serie con una impedancia formada por R y X , las que representan las imperfecciones del transformador. Cuando se conecta una carga (Z) al arrollamiento secundario (terminales S_1 y S_2) se forma un circuito en serie. Dicho circuito está compuesto por el arrollamiento secundario del transformador ideal y por R , X y Z . El análisis de este circuito en serie muestra que cuando la carga (resistiva o inductiva) aumenta, la tensión en dicha carga disminuye y se incrementa la corriente en el secundario. Además, cuando la carga es capacitiva, mientras dicha carga crece a partir de cero (condición de vacío), la tensión en la misma aumenta hasta un máximo. Luego, la tensión en la carga decrece mientras ésta continúa aumentando.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, el Transformador monofásico, la Carga resistiva, la Carga capacitiva y la Carga inductiva.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

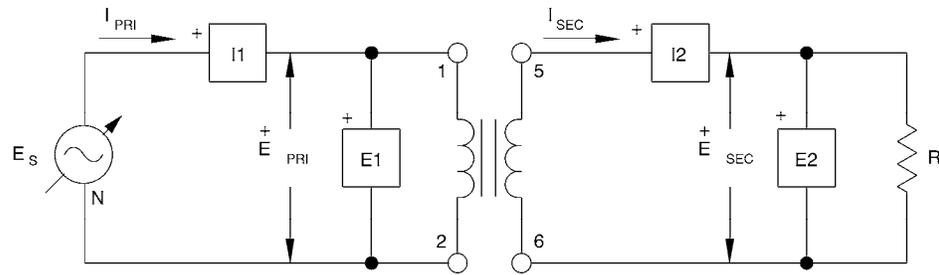
4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES17-8.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

5. Monte el circuito del transformador con la carga como lo muestra la figura 7-10. Asegúrese de que todos los interruptores de los módulos Carga resistiva, Carga capacitiva y Carga inductiva se encuentran abiertos. Conecte E1, E2, I1 e I2 como se muestra en la figura. Se utilizarán diferentes valores de carga para examinar cómo cambia la tensión secundaria (carga), mientras varía la carga del transformador.



Red local de potencia ca		E_S (V)	R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	120	∞
220	50	220	∞
220	60	220	∞
240	50	240	∞

Figura 7-10. Transformador con carga variable.

- Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control principal de tensión para obtener el valor E_S de la figura 7-10. Con el transformador sin carga (todos los interruptores de los módulos de carga abiertos), haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar los valores medidos de E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} e I_{SEC} en la *Tabla de Datos*.
- Coloque los interruptores del módulo Carga resistiva para obtener, en forma sucesiva, los valores de resistencia indicados en la tabla 7-1. Para cada valor de resistencia, ingrese las mediciones como en la etapa 6. Después de ingresar todos los datos, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la Fuente de alimentación.

Tabla 7-1. Valores para R , X_L y X_C .

Red local de potencia ca		R, X_L, X_C (Ω)				
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)					
120	60	1200	600	400	300	240
220	50	4400	2200	1467	1100	880
220	60	4400	2200	1467	1100	880
240	50	4800	2400	1600	1200	960

8. Muestre la ventana *Gráfico*, seleccione E2 (E_{SEC}) como parámetro para el eje Y e I2 (I_{SEC}) como parámetro para el eje X. Asegúrese de que el formato *Gráfico* continuo y la escala lineal están seleccionados. Observe la curva de la tensión secundaria en función de la corriente. ¿Qué sucede con la tensión secundaria cuando la carga resistiva aumenta, es decir, cuando la resistencia disminuye?



Para comparar más fácilmente las curvas que se obtienen con las diferentes cargas, usted puede hacer copias impresas de los gráficos de las etapas 8, 13, y 17, utilizando el botón Imprimir de la Barra de herramientas.

9. Calcule la regulación de tensión empleando las tensiones de salida para carga en vacío ($R = \infty$) y para carga plena ($R =$ valor mínimo).

$$100 \frac{(E_{SC} - E_{PC})}{E_{SC}} = \underline{\hspace{2cm}} \%$$

10. Utilice el botón *Borrar Tabla de Datos* de la ventana *Tabla de Datos*, para borrar los datos y luego reemplace, en el circuito de la figura 7-10, el módulo Carga resistiva por el módulo Carga Inductiva.

11. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control principal de tensión para obtener el valor E_S de la figura 7-10. Con el transformador sin carga (todos los interruptores de los módulos de carga abiertos), haga clic sobre el botón *Registro de datos* para ingresar los valores medidos de E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} e I_{SEC} en la *Tabla de Datos*.

12. Coloque los interruptores del módulo Carga inductiva para obtener, en forma sucesiva, los valores de reactancia indicados en la tabla 7-1. Para cada valor de reactancia, ingrese las mediciones como en la etapa 11. Después de ingresar todos los datos, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la Fuente de alimentación.

13. Muestre la ventana *Gráfico*, seleccione E2 (E_{SEC}) como parámetro para el eje Y e I2 (I_{SEC}) como parámetro para el eje X. Asegúrese de que el formato *Gráfico* continuo y la escala lineal están seleccionados. Observe la curva de la tensión secundaria en función de la corriente. ¿Cómo varía la tensión secundaria cuando la carga inductiva aumenta?

14. Utilice el botón *Borrar Tabla de Datos* de la ventana *Tabla de Datos*, para borrar los datos y luego reemplace, en el circuito de la figura 7-10, el módulo Carga inductiva por el módulo Carga capacitiva.

15. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control principal de tensión para obtener el valor E_S de la figura 7-10. Con el transformador sin carga (todos los interruptores de los módulos de carga abiertos), haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar los valores medidos de E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} , e I_{SEC} en la *Tabla de Datos*.

16. Coloque los interruptores del módulo Carga capacitiva para obtener, en forma sucesiva, los valores de reactancia indicados en la tabla 7-1. Para cada valor de reactancia, ingrese las mediciones como en la etapa 15. Después de ingresar todos los datos, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la Fuente de alimentación.

17. Muestre la ventana *Gráfico*, seleccione E2 (E_{SEC}) como parámetro para el eje Y e I2 (I_{SEC}) como parámetro para el eje X. Asegúrese de que el formato Gráfico continuo y la escala lineal están seleccionados. Observe la curva de la tensión secundaria en función de la corriente. ¿Cómo varía la tensión secundaria cuando la carga capacitiva aumenta?

18. ¿Qué diferencias observa entre las tres curvas de carga?

19. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted estudió la regulación de tensión de un transformador y comprobó que cuando la carga del transformador cambia, la tensión secundaria varía. Trazó las curvas correspondientes a la variación de las cargas resistiva, inductiva y capacitiva. Estas curvas demostraron que para bajas condiciones de carga, resistiva o inductiva, la tensión secundaria decrece cuando la carga aumenta y que para bajas condiciones de carga capacitiva, la tensión secundaria puede aumentar por encima de su valor nominal. Observó también que las cargas inductivas provocan mayores caídas de tensión que las cargas resistivas, por lo tanto, la regulación resulta más deficiente.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. La regulación de un transformador se puede determinar con la siguiente fórmula
 - a. $100 (E_{PRI} - E_{SEC})/E_{PRI}$
 - b. $100 (E_{SC} - E_{PC})/E_{SC}$
 - c. $100 (I_{PRI} - I_{SEC})/I_{PRI}$
 - d. $100 (I_{SC} - I_{PC})/I_{SC}$

2. ¿Cuál es la regulación de un transformador, si las tensiones en el secundario en vacío y a plena carga son 100 V y 95 V, respectivamente?
 - a. 105%
 - b. 10,5%
 - c. 95%
 - d. 5%

3. La tensión secundaria puede crecer por encima de su valor nominal, cuando la carga es
 - a. resistiva.
 - b. capacitiva.
 - c. inductiva.
 - d. una combinación serie RL.

4. La tensión medida en el arrollamiento secundario de un transformador en vacío es 150 V. Esta tensión cae a 147 V, cuando la corriente secundaria es igual a la corriente nominal a plena carga. ¿Cuál es la regulación del transformador?
 - a. 90%
 - b. 3%
 - c. 2%
 - d. 6%

5. La regulación de un transformador
 - a. depende del tipo de carga conectada a su secundario.
 - b. es independiente de la carga conectada a su secundario.
 - c. se puede determinar sólo con el secundario en vacío.
 - d. depende la tensión aplicada al primario.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Examen de la unidad

1. El primario de un transformador tiene 320 espiras de alambre y cuando se aplican 40 V al primario, la tensión en el secundario es 160 V. Por lo tanto, la relación de tensiones es
 - a. 1:8
 - b. 2:1
 - c. 1:4
 - d. 1:2

2. En un transformador, la corriente secundaria de cortocircuito es 2 A. ¿Cuál es la corriente en el primario, si la relación de espiras del transformador es 2:5?
 - a. 2 A
 - b. 5 A
 - c. 2,5 A
 - d. 0,8 A

3. Cuando la tensión primaria excede su valor nominal,
 - a. el transformador mejora su funcionamiento.
 - b. el funcionamiento del transformador resulta afectado por la saturación del núcleo.
 - c. en más del doble, el transformador mejora su funcionamiento.
 - d. la corriente primaria disminuye.

4. Para calcular la relación de corriente de un transformador,
 - a. se debe aplicar la tensión nominal al primario.
 - b. la corriente nominal debe circular en el primario.
 - c. se debe aplicar una tensión muy baja al primario.
 - d. se debe cortocircuitar el primario.

5. Cuando los terminales no marcados de un transformador se conectan juntos, significa que los arrollamientos están conectados
 - a. en serie aditiva.
 - b. en serie substractiva.
 - c. para aumentar la tensión resultante.
 - d. a y c.

6. La regulación de tensión de un transformador se puede determinar con la siguiente fórmula
 - a. $100 (I_{SC} - I_{PC})/I_{SC}$
 - b. $100 (I_{PRI} - I_{SEC})/I_{PRI}$
 - c. $100 (E_{SC} - E_{PC})/E_{SC}$
 - d. $100 (E_{PRI} - E_{SEC})/E_{PRI}$

7. La tensión secundaria a plena carga de un transformador es 108 V y la regulación de tensión es 10%. ¿Cuál es la tensión en vacío?
- a. 98 V
 - b. 120 V
 - c. 12 V
 - d. 118,8 V
8. Una carga capacitiva puede causar que la tensión secundaria de un transformador
- a. aumente por encima de su valor nominal.
 - b. disminuya constantemente con el aumento de dicha carga.
 - c. aumente constantemente con la disminución de dicha carga.
 - d. Ninguna de las anteriores.
9. ¿Cuál es la regulación de un transformador, si las tensiones en el secundario en vacío y a plena carga son 2 kV y 1,95 kV, respectivamente?
- a. 5%
 - b. 2,5%
 - c. 3,6%
 - d. 0,25%
10. El tipo de carga conectada al secundario de un transformador
- a. tiene un pequeño efecto sobre la regulación del transformador.
 - b. tiene un efecto significativo sobre la regulación del transformador.
 - c. no afecta la regulación del transformador.
 - d. Ninguna de las anteriores.

Conexiones especiales de transformadores

OBJETIVO DE LA UNIDAD

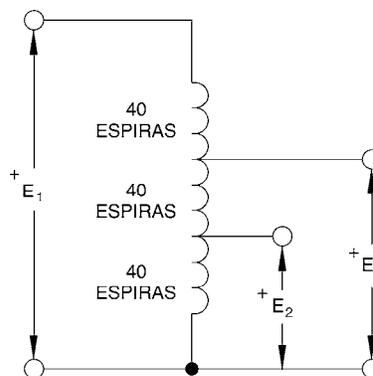
Después de completar esta unidad, usted estará familiarizado con los transformadores conectados de manera especial, tales como los autotransformadores y los transformadores de distribución. Además, usted será capaz de conectar transformadores en paralelo para que trabajen juntos como fuente de alimentación de una carga. Las mediciones de tensión y corriente se utilizarán para estudiar las características y el funcionamiento del transformador.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Como se indicó en la unidad anterior, los transformadores pueden cambiar los niveles de tensión y corriente y sus relaciones entrada-salida dependen de la relación de espiras. Algunas de las formas de conectar los transformadores monofásicos son: como **autotransformador**, para subir o bajar la tensión; como **transformador de distribución**, para proveer diferentes niveles de tensión a las cargas; en paralelo para alimentar cargas compartidas.

La mayoría de los transformadores proporcionan una aislación entre la fuente y su circuito de carga y, con frecuencia, esto representa un factor de seguridad muy importante. En el caso de los autotransformadores, estos no proporcionan esa aislación porque los arrollamientos primario y secundario comparten espiras comunes. Por otra parte, los autotransformadores pueden funcionar con el doble de la potencia aparente de los transformadores convencionales de igual tamaño. La figura 8-1 muestra un autotransformador típico, con varias tomas para obtener diferentes tensiones secundarias. Dado que la norma ya vista puede aplicarse a los autotransformadores, es evidente que si partimos de la relación de espiras de la figura, tendremos:

$$E_2 = \frac{E_1}{3}, \quad \text{y} \quad E_3 = \frac{E_1}{1,5}$$



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Y} \quad \frac{E_1}{E_3} = \frac{N_1}{N_3}$$

$$E_2 = \frac{40}{120} E_1 = \frac{E_1}{3}$$

$$E_3 = \frac{80}{120} E_1 = \frac{E_1}{1.5}$$

Figura 8-1. Autotransformador típico.

Además, la figura 8-1 muestra cómo los lados primario y secundario de un autotransformador se encuentran interconectados en un punto común del único arrollamiento, ilustrando de este modo, la falta de aislación eléctrica. Esta carencia es la mayor desventaja de los autotransformadores.

Los transformadores de distribución tienen un arrollamiento primario y, a menudo, más de un arrollamiento secundario, tal como el módulo Transformador monofásico. Normalmente, los arrollamientos secundarios se conectan en serie para que sus tensiones se sumen (configuración serie aditiva) y en los circuitos de distribución con dos tensiones, la conexión común de los arrollamientos secundarios sirve de neutro. La figura 8-2 muestra un transformador de distribución típico, que provee dos tensiones diferentes para las cargas.

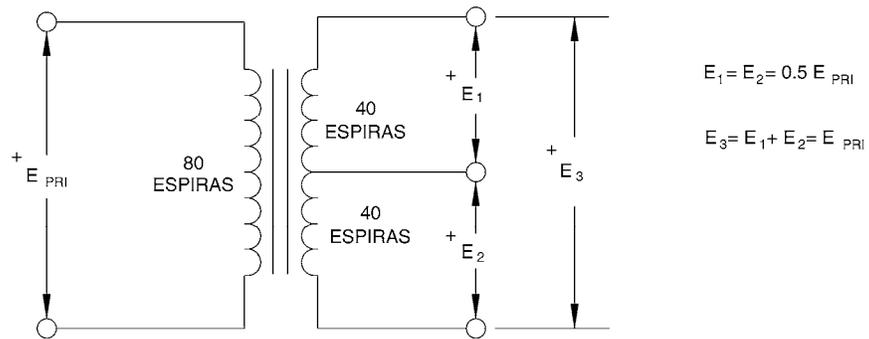


Figura 8-2. Transformador de distribución típico.

El autotransformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted estará familiarizado con las características de tensión y corriente de un autotransformador. Además, usted será capaz de conectar un transformador estándar como autotransformador elevador o reductor.

PRINCIPIOS

El autotransformador es un tipo especial de transformador, con un arrollamiento único que sirve como primario y secundario. Cuando se utiliza un autotransformador para elevar la tensión, sólo una parte del arrollamiento actúa como primario, mientras que la totalidad del mismo sirve como secundario. A la inversa, cuando se emplea el autotransformador para reducir la tensión, todo el devanado actúa como primario y sólo una parte sirve como secundario. La figura 8-3 muestra las conexiones necesarias para que el autotransformador funcione como elevador y como reductor.

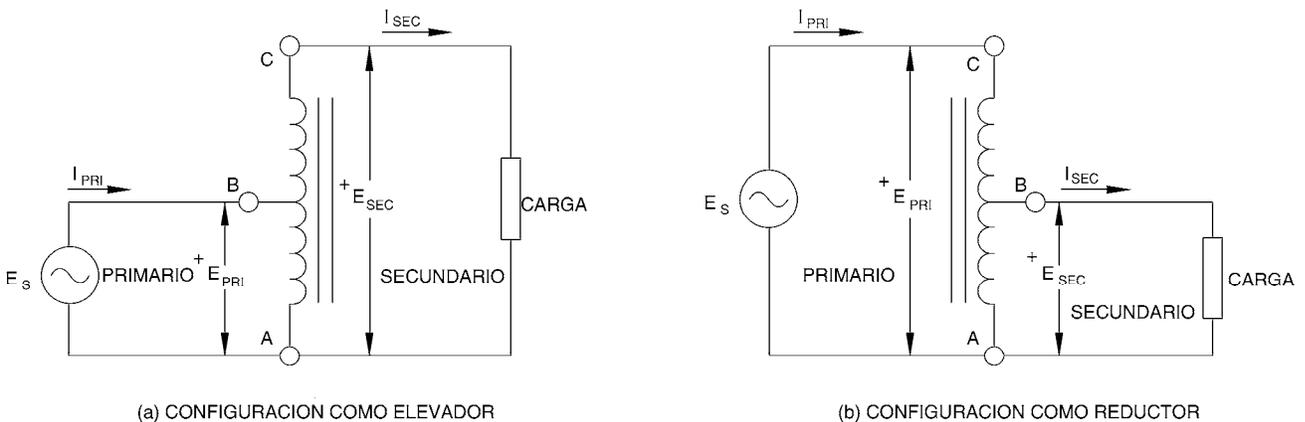


Figura 8-3. Conexiones de un autotransformador (a) Configuración como elevador. (b) Configuración como reductor.

Básicamente, el funcionamiento de un autotransformador es el mismo que el de un transformador estándar con dos arrollamientos. La potencia se transfiere del primario al secundario por medio de un flujo magnético variable. La magnitud del aumento o disminución de la tensión depende de la relación de espiras entre el primario y secundario. Para determinar la relación de transformación de un autotransformador, se considera cada arrollamiento como separado, aunque algunas espiras son comunes al primario y al secundario. Para encontrar las tensiones y corrientes se utilizan dos ecuaciones simples:

$$E_{PRI} \times I_{PRI} = E_{SEC} \times I_{SEC}$$

y

$$\frac{E_{PRI}}{E_{SEC}} = \frac{N_P}{N_S}$$

La primera ecuación establece que la potencia aparente del primario ($E_{PRI} \times I_{PRI}$) del autotransformador es igual a la potencia aparente del secundario ($E_{SEC} \times I_{SEC}$). La segunda ecuación relaciona las tensiones primaria y secundaria (E_{PRI} y E_{SEC}) con la relación de espiras (N_P/N_S). De este modo, y partiendo de la figura 8-3, podemos obtener las relaciones:

$$\frac{E_{PRI}}{E_{SEC}} = \frac{N_{A-B}}{N_{A-C}} \quad \text{para funcionar como elevador}$$

y

$$\frac{E_{PRI}}{E_{SEC}} = \frac{N_{A-C}}{N_{A-B}} \quad \text{para funcionar como reductor}$$

Estas relaciones se cumplen cuando las tensiones E_{A-B} y E_{B-C} están en fase. De este modo, se suman en la misma dirección.

