Transformadores Trifásicos

# Introducción

El uso de transformadores en conexión trifásica en Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) es de primera importancia, pues prácticamente toda la energía eléctrica es generada y transmitida por intermedio de líneas de transmisión trifásicas, donde regularmente es necesario elevar y disminuir varias veces la tensión entre los generadores y las cargas.

Los transformadores en conexión trifásica pueden estar constituidos por bancos de unidades monofásicas, sin uniones magnéticas entre ellos, o bien por transformadores trifásicos, con un núcleo en el cual las tres fases están interconectadas magnéticamente. El empleo de una u otra configuración depende de las consideraciones técnico/económicas que se asuman en el conjunto. Según la conexión empleada, el comportamiento magnético armónico resultante introducirá problemas que es necesario considerar en los diseños.

En esta experiencia se trabajará con un banco trifásico compuesto de transformadores monofásicos (banco de transformadores monofásicos) que resulta ser una aplicación típica en subestaciones de potencia, en particular en los sistemas de transmisión. Se ensayarán diversas conexiones del banco YY, Y∆, ∆Y o ∆∆, para visualizar en particular el efecto de éstas en los desfases y en el contenido armónico de voltajes y corrientes.

## Polaridad

La inducción electromagnética en el enrollado secundario posee una fase o polaridad con respecto a la tensión de alimentación primaria. La designación de los bornes debe considerar dichos aspectos para la posterior utilización de este dispositivo en el conjunto de un sistema eléctrico.

Para reforzar experimentalmente este concepto, en el laboratorio se trabajará con transformadores que poseen 2 bobinas de 110 V, 4,6 A y 1 bobina de 110 V, 9,2 A; las primeras pueden conectarse en serie o paralelo (cuidando la polaridad) permitiendo obtener un transformador de 220/110V, 1 KVA, o bien uno de 110/110 V, 1 KVA. (Figura 1).

