

Transformadores de potencia monofásicos

FESTO

Electricidad y Nuevas Energías

LabVolt Series

Manual del estudiante

FESTO

Manual del estudiante

Transformadores de potencia monofásicos



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
86377-02



3086377020000

Electricidad y Nuevas Energías

Transformadores de potencia monofásicos

Manual del estudiante

86377-02

Nº de artículo: 86377-02

Primera edición

Actualización: 04/2016

Por el personal de Festo Didactic

© Festo Didactic Ltée/Ltd, Québec, Canada 2013

Internet: www.festo-didactic.com

e-mail: did@de.festo.com

Impreso en Canadá

Todos los derechos reservados

ISBN 978-2-89640-664-7 (Versión impresa)

ISBN 978-2-89640-665-4 (CD-ROM)

Depósito legal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2013

Depósito legal – Library and Archives Canada, 2013

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.

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	IX
Acerca de este manual	XI
Introducción Transformadores de potencia monofásicos	1
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES	1
Introducción a los transformadores de potencia monofásicos	1
Ejercicio 1 Relaciones de tensiones y corrientes	3
PRINCIPIOS	3
Relaciones de tensiones y corrientes del transformador.....	3
Transformadores reductores y elevadores	5
Determinación de las relaciones de tensiones y corrientes de un transformador.....	7
PROCEDIMIENTO	8
Montaje y conexiones	8
Arrollamientos primario y secundario del módulo Transformador	9
Aislamiento eléctrico entre los arrollamientos primario y secundario	9
Inducción de tensión a través de los arrollamientos de un transformador.....	10
Transformador elevador.....	14
Transformador reductor (OPCIONAL)	17
Ejercicio 2 Polaridad e interconexión del arrollamiento del transformador	23
PRINCIPIOS	23
Introducción a la polaridad del arrollamiento del transformador.....	23
Polaridad de los arrollamientos de un transformador en diagramas esquemáticos	24
Determinación de la polaridad de los arrollamientos de un transformador mediante un osciloscopio	25
Conexión en serie de los arrollamientos de un transformador.....	26
Determinación de la polaridad de los arrollamientos de un transformador mediante un voltímetro.....	28
Conexión en paralelo de los arrollamientos del transformador.....	29

Índice

PROCEDIMIENTO.....	30
Montaje y conexiones	30
Determinación de la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un Osciloscopio.....	32
Conexión en serie de los arrollamientos del transformador.....	34
Determinación de la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un voltímetro	37
Conexión en paralelo de los arrollamientos del transformador.....	40
Ejercicio 3 Pérdidas, rendimiento y regulación del transformador	47
PRINCIPIOS.....	47
Pérdidas del transformador.....	47
Rendimiento del transformador	49
Regulación de la tensión de un transformador	50
PROCEDIMIENTO.....	52
Montaje y conexiones	52
Operación del transformador sin carga	54
Pérdidas del transformador, rendimiento y regulación de tensión.....	55
Ejercicio 4 Características nominales del transformador	59
PRINCIPIOS.....	59
Características nominales del transformador	59
Determinación de la corriente nominal de un arrollamiento del transformador	60
Saturación del transformador	61
Determinación de la tensión nominal de un arrollamiento de transformador.....	64
PROCEDIMIENTO.....	65
Montaje y conexiones	65
Saturación del transformador	68
Curva de saturación de un transformador de potencia	71
Tensión nominal de los arrollamientos y potencia del transformador.....	73
Efecto de la tensión nominal del transformador en las pérdidas y el rendimiento.....	74
Temperatura de operación del transformador	78

Índice

Ejercicio 5	Efecto de la frecuencia en las características nominales del transformador.....	81
	PRINCIPIOS	81
	Saturación del transformador en función de la frecuencia ...	81
	Características nominales del transformador en función de la frecuencia.....	82
	PROCEDIMIENTO.....	83
	Montaje y conexiones	83
	Operación del transformador a una frecuencia de 50 Hz.....	86
	Efecto de la frecuencia en la saturación del transformador.....	87
	Curva de saturación del transformador de potencia a una frecuencia de 75 Hz.....	89
	Efecto de la frecuencia en la tensión nominal de los arrollamientos y en la potencia del transformador.....	91
	Temperatura de operación del transformador (OPCIONAL)	95
Ejercicio 6	El autotransformador	99
	PRINCIPIOS	99
	Operación del autotransformador	99
	Análisis del circuito de un autotransformador.....	101
	Análisis del circuito del autotransformador elevador	101
	Análisis del circuito del autotransformador reductor.....	102
	Potencia nominal de transformadores convencionales y de autotransformadores.....	103
	PROCEDIMIENTO.....	106
	Montaje y conexiones	106
	Operación de un autotransformador reductor	108
	Operación de un autotransformador elevador.....	110
	Comparación de la potencia nominal de un autotransformador con la de un transformador de potencia convencional de igual tamaño.....	113
	Efecto de la relación de espiras en la potencia nominal de los autotransformadores	114
Apéndice A	Tabla de utilización del equipo	121
Apéndice B	Glosario de términos nuevos.....	123
Apéndice C	Tabla de impedancia para los módulos de carga	127

Índice

Apéndice D Armónicos.....	129
Introducción a los armónicos	129
Efecto de los armónicos en el factor de potencia.....	130
 Índice de términos nuevos	 133
Bibliografía	135

Prefacio

El programa comienza con una variedad de cursos que tratan en profundidad los temas básicos relacionados con el campo de la energía eléctrica, como los circuitos de corriente continua y alterna, transformadores de potencia, máquinas rotatorias, líneas de transmisión de corriente alterna y electrónica de potencia. El programa se basa en los conocimientos adquiridos por el estudiante a través de esos cursos básicos para luego aprender temas más avanzados como la producción doméstica de energía a partir de recursos renovables (viento y luz solar), generación de hidroelectricidad a gran escala, producción de energía eléctrica a gran escala a partir de la energía eólica (utilizando las tecnologías de los generadores de inducción de doble alimentación [DFIG], asíncronos y sincrónicos), tecnologías de redes inteligentes (SVC, STATCOM, transmisión HVDC, etc.), almacenamiento de la energía eléctrica en baterías y sistemas de control para pequeños vehículos y automóviles eléctricos.

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 transformadores de potencia son uno de los dispositivos eléctricos de mayor uso. Se encuentran en todo tipo de aplicaciones, tales como los sistemas de generación de energía eléctrica, líneas eléctricas de distribución y productos electrónicos domésticos (hornos microondas, televisores, estéreos, computadoras e inversores interconectados a la red).

Los transformadores de potencia son básicamente dispositivos eléctricos que transfieren potencia eléctrica del arrollamiento primario al arrollamiento secundario por inducción electromagnética. De esta manera, tienen la capacidad de aumentar o disminuir la tensión del arrollamiento primario con respecto al arrollamiento secundario. Debido a esto, los transformadores de potencia pueden emplearse como transformadores elevadores o reductores. En todos los casos, la potencia suministrada al transformador es prácticamente igual a la que el transformador suministra a la carga. Además, los transformadores de potencia tienen la capacidad de aislar eléctricamente el arrollamiento primario del arrollamiento secundario, dado que la transferencia de potencia se realiza por inducción electromagnética.

Los autotransformadores son un tipo especial de transformador de potencia cuyos arrollamientos primario y secundario forman un solo conjunto. Debido a esto, los autotransformadores son más pequeños, más livianos y menos costosos que los transformadores de potencia convencionales de la misma potencia nominal. Los autotransformadores, sin embargo, no tienen la capacidad de aislar eléctricamente los arrollamientos primario y secundario.

Este curso, Transformadores de potencia monofásicos, permite aprender los conceptos básicos sobre los transformadores de potencia. Los estudiantes se familiarizan así con los distintos parámetros de estos dispositivos, tales como las relaciones de espiras, tensiones y corrientes; polaridad del arrollamiento, pérdidas de potencia, rendimiento, regulación de tensión y frecuencia de operación. Además, los estudiantes aprenden las diferentes conexiones de los transformadores, tales como serie aditiva, serie sustractiva, en paralelo, así como las conexiones de los autotransformadores. Por último, los estudiantes verificarán la teoría presentada en cada ejercicio mediante cálculos y mediciones de los circuitos.



Transformador de potencia monofásico típico.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Acerca de este manual

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.

Prerrequisito

Como prerrequisito a este curso, usted debe haber leído los manuales *Circuitos cc*, p.n 86350, y *Circuitos ca monofásicos*, p.n 86358.

Sistemas de unidades

Los valores de los parámetros medidos se expresan utilizando el Sistema internacional de unidades SI seguidos por los valores en el sistema de unidades anglosajón (entre paréntesis).

Transformadores de potencia monofásicos

OBJETIVO DEL MANUAL

Cuando haya completado este manual, estará familiarizado con la operación de los transformadores de potencia monofásicos. Sabrá qué son las relaciones de espiras, de corrientes y de tensiones de un transformador, y cómo calcularlas. Podrá determinar la polaridad de los arrollamientos y cómo conectarlos en serie aditiva, serie sustractiva y en paralelo. Estará familiarizado con las distintas pérdidas de potencia que se producen en un transformador, así como con el rendimiento y la regulación de tensión de estos dispositivos. Será capaz de determinar la potencia nominal de un transformador y sabrá cuáles son los efectos de la frecuencia de operación en la potencia nominal. Por último, habrá aprendido qué es un autotransformador y cuáles son sus características de operación.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios fundamentales cubren el siguiente punto:

- Introducción a los transformadores de potencia monofásicos

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Introducción a los transformadores de potencia monofásicos

Los transformadores de potencia son dispositivos operados magnéticamente que se emplean para variar los valores de tensión, corriente e impedancia en los circuitos ca. En su forma más simple, un transformador consiste en dos bobinas de alambre arrolladas alrededor de un núcleo común de material ferromagnético, como el hierro. Una bobina se llama **arrollamiento primario** y la otra **arrollamiento secundario**. El arrollamiento primario, o simplemente primario, es el arrollamiento de entrada de potencia del transformador y corresponde al lado que está conectado a la fuente de alimentación ca. El arrollamiento secundario, o simplemente secundario, corresponde al lado que se encuentra conectado a la carga y que está física y eléctricamente aislado del primario. Dado que los transformadores son dispositivos bidireccionales, ambos arrollamientos pueden actuar como primario o secundario, dependiendo de la dirección de transferencia de potencia en el transformador.

Cuando la corriente suministrada por una fuente de alimentación ca fluye por el primario de un transformador, se crea un flujo magnético variable en el núcleo de hierro. Dicho flujo produce un campo magnético variable a través del secundario del transformador. Este campo magnético induce luego una tensión a través del secundario, lo que produce un flujo de corriente desde el arrollamiento secundario a la carga conectada al transformador. Así, se transfiere potencia del primario al secundario del transformador solamente por inducción electromagnética, lo que significa que no hay contacto eléctrico entre los dos arrollamientos. Por tanto, los transformadores de potencia no sólo realizan conversión de potencia ca, también aíslan eléctricamente la fuente de alimentación ca de la carga. El aislamiento eléctrico es una característica muy importante de los transformadores de potencia que los hace muy difíciles de reemplazar en ciertas aplicaciones.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

En ciertos transformadores, el primario está formado por dos o más arrollamientos individuales. Éstos pueden conectarse en serie o en paralelo para formar un único primario que se conecta a una fuente de alimentación ca. Igualmente, el secundario de ciertos transformadores está compuesto de diferentes arrollamientos individuales. Éstos pueden conectarse en serie o en paralelo para formar un único secundario que se conecta a una carga. Estos arrollamientos también pueden estar conectados individualmente para suministrar potencia ca a diferentes cargas.



Figura 1. Los transformadores de potencia se utilizan a menudo en las líneas de distribución de energía.

Relaciones de tensiones y corrientes

OBJETIVO DEL EJERCICIO

Cuando haya completado este ejercicio, entenderá la correspondencia entre las relaciones de espiras, de tensiones y de corrientes de un transformador de potencia. Asimismo, estará familiarizado con las diferentes características de estos transformadores operando como elevadores y reductores. También sabrá cómo determinar en la práctica la relación de tensiones y de corrientes de un transformador de potencia.

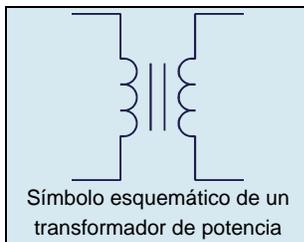
RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Relaciones de tensiones y corrientes del transformador
- Transformadores reductores y elevadores
- Determinación de las relaciones de tensiones y corrientes de un transformador

PRINCIPIOS

Relaciones de tensiones y corrientes del transformador



Como se mencionó en la introducción, los transformadores de potencia tienen un arrollamiento primario y uno secundario. La relación entre el número de vueltas de alambre en los arrollamientos primario ($N_{Pri.}$) y secundario ($N_{Sec.}$) se llama **relación de espiras**. Esta última establece la relación entre los valores de entrada y de salida del transformador y por tanto, determina las características básicas de éste último. La figura 2a muestra un transformador de potencia monofásico con una relación de espiras $N_{Pri.}/N_{Sec.}$ de 1:1 conectado a una fuente de alimentación ca monofásica y a una carga resistiva. La figura 2b representa el diagrama de circuito de la configuración mostrada en la figura 2a.

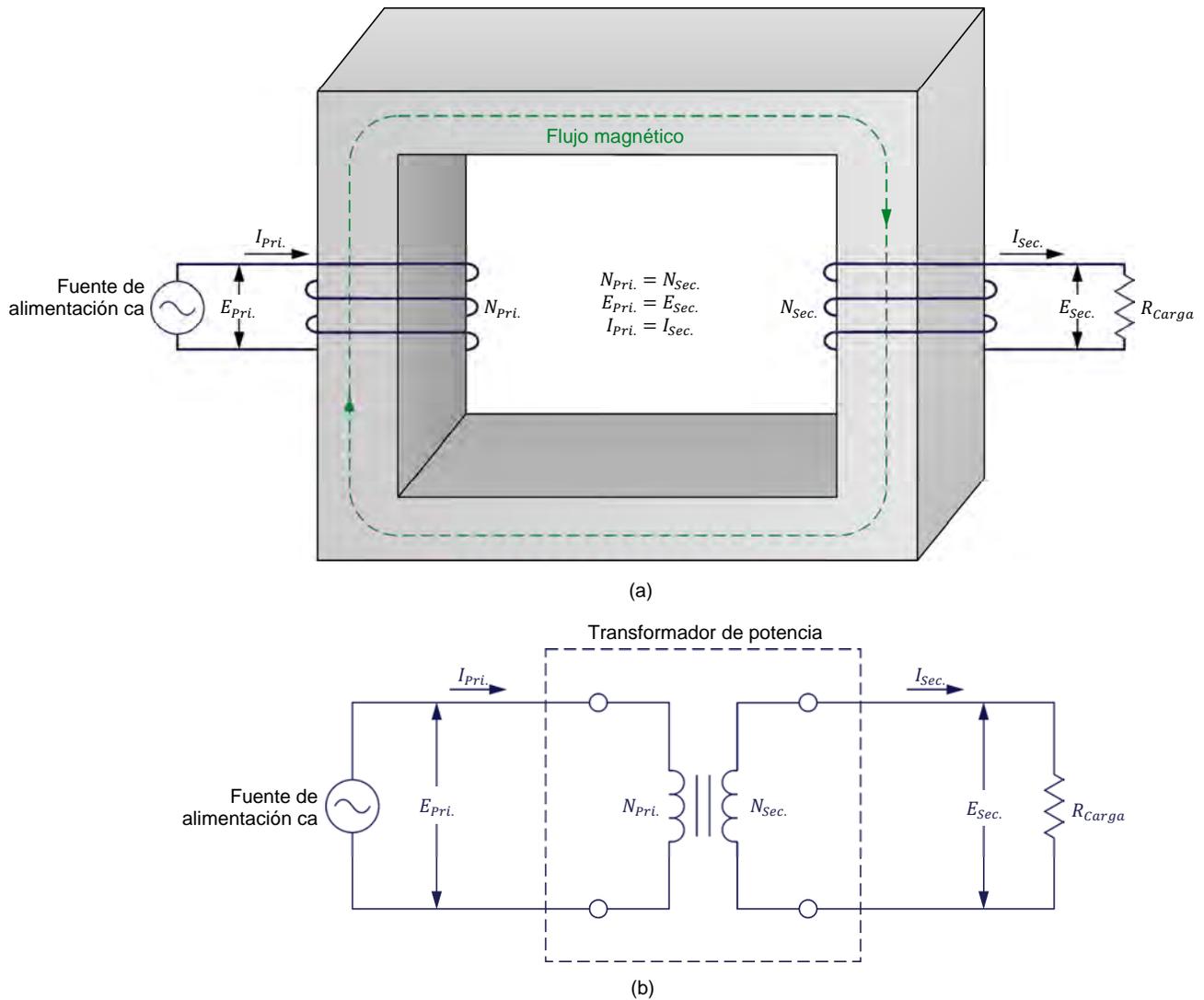


Figura 2. Transformador de potencia con una relación de espiras de 1:1.

La relación entre la tensión del primario y el secundario de un transformador de potencia es directamente proporcional a su relación de espiras $N_{pri.}/N_{sec.}$, como indica la siguiente ecuación:

$$\frac{E_{pri.}}{E_{sec.}} = \frac{N_{pri.}}{N_{sec.}} \quad (1)$$

- donde $E_{pri.}$ es la tensión a través del arrollamiento primario del transformador, expresada en voltios (V).
 $E_{sec.}$ es la tensión a través del arrollamiento secundario del transformador, expresada en voltios (V).
 $N_{pri.}$ es el número de vueltas o espiras en el arrollamiento primario del transformador.
 $N_{sec.}$ es el número de vueltas o espiras en el arrollamiento secundario del transformador.

La tensión en el arrollamiento secundario de un transformador puede por tanto calcularse usando la siguiente ecuación:

$$E_{Sec.} = \frac{E_{Pri.} \times N_{Sec.}}{N_{Pri.}} \quad (2)$$

Inversamente, la relación entre la corriente del primario y la del secundario de un transformador de potencia es inversamente proporcional a su relación de espiras $N_{Pri.}/N_{Sec.}$, como indica la siguiente ecuación:

$$\frac{I_{Pri.}}{I_{Sec.}} = \frac{N_{Sec.}}{N_{Pri.}} \quad (3)$$

donde $I_{Pri.}$ es la corriente que fluye en el arrollamiento primario del transformador, expresada en amperios (A).

$I_{Sec.}$ es la corriente que fluye en el arrollamiento secundario del transformador, expresada en amperios (A).

La corriente que fluye en el arrollamiento secundario de un transformador puede por tanto calcularse usando la siguiente ecuación:

$$I_{Sec.} = \frac{I_{Pri.} \times N_{Pri.}}{N_{Sec.}} \quad (4)$$

Como se puede observar, la relación entre la tensión del primario y el secundario de un transformador es igual a $N_{Pri.}/N_{Sec.}$. Inversamente, la relación entre la corriente que fluye en el primario de un transformador y la que circula en el secundario es igual a la inversa de su relación de espiras, es decir, $N_{Sec.}/N_{Pri.}$.

Los transformadores de potencia son dispositivos de alto rendimiento. Debido a ello, la tensión y corriente medidas en el secundario de un transformador son prácticamente iguales a los valores que pueden predecirse usando la tensión y corriente medidas en el primario, la **relación de tensiones** y la **relación de corrientes**. Igualmente, la potencia aparente en el secundario es prácticamente igual a la suministrada al primario. Esto es cierto, independientemente de si los arrollamientos primario y secundario están compuestos de uno o más arrollamientos. En otras palabras, la potencia aparente total en el secundario es prácticamente igual a la del primario.

Transformadores reductores y elevadores

Dependiendo de la relación de espiras, un transformador de potencia puede ser un **transformador elevador** o un **transformador reductor**. En el primero, el número de vueltas del primario es menor que en el secundario, como se ilustra en la figura 3. En consecuencia, los transformadores elevadores aumentan la tensión del primario con respecto al secundario, de ahí su nombre. Inversamente, los transformadores elevadores reducen la corriente del primario con respecto al secundario.

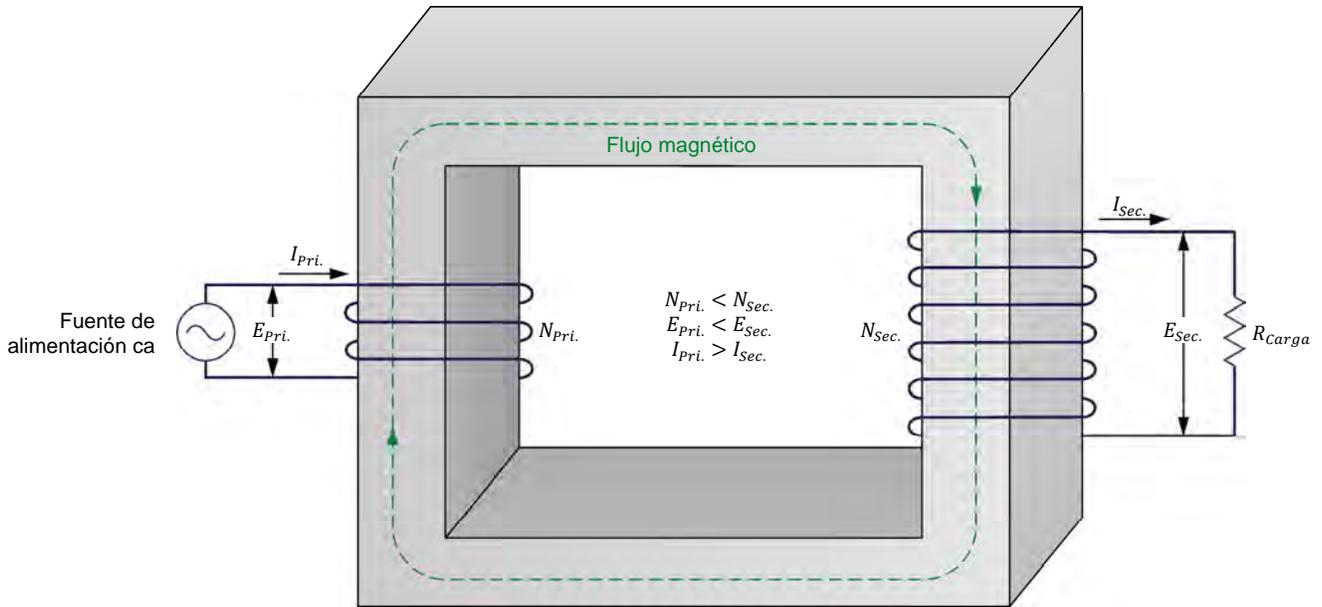


Figura 3. Transformador de potencia elevador.

En los transformadores reductores, el número de vueltas en el arrollamiento primario es mayor que el del secundario, como se ilustra en la figura 4. Por tanto, los transformadores reductores reducen la tensión del primario con respecto al secundario, de ahí su nombre. Inversamente, los transformadores reductores aumentan la corriente del primario con respecto al secundario.

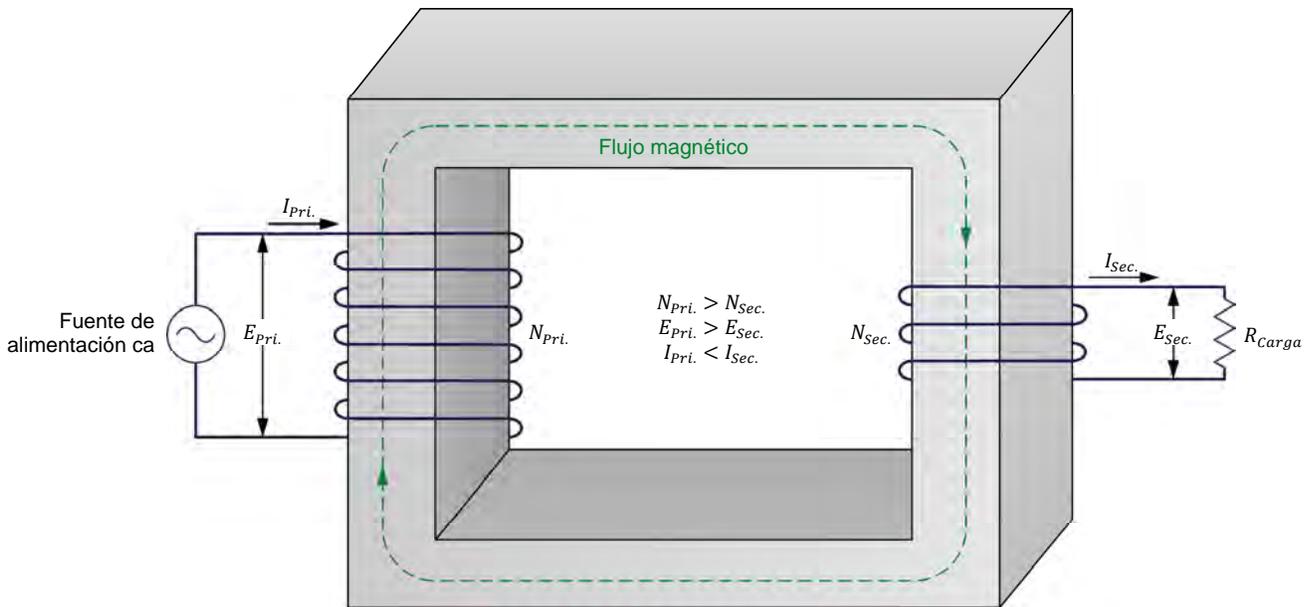


Figura 4. Transformador de potencia reductor.

Los transformadores de potencia son dispositivos bidireccionales. Esto significa que la potencia puede fluir desde el arrollamiento primario al secundario o viceversa. Cuando en un transformador elevador la potencia fluye del secundario al primario, éste se comporta como reductor, pues la tensión suministrada a la carga (es decir, la tensión del primario) es menor que la de la fuente ca (es decir, la tensión del secundario). Inversamente, cuando en un transformador reductor la potencia fluye del secundario al primario, éste se comporta como elevador, dado que la tensión suministrada a la carga (es decir, la del primario) es mayor que la de la fuente ca (es decir, la del secundario). Por ejemplo, si en vez de conectar la fuente de alimentación ca al primario del transformador elevador de la figura 3 se conecta al secundario, el transformador funciona como reductor. El diagrama de circuito resultante se muestra en la figura 5. Lo contrario es cierto para el transformador reductor de la figura 4, es decir, si la fuente de alimentación ca se conecta al secundario en lugar del primario, el transformador opera como elevador.

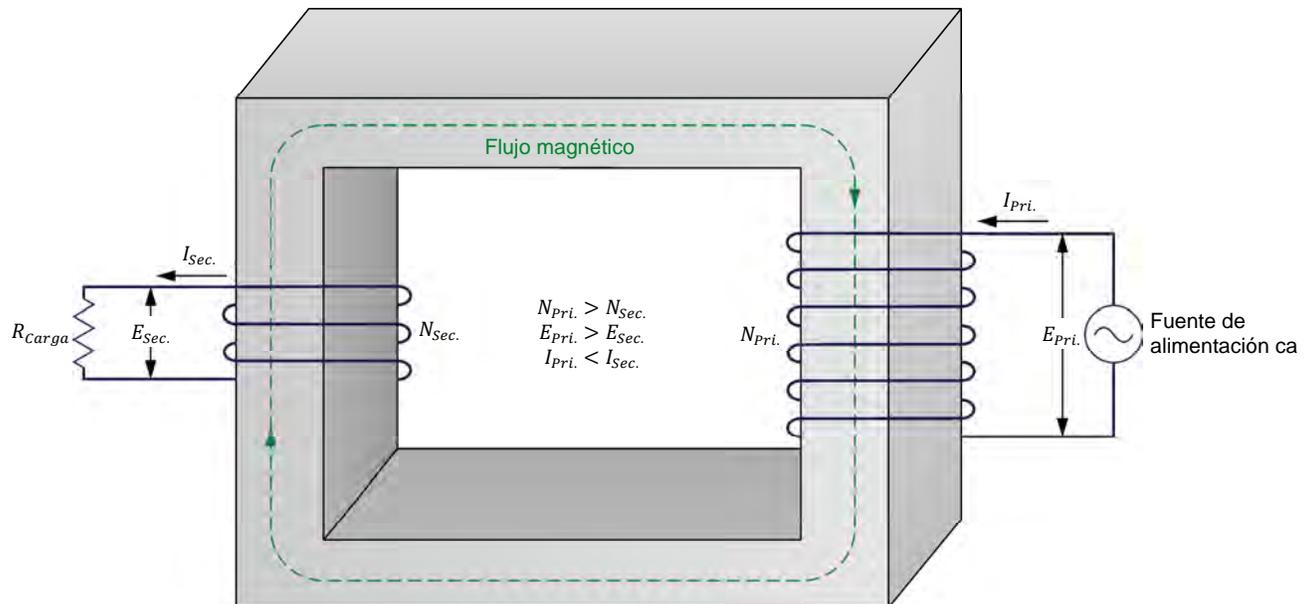


Figura 5. Transformador elevador de la figura 3 convertido en transformador reductor al conectar la fuente de alimentación ca a lo que usualmente es el arrollamiento secundario.

Determinación de las relaciones de tensiones y corrientes de un transformador

Determinar la relación de tensiones de un transformador de potencia es simple. Al no haber una carga conectada al arrollamiento secundario, en el primario sólo fluye una pequeña corriente de excitación necesaria para crear el flujo magnético dentro del transformador (la corriente de excitación será tratada más adelante en este manual). Las pérdidas del transformador están por tanto al mínimo y la razón de la tensión del primario a la del secundario es igual a la relación de espiras del transformador. La relación de tensiones (espiras) del transformador se puede encontrar midiendo con un voltímetro la tensión en el secundario (sin carga) cuando se aplica la tensión nominal en el primario.

Para determinar la relación de corrientes de un transformador se pueden utilizar diferentes métodos. El método más seguro para evitar dañar el transformador es conectarlo a una carga resistiva y conectar dos amperímetros al circuito para medir la corriente que fluye en los arrollamientos primario y secundario. Luego se aplica la tensión nominal en el primario y se ajusta la resistencia de la carga de modo que la corriente en el secundario sea cercana al valor nominal. La relación de corrientes del transformador es igual a la razón entre las corrientes del primario y secundario.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento está dividido en las siguientes secciones:

- Montaje y conexiones
- Arrollamientos primario y secundario del módulo Transformador
- Aislamiento eléctrico entre los arrollamientos primario y secundario
- Inducción de tensión a través de los arrollamientos de un transformador
- Transformador elevador
- Transformador reductor (OPCIONAL)

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones altas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana bajo tensión, salvo indicación contraria.

Montaje y conexiones

En esta sección, usted conectará el equipo para estudiar la operación de un transformador de potencia.

1. Consulte la tabla de utilización del equipo del Apéndice A con el fin de obtener la lista del material necesario para realizar este ejercicio.

Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).

2. Asegúrese de que el interruptor de alimentación principal del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) esté fijado en la posición O (apagado), luego enchufe la [Entrada de alimentación](#) en un tomacorriente ca mural.

Conecte la entrada [Alimentación](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) en la fuente de 24 V ca. Encienda esta fuente.

3. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) a un puerto USB de la computadora.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

4. Encienda el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, luego fije el interruptor *Modo de operación* en *Fuente de alimentación*. Este ajuste permite que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** opere como fuente de alimentación.
5. Encienda la computadora, luego ejecute el software **LVDAC-EMS**.

En la ventana **Selector de módulos**, asegúrese de que la **Interfaz de adquisición de datos y control** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** estén detectados. Asegúrese de que la función *Instrumentación computarizada* para la **Interfaz de adquisición de datos y control** esté seleccionada. También, seleccione la tensión y la frecuencia que corresponden a las de la red ca local, luego haga clic en el botón **ACEPTAR** para cerrar la ventana **Selector de módulos**.

Arrollamientos primario y secundario del módulo Transformador

En esta sección, usted observará el módulo Transformador y anotará las características nominales de sus arrollamientos.

6. Observe el panel delantero del módulo **Transformador** (modelo 8353). Observe que el transformador de potencia del módulo se puede utilizar como transformador elevador. En este caso, los dos arrollamientos de 24 V – 5 A forman el primario y están conectados a la fuente de alimentación ca. Los dos arrollamientos de 120 V - 1 A forman el secundario y se pueden conectar a una sola carga o a dos cargas separadas.

Inversamente, el transformador de potencia del módulo **Transformador** también se puede utilizar como transformador reductor. En este caso, los dos arrollamientos de 120 V – 1 A forman el primario y están conectados a la fuente de alimentación ca. Los dos arrollamientos de 24 V - 5 A forman el secundario y se pueden conectar a una sola carga o a dos cargas separadas.

Aislamiento eléctrico entre los arrollamientos primario y secundario

En esta sección, usted utilizará un ohmímetro para verificar que los arrollamientos primario y secundario de un transformador de potencia están eléctricamente aislados.

7. Utilice un ohmímetro para verificar que los terminales 1, 2, 3 y 4 del arrollamiento primario del módulo **Transformador** están aislados de los terminales 5, 6, 7 y 8 del arrollamiento secundario del transformador de potencia.

¿Lo anterior confirma que los arrollamientos primario y secundario de un transformador de potencia están eléctricamente aislados entre sí?

Sí No

Inducción de tensión a través de los arrollamientos de un transformador

En esta sección, usted calculará las tensiones inducidas a través de los diferentes arrollamientos del módulo Transformador cuando se aplica una tensión de 24 V al arrollamiento 1-2. Conectará el equipo para medir la tensión a través de cada arrollamiento del módulo Transformador. Aplicará una tensión de 24 V al arrollamiento 1-2 y medirá las tensiones inducidas en cada uno de los demás arrollamientos. Comparará las tensiones medidas con las calculadas. Luego, calculará las tensiones inducidas a través de los diferentes arrollamientos del módulo Transformador cuando se aplica una tensión de 100 V al arrollamiento 5-6. Usted aplicará una tensión de 100 V al arrollamiento 5-6 y medirá las tensiones inducidas en cada uno de los demás arrollamientos. Por último, comparará las tensiones medidas con las calculadas.

De ahora en adelante, al módulo Transformador se lo llamará simplemente transformador de potencia o transformador.

8. Cada uno de los dos arrollamientos de 24 V – 5 A del transformador de potencia del módulo Transformador cuenta con 57 espiras. Cada uno de los dos arrollamientos de 120 V – 1 A cuenta con 285 espiras. El número de espiras de cada arrollamiento del transformador es importante para calcular su relación de espiras, que, a su vez, permite determinar las relaciones de tensión y de corriente del transformador.
9. Utilizando el número de espiras de cada arrollamiento del transformador de potencia proporcionado en el paso anterior, determine la tensión inducida a través de los arrollamientos 3-4, 5-6 y 7-8 del transformador cuando se aplica una tensión de 24 V en el arrollamiento 1-2.