El autotransformador tiene una gran ventaja sobre los transformadores convencionales: Puede funcionar con el doble de la potencia aparente de un transformador convencional de igual tamaño. Además, el autotransformador es algo más eficiente que los transformadores dado que tiene menos pérdidas en el cobre y en el hierro. Los autotransformadores se utilizan, principalmente, cuando se requieren pequeños aumentos o disminuciones de la tensión secundaria. Por ejemplo, para elevar la tensión de las líneas de alimentación y compensar de esa manera las pérdidas causadas por la longitud de las líneas de transmisión. También se los emplea para reducir la tensión de arranque de los motores, manteniendo la corriente de arranque dentro de valores razonables. Una de las mayores desventajas del autotransformador es la falta de aislación eléctrica entre los arrollamientos primario y secundario, dado que ambos tienen espiras en común. Además, no es aconsejable utilizar un autotransformador como reductor de una relación elevada, porque si la sección de baja tensión del arrollamiento sufriera una avería y se abriera, la carga quedaría conectada a una alta tensión primaria.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva y el Transformador monofásico.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

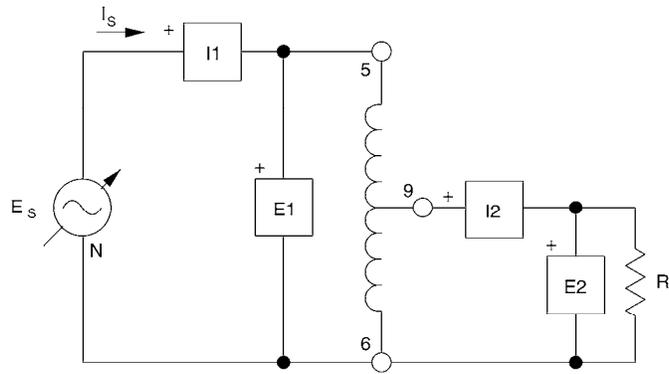
4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES18-1.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

5. Monte el circuito del autotransformador de la figura 8-4. Conecte las entradas E1 e I1 como se muestra y utilice E2 e I2 para medir la tensión y la corriente en el secundario. Note que el arrollamiento 5-6 está conectado como primario y que el terminal 9, de la toma central, y el terminal 6 actúan como arrollamiento secundario.



Red local de potencia ca		E_S (V)	R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	120	∞
220	50	220	∞
220	60	220	∞
240	50	240	∞

Figura 8-4. Circuito de un autotransformador reductor.

- Asegúrese de que todos los interruptores del módulo Carga resistiva están abiertos y luego encienda la Fuente de alimentación principal. Ajuste el control de tensión para obtener el valor E_S de la figura 8-4. Éste es la tensión nominal del arrollamiento primario.
- Ajuste el módulo Carga resistiva para obtener el valor R de la tabla 8-1.

Tabla 8-1. Valores del resistor R .

Red local de potencia ca		R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	120
220	50	440
220	60	440
240	50	480

Mida y anote los valores de E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} y I_{SEC} , así como los valores de las potencias aparentes primaria S_{PRI} y secundaria S_{SEC} . Después de anotar las mediciones, gire la perilla de control de tensión completamente a la izquierda y apague la fuente.

$$E_{PRI} = \text{_____ V}$$

$$I_{PRI} = \text{_____ A}$$

$$E_{SEC} = \text{_____ V}$$

$$I_{SEC} = \text{_____ A}$$

$$S_{PRI} = \text{_____ VA}$$

$$S_{SEC} = \text{_____ VA}$$

8. Compare los valores de S_{PRI} y S_{SEC} . Exceptuando la pequeña diferencia que provocan las pérdidas en el cobre y en el núcleo, ¿son ambos valores aproximadamente los mismos?

Sí No

9. Empleando los valores medidos en la etapa 7, calcule la potencia aparente de los circuitos primario y secundario.

$$S_{PRI} = E_{PRI} \times I_{PRI} = \text{_____ VA}$$

$$S_{SEC} = E_{SEC} \times I_{SEC} = \text{_____ VA}$$

10. ¿Los resultados calculados son aproximadamente iguales con aquellos que fueron medidos S_{PRI} y S_{SEC} ?

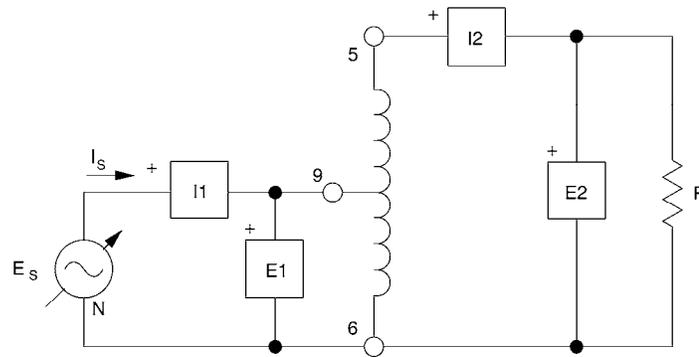
Sí No

11. Indique si el autotransformador se encuentra conectado como elevador o como reductor.
-

12. Calcule la relación entre las corrientes primaria y secundaria. ¿Resulta igual a la inversa de la relación de espiras?

Sí No

13. Monte el circuito del autotransformador de la figura 8-5. Conecte las entradas E1 e I1 como se muestra y utilice E2 e I2 para medir la tensión y la corriente en el secundario. Note que ahora el arrollamiento 9-6 está conectado como primario y que los terminales 5 y 6 actúan como arrollamiento secundario.



Red local de potencia ca		E_s (V)	R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	60	∞
220	50	110	∞
220	60	110	∞
240	50	120	∞

Figura 8-5. Circuito de un autotransformador elevador.

14. Asegúrese de que todos los interruptores del módulo Carga resistiva están abiertos y luego encienda la Fuente de alimentación principal. Ajuste el control de tensión para obtener el valor E_s de la figura 8-5. Éste es la tensión nominal del arrollamiento 9-6.
15. Ajuste el módulo Carga resistiva para obtener el valor R de la tabla 8-2.

Tabla 8-2. Valores del resistor R .

Red local de potencia ca		R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	600
220	50	2200
220	60	2200
240	50	2400

Mida y anote E_{PRI} , I_{PRI} , E_{SEC} , I_{SEC} , S_{PRI} y S_{SEC} . Después de anotar las mediciones, gire la perilla de control de tensión completamente a la izquierda y apague la fuente.

$$E_{PRI} = \text{_____ V}$$

$$I_{PRI} = \text{_____ A}$$

$$E_{SEC} = \text{_____ V}$$

$$I_{SEC} = \text{_____ A}$$

$$S_{PRI} = \text{_____ VA}$$

$$S_{SEC} = \text{_____ VA}$$

16. Compare los valores de S_{PRI} y S_{SEC} . Exceptuando la pequeña diferencia que provocan las pérdidas en el cobre y en el núcleo, ¿son ambos valores aproximadamente los mismos?

Sí No

17. Empleando los valores medidos en la etapa 15, calcule la potencia aparente de los circuitos primario y secundario.

$$S_{PRI} = E_{PRI} \times I_{PRI} = \text{_____ VA}$$

$$S_{SEC} = E_{SEC} \times I_{SEC} = \text{_____ VA}$$

18. ¿Los resultados calculados son aproximadamente iguales con aquellos que fueron medidos S_{PRI} y S_{SEC} ?

Sí No

19. Indique si el autotransformador se encuentra conectado como elevador o como reductor.
-

20. Calcule la relación entre las corrientes primaria y secundaria. ¿Resulta igual a la inversa de la relación de espiras?

Sí No

21. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted conectó un transformador estándar de dos arrollamientos para que opere como autotransformador elevador o reductor. Pudo demostrar, a través de las mediciones, que las potencias aparentes primaria y secundaria son aproximadamente iguales, exceptuando la pequeña diferencia provocada por las pérdidas del transformador. Además, observó que las relaciones de tensión y de corriente se basan en las mismas reglas que las de los transformadores estándares.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un autotransformador es un tipo especial de transformador que tiene
 - a. un arrollamiento único que sirve como primario y secundario.
 - b. un arrollamiento primario y otro secundario.
 - c. más de un arrollamiento primario.
 - d. dos arrollamientos secundarios conectados en serie.

2. La potencia del lado primario de un autotransformador es
 - a. menor que la potencia del lado secundario.
 - b. mucho mayor que la potencia del lado secundario.
 - c. exactamente igual a la potencia del lado secundario.
 - d. ligeramente mayor que la potencia del lado secundario.

3. A un autotransformador con una toma central, se le aplica una tensión de alimentación de 150 V a través del arrollamiento completo. ¿Cuál será la tensión secundaria?
 - a. 300 V
 - b. 150 V
 - c. 75 V
 - d. 225 V

4. La corriente secundaria de un autotransformador elevador
 - a. es igual a la relación de espiras.
 - b. no puede exceder la relación de espiras.
 - c. es menor que la corriente nominal del primario.
 - d. no tiene límite.

5. La potencia aparente nominal de un autotransformador con una relación 10:1 es 450 VA. Esto significa que la potencia aparente nominal del secundario es
 - a. 45 VA
 - b. 4500 VA
 - c. 450 VA
 - d. Ninguna de las anteriores.

Transformadores en paralelo

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted será capaz de conectar transformadores en paralelo y podrá, mediante la medición de las potencias de entrada y de salida, determinar el rendimiento total.

PRINCIPIOS

Los transformadores se pueden conectar en paralelo para suministrar una potencia superior a la potencia nominal de cada transformador. Cuando se conectan transformadores en paralelo, hay que tomar dos precauciones: Los arrollamientos a conectar en paralelo deben tener las mismas tensiones nominales y deben conectarse con la polaridad correcta, es decir, un terminal marcado debe conectarse con otro marcado y un terminal no marcado debe conectarse con otro no marcado. Si las conexiones no se realizan correctamente, pueden circular grandes corrientes de cortocircuito y, en consecuencia, pueden resultar dañados seriamente los transformadores, los disyuntores y los circuitos asociados.

La figura 8-6 muestra dos transformadores (T_1 y T_2), con iguales características nominales, conectados en paralelo para alimentar una carga de 200 VA. Cada transformador tiene una potencia de régimen de 100 VA y los terminales con iguales polaridades se conectan juntos para que cada unidad individual suministre la mitad de la potencia de la carga.

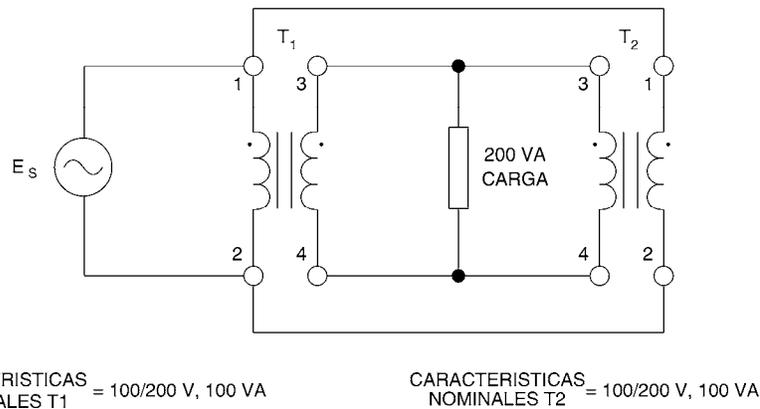


Figura 8-6. Acoplamiento de transformadores en paralelo.

El **rendimiento** de un dispositivo eléctrico, expresado en porcentaje, es la relación entre la potencia activa que suministra el dispositivo (P_{SAL}) y la potencia activa suministrada al mismo (P_{ENT}) multiplicada por 100. El rendimiento se simboliza con la letra griega eta (η).

$$\eta = 100 \times \frac{P_{SAL}}{P_{ENT}}$$

Las potencias aparente y reactiva no se emplean en los cálculos de rendimiento.

En un transformador ideal no hay pérdidas internas, por lo tanto, la potencia del primario es exactamente igual a la del secundario. En la práctica, este tipo de transformador no existe ya que cierta potencia se pierde debido a las pérdidas en el cobre y en el hierro. Dado que esta potencia perdida es una parte de la potencia total suministrada por la fuente, la cantidad total de esa pérdida es simplemente la diferencia entre P_{ENT} y P_{SAL} ($P_{ENT} - P_{SAL}$).

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva y el Transformador trifásico.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-N y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

- Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES18-2.dai*.



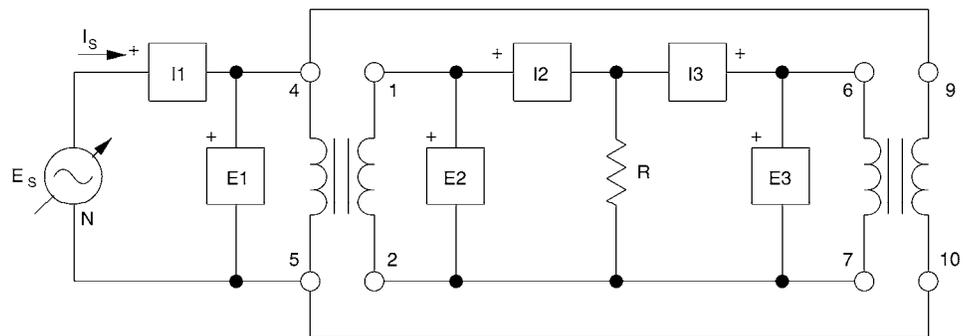
Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

- Monte el circuito que muestra la figura 8-7. Los dos transformadores que se utilizan en este circuito son secciones separadas del módulo Transformador trifásico. Si se desea y se respetan las características y las polaridades de los transformadores, se pueden emplear dos módulos Transformador monofásico.



Cada sección del transformador se conecta para elevar la tensión de la fuente. La carga se conecta al acoplamiento en paralelo de los arrollamientos 1-2 y 6-7. La tensión de la fuente se aplica a la combinación en paralelo de los arrollamientos 4-5 y 9-10.



Red local de potencia ca		E_s (V)	R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	60	∞
220	50	110	∞
220	60	110	∞
240	50	120	∞

Figura 8-7. Transformadores conectados en paralelo y medición de rendimiento.

- Utilice E1, E2 y E3 para medir las tensiones primaria y secundaria y conecte I1, I2 e I3, como muestra la figura 8-7. Con la carga desconectada, verifique que no circula corriente en los arrollamientos secundarios para confirmar que la conexión en paralelo ha sido realizada correctamente.
- Asegúrese de que todos los interruptores del módulo Carga resistiva están abiertos y luego encienda la Fuente de alimentación principal. Avance lentamente el control de tensión hasta aproximadamente 10% y, al mismo tiempo, observe las lecturas de I2 e I3.

8. Las lecturas para el medidor de corriente 2 y 3 deben ser prácticamente cero, confirmando de esta forma que no hay corriente fluyendo en el bobinado secundario del transformador conectado en paralelo. Si por el contrario fluye corriente, las conexiones son incorrectas y se deben verificar. Apague la Fuente de alimentación, verifique el cableado, encienda la Fuente de alimentación y verifique que las corrientes 2 y 3 son prácticamente cero.

Cuando las conexiones estén correctas, ajuste la perilla de control de tensión en cero y apague la Fuente de alimentación.

9. Después de confirmar que las conexiones están correctas, conecte nuevamente I_2 en serie con R para medir I_{CARGA} . Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para obtener el valor E_S de la figura 8-7. Ajuste el módulo Carga resistiva para obtener el valor R de la tabla 8-3. Seleccione el archivo de configuración existente *ES18-3.dai*.

Tabla 8-3. Valores del resistor R .

Red local de potencia ca		R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	200
220	50	733
220	60	733
240	50	800

10. Mida y anote E_{PRI} , E_{CARGA} , I_{PRI} , I_{CARGA} , P_{PRI} , P_{CARGA} y la relación P_{CARGA}/P_{PRI} (P_2/P_1). Después de anotar las mediciones, apague la fuente sin reajustar el control de tensión.

$$E_{PRI} = \text{_____ V}$$

$$E_{CARGA} = \text{_____ V}$$

$$I_{PRI} = \text{_____ A}$$

$$I_{CARGA} = \text{_____ A}$$

$$P_{PRI} = \text{_____ W}$$

$$P_{CARGA} = \text{_____ W}$$

$$\frac{P_{CARGA}}{P_{PRI}} = \text{_____ \%}$$

11. Calcule P_{ENT} y P_{SAL} .

$$P_{ENT} = P_{PRI} = E_{PRI} \times I_{PRI} = \text{_____ W}$$

$$P_{SAL} = P_{CARGA} = E_{CARGA} \times I_{CARGA} = \text{_____ W}$$

Compare los resultados con los valores medidos de P_{PRI} y P_{CARGA} . ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

12. Calcule el rendimiento η del circuito.

$$\text{Rendimiento } \eta = 100 \times \frac{P_{SAL}}{P_{ENT}} = \text{_____ \%}$$

13. Compare el valor de η con la relación P_{CARGA}/P_{PRI} (P_2/P_1) del medidor programable A. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

14. Calcule la "potencia perdida" en el transformador.

$$\text{"Potencia perdida"} = P_{ENT} - P_{SAL} = \text{_____ W}$$

15. Conecte nuevamente I2, como en la etapa 6, para medir la corriente secundaria del primer transformador. Seleccione el archivo de configuración existente *ES18-4.dai*. Encienda la Fuente de alimentación y asegúrese de que el valor E_S es igual al de la etapa 9.

16. Mida y almacene los valores de P_2 y P_3 proporcionados por los medidores.

$$P_2 = \text{_____ W}$$

$$P_3 = \text{_____ W}$$

17. Calcule la suma de P_2 y P_3 y compare el resultado con el valor de P_{CARGA} medido en la etapa 10. ¿Son aproximadamente iguales?

Sí No

18. ¿Confirman las mediciones que la potencia de la carga está repartida de manera uniforme entre los dos transformadores?

Sí No

19. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted conectó dos transformadores en paralelo para suministrar potencia a una carga que era imposible alimentar con una sola unidad. Antes de conectar la carga, verificó que no había circulación de corriente en los arrollamientos secundarios, confirmando así que las conexiones eran correctas. Además, calculó el rendimiento total del acoplamiento de los transformadores en paralelo y observó que la potencia de la carga se reparte uniformemente entre los dos transformadores.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. La conexión de los transformadores en paralelo es una manera de
 - a. suministrar mayor potencia a la carga.
 - b. conservar la energía.
 - c. aumentar la tensión de la carga.
 - d. disminuir la tensión de la carga.

2. Para conectarlos en paralelo, los transformadores deben
 - a. tener tensiones nominales idénticas.
 - b. conectarse con la polaridad correcta.
 - c. tener características nominales iguales a la potencia de la carga.
 - d. a y b.

3. Una carga de 500 VA puede alimentarse con un acoplamiento en paralelo de dos transformadores
 - a. de un valor nominal de 500 VA cada uno.
 - b. de un valor nominal de 200 VA cada uno.
 - c. de un valor nominal de 300 VA cada uno.
 - d. a y c, pero con transformadores de menor valor nominal para economizar.