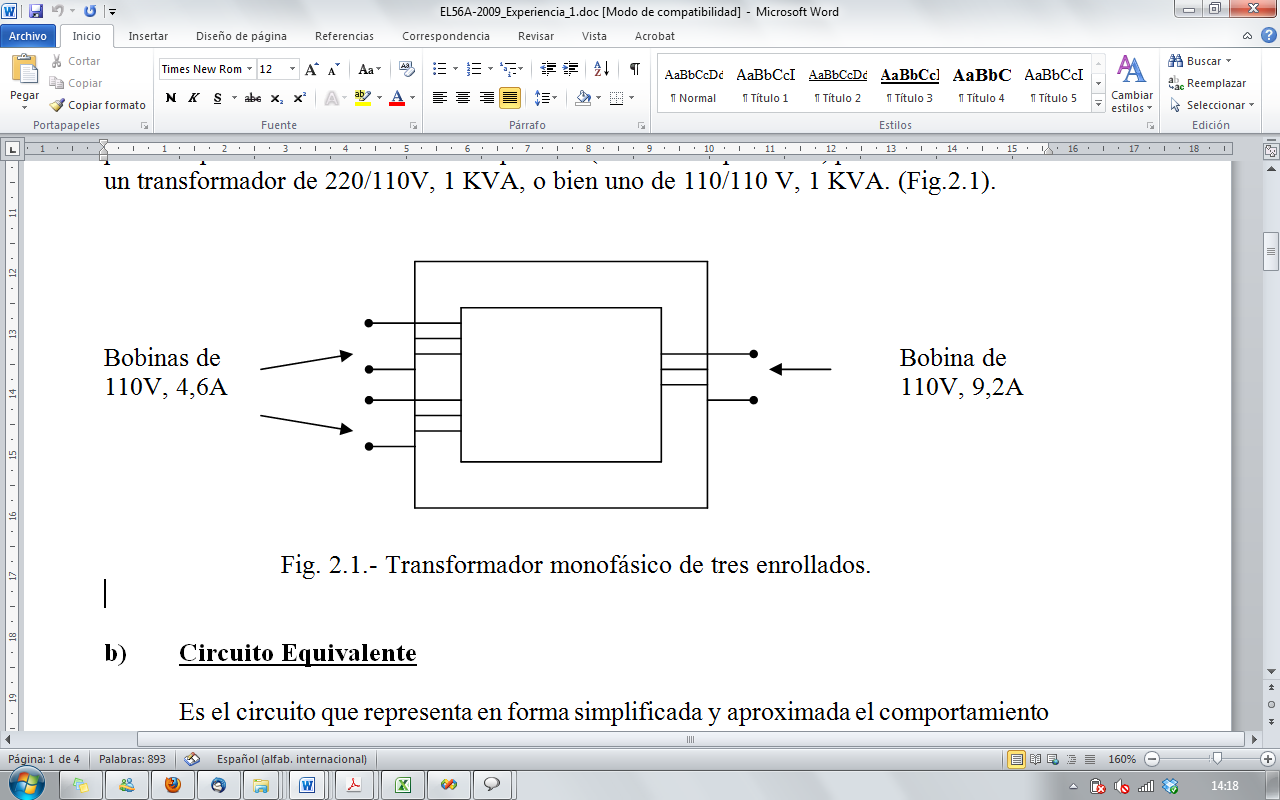


Figura : Esquemático transformador monofásico de prueba

## Circuito Equivalente

Es el circuito que representa en forma aproximada el comportamiento electromagnético del transformador. Este toma en cuenta, por ejemplo, la resistencia de los enrollados, la existencia de un enlace magnético, la necesidad de una corriente de excitación para producir el flujo y que hay histéresis y pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo. En el laboratorio se determinarán experimentalmente los parámetros del circuito equivalente y su variación con las condiciones de operación, en particular la variación de la reactancia de magnetización (por efecto de la saturación magnética).

## Regulación

En el transformador se modifica la magnitud secundaria de tensión cuando ocurren variaciones de carga, produciéndose la llamada “regulación de tensión” del transformador. En el laboratorio se determinarán los valores de regulación para cargas resistivas, inductivas y capacitivas.

## Eficiencia

La eficiencia del transformador, como para toda máquina, es la relación entre las potencias de salida y de entrada. Su valor se puede obtener con medidas simultáneas de ambas potencias o bien, como es usual en transformadores de grandes potencias, se pueden determinar directamente las pérdidas de potencia para evaluar así la eficiencia. En este caso, se determinará mediante lecturas de potencias de entrada y salida y se estimarán las pérdidas en enrollados y en el núcleo.

# Objetivos

Los objetivos más importantes en el desarrollo de esta experiencia son:

* + Comprender el comportamiento de los transformadores trifásicos como componente de los SEP. En particular entender cómo influyen sus características y tipos de conexión en los desplazamientos de fases y armónicas de voltajes y corrientes, con cargas trifásicas equilibradas.
  + Verificar los desbalances de corrientes que se producen en bancos trifásicos de transformadores con carga desequilibrada (por ejemplo, cargas monofásicas en transformadores trifásicos).
  + Determinar los parámetros circuitales del banco trifásico de transformadores, mediante pruebas de cortocircuito y de vacío realizadas al banco completo, considerándolo como un equipo trifásico.
  + Utilizar un trasformador trifásico con conexión de terciario y entender su contribución a la eliminación de armónicas no deseadas.

# Actividades

Los transformadores monofásicos a usar tienen 3 enrollados de voltajes nominales 110/110/110 Volts y corrientes nominales 9,2/4,6/4,6 A (ver Figura 1). Se dispondrá de una red de 220 Volts entre fases y como instrumento principal un multímetro tipo "tenaza".



Figura : Banco trifásico de transformadores Yyd, 110/110/110V

Se efectuará un primer conjunto de pruebas para un banco conexión Yy, que se formará utilizando sólo 2 enrollados de cada transformador, uno como primario y el otro como secundario (el tercer enrollado, para esta parte, queda libre). Se recomienda usar como primario el enrollado de 9,2 A de cada transformador y como secundario, uno de los enrollados de 4,6 A de cada transformador.

Luego, se efectuará un segundo conjunto de pruebas y mediciones agregando la conexión en delta de los terceros enrollados (de 4,6 A nominales), formándose un banco Yy#d#.

## Reconocimiento del equipamiento

Identifique los bornes de las bobinas del transformador. Determine, basado en los datos de placa del transformador, las magnitudes de corriente y tensión para las conexiones serie, paralelo o individual de las diversas bobinas.

## Prueba de polaridad y de aislación

Determine la polaridad (aditiva o sustractiva) de los enrollados con el método de C.C.