Tensión E_{3-4} a través del arrollamiento 3-4 = _____ V

Tensión E_{5-6} a través del arrollamiento 5-6 = _____ V

Tensión E_{7-8} a través del arrollamiento 7-8 = _____ V

10. Conecte el equipo como se muestra en la figura 6.

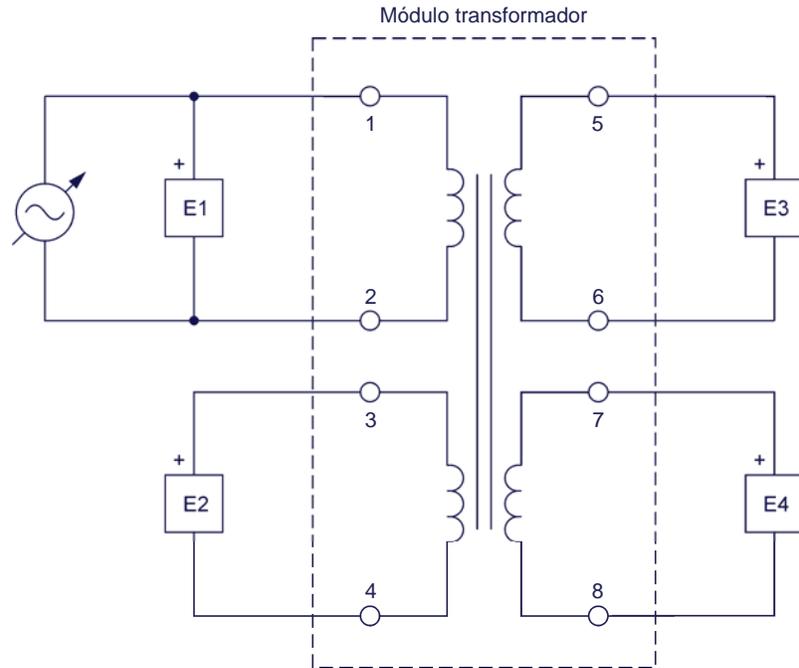


Figura 6. Circuito para medir la tensión inducida a través de cada arrollamiento del transformador cuando la fuente de alimentación ca está conectada al arrollamiento 1-2.

11. En LVDAC-EMS, abra la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, luego realice los ajustes siguientes:

- Fije el parámetro *Función* en *Fuente de alimentación ca*.
- Fije el parámetro *Tensión* en 24 V.
- Fije el parámetro *Frecuencia* a la misma frecuencia de la red ca local.
- Encienda la *Fuente de alimentación ca*.

12. En LVDAC-EMS, abra la ventana **Aparatos de medición**. Realice los ajustes necesarios para medir los valores rms (ca) de la tensión E_{1-2} a través del arrollamiento 1-2, la tensión E_{3-4} a través del arrollamiento 3-4, la tensión E_{5-6} a través del arrollamiento 5-6 y la tensión E_{7-8} a través del arrollamiento 7-8 (entradas *E1*, *E2*, *E3* y *E4*, respectivamente).

13. En la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión E_{1-2} a través del arrollamiento 1-2, que aparece en la ventana [Aparatos de medición](#), esté lo más cerca posible de 24 V.

En la ventana [Aparatos de medición](#), mida la tensión a través de cada arrollamiento del transformador (excepto la de aquel que está conectado a la fuente de alimentación ca). Anote los valores más abajo.

Tensión E_{3-4} a través del arrollamiento 3-4 = _____ V

Tensión E_{5-6} a través del arrollamiento 5-6 = _____ V

Tensión E_{7-8} a través del arrollamiento 7-8 = _____ V

Compare las tensiones medidas a través de los arrollamientos del transformador con las calculadas en el paso 9. ¿Son los valores prácticamente iguales?

Sí No

14. En la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), apague la *Fuente de alimentación ca*.

15. Utilizando el número de espiras de cada arrollamiento del transformador, determine la tensión inducida a través de los arrollamientos 1-2, 3-4 y 7-8 del transformador cuando se aplica una tensión de 100 V en el arrollamiento 5-6.

Tensión E_{1-2} a través del arrollamiento 1-2 = _____ V

Tensión E_{3-4} a través del arrollamiento 3-4 = _____ V

Tensión E_{7-8} a través del arrollamiento 7-8 = _____ V

16. Conecte el equipo como se muestra en la figura 7

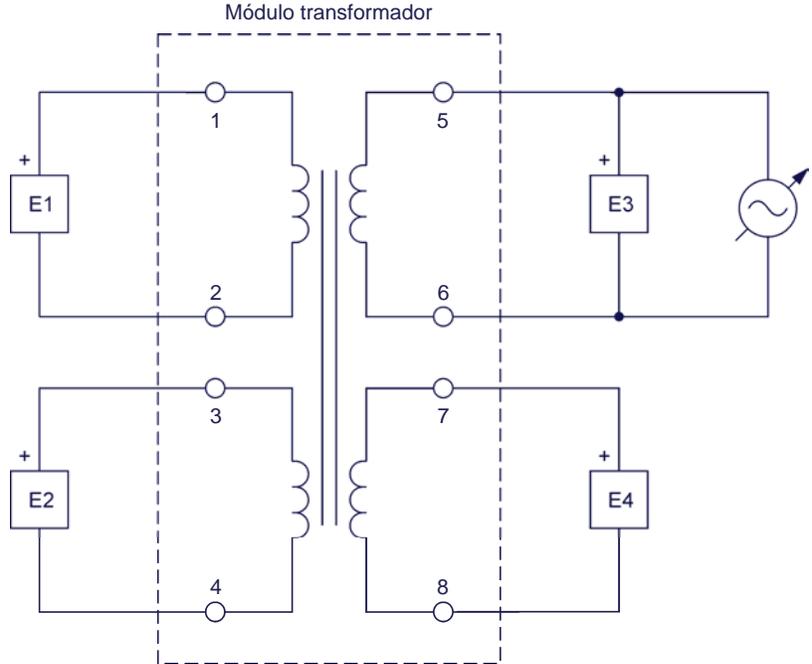


Figura 7. Circuito para medir la tensión inducida a través de cada arrollamiento del transformador cuando la fuente de alimentación ca está conectada al arrollamiento 5-6.

17. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, fije el parámetro *Tensión* en 100 V, luego encienda la *Fuente de alimentación ca*. Vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión E_{5-6} a través del arrollamiento 5-6, que aparece en la ventana *Aparatos de medición*, esté lo más cerca posible de 100 V.

En la ventana *Aparatos de medición*, mida la tensión a través de cada arrollamiento del transformador (excepto la de aquel que está conectado a la fuente de alimentación ca). Anote los valores a continuación.

Tensión E_{1-2} a través del arrollamiento 1-2 = _____ V

Tensión E_{3-4} a través del arrollamiento 3-4 = _____ V

Tensión E_{7-8} a través del arrollamiento 7-8 = _____ V

Compare la tensión medida a través de los arrollamientos del transformador con las tensiones calculadas en el paso 15. ¿Son los valores prácticamente iguales?

Sí No

¿Las manipulaciones anteriores confirman la relación entre las relaciones de espiras y de tensiones?

- Sí No

18. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la **Fuente de alimentación ca**.

Transformador elevador

En esta sección, usted armará un circuito que incluye un transformador elevador conectado a una carga resistiva y calculará la relación de espiras del mismo. Encenderá la fuente de alimentación ca. Medirá las tensiones primaria y secundaria (con la resistencia de carga fijada en infinito) y calculará la relación de tensiones del transformador. Comparará esta última con la relación de espiras calculada y confirmará que el transformador opera actualmente como elevador. Luego, fijará la resistencia de la carga resistiva en 120Ω . Medirá las corrientes primaria y secundaria y calculará la relación de corrientes del transformador. Por último, medirá la potencia aparente del transformador elevador en el primario y secundario y confirmará que ambos valores son prácticamente iguales.

19. Arme el transformador elevador de 120 VA mostrado en la figura 8.

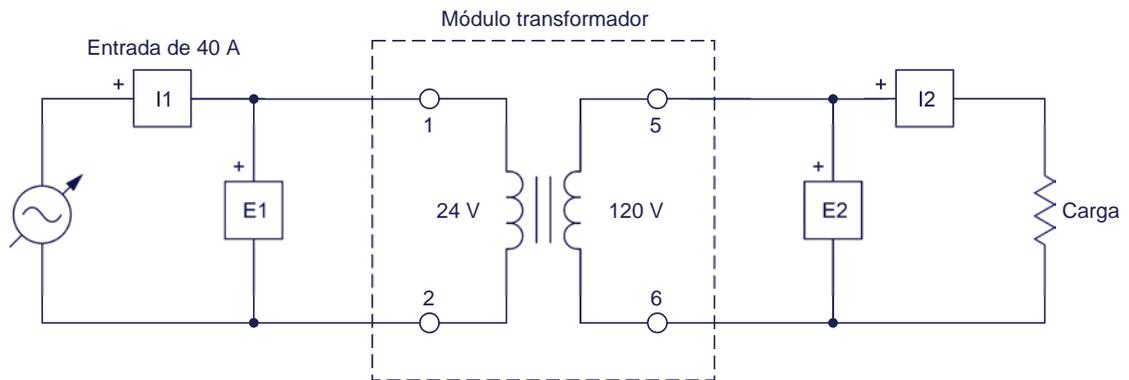


Figura 8. Transformador elevador de 120 VA conectado a una carga resistiva.

En LVDAC-EMS, fije el ajuste **Gama** de la corriente de entrada **I1** en alta.

20. Configure los conmutadores de la **Carga resistiva** de modo que el valor de la resistencia de la carga sea infinito.
21. Calcule la relación de espiras del transformador elevador que armó en el paso anterior.

Relación de espiras del transformador elevador = _____

22. En la ventana **Aparatos de medición**, haga los ajustes necesarios para medir los valores eficaces (ca) de la tensión $E_{pri.}$ y la corriente $I_{pri.}$ (entradas **E1** e **I1**, respectivamente) en el primario, así como la tensión $E_{sec.}$ y la corriente $I_{sec.}$ (entradas **E2** e **I2**, respectivamente) en el secundario del transformador. Ajuste otros dos medidores para medir la potencia aparente $S_{pri.}$ en el primario y la potencia aparente $S_{sec.}$ en el secundario (entradas **E1** e **I1** y entradas **E2** e **I2**, respectivamente).
23. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, fije el parámetro **Tensión** en 24 V, luego encienda la **Fuente de alimentación ca**. Vuelva a ajustar el parámetro **Tensión** de modo que la tensión en el primario del transformador $E_{pri.}$, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 24 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente en el primario del transformador de modo que muestre valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro **Corrección de la compensación cc** de modo que la corriente cc que circula en el primario del transformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, ajuste el medidor que mide la corriente en el primario del transformador de modo que muestre valores de corriente ca.



*Al ajustar el parámetro **Corrección de la compensación cc** de la fuente de alimentación ca se asegura de no suministrar ninguna corriente cc al transformador. Este ajuste es necesario porque la corriente cc afecta negativamente la operación de los transformadores de potencia.*

24. En la ventana **Aparatos de medición**, mida las tensiones del primario y secundario del transformador elevador. Anote los valores más abajo.

Tensión en el primario del transformador elevador $E_{pri.} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Tensión en el secundario del transformador elevador $E_{sec.} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Utilizando las tensiones del primario y secundario del transformador elevador que acaba de anotar, calcule la relación de tensiones de este último.

Relación de tensiones del transformador elevador = $\underline{\hspace{2cm}}$

25. La relación de tensiones del transformador elevador registrada en el paso anterior, ¿es coherente con la relación de espiras del transformador calculada en el paso 21?

Sí No

Teniendo en cuenta las tensiones en el primario y secundario del transformador registradas en el paso anterior, ¿se puede concluir que el transformador opera actualmente como elevador? Explique brevemente.

26. En la **Carga resistiva**, configure los conmutadores para obtener un valor de resistencia de carga R_{Carga} de 120 Ω .

27. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, vuelva a ajustar el parámetro **Tensión** de modo que la tensión en el primario $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 24 V. Ahora, la corriente que circula en el arrollamiento secundario debe estar cerca de la corriente nominal (1 A).

28. En la ventana **Aparatos de medición**, mida las corrientes en el primario y secundario del transformador elevador. Anote los valores a continuación.

Corriente en el primario del transformador elevador $I_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Corriente en el secundario del transformador elevador $I_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Utilizando las corrientes en el primario y secundario del transformador elevador que acaba de anotar, calcule la relación de corrientes del transformador.

Relación de corrientes del transformador elevador = $\underline{\hspace{2cm}}$

29. La relación de corrientes del transformador elevador registrada en el paso anterior, ¿es la inversa de la relación de espiras calculada en el paso 21 y de la relación de tensiones registrada en el paso 24?

Sí No

30. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la potencia aparente $S_{Pri.}$ en el primario y la potencia aparente $S_{Sec.}$ en el secundario del transformador elevador. Anote los valores a continuación.

Potencia aparente $S_{Pri.}$ en el primario = $\underline{\hspace{2cm}}$ VA

Potencia aparente $S_{Sec.}$ en el secundario = $\underline{\hspace{2cm}}$ VA

¿Son similares los valores de la potencia aparente $S_{Sec.}$ del secundario y la potencia aparente $S_{Pri.}$ del primario del transformador elevador?

Sí No

31. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la **Fuente de alimentación ca**.

Transformador reductor (OPCIONAL)



Esta sección es opcional pues requiere el uso de los resistores de carga disponibles en el módulo **Alternador/Controlador del aerogenerador**. Estos resistores de carga de baja resistencia son necesarios para asegurarse de que la corriente que circula en el arrollamiento primario del transformador reductor sea significativa (en relación con la corriente nominal del transformador).

En esta sección, usted armará un circuito que incluye un transformador reductor conectado a una carga resistiva y calculará su relación de espiras. Encenderá la fuente de alimentación ca. Luego medirá las tensiones primaria y secundaria del transformador (con la resistencia de carga fijada en infinito) y calculará la relación de tensiones del mismo. Comparará esta última con la relación de espiras calculada y confirmará que el transformador opera actualmente como reductor. Luego, fijará la resistencia de la carga resistiva en $5\ \Omega$. Medirá las corrientes primaria y secundaria del transformador y calculará su relación de corrientes. Por último, medirá los valores de la potencia aparente del transformador reductor en el primario y en el secundario y confirmará que ambos valores son prácticamente iguales.

32. Arme el transformador reductor de 120 VA mostrado en la figura 9. No conecte aún al circuito la carga resistiva, es decir, los resistores de carga del módulo **Alternador/Controlador del aerogenerador**. De esta manera, la resistencia de carga en el secundario del transformador es infinita.

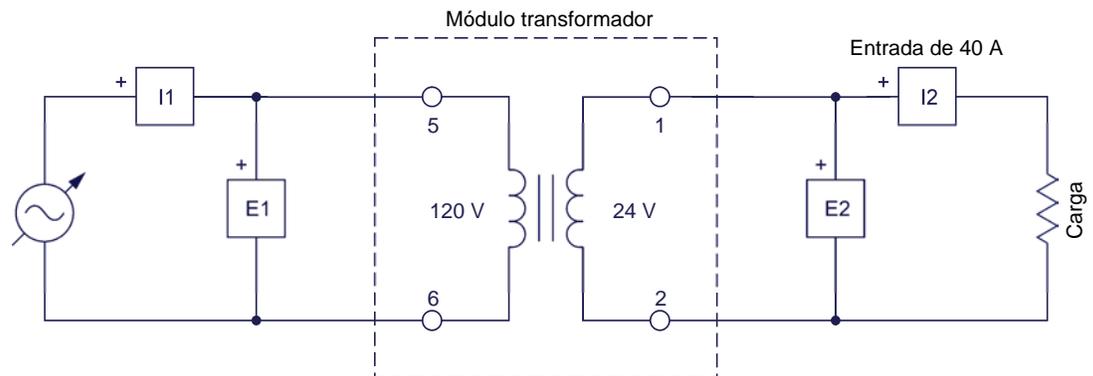


Figura 9. Transformador reductor de 120 VA conectado a la carga de baja resistencia disponible en el módulo **Alternador/Controlador del aerogenerador**.

En **LVDAC-EMS**, fije el ajuste **Gama** de la entrada de corriente **I1** en baja y el ajuste **Gama** de la entrada de corriente **I2** en alta.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

33. Calcule la relación de espiras del transformador reductor que armó en el paso anterior.

Relación de espiras del transformador reductor = _____

34. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, fije el parámetro *Tensión* en 100 V, luego encienda la *Fuente de alimentación ca*. Vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria (en el primario) $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 100 V.



*Es posible que usted no pueda fijar en 100 V la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador porque se ha alcanzado el límite de la tensión del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**; esta tensión aparece en la ventana **Aparatos de medición**. Si es así, fije simplemente el parámetro *Tensión* con el valor más alto posible antes de pasar al paso siguiente.*

35. En la ventana **Aparatos de medición**, mida las tensiones en el primario y secundario del transformador reductor. Anote los valores a continuación.

Tensión en el primario del transformador reductor $E_{Pri.}$ = _____ V

Tensión en el secundario del transformador reductor $E_{Sec.}$ = _____ V

Utilizando las tensiones del primario y secundario del transformador reductor que acaba de anotar, calcule la relación de tensiones de éste.

Relación de tensiones del transformador reductor = _____

36. La relación de tensiones del transformador reductor que registró en el paso anterior, ¿es similar a la relación de espiras del transformador calculada en el paso 33?

Sí No

Teniendo en cuenta las tensiones en el primario y secundario que registró en el paso anterior, ¿se puede concluir que el transformador opera actualmente como reductor? Explique brevemente.

37. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la *Fuente de alimentación ca*.

En el módulo **Alternador/Controlador del aerogenerador**, conecte los tres resistores de carga de $15\ \Omega$ en paralelo. Luego, conecte la carga resistiva resultante de $5\ \Omega$ al circuito, como se muestra en la figura 9.

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, encienda la *Fuente de alimentación ca*. Ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria E_{pri} del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 100 V.



*Es posible que usted no pueda fijar en 100 V la tensión primaria E_{pri} del transformador porque se ha alcanzado el límite de la tensión del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**; esta tensión aparece en la ventana **Aparatos de medición**. Si es así, fije simplemente el parámetro *Tensión* con el valor más alto posible antes de pasar al paso siguiente.*

38. En la ventana **Aparatos de medición**, mida las corrientes primaria y secundaria del transformador reductor. Anote los valores a continuación.

Corriente en el primario del transformador reductor $I_{pri} =$ _____ A

Corriente en el secundario del transformador reductor $I_{sec} =$ _____ A

Utilizando las corrientes primaria y secundaria del transformador reductor que acaba de anotar, calcule la relación de corrientes de éste.

Relación de corrientes del transformador reductor = _____

39. La relación de corrientes del transformador reductor que registró en el paso anterior, ¿es la inversa de la relación de tensiones del transformador calculada en el paso 33 y de la relación de tensiones registrada en el paso 35?

Sí No

40. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la potencia aparente S_{pri} en el primario y la potencia aparente S_{sec} en el secundario del transformador reductor. Anote esos valores a continuación.

Potencia aparente S_{pri} en el primario = _____ VA

Potencia aparente S_{sec} en el secundario = _____ VA

La potencia aparente S_{sec} en el secundario del transformador reductor, ¿es similar a la potencia aparente S_{pri} en el primario?

Sí No

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

41. A partir de las observaciones hechas hasta ahora, ¿se puede concluir que los transformadores de potencia son dispositivos bidireccionales? Explique brevemente.

¿Es posible que un mismo transformador de potencia pueda operar tanto como elevador que como reductor? Explique brevemente.

42. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, apague la *Fuente de alimentación ca*.

43. Cierre *LVDAC-EMS* y apague todo el equipo. Desconecte todos los conductores y guárdelos en su lugar de almacenaje.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió cuáles son las correspondencias entre las relaciones de espiras, tensiones y corrientes de un transformador de potencia. Se familiarizó con las diferentes características de los elevadores y reductores. También aprendió cómo determinar en la práctica las relaciones de tensiones y corrientes de un transformador.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un transformador de potencia tiene 125 vueltas de alambre en uno de sus arrollamientos y 375 vueltas en el otro. ¿Cuál es la relación de espiras del transformador cuando se utiliza como elevador? ¿Cuál es la relación de espiras de éste cuando se utiliza como reductor?

2. Un transformador elevador conectado a una carga resistiva tiene 300 vueltas en el arrollamiento primario y 1000 vueltas en el secundario. Determine la cantidad de corriente $I_{sec.}$ que fluye en el secundario del transformador cuando en el primario circula una corriente $I_{pri.}$ de 3 A.

3. ¿Es posible que un solo transformador de potencia funcione en un momento dado como elevador y luego como reductor? Explique por qué.

4. Un transformador reductor tiene 480 vueltas en el arrollamiento primario y 120 vueltas en el secundario. Determine la tensión en el primario cuando se mide una tensión de 60 V en el secundario.

5. Cuando en el primario de un transformador elevador se miden 60 V y en el secundario se miden 300 V. Sabiendo que la corriente que fluye en el primario es 2,5 A, calcule la corriente en el secundario.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Polaridad e interconexión del arrollamiento del transformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya completado este ejercicio, sabrá qué es la polaridad del arrollamiento de un transformador de potencia y cómo representarla en un diagrama. Será capaz de determinar la polaridad de los arrollamientos usando ya sea un osciloscopio o un voltímetro. También sabrá cómo conectar en serie y en paralelo los arrollamientos y cuáles son los efectos de cada tipo de conexión en la tensión, corriente y potencia del transformador.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Introducción a la polaridad del arrollamiento del transformador
- Polaridad de los arrollamientos de un transformador en diagramas esquemáticos
- Determinación de la polaridad de los arrollamientos de un transformador mediante un osciloscopio
- Conexión en serie de los arrollamientos de un transformador
- Determinación de la polaridad de los arrollamientos de un transformador mediante un voltímetro
- Conexión en paralelo de los arrollamientos del transformador

PRINCIPIOS

Introducción a la polaridad del arrollamiento del transformador

Como se vio anteriormente, cuando se energiza el arrollamiento primario de un transformador de potencia por medio de una fuente de alimentación ca, se establece un flujo magnético alternante en el núcleo de hierro. Dicho flujo enlaza o acopla las espiras de cada arrollamiento e induce tensiones ca en éstos. En los transformadores de potencia, la **polaridad** de estas tensiones inducidas podría parecer de menor importancia pues éstas son ca. Sin embargo, cuando se conectan dos o más arrollamientos del transformador, sus polaridades tienen un efecto significativo en la tensión resultante. Si la tensión de un arrollamiento tiene una polaridad positiva cuando alcanza su valor máximo mientras que la de otro arrollamiento tiene una polaridad negativa cuando también alcanza su valor máximo, es decir, si están desfasadas 180° , las tensiones se oponen entre sí y, cuando los arrollamientos están conectados en serie, el valor resultante es igual a la diferencia entre ambas tensiones.

La polaridad del arrollamiento de un transformador se refiere a la polaridad de la tensión en uno de sus extremos con respecto a la tensión en su extremo opuesto en un instante dado. En realidad esto toma relevancia cuando se trata de la polaridad de un arrollamiento en relación con otros. Cuando un extremo de uno de los dos arrollamientos tiene la misma polaridad que uno de los extremos del otro, significa que la polaridad de la tensión en esos extremos es la misma para ambos. En este caso, las tensiones ca a través de los arrollamientos están en fase. Inversamente, cuando un extremo de uno de los dos arrollamientos tiene polaridad opuesta con respecto a uno de los extremos del otro, significa que la polaridad de la tensión de esos extremos es opuesta en ambos. En este

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

caso, las tensiones ca en dichos arrollamientos están desfasadas 180° . La polaridad de los arrollamientos de un transformador es especialmente importante cuando se deben conectar en serie o en paralelo, como se verá más adelante en este ejercicio.

Polaridad de los arrollamientos de un transformador en diagramas esquemáticos

En general, para identificar la polaridad de los arrollamientos de un transformador se utilizan marcas. Éstas pueden ser de diferentes tipos, pero la más común es un punto situado al lado de los extremos de los arrollamientos que tienen la misma polaridad. La figura 10 muestra un ejemplo donde se han utilizado puntos para indicar los extremos de los arrollamientos del transformador de igual polaridad.

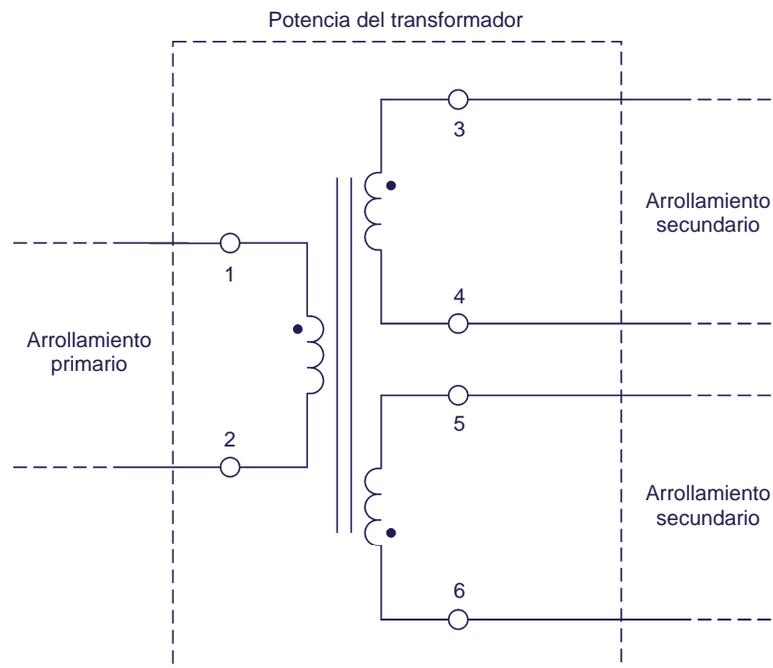


Figura 10. Ejemplo del diagrama esquemático de un transformador de potencia donde se utilizan puntos para indicar los arrollamientos de igual polaridad.

Cuando en la figura 10 la tensión en el terminal 1 es positiva con respecto a (es decir, mayor que) la tensión en el terminal 2, entonces las tensiones en los terminales 3 y 6 también son positivas con respecto a los terminales 4 y 5. Inversamente, cuando la tensión en el terminal 1 es negativa con respecto a (es decir, menor que) la tensión en el terminal 2, entonces las tensiones en los terminales 3 y 6 también son negativas con respecto a las tensiones en los terminales 4 y 5.

Determinación de la polaridad de los arrollamientos de un transformador mediante un osciloscopio

La polaridad de cada arrollamiento de un transformador de potencia se puede determinar aplicando una tensión ca en uno de ellos (generalmente el primario) y usando un osciloscopio para observar la fase de la tensión inducida a través de cada uno de los otros arrollamientos con respecto a la fase de la tensión de la fuente ca. Cuando la fase de la tensión inducida a través de un arrollamiento es igual a la aplicada al primario, esto indica que los arrollamientos están conectados al osciloscopio con la misma polaridad, como se indica en la figura 11a. Por otro lado, cuando la fase de la tensión inducida a través de un arrollamiento es opuesta (desfasada 180°) a la aplicada al primario, esto indica que los arrollamientos están conectados al osciloscopio con polaridades opuestas, como se indica en la figura 11b.

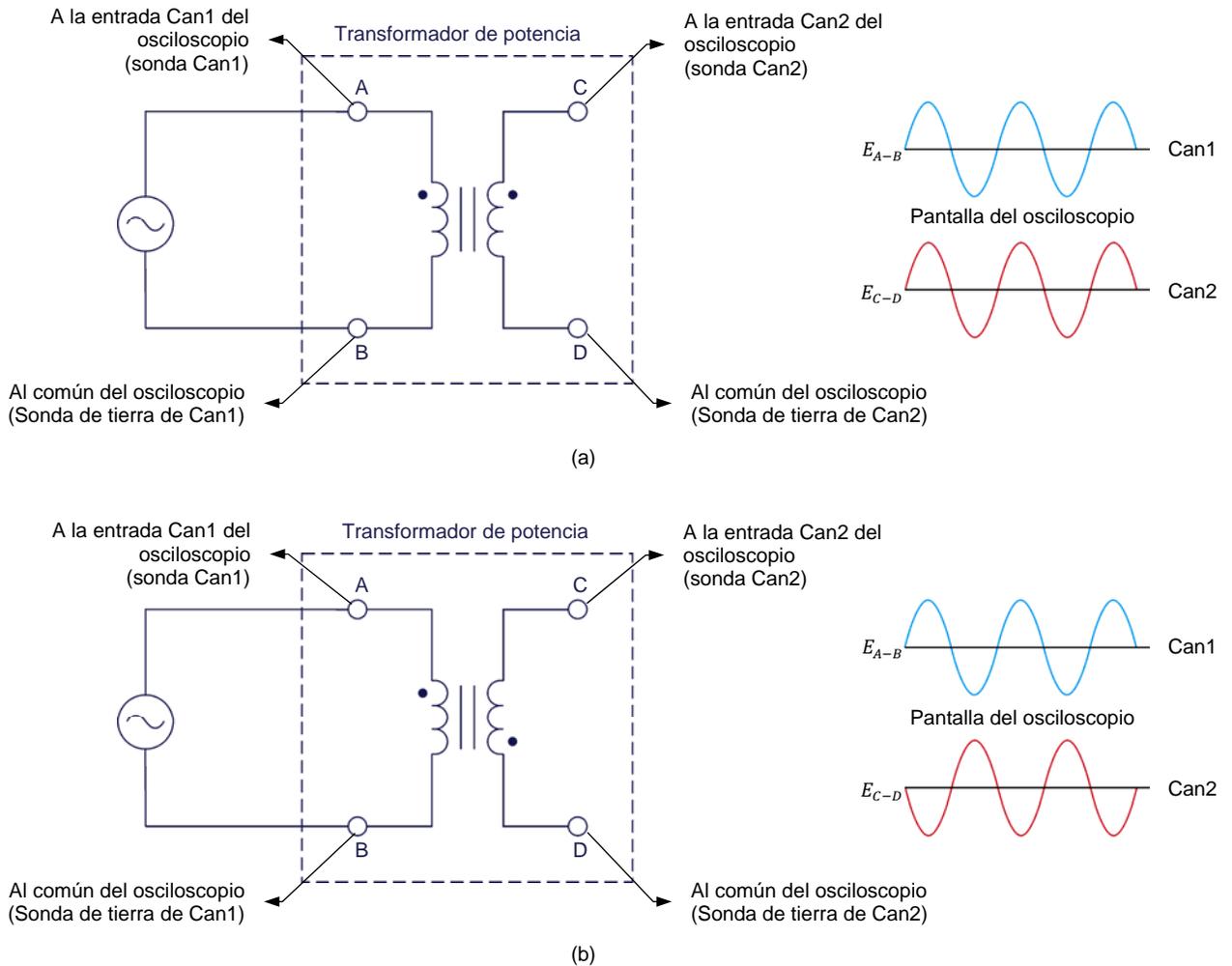
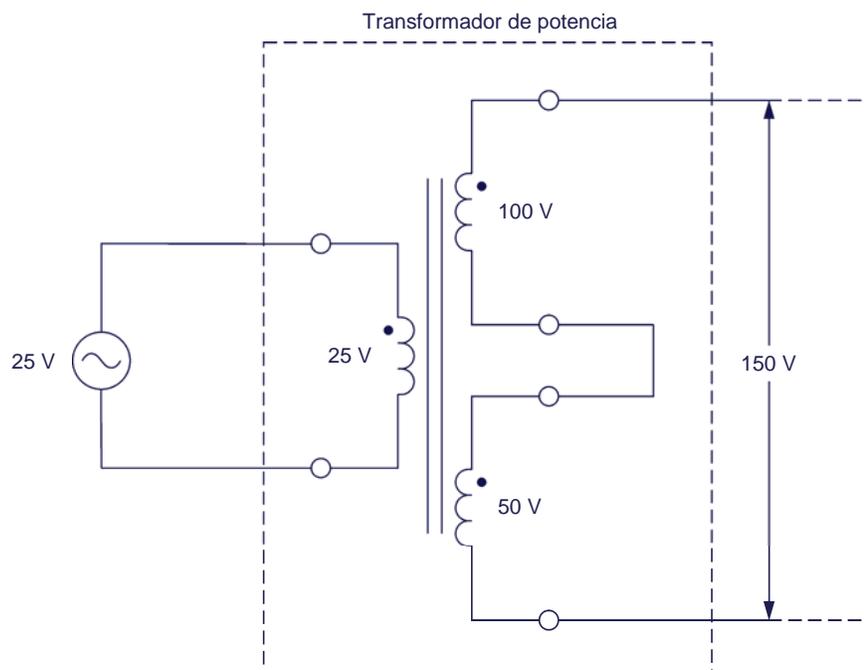


Figura 11. Determinación de la polaridad de los arrollamientos de un transformador de potencia usando un osciloscopio.

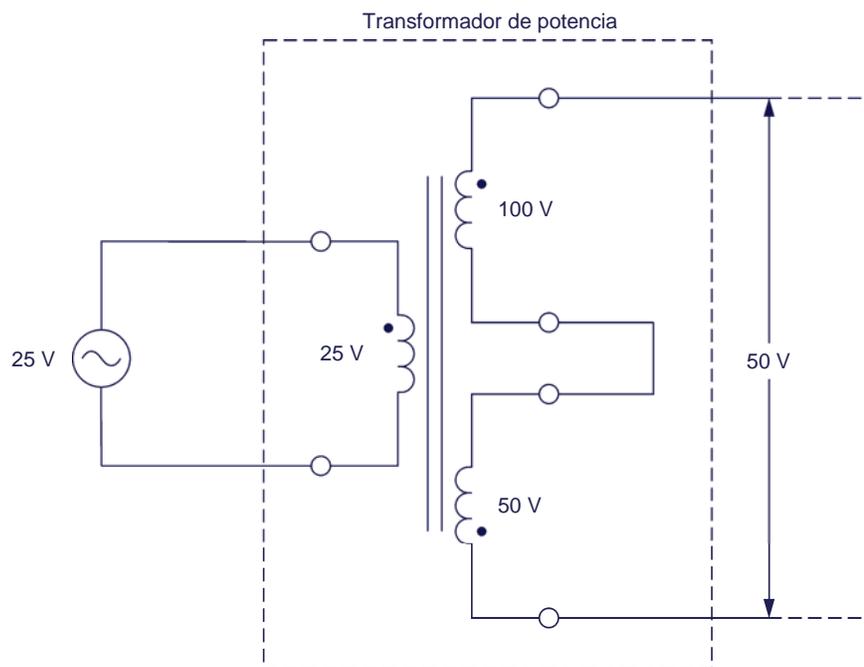
Conexión en serie de los arrollamientos de un transformador

Es posible conectar en serie dos o más arrollamientos de un transformador de potencia de modo que la tensión total a través de ellos resulte igual a la suma (conexión en serie aditiva) o a la diferencia (conexión en serie sustractiva) de las tensiones a través de cada arrollamiento individual. Como se mencionó anteriormente, es importante conocer la polaridad de cada arrollamiento conectado en serie, pues esto determina si estos están conectados en serie aditiva o serie sustractiva.

Cuando dos arrollamientos se conectan en serie de modo que el extremo marcado de uno se conecta al extremo no marcado del otro, los arrollamientos están conectados en serie aditiva, es decir, la tensión a través de los arrollamientos es igual a la suma de las tensiones en cada uno de ellos. Por ejemplo, considere el transformador de la figura 12a. El arrollamiento primario tiene una tensión nominal de 25 V, mientras que las tensiones nominales de los arrollamientos del secundario son 100 V y 50 V. Dado que los del secundario del están conectados en serie aditiva, la tensión total en el secundario es igual a 150 V ($100\text{ V} + 50\text{ V}$), cuando el arrollamiento primario está conectado a una fuente de alimentación ca de 25 V. El transformador opera entonces como un transformador elevador con una relación de tensiones de 1:6.