4. Un acoplamiento en paralelo de transformadores no tiene ninguna carga conectada y, sin embargo, en los arrollamientos secundarios circula una corriente. Eso significa que
 - a. las conexiones están correctas.
 - b. los arrollamientos están conectados con las polaridades incorrectas.
 - c. los arrollamientos tienen idénticas características nominales.
 - d. los arrollamientos primarios están cortocircuitados.

5. La potencia suministrada a una carga por un acoplamiento en paralelo de dos transformadores idénticos, se reparte
 - a. igualmente entre los transformadores.
 - b. en proporción a sus relaciones de espiras.
 - c. en proporción a sus características nominales.
 - d. en proporción a sus relaciones de corrientes.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Transformadores de distribución

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted estará familiarizado con los conceptos básicos sobre los transformadores de distribución. Para observar cómo se comporta un transformador de distribución bajo diferentes condiciones de carga, usted medirá las tensiones y corrientes de línea.

PRINCIPIOS En América del Norte, la mayoría de los transformadores de distribución utilizados para suministrar energía eléctrica a los edificios y casas particulares, tienen un arrollamiento primario de alta tensión. El arrollamiento secundario proporciona 120 V para alumbrado y pequeñas aplicaciones y 240 V para calefacción, estufas eléctricas y otras cargas eléctricas para servicio pesado. El secundario puede estar constituido por un arrollamiento de 240 V con una toma central, o por dos arrollamientos de 120 V conectados en serie.

El sistema de distribución de energía eléctrica trifilar de 120/240 V se desarrolló para obtener la ventaja de un circuito de distribución de alta tensión y, al mismo tiempo, permitir el funcionamiento de los dispositivos de baja tensión. Para una determinada potencia a suministrar a una carga, la pérdida en un sistema de distribución de energía eléctrica trifilar de 120/240 V es menor que en un sistema de distribución bifilar de 120 V. El sistema trifilar cuenta, además, con la ventaja de tener un bajo nivel de tensión entre cualquiera de las líneas y tierra, limitando así los riesgos de choques eléctricos perjudiciales.

Normalmente, los transformadores de distribución están bobinados con el secundario, o arrollamiento de baja tensión, en dos secciones para una tensión nominal de 120 V cada una. Cuando ambas secciones se conectan en serie, el transformador puede alimentar una carga bifilar de 240 V. Además, la conexión en serie de los arrollamientos permite alimentar un circuito trifilar 120/240 V, conectando el conductor neutro, o común, del circuito con el terminal común del secundario (punto de unión de los arrollamientos de las dos secciones). De este modo, las lámparas y dispositivos de 120 V se conectan entre el conductor neutro y uno de los otros dos conductores (conductores de línea), mientras que las cargas de 240 V, como las estufas y calefactores eléctricos, se conectan a los dos conductores de línea.

Cuando las cargas de cada lado del conductor neutro están balanceadas, no circula corriente por dicho conductor. Sin embargo, cuando se añade una carga importante entre uno de los conductores de línea y el conductor neutro, éste transportará la corriente desbalanceada desde el transformador a la carga. La corriente en el neutro es siempre la diferencia entre las corrientes que circulan en los dos conductores de línea. Por lo tanto, para minimizar la corriente en el conductor neutro, las cargas de cada lado del mismo deberán estar lo más equilibradas posible.

Si se conecta una carga de un solo lado de un sistema trifilar, el conductor neutro transportará la corriente total de la carga. Por esta razón, el conductor neutro tiene el mismo diámetro que los dos conductores de línea. Una apertura

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

accidental del conductor neutro, mientras se alimenta una carga desbalanceada, provoca un gran desequilibrio en las tensiones aplicadas a otras cargas y puede causar, por ejemplo, que las lámparas incandescentes alumbren con mayor o menor intensidad. Por lo tanto, el conductor neutro se conecta firmemente entre el transformador y la carga y no se conectan ni fusibles ni dispositivos de protección de sobrecargas en serie con dicho conductor.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva, la Carga inductiva y el Transformador monofásico.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de la tensión de salida ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-5 y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES18-5.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

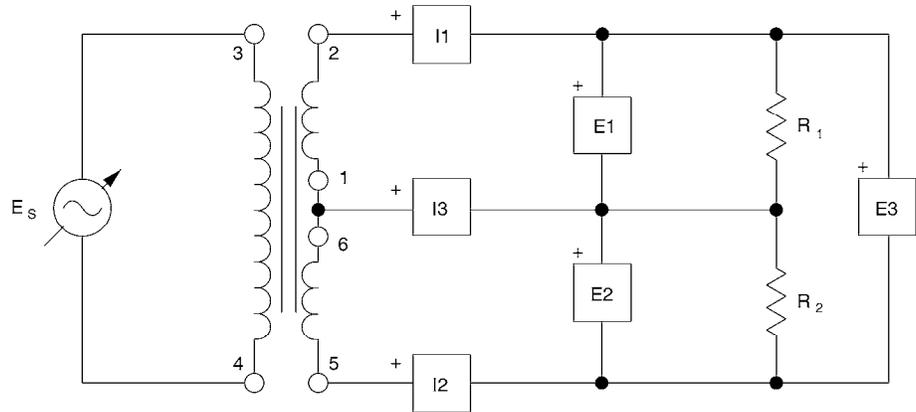
Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

5. Monte el circuito del transformador de distribución de la figura 8-8. Observe que el arrollamiento 3-4 se utiliza como primario y que está conectado a los terminales 4-5 de la salida ca variable de la Fuente de alimentación. Para obtener alta tensión en los terminales 2 y 5, los arrollamientos 1-2 y 5-6 del

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

transformador están conectados en serie. Asegúrese de que todos los interruptores de los módulos Carga resistiva y Carga inductiva están abiertos y conecte los voltímetros y amperímetros como se muestra en la figura.



Red local de potencia ca		E_s (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)			
120	60	208	∞	∞
220	50	380	∞	∞
220	60	380	∞	∞
240	50	415	∞	∞

Figura 8-8. Transformador de distribución con una carga resistiva.

- Encienda la Fuente de alimentación principal y ajuste el control de tensión para obtener el valor de E_s de la figura 8-8. Con el transformador en vacío (todos los interruptores de los módulos abiertos), haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar las mediciones del circuito en la *Tabla de Datos*.
- Ajuste el módulo Carga resistiva para obtener los valores de R_1 y R_2 de la tabla 8-4.

Ingrese las mediciones del circuito como en la etapa 6. Observe que para R_1 y R_2 se emplean secciones separadas del módulo Carga resistiva.

Tabla 8-4. Valores de las resistencias R_1 y R_2 .

Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	R_2 (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	300	300
220	50	1100	1100
220	60	1100	1100
240	50	1200	1200

8. ¿Por qué la corriente que indica I_3 es igual a cero?

9. Ahora ajuste R_2 para que resulte igual al doble de R_1 . Ingrese nuevamente las mediciones del circuito.

10. La corriente en el neutro medida por I_3 , ¿es igual a la diferencia entre las lecturas de I_1 e I_2 ?

Sí No

11. Apague la Fuente de alimentación y desconecte el neutro entre el transformador y la carga del circuito (en la entrada I3). Encienda la Fuente de alimentación y asegúrese de que E_s está en el mismo valor que en la etapa 6. Como se hizo antes, utilice el botón Registro de datos para ingresar las mediciones del circuito.

12. ¿Qué diferencia se observa en las tensiones de la carga E_1 , E_2 y E_3 ?

13. Si los resistores fueran las lámparas incandescentes de una casa, ¿qué se evidenciaría con este desequilibrio?

14. Apague la Fuente de alimentación. Desconecte el resistor R_2 en el circuito de la figura 8-8 y reemplácelo por la reactancia inductiva X_L . Conecte nuevamente el neutro entre el transformador y la carga del circuito. Ajuste R_1 y X_L con los valores que muestra la tabla 8-5.

Tabla 8-5. Valores del resistor R_1 y de la reactancia inductiva X_L .

Red local de potencia ca		R_1 (Ω)	X_L (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	400	400
220	50	1467	1467
220	60	1467	1467
240	50	1600	1600

15. Encienda la Fuente de alimentación. Asegúrese de que E_S está con el mismo valor anterior y haga clic sobre el botón Registro de datos para ingresar las mediciones en la *Tabla de Datos*.

16. ¿Qué diferencia se observa en las tensiones de la carga E_1 , E_2 y E_3 ?

17. La corriente en el neutro medida por I_3 , ¿es igual a la diferencia entre las lecturas de I_1 e I_2 ?

Sí No

18. Explique por qué la respuesta de la etapa 17 es diferente de aquella de la etapa 10.

19. Haga clic sobre el botón Tabla de datos y examine los datos medidos. ¿Coinciden con la información teórica mostrada en la sección PRINCIPIOS?

Sí No



A partir de las mediciones, resulta evidente que la corriente en el neutro es la diferencia vectorial entre I_1 e I_2 . Cuando las corrientes están en fase, como en el caso de una carga con resistores iguales, esta diferencia es la misma que la diferencia aritmética.

20. Asegúrese de que la Fuente de alimentación está apagada y de que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda. Retire todos los conectores.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted conectó el circuito de un transformador de distribución típico y observó su comportamiento bajo diferentes condiciones de carga. Pudo comprobar que con un transformador de distribución es posible suministrar altas y bajas tensiones a la carga y que, con carga equilibrada, la corriente en el neutro es cero.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un transformador de distribución de 120/240 V puede alimentar
 - a. cargas con diferentes niveles de tensión.
 - b. cargas con un único nivel de tensión.
 - c. cargas resistivas solamente.
 - d. cargas inferiores a 1000 VA.

2. Un transformador de distribución típico de 120/240 V requiere
 - a. tres conductores para el circuito primario.
 - b. dos conductores para el circuito secundario.
 - c. dos conductores y un conductor neutro para el circuito secundario.
 - d. cuatro conductores por cada circuito secundario de 120 V.

3. En un transformador de distribución, la corriente en el neutro
 - a. no es importante.
 - b. es igual a cero cuando las cargas están equilibradas.
 - c. es igual a la diferencia entre las corrientes de los conductores de línea.
 - d. b y c.

4. En un sistema de distribución trifilar, el conductor neutro
 - a. tiene igual diámetro que los conductores de línea.
 - b. es más pequeño que los conductores de línea.
 - c. es más grande que los conductores de línea.
 - d. ninguna de las anteriores.

5. Los disyuntores y fusibles
 - a. se conectan siempre en el conductor neutro.
 - b. no se conectan nunca en el conductor neutro.
 - c. no son útiles en los sistemas trifilares.
 - d. se utilizan solamente para protección contra los rayos.

Examen de la unidad

1. Un transformador con un arrollamiento único que actúa como primario y secundario se llama
 - a. transformador de distribución.
 - b. autotransformador.
 - c. transformador de doble arrollamiento.
 - d. transformador de corriente.

2. La potencia aparente nominal de un autotransformador indica
 - a. la potencia del lado secundario.
 - b. la corriente mínima que puede circular en el arrollamiento.
 - c. la potencia máxima disponible para la carga.
 - d. a y c.

3. La tensión en la toma central del secundario de un autotransformador es 100 V. ¿Cuál es la tensión primaria?
 - a. 100 V
 - b. 200 V
 - c. 300 V
 - d. 50 V

4. Un acoplamiento en paralelo de transformadores puede suministrar más potencia cuando están conectados
 - a. en serie substractiva.
 - b. en serie aditiva.
 - c. con la polaridad correcta.
 - d. a una carga puramente capacitiva.

5. Dos transformadores de 300 VA conectados en paralelo, pueden suministrar una potencia máxima de
 - a. 150 VA
 - b. 300 VA
 - c. 450 VA
 - d. 600 VA

6. Cuando se acoplan dos transformadores en paralelo, para asegurarse que las conexiones están correctas, se mide la corriente secundaria
 - a. con la mitad de la carga y con la tensión primaria reducida.
 - b. con la carga total y con la tensión primaria reducida.
 - c. sin carga y con la tensión primaria reducida.
 - d. sin carga y con la tensión primaria total.

7. Dos transformadores que tienen potencias aparentes nominales diferentes están conectados en paralelo. En estas condiciones pueden alimentar una carga máxima igual a
 - a. dos veces la potencia nominal del más grande.
 - b. la mitad de la suma de ambas potencias nominales.
 - c. dos veces la potencia nominal del más pequeño.
 - d. la suma de ambas potencias nominales.

8. Un transformador de distribución se utiliza para alimentar
 - a. sólo cargas de alta tensión.
 - b. sólo cargas de baja tensión.
 - c. cargas de baja y alta tensión.
 - d. cualquier tipo de carga con cuatro conductores.

9. Cuando en un sistema típico de distribución de 120/240 V la corriente en el conductor neutro es igual a cero significa que
 - a. algo no está correcto.
 - b. las cargas conectadas al sistema están equilibradas.
 - c. las corrientes en los conductores de línea están desfasadas.
 - d. el conductor neutro está cortocircuitado a tierra.

10. En un sistema de distribución trifilar, el conductor neutro
 - a. nunca está conectado a tierra.
 - b. nunca está conectado a través de disyuntores o fusibles.
 - c. siempre está conectado a través de dispositivos de protección.
 - d. nunca tiene corriente que circula por él.

Transformadores trifásicos

OBJETIVO DE LA UNIDAD

Después de completar esta unidad, usted estará familiarizado con las características de funcionamiento de los transformadores trifásicos. Usted será capaz de conectar los arrollamientos de un transformador en estrella y en triángulo y podrá verificar si los arrollamientos están conectados con las relaciones de fases correctas. Las mediciones de tensión y corriente se utilizarán para estudiar el funcionamiento y las características de un transformador.

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Como muchos de los conceptos que se utilizan en esta unidad fueron vistos en la Unidad 6, resulta útil revisar sus contenidos para una mejor comprensión del material presentado aquí. La característica principal a recordar de los circuitos trifásicos es que hay dos tipos de conexiones: estrella y triángulo. En los circuitos trifásicos conectados en estrella, las tensiones de línea son $\sqrt{3}$ veces las tensiones de fase y las corrientes de línea y de fase son iguales. Por otra parte, en los circuitos trifásicos conectados en triángulo, las corrientes de línea son $\sqrt{3}$ veces las corrientes de fase y las tensiones de línea y de fase son iguales.

Un **transformador trifásico** puede ser una sola unidad o tres transformadores monofásicos unidos. Los arrollamientos se pueden conectar en estrella o en triángulo para dar lugar a los siguientes grupos de conexiones: **triángulo-triángulo**, **estrella-estrella**, **triángulo-estrella** y **estrella-triángulo**. Por lo general, los sistemas de potencia trifásicos tienen una tensión de línea de 208 V (en algunos países 380 V o 415 V) y, como lo muestra la figura 9-1, se puede obtener una tensión estándar de 120 V (en algunos países 220 V o 240 V) entre uno de los conductores de línea y el conductor neutro. Como se ilustra, el secundario conectado en estrella proporciona una alimentación trifásica de 120/208 V de 4 conductores mientras que el lado primario del transformador puede estar conectado en triángulo, como en el caso de la figura, o en estrella. Una de las grandes ventajas de utilizar la configuración triángulo en el primario, es que se necesitan sólo tres conductores para distribuir las tres fases.

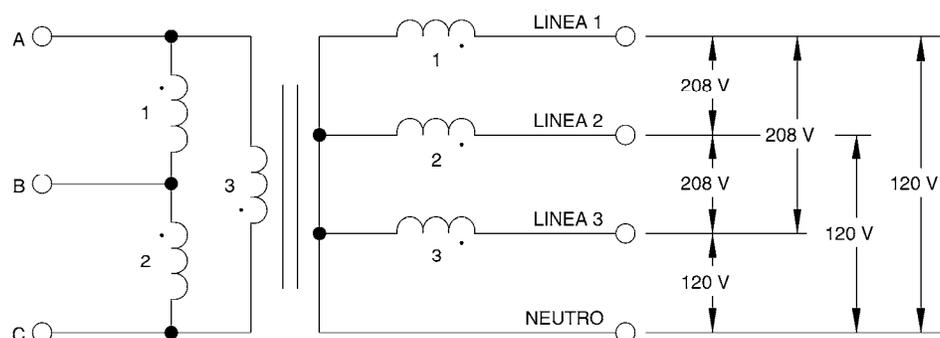


Figura 9-1. Sistema comercial de alimentación trifásica de 120/208 V.

Una ventaja de la conexión triángulo-triángulo es que puede funcionar con dos transformadores monofásicos en lugar de tres, cuando uno de los transformadores resulta dañado o retirado de servicio. Este tipo de configuración se llama triángulo abierto o configuración "V". Aunque un banco de transformadores en triángulo abierto entrega tensiones y corrientes de fase con las relaciones correctas, la capacidad del banco representa 57,7% ($1/\sqrt{3}$) de la capacidad nominal total disponible con tres transformadores en servicio.

En los grupos de conexiones triángulo-triángulo y estrella-estrella, la tensión de línea secundaria es igual a la tensión de línea primaria multiplicado por la inversa de la relación de espiras. En el grupo de conexión triángulo-estrella, la tensión de línea secundaria es igual a la tensión de línea primaria multiplicado por la inversa de la relación de espiras y por $\sqrt{3}$. En el grupo de conexión estrella-triángulo, la tensión de línea secundaria es igual a la tensión de línea primaria multiplicado por la inversa de la relación de espiras y por $1/\sqrt{3}$.

Sin reparar en cómo se encuentran conectados los arrollamientos de un transformador trifásico, se deben tomar ciertas precauciones para estar seguro que los secundarios están conectados con las relaciones de fases apropiadas. Para una configuración estrella, esto significa que la tensión que se mide entre cualquier par de arrollamientos (tensión de línea) debe ser $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión a través de cualquiera de dichos arrollamientos (tensión de fase). De lo contrario, es necesario invertir las conexiones.

En una configuración triángulo, la tensión que se mide entre los extremos de dos arrollamientos secundarios conectados en serie debe ser igual a la tensión a través de cualquiera de dichos arrollamientos. De lo contrario, se deben invertir las conexiones. Si antes de acoplar todos los extremos de los arrollamientos para cerrar el triángulo, se conecta el extremo del tercer arrollamiento, la tensión a través de los tres arrollamientos conectados en serie deberá ser igual a cero. Antes de cerrar el triángulo, es sumamente importante verificar que la tensión en el interior de aquél sea igual a cero. En caso contrario, la corriente resultante puede resultar muy elevada y dañar los arrollamientos.

Conexiones de los transformadores trifásicos

OBJETIVO DEL EJERCICIO

Después de completar este ejercicio, usted será capaz de conectar los transformadores trifásicos utilizando las configuraciones triángulo-triángulo y estrella-estrella. Usted medirá las tensiones de los arrollamientos para verificar que dichos arrollamientos secundarios están conectados con las relaciones de fases apropiadas y verificará, antes de cerrar el triángulo, que la tensión en el interior del mismo es igual a cero.