Mediante un megóhmetro, mida las resistencias de aislación entre primario y secundario; y entre cada uno de los enrollados y el núcleo del transformador.

## Obtención de parámetros

Forme un banco trifásico compuesto de unidades monofásicas (cada una de 110/110V) en conexión Yy0 ó Yy6. Sea cuidadoso en la alimentación utilizada, determine de qué manera se puede obtener una conexión estrella en el primario con los implementos disponibles en el laboratorio. Identifique el efecto de su conexión en la saturación del núcleo.

Realice las pruebas necesarias para determinar los parámetros de la rama de magnetización y de la rama serie del circuito equivalente correspondiente, considerando al banco como una unidad trifásica. Realice estas pruebas midiendo las variables en cada uno de los enrollados de los transformadores.

Además, obtenga los parámetros de un solo transformador monofásico para luego comparar con la obtención de los parámetros considerando al banco como unidad trifásica.

## Formas de onda de corriente

Investigue en vacío la forma de onda (utilizando el analizador de espectros), tanto de la corriente de fase, como de la corriente del neutro para dos condiciones:

* + Con neutro de la estrella primaria levantado
  + Con neutro de la estrella primaria conectado

## Contenido armónico en la corriente de línea

Con conexión del neutro entre el banco y la red y con carga trifásica resistiva equilibrada (partiendo desde la condición sin carga) mida la magnitud de las corriente de línea, de las tensiones Fase-Fase y Fase-Neutro en primario y secundario y su respectivo contenido armónico (3º,5º y 7º armónica y THD).

## Comportamiento con carga desequilibrada

Desconecte dos cargas del circuito anterior (para obtener así una carga desequilibrada monofásica) y mida la magnitud de las corrientes y tensiones Fase-Fase y Fase-Neutro en primario y secundario y su respectivo contenido armónico (3º,5º y 7º armónica y THD).

## Efecto de la conexión del enrollado terciario

Conecte el tercer enrollado de los trasformadores en conexión delta sin carga. Con conexión del neutro de la estrella primaria a la red y con carga trifásica resistiva equilibrada (partiendo desde la condición sin carga), mida la magnitud de las corriente de línea, de las tensiones Fase-Fase y Fase-Neutro en primario, secundario y terciario (según corresponda) y su respectivo contenido armónico (3º,5º y 7º armónica y THD).

## Obtención del grupo de conexión

Teniendo en cuenta la conexión que ud. realizó, efectuar medidas para comprobar el grupo de conexión entre la estrella primaria y la delta terciaria.

## Prueba con Carga

Con el tercer enrollado conectado en delta, efectúe la prueba con carga del transformador. Conecte cargas resistivas, inductivas y capacitivas. Mida corrientes, tensiones y potencias en ambos lados del transformador. Realice una conexión de 220/110 [V] y alimente con tensión nominal en AT.

# ADVERTENCIAS

* + La gran cantidad de cables e instrumentos que requiere esta experiencia hacen recomendable poner especial cuidado en el ordenamiento de los implementos de trabajo para evitar errores y accidentes.
  + Para observar las formas de onda es útil llevar una cámara fotográfica.
  + Las mediciones de armónicas de voltaje y corriente y de las respectivas distorsiones armónicas totales (THD-V y THD-I) se harán con una tenaza digital que permite dichas mediciones o con un analizador de espectros.
  + Para las mediciones de potencia, dado los rangos de potencias trifásicas a medir y los instrumentos disponibles en el laboratorio, será necesario emplear el método de los 2 wáttmetros (revisar cómo se aplica este método, considerando los medidores fasoriales de tenaza que se utilizan en el laboratorio, antes de realizar esta experiencia).

# Referencias

1. E-E- Staff – MIT: “Circuitos Magnéticos y transformadores”. Reverté 1965.
2. M. Kostenko y L. Piotrovsky: “Máquinas Eléctricas”. Tomo II. Montaner, 1968.
3. Thaler y Wilcox: “Máquinas Eléctricas”. Limusa – Wiley, 1969.
4. “Transformadores”, Publicación C/4: Departamento de Ingeniería Eléctrica, U. de Chile, 1983
5. W. Brokering, R. Palma, L. Vargas: “Ñom Lüfke o El Rayo Domado, Los Sistemas Eléctricos de Potencia”, Prentice Hall, 2008.