(a) Conexión serie aditiva



(b) Conexión serie sustractiva

Figura 12. Transformador de potencia cuyos arrollamientos del secundario están conectados en serie.

Cuando dos arrollamientos de un transformador se conectan en serie de modo que el extremo marcado de un arrollamiento se conecta al extremo marcado del otro, o el extremo no marcado de uno se conecta al extremo no marcado del otro, se dice que los arrollamientos están conectados en serie sustractiva, es decir, la tensión a través de ambos arrollamientos es igual a la diferencia entre sus tensiones individuales. Por ejemplo, considere el transformador de la figura 12b. El arrollamiento primario tiene una tensión nominal de 25 V, mientras que las tensiones nominales de los arrollamientos del secundario son 100 V y 50 V (de hecho, es el mismo transformador de la figura 12a). Dado que los arrollamientos del secundario están conectados en serie sustractiva, la tensión total en el secundario es igual a 50 V ($100\text{ V} - 50\text{ V}$) cuando el arrollamiento primario está conectado a una fuente de alimentación ca de 25 V. El transformador opera entonces como un transformador elevador con una relación de tensiones de 1:2.

Es raro utilizar las conexiones en serie sustractiva pues los arrollamientos se oponen entre sí. En consecuencia, el número de vueltas de alambre requerido para alcanzar una conversión de potencia ca dada (es decir, para obtener cierta tensión) es mucho más alta que cuando se usa un arrollamiento con el número exacto de vueltas (es decir, un arrollamiento con un número de vueltas igual a la diferencia entre el número de vueltas de los arrollamientos de la conexión en serie que actúan en una dirección y el número de vueltas de los que actúan en la dirección opuesta). En el ejemplo dado en la figura 12b, los dos arrollamientos del secundario suman 150 V pero, cuando se conectan en serie sustractiva, sólo proveen una tensión de 50 V. Por tanto, si se emplea un solo arrollamiento con el número de vueltas exacto, el secundario del transformador requiere sólo un tercio del número de vueltas de dos arrollamientos conectados en serie sustractiva.

Determinación de la polaridad de los arrollamientos de un transformador mediante un voltímetro

Cuando no se dispone de un osciloscopio, la polaridad de los arrollamientos de un transformador de potencia se puede determinar conectando en serie los arrollamientos primario y secundario. Luego se aplica una tensión ca a uno de ellos (generalmente el primario) y se mide la tensión total a través de los mismos. Cuando la tensión total es igual a la suma de las tensiones individuales de ellos, los extremos que están conectados entre sí tienen polaridades opuestas. Esto se ilustra en la figura 13a. En ésta, los arrollamientos primario y secundario, cuyas tensiones nominales son 200 V y 100 V respectivamente, están conectados en serie. Una fuente de alimentación ca de 200 V se conecta al primario. Un voltímetro ca mide 300 V a través de los arrollamientos conectados en serie, indicando que los terminales del transformador conectados entre sí tienen polaridad opuesta cuando los arrollamientos están conectados en serie aditiva (es decir, las tensiones de los arrollamientos se suman). Inversamente, cuando la tensión total es igual a la diferencia entre las tensiones de los arrollamientos individuales, los extremos de los arrollamientos que están conectados entre sí tienen la misma polaridad. Esto se ilustra en la figura 13b. En ésta, el voltímetro ca mide 100 V a través de los arrollamientos conectados en serie, indicando que los terminales del transformador conectados entre sí tienen la misma polaridad (es decir, las tensiones de los arrollamientos se restan entre ellas).

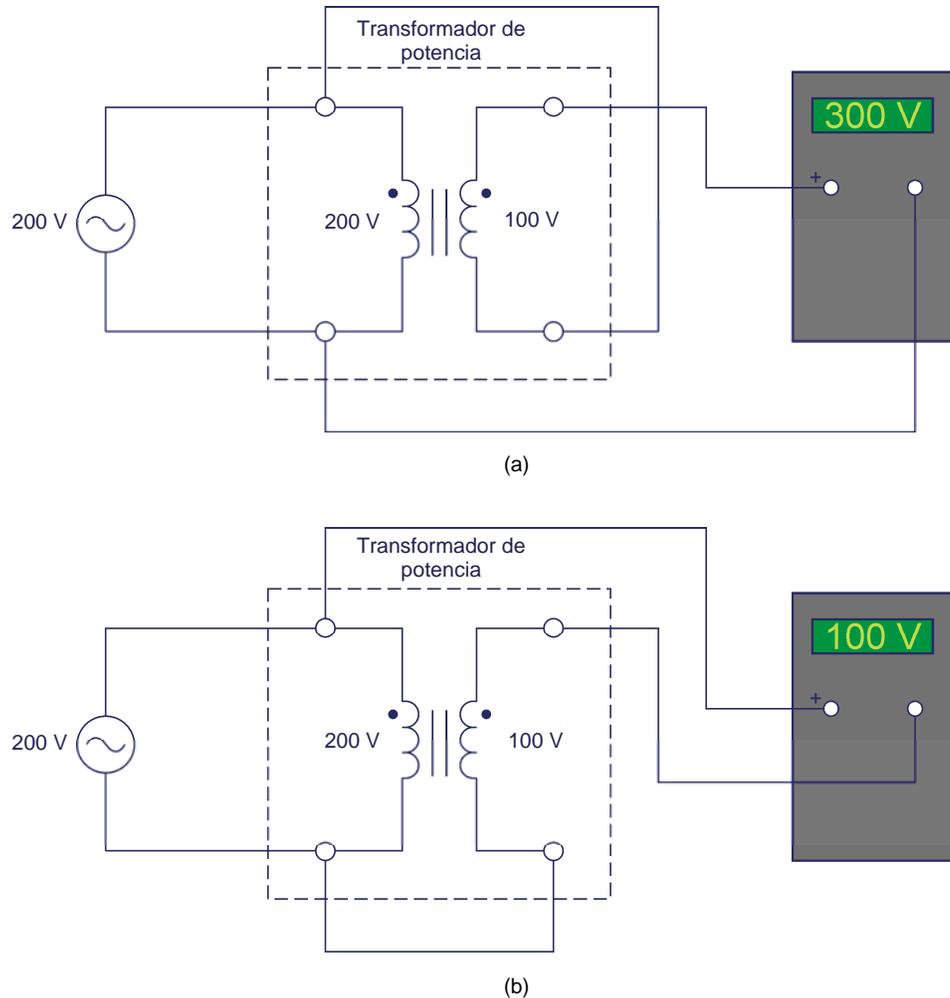


Figura 13. Determinación de la polaridad de los arrollamientos del transformador mediante un voltímetro.

Si el transformador de potencia tiene otros arrollamientos, la prueba se repite con cada uno para determinar su polaridad.

Conexión en paralelo de los arrollamientos del transformador

Es posible conectar en paralelo dos arrollamientos de la misma tensión nominal (es decir, el mismo número de vueltas) para aumentar la capacidad de corriente y por tanto, la potencia que puede suministrarse a una carga. La polaridad de cada arrollamiento debe respetarse al conectar en paralelo los arrollamientos del transformador. De otro modo, fluiría una corriente que excederá considerablemente la corriente nominal de los arrollamientos y podría averiar el transformador de manera permanente. Por ejemplo, considere el transformador de potencia de la figura 14. Este transformador está conectado a una fuente de alimentación ca de 200 V. Éste tiene un arrollamiento primario cuyos valores nominales son 200 V y 1 A, así como dos arrollamientos secundarios de 100 V y 1 A cada uno, conectados en paralelo. Observe que los extremos marcados de los dos arrollamientos secundarios están conectados entre sí y que los extremos no marcados también están conectados. Al encender la fuente de alimentación ca, se mide una tensión de 100 V a través de los

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

arrollamientos secundarios y fluye una corriente de 2 A en la carga resistiva de 50 Ω conectada a éstos.

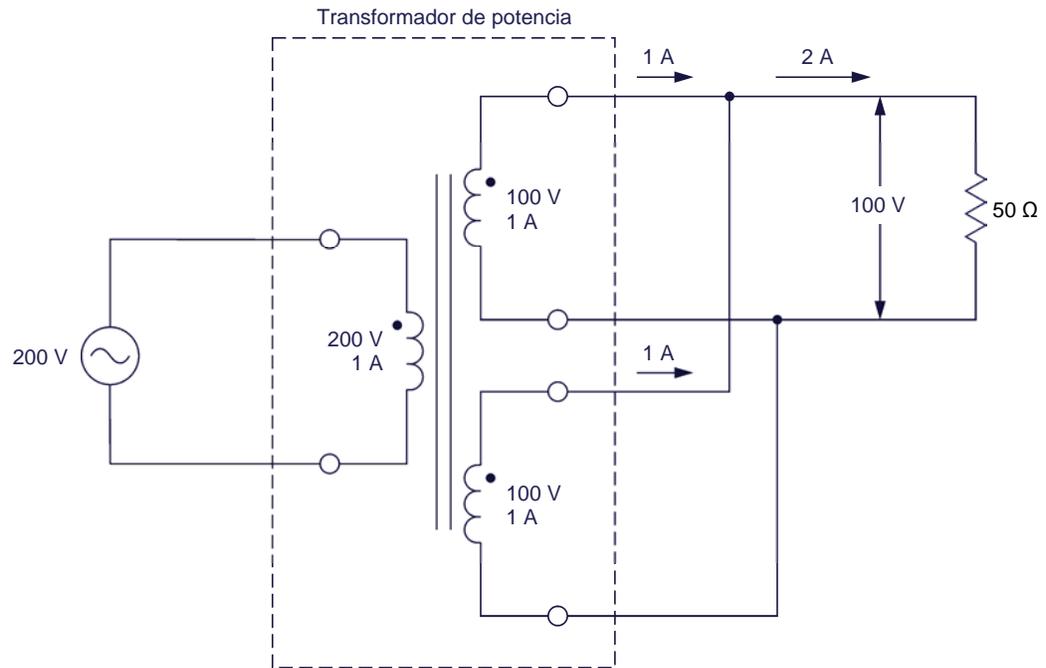


Figura 14. Transformador de potencia cuyos arrollamientos secundarios están conectados en paralelo.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento está dividido en las siguientes secciones:

- Montaje y conexiones
- Determinación de la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un Osciloscopio
- Conexión en serie de los arrollamientos del transformador
- Determinación de la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un voltímetro
- Conexión en paralelo de los arrollamientos del transformador

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones altas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas banana con la alimentación encendida, a menos que se especifique lo contrario.

Montaje y conexiones

En esta sección, usted conectará el equipo para estudiar la operación de un transformador de potencia. Observará las marcas de polaridad en el panel delantero del módulo Transformador y notará qué terminales tienen la misma polaridad que el terminal 1.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

1. Consulte la tabla de utilización del equipo del Apéndice A con el fin de obtener la lista del equipamiento necesario para realizar este ejercicio.

Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).

2. Asegúrese de que el interruptor de alimentación principal del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) esté fijado en la posición **O** (apagado), luego enchufe la [Entrada de alimentación](#) en un tomacorriente ca mural.

Conecte la entrada [Alimentación](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) en la fuente de 24 V ca. Encienda esta fuente.

3. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) a un puerto USB de la computadora.

4. Encienda el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), luego fije el interruptor [Modo de operación](#) en [Fuente de alimentación](#). Este ajuste permite que el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) opere como fuente de alimentación.

5. Encienda la computadora, luego ejecute el software [LVDAC-EMS](#).

En la ventana [Selector de módulos](#), asegúrese de que la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) y el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) estén detectados. Asegúrese de que la función [Instrumentación computarizada](#) para la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) esté seleccionada. También, seleccione la tensión y la frecuencia que corresponden a las de la red ca local, luego haga clic en el botón [ACEPTAR](#) para cerrar la ventana [Selector de módulos](#).

6. Observe las marcas de polaridad en el panel delantero del módulo [Transformador](#). Determine qué extremos (terminales) de los arrollamientos 3-4, 5-6 y 7-8 tienen la misma polaridad que el terminal 1 del arrollamiento 1-2.

Terminales con la misma polaridad que el 1: _____

Determinación de la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un Osciloscopio

En esta sección, usted armará un circuito que incluye un transformador de potencia y conectará el equipo para determinar la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando el Osciloscopio. Encenderá la fuente de alimentación ca. Luego observará las formas de onda de la tensión medida a través de cada arrollamiento del transformador y determinará la polaridad de cada terminal. Luego, observará en el Analizador de fasores los fasores de la tensión medida a través de cada arrollamiento del transformador y confirmará los resultados que obtuvo utilizando el Osciloscopio. Luego, invertirá las conexiones de una entrada de tensión de la Interfaz de adquisición de datos y de control y observará qué sucede con la forma de onda de la tensión correspondiente en el Osciloscopio. Por último, determinará si esta inversión tiene algún efecto en la polaridad del arrollamiento.

7. Conecte el equipo como se muestra en la figura 15.

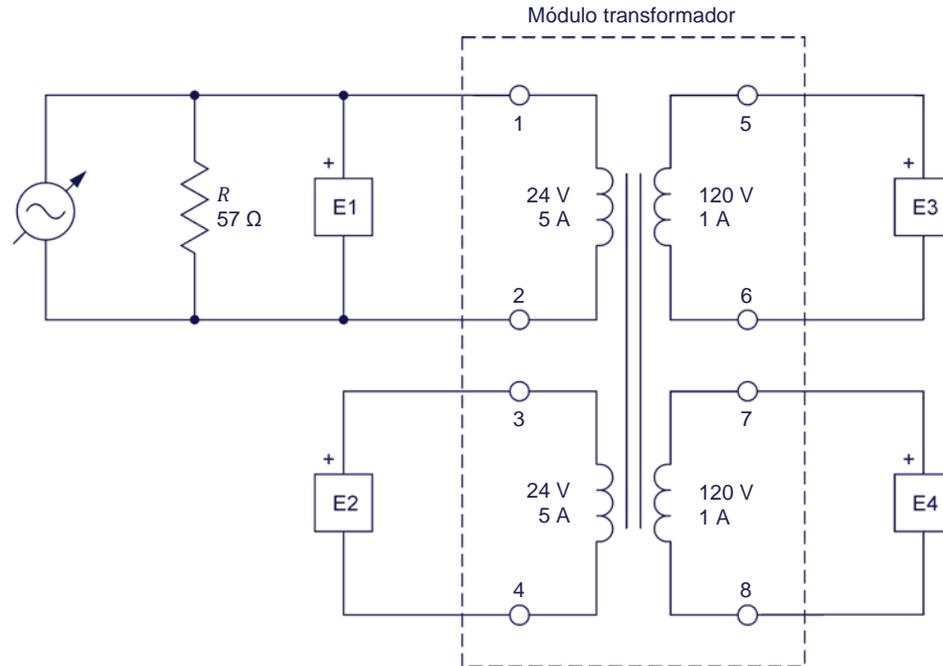


Figura 15. Circuito para determinar la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un osciloscopio.



La carga resistiva del circuito de la figura 15 se utiliza para mejorar el aspecto de las formas de onda de tensión. La carga resistiva no tiene ningún efecto en las tensiones medidas debido a que está conectada en paralelo con la fuente de alimentación ca.

8. Configure los conmutadores de la Carga resistiva para obtener el valor de resistencia requerido.

9. En LVDAC-EMS, abra la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, luego haga los ajustes siguientes:
- Fije el parámetro *Función* en *Fuente de alimentación ca*.
 - Fije el parámetro *Tensión* en 24 V.
 - Fije el parámetro *Frecuencia* con la frecuencia de la red ca local.
 - Encienda la *Fuente de alimentación ca*.

10. En LVDAC-EMS, abra el **Osciloscopio** y haga aparecer las formas de onda de las tensiones medidas a través de cada arrollamiento del transformador.

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que el valor eficaz (rms) de la tensión E_{1-2} a través del arrollamiento 1-2, que aparece en el **Osciloscopio**, esté lo más cerca posible de 24 V.

Utilizando las formas de onda que aparecen en el **Osciloscopio**, determine la polaridad de cada arrollamiento, es decir, determine qué extremos de los arrollamientos tienen la misma polaridad.

Los resultados que ha obtenido, ¿corresponden a las marcas de polaridad indicadas en el panel delantero del módulo **Transformador**?

- Sí No

En LVDAC-EMS, abra el **Analizador de fasores** y haga aparecer los fasores de las tensiones medidas a través de cada arrollamiento del transformador. Los fasores que aparecen en el **Analizador de fasores**, ¿confirman lo que observó utilizando el **Osciloscopio**?

- Sí No

11. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la *Fuente de alimentación ca*.

Invierta las conexiones en la entrada de tensión $E3$ de la **Interfaz de adquisición de datos y control**.

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, active la *Fuente de alimentación ca*.

12. En el **Osciloscopio**, observe las formas de onda de tensión. ¿Qué le sucedió a la forma de onda de la tensión medida a través del arrollamiento 5-6 (entrada **E3**)?

¿Esta observación cambia sus conclusiones sobre la polaridad del arrollamiento 5-6? Explique brevemente.

13. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la **Fuente de alimentación ca**.

Conexión en serie de los arrollamientos del transformador

En esta sección, usted calculará las tensiones inducidas a través de los arrollamientos en serie de tres diferentes disposiciones del transformador. Luego, efectuará sucesivamente cada conexión en serie de los arrollamientos y medirá la tensión a través de cada uno. Comparará las tensiones medidas a través de los arrollamientos en serie con las tensiones calculadas.

14. Considere las tres conexiones del transformador mostradas en la figura 16.

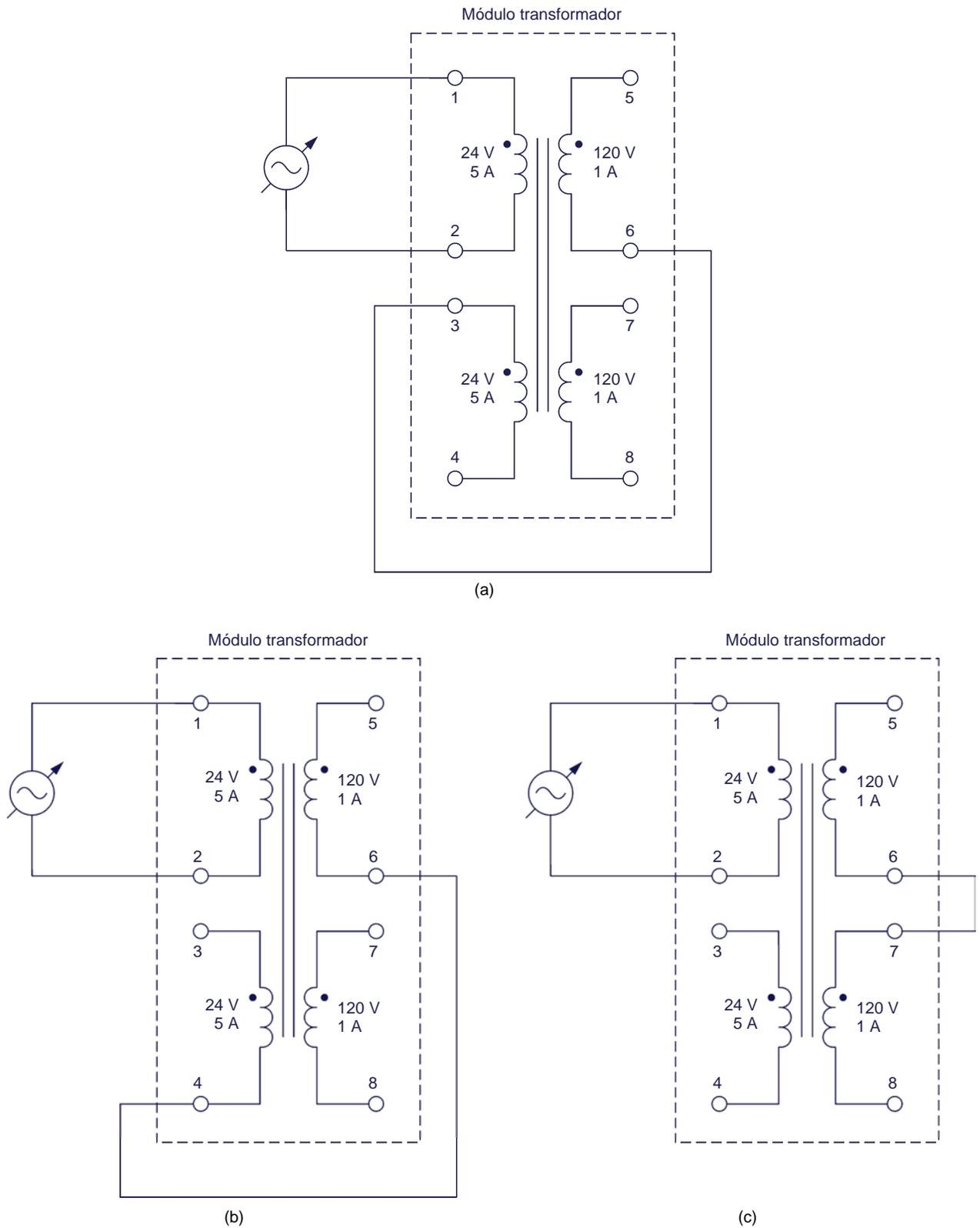


Figura 16. Diferentes conexiones en serie de los arrollamientos del transformador.

Property of Festo Didactic
 Sale and/or reproduction forbidden

En la figura, se considera que el arrollamiento 1-2 es el primario del transformador y que está conectado a una fuente ca de 24 V. Determine la tensión que se debe inducir a través de cada una de las combinaciones de arrollamientos conectados en serie.



En todas las conexiones del transformador de la figura 16, la capacidad del transformador se limita a 120 VA, debido a que toda la potencia se transfiere a través del arrollamiento primario 1-2, cuyos valores nominales son 24 V y 5 A.

Tensión en los arrollamientos 3-4 y 5-6 de la figura 16a = _____ V

Tensión en los arrollamientos 3-4 y 5-6 de la figura 16b = _____ V

Tensión en los arrollamientos 5-6 y 7-8 de la figura 16c = _____ V

- 15.** Realice las conexiones en serie mostradas en la figura 16a. Utilice la entrada *E1* de la *DACI* para medir la tensión a través del arrollamiento 1-2 y la entrada *E2* para medir la tensión a través de los arrollamientos conectados en serie.

En *LVDAC-EMS*, abra la ventana *Aparatos de medición*. Efectúe los ajustes necesarios para medir los valores eficaces (ca) de la tensión E_{1-2} a través del arrollamiento 1-2 y de la tensión a través de los arrollamientos del transformador conectados en serie.

En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, encienda la *Fuente de alimentación ca*. Ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión a través del arrollamiento 1-2 del transformador, indicada en la ventana *Aparatos de medición*, esté lo más cerca posible de 24 V.

En la ventana *Aparatos de medición*, mida la tensión en los arrollamientos del transformador conectados en serie. Anote el valor a continuación.

Tensión medida en los arrollamientos 3-4 y 5-6 de la figura 16a = _____ V

En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, apague la *Fuente de alimentación ca*.

- 16.** Repita el paso 15 para las conexiones en serie de los arrollamientos mostrados en la figura 16b y en la figura 16c. Anote a continuación las tensiones medidas.

Tensión medida en los arrollamientos 3-4 y 5-6 de la figura 16b = _____ V

Tensión medida en los arrollamientos 5-6 y 7-8 de la figura 16c = _____ V

Compare las tensiones a través de los arrollamientos en serie medidas en este paso y en el anterior con las calculadas en el paso 14. Los valores de tensión medidos, ¿son prácticamente iguales a los calculados?

Sí No

Determinación de la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un voltímetro

En esta sección, usted conectará un circuito que incluye un transformador con ciertos arrollamientos (arrollamientos 1-2 y 5-6) conectados en serie. Encenderá la fuente de alimentación ca y medirá las tensiones a través de los arrollamientos en serie. Utilizando la tensión medida, determinará la polaridad de los arrollamientos del transformador. Comparará las polaridades obtenidas utilizando este método con las determinadas previamente en este ejercicio. Luego, conectará otro circuito que incluye un transformador con ciertos arrollamientos en serie (arrollamientos 1-2 y 7-8) y repetirá las manipulaciones anteriores.

17. Conecte el equipo como se muestra en la figura 17. En este circuito, uno de los arrollamientos secundarios (arrollamiento 5-6) del transformador de potencia está conectado en serie con el arrollamiento primario (arrollamiento 1-2).

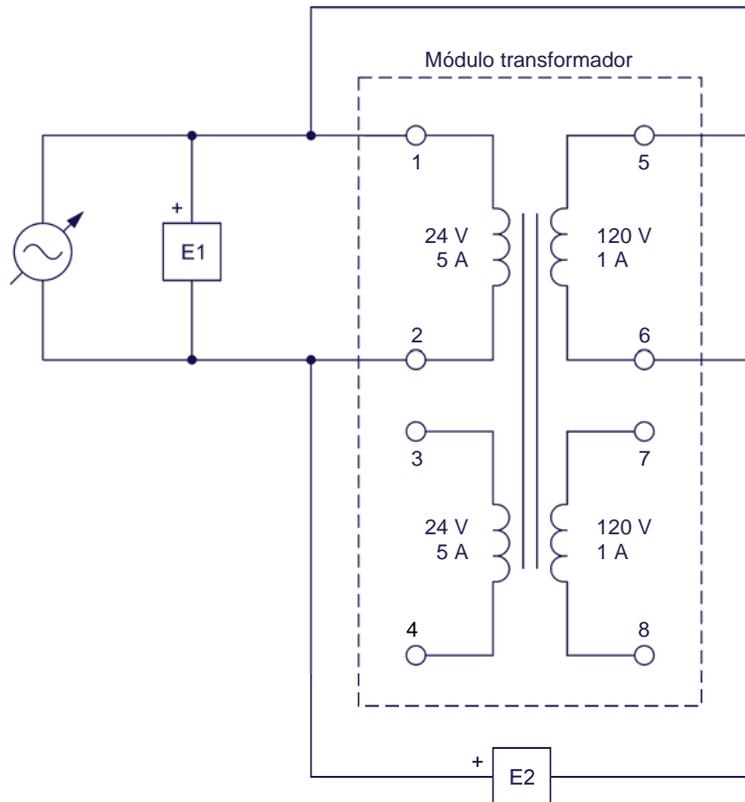


Figura 17. Circuito para determinar la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un voltímetro.

18. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, encienda la *Fuente de alimentación ca*. Ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión del transformador a través del arrollamiento 1-2, indicada en la ventana *Aparatos de medición*, esté tan cerca como sea posible de 24 V.

En la ventana *Aparatos de medición*, mida la tensión del transformador a través de los arrollamientos en serie (arrollamientos 1-2 y 5-6). Anote el valor a continuación.

Tensión en los arrollamientos 1-2 y 5-6 = _____ V

19. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, apague la *Fuente de alimentación ca*.
20. Utilizando la tensión a través de los arrollamientos en serie medida en el paso 18, determine la polaridad del arrollamiento 5-6 del transformador de potencia en relación con la del arrollamiento 1-2 [es decir, determine qué terminal (5 o 6) del arrollamiento 5-6 tiene la misma polaridad que el terminal 1 del arrollamiento 1-2]. Explique brevemente.

Los resultados obtenidos, ¿corresponden a las polaridades de los arrollamientos del transformador de potencia determinada en los pasos 6 y 10?

Sí No

21. Conecte el equipo como se muestra en la figura 18. En este circuito, el otro arrollamiento secundario (arrollamiento 7-8) del transformador está conectado en serie con el primario (arrollamiento 1-2).

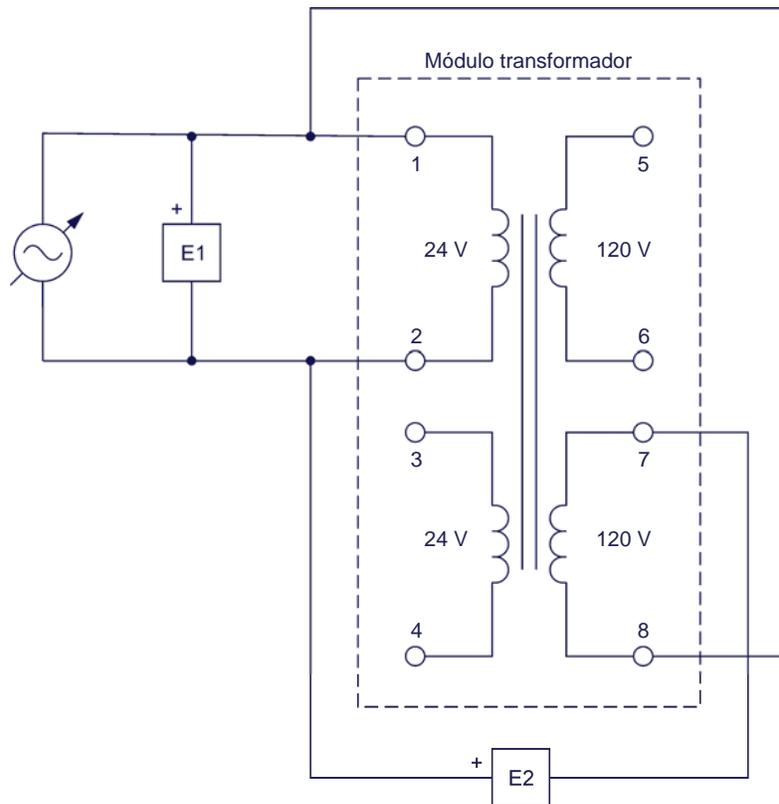


Figura 18. Circuito para determinar la polaridad de los arrollamientos del transformador utilizando un voltímetro.

22. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, encienda la *Fuente de alimentación ca*. Ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión del transformador a través del arrollamiento 1-2, indicada en la ventana *Aparatos de medición*, esté tan cerca como sea posible de 24 V.

En la ventana *Aparatos de medición*, mida la tensión inducida a través de los arrollamientos en serie. Anote el valor a continuación.

Tensión medida en los arrollamientos 1-2 y 7-8 = _____ V

23. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, apague la *Fuente de alimentación ca*.

24. Utilizando la tensión a través de los arrollamientos en serie medida en el paso anterior, determine la polaridad del arrollamiento 7-8 en relación con la del arrollamiento 1-2 [es decir, determine qué terminal (7 u 8) del arrollamiento 7-8 tiene la misma polaridad que el terminal 1 del arrollamiento 1-2]. Explique brevemente.

Los resultados obtenidos, ¿corresponden a las polaridades de los arrollamientos del transformador de potencia determinada en los pasos 6 y 10?

Sí No

Conexión en paralelo de los arrollamientos del transformador

En esta sección, usted montará un transformador elevador conectado a una carga resistiva. Encenderá la fuente de alimentación ca y confirmará que la tensión secundaria del transformador es igual a 120 V. Luego fijará la resistencia de la carga resistiva en 120 Ω . De esta manera, la corriente secundaria debe ser prácticamente igual a la nominal (1 A). Medirá la tensión, la corriente y la potencia aparente en el primario y en el secundario del transformador. Luego, modificará el circuito para conectar los arrollamientos secundarios en paralelo. Confirmará que la tensión, la corriente y la potencia aparente en el secundario no han cambiado y que los dos arrollamientos secundarios ahora comparten la corriente que los recorre en igual proporción. Fijará la resistencia de la carga resistiva en 57 Ω . Por lo tanto, la corriente que circula en cada arrollamiento del secundario debe ser prácticamente igual a la corriente nominal (1 A). Por último, medirá la tensión, la corriente y la potencia aparente en el primario y en el secundario del transformador y analizará los resultados.

25. Conecte el equipo como se muestra en la figura 19.

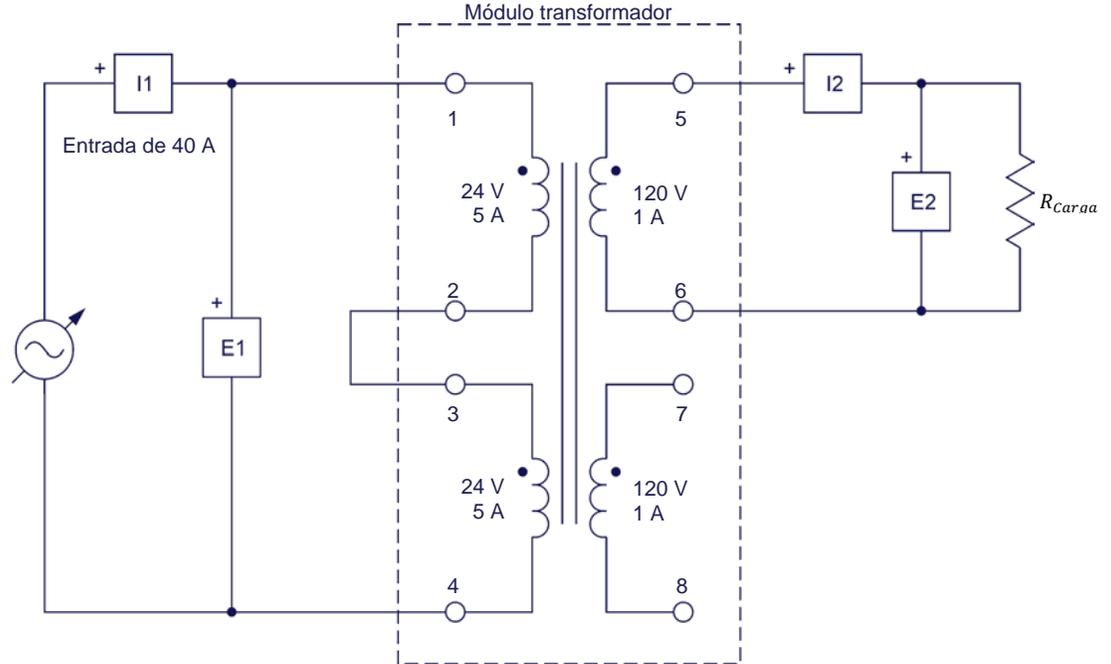


Figura 19. Transformador elevador conectado a una carga resistiva.

En LVDAC-EMS, fije el ajuste *Gama* de la entrada de corriente *I1* en alta.

26. Configure los conmutadores de la *Carga resistiva* de modo que el valor de la resistencia de la carga sea infinito.

27. En la ventana *Aparatos de medición*, haga los ajustes necesarios para medir los valores rms (ca) de la tensión $E_{pri.}$ en el primario y la tensión $E_{sec.}$ en el secundario (entradas *E1* y *E2*, respectivamente). Ajuste cuatro medidores para medir la corriente $I_{pri.}$ en el primario, la corriente $I_{sec.}$ en el secundario y las corrientes I_{5-6} e I_{7-8} de los arrollamientos (entradas *I1*, *I2*, *I3* e *I4*, respectivamente). Por último, ajuste los otros dos medidores para medir la potencia aparente $S_{pri.}$ en el primario utilizando las entradas *E1* e *I1* y la potencia aparente $S_{sec.}$ en el secundario con las entradas *E2* e *I2*.



Más adelante en esta sección, las entradas *I3* e *I4* se conectarán a los arrollamientos 5-6 y 7-8, respectivamente.

28. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, fije el parámetro *Tensión* en 48 V, luego encienda la *Fuente de alimentación ca*. Vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria E_{pri} , que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 48 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria (en el primario) del transformador de modo que muestre valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro *Corrección de la compensación cc* de modo que la corriente cc que circula en el arrollamiento primario del transformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, ajuste el medidor asignado a la corriente primaria del transformador de modo que muestre valores de corriente ca.

La tensión secundaria E_{sec} , ¿es prácticamente igual a 120 V, indicando que se trata de un transformador elevador con una relación de tensiones de 48 V: 120 V?

Sí No

29. En la **Carga resistiva**, configure los conmutadores para obtener un valor de resistencia de carga R_{carga} de 120 Ω .

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria E_{pri} , que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 48 V. Ahora, la corriente secundaria I_{sec} debe ser prácticamente igual a la nominal (1 A).

En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión E_{pri} , la corriente I_{pri} y la potencia aparente S_{pri} en el primario, así como la tensión E_{sec} , la corriente I_{sec} y la potencia aparente S_{sec} en el secundario. Anote los valores a continuación.

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

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

$$I_{pri} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_{sec} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$S_{pri} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$$

$$S_{sec} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$$

30. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la *Fuente de alimentación ca*.
31. Modifique las conexiones en el circuito para obtener el que se muestra en la figura 20. No cambie la resistencia de la carga resistiva. En este circuito, los dos arrollamientos secundarios (arrollamientos 5-6 y 7-8) están conectados en paralelo con la carga resistiva.

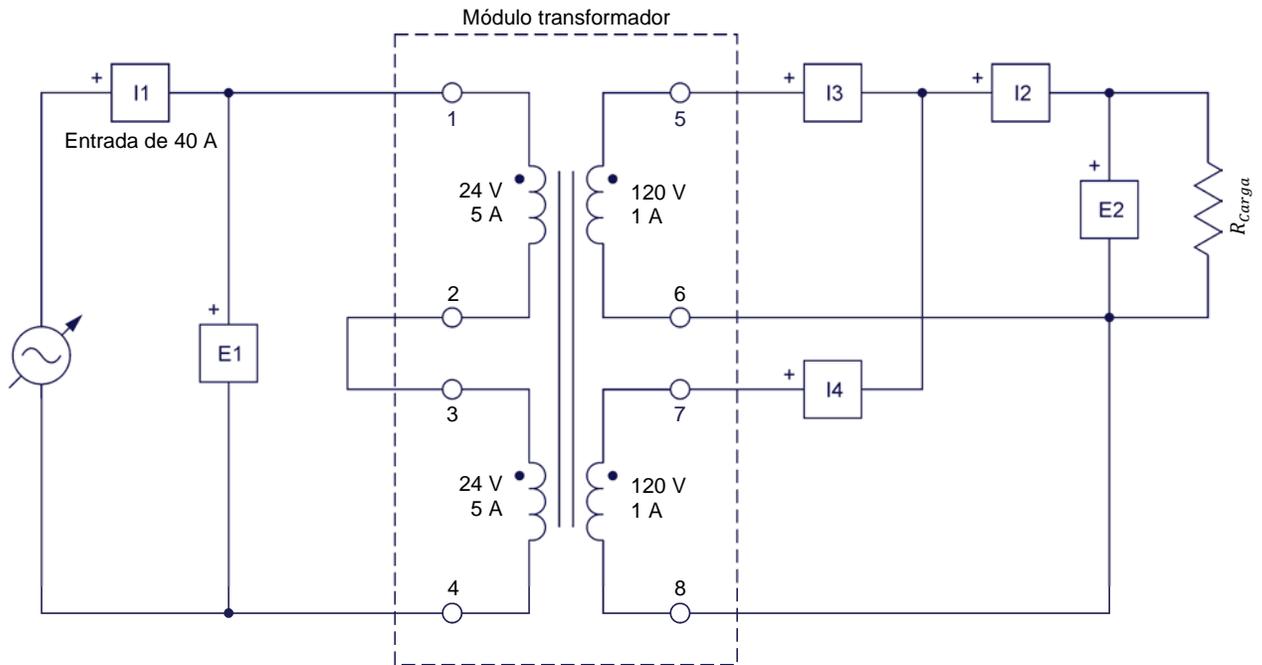


Figura 20. Transformador elevador con los arrollamientos conectados en paralelo.

32. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, encienda la **Fuente de alimentación ca**. Ajuste el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 48 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{sec.}$, la corriente $I_{sec.}$ y la potencia aparente $S_{sec.}$ en el secundario. ¿Cambiaron los valores con respecto a los medidos cuando los arrollamientos del circuito no estaban conectados en paralelo?

Sí No

Mida la corriente que circula en cada arrollamiento secundario (utilizando las entradas **I3** e **I4**). La corriente que circula en cada arrollamiento, ¿es prácticamente igual a 0,5 A, indicando así que los arrollamientos están compartiendo la corriente de carga en proporciones iguales?

Sí No

33. En la **Carga resistiva**, configure los conmutadores para obtener un valor de resistencia de carga R_{carga} de 57 Ω .

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 48 V. Ahora, la corriente que atraviesa cada

arrollamiento secundario (corrientes en los arrollamientos I_{5-6} y I_{7-8}) debe ser prácticamente igual a la nominal (1 A).

En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{Pri.}$, la corriente $I_{Pri.}$ y la potencia aparente $S_{Pri.}$ en el primario, así como la tensión $E_{Sec.}$, la corriente $I_{Sec.}$ y la potencia aparente $S_{Sec.}$ en el secundario. Anote los valores a continuación.

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

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

$$I_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$I_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$$

$$S_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$$

$$S_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ VA}$$

- 34.** En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la *Fuente de alimentación ca*.

- 35.** ¿Qué sucede con la potencia aparente $S_{Sec.}$ en el secundario del transformador cuando se conectan los arrollamientos secundarios en paralelo y se ajusta la resistencia de carga de modo que la corriente en cada arrollamiento secundario resulte prácticamente igual al valor nominal? Explique brevemente.

¿Qué sucede con la tensión primaria $E_{Pri.}$ y la corriente $I_{Pri.}$, así como con la potencia aparente $S_{Pri.}$ en el primario del transformador cuando se conectan los arrollamientos secundarios en paralelo y se ajusta la resistencia de carga de modo que la corriente en cada arrollamiento secundario resulte prácticamente igual al valor nominal? Explique brevemente.

- 36.** Cierre **LVDAC-EMS** y apague todo el equipo. Desconecte todos los conductores y guárdelos en su lugar de almacenaje.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió qué es la polaridad de los arrollamientos de un transformador de potencia y cómo representarla en un diagrama. Observó cómo determinar la polaridad de esos arrollamientos utilizando un osciloscopio o un voltímetro. También aprendió a conectar los arrollamientos en serie y en paralelo, así como los efectos de cada tipo de conexión en la tensión, corriente y potencia del transformador.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Por qué es importante conocer la polaridad de cada arrollamiento de un transformador antes de conectarlos en serie?

2. Considere un transformador de potencia compuesto de un único arrollamiento primario con una tensión nominal de 50 V conectado a una fuente de alimentación ca de 25 V y dos arrollamientos secundarios conectados en serie con tensiones nominales de 125 V y 225 V. Si los extremos de los arrollamientos que están conectados en serie tienen la misma polaridad, calcule la tensión total inducida a través de los arrollamientos del secundario cuando se enciende la fuente de alimentación ca.

3. ¿Cómo se puede determinar la polaridad de cada arrollamiento de un transformador de potencia usando un osciloscopio?

4. ¿Cómo se puede determinar la polaridad de dos arrollamientos de un transformador utilizando un voltímetro?

5. ¿Cuál es el efecto de conectar en paralelo los arrollamientos secundarios de un transformador?

Pérdidas, rendimiento y regulación del transformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO Al finalizar este ejercicio, se habrá familiarizado con el diagrama de circuito equivalente de un transformador de potencia. Sabrá cuáles son las pérdidas en el cobre y en el hierro que se producen en un transformador, así como sus causas. También habrá aprendido qué tan eficientes son los transformadores de potencia y cómo calcular su rendimiento. Estará familiarizado con el concepto de regulación de tensión en los transformadores de potencia y sabrá cómo determinar la regulación de tensión de estos últimos.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Pérdidas del transformador
- Rendimiento del transformador
- Regulación de la tensión de un transformador

PRINCIPIOS

Pérdidas del transformador

En un transformador de potencia ideal, no hay pérdidas de energía. Por tanto, la potencia transferida a una carga por un transformador ideal es igual a la potencia que él recibe de la fuente de alimentación ca. En otras palabras, la potencia en el secundario es igual a la potencia en el primario.

No obstante, tal como los demás dispositivos eléctricos, los transformadores de potencia reales no son perfectos, es decir, se pierde algo de energía en el mismo durante el proceso de conversión de tensión y corriente. En el caso de los transformadores de potencia reales, incluso se pierde potencia cuando no hay una carga conectada. El origen de las diferentes pérdidas en los transformadores reales puede explicarse utilizando su circuito equivalente. El circuito equivalente de un transformador de potencia real se muestra en la figura 21.

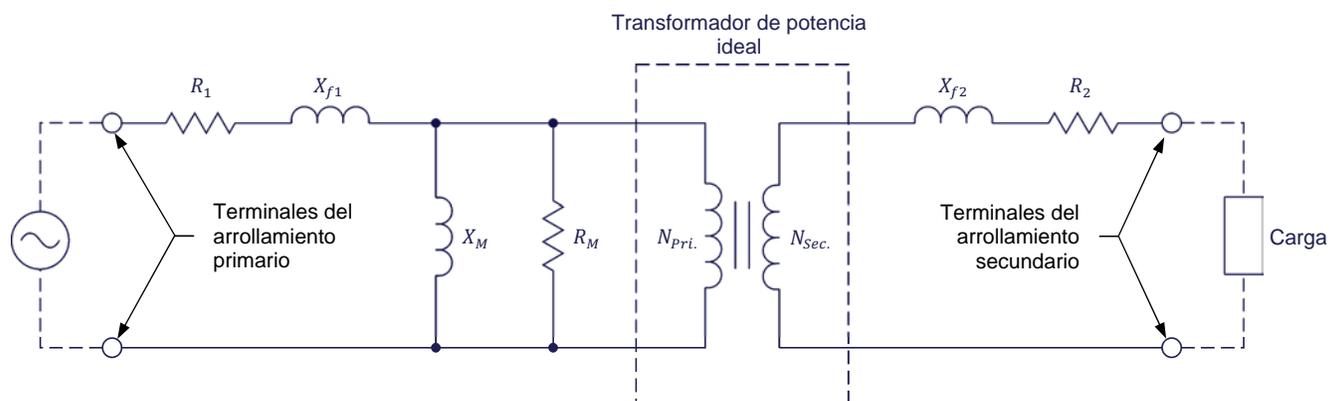


Figura 21. Circuito equivalente de un transformador de potencia real.

El circuito equivalente de un transformador de potencia real consiste en un transformador ideal con una relación de espiras $N_{Pri.}/N_{Sec.}$ más diferentes resistores e inductores conectados en serie y paralelo con los arrollamientos primario y secundario de éste. Todos estos resistores e inductores adicionales representan las diferentes imperfecciones de un transformador real con respecto a uno ideal. Los resistores R_1 y R_M , los inductores X_{f1} y X_M y el arrollamiento $N_{Pri.}$ del transformador ideal representan el circuito equivalente del primario de uno real. Igualmente, el resistor R_2 , el inductor X_{f2} y el arrollamiento $N_{Sec.}$ del transformador ideal representan el circuito equivalente del secundario de uno real.

El resistor R_M representa las pérdidas de energía en el núcleo de hierro de un transformador de potencia real. Dichas pérdidas, cuyos orígenes son diferentes, se conocen como pérdidas por histéresis y pérdidas por corrientes de Foucault. Debido a que ambas pérdidas se producen en el núcleo de hierro de dicho transformador, se las llama **pérdidas en el hierro**.

Los resistores R_1 y R_2 representan respectivamente la resistencia del alambre de cobre que compone el primario y el secundario de un transformador real.

Los inductores X_M y X_{f1} representan la reactancia inductiva del primario de un transformador de potencia real. Igualmente, el inductor X_{f2} representa la reactancia inductiva del secundario. Dado que dichos inductores se consideran ideales, no disipan potencia y, por tanto, no producen pérdidas en un transformador real.

Al observar el circuito equivalente de la figura 21 se observa que fluye corriente por el primario tan pronto se aplica una tensión V_a a los terminales del primario del transformador de potencia real, incluso sin una carga conectada al secundario. Esta corriente produce el campo magnético requerido para la operación del transformador y en general se llama **corriente de magnetización** o **corriente de excitación**. Ésta se representa con el símbolo I_0 . La corriente de magnetización fluye por el resistor R_1 mientras que una fracción de ésta circula por el resistor R_M . Por tanto, se disipa una pequeña potencia en forma de calor en dichos resistores. En otras palabras, se pierde potencia como calor en un transformador de potencia real incluso sin conectar una carga al secundario. La potencia disipada en el resistor R_1 se incluye en las **pérdidas en el cobre** dado que este resistor representa la resistencia del alambre de cobre que conforma el primario. Por otro lado, la potencia disipada en el resistor R_M se denomina **pérdidas en el hierro** dado que éste representa toda la energía perdida en el núcleo de hierro del transformador.

Cuando se conecta una carga al arrollamiento secundario de un transformador de potencia, fluye corriente en éste. Esta corriente también circula a través del resistor R_2 del circuito equivalente de un transformador de potencia real. En consecuencia, en este resistor se disipa una pequeña potencia en forma de calor. Además, la corriente que fluye a través del secundario produce un aumento en la corriente que circula a través del primario. Esto aumenta la corriente que fluye en el resistor R_1 del circuito equivalente de un transformador de potencia real y, por tanto, la potencia que disipa el resistor. Las pérdidas de potencia en los resistores R_1 y R_2 se denominan generalmente **pérdidas en el cobre** dado que dichos resistores representan la resistencia del alambre de cobre que compone los arrollamientos del transformador. Cuanto mayor es la carga, mayor serán las corrientes en el primario y secundario y, por tanto, mayores serán las pérdidas en el cobre del transformador.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

Un transformador de potencia real pierde cierta cantidad de ésta (una mezcla de pérdidas en el hierro y en el cobre), incluso sin tener una carga conectada al secundario. Las pérdidas de potencia se incrementan cuando se conecta una carga al secundario debido al aumento de las pérdidas en el cobre. La figura 22 muestra la curva típica de las pérdidas de potencia en un transformador de baja potencia en función de la corriente de carga (en el secundario).

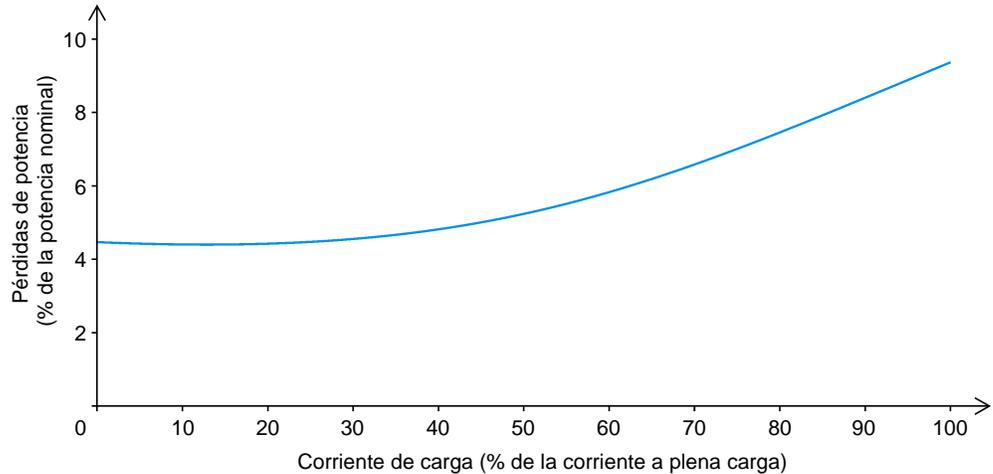


Figura 22. Curva típica de las pérdidas de potencia de un transformador de baja potencia en función de la corriente de carga.

Rendimiento del transformador

Como se mencionó anteriormente, los transformadores de potencia reales tienen una cierta pérdida, que aumenta cuando la corriente de carga crece. El **rendimiento** de un transformador de potencia es una medida de la capacidad del transformador para transferir potencia de la fuente de alimentación ca a la carga con pérdidas de mínimas. El rendimiento del transformador entonces representa la cantidad (generalmente expresada como un porcentaje) de potencia de la fuente de alimentación ca que en realidad se entrega a la carga.

El rendimiento de los transformadores generalmente se determina midiendo la potencia P_F que la fuente de alimentación ca entrega al transformador y la potencia P_{Carga} suministrada por éste a la carga, cuando la corriente de carga es igual a la nominal del secundario (corriente a plena carga). El rendimiento η del transformador de potencia puede luego calcularse usando la ecuación (5). Observe que la potencia de la carga P_{Carga} y la de la fuente P_F se denominan a veces potencia de salida P_{Salida} y de entrada $P_{Entrada}$.

$$\eta = \frac{P_{Carga}}{P_F} \times 100\% \quad (5)$$

donde η es el rendimiento del transformador, expresado en porcentaje (%).

P_{Carga} es la cantidad de potencia activa entregada a la carga por el transformador, expresada en vatios (W).

P_F es la cantidad de potencia activa suministrada al transformador por la fuente de alimentación ca, expresada en vatios (W).

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

La diferencia en porcentaje entre el rendimiento del transformador y 100% representa las distintas pérdidas de potencia que se producen en el transformador. Por ejemplo, si el rendimiento η de un transformador es 96%, las pérdidas corresponden al 4% de la potencia que la fuente de alimentación ca le entrega a éste.

Dado que las pérdidas de potencia de un transformador varían con la corriente de carga, el rendimiento también lo hace con dicha corriente. El rendimiento del transformador se determina generalmente mediante mediciones de potencia cuando fluye la corriente nominal (corriente a plena carga) por el secundario, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, es común determinar el rendimiento de un transformador para diferentes valores porcentuales de la corriente nominal (corriente a plena carga) para obtener información acerca de la variación del rendimiento del transformador con respecto a la carga. La figura 23 muestra la curva típica del rendimiento de un transformador de baja potencia en función de la corriente de carga.

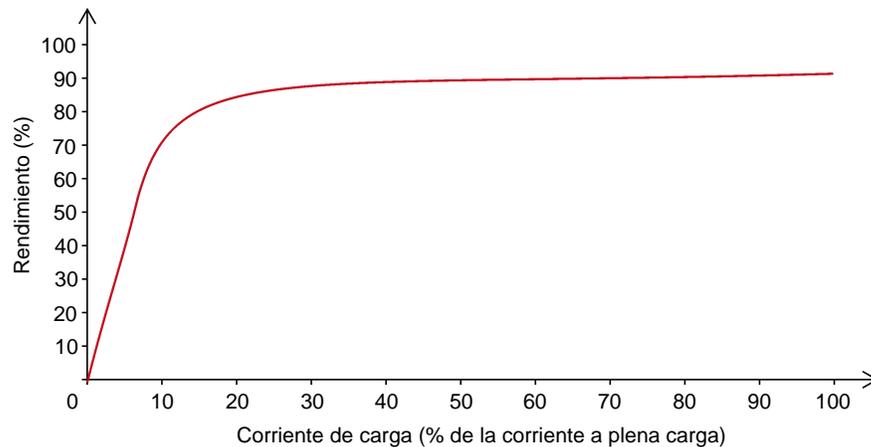


Figura 23. Curva típica del rendimiento de un transformador de baja potencia en función de la corriente de carga.

Por lo general, el rendimiento de los transformadores de potencia que operan a plena carga es de al menos 90% para unidades pequeñas, por encima de 98% para unidades medianas (por ejemplo, los transformadores usados para la distribución de energía), y cercano al 100% para unidades de gran tamaño (transformadores con potencia nominal expresada en MVA).

Regulación de la tensión de un transformador

En un transformador real (como el del circuito equivalente mostrado en la figura 21), cuando la carga aumenta, también lo hacen la corriente de carga (en el secundario) y la caída de tensión en los resistores R_1 y R_2 . En consecuencia, cuanto más aumenta la carga, más disminuye la tensión en la misma (del secundario). La figura 24 muestra la gráfica de la tensión en una carga resistiva en función del aumento de la corriente de dicha carga. En general, a esta gráfica se la llama curva de **regulación de tensión** del transformador.

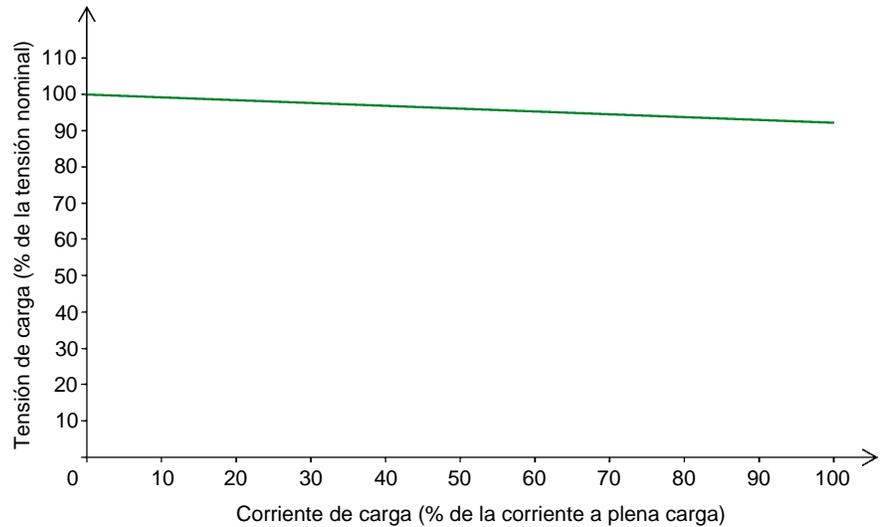


Figura 24. Curva típica de regulación de tensión de un transformador de baja potencia.

Hay dos maneras de expresar la regulación de tensión de un transformador de potencia: descendente y ascendente. La descendente indica la medida de la variación de la tensión de carga (secundaria) del transformador a medida que la corriente de carga aumenta. Por otro lado, la regulación ascendente indica la medida de la variación de la tensión de carga (secundaria) del transformador cuando la corriente de carga decrece. En el caso de los transformadores de potencia, se utiliza en general la regulación descendente porque representa la capacidad de un transformador para mantener constante la tensión de carga (secundaria) a medida que la corriente de la misma aumenta. Cuanto mejor es la regulación de tensión de un transformador, menor es el decrecimiento de la tensión de carga (secundaria) al aumentar la corriente de la misma.

La regulación descendente de la tensión de un transformador de potencia se puede calcular utilizando la ecuación (6). Ésta muestra que cuanto más bajo es el valor de la regulación de tensión descendente de un transformador, mejor es su regulación, es decir, menor es la disminución de la tensión de carga (del secundario) a medida que la corriente de la misma aumenta.

$$\text{Regulación de tensión descendente (\%)} = \frac{E_{SC} - E_{PC}}{E_{SC}} \times 100\% \quad (6)$$

donde E_{SC} es la tensión en el arrollamiento secundario del transformador sin carga conectada (en vacío), expresada en voltios (V).

E_{PC} es la tensión en el arrollamiento secundario del transformador a plena carga, expresada en voltios (V).

Dado que la carga de los transformadores de potencia usados para la transmisión y distribución de energía eléctrica varía considerablemente dependiendo de la hora del día, es necesario que dichos transformadores tengan una buena regulación de tensión descendente (es decir, un valor de regulación tan bajo como sea posible) con el fin de minimizar las fluctuaciones presentes durante el día. Esto es importante debido a que muchos dispositivos eléctricos (por ejemplo, motores, bombillas incandescentes, etc.) son bastante sensibles a las variaciones de tensión.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento está dividido en las siguientes secciones:

- Montaje y conexiones
- Operación del transformador sin carga
- Pérdidas del transformador, rendimiento y regulación de tensión

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones altas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana con la alimentación encendida, a menos que se especifique lo contrario.

Montaje y conexiones

En esta sección, usted armará un circuito que incluye un transformador de potencia conectado a una carga resistiva. Luego, ajustará los instrumentos de medición requeridos para estudiar las pérdidas del transformador, el rendimiento y la regulación de tensión.

1. Consulte la tabla de utilización del equipo del Apéndice A con el fin de obtener la lista del material necesario para realizar este ejercicio.

Anote más abajo el número de serie del módulo [Transformador](#), modelo 8353, que está utilizando.

Número de serie: _____

Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).

2. Asegúrese de que el interruptor de alimentación principal del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) esté fijado en la posición **O** (apagado), luego enchufe la [Entrada de alimentación](#) en un tomacorriente ca mural.

Conecte la [entrada Alimentación](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) en la fuente de 24 V ca. Encienda esta fuente.

3. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) a un puerto USB de la computadora.

4. Encienda el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), luego fije el interruptor [Modo de operación](#) en [Fuente de alimentación](#). Este ajuste permite que el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) opere como fuente de alimentación.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden



En general, la mayoría de los transformadores de potencia están diseñados para operar en las frecuencias de 50 Hz y 60 Hz. Debido a que las exigencias de diseño de un transformador son más rigurosas para 50 Hz, la mayoría de los diseños se basan en una operación a esa frecuencia. Por esta razón, la fuente de alimentación ca se ajusta para 50 Hz.

9. En LVDAC-EMS, abra la ventana **Aparatos de medición**. Haga los ajustes necesarios para medir los valores eficaces (ca) de la tensión $E_{Pri.}$ y de la corriente $I_{Pri.}$ en el primario (entradas **E1** e **I1**, respectivamente), así como la tensión $E_{Sec.}$ y la corriente $I_{Sec.}$ en el secundario (entradas **E2** e **I2**, respectivamente). Ajuste otros dos medidores para medir la potencia activa del primario $P_{Pri.}$ en las entradas **E1** e **I1**, así como la potencia activa del secundario $P_{Sec.}$ en las entradas **E2** e **I2**.

Operación del transformador sin carga

En esta sección, usted encenderá la fuente de alimentación ca, medirá la corriente y la potencia activa en el primario del transformador durante la operación sin carga y explicará por qué no son iguales a cero.

10. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, encienda la **Fuente de alimentación ca**. Ajuste el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 48 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que muestre valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro **Corrección de la compensación cc** de modo que la corriente cc que circula en el arrollamiento primario del transformador esté lo más cerca posible de 0 A. Una vez que esto esté hecho, ajuste el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que muestre valores de corriente ca.

11. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la corriente en el primario (fuente) $I_{Pri.}$ del transformador de potencia. Anote el valor más abajo.

Corriente en el primario $I_{Pri.} =$ _____ A

Explique por qué la corriente en el primario $I_{Pri.}$ no es cero durante la operación sin carga.

12. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la potencia activa $P_{Pri.}$ suministrada al arrollamiento primario del transformador de potencia. Anote el valor más abajo.

Potencia activa en el primario $P_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}}$ W

Explique por qué la potencia activa $P_{Pri.}$ en el primario no es cero a pesar de que no se suministra ninguna potencia a la carga.

Pérdidas del transformador, rendimiento y regulación de tensión

En esta sección, usted disminuirá la resistencia de la carga conectada al secundario de modo que la corriente secundaria aumente a 2,0 A (corriente nominal a plena carga) en pasos de 0,2 A, aproximadamente. Para cada paso, registrará en la Tabla de datos los valores de tensión, corriente y potencia activa en el primario y en el secundario del transformador. Luego exportará los datos a una hoja electrónica de cálculo y calculará las pérdidas de potencia y el rendimiento del transformador utilizando los valores registrados. Trazará un gráfico de las pérdidas del transformador en función de la corriente secundaria y analizará los resultados. También trazará un gráfico del rendimiento del transformador en función de la corriente secundaria y analizará los resultados. Por último, trazará la curva de regulación de tensión del transformador (es decir, un gráfico de la tensión secundaria en función de la corriente secundaria, y analizará los resultados.

13. En LVDAC-EMS, abra la ventana **Tabla de datos**.

Configure la **Tabla de datos** para registrar la tensión $E_{Pri.}$, la corriente $I_{Pri.}$ y la potencia activa $P_{Pri.}$ en el primario, así como la tensión $E_{Sec.}$, la corriente $I_{Sec.}$ y la potencia activa $P_{Sec.}$ en el secundario que aparecen en la ventana **Aparatos de medición**.

14. En la ventana **Tabla de datos**, haga clic en el botón **Guardar datos** para registrar los valores actuales (es decir, los valores sin carga) de los parámetros del transformador de potencia.

15. En la **Carga resistiva**, disminuya la resistencia de carga R_{Carga} de modo que la corriente secundaria (carga) $I_{Sec.}$ aumente a 2,0 A (corriente secundaria nominal o a plena carga) por pasos de 0,2 A, aproximadamente. Para cada paso, ajuste el parámetro **Tensión** en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 48 V. Luego anote los parámetros del transformador en la **Tabla de datos**.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

16. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la *Fuente de alimentación ca*.

17. En la ventana **Tabla de datos**, guarde los datos registrados y luego expórtelos a una hoja electrónica de cálculo.

En la hoja electrónica de cálculo, añada un nuevo parámetro a los resultados: las pérdidas del transformador $P_{pérdidas}$. Para calcular estas pérdidas, reste la potencia activa del secundario P_{Sec} . (es decir, la potencia activa que el transformador entrega a la carga) de la potencia activa del primario P_{Pri} . (es decir, la potencia activa que la fuente de alimentación ca suministra al transformador).

También añada otro parámetro a los resultados: el rendimiento η del transformador. Para calcular el rendimiento, divida la potencia activa del secundario P_{Sec} . entre la potencia activa del primario P_{Pri} . y luego multiplique el resultado por 100 para expresar el rendimiento η en porcentaje.

18. Trace un gráfico de las pérdidas $P_{pérdidas}$ del transformador en función de la corriente secundaria (carga) I_{Sec} .

Observe el gráfico. Describa la relación entre las pérdidas de potencia $P_{pérdidas}$ del transformador y su corriente secundaria (carga) I_{Sec} . Explique brevemente porqué.

19. Trace un gráfico del rendimiento η del transformador en función de su corriente secundaria (carga) I_{Sec} .

Observe el gráfico. ¿Qué sucede con el rendimiento η del transformador para valores bajos de la corriente secundaria (carga) I_{Sec} ? Explique brevemente porqué.

Los transformadores de potencia, ¿son dispositivos de rendimiento elevado? Explique brevemente.

- 20.** Trace la curva de regulación de tensión del transformador, es decir, trace un gráfico de la tensión secundaria (carga) $E_{Sec.}$ del transformador en función de su corriente secundaria (carga) $I_{Sec.}$.

Observe el gráfico. Describa la relación entre la tensión secundaria (carga) $E_{Sec.}$ del transformador y su corriente secundaria (carga) $I_{Sec.}$. Explique brevemente porqué.

- 21.** Calcule la regulación de tensión descendente del transformador de potencia utilizando los valores que se han registrado en esta sección.

Regulación de tensión descendente = _____ %

- 22.** Cierre **LVDAC-EMS** y apague todo el equipo. Desconecte todos los conductores y guárdelos en su lugar de almacenaje.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, se familiarizó con el circuito equivalente de un transformador de potencia. Aprendió qué son las pérdidas en el cobre y en el hierro que se producen, así como sus causas. Aprendió qué tan eficientes son los transformadores de potencia y cómo calcular su rendimiento. Se familiarizó con el concepto de regulación de tensión y aprendió cómo determinarlo.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Qué es la corriente de magnetización de un transformador de potencia? Explique brevemente.

2. ¿Cuál es la diferencia entre las pérdidas en el cobre y las pérdidas en el hierro de un transformador de potencia?

3. ¿Cuál es la relación entre las pérdidas de potencia y la corriente de carga de un transformador? Explique brevemente.

4. Los transformadores de potencia, ¿son dispositivos ideales?, es decir, ¿su rendimiento es igual a 100%? Explique brevemente.

5. Explique qué es la regulación de tensión descendente de un transformador de potencia.

Características nominales del transformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya completado este ejercicio, se habrá familiarizado con la tensión, corriente y potencia nominales de un transformador de potencia, y sabrá cómo se pueden determinar. También estará familiarizado con los efectos de la saturación en la corriente de magnetización y con las pérdidas de potencia sin carga.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Características nominales del transformador
- Determinación de la corriente nominal de un arrollamiento del transformador
- Saturación del transformador
- Determinación de la tensión nominal de un arrollamiento de transformador

PRINCIPIOS

Características nominales del transformador

Cada arrollamiento de un transformador tiene una tensión y una corriente nominal. El producto de esa tensión y corriente nominal, a menudo denominada producto voltio-amperio (VA), determina la potencia nominal del arrollamiento.

Dado que los transformadores son dispositivos de alto rendimiento, la potencia nominal del arrollamiento secundario generalmente se considera igual a la del primario. La potencia nominal del transformador es entonces igual a la potencia nominal del primario y del secundario. Esto se muestra en la figura 26.

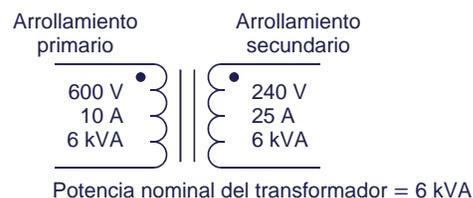


Figura 26. Potencia nominal de un transformador de potencia con un solo arrollamiento en el primario y en el secundario.

Cuando un transformador de potencia tiene múltiples arrollamientos primarios y secundarios, su potencia nominal es igual a la suma de las potencias nominales de los primarios (esta suma es igual a la suma de las potencias nominales de los secundarios). La figura 27 muestra un ejemplo de un transformador con dos arrollamientos en el primario y en el secundario.

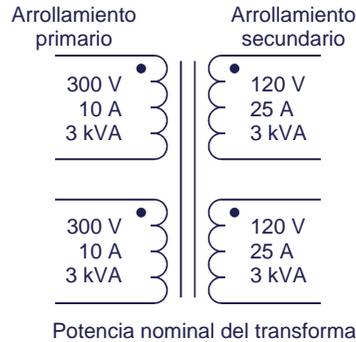


Figura 27. Potencia nominal de un transformador de potencia con más de un arrollamiento en el primario y en el secundario.

Determinación de la corriente nominal de un arrollamiento del transformador

La corriente nominal de un arrollamiento depende principalmente del tamaño (calibre) del alambre de cobre utilizado para bobinarlo. La relación entre la corriente nominal de un arrollamiento y el calibre del alambre utilizado para bobinarlo es directa: a mayor calibre, mayor corriente nominal. Esto se debe a que a mayor calibre del alambre, menor será su resistencia y, por tanto, menores serán las pérdidas en el cobre, es decir, menor será la potencia disipada como calor debido a la corriente que fluye en el arrollamiento.

La corriente nominal de un arrollamiento se establece en un valor tal que las pérdidas en el cobre produzcan un calentamiento aceptable del núcleo del transformador y de los arrollamientos y, en consecuencia, que el transformador opere a una temperatura que asegure la máxima vida útil del aislamiento del alambre (y por tanto, del transformador).