PRINCIPIOS

Como ya se mencionó, y como se muestra en las figura 9-2 y figura 9-3, los cuatro grupos de conexiones más comunes para los arrollamientos de los transformadores trifásicos son: triángulo-triángulo, estrella-estrella, triángulo-estrella y estrella-triángulo. Como se vio en la Unidad 6, para montar una conexión estrella, primero se conectan los tres componentes (arrollamientos) a un punto común para su interconexión con el conductor neutro. Luego se conecta el otro extremo de cada arrollamiento a los tres conductores de línea. Para montar una conexión triángulo, se conecta el primer componente en serie con el segundo, éste en serie con el tercero y, para cerrar el triángulo, el tercero se conecta en serie con el primero. Luego, cada conductor de línea se conecta a cada nodo del triángulo cerrado.

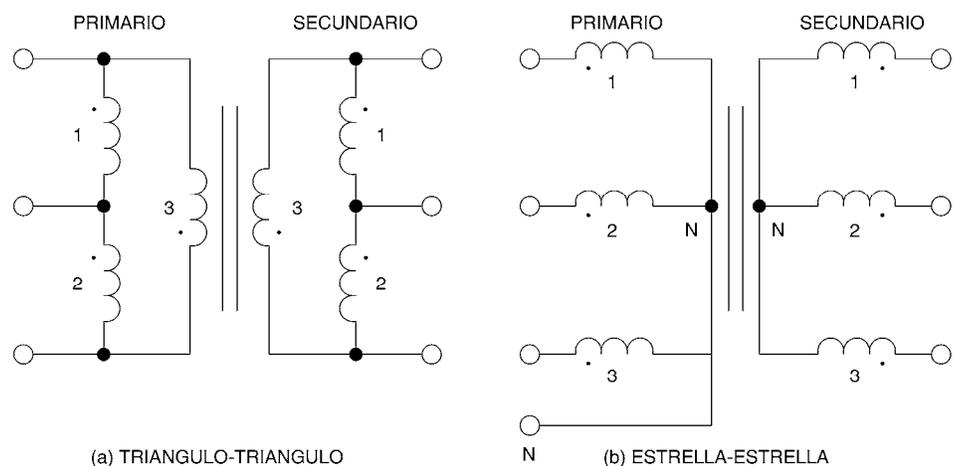


Figura 9-2. Conexiones triángulo-triángulo y estrella-estrella.

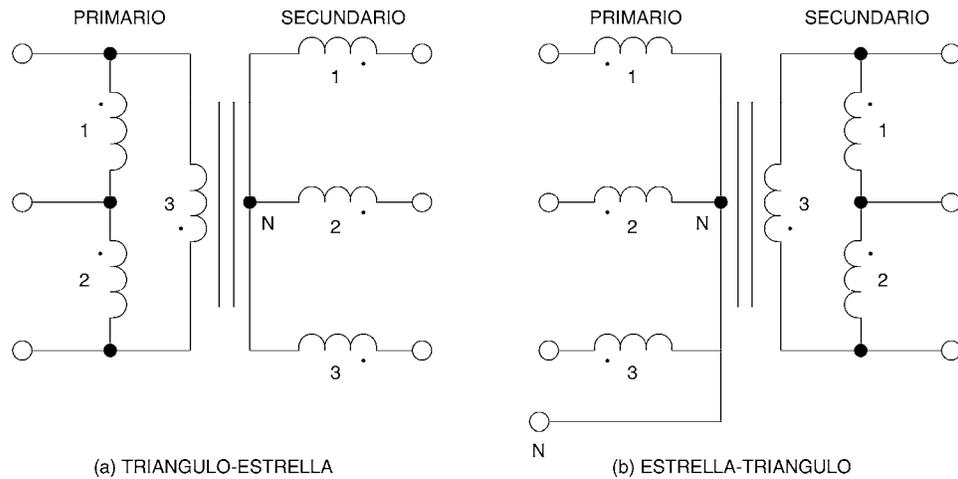


Figura 9-3. Conexiones triángulo-estrella y estrella-triángulo.

Antes de poner en servicio un transformador trifásico se deben verificar las relaciones de fases. Para una configuración estrella, todas las tensiones de línea de los arrollamientos secundarios deben ser $\sqrt{3}$ veces mayores que los correspondientes tensiones de fase. De lo contrario, las conexiones de los arrollamientos se deben invertir. En una configuración estrella, para verificar si las relaciones de fases están correctas, se mide la tensión entre dos arrollamientos (E_{AB}), como lo muestra la figura 9-4a. Dicha tensión debe resultar $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de línea a neutro de cualquiera de los arrollamientos (por ejemplo E_{AN}). Luego se miden las tensiones entre el tercer arrollamiento y los otros (E_{BC} y E_{CA}) para confirmar que estos también son $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase (E_{AN}), como lo muestra la figura 9-4b.

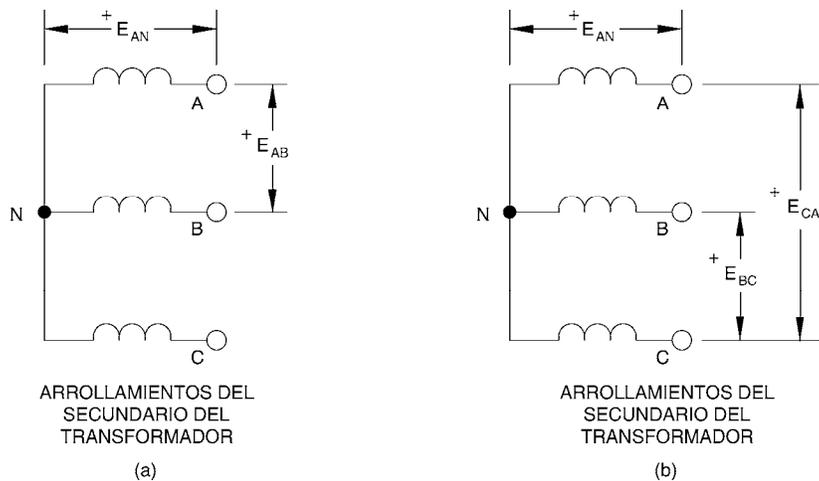


Figura 9-4. Verificación de las relaciones de fases en un secundario conectado en estrella.

Para una configuración triángulo, las tensiones de línea en los arrollamientos secundarios deberán ser iguales. De lo contrario, se deben invertir las conexiones. En una conexión triángulo, para verificar si las relaciones de fases están correctas, se mide la tensión a través de dos arrollamientos conectados en serie (E_{CA}), como lo muestra la figura 9-5a y aquél debe resultar igual a la tensión a través de cualquiera de los arrollamientos (E_{AB} y E_{BC}). Si antes de acoplar todos los extremos de los arrollamientos para cerrar el triángulo se conecta el extremo del tercer arrollamiento, la tensión a través de los tres arrollamientos conectados en serie deberá ser igual a cero. Como lo muestra la figura 9-5b, antes de cerrar el triángulo es sumamente importante verificar que la tensión en el interior de aquél sea igual a cero. En caso contrario, al cerrar el triángulo, puede circular una corriente de cortocircuito muy elevada por los arrollamientos.

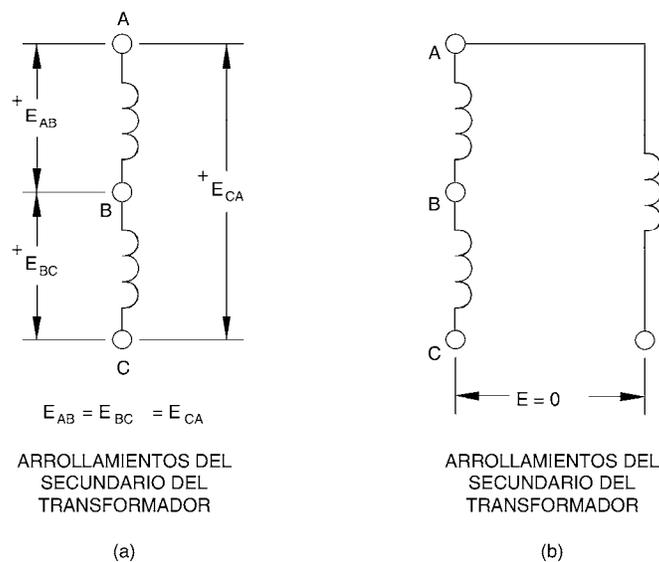


Figura 9-5. Confirmación de tensión igual a cero en el interior del triángulo.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos y el Transformador trifásico.

2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-5 y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES19-1.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

5. Conecte el módulo Transformador trifásico en configuración triángulo-triángulo, como lo muestra la figura 9-6.

ATENCIÓN

No cierre el triángulo en el lado secundario del transformador hasta que se verifique la tensión.

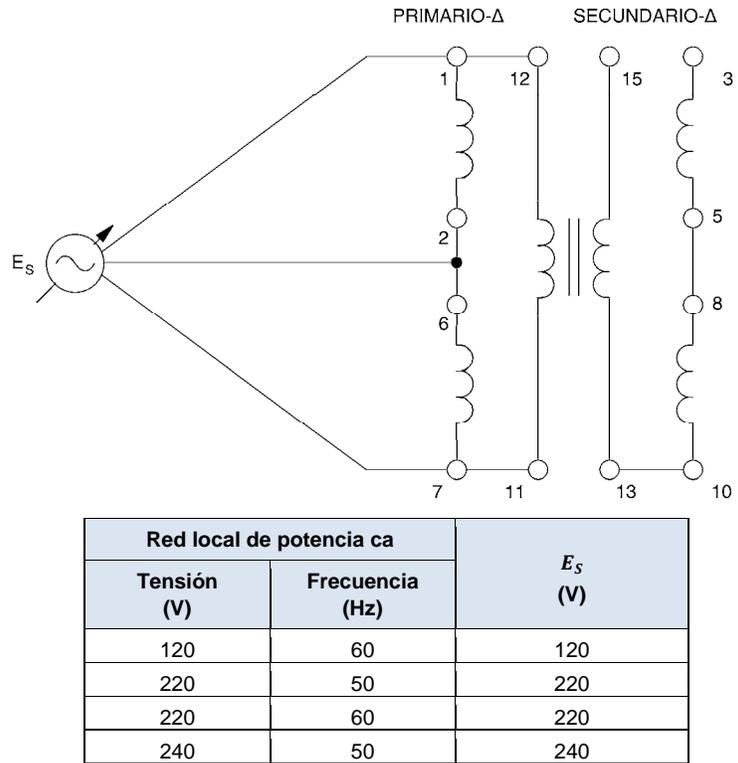


Figura 9-6. Transformador trifásico conectado en configuración triángulo-triángulo.

- Encienda la Fuente de alimentación principal. Ajuste el control de tensión para obtener la tensión línea a línea E_s de la figura 9-6. Utilice E1 para medir las tensiones en los arrollamientos y anote los resultados. Después de anotar las mediciones, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la fuente.



Cuando mida los diferentes tensiones, apague la Fuente de alimentación antes de modificar las conexiones de la entrada E1 del medidor en el circuito.

$$E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{1-7} = \text{_____ V}$$

$$E_{1-12} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-5} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-10} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-15} = \text{_____ V}$$

7. ¿Encuentra usted que las mediciones confirman que los arrollamientos secundarios están conectados con las relaciones de fases apropiadas?

Sí No

8. La suma de las tensiones en el interior del triángulo del secundario, ¿es igual a cero, lo que confirma que se puede cerrar con seguridad dicho triángulo?

Sí No



El valor de E_{3-15} no será exactamente igual a cero, debido a los pequeños desequilibrios de las tensiones de la línea trifásica. Si E_{3-15} resulta mayor que 5 V, se deben verificar cuidadosamente las conexiones de los arrollamientos.

9. Después de confirmar que las conexiones están correctas cierre el triángulo del lado secundario del transformador. Conecte E1, E2 y E3 para medir las tensiones de línea secundarias. Seleccione el archivo de configuración existente *ES19-2.dai*. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para obtener el mismo valor de E_s utilizado en la etapa 6. Observe que el transformador se encuentra conectado con una relación 1:1, de este modo, las tensiones primaria y secundaria resultarán iguales.

10. La suma de las tres tensiones de línea E1 + E2 + E3 indicada por el voltímetro, ¿es aproximadamente igual a cero?

Sí No

11. Observe los fasores de tensiones en la aplicación *Analizador de Fasores*. ¿Se confirma que son iguales y que tienen un desfase de 120° entre cada uno de ellos?

Sí No

12. Apague la Fuente de alimentación. Conecte la entrada E2 para medir la tensión de línea E_{1-2} del lado primario. Encienda la fuente y ajuste el control de tensión para obtener el mismo valor de E_s utilizado en la etapa 6. Compare el fasor tensión E_{1-2} del lado primario con el E_{3-5} del lado secundario. Exceptuando una pequeña diferencia posible debida a la reactancia del transformador, la aplicación *Analizador de Fasores*, ¿muestra que las tensiones son iguales y que están en fase?

Sí No

13. Apague la Fuente de alimentación. Conecte el módulo Transformador trifásico en configuración estrella-estrella, como lo muestra la figura 9-7.

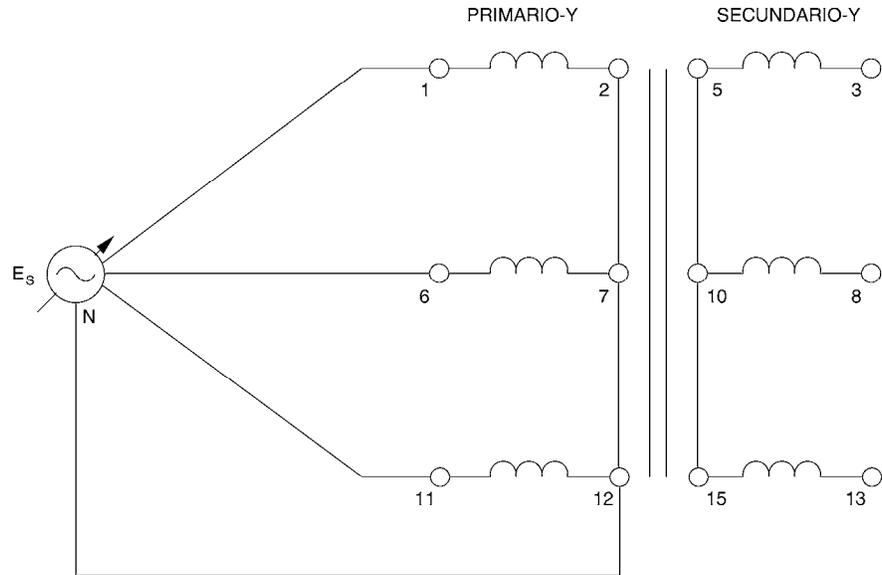


Figura 9-7. Transformador trifásico conectado en estrella-estrella.

14. Encienda la fuente y ajuste el control de tensión para obtener el mismo valor de E_s utilizado en la etapa 6. Seleccione el archivo de configuración existente *ES19-3.dai*. Utilice E1 para medir las tensiones en los arrollamientos y anote los resultados. Después de anotar las mediciones, gire el control de tensión completamente a la izquierda y apague la fuente.



Cuando mida las diferentes tensiones, apague la Fuente de alimentación antes de modificar las conexiones de la entrada E1 del medidor en el circuito.

$$E_{1-6} = \text{_____ V}$$

$$E_{1-11} = \text{_____ V}$$

$$E_{6-11} = \text{_____ V}$$

$$E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{6-7} = \text{_____ V}$$

$$E_{11-12} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-8} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-13} = \text{_____ V}$$

$$E_{8-13} = \text{_____ V}$$

$$E_{3-5} = \text{_____ V}$$

$$E_{8-10} = \text{_____ V}$$

$$E_{13-15} = \text{_____ V}$$

15. ¿Encuentra usted que las mediciones confirman que los arrollamientos secundarios están conectados con las relaciones de fases apropiadas?

Sí No

16. Las tensiones línea a línea en el primario y secundario del transformador, ¿son $\sqrt{3}$ veces mayores que las tensiones de línea a neutro?

Sí No

17. Conecte E1, E2 y E3 para medir las tensiones de fase de los secundarios E_{3-5} , E_{8-10} y E_{13-15} . Seleccione el archivo de configuración existente *ES19-4.dai*. Encienda la fuente y ajuste E_s alrededor del valor utilizado previamente.

18. La suma de las tres tensiones de línea E1 + E2 + E3 indicada por el voltímetro, ¿es aproximadamente igual a cero?

Sí No

19. Observe los fasores de tensiones en la aplicación *Analizador de Fasores*. ¿Se confirma que son iguales y que tienen un desfase de 120° entre cada uno de ellos?

Sí No

20. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste del control de tensión. Conecte E2 para medir la tensión de fase primaria E_{1-2} . Encienda la fuente y compare el fasor tensión E_{1-2} del lado primario con el E_{3-5} del lado secundario. Exceptuando una pequeña diferencia posible debida a la reactancia del transformador, la aplicación *Analizador de Fasores*, ¿muestra que las tensiones son iguales y que están en fase?

Sí No

21. Asegúrese de que la Fuente de alimentación ha sido apagada, que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda y que todos los cables han sido desconectados.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted conectó los arrollamientos de un transformador trifásico en las configuraciones triángulo-triángulo y estrella-estrella y midió las tensiones de los arrollamientos para asegurarse de que los arrollamientos secundarios estuviesen conectados con las relaciones de fases apropiadas. Antes de cerrar el triángulo, confirmó que la tensión en su interior era igual a cero. Además, comprobó que en las configuraciones triángulo-triángulo y estrella-estrella no se producen desfases entre la tensión de entrada del primario y de salida del secundario.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Antes de cerrar el triángulo, ¿por qué es sumamente importante confirmar que la tensión en el triángulo es igual a cero?
 - a. Para asegurarse que la tensión secundaria no resulte demasiado alto.
 - b. Para evitar posibles daños a causa de la elevada corriente.
 - c. Para evitar un cortocircuito en el arrollamiento primario.
 - d. Para mantener un nivel constante de la tensión secundaria.

2. En una configuración triángulo-triángulo, la tensión de línea del lado secundario es
 - a. igual a la tensión primaria multiplicada por la inversa de la relación de espiras.
 - b. $\sqrt{3}$ veces la tensión primaria.
 - c. $\sqrt{3}$ veces la tensión primaria multiplicada por la inversa de la relación de espiras.
 - d. $1/\sqrt{3}$ veces la tensión primaria.

3. En una configuración estrella-estrella, la tensión a través de dos arrollamientos debe ser
 - a. igual a la tensión a través de cada arrollamiento.
 - b. $\sqrt{3}$ veces la tensión a través de cada arrollamiento.
 - c. menor que la tensión a través de cada arrollamiento.
 - d. $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión a través de cada arrollamiento.

4. En una configuración triángulo-triángulo, la tensión a través de dos arrollamientos debe ser
 - a. igual a la tensión a través de cada arrollamiento.
 - b. $\sqrt{3}$ veces la tensión a través de cada arrollamiento.
 - c. menor que la tensión a través de cada arrollamiento.
 - d. $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión a través de cada arrollamiento.

5. Un transformador trifásico puede ser
 - a. una unidad única con tres grupos separados de arrollamientos monofásicos.
 - b. tres transformadores monofásicos conectados juntos.
 - c. una unidad única con un arrollamiento primario y tres secundarios.
 - d. a o b.

Relaciones de tensiones y corrientes

OBJETIVO DEL EJERCICIO Después de completar este ejercicio, usted estará familiarizado con las relaciones de tensiones y corrientes de los transformadores trifásicos conectados en las configuraciones triángulo-estrella y estrella-triángulo. Las mediciones de las tensiones primaria y secundaria demostrarán que esas configuraciones crean un desfase entre las tensiones de entrada y de salida.

PRINCIPIOS Como se vio en el ejercicio anterior, en las conexiones triángulo-triángulo y estrella-estrella, las tensiones primaria y secundaria están en fase y la tensión secundaria es igual a la tensión primaria multiplicado por la inversa de la relación de espiras. Sin embargo, en las conexiones triángulo-estrella y estrella-triángulo, las tensiones primaria y secundaria tienen una diferencia de fase de 30° . En la configuración triángulo-estrella, la tensión de línea secundaria es igual a la tensión de línea primaria multiplicado por la inversa de la relación de transformación y por $\sqrt{3}$. Por otra parte, en la configuración estrella-triángulo, la tensión de línea secundaria es igual a la tensión de línea primaria multiplicado por la inversa de la relación de espiras y por $1/\sqrt{3}$.

El desfase de 30° entre el primario y el secundario no causa ningún inconveniente a las cargas conectadas en las líneas de salida que parten del secundario. Sin embargo, si las líneas de salida que parten del secundario de un transformador trifásico se deben conectar en paralelo con otra fuente, el desfase puede imposibilitar dicha conexión en paralelo, aunque las tensiones de línea sean las mismas. Recuerde que para conectar en paralelo los circuitos trifásicos y las fuentes, la regla es que las tensiones de líneas sean iguales, que tengan la misma secuencia de fases y que estén en fase cuando se realiza dicha conexión en paralelo.

La figura 9-8 muestra un transformador trifásico con una relación de espiras 1:1, que está conectado en configuración triángulo-estrella y que alimenta una carga trifásica. La tensión a través de cada arrollamiento primario E_{PRI} es igual a la tensión de entrada, pero la tensión de la línea de salida E_{SEC} es $\sqrt{3}$ veces aquella tensión. Esto se debe a que la tensión a través de dos arrollamientos secundarios cualesquiera es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión a través de un solo arrollamiento secundario. Observe que si el transformador trifásico tuviera una relación de espiras 1:10, la tensión de línea secundaria sería $10 \times \sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de línea primaria porque la inversa de la relación de espiras estaría multiplicada por el factor $\sqrt{3}$. La corriente de línea secundaria es la misma que la corriente de fase, pero la corriente de línea primaria es $\sqrt{3}$ veces mayor que la correspondiente corriente de fase.

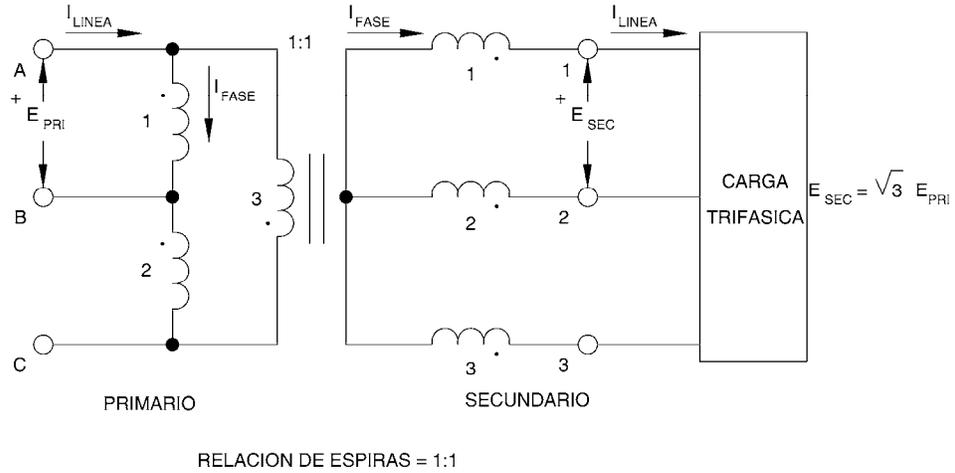


Figura 9-8. Transformador trifásico conectado en configuración triángulo-triángulo.

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva y el Transformador trifásico.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-5 y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

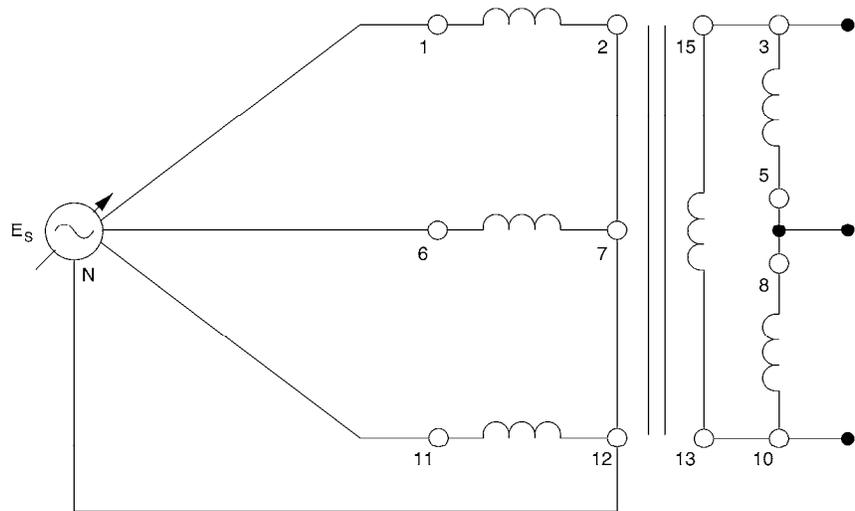
- Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES19-5.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

- Conecte el módulo Transformador trifásico en configuración estrella-triángulo, como lo muestra la figura 9-9. Antes de cerrar el triángulo, asegúrese de que la tensión en su interior es igual a cero.



Red local de potencia ca		E_S (V)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)	
120	60	120
220	50	220
220	60	220

Figura 9-9. Transformador trifásico conectado en configuración estrella-triángulo.

- Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para obtener la tensión línea a línea E_S de la figura 9-9. Conecte E1, E2 y E3 para medir las tensiones de línea en el primario y anote los resultados. Anote también el valor promedio de la tensión de línea que muestra el medidor (E1, E2, E3).

$$E_{1-6} = \text{_____ V}$$

$$E_{11-1} = \text{_____ V}$$

$$E_{6-11} = \text{_____ V}$$

$$\text{Valor promedio de la tensión de línea (primario)} = \text{_____ V}$$

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

7. Observe los fasores de tensiones en la aplicación *Analizador de Fasores*. ¿Se confirma que son iguales y que tienen un desfase de 120° entre cada uno de ellos?

Sí No

8. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste del control de tensión. Conecte E1, E2 y E3 para medir las tensiones de líneas en el secundario. Seleccione el archivo de configuración existente *ES19-6.dai*. Encienda la Fuente de alimentación y registre las tensiones de línea así como los valores promedios de tensión de línea del secundario (medidores E1, E2, y E3)

$$E_{3-5} = \text{_____ V}$$

$$E_{8-10} = \text{_____ V}$$

$$E_{13-15} = \text{_____ V}$$

$$\text{Valor promedio de la tensión de línea (secundario)} = \text{_____ V}$$

9. Observe los fasores de tensiones en la aplicación *Analizador de Fasores*. ¿Se confirma que son iguales y que tienen un desfase de 120° entre cada uno de ellos?

Sí No

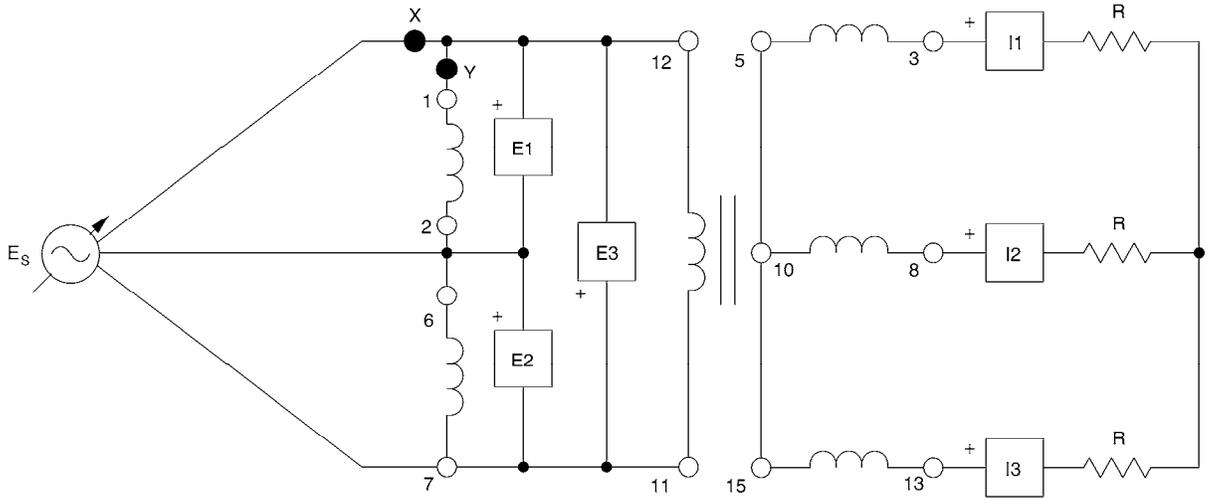
10. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste del control de tensión. Conecte E2 para medir la tensión de línea primaria E_{1-6} . Seleccione el archivo de configuración existente *ES19-7.dai*. Encienda la fuente y compare el fasor de tensión E_{1-6} del lado primario con el E_{3-5} del lado secundario. Lo que muestra la aplicación *Analizador de Fasores*, ¿confirma el desfase cercano a 30° entre los dos?

Sí No

11. Calcule el cociente $\text{PRO } E_{\text{SEC}} / \text{PRO } E_{\text{PRI}}$ empleando los valores anotados en las etapas 6 y 8. ¿Resulta aproximadamente igual a $1/\sqrt{3}$?

Sí No

12. Apague la Fuente de alimentación y conecte el módulo Transformador trifásico en configuración triángulo-estrella, como lo muestra la figura 9-10. Ajuste el módulo Carga resistiva con los valores indicados para R y conecte I1, I2 e I3 para medir las tres corrientes de línea de la carga.



Red local de potencia ca		E_s (V)	R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	70	300
220	50	125	1100
220	60	125	1100

Figura 9-10. Transformador trifásico conectado en configuración triángulo-estrella.

13. Conecte E1, E2 y E3 para medir las tensiones de línea en el primario, encienda la fuente y ajuste el control de tensión para obtener la tensión línea a línea E_s de la figura 9-10. Seleccione el archivo de configuración existente *ES19-8.dai*. registre las tensiones de línea así como los valores promedios de tensión de línea del primario [medidor PROM E1, E2, y E3]

$$E_{1-2} = \text{_____ V}$$

$$E_{6-7} = \text{_____ V}$$

$$E_{11-12} = \text{_____ V}$$

$$\text{Valor promedio de la tensión de línea (primario)} = \text{_____ V}$$

14. Observe los fasores de tensiones y corrientes en la aplicación *Analizador de Fasores*. Lo que dicha aplicación muestra, ¿confirma que esos fasores están en fase?

Sí No

15. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste del control de tensión. Conecte E1, E2 y E3 para medir las tensiones de línea en el secundario E_{3-8} , E_{8-13} y E_{13-3} . Seleccione el archivo de configuración existente *ES19-9.dai*. Encienda la fuente. Lo que se visualiza en la aplicación *Analizador de Fasores*, ¿muestra que los fasores de tensión adelantan en 30° a los fasores de corriente?

Sí No



*Dado que las corrientes secundarias están en fase con las tensiones primarias, salvo la diferencia de escala entre los parámetros, lo que la aplicación *Analizador de Fasores* muestra es equivalente a observar todos los fasores de tensiones al mismo tiempo.*

16. Vuelva a la aplicación *Aparatos de Medición* y registre las tensiones de línea así como los valores promedios de tensión de línea del secundario (medido PROM E1, E2, y E3)

$$E_{3-8} = \text{_____ V}$$

$$E_{8-13} = \text{_____ V}$$

$$E_{13-3} = \text{_____ V}$$

$$\text{Valor promedio de la tensión de línea (secundario)} = \text{_____ V}$$

17. Calcule el cociente tensión de línea promedio del secundario/tensión de línea promedio del primario empleando los valores anotados en las etapas 13 y 16. ¿Resulta aproximadamente igual a $\sqrt{3}$?

Sí No

18. Apague la Fuente de alimentación. Conecte I1 e I2 para medir las corrientes de línea y de fase del lado primario de la configuración triángulo-estrella. Para eso, abra el circuito en los puntos X e Y, como lo muestra la figura 9-10. No olvide conectar nuevamente los resistores de carga en el secundario después de desconectar I1 e I2.

19. Seleccione el archivo de configuración existente *ES19-10.dai*. Encienda la fuente y, empleando las corrientes medidas, calcule el cociente $I_{LÍNEA}/I_{FASE}$ en el circuito primario. ¿Resulta dicho cociente aproximadamente igual a $\sqrt{3}$?

Sí No

20. ¿La corriente de línea primaria, I_a es aproximadamente igual a la corriente de línea secundaria?

Sí No

21. Asegúrese de que la Fuente de alimentación ha sido apagada, que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda y que todos los cables han sido desconectados.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted conectó un transformador trifásico de relación 1:1 en las configuraciones estrella-triángulo y triángulo-estrella y observó que la tensión de línea entre el primario y el secundario aumenta o disminuye con el factor $\sqrt{3}$. Además, pudo comprobar que las tensiones de línea en la salida del secundario estaban desfasados 30° con respecto a las tensiones de línea en la entrada del primario.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Las configuraciones triángulo-estrella y estrella-triángulo producen
 - a. el incremento de las tensiones y corrientes secundarias.
 - b. la disminución de las tensiones y corrientes secundarias.
 - c. un desfasaje entre las tensiones de línea de entrada y de salida.
 - d. un incremento adicional de $\sqrt{3}$ en las tensiones y corrientes secundarias.

2. En un transformador de relación 10:1, conectado en estrella-triángulo, la tensión de línea secundaria es igual a la tensión de línea primaria multiplicado por
 - a. $1/\sqrt{3}$.
 - b. $\sqrt{3}$.
 - c. 0,1 y por $1/\sqrt{3}$.
 - d. 0,1 y por $\sqrt{3}$.

3. En un transformador conectado en triángulo-estrella la tensión de línea secundaria es
 - a. mayor que en una conexión estrella-triángulo.
 - b. menor que en una conexión estrella-triángulo.
 - c. igual al de una conexión estrella-triángulo.
 - d. sólo dependiente de la relación de espiras.

4. En un transformador trifásico, la suma de las tensiones de fase
 - a. depende de la conexión.
 - b. es igual a cero, cuando el transformador está conectado correctamente.
 - c. es $\sqrt{3}$ veces la relación de espiras.
 - d. sólo puede determinarse cuando se conecta una carga en el secundario.

5. Antes de poner en servicio un transformador trifásico,
 - a. se debe verificar la secuencia de fases de las líneas de entrada.
 - b. se deben verificar las conexiones de los arrollamientos para asegurar una apropiada relación de fases.
 - c. se deben equilibrar las cargas.
 - d. se debe medir el desfasaje.

Conexión triángulo abierto

OBJETIVO DEL EJERCICIO

Después de completar este ejercicio, usted será capaz de conectar dos transformadores en configuración triángulo abierto para alimentar una carga trifásica balanceada. Usted también será capaz de demostrar que en la configuración triángulo abierto, la potencia máxima es el 57,7% ($1/\sqrt{3}$) de la correspondiente a una configuración triángulo-triángulo normal.

PRINCIPIOS

La conexión triángulo abierto permite alimentar cargas trifásicas balanceadas empleando sólo dos transformadores. Esta configuración resulta útil cuando la cantidad de potencia a suministrar no es excesiva o cuando se debe sacar de servicio, a causa de una avería o por otra razón, uno de los transformadores. Lo más importante para observar es que la capacidad de potencia en la configuración triángulo abierto es del 57,7% de la correspondiente a una configuración triángulo-triángulo normal o del 86,6% de la capacidad de los dos transformadores restantes. La razón de esto es simple y se puede utilizar la figura 9-11, para ilustrar la explicación.

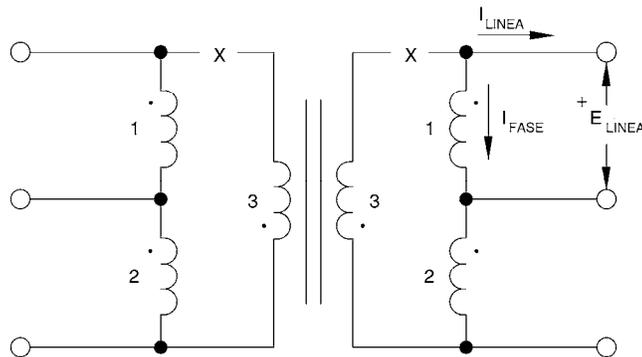


Figura 9-11. Configuración triángulo abierto.

En una configuración triángulo estándar, la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente que circula en el arrollamiento de fase. Cuando uno de los transformadores no está presente, la totalidad de la corriente de línea circula a través del arrollamiento de fase debido a que, en una configuración triángulo abierto, las corrientes de línea y fase son las mismas. Un gran incremento de la corriente causará el sobrecalentamiento de los arrollamientos de fase y dañará al transformador, a menos que la potencia de la carga sea reducida. Por lo tanto, se debe reducir la corriente de línea en $\sqrt{3}$ veces, considerando que la capacidad de potencia en una configuración triángulo abierto está limitada al 57,7% de la correspondiente a una configuración triángulo-triángulo normal. El siguiente ejemplo ilustra el cálculo de la potencia máxima. Cuando se conectan tres transformadores de 50 kVA cada uno en configuración triángulo-triángulo, la capacidad de potencia total del banco es la suma de las tres, o sea 150 kVA. Para dos transformadores en configuración triángulo abierto, la capacidad

es $150 \text{ kVA} / \sqrt{3} = 86,6 \text{ kVA}$, que es lo mismo que 86,6% de la capacidad total de los dos transformadores ($0,866 \times 100 \text{ kVA} = 86,6 \text{ kVA}$).

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva y el Transformador trifásico.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-5 y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES19-11.dai*.