El aislamiento del alambre utilizado en los arrollamientos de un transformador consiste en una delgada capa de barniz. El barniz se seca cuando está sometido a sobrecalentamientos durante largos periodos de tiempo, lo cual puede producir que aparezcan grietas en la capa de barniz. A la larga, esto puede provocar un cortocircuito en el arrollamiento e impedir la operación normal del transformador. Debido a que el deterioro del barniz de aislamiento del alambre es más rápido a temperaturas de operación altas, la corriente nominal de todo arrollamiento en un transformador de potencia se debe calcular cuidadosamente para evitar temperaturas de operación excesivas.

Saturación del transformador

Las propiedades magnéticas del material utilizado para fabricar el núcleo de un transformador de potencia se describen mejor con la curva de saturación del material. La curva de saturación de todo material magnético es una representación de la densidad de flujo B en función de la intensidad de campo magnético H . La figura 28 muestra la curva de saturación típica de un transformador de potencia con núcleo de hierro (la mayoría de estos transformadores tienen un núcleo de ese material).

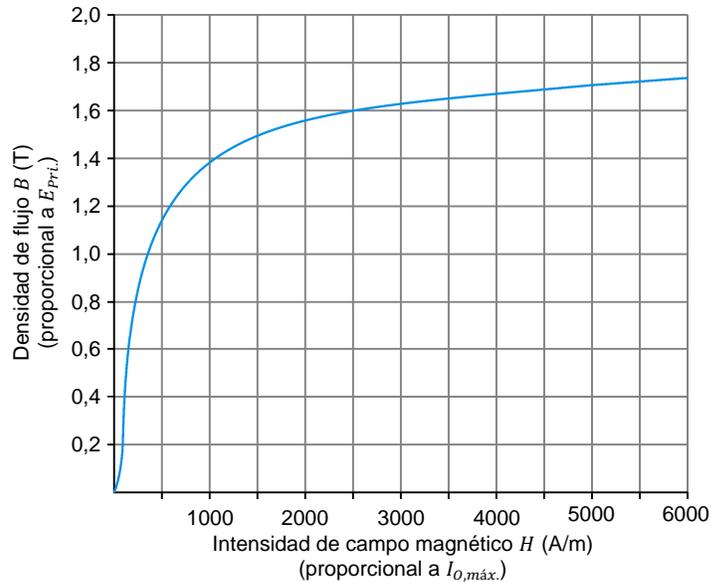


Figura 28. Curva de saturación típica de un transformador de potencia con núcleo de hierro.

Como puede observarse en la figura, la densidad de flujo B en el núcleo de hierro aumenta rápidamente con la intensidad H del campo magnético en el transformador. Sin embargo, cuando la densidad de flujo B llega aproximadamente a 1,2 T (la letra T es el símbolo para teslas, la unidad de medición de la densidad de flujo), dicha densidad comienza a aumentar cada vez menos aunque la intensidad de campo magnético H continúe aumentando. Este fenómeno se llama saturación y de ahí el nombre de la curva anterior.

A una frecuencia determinada de la fuente de alimentación ca , el valor máximo de la densidad de flujo $B_{Máx.}$ en el núcleo de hierro del transformador de potencia es directamente proporcional al valor rms de la tensión $E_{Pri.}$ aplicada al arrollamiento (usualmente el primario). Además, el valor máximo de la corriente de magnetización $I_{O,máx.}$ es directamente proporcional a la intensidad de campo magnético H . Cuando se aplica una tensión al arrollamiento del transformador, fluye una corriente de magnetización I_O por el mismo y aparece un campo magnético en el núcleo del transformador. Los valores de la densidad de flujo resultante B y la intensidad de campo magnético H y, por tanto el valor pico de la corriente del arrollamiento (valor pico de la corriente de magnetización $I_{O,máx.}$), dependen del valor rms de la tensión aplicada al mismo.

Mientras que la tensión aplicada al arrollamiento del transformador resulte en una densidad de flujo máxima $B_{M\acute{a}x.}$ cercana a 1,2 T o menor (ver la curva de saturación anterior), prácticamente no hay saturación y la intensidad del campo magnético H permanece relativamente baja. Por tanto, el valor pico de la corriente de magnetización $I_{O,max.}$ también es bajo. Sin embargo, cuando la tensión aplicada al arrollamiento del transformador aumenta de modo que la densidad de flujo máxima excede significativamente 1,2 T (esto corresponde a valores de $B_{M\acute{a}x.}$ mayores a cerca de 1,5 T), el transformador comienza a saturarse de manera importante. En consecuencia, tanto la intensidad de campo magnético H como el valor pico de la corriente de magnetización $I_{O,m\acute{a}x.}$ aumentan considerablemente.

La figura 29a muestra las formas de onda de la tensión del primario $E_{pri.}$ y de la corriente de magnetización I_O de un transformador de potencia cuando su núcleo no está saturado. La figura 29b muestra las mismas formas de onda cuando el núcleo está saturado. Ambas figuras muestran el punto máximo de operación en la curva de saturación del transformador.

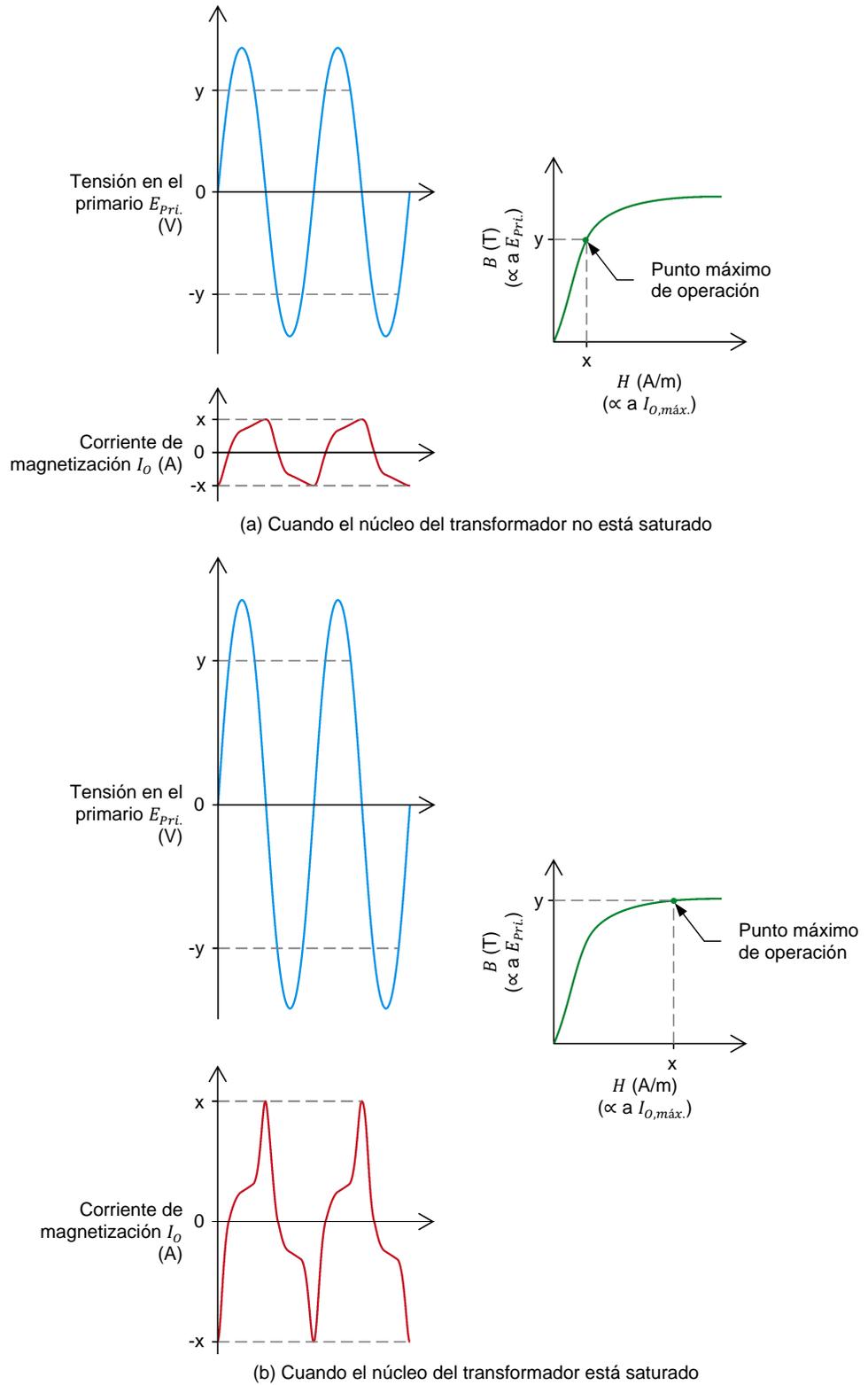


Figura 29. Vista de las formas de onda de la tensión del primario E_{pri} y corriente de magnetización I_o de un transformador de potencia, así como del punto máximo de operación de éste sobre la curva de saturación.

Como se puede observar en la figura 29, la forma de onda de la corriente de magnetización I_0 está distorsionada, sin importar si el transformador está saturado o no. Por tanto, la corriente de magnetización I_0 siempre contiene algunos **armónicos**. Sin embargo, como indica la figura 29b, la saturación hace que aparezcan grandes picos en la forma de onda de la corriente de magnetización. En otras palabras, la saturación aumenta de manera importante el contenido armónico en la corriente de magnetización de un transformador de potencia. La aparición de grandes picos en la forma de onda de la corriente de magnetización cuando se produce la saturación también aumenta el valor rms de la corriente de magnetización y, por tanto, aumenta las pérdidas sin carga del transformador.

Debido a que la corriente de magnetización I_0 proviene de la fuente de alimentación ca, se producen armónicos en la red de potencia ca cuando el transformador se satura. Los armónicos son fenómenos no deseados en las redes de potencia ca porque pueden afectar la operación de otros equipos conectados a la red. Además, los armónicos disminuyen el factor de potencia de la red y, por tanto, su rendimiento. Para mayor información sobre los armónicos, consulte el Apéndice D al final de este manual.

Resumiendo, la saturación del núcleo del transformador resulta en un aumento del valor rms de la corriente de magnetización I_0 , lo cual lleva a dos efectos no deseados:

1. Un aumento en las pérdidas sin carga del transformador que reduce el rendimiento de este último.
2. Un aumento del contenido de armónicos en la corriente del primario (es decir, la suma de la corriente de magnetización y la corriente debida a la carga conectada al secundario del transformador).

Determinación de la tensión nominal de un arrollamiento de transformador

Debido a los efectos no deseados en la operación del transformador, la saturación del núcleo de hierro es el principal factor que determina la tensión nominal de los arrollamientos del transformador. El valor de saturación aceptado en un transformador de potencia es el resultado de un compromiso de diseño que depende de los requerimientos de la aplicación. Por ejemplo, cuando un alto rendimiento es crucial, la tensión nominal se establece generalmente en un valor bastante conservador de modo que la densidad de flujo máxima $B_{M\acute{a}x}$ sea 1,2 T o menos. Esto provoca muy poca o ninguna saturación (ver la curva de saturación en la figura 28). De esta manera, se minimiza el valor rms de la corriente de magnetización I_0 y las pérdidas de potencia sin carga resultantes, maximizando así el rendimiento del transformador. Además, se minimiza el contenido armónico en la corriente del primario. Sin embargo, esa elección también limita la potencia nominal del transformador debido a la utilización de una tensión de arrollamiento conservadora. Por tanto, para una potencia nominal dada, esto resulta en un transformador de mayor tamaño y peso.

Por otro lado, si se deben minimizar el tamaño y peso del transformador, entonces es deseable mantener una potencia nominal máxima. Para esto, se fija la tensión nominal en el valor máximo que produzca una saturación aceptable. Esto en general corresponde a una tensión que resulte en una densidad de flujo máxima $B_{M\acute{a}x}$ cercana a 1,6 T (ver la curva de saturación en la figura 28). Sin

embargo, ello aumenta de manera importante el valor rms de la corriente de magnetización I_0 . Por tanto, las pérdidas de potencia sin carga aumentan haciendo que el rendimiento del transformador disminuya (especialmente a bajas corrientes de carga). Además, el contenido armónico en la corriente del primario aumenta debido a que el núcleo del transformador está extremadamente saturado.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento está dividido en las siguientes secciones:

- Montaje y conexiones
- Saturación del transformador
- Curva de saturación de un transformador de potencia
- Tensión nominal de los arrollamientos y potencia del transformador
- Efecto de la tensión nominal del transformador en las pérdidas y el rendimiento
- Temperatura de operación del transformador

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones altas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana con la alimentación encendida, a menos que se especifique lo contrario.

Montaje y conexiones

En esta sección, usted observará las corrientes nominales de los arrollamientos del transformador que aparecen en el panel delantero del módulo Transformador, modelo 8353, y anotará su valor. Observará el transformador de potencia del módulo Transformador e identificará qué terminales corresponden a los arrollamientos primarios del transformador y cuáles a su secundario. Armará un circuito que incluye un transformador de potencia elevador sin carga. Por último, ajustará los instrumentos de medición requeridos para estudiar la tensión, la corriente y las potencias nominales del transformador, así como su curva de saturación.

1. Consulte la tabla de utilización del equipo del Apéndice A con el fin de obtener la lista del material necesario para realizar este ejercicio.

Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).



Asegúrese de utilizar el mismo módulo *Transformador*, modelo 8353, del ejercicio 3 de este manual. Para esto, confirme que el número de serie del módulo es el mismo que el anotado en el primer paso del ejercicio 3.

2. Asegúrese de que el interruptor de alimentación principal del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** esté fijado en la posición **O** (apagado), luego enchufe la **Entrada de alimentación** en un tomacorriente ca mural.

Conecte la entrada **Alimentación** de la **Interfaz de adquisición de datos y control** en la fuente de 24 V ca. Encienda esta fuente.

3. Conecte el puerto USB de la **Interfaz de adquisición de datos y control** a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** a un puerto USB de la computadora.

4. Encienda el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, luego fije el interruptor **Modo de operación** en **Fuente de alimentación**. Este ajuste permite que el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** opere como fuente de alimentación.

5. Encienda la computadora, luego ejecute el software **LVDAC-EMS**.

En la ventana **Selector de módulos**, asegúrese de que la **Interfaz de adquisición de datos y control** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** estén detectados. Asegúrese de que la función **Instrumentación computarizada** para la **Interfaz de adquisición de datos y control** esté seleccionada. También, seleccione la tensión y la frecuencia que corresponden a las de la red ca local, luego haga clic en el botón **ACEPTAR** para cerrar la ventana **Selector de módulos**.

6. Observe las corrientes nominales que aparecen en el panel delantero del módulo **Transformador**. Anote debajo las corrientes nominales de cada uno de los arrollamientos que componen el primario y secundario del transformador.

Corriente nominal de cada uno de los dos arrollamientos del primario = _____ A

Corriente nominal de cada uno de los dos arrollamientos del secundario = _____ A

7. Observe el transformador de potencia del módulo **Transformador**. Determine qué terminales se utilizan para los arrollamientos primarios y cuáles para los secundarios. Explique su razonamiento valiéndose de las corrientes nominales del transformador que anotó en el paso anterior.



Los dos terminales del transformador de potencia con conductores más finos se utilizan para el termistor. No tome en cuenta estos terminales para responder a esta pregunta.

8. Conecte el equipo como se muestra en la figura 30. En este circuito, los dos arrollamientos primarios de 24 V del módulo **Transformador** están conectados en serie para formar un arrollamiento primario de 48 V y 5 A nominales. Asimismo, los dos arrollamientos secundarios de 120 V están conectados en paralelo para formar un arrollamiento secundario de 120 V y 2 A nominales.

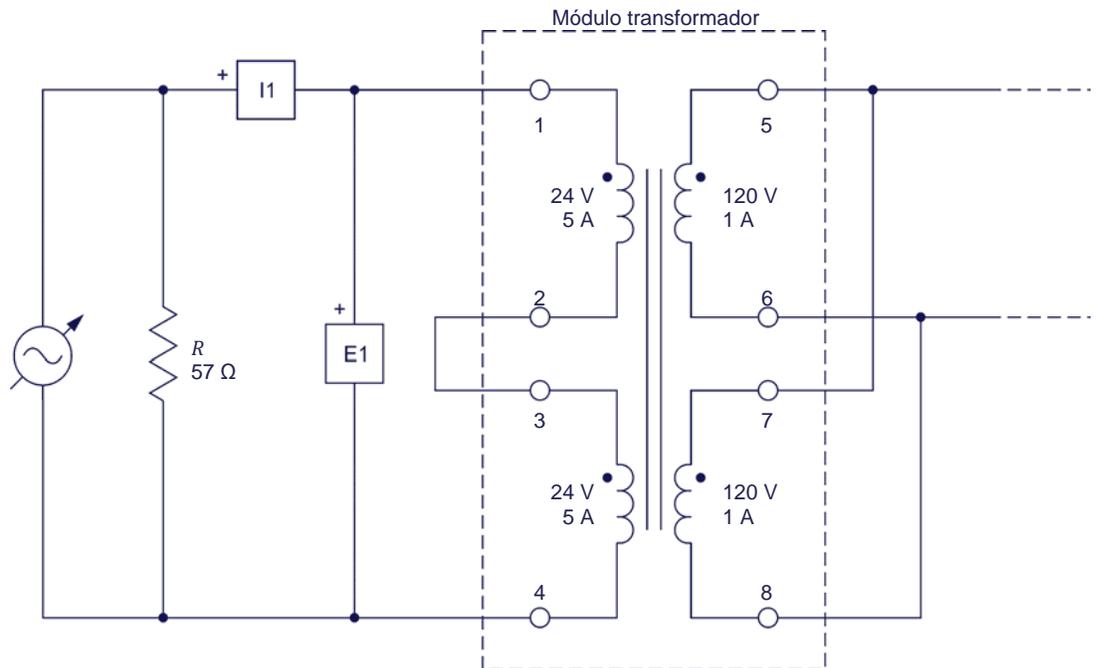


Figura 30. Transformador elevador operando sin carga.



La carga resistiva del circuito de la figura 30 se utiliza para mejorar el aspecto de las formas de onda de tensión. Debido a que la carga resistiva está conectada en paralelo con la fuente de alimentación ca, esto no tiene ningún efecto en las tensiones medidas.

9. En LVDAC-EMS, abra la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, luego haga los ajustes siguientes:
 - Fije el parámetro *Función* en *Fuente de alimentación ca*.
 - Fije el parámetro *Tensión* en 28 V.
 - Fije el parámetro *Frecuencia* en 50 Hz.



En general, la mayoría de los transformadores de potencia están diseñados para operar en las frecuencias de 50 Hz y 60 Hz. Debido a que las exigencias de diseño de un transformador son más rigurosas para 50 Hz, la mayoría de los diseños se basan en una operación a esa frecuencia. Por esta razón, la fuente de alimentación ca se ajusta para 50 Hz.

10. En LVDAC-EMS, abra la ventana **Aparatos de medición**. Haga los ajustes necesarios para medir los valores eficaces (ca) de la tensión E_{pri} y de la corriente I_{pri} (entradas *E1* e *I1*, respectivamente) en el primario del transformador. Ajuste otro medidor para medir la potencia activa del primario P_{pri} en las entradas *E1* e *I1*.

Saturación del transformador

En esta sección, usted medirá la tensión, la corriente y la potencia activa en el primario cuando el transformador no está saturado y analizará los resultados. Utilizará el Osciloscopio para observar la forma de onda de la corriente de magnetización del transformador. Medirá la distorsión armónica total (THD) de la corriente de magnetización utilizando el Analizador de armónicos. Luego, aumentará la tensión primaria hasta 56 V y observará qué sucede con la forma de onda de la corriente de magnetización que aparece en el Osciloscopio. Medirá la tensión, la corriente y la potencia activa en el primario cuando el transformador está saturado y comparará los resultados con los obtenidos cuando no lo está. Por último, usted medirá la THD de la corriente de magnetización utilizando el Analizador de armónicos y comparará el resultado con el valor de la THD medido cuando el transformador no estaba saturado.

11. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, encienda la *Fuente de alimentación ca*. Ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria E_{pri} del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 28 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro *Corrección de la compensación cc* de modo que la corriente cc que circula en el primario del transformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, ajuste el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente ca.

12. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{Pri.}$, la corriente $I_{Pri.}$ y la potencia activa $P_{Pri.}$ en el primario del transformador. Anote los valores a continuación.

Tensión en el primario $E_{Pri.} =$ _____ V

Corriente en el primario $I_{Pri.} =$ _____ A

Potencia activa en el primario $P_{Pri.} =$ _____ W

13. ¿Qué conclusión se puede sacar con respecto a la tensión primaria $E_{Pri.}$ anotada en el paso anterior en relación con la tensión nominal del arrollamiento primario del transformador? Explique brevemente.

¿A qué corresponde la corriente primaria $I_{Pri.}$ anotada en el paso anterior? Explique brevemente porqué.

¿A qué corresponde la potencia activa primaria $P_{Pri.}$ anotada en el paso anterior?

14. En **LVDAC-EMS**, abra el **Osciloscopio** y haga aparecer las formas de onda de la tensión primaria $E_{Pri.}$ y la corriente de magnetización I_0 (es decir, la corriente primaria $I_{Pri.}$ del transformador).

La forma de onda de la corriente de magnetización I_0 , ¿está distorsionada aunque el transformador no esté saturado (es decir, aunque la tensión primaria $E_{Pri.}$ se encuentre muy por debajo de la tensión nominal del arrollamiento primario)?

Sí No

15. En LVDAC-EMS, abra el **Analizador de armónicos**. Fije la frecuencia fundamental en 50 Hz y el número de armónicos en 15, luego haga aparecer el contenido de armónicos de la corriente de magnetización I_0 del transformador. Anote el valor de la distorsión armónica total (THD) de la corriente de magnetización I_0 .

THD de la corriente de magnetización $I_0 =$ _____ %



La distorsión armónica total (THD) de una forma de onda indica la cantidad de distorsión armónica presente en esa forma de onda. Debido a la presencia de armónicos, cuanto más alto es el porcentaje, más distorsionada es la forma de onda.

El valor que acaba de anotar, ¿confirma que la forma de onda de la corriente de magnetización I_0 del transformador está distorsionada, incluso cuando el transformador no está saturado?

Sí No

16. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, aumente gradualmente el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté cerca de 56 V. Mientras hace esto, observe la forma de onda de la corriente de magnetización del transformador I_0 en el **Osciloscopio**.



Ahora, la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador es igual a 56 V, que está casi 20% por encima de la tensión nominal de sus arrollamientos primarios. Por lo tanto, el transformador está saturado.

Describa qué sucede con la forma de onda de la corriente de magnetización I_0 del transformador cuando se aumenta la tensión primaria $E_{Pri.}$. Explique brevemente las razones.

17. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{Pri.}$, la corriente $I_{Pri.}$ y la potencia activa $P_{Pri.}$ en el primario cuando el transformador está saturado. Anote los valores a continuación.

Tensión en el primario $E_{Pri.} =$ _____ V

Corriente en el primario $I_{Pri.} =$ _____ A

Potencia activa en el primario $P_{Pri.} =$ _____ W

18. Compare los valores anotados en el paso anterior con los escritos en el paso 12. Describa los efectos de la saturación del transformador sobre el valor eficaz (rms) de la corriente de magnetización I_0 (es decir, la corriente primaria $I_{pri.}$), así como en las pérdidas sin carga (es decir, la potencia activa primaria $P_{pri.}$).

19. En el [Analizador de armónicos](#), Anote el valor de la distorsión armónica total (THD) de la corriente de magnetización del transformador I_0 cuando el transformador está saturado.

THD de la corriente de magnetización $I_0 =$ _____ %

Compare el valor de THD que usted acaba de registrar con el anotado en el paso 15. ¿La saturación del transformador aumentó de manera importante la distorsión armónica de su corriente de magnetización I_0 ?

Sí No

Curva de saturación de un transformador de potencia

En esta sección, usted reducirá la tensión primaria del transformador de potencia hasta 12 V y luego la aumentará por pasos hasta 56 V. Para cada paso, registrará en la Tabla de datos la tensión, la corriente (corriente de magnetización) y la potencia activa (pérdidas sin carga), así como la corriente de magnetización máxima en el primario del transformador. Por último, utilizará los valores medidos para trazar la curva de saturación del transformador de potencia.

20. En la ventana [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana [Aparatos de medición](#), esté lo más cerca posible de 12 V.

En el [Osciloscopio](#), fije un cursor horizontal para medir el valor máximo de la corriente de magnetización ($I_{0,máx.}$) del transformador, que corresponde al valor máximo de la corriente primaria $I_{pri.}$.

21. En LVDAC-EMS, abra la ventana **Tabla de datos**.

Configure la **Tabla de datos** para registrar la tensión $E_{pri.}$, la corriente $I_{pri.}$ (corriente de magnetización I_0) y la potencia activa $P_{pri.}$ (pérdidas con el transformador sin carga) en el primario del transformador que aparecen en la ventana **Aparatos de medición**.

También, configure la **Tabla de datos** para registrar el valor máximo de la corriente de magnetización del transformador $I_{0,máx.}$ medida utilizando uno de los cursores horizontales del **Osciloscopio**.

En la ventana **Tabla de datos**, haga clic en el botón **Guardar datos** para registrar los valores de la tensión $E_{pri.}$, la corriente $I_{pri.}$ (corriente de magnetización I_0) y la potencia activa $P_{pri.}$ (pérdidas del transformador sin carga) en el primario del transformador, así como la corriente de magnetización máxima $I_{0,máx.}$.

22. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, aumente el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, aumente en pasos de 4 V hasta 28 V. Para cada paso, ajuste el cursor horizontal del **Osciloscopio** para medir el valor máximo de la corriente de magnetización ($I_{0,máx.}$) y luego registre los parámetros del transformador en la **Tabla de datos**.

23. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, continúe aumentando el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición** aumente en pasos de 2 V hasta 56 V. Para cada paso, ajuste el cursor horizontal del **Osciloscopio** para medir el valor máximo de la corriente de magnetización ($I_{0,máx.}$) y luego registre los parámetros del transformador en la **Tabla de datos**.

24. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la **Fuente de alimentación ca**.

En la ventana **Tabla de datos**, guarde los datos registrados, luego expórtelos a una hoja electrónica de cálculo.

25. Utilizando los valores registrados, trace la curva de saturación del transformador de potencia (es decir, trace un gráfico de la tensión primaria $E_{pri.}$ en función de la corriente de magnetización máxima $I_{0,máx.}$).

Tensión nominal de los arrollamientos y potencia del transformador

En esta sección, usted determinará en qué punto de la curva de saturación el transformador de potencia opera cuando se aplica la tensión nominal de 48 V en el primario y analizará el resultado. Registrará la corriente de magnetización, las pérdidas de potencia sin carga y la potencia nominal del transformador cuando se aplica la tensión nominal de 48 V en el primario. Utilizando la curva de saturación, determinará con qué valor de tensión primaria debe operar el transformador para que el rendimiento sea máximo y determinará la corriente de magnetización, las pérdidas sin carga y la potencia nominal del mismo. Por último, comparará estos resultados con los medidos con la tensión nominal de 48 V.

- 26.** En la curva de saturación del transformador trazada en el paso 25, indique en qué punto opera éste cuando se aplica la tensión nominal (48 V) en el arrollamiento primario.

Considerando sus resultados, ¿puede concluir que el transformador está diseñado para un rendimiento máximo o para una salida de potencia máxima? Explique por qué.

- 27.** Utilizando los valores medidos, anote más abajo la corriente de magnetización I_0 y las pérdidas de potencia sin carga cuando el transformador opera con la tensión nominal (48 V). También, calcule la potencia del transformador cuando opera con los valores nominales de tensión y corriente.

Corriente de magnetización $I_0 =$ _____ A

Pérdidas sin carga = _____ W

Potencia nominal = _____ VA

- 28.** Utilizando la curva de saturación del transformador trazada en el paso 25, determine cuál debería ser la tensión primaria nominal E_{pri} si el transformador estuviese diseñado para un rendimiento máximo (es decir, que opere con poco o nada de saturación).

Para un rendimiento máximo, la tensión primaria nominal E_{pri} del transformador debe estar cerca de _____ V.

29. Utilizando los valores medidos, determine la corriente de magnetización del transformador I_0 y las pérdidas de potencia sin carga con la tensión primaria nominal anotada en el paso anterior. Calcule también la potencia nominal del transformador cuando opera con esta tensión nominal.

Corriente de magnetización $I_0 =$ _____ A

Pérdidas de potencia sin carga = _____ W

Potencia nominal = _____ VA

30. Compare los valores del transformador registrados en el paso anterior con los anotados en el paso 27. ¿Qué sucede con la corriente de magnetización I_0 , las pérdidas de potencia sin carga y la potencia nominal cuando el transformador está diseñado para un rendimiento máximo en vez de una potencia máxima?

Efecto de la tensión nominal del transformador en las pérdidas y el rendimiento

En esta sección, usted conectará una carga resistiva al transformador elevador. Luego encenderá la fuente de alimentación ca y ajustará la tensión primaria del transformador con el valor determinado en el apartado anterior de este ejercicio (para maximizar su rendimiento). Variando la resistencia de la carga resistiva, aumentará la corriente (carga) del secundario del transformador por pasos de 0,1 A hasta 1,2 A (60% de la corriente nominal de carga). Para cada corriente de carga, registrará la tensión, la corriente y la potencia activa en el primario y en el secundario del transformador en la tabla de datos. Luego, exportará los resultados a una hoja de cálculo y, para cada corriente de carga, calculará las correspondientes pérdidas de potencia y rendimiento del transformador. En el mismo gráfico, trazará las pérdidas de potencia del transformador en función de la corriente de carga para la tensión nominal (utilizando los valores registrados en el ejercicio anterior) y para una tensión de rendimiento máximo, y luego analizará los resultados. Hará lo mismo para calcular el rendimiento del transformador en función de la corriente de carga y analizará los resultados. Por último, comparará la tensión de carga del transformador para la tensión nominal y la tensión que calculó para maximizar el rendimiento del transformador, y analizará los resultados.

31. Conecte el equipo como se muestra en la figura 31.

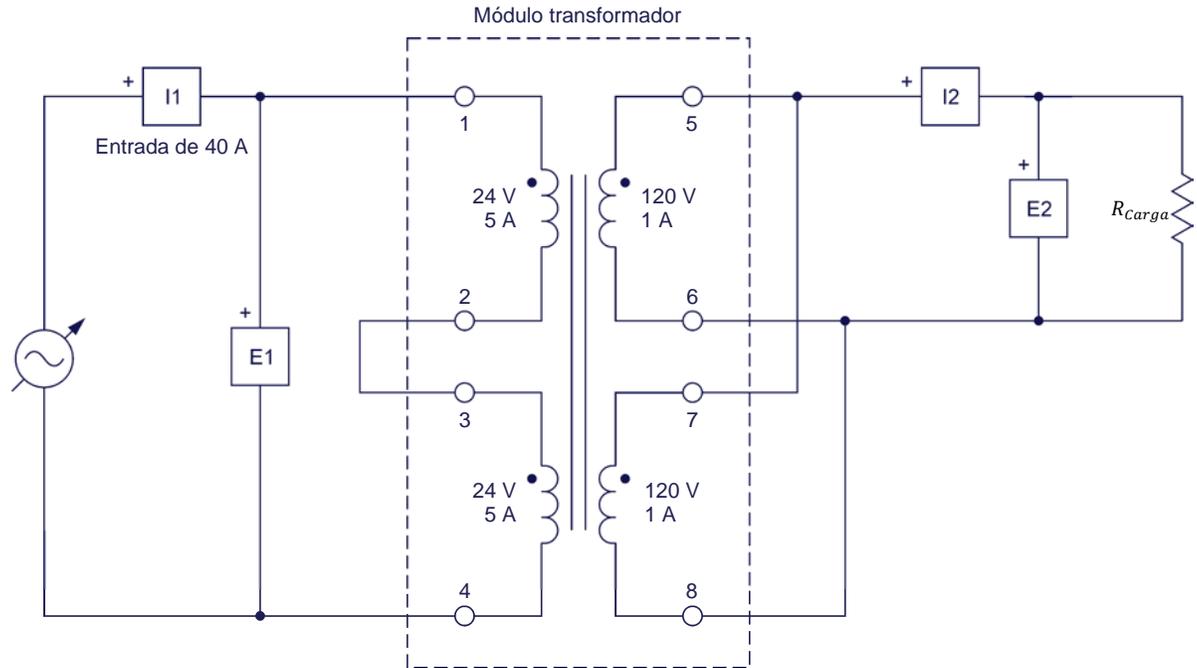


Figura 31. Transformador elevador conectado a una carga resistiva.

En LVDAC-EMS, fije el ajuste *Gama* de la entrada de corriente *I1* en alta.

- 32.** Configure los conmutadores de la *Carga resistiva* de modo que el valor de la resistencia de la carga sea infinito.
- 33.** En la ventana *Aparatos de medición*, haga los ajustes necesarios en los medidores adicionales para medir los valores rms (ca) de la tensión $E_{Sec.}$ y la corriente $I_{Sec.}$ (entradas *E2* e *I2*, respectivamente) en el secundario del transformador. Ajuste otro medidor para medir la potencia activa secundaria $P_{Sec.}$ con las entradas *E2* e *I2*.
- 34.** En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, encienda la *Fuente de alimentación ca*. Ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana *Aparatos de medición*, esté lo más cerca posible del valor que maximiza el rendimiento del transformador registrado en el paso 28.

En la ventana *Aparatos de medición*, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente cc. Luego, en la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, ajuste el parámetro *Corrección de la compensación cc* de modo que la corriente cc que circula en el primario del transformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, ajuste el medidor que mide la

corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente ca.

35. Configure la **Tabla de datos** para anotar, además de los parámetros ya seleccionados (es decir, tensión, corriente y potencia activa del primario), la tensión $E_{Sec.}$, la corriente $I_{Sec.}$ y la potencia activa $P_{Sec.}$ en el secundario del transformador que aparecen en la ventana **Aparatos de medición**.

En la ventana **Tabla de datos**, haga clic en el botón **Guardar datos** para registrar los valores de la tensión $E_{Pri.}$, la corriente $I_{Pri.}$ (corriente de magnetización I_0) y la potencia activa $P_{Pri.}$ del primario, así como la tensión $E_{Sec.}$, la corriente $I_{Sec.}$ y la potencia activa $P_{Sec.}$ del secundario.

36. En la **Carga resistiva**, disminuya la resistencia R_{Carga} de modo que la corriente secundaria (carga) $I_{Sec.}$ aumente hasta cerca de 1,2 A (60% de la corriente nominal del secundario o a plena carga del transformador) por pasos de 0,1 A, aproximadamente. Para cada paso, ajuste el parámetro **Tensión** en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, siga permaneciendo constante, luego registre los parámetros del transformador en la **Tabla de datos**.
37. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la **Fuente de alimentación ca**.
38. En la ventana **Tabla de datos**, guarde los datos registrados y luego expórtelos a una hoja electrónica de cálculo.

En la hoja de cálculo, añada un nuevo parámetro a los resultados: las pérdidas de potencia del transformador $P_{Pérdidas}$. Para calcular las pérdidas de potencia $P_{Pérdidas}$ del transformador, reste la potencia activa secundaria $P_{Sec.}$ (es decir, la potencia activa que el transformador entrega a la carga) de la del primario $P_{Pri.}$ (es decir, la potencia activa que la fuente de alimentación ca suministra al transformador).