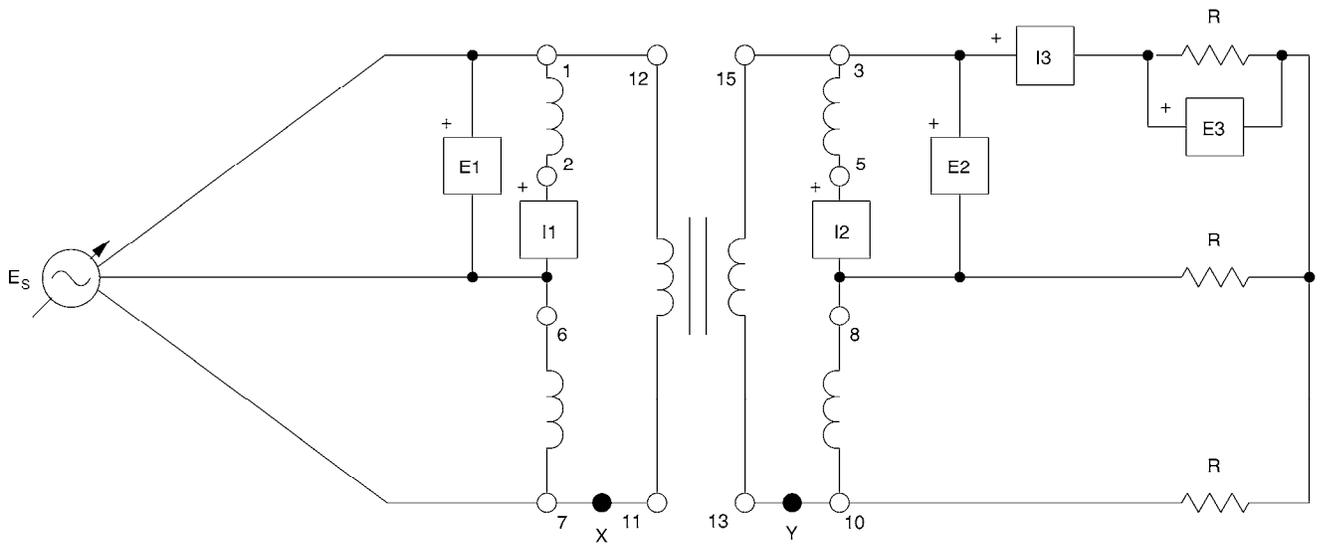


Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

5. Conecte el módulo Transformador trifásico en configuración triángulo-triángulo, como lo muestra la figura 9-12 (no conecte por ahora la carga resistiva). Cierre los terminales 7 y 11 (punto X) del primario y los 10 y 13 (punto Y) del secundario. Utilice conductores diferentes para realizar esas conexiones. Conecte las entradas E1 e I1 en el primario y las entradas E2, I2 e I3 en el secundario, como se muestra. Antes de alimentar el circuito, asegúrese de que la corriente en el interior del triángulo secundario es igual a cero.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden



Red local de potencia ca		E_S (V)	R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	120	171
220	50	220	629
220	60	220	629

Figura 9-12. Demostración de una configuración triángulo abierto.

6. Conecte el módulo Carga resistiva como se muestra. Ajuste R con los valores indicados, colocando todos los interruptores en la posición I (encendido). Conecte E_3 en paralelo con uno de los resistores, como lo ilustra la figura 9-12. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para obtener la tensión línea a línea E_S de la misma figura. Anote los valores de línea y fase (arrollamiento) indicados por los medidores, así como las potencias aparentes indicadas por los medidores, así como los valores de potencia aparente (S_1 , S_2 , y S_3).

$$E_{PRI} \text{ (tensión 1)} = \text{_____ V}$$

$$E_{SEC} \text{ (tensión 2)} = \text{_____ V}$$

$$E_{CARGA} \text{ (tensión 3)} = \text{_____ V}$$

$$I_{PRI} \text{ (corriente 1)} = \text{_____ A}$$

$$I_{SEC} \text{ (corriente 2)} = \text{_____ A}$$

$$I_{CARGA} \text{ (corriente 3)} = \text{_____ A}$$

$$S_{PRI} (S_1) = \text{_____ VA}$$

$$S_{SEC} (S_2) = \text{_____ VA}$$

$$S_{CARGA} (S_3) = \text{_____ VA}$$

7. ¿Encuentra usted que los medidores muestran que las tensiones de línea primaria y secundaria E_{PRI} y E_{SEC} son iguales, así como las corrientes que fluyen en los arrollamientos primario y secundario I_{PRI} y I_{SEC} ?

Sí No

8. La corriente de línea en la carga I_{CARGA} , ¿es aproximadamente $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase del arrollamiento secundario I_{SEC} ?

Sí No



Observe también, que la tensión en la carga E_{CARGA} es $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión de línea secundaria E_{SEC} .

9. Abra cuidadosamente el triángulo primario en el punto X, desconectando el conductor del terminal primario 11 y observe el cambio en las corrientes de línea y fase.



Abra el triángulo con mucha precaución, dado que en este momento hay alta tensión en el conductor.

10. Las corrientes de fase primaria y secundaria I_{PRI} y I_{SEC} , así como los valores de potencia aparente S_1 y S_2 , ¿tuvieron un incremento importante?

Sí No

11. ¿Resulta ese incremento aproximadamente igual a $\sqrt{3}$?

Sí No

12. En la configuración triángulo abierto, la actual corriente de fase secundaria, ¿es igual a la corriente en la carga?

Sí No

13. Cierre el triángulo primario en el punto X y abra el secundario en el punto Y, desconectando el conductor del terminal 13.



Una vez más, abra el triángulo con mucha precaución, dado que en este momento hay alta tensión en el conductor.

¿Observa el mismo resultado que en la etapa anterior?

Sí No

14. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste del control de tensión. Desconecte completamente los conductores entre los terminales primarios 7 y 11 y secundarios 10 y 13.

15. Encienda la Fuente de alimentación. Dado que el requerimiento de potencia de la carga no ha cambiado, las corrientes en los arrollamientos primario y secundario, ¿están aún en el mismo nivel?

Sí No

16. Para bajar las corrientes de los arrollamientos a los valores medidos en la etapa 6, ¿en cuánto habría que incrementar la resistencia de la carga? Observe que aumentando la resistencia de la carga, la corriente que circula en la misma disminuye, por lo tanto, la potencia de la carga también disminuye.
-

17. Ajuste los resistores de carga para obtener la misma corriente en el arrollamiento que se midió en la etapa 6. ¿Qué valor obtiene?



Inicialmente, el módulo Carga resistiva se ajustó con los tres resistores en paralelo para obtener el valor de la figura 9-12. Como usted ha observado, al seleccionar el único valor más bajo del módulo se obtiene una resistencia de carga incrementada en $\sqrt{3}$. Por consiguiente, la corriente en el arrollamiento se reduce en el mismo factor y debería igualar su valor anterior.

18. Anote las potencias aparentes S_1 y S_3 que indican los medidores.

$S_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

$S_3 = \underline{\hspace{2cm}}$ VA

19. El valor de la potencia aparente S_3 , ¿es aproximadamente 57,7% menor que el medido en la etapa 6, lo que confirma que la potencia de la carga se tiene que reducir para evitar exceder la corriente nominal del transformador?

Sí No

20. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste del control de tensión. Para cerrar los triángulos, conecte nuevamente los terminales 7 y 11 y los terminales 10 y 13. Conecte las entradas E1, E2, E3, I1, I2 e I3 para medir las tensiones de línea y las corrientes de línea del secundario.

21. Encienda la Fuente de alimentación y luego utilice la aplicación *Analizador de Fasores* para observar los fasores de tensión y corriente. Una vez más, abra el triángulo primario y luego el secundario, con la misma secuencia de las etapas 9 y 13.

22. Lo que muestra la aplicación *Analizador de Fasores*, ¿confirma que no hay cambios en las tensiones y corrientes de la carga trifásica?

Sí No

23. Asegúrese de que la Fuente de alimentación ha sido apagada, que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda y que todos los cables han sido desconectados.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted conectó un transformador trifásico en configuración triángulo abierto y observó que el mismo puede alimentar una carga trifásica con tensiones y corrientes cuyas relaciones de fases son las apropiadas. Además, demostró que para evitar exceder la corriente nominal en los arrollamientos de fase, se debe reducir 57,7% ($1/\sqrt{3}$) la potencia de la carga.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un transformador trifásico, en configuración triángulo abierto, puede alimentar
 - a. la misma potencia de carga que la configuración triángulo-triángulo.
 - b. sólo 57,7% de la potencia de una configuración triángulo-triángulo.
 - c. sólo 86,6% de la potencia de una configuración triángulo-triángulo.
 - d. sólo 67% de la potencia de dos transformadores.

2. En un transformador trifásico en configuración triángulo-triángulo, uno de sus arrollamientos se desconecta de la línea. ¿Qué sucederá con las corrientes en los arrollamientos?
 - a. Nada.
 - b. Decrecen.
 - c. Aumentan 33,3%.
 - d. Aumentan alrededor de 1,73 veces el valor anterior.

3. La principal ventaja de una configuración triángulo abierto es que
 - a. se pueden alimentar cargas trifásicas balanceadas, pero reduciendo la potencia.
 - b. sólo se necesitan dos transformadores para suministrar la misma potencia.
 - c. es muy simple comprenderla.
 - d. las tensiones de línea, a través de los arrollamientos, se reducen en $\sqrt{3}$.

4. Una carga conectada en estrella se alimenta mediante una configuración triángulo abierto. Las tensiones a través de cada rama de la carga son
 - a. $\sqrt{3}$ veces mayores que en una configuración triángulo-triángulo.
 - b. $\sqrt{3}$ veces menores que en una configuración triángulo-triángulo.
 - c. los mismos que en una configuración triángulo-triángulo.
 - d. los mismos que en una configuración estrella-triángulo.

5. Dos transformadores monofásicos, de 100 kVA y 7200 V: 1000 V, se conectan en configuración triángulo abierto para alimentar una carga trifásica. La máxima potencia que podrán suministrar a la carga será
 - a. 100 kVA
 - b. 200 kVA
 - c. 300 kVA
 - d. 173 kVA

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Examen de la unidad

1. La tensión de línea del secundario de un transformador trifásico conectado en configuración triángulo-estrella es 208 V. ¿Cuál es la tensión de línea primaria, sabiendo que la relación de espiras es 10:1?
 - a. 2080 V
 - b. 1200 V
 - c. 3600 V
 - d. 3280 V

2. Cuando se conectan los arrollamientos secundarios de un transformador trifásico en triángulo, ¿qué es lo más importante a verificar?
 - a. Que la tensión secundaria sea igual a cero cuando el primario está desconectado.
 - b. Que los conductores de fase estén bien conectados.
 - c. Que la tensión en el interior del triángulo sea igual a cero antes de cerrarlo.
 - d. Que la tensión primaria tenga el valor apropiado.

3. En una configuración triángulo-estrella, la tensión de línea secundaria es
 - a. el mismo que la tensión de línea primaria.
 - b. $\sqrt{3}$ veces la tensión de línea primaria multiplicado por la inversa de la relación de espiras.
 - c. igual a la tensión de línea primaria multiplicado por la inversa de la relación de espiras.
 - d. $1/\sqrt{3}$ veces la tensión de línea primaria.

4. En una configuración estrella-triángulo, la tensión a través de dos arrollamientos secundarios, debe ser
 - a. igual a la tensión a través de cada arrollamiento.
 - b. $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión a través de cada arrollamiento.
 - c. menor que la tensión a través de cada arrollamiento.
 - d. $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión a través de cada arrollamiento.

5. A un transformador conectado en triángulo-estrella y con una relación de espiras 1:5 se le aplican 1000 V al primario. ¿Cuál será la tensión de línea secundaria?
 - a. 8660 V
 - b. 5000 V
 - c. 1000 V
 - d. 2887 V

6. Triángulo-triángulo, triángulo-estrella, estrella-estrella y estrella-triángulo, se refieren a
 - a. los diferentes tipos de circuitos monofásicos.
 - b. las diferentes formas de conectar los transformadores trifásicos.
 - c. las diferentes formas de medir las fases en los circuitos.
 - d. a y b.

7. Un transformador conectado en configuración triángulo-triángulo puede alimentar
 - a. tres veces la potencia de carga de un transformador en triángulo abierto.
 - b. $\sqrt{3}$ veces la potencia de un transformador en triángulo abierto.
 - c. 86.6% más de potencia que un transformador en triángulo abierto.
 - d. 57.7% más de potencia que un transformador en triángulo abierto.

8. Una de las principales ventajas de un primario conectado en triángulo es que
 - a. puede alimentar cargas trifásicas balanceadas, pero reduciendo la potencia.
 - b. se necesitan sólo tres conductores para la distribución de las fases.
 - c. la corriente en el neutro será mínima.
 - d. la tensión de línea a través de los arrollamientos es el mismo.

9. Se alimenta una carga conectada en triángulo empleando una configuración triángulo abierto. Las tensiones a través de cada rama de la carga son
 - a. $\sqrt{3}$ veces mayores que en la configuración triángulo-triángulo.
 - b. $\sqrt{3}$ veces menores que en la configuración triángulo-triángulo.
 - c. las mismas que en la configuración triángulo-triángulo.
 - d. las mismas que en la configuración estrella-triángulo.

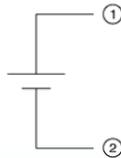
10. Dos transformadores monofásicos de 50 kVA y 750 V : 175 V, se conectan en configuración triángulo abierto para alimentar una carga trifásica. La máxima potencia que podrán suministrar a la carga será
 - a. 57.7 kVA
 - b. 86.6 kVA
 - c. 100 kVA
 - d. 173 kVA

Símbolos de los diagramas de circuitos

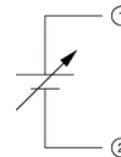
En los diagramas de circuitos incluidos en las secciones PRINCIPIOS y PROCEDIMIENTO de este manual se utilizan diferentes tipos de símbolos. Cada uno es la representación funcional de un dispositivo específico utilizado en el campo de la tecnología de la energía eléctrica. Por ejemplo, estos símbolos diferentes pueden representar una fuente de alimentación cc de tensión fija, una fuente de alimentación ca monofásica de tensión variable y un motor/alternador sincrónico. El empleo de estos símbolos simplifica de manera importante las interconexiones que se deben mostrar en los diagramas de los circuitos y, por lo tanto, facilita la comprensión del funcionamiento de esos circuitos.

Para cada símbolo empleado en este y otros manuales de la serie Tecnología de la energía eléctrica utilizando la adquisición de datos, este apéndice presenta el nombre del dispositivo que el símbolo representa así como un diagrama mostrando los equipos requeridos y, en ciertos casos, las conexiones necesarias para implementar el dispositivo. Observe que los terminales de cada símbolo están identificados mediante letras encerradas en un círculo. Esas mismas letras identifican los terminales correspondientes en el diagrama Equipos y conexiones.

Símbolo

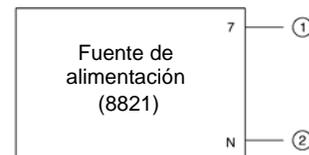
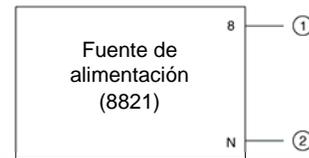


Fuente de alimentación cc de tensión fija

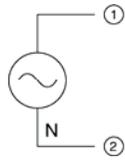


Fuente de alimentación cc de tensión variable

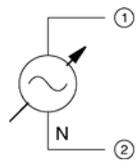
Equipos y conexiones



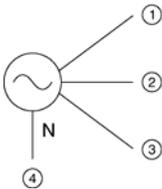
Símbolo



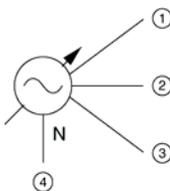
Fuente de alimentación ca de tensión fija



Fuente de alimentación ca de tensión variable

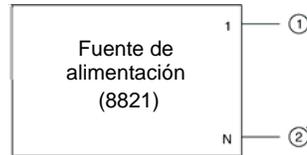


Fuente de alimentación ca trifásica de tensión fija

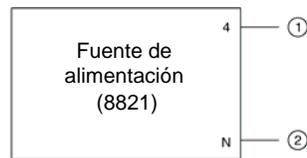


Fuente de alimentación ca trifásica de tensión variable

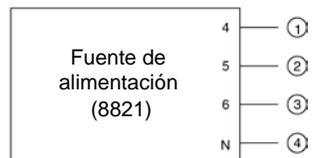
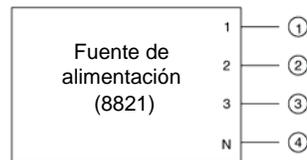
Equipos y conexiones



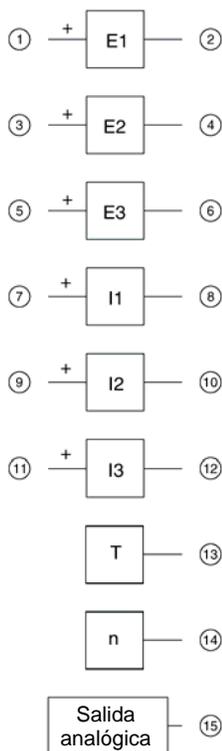
* Nota: También se puede utilizar el terminal 2 o 3.



* Nota: También se puede utilizar el terminal 5 o 6.



Símbolo

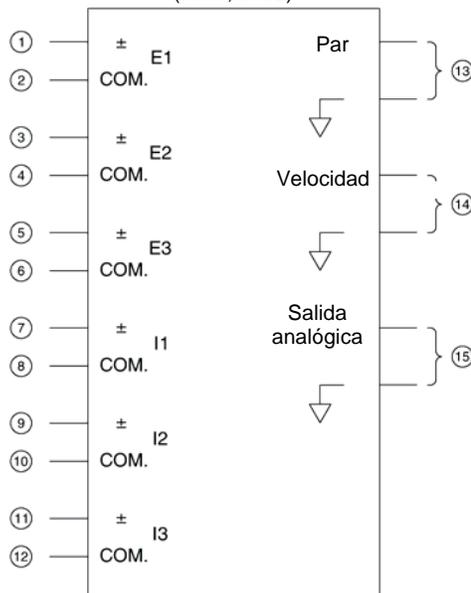


Para 9061
o 9062

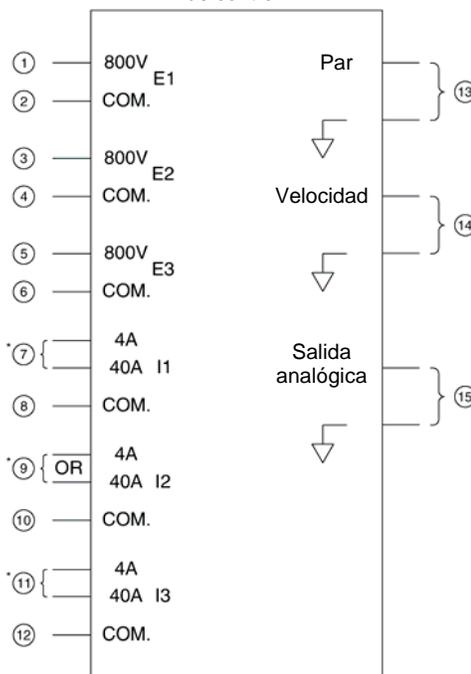
Para 9063

Equipos y conexiones

Interfaz de adquisición de datos
(9061, 9062)

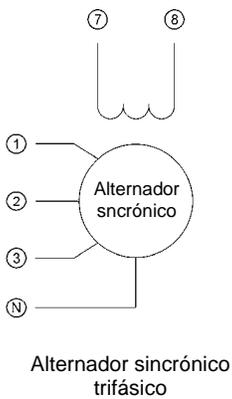
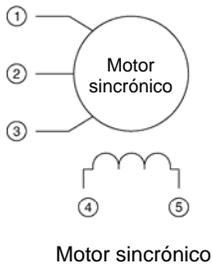
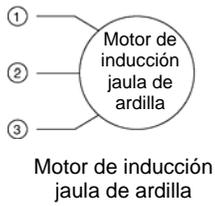


Interfaz de adquisición de datos y
de control



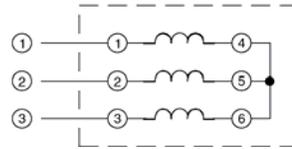
*Nota: Cuando la corriente de una de las entradas I1, I2 o I3 supera los 4 A (de forma permanente o momentánea), utilice el terminal de entrada de 40 A y ajuste el parámetro Gama de la entrada correspondiente en Alta en la ventana Ajustes de la Interfaz de adquisición de datos y de control del software LVDAC-EMS

Símbolo

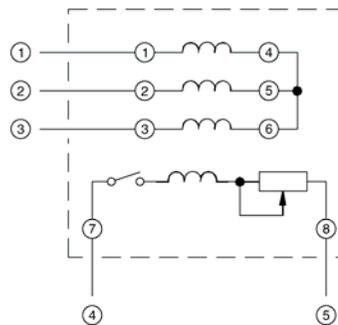


Equipos y conexiones

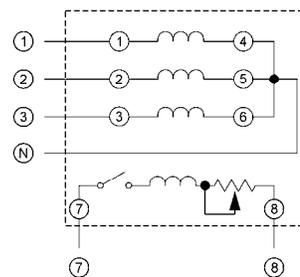
Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos (8221)



Motor/alternador sincrónico (8241)

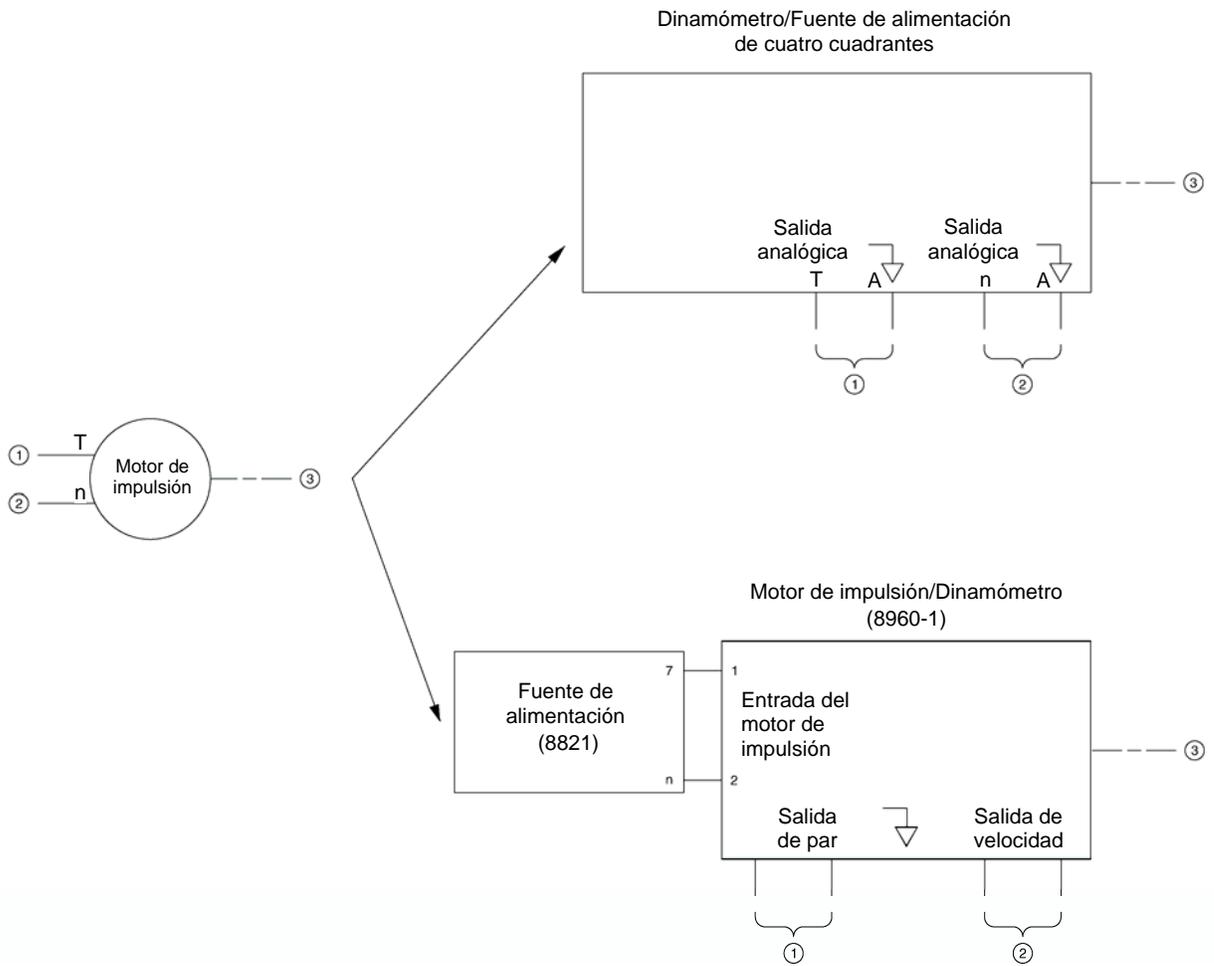


Motor/alternador sincrónico (8241)



Símbolo

Equipos y conexiones



Símbolo

Equipos y conexiones

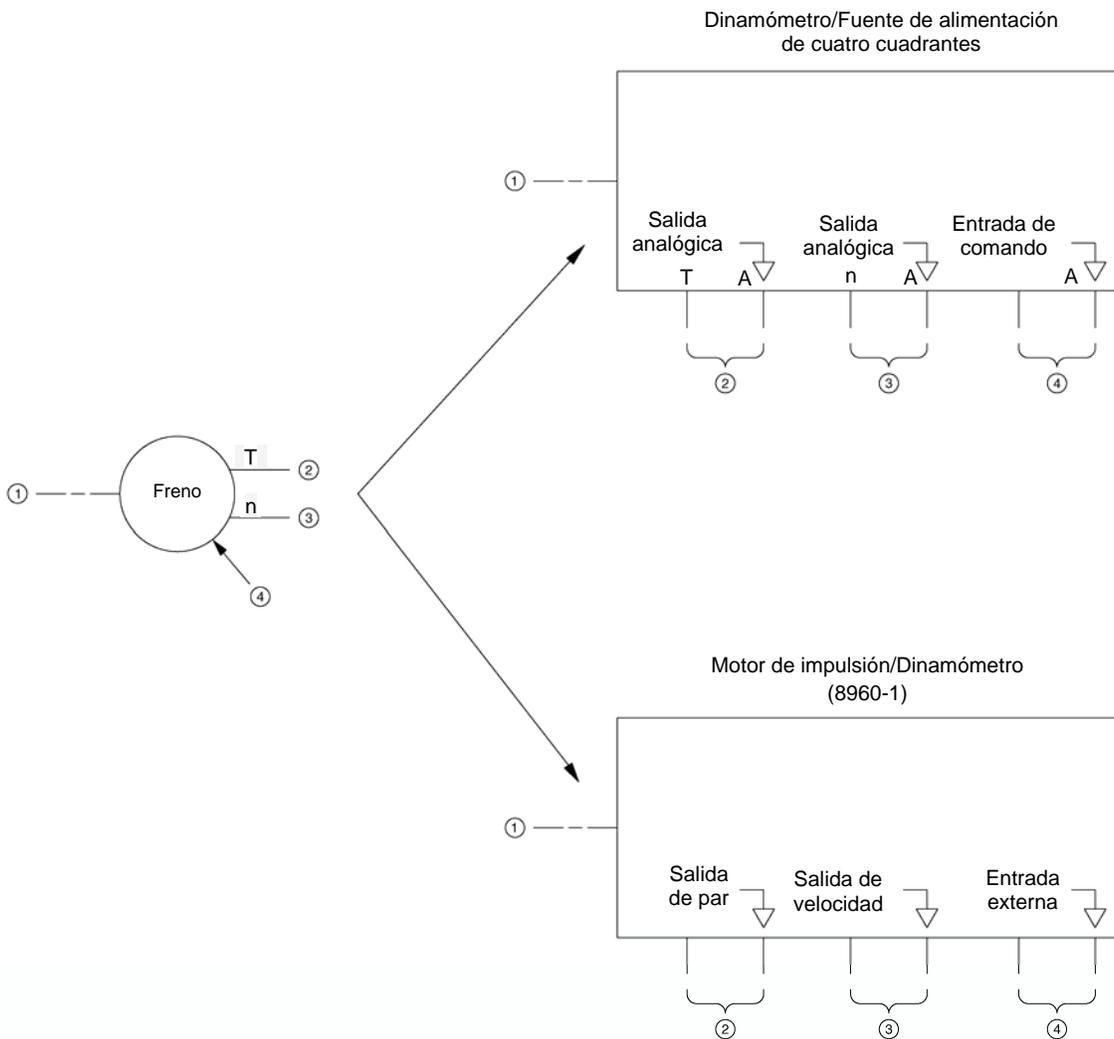


Tabla de impedancia para los módulos de carga

La siguiente tabla lista los valores de impedancia que pueden obtenerse usando la Carga resistiva, modelo 8311, la Carga inductiva, modelo 8321, y la Carga capacitiva, modelo 8331. La figura B-1 muestra los elementos de carga y sus conexiones. Se pueden utilizar otras combinaciones en paralelo para obtener los mismos valores de impedancia listados.

Tabla B-1. Tabla de impedancia para los módulos de carga.

Impedancia (Ω)			Posición de los interruptores								
120 V 60 Hz	220 V 50 Hz/60 Hz	240 V 50 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1200	4400	4800									
600	2200	2400									
300	1100	1200									
400	1467	1600									
240	880	960									
200	733	800									
171	629	686									
150	550	600									
133	489	533									
120	440	480									
109	400	436									
100	367	400									
92	338	369									
86	314	343									
80	293	320									
75	275	300									
71	259	282									
67	244	267									
63	232	253									
60	220	240									
57	210	229									

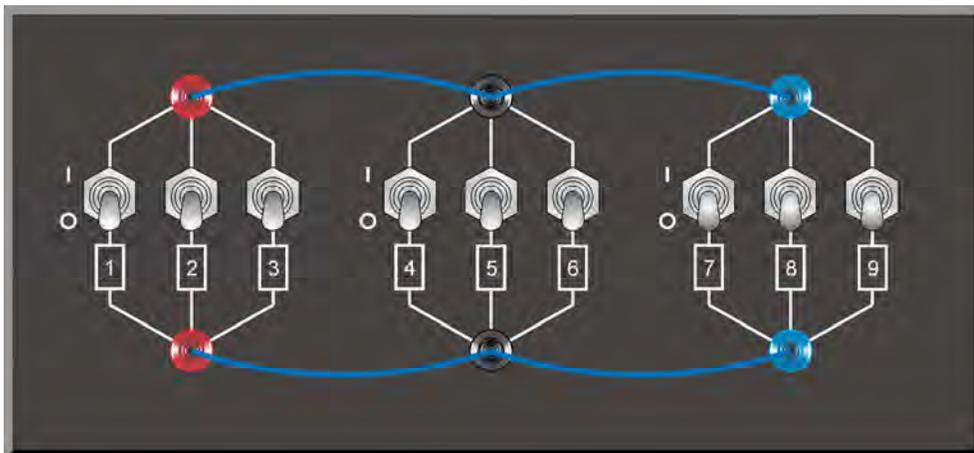


Figura B-1. Ubicación de los elementos de carga en la Carga resistiva, Carga inductiva y Carga capacitiva, modelos 8311, 8321 y 8331, respectivamente.

La siguiente tabla proporciona los valores de las inductancias que se pueden obtener utilizando el módulo Carga inductiva, modelo 8321. La tabla B-2 muestra los elementos de carga y sus conexiones. Se pueden realizar otras combinaciones en paralelo para obtener los mismos valores de inductancias de la lista.

Tabla B-2. Tabla de inductancias del módulo Carga inductiva.

Inductancia (H)				Posiciones de los conmutadores de los elementos de carga								
120 V 60 Hz	220 V 50 Hz	220 V 60 Hz	240 V 50 Hz	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,20	14,00	11,70	15,30	I								
1,60	7,00	5,80	7,60		I							
1,07	4,67	3,88	5,08	I	I							
0,80	3,50	2,90	3,80			I						
0,64	2,80	2,32	3,04	I		I						
0,53	2,33	1,93	2,53		I	I						
0,46	2,00	1,66	2,17	I	I	I						
0,40	1,75	1,45	1,90	I			I	I	I			
0,36	1,56	1,29	1,69		I		I	I	I			
0,32	1,40	1,16	1,52			I		I	I			
0,29	1,27	1,06	1,38			I	I	I	I			
0,27	1,17	0,97	1,27	I		I	I	I	I			
0,25	1,08	0,89	1,17		I	I	I	I	I			
0,23	1,00	0,83	1,09	I	I	I	I	I	I			
0,21	0,93	0,77	1,01	I			I	I	I	I	I	I
0,20	0,88	0,73	0,95		I		I	I	I	I	I	I
0,19	0,82	0,68	0,89			I		I	I	I	I	I
0,18	0,78	0,65	0,85			I	I	I	I	I	I	I
0,17	0,74	0,61	0,80	I		I	I	I	I	I	I	I
0,16	0,70	0,58	0,76		I	I	I	I	I	I	I	I
0,15	0,67	0,55	0,72	I	I	I	I	I	I	I	I	I

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Tabla de utilización del equipo

Para la ejecución de los ejercicios de este manual, se requieren los siguientes equipos:

Equipo		Ejercicio									
Modelo	Descripción	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
8134 ⁽¹⁾	Puesto de trabajo EMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8311	Carga resistiva	1	1	1	1	1		1			
8321	Carga inductiva										
8331	Carga capacitiva								1	1	1
8341	Transformador monofásico										
8348	Transformador trifásico										
8621	Módulo de sincronización										
8821-2X	Fuente de alimentación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8951	Juego de cables y accesorios	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9061, 9062 o 9063	Interfaz para la adquisición de datos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

⁽¹⁾ También se puede utilizar el Puesto de trabajo móvil, modelo 8110-2.

Equipo		Ejercicio									
Modelo	Descripción	4-1	4-2	4-3	5-1	5-2	5-3	5-4	6-1	6-2	6-3
8134 ⁽¹⁾	Puesto de trabajo EMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8311	Carga resistiva				1	1	1	1	1	1	1
8321	Carga inductiva	1	1	1	1	1	1	1			1
8331	Carga capacitiva				1	1	1	1		1	1
8341	Transformador monofásico										
8348	Transformador trifásico										
8621	Módulo de sincronización										1
8821-2X	Fuente de alimentación	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8951	Juego de cables y accesorios	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9061, 9062 o 9063	Interfaz para la adquisición de datos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

⁽¹⁾ También se puede utilizar el Puesto de trabajo móvil, modelo 8110-2.

Equipo		Ejercicio								
Modelo	Descripción	7-1	7-2	7-3	8-1	8-2	8-3	9-1	9-2	9-3
8134 ⁽¹⁾	Puesto de trabajo EMS	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8311	Carga resistiva			1	1	1	1		1	1
8321	Carga inductiva			1			1			
8331	Carga capacitiva			1						
8341	Transformador monofásico	1	1	1	1		1			
8348	Transformador trifásico					1		1	1	1
8621	Módulo de sincronización									
8821-2X	Fuente de alimentación	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8951	Juego de cables y accesorios	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9061, 9062 o 9063	Interfaz para la adquisición de datos	1	1	1	1	1	1	1	1	1

⁽¹⁾ También se puede utilizar el Puesto de trabajo móvil, modelo 8110-2.

Equipo adicional

La realización de los ejercicios en este manual requiere un computador personal con puertos USB 2.0, y con uno de los siguientes sistemas operativos: Windows® XP, Windows® Vista (solo versión de 32 Bits), o Windows® 7.