También añada otro parámetro a los resultados: el rendimiento η del transformador. Para calcular este rendimiento, divida la potencia activa secundaria $P_{Sec.}$ entre la potencia activa primaria $P_{Pri.}$ y luego multiplique el resultado por 100 para expresar el rendimiento η como un porcentaje.

- 39.** En el mismo gráfico, trace las curvas de pérdidas de potencia $P_{Pérdidas}$ en función de la corriente secundaria (carga) $I_{Sec.}$ cuando el transformador opera con la tensión primaria (48 V) nominal y cuando lo hace con la tensión primaria que maximiza su rendimiento. Para esto, utilice los resultados registrados en este ejercicio y en el anterior.

Observe el gráfico. Operar el transformador con una tensión primaria más baja, ¿tiene algún efecto en las pérdidas de potencia $P_{Pérdidas}$? Si es así explique.

- 40.** Trace las mismas curvas del gráfico de rendimiento η del transformador en función de la corriente secundaria (carga) $I_{Sec.}$ cuando el transformador opera con la tensión primaria (48 V) nominal y cuando lo hace con la tensión primaria que maximiza su rendimiento. Para esto, utilice los resultados registrados en este ejercicio y en el anterior.

Observe el gráfico. Operar el transformador con una tensión primaria más baja, ¿tiene algún efecto en su rendimiento η ? Si es así, explique.

- 41.** Compare la tensión secundaria (carga) $E_{Sec.}$ del transformador medido con el 50% de la corriente nominal a plena carga, es decir, con el 50% de la corriente secundaria nominal (1 A), cuando éste opera con la tensión primaria nominal (48 V) y cuando lo hace con la tensión primaria que maximiza su rendimiento. Utilice los resultados registrados en este ejercicio y en el anterior para hacer la comparación.

¿Qué sucede con la tensión secundaria (carga) $E_{Sec.}$ cuando el transformador opera con una tensión primaria más baja? ¿Esto tiene algún efecto en su potencia nominal?

Temperatura de operación del transformador

En esta sección, usted medirá la temperatura inicial del transformador. Encenderá la fuente de alimentación ca y fijará la resistencia de carga de modo que la corriente de carga esté cerca del 75% de la corriente nominal a plena carga nominal. Dejará operar la fuente de alimentación ca durante 20 minutos. Luego, registrará la temperatura y calculará el aumento de la temperatura del transformador. Estos resultados serán utilizados en el ejercicio siguiente.

42. Conecte la *Entrada del termistor* del *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* a la *Salida del termistor* del módulo *Transformador*.



Si el módulo *Transformador* no cuenta con una entrada para termistor, usted puede utilizar un termómetro externo para lograr los mismos resultados. Si es así, coloque la punta de prueba del termómetro en el núcleo del transformador para medir su temperatura.

43. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, fije el parámetro *Tipo de termistor* en *Tipo 2 de LV*, luego observe la temperatura del transformador que aparece en el medidor de temperatura. Anote el valor más abajo.

Temperatura inicial del transformador = _____

44. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, fije el parámetro *Tensión* en 48 V, luego encienda la *Fuente de alimentación ca*. Vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria E_{Pri} del transformador, que aparece en la ventana *Aparatos de medición*, esté lo más cerca posible de 48 V.

En la *Carga resistiva*, ajuste la resistencia de modo que la corriente secundaria (carga) I_{Sec} del transformador aumente hasta cerca de 1,5 A (75% de la corriente nominal a plena carga del transformador).

En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria E_{Pri} del transformador, que aparece en la ventana *Aparatos de medición*, esté lo más cerca posible de 48 V.

45. Deje la *Fuente de alimentación ca* operar durante 20 minutos.

Después de 20 minutos de operación, observe la temperatura del transformador que aparece en el medidor de temperatura de la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*. Anote el valor más abajo.

Temperatura del transformador luego de 20 minutos de operación = _____

Calcule el aumento de la temperatura del transformador a partir de los dos valores medidos. Anote el valor a continuación.

Aumento de la temperatura del transformador = _____

46. Cierre **LVDAC-EMS** y apague todo el equipo. Desconecte todos los conductores y guárdelos en su lugar de almacenaje.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió los conceptos de tensión, corriente y potencia nominal de un transformador de potencia, y cómo pueden determinarse. Además, se familiarizó con los efectos de la saturación en la corriente de magnetización y en las pérdidas de potencia sin carga de un transformador de potencia.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un transformador de potencia tiene dos arrollamientos primarios conectados en serie: uno cuya tensión y corriente nominales son 50 V y 1 A, respectivamente, y otro cuya tensión y corriente nominales son 100 V y 1 A, respectivamente. Calcule la potencia nominal del transformador.

2. ¿Qué factor limita la corriente nominal de un transformador de potencia? Explique brevemente.

3. ¿Qué sucede con la forma de onda de la corriente de magnetización de un transformador de potencia cuando la saturación crece cada vez más debido a un aumento de la tensión del primario? ¿Cuál es el efecto en el contenido armónico de la corriente de magnetización del transformador?

4. ¿Qué efectos tiene la saturación sobre: la corriente de magnetización, las pérdidas de potencia sin carga y el rendimiento de un transformador?

5. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de operar un transformador de potencia con muy poca o ninguna saturación?

Efecto de la frecuencia en las características nominales del transformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya completado este ejercicio, sabrá cuáles son los efectos que genera la frecuencia de la fuente de alimentación ca sobre la saturación, la tensión y la potencia nominal de un transformador de potencia.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Saturación del transformador en función de la frecuencia
- Características nominales del transformador en función de la frecuencia

PRINCIPIOS

Saturación del transformador en función de la frecuencia

La ecuación que relaciona el valor rms de la tensión en el arrollamiento de un transformador con el número de espiras de ese arrollamiento, el área de la superficie del núcleo del transformador, la densidad de flujo en dicho núcleo y la frecuencia de la fuente de alimentación ca, se presenta a continuación.

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N A B_{M\acute{a}x}. f \quad (7)$$

donde E es la tensión en el arrollamiento del transformador, expresada en voltios (V).
 N es el número de vueltas o espiras del arrollamiento del transformador.
 A es el área del núcleo del transformador, expresada en metros cuadrados (m²).
 $B_{M\acute{a}x.}$ es la densidad de flujo máxima en el núcleo del transformador, expresada en teslas (T).
 f es la frecuencia de la fuente de alimentación ca a la que el transformador está conectado, expresada en hercios (Hz).

Los parámetros N y A de la ecuación anterior son constantes cuyos valores dependen de la construcción del transformador. Cuando se utiliza una fuente de alimentación ca de frecuencia fija, el parámetro de frecuencia también es constante. Por tanto, como se estableció en el ejercicio anterior, para un transformador de potencia dado que opera a una frecuencia fija, el valor máximo de la densidad de flujo $B_{M\acute{a}x.}$ en el núcleo es directamente proporcional al valor rms de la tensión E a través del arrollamiento.

La ecuación (7) también revela que para una tensión de arrollamiento E dada, la densidad de flujo máxima $B_{M\acute{a}x.}$ aumenta cuando la frecuencia f disminuye. Por tanto, a una menor frecuencia de operación f , se requiere una menor tensión E en el arrollamiento del transformador para producir cierta densidad de flujo

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

máxima $B_{M\acute{a}x.}$ y, en consecuencia, la saturación del transformador se produce a una menor tensión E . Inversamente, para una tensión de arrollamiento E dada, la densidad de flujo máxima $B_{M\acute{a}x.}$ disminuye cuando la frecuencia f aumenta. Por tanto, a una mayor frecuencia de operación f , se requiere una mayor tensión E en el arrollamiento para producir cierta densidad de flujo máxima $B_{M\acute{a}x.}$ y, por tanto, la saturación del transformador se produce a una mayor tensión E . Esto se ilustra en la figura 32, que muestra las curvas de saturación, es decir, las curvas de la tensión en el primario $E_{Pri.}$, en función de la intensidad de campo magnético H (proporcional al pico de la corriente de magnetización $I_{O,m\acute{a}x.}$) de un transformador operando a diferentes frecuencias.

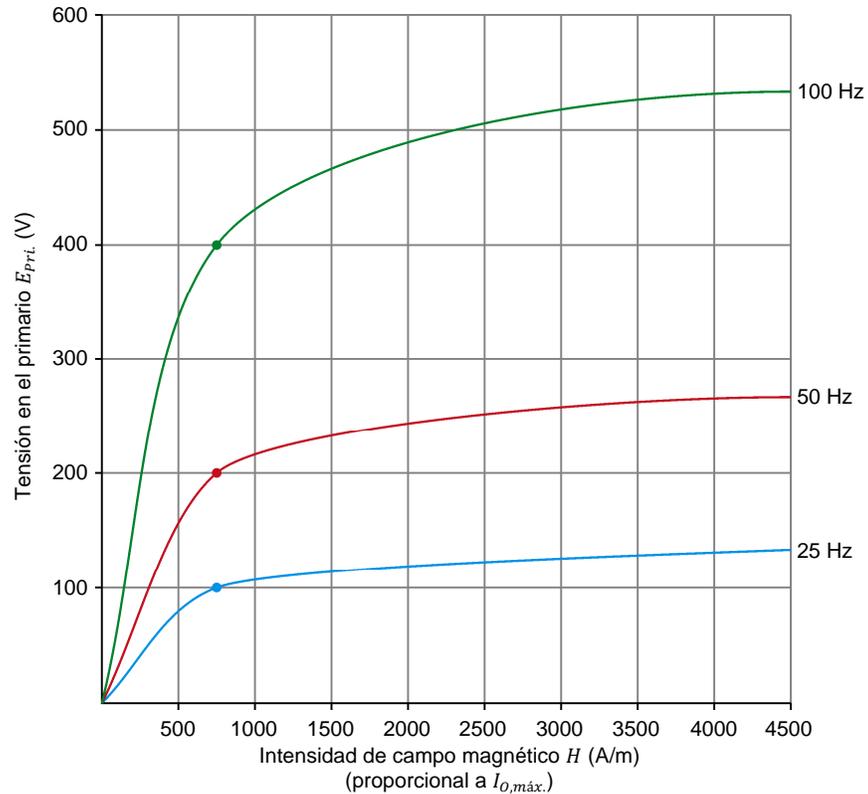


Figura 32. Curvas de saturación de un transformador de potencia que opera a diferentes frecuencias.

En los puntos de operación indicados en las tres curvas de saturación de la figura 32, la intensidad del campo magnético H y, por tanto, el pico de la corriente de magnetización $I_{O,m\acute{a}x.}$, tienen los mismos valores para las tres frecuencias. Igualmente, la densidad de flujo máxima $B_{M\acute{a}x.}$ tiene el mismo valor en las tres frecuencias. Sin embargo, los valores de tensión del primario $E_{Pri.}$ difieren, debido a que ésta tensión aumenta en proporción directa con la frecuencia de operación f .

Características nominales del transformador en función de la frecuencia

La ecuación (7) de la sección anterior puede reescribirse como:

$$\frac{E}{f} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} N A B_{M\acute{a}x.} \quad (8)$$

Dado que la tensión también tiene el símbolo V , la razón E/f se puede escribir como V/f .

Dado que los parámetros N y A son constantes, esta forma de la ecuación revela que la razón de la tensión del arrollamiento E sobre la frecuencia f de la fuente de alimentación ca determina la densidad de flujo máximo $B_{M\acute{a}x}$. y, por tanto, el nivel de saturación del núcleo del transformador (es decir, el punto de operación en la curva de saturación del transformador). En consecuencia, al disminuir la frecuencia f , es necesario reducir la tensión E del arrollamiento en la misma proporción para mantener constante la razón E/f y, por tanto, mantener el mismo punto de operación sobre la curva de saturación. Por otro lado, al aumentar la frecuencia f , es necesario aumentar la tensión E en la misma proporción para mantener constante la razón E/f y conservar el mismo punto de operación sobre la curva de saturación del transformador.

Esto significa que aumentar la frecuencia de operación f de un transformador de potencia permite aumentar la tensión del arrollamiento E sin variar el punto de operación sobre la curva de saturación. En otras palabras, aumentar la frecuencia de operación f permite aumentar la tensión nominal de los arrollamientos sin cambiar los valores de la densidad de flujo máximo $B_{M\acute{a}x}$. y de la intensidad de campo magnético H (es decir, sin desplazar el punto de operación en la curva de operación del transformador).

Dado que la frecuencia de operación f no afecta la corriente nominal de los arrollamientos del transformador, aumentar la frecuencia f permite incrementar su potencia nominal. Por ejemplo, al duplicar la frecuencia de operación f se duplica la tensión nominal de los arrollamientos, mientras que la corriente nominal no varía. Por tanto, la potencia nominal del transformador también se duplica. Esto, sin embargo, solo es cierto hasta determinada frecuencia por razones que están fuera del alcance de este manual.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento está dividido en las siguientes secciones:

- Montaje y conexiones
- Operación del transformador a una frecuencia de 50 Hz
- Efecto de la frecuencia en la saturación del transformador
- Curva de saturación del transformador de potencia a una frecuencia de 75 Hz
- Efecto de la frecuencia en la tensión nominal de los arrollamientos y en la potencia del transformador
- Temperatura de operación del transformador (OPCIONAL)

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones altas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana con la alimentación encendida, a menos que se especifique lo contrario.

Montaje y conexiones

En esta sección, usted armará un circuito que incluye un transformador elevador sin carga. Luego, ajustará los medidores necesarios para estudiar el efecto de la frecuencia de operación en los valores nominales de tensión y potencia del transformador.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

1. Consulte la tabla de utilización del equipo del Apéndice A con el fin de obtener la lista del material necesario para realizar este ejercicio.

Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).



Asegúrese de estar utilizando el mismo módulo *Transformador*, modelo 8353, de los ejercicios 3 y 4 de este manual. Para esto, confirme que el número de serie del módulo es el mismo que el anotado en el primer paso del ejercicio 3.

2. Asegúrese de que el interruptor de alimentación principal del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) esté fijado en la posición **O** (apagado), luego enchufe la [Entrada de alimentación](#) en un tomacorriente ca mural.

Conecte la entrada [Alimentación](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) en la fuente de 24 V ca. Encienda esta fuente.

3. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) a un puerto USB de la computadora.

4. Encienda el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), luego fije el interruptor *Modo de operación* en *Fuente de alimentación*. Este ajuste permite que el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) opere como fuente de alimentación.

5. Encienda la computadora, luego ejecute el software [LVDAC-EMS](#).

En la ventana [Selector de módulos](#), asegúrese de que la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) y el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) estén detectados. Asegúrese de que la función *Instrumentación computarizada* para la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) esté seleccionada. También, seleccione la tensión y la frecuencia que corresponden a las de la red ca local, luego haga clic en el botón [ACEPTAR](#) para cerrar la ventana [Selector de módulos](#).

6. Conecte el equipo como se muestra en la figura 33. En este circuito, los dos arrollamientos primarios de 24 V del módulo [Transformador](#) están conectados en serie para formar un arrollamiento primario de 48 V y 5 A nominales. Asimismo, los dos arrollamientos secundarios de 120 V están conectados en paralelo para formar un arrollamiento secundario de 120 V y 2 A nominales. Estas características nominales son para una frecuencia de operación de 50 Hz o de 60 Hz.

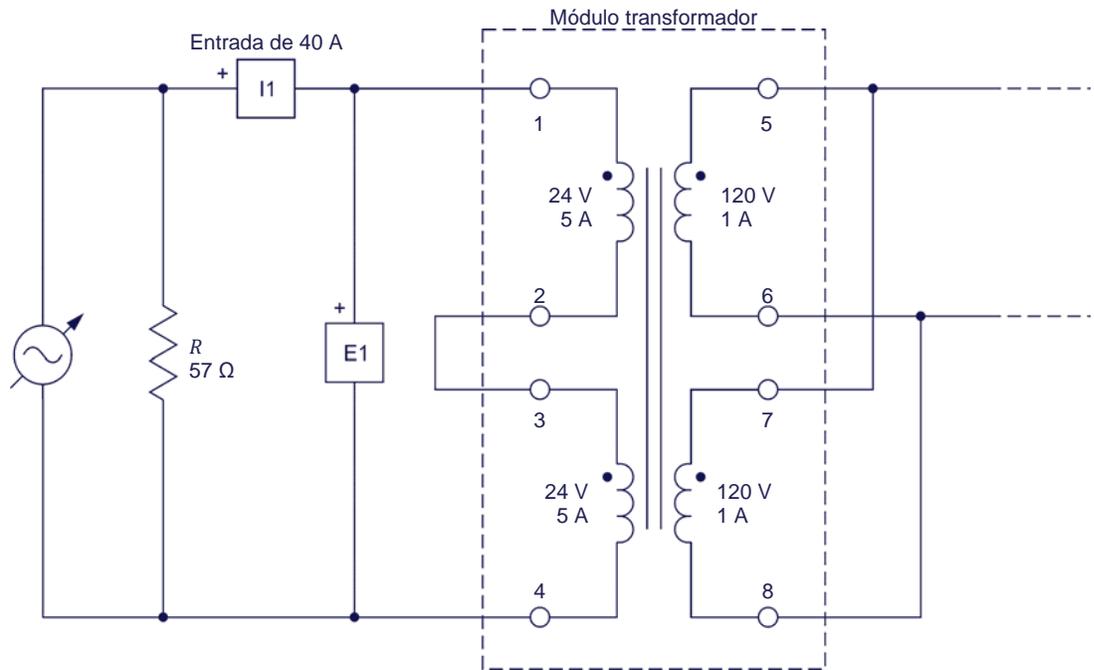


Figura 33. Transformador elevador sin carga.



La carga resistiva del circuito de la figura 33 se utiliza para mejorar el aspecto de las formas de onda de tensión. Debido a que la carga resistiva está conectada en paralelo con la fuente de alimentación ca, esto no tiene ningún efecto en las tensiones medidas.

En LVDAC-EMS, fije el ajuste *Gama* de la entrada de corriente *I1* en alta.

7. En LVDAC-EMS, abra la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, luego haga los ajustes siguientes:
 - Fije el parámetro *Función* en *Fuente de alimentación ca*.
 - Fije el parámetro *Tensión* en 48 V.
 - Fije el parámetro *Frecuencia* en 50 Hz.

8. En LVDAC-EMS, abra la ventana *Aparatos de medición*. Haga los ajustes necesarios para medir los valores rms (ca) de la tensión primaria E_{pri} y corriente I_{pri} (entradas *E1* e *I1*, respectivamente) del transformador. Ajuste otro medidor para medir la potencia activa primaria P_{pri} con las entradas *E1* e *I1*.

Operación del transformador a una frecuencia de 50 Hz

En esta sección, usted encenderá la fuente de alimentación ca. Hará aparecer en el Osciloscopio las formas de onda de la tensión primaria y de la corriente de magnetización del transformador. Luego, medirá la tensión primaria y la corriente de magnetización cuando la fuente de alimentación ca opera a una frecuencia de 50 Hz.

9. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, encienda la *Fuente de alimentación ca*. Ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 48 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro *Corrección de la compensación cc* de modo que la corriente cc que circula en el arrollamiento primario del transformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, ajuste el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente ca.

10. En **LVDAC-EMS**, abra el **Osciloscopio** y haga aparecer las formas de onda de la tensión primaria $E_{pri.}$ y la corriente $I_{pri.}$ (que corresponde a la corriente de magnetización I_0 cuando el transformador está operando sin carga).

La forma de onda de la corriente de magnetización I_0 debe ser prácticamente simétrica, cuando el valor medio (cc) de la corriente de magnetización I_0 está fijado lo más cerca posible de cero.

11. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión primaria $E_{pri.}$ y la corriente de magnetización I_0 (corriente primaria $I_{pri.}$). Anote los valores más abajo.

Tensión en el primario $E_{pri.}$ a una frecuencia de 50 Hz = _____ V

Corriente de magnetización I_0 a una frecuencia de 50 Hz = _____ A

Efecto de la frecuencia en la saturación del transformador

En esta sección, usted disminuirá gradualmente la frecuencia de la fuente de alimentación ca hasta 35 Hz. Mientras hace esto, observará en el Osciloscopio qué sucede con las formas de onda de la tensión primaria y de la corriente de magnetización. Luego, medirá éstas cuando el transformador opera con la frecuencia de 35 Hz de la fuente de alimentación ca. Fijará nuevamente la frecuencia de la fuente de alimentación ca en 50 Hz y luego la aumentará gradualmente hasta 75 Hz. Mientras hace esto, observará en el Osciloscopio qué sucede con las formas de onda de la tensión primaria y de la corriente de magnetización. Medirá éstas cuando el transformador opera con la frecuencia de 75 Hz de la fuente de alimentación ca y comparará los valores con los obtenidos para la frecuencia de 35 Hz de la fuente de alimentación ca.

12. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, disminuya gradualmente el parámetro **Frecuencia** hasta 35 Hz. Mientras hace esto, vuelva a ajustar levemente el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ se mantenga constante (48 V) y observe la forma de onda de la corriente de magnetización I_O en el **Osciloscopio**.

¿Qué sucede con la forma de onda de la corriente de magnetización I_O del transformador al reducir la frecuencia de la fuente de alimentación ca manteniendo constante la tensión primaria? Explique brevemente las razones.

13. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión primaria $E_{pri.}$ y la corriente de magnetización I_O (corriente primaria $I_{pri.}$) del transformador. Anote los valores más abajo.

Tensión en el primario $E_{pri.}$ a una frecuencia de 35 Hz = _____ V

Corriente de magnetización I_O a una frecuencia de 35 Hz = _____ A

¿Qué sucede con el valor rms de la corriente de magnetización I_O del transformador al reducir la frecuencia de la fuente de alimentación ca manteniendo constante la tensión primaria? Explique brevemente las razones.

14. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, fije el parámetro *Frecuencia* de nuevo en 50 Hz, luego ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$, que aparece en la ventana *Aparatos de medición*, esté lo más cerca posible de 48 V.

15. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, apague la *Fuente de alimentación ca*.

En la *Interfaz de adquisición de datos y control*, desconecte todos los conductores del terminal de corriente alta (40 A) de la entrada *I1* y conéctelos al terminal de corriente baja (4 A) de la entrada *I1*.

En *LVDAC-EMS*, fije el ajuste *Gama* de la entrada de corriente *I1* en baja.

En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, encienda la *Fuente de alimentación ca*.

En la ventana *Aparatos de medición*, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente cc. Luego, en la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, ajuste el parámetro *Corrección de la compensación cc* de modo que la corriente cc que circula en el arrollamiento primario del transformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, ajuste el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente ca.

16. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, aumente gradualmente el parámetro *Frecuencia* hasta 75 Hz. Mientras hace esto, vuelva a ajustar levemente el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ siga manteniéndose constante (48 V) y observe la forma de onda de la corriente de magnetización I_0 en el osciloscopio.

¿Qué sucede con la forma de onda de la corriente de magnetización I_0 cuando se aumenta la frecuencia de la fuente de alimentación ca manteniendo constante la tensión primaria? Explique brevemente las razones.

17. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión primaria $E_{Pri.}$ y la corriente de magnetización I_O (corriente primaria $I_{Pri.}$). Anote los valores a continuación.

Tensión en el primario $E_{Pri.}$ a una frecuencia de 75 Hz = _____ V

Corriente de magnetización I_O a una frecuencia de 75 Hz = _____ A

¿Qué sucede con el valor eficaz (rms) de la corriente de magnetización I_O cuando se aumenta la frecuencia de la fuente de alimentación ca manteniendo constante la tensión primaria? Explique brevemente las razones.

Curva de saturación del transformador de potencia a una frecuencia de 75 Hz

En esta sección, usted reducirá la tensión primaria del transformador hasta 18 V y luego la aumentará por pasos hasta 81 V. Para cada paso, registrará en la *Tabla de datos* la tensión, la corriente (corriente de magnetización) y la potencia activa (pérdidas de potencia sin carga) del primario, así como la corriente de magnetización máxima. Usted trazará en el mismo gráfico la curva de saturación del transformador de potencia con la fuente de alimentación ca operando a 50 Hz (resultados registrados en el ejercicio anterior) y operando a 75 Hz y comparará ambas curvas.

18. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 18 V.

En el **Osciloscopio**, fije un cursor horizontal para medir el valor máximo de la corriente de magnetización ($I_{O,máx.}$) del transformador, que corresponde al valor máximo de la corriente primaria $I_{Pri.}$.

19. En **LVDAC-EMS**, abra la ventana **Tabla de datos**.

Configure la **Tabla de datos** para registrar la tensión $E_{Pri.}$, la corriente $I_{Pri.}$ (corriente de magnetización I_O) y la potencia activa $P_{Pri.}$ (pérdidas de potencia con el transformador sin carga) del primario, que aparecen en la ventana **Aparatos de medición**.

También, configure la **Tabla de datos** para registrar el valor máximo de la corriente de magnetización $I_{O,máx.}$ del transformador medida utilizando uno de los cursores horizontales del **Osciloscopio**.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

En la ventana **Tabla de datos**, haga clic en el botón **Guardar datos** para registrar los valores de la tensión $E_{pri.}$, la corriente $I_{pri.}$ (corriente de magnetización I_0) y la potencia activa $P_{pri.}$ (pérdidas de potencia con el transformador sin carga) en el primario, así como la corriente de magnetización máxima $I_{0,máx.}$.

20. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, aumente el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición** aumente en pasos de 6 V hasta 42 V. Para cada paso, ajuste el cursor horizontal del **Osciloscopio** para medir el valor máximo de la corriente de magnetización ($I_{0,máx.}$) y luego registre los parámetros del transformador en la **Tabla de datos**.
21. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, continúe aumentando el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, indicada en la ventana **Aparatos de medición**, aumente en pasos de 3 V hasta 81 V. Para cada paso, ajuste el cursor horizontal del **Osciloscopio** para medir el valor máximo de la corriente de magnetización ($I_{0,máx.}$) y luego registre los parámetros del transformador en la **Tabla de datos**.
22. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la **Fuente de alimentación ca**.

En la ventana **Guardar datos**, guarde los datos registrados, luego expórtelos a una hoja electrónica de cálculo.

23. En el mismo gráfico, trace las curvas de saturación del transformador (es decir, la curvas de la tensión primaria $E_{pri.}$ en función de la corriente de magnetización máxima $I_{0,máx.}$) medida con la fuente de alimentación ca operando a 50 Hz y a 75 Hz. Para esto, utilice los resultados registrados en este ejercicio y en el anterior.

Observe el gráfico. ¿Cuál es el efecto de aumentar la frecuencia de la fuente de alimentación ca en la saturación del transformador de potencia?

Efecto de la frecuencia en la tensión nominal de los arrollamientos y en la potencia del transformador

En esta sección, usted armará un circuito que incluye un transformador elevador conectado a una carga resistiva. Hará operar el transformador con la tensión nominal y la fuente de alimentación ca a una frecuencia de 50 Hz. Luego medirá la corriente de magnetización. Reducirá la resistencia de la carga resistiva de modo que circule una corriente de 1,5 A (75% de la corriente nominal a plena carga nominal) a través del arrollamiento secundario. Mientras hace esto, mantendrá constante la tensión primaria. Luego medirá la tensión y la potencia activa en el secundario. A continuación, ajustará de nuevo la carga resistiva en infinito. Luego hará que el transformador opere con la fuente de alimentación ca ajustada para una frecuencia de 75 Hz y ajustará la tensión primaria de modo que la corriente de magnetización sea prácticamente igual al valor que registró con la fuente de alimentación ca ajustada para una frecuencia de 50 Hz. Luego, medirá la tensión primaria y la comparará con la tensión nominal que se obtiene cuando la fuente de alimentación ca está ajustada para una frecuencia de 50 Hz. Reducirá la resistencia de la carga resistiva para que circule una corriente de 1,5 A a través del arrollamiento secundario. Mientras hace esto, mantendrá constante la tensión primaria del transformador. Por último, medirá la tensión y la potencia activa en el secundario y comparará los valores con los obtenidos con la fuente de alimentación ca operando a una frecuencia de 50 Hz.

24. Conecte el equipo como se muestra en la figura 34.

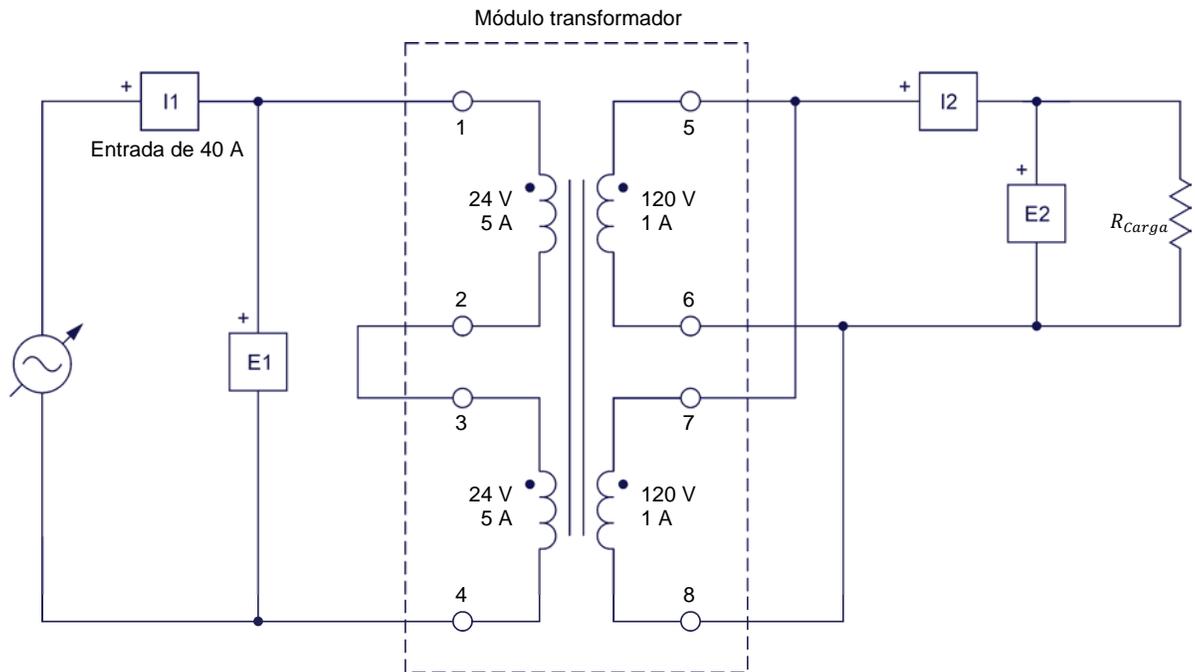


Figura 34. Transformador elevador conectado a una carga resistiva.

En LVDAC-EMS, fije en alta el ajuste *Gama* de la entrada de corriente *I1*.

25. Configure los conmutadores de la **Carga resistiva** de modo que el valor de la resistencia de la carga sea infinito.
26. En la ventana **Aparatos de medición**, haga los ajustes necesarios en los medidores adicionales para medir los valores rms (ca) de la tensión secundaria $E_{Sec.}$ y la corriente $I_{Sec.}$ (entradas **E2** e **I2**, respectivamente). Ajuste otro medidor para medir la potencia activa secundaria $P_{Sec.}$ en las entradas **E2** e **I2**.
27. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, fije el parámetro **Tensión** en 48 V y el parámetro **Frecuencia** en 50 Hz, luego encienda la **Fuente de alimentación ca**. Vuelva a ajustar el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 48 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro **Corrección de la compensación cc** de modo que la corriente cc que circula en el arrollamiento primario del transformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, ajuste el medidor que mide la corriente primaria del transformador de modo que indique valores de corriente ca.

28. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la corriente de magnetización I_0 (corriente primaria $I_{Pri.}$) del transformador cuando opera con la tensión primaria nominal $E_{Pri.}$ de 48 V y con la fuente de alimentación ca operando a una frecuencia de 50 Hz. Anote el valor a continuación.

Corriente de magnetización I_0 a una frecuencia de 50 Hz = _____ A

29. En la **Carga resistiva**, disminuya gradualmente la resistencia de carga R_{Carga} de modo que la corriente secundaria $I_{Sec.}$, que aparece en la ventana **Aparatos de medición** aumente hasta 1,5 A (75% de la corriente nominal secundaria o a plena carga del transformador). Mientras hace esto, vuelva a ajustar el parámetro **Tensión** en la fuente de alimentación ca de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ permanezca lo más cerca posible de 48 V.

30. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{Sec.}$ y la potencia activa $P_{Sec.}$ en el secundario cuando el transformador opera con la tensión primaria nominal $E_{Pri.}$ de 48 V y con la fuente de alimentación ca ajustada a una frecuencia de 50 Hz. Anote los valores más abajo.

Tensión en el secundario $E_{Sec.}$ a una frecuencia de 50 Hz = _____ V

Potencia activa en el secundario $P_{Sec.}$ a una frecuencia de 50 Hz = _____ W

31. En la **Carga resistiva**, configure los conmutadores para que la resistencia de carga R_{Carga} sea infinita.

32. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, fije el parámetro **Frecuencia** en 75 Hz. Ajuste el parámetro **Tensión** de modo que el valor rms de la corriente de magnetización I_0 (corriente primaria $I_{Pri.}$) del transformador, indicada en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de la corriente de magnetización I_0 que registró en el paso 28. Esto hace que el transformador opere en el mismo punto de la curva de saturación (es decir, en el mismo nivel de saturación) que cuando operaba con una tensión primaria $E_{Pri.}$ de 48 V y con la fuente de alimentación ca ajustada en 50 Hz.

33. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador operando sin carga y con la fuente de alimentación ca ajustada en 75 Hz. Anote el valor más abajo.

Tensión en el primario $E_{Pri.}$ a una frecuencia de 75 Hz = _____ V

34. Compare la tensión primaria $E_{Pri.}$ que registró en el paso anterior cuando la fuente de alimentación ca estaba ajustada en 75 Hz, con la tensión primaria $E_{Pri.}$ (48 V) cuando la fuente de alimentación ca estaba ajustada en 50 Hz. ¿Qué observa?

¿Qué conclusión puede sacar en cuanto al efecto de la frecuencia de la fuente de alimentación ca en la tensión nominal del arrollamiento de un transformador?

35. En la **Carga resistiva**, disminuya gradualmente la resistencia de carga R_{Carga} de modo que la corriente secundaria $I_{Sec.}$ indicada en la ventana **Aparatos de medición** aumente hasta 1,5 A (75% de la corriente nominal secundaria o a plena carga del transformador). Mientras hace esto, vuelva a ajustar el parámetro **Tensión** de la fuente de alimentación ca de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ siga siendo constante (es decir, tan cerca como sea posible de la tensión registrada en el paso 33).



*En este paso del procedimiento, se sobrepasan de manera significativa los valores nominales de tensión y potencia de la **Carga resistiva**. Por lo tanto, es importante realizar el resto de este paso en menos de 2 minutos para evitar dañar la **Carga resistiva**.*

En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{Sec.}$ y la potencia activa $P_{Sec.}$ en el secundario cuando el transformador opera con el 75% de la corriente a plena carga y a una frecuencia de la fuente de alimentación ca de 75 Hz. Anote los valores más abajo.

Tensión en el secundario $E_{Sec.} =$ _____ V

Potencia activa en el secundario $P_{Sec.} =$ _____ W

En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la **Fuente de alimentación ca**.

36. Compare la tensión $E_{Sec.}$ y la potencia activa $P_{Sec.}$ en el secundario que registró en el paso anterior cuando el transformador operaba con la fuente de alimentación ca ajustada en 75 Hz con los valores registrados en el paso 30 cuando lo hacía a una frecuencia de 50 Hz. ¿Qué observa?

¿Qué conclusión puede sacar en cuanto al efecto de la frecuencia de la fuente de alimentación ca en la potencia nominal de un transformador?

Temperatura de operación del transformador (OPCIONAL)



Esta sección se puede realizar solamente si se dispone de una segunda Carga resistiva. Por ese motivo, esta parte del procedimiento se considera opcional.

En esta sección, usted conectará un segundo resistor de carga en serie con el que ya se encuentra en el circuito que armó en la sección anterior para permitir una operación continua con tensiones más altas. Luego medirá la temperatura inicial del transformador. Encenderá la fuente de alimentación ca. Usted se asegurará de que la tensión primaria del transformador sea igual a la tensión primaria nominal determinada cuando operaba con una frecuencia de la fuente de alimentación ca de 75 Hz y de que la corriente de carga corresponde aproximadamente al 75% de la corriente nominal de la carga. Dejará operar la fuente de alimentación ca durante 20 minutos. Luego, registrará la temperatura del transformador y calculará el aumento de su temperatura. Por último, comparará el aumento de la temperatura del transformador cuando éste opera con las frecuencias de la fuente de alimentación ca de 50 Hz y de 75 Hz utilizando los resultados registrados en este ejercicio y en el anterior.

- 37.** Conecte la *Entrada del termistor* del *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes* a la *Salida del termistor* del módulo *Transformador*.

Si el módulo *Transformador* no cuenta con una entrada para termistor, usted puede utilizar un termómetro externo para lograr los mismos resultados. Si es así, coloque la punta de prueba del termómetro en el núcleo del transformador para medir su temperatura.

- 38.** Utilizando dos módulos *Carga resistiva*, modifique la carga resistiva del circuito de la figura 34 de modo que cuente con dos resistores en serie. Esto duplica la tensión que se puede aplicar a la carga resistiva, así como la potencia que dicha carga puede disipar. Para hacer lo anterior, conecte las tres secciones de resistores de cada *Carga resistiva* en paralelo, conecte los dos módulos *Carga resistiva* en serie y luego fije la resistencia de cada *Carga resistiva* en 60 Ω. De esta manera, la resistencia total de la carga resistiva R_{Carga} resulta igual a 120 Ω.

- 39.** En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, fije el parámetro *Tipo de termistor* en *Tipo 2 de LV*, luego observe la temperatura del transformador que aparece en el medidor de temperatura. Anote el valor a continuación.

Temperatura inicial del transformador = _____

40. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, encienda la **Fuente de alimentación ca**. Ajuste el parámetro **Tensión** de modo que la tensión primaria $E_{pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de la tensión primaria nominal $E_{pri.}$ medida con la fuente de alimentación ca ajustada en 75 Hz (es decir, el valor de la tensión registrado en el paso 33). La corriente secundaria $I_{sec.}$ del transformador ahora debe estar cerca de 1,5 A (aproximadamente el 75% de la corriente nominal a plena carga). Si es necesario, ajuste la resistencia de la carga resistiva de modo que la corriente secundaria del transformador $I_{sec.}$ esté lo más cerca posible de 1,5 A manteniendo constante la tensión primaria.

41. Deje la **Fuente de alimentación ca** operar durante 20 minutos.

Después de 20 minutos de operación, observe la temperatura del transformador que aparece en el medidor de temperatura de la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Anote el valor más abajo.

Temperatura del transformador después de 20 minutos de operación = _____

Calcule el aumento de la temperatura del transformador a partir de los dos valores medidos. Anote el valor a continuación.

Aumento de la temperatura del transformador = _____

42. Compare el aumento de la temperatura del transformador registrada en el paso anterior cuando la fuente de alimentación ca estaba a una frecuencia de 75 Hz, con el aumento de temperatura registrado en el paso 45 del ejercicio 4 cuando la frecuencia de la fuente era de 50 Hz. En ambos casos, la corriente nominal a plena carga del transformador era de 75%. ¿Qué observa? Explique brevemente.

43. Cierre **LVDAC-EMS** y apague todo el equipo. Desconecte todos los conductores y guárdelos en su lugar de almacenaje.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió los efectos de la frecuencia de la fuente de alimentación ca tanto en la saturación como en la tensión y potencia nominales de un transformador de potencia.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Explique por qué la saturación del transformador se produce a un valor de tensión menor cuando se reduce la frecuencia de la fuente de alimentación ca.

2. ¿Cuáles son los efectos de reducir la frecuencia de la fuente de alimentación ca, en la forma de onda y en el valor rms de la corriente de magnetización de un transformador de potencia?

3. ¿Cuáles son los efectos de aumentar la frecuencia de la fuente de alimentación ca, en la forma de onda y en el valor rms de la corriente de magnetización de un transformador de potencia?

4. ¿Qué determina la razón E/f (o V/f) de un transformador de potencia?

5. ¿Cuál es el efecto de aumentar la frecuencia de la fuente de alimentación ca, en la tensión y potencia nominales de un transformador de potencia?

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

El autotransformador

OBJETIVO DEL EJERCICIO Cuando haya completado este ejercicio, sabrá qué es un autotransformador y habrá aprendido cómo conectarlo para que opere como elevador o reductor. También será capaz de determinar las tensiones y corrientes del primario y secundario de este dispositivo. Podrá comparar la potencia nominal de un autotransformador con la de un transformador convencional de similar tamaño.

RESUMEN DE LOS PRINCIPIOS

Los Principios de este ejercicio cubren los siguientes puntos:

- Operación del autotransformador
- Análisis del circuito de un autotransformador
- Potencia nominal de transformadores convencionales y de autotransformadores

PRINCIPIOS

Operación del autotransformador

Un **autotransformador** es un tipo especial de transformador en el cual un solo arrollamiento sirve de primario y de secundario. Los autotransformadores operan de acuerdo con los mismos principios de los transformadores de potencia convencionales. Al igual que estos últimos, el autotransformador se puede emplear como transformador elevador o reductor. Cuando se utiliza como elevador, sólo una parte del arrollamiento actúa como primario, mientras que el arrollamiento completo sirve de secundario. Por otro lado, cuando el autotransformador se emplea como reductor, se invierte la función del arrollamiento para el primario y secundario. Esto significa que el arrollamiento completo actúa como primario mientras que sólo una parte del mismo se emplea como secundario. La figura 35 muestra las conexiones del autotransformador necesarias para la operación como elevador y como reductor.

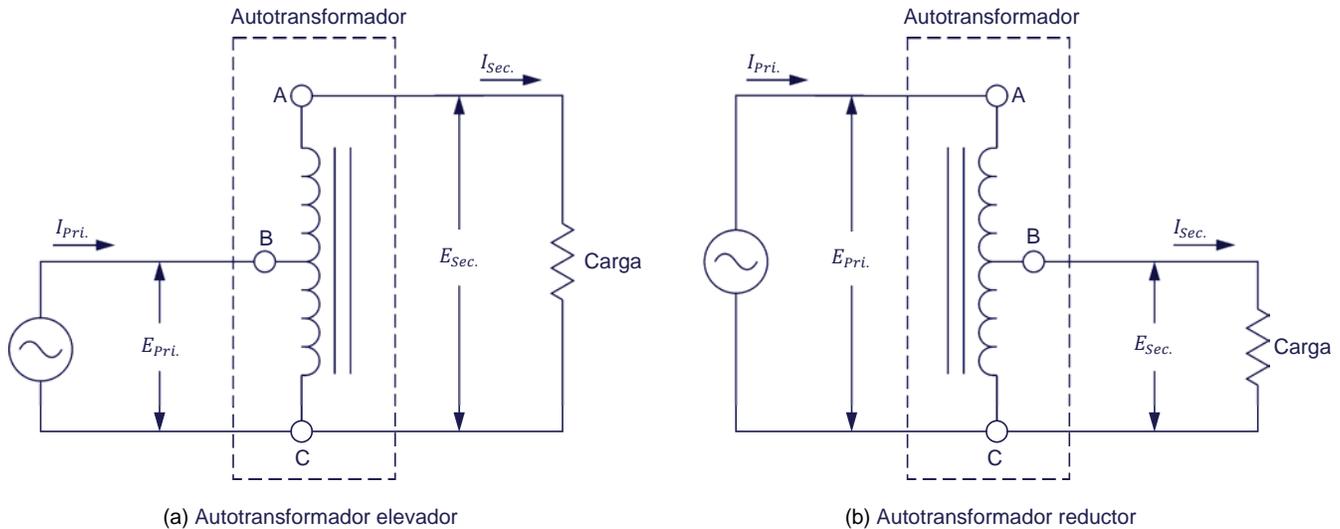


Figura 35. Configuración del autotransformador para operar como elevador y como reductor.

Para determinar la relación de espiras de un autotransformador, cada arrollamiento se considera por separado, a pesar de que una cierta proporción de espiras es común al primario y al secundario. Las tensiones y corrientes del primario y secundario del autotransformador se relacionan por las mismas ecuaciones presentadas para los transformadores convencionales (ver el Ejercicio 1 de este manual). Usando los circuitos ilustrados en la figura 35, es posible determinar que en la operación como elevador, las relaciones de tensiones, de corrientes y de espiras de un autotransformador se escriben como:

$$\frac{E_{pri.}}{E_{sec.}} = \frac{I_{sec.}}{I_{pri.}} = \frac{N_{B-C}}{N_{A-C}} = \frac{N_{pri.}}{N_{sec.}}$$

Por otro lado, en la operación como reductor las relaciones de tensiones, de corrientes y de espiras de un autotransformador se escriben como:

$$\frac{E_{pri.}}{E_{sec.}} = \frac{I_{sec.}}{I_{pri.}} = \frac{N_{A-C}}{N_{B-C}} = \frac{N_{pri.}}{N_{sec.}}$$

Estas relaciones son sólo ciertas cuando las tensiones E_{B-C} y E_{A-C} del autotransformador están en fase y, por tanto, se suman (en general, éste es el caso en un autotransformador). Al igual que en los transformadores convencionales, la razón entre las relaciones de corrientes y espiras de un autotransformador es el inverso de la razón entre las relaciones de tensiones y espiras de éste. Además, la potencia aparente en el arrollamiento primario de un autotransformador es prácticamente igual a la de su arrollamiento secundario, como en todo transformador de potencia convencional.

Los autotransformadores, sin embargo, tienen una gran desventaja si se los compara con los transformadores de potencia convencionales: la falta de aislamiento eléctrico entre los arrollamientos primario y secundario. Esto se debe a que en los autotransformadores los arrollamientos no están separados. Debido a ello, los autotransformadores no pueden emplearse en aplicaciones que requieren aislamiento eléctrico entre el primario y secundario.

Análisis del circuito de un autotransformador

Las reglas aplicables a la operación de los transformadores de potencia convencionales también se aplican a los autotransformadores. Esto significa que:

1. La relación de tensiones (es decir, la razón entre la tensión del primario a la del secundario) de un autotransformador es igual a su relación de espiras $N_{Pri.}/N_{Sec.}$.
2. El producto tensión por corriente del arrollamiento primario de un autotransformador es igual al producto tensión por corriente del secundario.

Estas dos reglas permiten analizar el funcionamiento de los autotransformadores.

Análisis del circuito del autotransformador elevador

La figura 36 muestra un ejemplo de un autotransformador elevador.

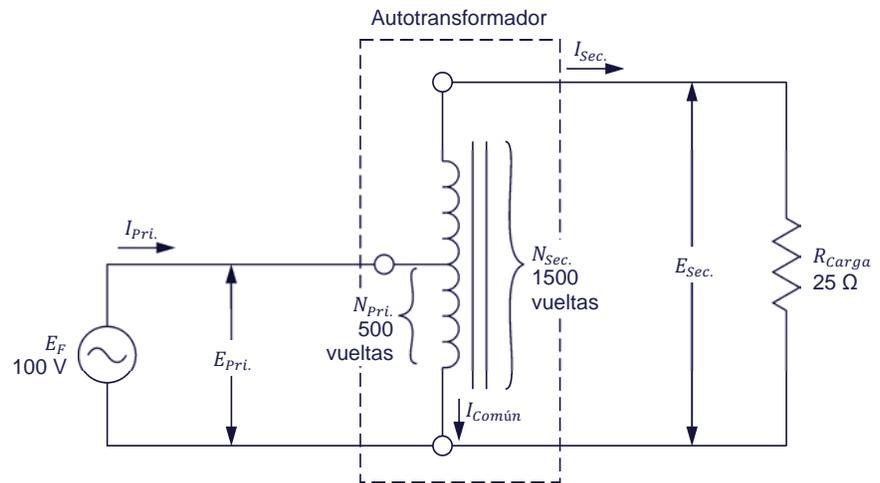


Figura 36. Autotransformador elevador.

El circuito del autotransformador mostrado en la figura 36 se puede resolver de la siguiente forma:

$$\frac{E_{Pri.}}{E_{Sec.}} = \frac{N_{Pri.}}{N_{Sec.}}$$

$$E_{Sec.} = \frac{E_{Pri.} \times N_{Sec.}}{N_{Pri.}} = \frac{100 \text{ V} \times 1500 \text{ vueltas}}{500 \text{ vueltas}} = 300 \text{ V}$$

$$I_{Sec.} = \frac{E_{Sec.}}{R_{Carga}} = \frac{300 \text{ V}}{300 \Omega} = 1,00 \text{ A}$$

$$E_{Pri.} \times I_{Pri.} = E_{Sec.} \times I_{Sec.}$$

$$I_{Pri.} = \frac{E_{Sec.} \times I_{Sec.}}{E_{Pri.}} = \frac{300 \text{ V} \times 1,00 \text{ A}}{100 \text{ V}} = 3,00 \text{ A}$$

$$I_{Común} = I_{Pri.} - I_{Sec.} = 3,00 \text{ A} - 1,00 \text{ A} = 2,00 \text{ A}$$

Como puede observarse en los cálculos anteriores, la corriente (es decir, la corriente primaria $I_{Pri.}$) que fluye en la derivación del arrollamiento del autotransformador es igual a la suma ($I_{Sec.} + I_{Común}$) de las corrientes que circulan en las dos secciones. Por tanto, el valor de la corriente $I_{Común}$ que fluye en las espiras del arrollamiento que es común al primario y secundario, es igual a la diferencia ($I_{Pri.} - I_{Sec.}$) entre los valores de corriente de los arrollamientos. Esto debe tomarse en cuenta al seleccionar el calibre del alambre utilizado para esta sección del arrollamiento del autotransformador. Cuanto menor es la relación de espiras, mayor será la diferencia entre los valores de corriente del primario y secundario y, por tanto, más elevado será el valor de la corriente $I_{Común}$.

Análisis del circuito del autotransformador reductor

La figura 37 muestra un ejemplo de un autotransformador reductor.

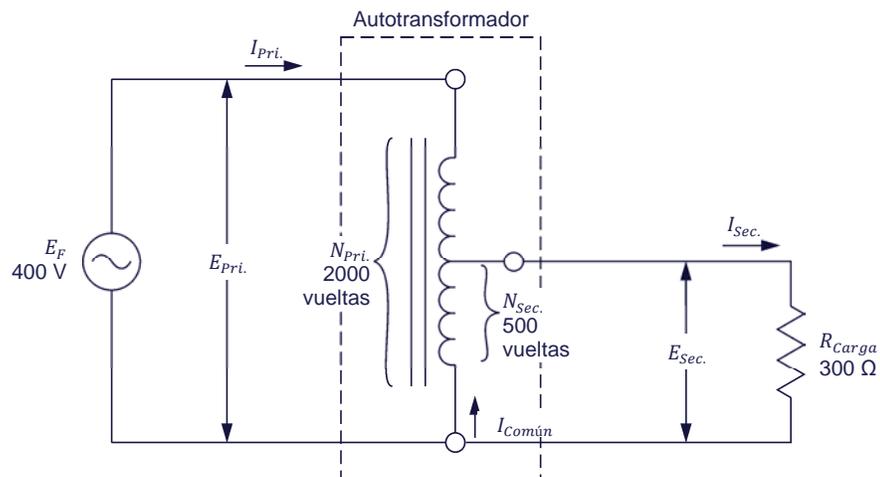


Figura 37. Autotransformador reductor.

El circuito del autotransformador mostrado en la figura 37 se puede resolver de la siguiente forma:

$$\frac{E_{Pri.}}{E_{Sec.}} = \frac{N_{Pri.}}{N_{Sec.}}$$

$$E_{Sec.} = \frac{E_{Pri.} \times N_{Sec.}}{N_{Pri.}} = \frac{400 \text{ V} \times 500 \text{ vueltas}}{2000 \text{ vueltas}} = 100 \text{ V}$$

$$I_{Sec.} = \frac{E_{Sec.}}{R_{Carga}} = \frac{100 \text{ V}}{25 \Omega} = 4,00 \text{ A}$$

$$E_{Pri.} \times I_{Pri.} = E_{Sec.} \times I_{Sec.}$$

$$I_{Pri.} = \frac{E_{Sec.} \times I_{Sec.}}{E_{Pri.}} = \frac{100 \text{ V} \times 4,00 \text{ A}}{400 \text{ V}} = 1,00 \text{ A}$$

$$I_{Común} = I_{Sec.} - I_{Pri.} = 4,0 \text{ A} - 1,00 \text{ A} = 3,00 \text{ A}$$

Como puede observarse de los cálculos anteriores, la corriente (es decir, la corriente secundaria $I_{Sec.}$) que fluye en la derivación del arrollamiento del autotransformador es igual a la suma ($I_{Pri.} + I_{Común}$) de las corrientes que circulan en las dos secciones del arrollamiento. Por tanto, el valor de la corriente en las espiras del arrollamiento que es común al primario y secundario es igual a la diferencia ($I_{Sec.} - I_{Pri.}$) entre los valores de corriente de estos, como en el autotransformador elevador. Esta vez, sin embargo, cuanto mayor es la relación de espiras, mayor será la diferencia entre los valores de corriente del primario y secundario y, por tanto, más elevado será el valor de la corriente $I_{Común}$.

Potencia nominal de transformadores convencionales y de autotransformadores

La figura 38 representa un transformador de potencia convencional con una potencia nominal de 100 VA.

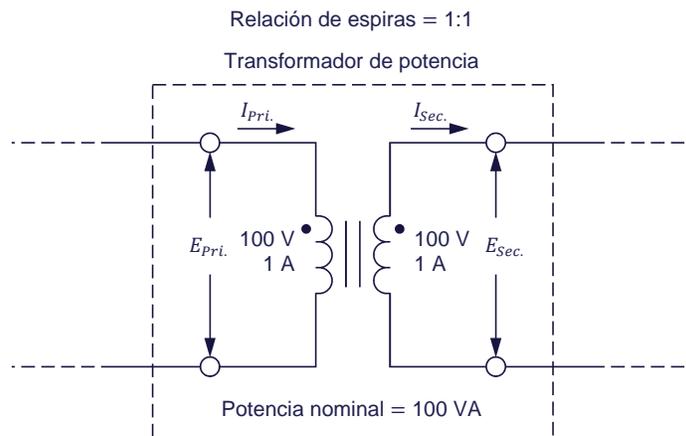
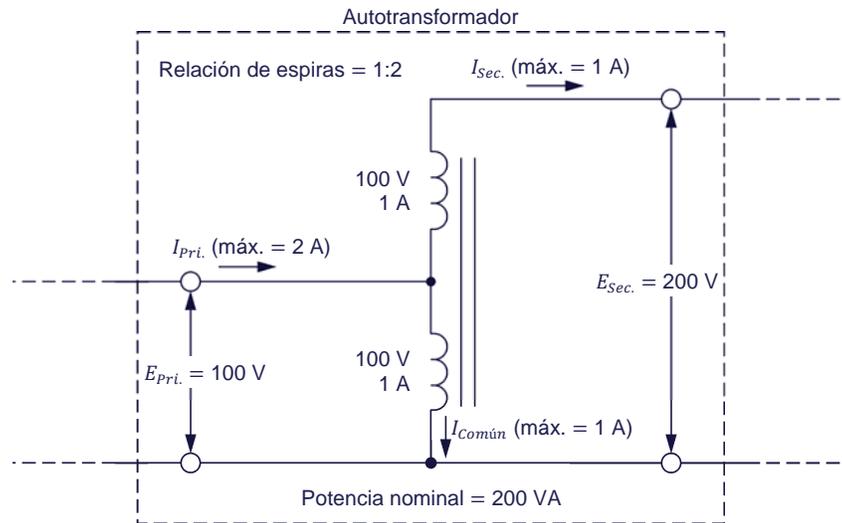
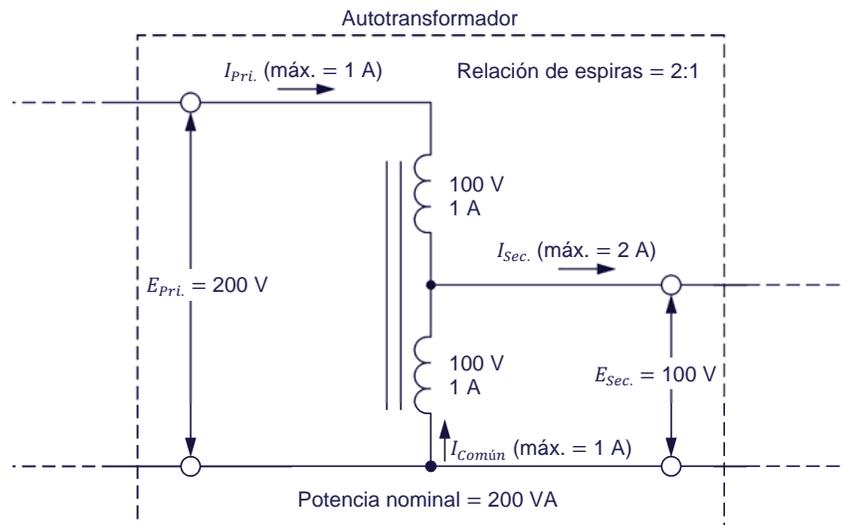


Figura 38. Transformador de potencia convencional con una potencia nominal de 100 VA.

Un autotransformador elevador o reductor puede construirse utilizando los arrollamientos primario y secundario del transformador de potencia convencional de la figura anterior. Esto se muestra en la figura 39.



(a) Autotransformador elevador



(b) Autotransformador reductor

Figura 39. Autotransformadores elevador y reductor contruidos utilizando el transformador de potencia convencional de la figura 38.

Como se puede observar en la figura 39, la potencia nominal de cada autotransformador es mayor (el doble en este caso en particular) que la del transformador de potencia convencional de la figura 38. Ésta es una ventaja que tienen todos los autotransformadores sobre los transformadores de potencia convencionales. Por tanto, para una potencia nominal dada, los autotransformadores son siempre más pequeños, más livianos y menos costosos que los transformadores convencionales. Sin embargo, los autotransformadores no proveen aislamiento eléctrico entre los arrollamientos primario y secundario.

La diferencia entre la potencia nominal de un transformador de potencia convencional y la de un autotransformador construido con los mismos arrollamientos depende de la relación de espiras del autotransformador. La potencia nominal de este último es dos veces mayor que la del transformador de potencia convencional cuando la relación de espiras del autotransformador es 2:1 o 1:2, como se demostró antes. Ambas relaciones de espiras permiten un aumento máximo de la potencia nominal del autotransformador. La diferencia entre la potencia nominal del autotransformador y la del transformador convencional disminuye cuando la relación de espiras del primero se aleja de los valores óptimos de 2 y 0,5 (relación de tensiones de 2:1 y 1:2, respectivamente). Esto se ilustra en la figura 40. Usando el transformador convencional con potencia nominal de 600 VA de la figura 40a, se puede construir un autotransformador con una relación de espiras de 1:3, como se ilustra en la figura 40b. Debido a que la relación de espiras del autotransformador resultante no es óptima, la potencia nominal del autotransformador no alcanza el doble de la potencia nominal del transformador convencional, es decir, la potencia nominal del autotransformador es sólo el 150% de la del segundo.

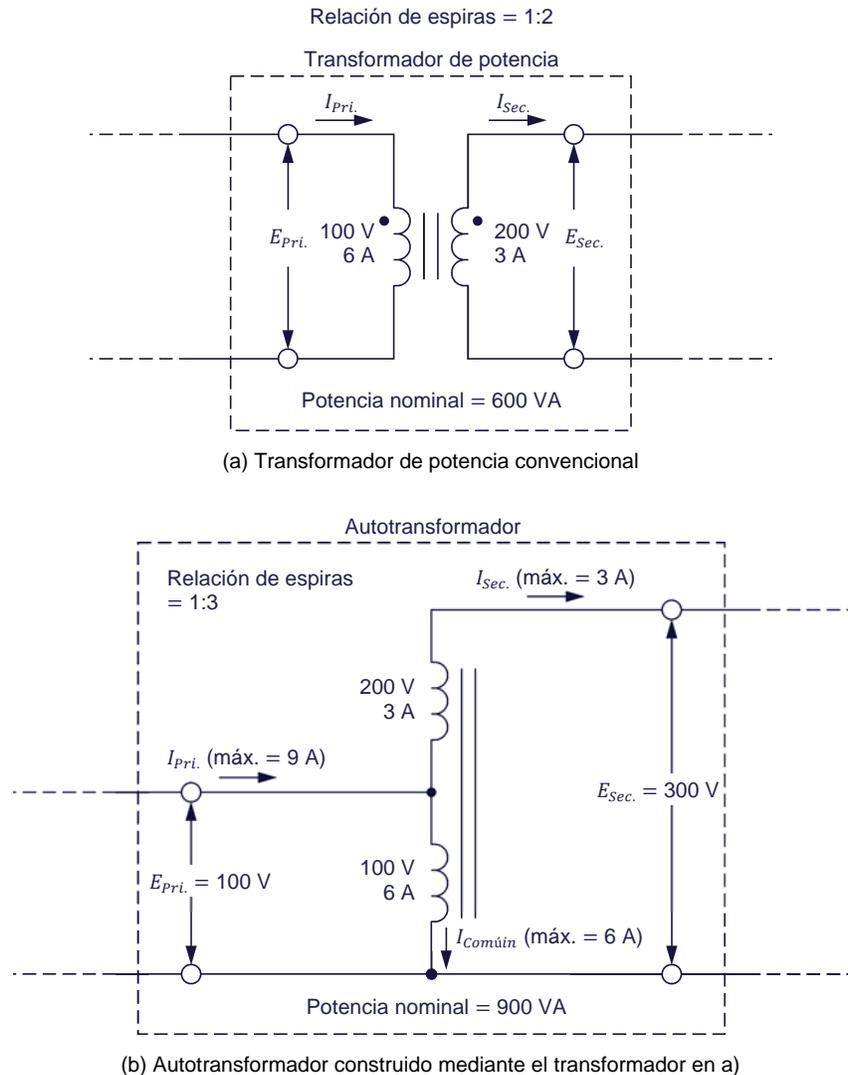


Figura 40. Autotransformador de 900 VA de potencia nominal construido utilizando un transformador de potencia convencional de 600 VA de potencia nominal.

RESUMEN DEL PROCEDIMIENTO

El Procedimiento está dividido en las siguientes secciones:

- Montaje y conexiones
- Operación de un autotransformador reductor
- Operación de un autotransformador elevador
- Comparación de la potencia nominal de un autotransformador con la de un transformador de potencia convencional de igual tamaño
- Efecto de la relación de espiras en la potencia nominal de los autotransformadores

PROCEDIMIENTO



En este ejercicio de laboratorio se trabaja con tensiones altas. No haga ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana con la alimentación encendida, a menos que se especifique lo contrario.

Montaje y conexiones

En esta sección, usted armará un circuito utilizando un autotransformador reductor conectado a una carga resistiva. Determinará la relación de espiras y la tensión secundaria del autotransformador cuando se aplica una tensión de 100 V en el primario. Luego, ajustará los medidores necesarios para estudiar la operación de los autotransformadores.

1. Consulte la tabla de utilización del equipo del Apéndice A con el fin de obtener la lista del material necesario para realizar este ejercicio.

Instale el equipo requerido en el [Puesto de trabajo](#).

2. Asegúrese de que el interruptor de alimentación principal del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) esté fijado en la posición O (apagado), luego enchufe la [Entrada de alimentación](#) en un tomacorriente ca mural.

Conecte la entrada de [Alimentación](#) de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) en la fuente de 24 V ca. Encienda esta fuente.

3. Conecte el puerto USB de la [Interfaz de adquisición de datos y control](#) a un puerto USB de la computadora.

Conecte el puerto USB del [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) a un puerto USB de la computadora.

4. Encienda el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#), luego fije el interruptor [Modo de operación](#) en [Fuente de alimentación](#). Este ajuste permite que el [Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes](#) opere como fuente de alimentación.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

5. Encienda la computadora, luego ejecute el software LVDAC-EMS.

En la ventana **Selector de módulos**, asegúrese de que la **Interfaz de adquisición de datos y control** y el **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes** estén detectados. Asegúrese de que la función **Instrumentación computarizada** para la **Interfaz de adquisición de datos y control** esté seleccionada. También, seleccione la tensión y la frecuencia que corresponden a las de la red ca local, luego haga clic en el botón **ACEPTAR** para cerrar la ventana **Selector de módulos**.

6. Conecte el equipo como se muestra en la figura 41. Observe que, en este circuito, los dos arrollamientos de 120 V – 1 A están configurados en serie aditiva para formar el único arrollamiento del autotransformador.

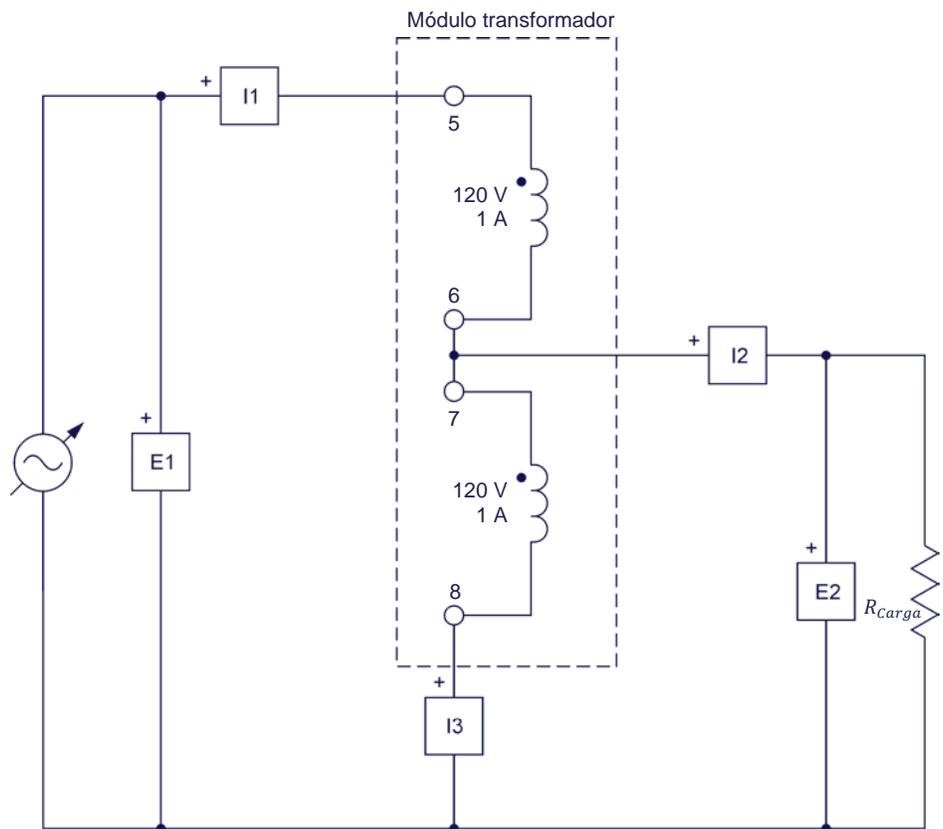


Figura 41. Autotransformador reductor conectado a una carga resistiva.

7. Configure los conmutadores de la **Carga resistiva** de modo que el valor de la resistencia de la carga sea infinito.

8. Determine la relación de espiras del autotransformador que acaba de montar, así como la tensión en el arrollamiento secundario cuando se aplica una tensión de 100 V en el primario.

Relación de espiras = _____

Tensión en el secundario (carga) $E_{Sec.}$ = _____ V



Cada uno de los dos arrollamientos de 24 V–5 A del transformador de potencia del módulo *Transformador* cuenta con 57 espiras. Por su parte, cada uno de los arrollamientos de 120 V–1 A cuenta con 285 espiras.

¿Sus cálculos confirman que el autotransformador está operando actualmente como reductor?

Sí No

9. En LVDAC-EMS, abra la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, luego haga los ajustes siguientes:
- Fije el parámetro *Función* en *Fuente de alimentación ca.*
 - Fije el parámetro *Tensión* en 100 V.
 - Fije el parámetro *Frecuencia* a la misma frecuencia de la red ca local.
10. En LVDAC-EMS, abra la ventana *Aparatos de medición*. Haga los ajustes necesarios para medir los valores rms (ca) de la tensión $E_{Pri.}$ y de la corriente $I_{Pri.}$ (entradas *E1* e *I1*, respectivamente) en el primario, así como de la tensión (carga) $E_{Sec.}$ y de la corriente $I_{Sec.}$ (entradas *E2* e *I2*, respectivamente) en el secundario y la corriente $I_{Común}$ (entrada *I3*) que circula en la porción más baja del arrollamiento del autotransformador.

Operación de un autotransformador reductor

En esta sección, usted encenderá la fuente de alimentación ca. Fijará la resistencia de la carga resistiva en 57 Ω. Luego, medirá las tensiones y las corrientes del autotransformador y analizará los resultados. Por último, determinará la tensión y corriente máximas en el secundario (carga) del autotransformador, así como su potencia nominal.

11. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, encienda la *Fuente de alimentación ca.* Ajuste el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$, del autotransformador, que aparece en la ventana *Aparatos de medición*, esté lo más cerca posible de 100 V.

En la ventana *Aparatos de medición*, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del autotransformador de modo que indique

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro *Corrección de la compensación cc* de modo que la corriente cc que circula en el arrollamiento primario del autotransformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, vuelva a ajustar el medidor que mide la corriente primaria del autotransformador de modo que indique valores de corriente ca.

12. En la **Carga resistiva**, disminuya la resistencia hasta 57 Ω . En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del autotransformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 100 V.



*Es posible que usted no pueda fijar la tensión primaria $E_{Pri.}$ del transformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición** en 100 V porque usted ha alcanzado el límite de la tensión del **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**. Si es así fije simplemente el parámetro *Tensión* con el valor más alto posible antes de proceder al paso siguiente.*

13. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{Pri.}$ y la corriente $I_{Pri.}$ en el primario, la tensión (carga) $E_{Sec.}$ y la corriente $I_{Sec.}$ en el secundario, así como la corriente $I_{Común}$ que circula en la porción más baja del arrollamiento del autotransformador. Anote los valores más abajo.