Glosario de términos nuevos

acoplamiento magnético	Proceso que permite, a los circuitos separados físicamente, conectarse a través de líneas de fuerza. El acoplamiento magnético permite la transferencia de energía del primario al secundario de un transformador.
amplitud pico a pico	Amplitud entre el valor máximo (pico positivo) y el valor mínimo (pico negativo) de una forma de onda ca. Si la amplitud de pico de una onda seno es E , la amplitud pico a pico es $2E$.
ángulo de fase	Medida de la progresión en el tiempo de una forma de onda ca a partir de un instante elegido. Normalmente, se utiliza el ángulo de fase para expresar el valor de la separación entre dos formas de ondas ca de igual frecuencia. A los ángulos de fase se los expresa usualmente en grados angulares.
arrollamiento primario	Lado de un transformador en el que, normalmente, se conecta la fuente de alimentación ca.
arrollamiento secundario	Lado de un transformador en el que, normalmente, se conecta la carga.
autotransformador	Transformador con un único arrollamiento. Para elevar la tensión, la bobina primaria es una fracción del arrollamiento total, mientras que para reducir la tensión la bobina secundaria es una fracción del arrollamiento total. Como tiene sólo un arrollamiento, el autotransformador no aísla los circuitos primario y secundario.
campo eléctrico	Espacio alrededor de una carga eléctrica o de un cuerpo cargado eléctricamente, en el que actúa la energía eléctrica (las líneas de fuerza eléctricas llenan este espacio). Véase la figura 1-1.
campo magnético	Región alrededor de un objeto magnético en la que se encuentran presentes líneas de fuerza magnéticas.
capacitancia (C)	Propiedad de un condensador de almacenar energía en el campo eléctrico creado entre sus placas cuando se le aplica una tensión. En un circuito eléctrico, la capacitancia se opone a la variación de tensión. La unidad de medida de la capacitancia es el faradio (F).
carga inductiva	Carga que consiste, básicamente, en un resistor y en un inductor.
circuito paralelo	Circuito eléctrico en el que la corriente fluye a través de más de una trayectoria de dicho circuito.
circuito serie	Circuito eléctrico en el que la corriente fluye a través de una única trayectoria de dicho circuito.

circuito trifásico balanceado	Circuito ca trifásico con igual impedancia en cada una de las tres ramas de la carga. Las tensiones de las tres fases que alimentan el circuito tienen igual amplitud y están desfasadas 120° unas de otras.
conexión estrella	Método de conexión de un circuito trifásico, en el que las tres ramas de la fuente o de la carga se conectan a un punto de empalme común llamado neutro. Cada uno de los conductores de línea se encuentran conectados a una rama particular del circuito y el conductor neutro se puede conectar al neutro de dicho circuito. Sin embargo, en un circuito trifásico balanceado no hay circulación de corriente en el conductor neutro.
conexión triángulo	Método de conexión de un circuito trifásico, en el que las tres ramas de la fuente o de la carga se conectan extremo a extremo para formar un lazo cerrado. Los tres conductores de línea están conectados a los tres nodos del circuito. En un circuito trifásico conectado en triángulo no se dispone de un nodo para conectar un conductor neutro.
corrección del factor de potencia	Adición de una reactancia a un circuito ca para reducir la potencia aparente que se extrae de la fuente ca. Esto permite incrementar o mejorar la relación entre la potencia activa y la aparente.
corriente	Flujo de electricidad, es decir, el movimiento de electrones en la materia. Se simboliza con "I" y se mide en amperios (A).
corriente alterna (ca)	Corriente que invierte periódicamente la dirección de su flujo y pasa, alternativamente, de un valor máximo positivo (+I) a un valor máximo negativo (-I).
corriente de excitación	Corriente alterna que fluye en el arrollamiento primario y necesaria para crear el flujo magnético en el núcleo del transformador. Normalmente es muy pequeña, alrededor del 2% al 5% de la corriente nominal primaria. Para determinar la corriente de excitación se mide el flujo de corriente en el arrollamiento primario, con el transformador en vacío, y con la tensión nominal aplicada en el mismo arrollamiento.
corriente de fase	Corriente medida en cualquiera de las fases del circuito trifásico. Con una carga balanceada conectada en triángulo, la corriente de fase es, normalmente, $\sqrt{3}$ veces menor que la corriente de línea.
corriente de línea	Corriente medida en cualquiera de los conductores de línea de un circuito trifásico. Con una carga balanceada conectada en triángulo, la corriente de línea es, normalmente, $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase.
corrientes de Foucault	Corriente de circulación inducida en un material conductor por la variación del campo magnético. Semejante a una corriente puede, por ejemplo, circular en el núcleo de hierro de un transformador.
culombio	Unidad de medida de la carga eléctrica.

desfasaje	Separación en el tiempo entre dos formas de ondas ca. Normalmente, los desfasajes se miden utilizando los ángulos de fase.
desfasaje capacitivo	Desfasaje entre la tensión y la corriente causado por un condensador. Con un condensador ideal, la corriente adelanta la tensión en 90° .
desfasaje inductivo	Desfasaje entre la tensión y la corriente causado por un inductor. Con un inductor ideal, la corriente atrasa la tensión en 90° .
estrella-estrella	Método de conexión de los arrollamientos primario y secundario de un transformador trifásico. En la conexión estrella-estrella, los arrollamientos primario y secundario están conectados en estrella.
estrella-triángulo	Método de conexión de los arrollamientos primario y secundario de un transformador trifásico. En la conexión estrella-triángulo, los arrollamientos primarios están conectados en estrella y los arrollamientos secundarios en triángulo.
factor de potencia ($\cos \varphi$)	Relación entre las potencias activa y aparente suministradas a una carga de un circuito ca. En los circuitos ca, donde la tensión y la corriente son ondas seno, el factor de potencia es igual al coseno del ángulo de fase entre la tensión y la corriente ($\cos \varphi$). En forma simbólica, $\cos \varphi = P/S$.
faradio (F)	Unidad de medida de la capacitancia. Un faradio es igual a la carga de un culombio cuando existe una diferencia de potencial de 1 V a través de las placas de un condensador.
fasor	Número complejo que tiene una componente real (R) y una componente imaginaria ($\pm jX$). En las coordenadas rectangulares, un número complejo se escribe como $R \pm jX$. También se puede escribir un número complejo utilizando las coordenadas polares, es decir, $A \angle \theta$, donde A es la magnitud y θ es el ángulo de fase. Un número complejo bajo la forma polar se puede utilizar para representar la amplitud y el ángulo de fase de las ondas seno de la tensión y de la corriente.
flujo magnético	Número de líneas de fuerza magnéticas presentes en un espacio dado.
forma de onda periódica	Forma de onda que se repite de manera cíclica dentro de un intervalo de tiempo fijo llamado período. La frecuencia de una forma de onda periódica es igual a la recíproca del período.
frecuencia	Número de veces que una forma de onda periódica se repite en el intervalo de un segundo. La frecuencia se mide en unidades de hertzios (Hz).
henrio (H)	Unidad de medida de la inductancia. Un henrio equivale al valor que se obtiene cuando una corriente, que cambia a razón de 1 A por segundo, provoca una tensión autoinducida de 1 V.

impedancia	Oposición total al flujo de corriente en un circuito ca. La impedancia es una cantidad compleja que cuenta con una componente resistiva (componente real) y con una componente reactiva (componente imaginaria). Esta última componente puede ser inductiva o capacitiva. La impedancia se puede expresar como un número complejo ($Z = R \pm jX$).
inductancia (L)	Propiedad de un inductor de almacenar energía en el campo magnético. Éste se crea cuando una corriente circula a través de la bobina. En los circuitos eléctricos, la inductancia se opone a los cambios de la corriente. La unidad de medida de la inductancia es el henrio (H).
inductancia mutua	Propiedad mutua de dos circuitos eléctricos por la cual se induce una fuerza electromotriz (tensión) en uno de los circuitos, debido al cambio de la corriente en el otro.
ley de corriente de Kirchhoff	Establece que la suma de todas las corrientes que entran a un nodo del circuito es igual a la suma de las corrientes que salen de dicho nodo.
ley de Ohm	Expresa la relación entre la tensión, la corriente y la resistencia. Se la expresa mediante la fórmula $E = IR$.
ley de tensión de Kirchhoff	Establece que la suma de las caídas de tensión en un circuito cerrado es igual a la tensión de la fuente.
líneas de fuerza magnéticas	Líneas invisibles que representan un camino magnético cerrado. Las líneas de fuerza magnéticas no pueden cruzarse entre ellas. Forman lazos cerrados que parten de uno de los polos de un imán para entrar en el otro.
método de los dos vatímetros	Método de medición de potencia empleado en los circuitos trifásicos. Consiste en conectar dos vatímetros monofásicos a los tres conductores de línea, de modo que la potencia total resulte igual a la suma algebraica de las lecturas de los dos vatímetros. Las dos bobinas de corriente se conectan para medir la corriente de dos conductores de línea, mientras que las dos bobinas de tensión miden la tensión entre esos dos conductores de línea y el conductor de línea restante. El conductor neutro de la línea no se conecta a los vatímetros.
onda seno	Forma de onda periódica que alterna entre valores máximos positivos y negativos durante un ciclo completo. Durante un período, la amplitud instantánea de una onda seno cambia de acuerdo con la función matemática seno, y su valor promedio durante ese ciclo es cero.
pérdida en el cobre	Potencia activa (I^2R) que se pierde en los arrollamientos de cobre o bobinas.
pérdida en el hierro	Potencia perdida en los núcleos de hierro de los transformadores, en los inductores y en las maquinarias eléctricas, como resultado de las corrientes de Foucault y de la histéresis.
potencia	Energía producida o disipada por unidad de tiempo. Se simboliza con la letra "P" y se mide en vatios.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

potencia activa	Potencia real, en vatios (W), que consume una carga en un circuito eléctrico.
potencia aparente	Producto de los valores eficaces de la tensión y de la corriente del circuito y se la mide en unidades de voltio-amperios (VA). Iguala a la potencia activa sólo cuando no hay desfase entre la tensión y la corriente.
potencia instantánea	Producto de las formas de ondas ca de la tensión y de la corriente en cualquier instante del ciclo de dichas formas de ondas. En un circuito cc este producto es siempre constante ya que también lo son la tensión y la corriente. Sin embargo, en un circuito ca el producto varía siempre porque la tensión y la corriente cambian continuamente.
potencia reactiva	Potencia que va y viene entre la fuente de alimentación y la carga de un circuito ca. Es igual al producto de los valores eficaces de la tensión y corriente del circuito multiplicado por el seno del ángulo entre las formas de ondas de ambos parámetros. Se la expresa en unidades de voltio-amperios reactivos (var) y cuando no hay resistencias en el circuito, es igual a la potencia aparente.
potencia reactiva capacitiva	Potencia reactiva en un circuito ca capacitivo y se expresa en var. El signo de los var capacitivos es negativo para diferenciarlos de los var de la potencia reactiva inductiva.
potencia reactiva inductiva	Potencia reactiva en un circuito ca inductivo y se expresa en var. El signo de los var inductivos es positivo para diferenciarlos de los var de la potencia reactiva capacitiva.
reactancia capacitiva (X_C)	Oposición al flujo de corriente alterna creada por una capacitancia. Es igual a E_C/I_C y, como la resistencia, se mide en ohmios. Sin embargo, la reactancia capacitiva depende de la frecuencia de la fuente y de la capacitancia del condensador, como lo muestra la fórmula: $X_C = 1/2\pi fC$.
reactancia inductiva (X_L)	Oposición al flujo de corriente alterna creada por una inductancia. Es igual a E_L/I_L y, como la resistencia, se mide en ohmios. Sin embargo, la reactancia inductiva depende de la frecuencia de la fuente y de la inductancia del inductor, como lo muestra la fórmula $X_L = 2\pi fL$.
regulación del transformador	Variación de la tensión secundaria del transformador con los cambios de la carga, a partir de la condición de vacío hasta la de plena carga. La regulación del transformador, en porcentaje, es igual a $100 (E_{SC} - E_{PC})/E_{SC}$, donde E_{SC} es la tensión en vacío y E_{PC} es la tensión a plena carga.
relación de espiras	Relación entre el número de espiras de alambre del arrollamiento primario (N_1 o N_P) respecto al número de espiras de alambre del arrollamiento secundario (N_2 o N_S). El cociente determina la relación entrada-salida de un transformador y se expresa como N_1/N_2 o N_P/N_S .
resistencia	Oposición al flujo de corriente en un circuito eléctrico. Se representa con la letra "R" y se mide en ohmios (Ω).

secuencia de fases	Secuencia con la que las tensiones de fase alcanzan sus valores máximos en un circuito trifásico. La forma usual de indicar la secuencia de fase es A-B-C, que es igual a la secuencia B-C-A y C-A-B. La secuencia de fases opuesta a la A-B-C es A-C-B (C-B-A, B-A-C).
serie aditiva	Método de conexión de los arrollamientos del transformador de modo que las tensiones de los arrollamientos se sumen porque ellas están en fase. En este tipo de conexión, un terminal identificado del transformador se conecta en serie con un terminal no identificado. Esto es similar a la conexión de dos baterías cc en serie: el terminal positivo de una de ellas con el terminal negativo de la otra. La tensión resultante a través de las dos baterías será la suma de las tensiones de cada una.
serie subtractiva	Método de conexión de los arrollamientos del transformador de modo que las tensiones de los arrollamientos se resten porque ellas están desfasados 180° unos de otros. En este tipo de conexión, un terminal identificado del transformador se conecta en serie con otro terminal identificado. Esto es similar a la conexión de dos baterías cc en serie: el terminal negativo de una de ellas con el terminal negativo de la otra. La tensión resultante a través de las dos baterías será la diferencia de las tensiones de cada una.
tensión	Diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico. Normalmente se simboliza con la letra "E" y se mide en voltios (V).
tensión de fase	Tensión medido entre un conductor de línea y el conductor neutro en un circuito trifásico. Normalmente, la tensión de fase es $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión de línea.
tensión de línea	Tensión medido entre dos conductores de línea cualesquiera del circuito trifásico. Normalmente, la tensión de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la tensión de fase.
transformador de distribución	Tipo de transformador en el que los arrollamientos secundarios están conectados en serie para obtener diferentes tensiones de carga.
transformador trifásico	Transformador con tres conjuntos diferentes de arrollamientos para el primario y el secundario, que permite hacer funcionar los circuitos trifásicos a partir de una fuente de alimentación trifásica. Se pueden conectar juntos tres transformadores monofásicos, con iguales características nominales, para formar un banco trifásico de transformadores.
triángulo abierto	Método para suministrar energía a una carga trifásica balanceada empleando sólo dos de los transformadores normalmente utilizados en una configuración completa triángulo-triángulo. En una conexión triángulo abierto, la demanda de potencia se debe reducir a 57,7% de la potencia nominal del transformador trifásico, para no exceder las características nominales de los otros dos transformadores restantes.

triángulo-estrella	Método de conexión de los arrollamientos primario y secundario de un transformador trifásico. En la conexión triángulo-estrella, los arrollamientos primarios están conectados en triángulo y los arrollamientos secundarios en estrella.
triángulo-triángulo	Método de conexión de los arrollamientos primario y secundario de un transformador trifásico. En la conexión triángulo-triángulo, los arrollamientos primario y secundario se encuentran conectados en triángulo.
valor eficaz o rms (raíz cuadrática media)	Tensión o corriente cc que produce el mismo calentamiento en un resistor que una tensión o corriente ca dada. Para las ondas seno, el valor eficaz es $0,707 (1/\sqrt{2})$ veces el valor máximo.
var	Unidad de medida de la potencia reactiva.
vatímetro	Instrumento que permite medir la potencia eléctrica directamente en los circuitos. Una lectura positiva indica que la potencia fluye de la entrada hacia la salida del vatímetro y viceversa.
vector	Representación gráfica de una cantidad que tiene una magnitud y una dirección. Generalmente, los vectores se representan con una flecha en el plano x-y. El largo de la flecha corresponde a la magnitud de la cantidad que el vector representa. El ángulo entre la flecha y la dirección positiva del eje x corresponde a la dirección de la cantidad que representa el vector.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Índice de términos nuevos



El número de página en negrita indica la entrada principal. Consulte el Apéndice D para la definición de los nuevos términos.

acoplamiento magnético	236
amplitud pico a pico	52
ángulos de fase	48
arrollamiento primario	235 , 236, 237, 238, 245, 246, 264, 281, 301
arrollamiento secundario.....	235 , 236, 237, 246, 253, 254, 264, 281, 301
autotransformador.....	263 , 264, 265, 266
campo eléctrico	1 , 2, 77, 79, 87, 105
campo magnético.....	105 , 115, 138, 183, 236
capacitancia	77 , 79, 80, 87, 88, 95, 105, 107, 123, 138
circuito trifásico equilibrado.....	183
circuitos paralelo	3 , 33, 35, 165, 167
circuitos serie	3 , 33, 34, 135, 136, 165, 167, 168
condensadores electrolíticos	87
conexión estrella	186 , 290, 291
conexión triángulo.....	186 , 290, 291, 293, 309
corrección del factor de potencia	138
corriente 1, 2, 3, 5, 6, 14, 23, 24, 33, 34, 35, 36, 47, 53, 61, 62, 77, 78, 79, 80, 87, 88, 95, 96, 105, 106, 107, 108, 115, 116, 123, 124, 133, 134, 135, 137, 138, 147, 148, 149, 157, 165, 166, 167, 183, 186, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 235, 236, 237, 238,246, 253, 254, 263, 266, 281, 290, 293, 301, 309	
corriente alterna	47 , 53, 77, 79, 105, 107, 236
corriente de excitación	238
corriente de fase	186 , 197, 301
corriente de línea	133, 149, 186 , 197, 198, 301, 309
corrientes de Foucault	236
desfasaje.....	48 , 61, 62, 78, 95, 96, 105, 106, 123, 124, 133, 135, 137, 138, 149, 157, 165, 166, 167, 183, 301
desfasaje capacitivo.....	78 , 106
desfasaje inductivo.....	106 , 123, 135
estrella-estrella.....	289 , 290, 291, 301
estrella-triángulo.....	289 , 290, 291, 301
factor de potencia.....	133 , 134, 137, 138, 198, 253
faradio	77 , 87
fases	134 , 147, 148, 157, 221, 223
flujo magnético	236 , 238, 245, 266
forma de onda periódica	47
frecuencia..	47 , 48, 52, 53, 61, 79, 80, 96, 105, 107, 108, 124, 134, 147, 183, 263
henrio	105 , 107, 115
impedancia.....	134 , 135, 136, 165, 166, 167, 235, 254
inductancia	105 , 107, 108, 115, 116, 123, 137, 236
inductancia mutua.....	236
ley de Ohm.....	3 , 5, 24, 33, 34, 35, 80, 108, 165, 166, 167
leyes de tensiones y corrientes de Kirchhoff	3

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

método de los dos vatímetros.....	202 , 203
onda seno	47 , 48, 51, 52, 53, 123, 147
pérdida en el cobre	236
pérdida en el hierro	236
potencia.....	23, 24, 52, 53, 77 , 78, 87, 95, 96, 105, 106, 123, 124, 133, 137, 138, 183, 186, 187, 197, 198, 199, 200, 202, 203, 221, 222, 224, 225, 226, 235, 236, 237, 253, 263, 266, 273, 274, 281, 289, 309
potencia activa	78 , 95, 123, 133, 137, 138, 186, 187, 197, 198, 200, 202, 236, 274
potencia aparente	78 , 96, 106, 133, 137, 198, 200, 202, 236, 263, 266
potencia instantánea	78, 96, 106, 124
potencia reactiva	78 , 95, 96, 106, 123, 133, 137, 138, 198, 200, 202
potencia reactiva capacitiva.....	106 , 133, 138
potencia reactiva inductiva.....	106 , 133, 138
reactancia capacitiva.....	77 , 79, 80, 88, 107, 136, 149, 157, 165
reactancia inductiva	105 , 107, 108, 116, 133, 136, 149, 157, 165, 254
regulación del transformador	236 , 253
relación de espiras	235 , 237, 238, 254, 263, 266, 290, 301
rendimiento	47, 274
resistencia 1, 3, 5, 6, 13, 14, 15, 24, 33, 34, 35, 52, 79, 87, 88, 95, 106, 107, 115, 124, 133, 135, 137, 149, 165, 167, 236, 254	
resistencia equivalente.....	13 , 14, 33, 34, 35, 88, 115
secuencia de fases	184 , 221, 222, 224, 225, 301
serie aditiva	264
tensión 1, 2, 3, 5, 23, 24, 33, 34, 35, 36, 47, 51, 52, 61, 77, 78, 79, 80, 87, 88, 95, 96, 105, 106, 107, 108, 115, 116, 123, 124, 133, 134, 135, 137, 138, 147, 148, 149, 157, 165, 166, 167, 183, 184, 185, 186, 197, 198, 199, 200, 202, 203, 224, 225, 226, 235, 236, 237, 238, 245, 246, 253, 254, 263, 265, 266, 281, 289, 290, 292, 293, 301	
tensión de fase.....	185 , 186, 197, 224, 226, 290, 292
tensión de línea.....	80, 108, 185 , 197, 198, 289, 290, 292, 301
transformador de distribución	263 , 264
transformador trifásico	289 , 290, 292, 301
triángulo-estrella.....	289 , 291, 301
triángulo-triángulo	289 , 290, 291, 301, 309
valor eficaz o rms (raíz cuadrática media).....	52
vatímetro	78, 106
vector.....	134 , 135, 147, 148, 157, 166

Bibliografía

Jackson, Herbert W. *Introduction to Electric Circuits*, 5ª edición, New Jersey: Prentice Hall, 1981. ISBN 0-13-481432-0

Wildi, Theodore. *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 2ª edición, New Jersey: Prentice Hall, 1991. ISBN 0-13-251547-4.