Tensión en el primario $E_{Pri.}$ = _____ V

Corriente en el primario $I_{Pri.}$ = _____ A

Tensión en el secundario (carga) $E_{Sec.}$ = _____ V

Corriente en el secundario (carga) $I_{Sec.}$ = _____ A

Corriente $I_{Común}$ = _____ A

14. La tensión secundaria (carga) $E_{Sec.}$ del autotransformador medida en el paso anterior, ¿es prácticamente igual a la calculada en el paso 8?

Sí No

La corriente secundaria (carga) $I_{Sec.}$ medida en el paso anterior, ¿es prácticamente igual a la suma de las corrientes ($I_{Pri.}$ e $I_{Común}$) que circulan en las dos porciones del arrollamiento del autotransformador?

Sí No

¿Sus mediciones confirman que el autotransformador está operando actualmente como reductor?

Sí No

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

15. Calcule los valores máximos de tensión $E_{Sec.}$ y de corriente $I_{Sec.}$ en el secundario (carga) para determinar la potencia nominal del autotransformador.

Tensión máxima en el secundario (carga) $E_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Corriente máxima en el secundario (carga) $I_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Potencia nominal = $\underline{\hspace{2cm}}$ VA

16. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la *Fuente de alimentación ca*.

Operación de un autotransformador elevador

En esta sección, usted armará un circuito utilizando un autotransformador elevador conectado a una carga resistiva. Determinará la relación de espiras y la tensión secundaria del autotransformador cuando se aplica una tensión de 50 V en el primario. Encenderá la fuente de alimentación ca. Luego, fijará la resistencia de la carga resistiva en 200 Ω . Medirá las tensiones y corrientes del autotransformador y analizará los resultados. Por último, determinará los valores máximos de tensión y de corriente en el secundario (carga) del autotransformador, así como su potencia nominal.

17. Conecte el equipo como se muestra en la figura 42.

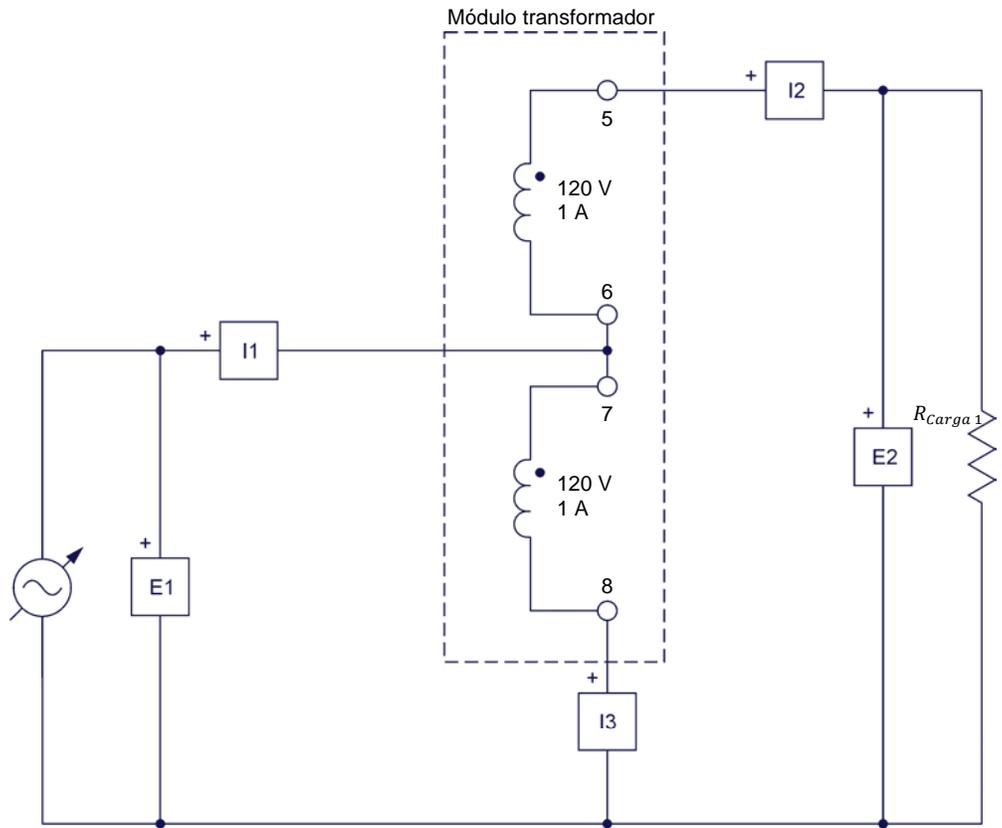


Figura 42. Autotransformador elevador conectado a una carga resistiva.

18. Configure los conmutadores de la **Carga resistiva** de modo que el valor de la resistencia de la carga sea infinito.

19. Determine la relación de espiras del autotransformador que acaba de montar, así como la tensión en el arrollamiento secundario cuando se aplica una tensión de 50 V en el primario.

Relación de espiras = _____

Tensión en el secundario (carga) $E_{Sec.} =$ _____ V

¿Sus cálculos confirman que el autotransformador está actualmente operando como elevador?

Sí No

20. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, fije el parámetro *Tensión* en 50 V, luego encienda la *Fuente de alimentación ca*. Vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del autotransformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 50 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del autotransformador de modo que indique valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro *Corrección de la compensación cc* de modo que la corriente cc que circula en el arrollamiento primario del autotransformador esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, vuelva a ajustar el medidor que mide la corriente primaria del autotransformador de modo que indique valores de corriente ca.

21. En la **Carga resistiva**, disminuya la resistencia hasta 200 Ω . En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del autotransformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 50 V.

22. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{Pri.}$ y la corriente $I_{Pri.}$ en el primario; la tensión (carga) $E_{Sec.}$ y la corriente $I_{Sec.}$ en el secundario, así como la corriente $I_{Común}$ que circula en la porción más baja del arrollamiento del autotransformador. Anote los valores a continuación.

Tensión en el primario $E_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Corriente en el primario $I_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Tensión en el secundario (carga) $E_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Corriente en el secundario (carga) $I_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Corriente $I_{Común} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

23. La tensión secundaria (carga) $E_{Sec.}$ del autotransformador medida en el paso anterior, ¿es prácticamente igual a la calculada en el paso 19?

Sí No

La corriente primaria $I_{Pri.}$ medida en el paso anterior, ¿es prácticamente igual a la suma de las corrientes ($I_{Sec.}$ e $I_{Común}$) que circulan en las dos porciones del arrollamiento del autotransformador?

Sí No

¿Sus mediciones confirman que el autotransformador está actualmente operando como elevador?

Sí No

24. Calcule los valores máximos de tensión $E_{Sec.}$ y corriente $I_{Sec.}$ en el secundario (carga) para determinar la potencia nominal del autotransformador.

Tensión máxima en el secundario (carga) $E_{Sec.} =$ _____ V

Corriente máxima en el secundario (carga) $I_{Sec.} =$ _____ A

Potencia nominal = _____ VA

25. En la ventana *Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes*, apague la *Fuente de alimentación ca*.

Comparación de la potencia nominal de un autotransformador con la de un transformador de potencia convencional de igual tamaño

En esta sección, usted calculará la potencia nominal de un transformador convencional construido utilizando los mismos arrollamientos del módulo Transformador que se han empleado para armar los autotransformadores reductor y elevador estudiados en las secciones anteriores. Luego, comparará la potencia nominal de esos autotransformadores con la del transformador de potencia convencional que se armó utilizando los mismos arrollamientos.

26. Determine cuál sería la potencia nominal de un transformador de potencia convencional de 120 V: 120 V construido con los mismos dos arrollamientos de 120 V – 1 A que los empleados para armar los autotransformadores reductor y elevador de la figura 41 y de la figura 42, respectivamente.

Potencia nominal = _____ VA

27. Compare las potencias nominales de los autotransformadores reductor y elevador calculadas en los pasos 15 y 24, respectivamente, con la potencia nominal del transformador convencional determinada en el paso anterior. ¿Qué conclusiones se pueden sacar?

¿Qué tamaño debería tener el transformador convencional de 120 V: 120 V para que su potencia nominal resulte similar a la de los autotransformadores utilizados en las secciones anteriores de este ejercicio? Explique brevemente las razones.

Efecto de la relación de espiras en la potencia nominal de los autotransformadores

En esta sección, usted armará un circuito utilizando un autotransformador elevador conectado a una carga resistiva. Determinará la relación de espiras de éste y la tensión secundaria (carga) cuando se aplica una tensión de 24 V en el primario. Encenderá la fuente de alimentación ca y fijará la resistencia de la carga resistiva en $257\ \Omega$. Luego, medirá las tensiones y las corrientes del autotransformador y analizará los resultados. Determinará la corriente secundaria (carga) máxima del autotransformador, así como su potencia nominal. Calculará la potencia de un transformador convencional construido utilizando los mismos arrollamientos empleados por el autotransformador. Confirmará que la potencia nominal de este último es todavía más alta que la del transformador convencional construido con los mismos arrollamientos. Por último, comparará el aumento de la potencia nominal para los autotransformadores con relaciones de espiras de 2:1, 1:2 y 1:6 con respecto a un transformador convencional construido utilizando los mismos arrollamientos.

28. Conecte el equipo como se muestra en la figura 43. Observe que la carga resistiva consiste en dos resistores (R_{Carga1} y R_{Carga2}) conectados en serie. Conecte dos bancos de resistores de la **Carga resistiva** en paralelo para implementar el resistor R_{Carga2} .

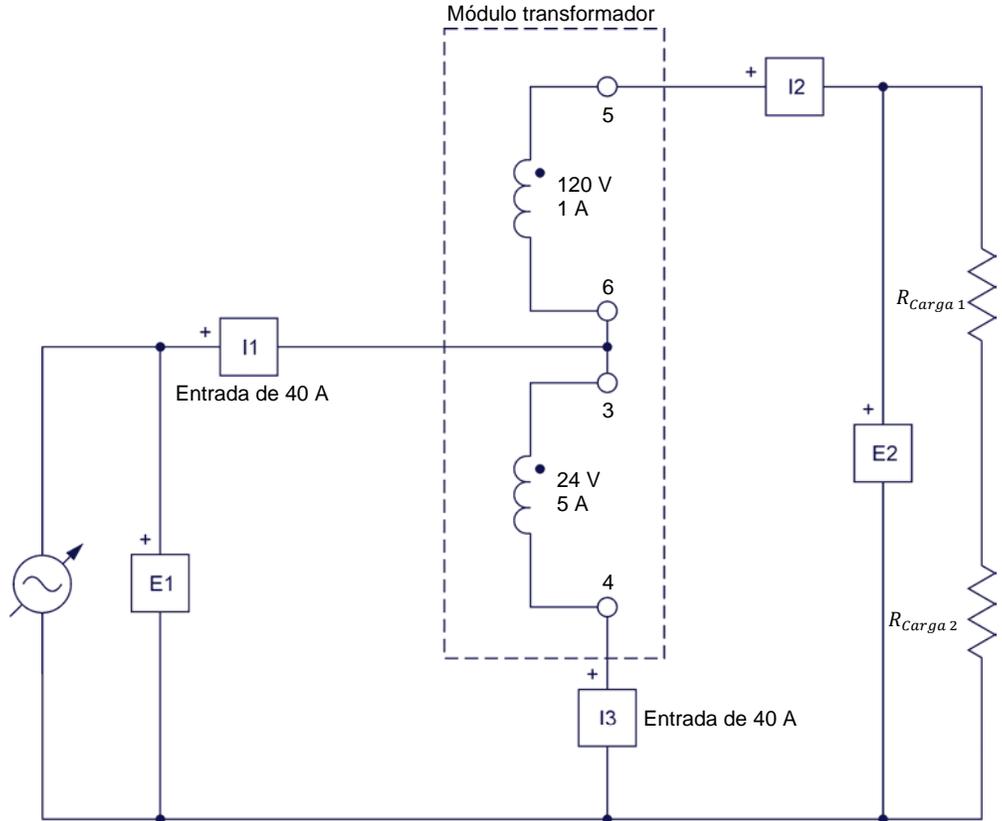


Figura 43. Autotransformador elevador conectado a dos cargas resistivas.

En LVDAC-EMS, fije el ajuste *Gama* de las entradas de corriente *I1* e *I3* en alta.

29. Configure los conmutadores de la **Carga resistiva** de modo que el valor de la resistencia de la carga sea infinito.
30. Determine la relación de espiras del autotransformador que acaba de montar, así como la tensión en el arrollamiento secundario cuando se aplica la tensión nominal de 24 V en el primario.

Relación de espiras = _____

Tensión secundaria (carga) $E_{Sec.} =$ _____ V

31. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, fije el parámetro *Tensión* en 24 V, luego encienda la *Fuente de alimentación ca*. Vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del autotransformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 24 V.

En la ventana **Aparatos de medición**, ajuste temporalmente el medidor que mide la corriente primaria del autotransformador de modo que indique valores de corriente cc. Luego, en la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, ajuste el parámetro *Corrección de la compensación cc* de modo que la corriente cc que circula en el arrollamiento este esté lo más cerca posible de 0 A. Hecho esto, vuelva a ajustar el medidor que mide la corriente primaria del autotransformador de modo que indique valores de corriente ca.

32. En la **Carga resistiva**, fije los valores de las resistencias $R_{Carga 1}$ y $R_{Carga 2}$ en 171 Ω y en 86 Ω , respectivamente. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, vuelva a ajustar el parámetro *Tensión* de modo que la tensión primaria $E_{Pri.}$ del autotransformador, que aparece en la ventana **Aparatos de medición**, esté lo más cerca posible de 24 V.

33. En la ventana **Aparatos de medición**, mida la tensión $E_{Pri.}$ y la corriente $I_{Pri.}$ en el primario; la tensión (carga) $E_{Sec.}$ y la corriente $I_{Sec.}$ en el secundario, así como la corriente $I_{Común}$ que circula en la porción más baja del arrollamiento del autotransformador. Anote los valores más abajo.

Tensión en el primario $E_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Corriente en el primario $I_{Pri.} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Tensión en el secundario (carga) $E_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}}$ V

Corriente en el secundario (carga) $I_{Sec.} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

Corriente $I_{Común} = \underline{\hspace{2cm}}$ A

34. La tensión secundaria (carga) $E_{Sec.}$ del autotransformador medida en el paso anterior, ¿es prácticamente igual a la calculada en el paso 30?

Sí No

La corriente primaria $I_{Pri.}$ medida en el paso anterior, ¿es prácticamente igual a la suma de las corrientes ($I_{Sec.}$ e $I_{Común}$) que circulan en las dos porciones del arrollamiento del autotransformador?

Sí No

35. Determine la corriente secundaria (carga) I_{Sec} . máxima que este autotransformador puede suministrar, así como su potencia nominal resultante.

Corriente en el secundario máxima (carga) I_{Sec} . = _____ A

Potencia nominal = _____ VA

36. En la ventana **Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes**, apague la *Fuente de alimentación ca*.

37. Determine cuál sería la potencia nominal de un transformador convencional de 24 V: 120 V o 120 V: 24 V construido con los mismos dos arrollamientos que los empleados para armar el autotransformador elevador de la figura 43.

Potencia nominal = _____ VA

38. Compare la potencia nominal del autotransformador elevador calculada en el paso 35 con la determinada en el paso anterior.

La potencia nominal del autotransformador, ¿es aún más alta que la del transformador convencional construido con los mismos arrollamientos?

Sí No

39. Compare el aumento de la potencia nominal obtenida utilizando el autotransformador con una relación de espiras de 1:6 con la lograda empleando los autotransformadores con relaciones de espiras de 2:1 y 1:2. ¿Qué conclusiones puede sacar?

40. Cierre **LVDAC-EMS** y apague todo el equipo. Desconecte todos los conductores y guárdelos en su lugar de almacenaje.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, aprendió qué es un autotransformador y cómo conectarlo para que opere como elevador o como reductor. Además, estudió cómo determinar las tensiones y corrientes del primario y secundario de un autotransformador. También comparó la potencia nominal de un autotransformador con la de un transformador convencional de tamaño similar.

Property of Festo Didactic

Sale and/or reproduction forbidden

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. ¿Cuál es la principal diferencia entre los transformadores de potencia convencionales y los autotransformadores?

2. ¿Cuál es la principal ventaja de los autotransformadores sobre los transformadores de potencia convencionales? Explique brevemente.

3. ¿Cuál es la principal desventaja de los autotransformadores en comparación con los transformadores de potencia convencionales?

4. Considere el autotransformador elevador de la siguiente figura.

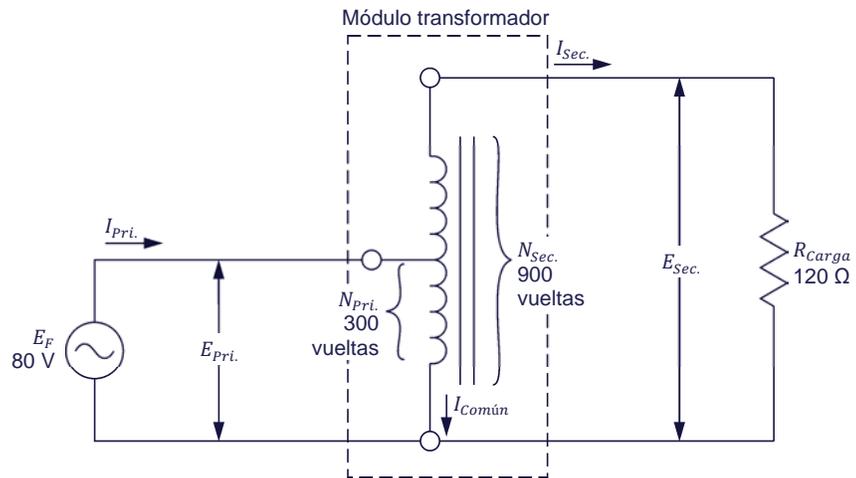


Figura 44. Autotransformador elevador.

Conociendo que este autotransformador tiene 300 vueltas o espiras de alambre en el arrollamiento primario y 900 vueltas de alambre en el arrollamiento secundario, calcule el valor de la corriente $I_{Común}$ que fluye en la parte inferior del arrollamiento del autotransformador.

5. ¿Cuáles son las dos relaciones de espiras que maximizan el aumento de la potencia nominal de un autotransformador en comparación con un transformador convencional construido con los mismos arrollamientos? Explique brevemente.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Tabla de utilización del equipo

El siguiente equipo es necesario para realizar los ejercicios en este manual.

Equipo							
Modelo	Descripción	1	2	3	4	5	6
8134 ⁽¹⁾	Puesto de trabajo	1	1	1	1	1	1
8216 ⁽²⁾	Alternador/Controlador de aerogenerador	1					
8311 ⁽³⁾	Carga resistiva	1	1	1	1	2 ⁽⁴⁾	1
8353	Transformador	1	1	1	1	1	1
8946-2	Multímetro	1					
8951-L	Cables de conexión	1	1	1	1	1	1
8960-C ⁽⁵⁾	Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	1	1	1	1	1	1
8990	Computadora	1	1	1	1	1	1
9063-B ⁽⁶⁾	Interfaz de adquisición de datos y de control	1	1	1	1	1	1
30004-2	Fuente de alimentación ca de 24 V	1	1	1	1	1	1

⁽¹⁾ También es posible utilizar el Puesto de trabajo modelo 8110.
⁽²⁾ Este modelo es opcional.
⁽³⁾ Unidad carga resistiva con baja tensión nominal (120 V). Utilice las variantes del modelo -00, -01, -02, o -A0.
⁽⁴⁾ La segunda Carga resistiva es opcional ya que sólo se requiere para realizar una sección opcional de este ejercicio.
⁽⁵⁾ El modelo 8960-C consta del Dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, modelo 8960-2, con las funciones 8968-1 y 8968-2.
⁽⁶⁾ El modelo 9063-B consta de la Interfaz de adquisición de datos y de control, modelo 9063, con la función 9069-1.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Glosario de términos nuevos

armónicos	Los armónicos de una forma de onda son los componentes de frecuencia de la señal. La frecuencia de cada armónico es un múltiplo de la frecuencia fundamental. Los armónicos resultan perjudiciales en las redes de potencia ca porque pueden afectar la operación de los demás equipos conectados a la red. Además, los armónicos disminuyen el factor de potencia de la red y, por tanto, su rendimiento.
arrollamiento primario	El arrollamiento primario de un transformador de potencia es el arrollamiento al que se conecta la fuente de alimentación ca.
arrollamiento secundario	El arrollamiento secundario de un transformador de potencia es el arrollamiento que está conectado a una carga y que le suministra potencia a ésta.
autotransformador	Un autotransformador es un tipo especial de transformador en el que un solo arrollamiento sirve de arrollamiento primario y secundario, en vez de tener dos arrollamientos separados como los transformadores de potencia convencionales. Debido a ello, los autotransformadores son más pequeños, más livianos y menos costosos que los transformadores convencionales de la misma potencia nominal. Los autotransformadores, sin embargo, no proveen aislamiento eléctrico entre los arrollamientos.
corriente de excitación	Ver corriente de magnetización.
corriente de magnetización	La corriente de magnetización (o corriente de excitación) de un transformador de potencia corresponde a la corriente que produce el campo magnético necesario para la operación del transformador. La corriente de magnetización fluye en el arrollamiento primario del transformador al aplicar una tensión al arrollamiento primario, sin importar si el transformador está conectado a una carga o no. La corriente de magnetización se representa generalmente por el símbolo I_0 .
pérdidas en el cobre	Las pérdidas en el cobre de un autotransformador son las pérdidas de potencia que se producen en los arrollamientos (en general fabricados de cobre) del transformador. Estas pérdidas se disipan en forma de calor.
pérdidas en el hierro	Las pérdidas en el hierro de un transformador de potencia son las pérdidas de potencia que se producen en el núcleo de hierro del transformador. Estas pérdidas están compuestas principalmente por las pérdidas debidas a la histéresis y a las corrientes de Foucault. La mayor parte de ellas se disipa en forma de calor.

polaridad	La polaridad de un arrollamiento de un transformador de potencia se refiere a la polaridad de la tensión en uno de sus extremos con respecto a la tensión en el opuesto, en un instante dado. En realidad esto toma relevancia cuando se trata de la polaridad de un arrollamiento en relación con otros. Cuando un extremo de uno de los dos arrollamientos de un transformador tiene la misma polaridad que uno de los extremos del otro significa que la polaridad de la tensión en esos extremos es la misma para ambos. En este caso, las tensiones ca a través de los arrollamientos están en fase. Inversamente, cuando un extremo de uno de los dos arrollamientos tiene polaridad opuesta con respecto a uno de los extremos del otro significa que la polaridad de la tensión de esos extremos es opuesta en ambos. En este caso, las tensiones ca en dichos arrollamientos están desfasadas 180°. La polaridad de los arrollamientos de un transformador es especialmente importante cuando se deben conectar en serie o en paralelo.
regulación de tensión	La regulación de tensión de un transformador de potencia expresa su capacidad para mantener constante la tensión de la carga ($E_{Sec.}$) cuando la corriente de dicha carga ($I_{Sec.}$) varía. Hay dos maneras de definir la regulación de tensión: descendente y ascendente. La primera es la que más se utiliza en los transformadores de potencia y se caracteriza porque indica la variación de tensión en la carga al aumentar la corriente de la misma.
relación de corrientes	La relación de corrientes de un transformador de potencia representa la proporción entre las corrientes de los arrollamientos primario ($I_{Pri.}$) y secundario ($I_{Sec.}$) del transformador. La relación de corrientes de un transformador de potencia es inversamente proporcional a su relación de espiras.
relación de espiras	La relación de espiras de un transformador de potencia es la razón entre el número de espiras o vueltas de alambre del arrollamiento primario ($N_{Pri.}$) y del arrollamiento secundario ($N_{Sec.}$) del transformador. La relación de espiras de un transformador de potencia determina las relaciones de tensiones y corrientes del transformador.
relación de tensiones	La relación de tensiones de un transformador de potencia representa la proporción entre la tensión del arrollamiento primario ($E_{Pri.}$) y la del arrollamiento secundario ($E_{Sec.}$) del transformador. La relación de tensiones de un transformador de potencia es directamente proporcional a su relación de espiras.
rendimiento	El rendimiento η de un transformador de potencia es una medida de su capacidad para transferir potencia de la fuente de alimentación ca a la carga con pérdidas de potencia mínimas. El rendimiento de un transformador expresa entonces el porcentaje de la potencia que suministra la fuente de alimentación ca al transformador y que se entrega realmente a la carga conectada al transformador.
transformador elevador	Un transformador elevador es un transformador cuya tensión en el arrollamiento secundario es mayor que la del arrollamiento primario. Inversamente, la corriente en el arrollamiento secundario del transformador elevador es menor que la del arrollamiento primario.

**transformador
reductor**

Un transformador reductor es un transformador cuya tensión en el arrollamiento secundario es menor que la tensión a través del arrollamiento primario. Inversamente, la corriente que fluye en el arrollamiento secundario de un transformador reductor es mayor que la corriente en el arrollamiento primario.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

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 45 muestra los elementos de carga y sus conexiones. Se pueden utilizar otras combinaciones en paralelo para obtener los mismos valores de impedancia listados.

Tabla 1. Tabla de impedancia para los módulos de carga.

Impedancia (Ω)			Posición de los interruptores								
120 V 60 Hz	220/230 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									

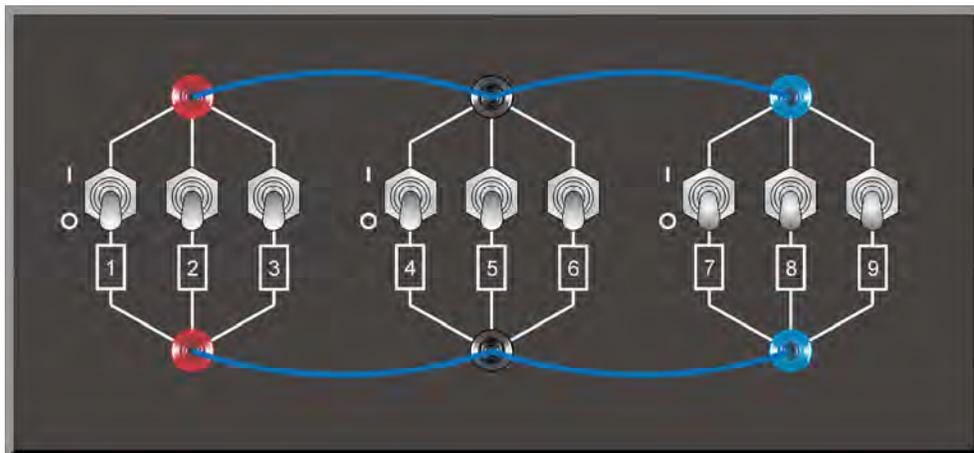


Figura 45. Ubicación de los elementos de carga en la Carga resistiva, Carga inductiva y Carga capacitiva, modelos 8311, 8321 y 8331, respectivamente.

Armónicos

Introducción a los armónicos

La componente fundamental de una señal periódica es una onda sinusoidal cuya frecuencia es igual a la frecuencia de la señal periódica.

Es posible demostrar que toda señal periódica no sinusoidal consiste en un número infinito de componentes de onda sinusoidal, cuya frecuencia es igual a un múltiplo entero de la frecuencia de la componente fundamental. Las componentes sinusoidales se denominan armónicos y se identifican por medio de múltiplos de la componente fundamental.

Por ejemplo, considere la forma de onda de corriente distorsionada de la figura 46.

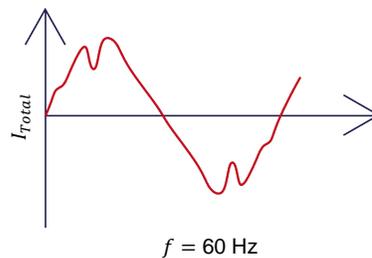


Figura 46. Forma de onda de corriente distorsionada.

Aunque la forma de onda de corriente de la figura 46 no es sinusoidal, es posible reproducirla usando sólo formas de onda sinusoidales. Esta forma de onda de corriente se puede descomponer en los armónicos indicados en la figura 47.

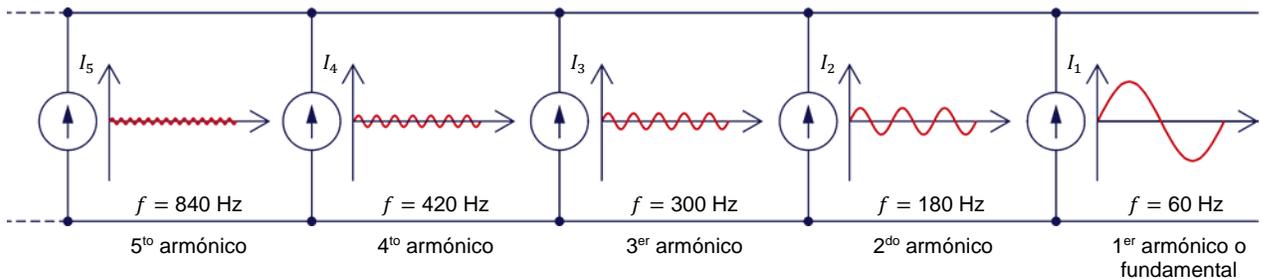


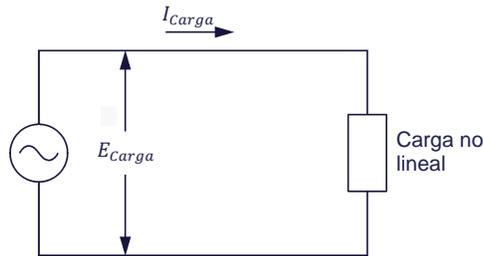
Figura 47. Descomposición en armónicos de la forma de onda de corriente distorsionada de la figura 46.

A primera vista, no se gana mucho al cambiar una fuente de corriente no sinusoidal por muchas fuentes sinusoidales. Sin embargo, la ventaja de esto radica en el hecho que permite analizar circuitos muy complejos, dado que es mucho más fácil analizar dichos circuitos con señales sinusoidales que con señales distorsionadas. Además, las señales de alta frecuencia se pueden obviar al solucionar circuitos en la práctica.

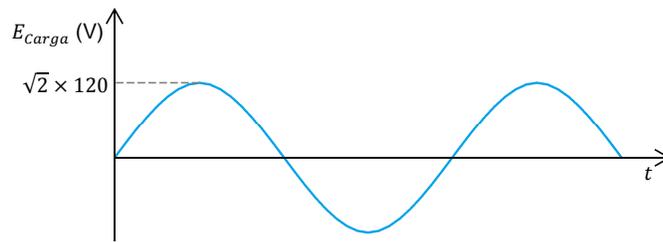
La amplitud de los armónicos de cualquier señal periódica no sinusoidal puede determinarse usando instrumentos como el Analizador de armónicos del software LVDAC-EMS.

Efecto de los armónicos en el factor de potencia

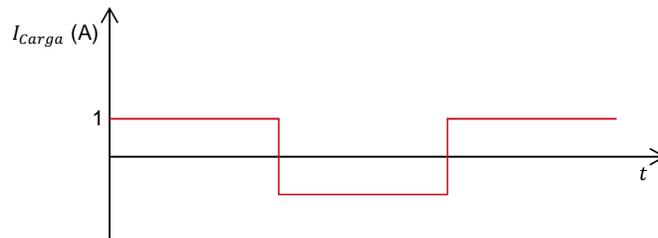
Considere una fuente de tensión sinusoidal que opera a una frecuencia de 60 Hz y suministra una corriente de onda cuadrada a una carga no lineal, como se ilustra en la figura 48. La forma de onda sinusoidal de la tensión en la carga se muestra en la figura 48b, mientras que la onda cuadrada de la corriente de carga aparece en la figura 48c. La figura 48d ilustra la forma de onda resultante de la potencia suministrada a la carga ($E_{carga} \times I_{carga}$). Al determinar el factor de potencia FP del circuito, es posible demostrar que los armónicos de la forma de onda de corriente limitan el factor de potencia a un valor menor que la unidad.



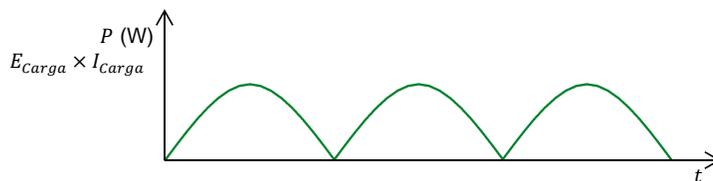
(a) Fuente de alimentación ca conectada a una carga no lineal



(b) Onda sinusoidal de tensión en la carga no lineal



(c) Onda cuadrada de corriente en la carga no lineal



(d) Forma de onda resultante de la potencia suministrada a la carga no lineal

Figura 48. Determinación del factor de potencia de un circuito que contiene armónicos.

Para determinar el factor de potencia FP , es necesario calcular las potencias activa P y aparente S suministradas a la carga. La potencia activa P es el valor promedio del producto de los valores instantáneos de la corriente I_{carga} y la tensión E_{carga} a través de la carga. La siguiente ecuación representa este producto:

$$P = \frac{2}{\pi} \times \sqrt{2} \times E_{carga} \times I_{carga}$$

$$P = \frac{2}{\pi} \times \sqrt{2} \times 120 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 108 \text{ W}$$



El valor promedio de una onda sinusoidal rectificadora se expresa por $(2/\pi) \times A$, donde A es la amplitud de la señal.

La potencia aparente S suministrada a la carga es el producto de los valores rms de la tensión E_{carga} y la corriente I_{carga} . La potencia aparente S se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$S = E_{carga} \times I_{carga}$$

$$S = 120 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 120 \text{ VA}$$

El factor de potencia FP se expresa como la razón de la potencia activa P a la potencia aparente S :

$$FP = \frac{P}{S}$$

$$FP = \frac{108 \text{ W}}{120 \text{ VA}} = 0,90$$

El factor de potencia calculado es menor que la unidad, incluso si las formas de onda de tensión y corriente están en fase. Esto se debe a la presencia de armónicos en la forma de onda de corriente y demuestra claramente que la existencia de esos armónicos reduce el factor de potencia de un circuito.

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Índice de términos nuevos



Los números de página en negrilla indican la entrada principal. Remítase al Glosario de términos nuevos para la definición de los términos nuevos.

armónicos.....	64
arrollamiento primario	1, 2, 3, 5, 6, 7, 23, 26, 28, 29, 48, 59, 100, 101
arrollamiento secundario.....	1, 2, 5, 7, 28, 47, 48, 49, 50, 59, 100
autotransformador.....	1, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105
corriente de excitación	7, 48
corriente de magnetización.....	48, 61, 62, 64, 65, 82
pérdidas en el cobre.....	47, 48, 49, 60
pérdidas en el hierro	48, 49
polaridad	1, 23, 24, 25, 26, 28, 29
regulación de tensión.....	1, 47, 50, 51
relación de corrientes.....	5, 8, 100
relación de espiras.....	3, 4, 5, 7, 48, 100, 101, 102, 103, 105
relación de tensiones	3, 5, 7, 26, 28, 100, 101, 105
rendimiento	1, 5, 47, 49, 50, 59, 64, 65
transformador elevador	5, 7, 26, 28, 99
transformador reductor	5, 7

Property of Festo Didactic
Sale and/or reproduction forbidden

Bibliografía

Boylestad, Robert L., *Introductory Circuit Analysis*, 11.^a edición, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006, ISBN 978-0131730441.

Wildi, Theodore, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 6.^a edición, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005, ISBN 978-0131776913.