

UNIVERSIDAD VERACRUZANA



FACULTAD DE INGENIERIA ZONA VERACRUZ

MANUAL DE PRÁCTICAS

LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

EXPERIENCIA EDUCATIVA TRANSFORMADORES Y SUBESTACIONES

PROGRAMA EDUCATIVO INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Autores:

Mtro. Tomas Hernández Figueroa

Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Ing. Agustín Herrera Monrreal

Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Mtro. Armando Campos Domínguez.

Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Mtro. Josué Domínguez Márquez

Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Ing. Manuel Chiñas Carrasco

Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Ing. Héctor Sadot del Ángel Zumaya

Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Versión revisada por:

Coordinador de Laboratorios:

M.C. Luis Héctor Porrugas Beltrán

ENERO 2009

PREFACIO

El presente trabajo proporciona a los estudiantes de la carrera de ingeniero mecánico-eléctrico del sexto semestre una fuente conveniente de información técnica y práctica relacionada, básica para una mejor comprensión de funcionamiento, instalación, teoría y mantenimiento del Transformador y Subestaciones.

El presente trabajo contiene prácticas que tratan de los conocimientos prácticos y aplicación del Transformador, escritas en un lenguaje de fácil comprensión. Cada práctica abarca un corto tema, conciso, con una guía detallada y pasos a seguir para mayor efectividad del aprendizaje.

Estas prácticas tienen seguimiento y congruencia con la parte teórica vista en el salón de clases (por el catedrático de la materia) para darle una mayor visión y panorámica de los temas vistos.

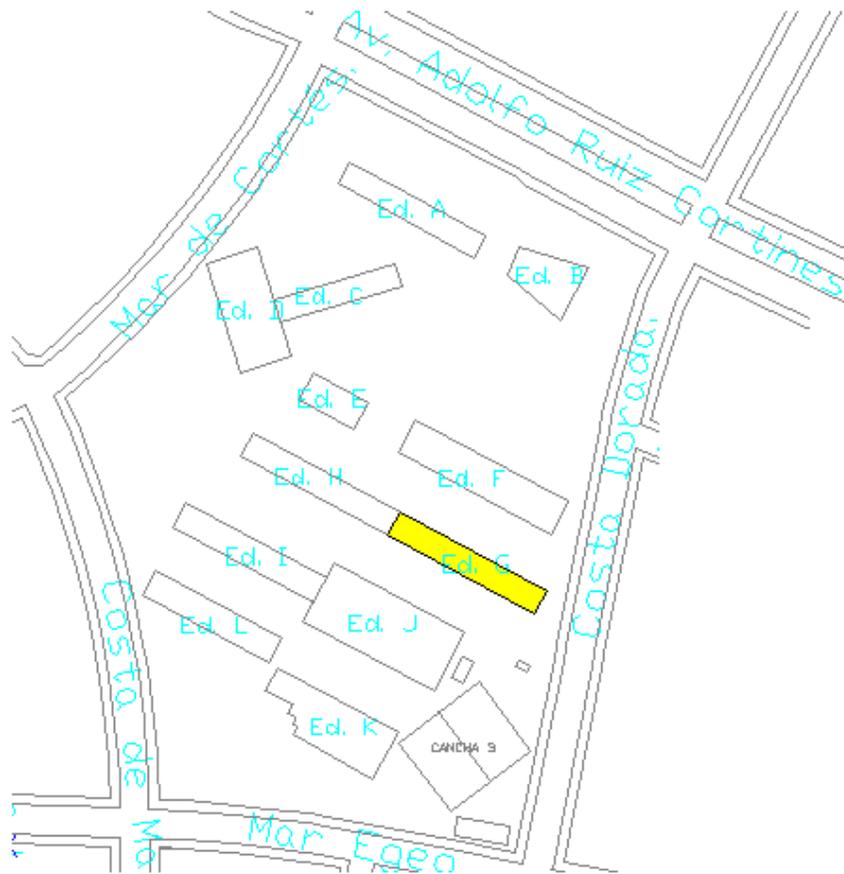
La invención del transformador y el desarrollo simultáneo de las fuentes de potencia alterna eliminaron para siempre las restricciones referentes al alcance y al nivel de los sistemas de potencia. Un transformador cambia, idealmente, un nivel de voltaje alterno a otro nivel de voltaje sin afectar la potencia que se suministra. Si un transformador eleva el nivel de voltaje en un circuito, debe disminuir la corriente para mantener la potencia que entra en el dispositivo igual a la potencia que sale de él. De esta manera, a la potencia eléctrica alterna que se genera en un sitio determinado, se le eleva el voltaje para transmitirla a largas distancias con pocas pérdidas y luego se reduce para dejarla nuevamente en el nivel de utilización final. Puesto que las pérdidas de transmisión en las líneas de un sistema de potencia son proporcionales al cuadrado de la corriente, al elevar con transformadores 10 veces el voltaje de transmisión se reduce la corriente en el mismo número de veces y las pérdidas de transmisión se reducen 100 veces. Sin el transformador simplemente no sería posible utilizar la potencia eléctrica en muchas de las formas en que se utiliza hoy en día.

En un sistema moderno de potencia se genera potencia eléctrica a voltajes de 12 a 25 kV. Los transformadores elevan el voltaje hasta niveles comprendidos entre 110kV y hasta 400 kV para ser transmitido a grandes distancias con pocas pérdidas. Posteriormente, los transformadores bajan el voltaje a un nivel de entre 13 kV a 35kV para su distribución local y para permitir que la potencia eléctrica se pueda utilizar con seguridad en los hogares, oficinas y fábricas a voltajes tan bajos como 120 volts.

La finalidad del presente es que las futuras generaciones manejen los principios de operación de los Transformadores y Subestaciones así como supervisión en la instalación de los mismos, redes de distribución y flujos de la potencia eléctrica que aplican un moderno desarrollo tecnológico obteniendo por este medio un proceso de distribución eléctrica más eficiente, rápido y confiable.

DESCRIPCIÓN FÍSICA Y LOCALIZACIÓN DEL LABORATORIO

El Laboratorio de Máquinas Eléctricas se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería en el Edificio “G”. Perteneciente al Programa educativo de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Región Veracruz.



Edificio "G".



CONTENIDO:

PRACTICA No. 1 EL TRANSFORMADOR

PRACTICA No. 2 MEDICION DE LA RESISTENCIA OHMICA

PRACTICA No. 3 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

PRACTICA No. 4 DETERMINAR POLARIDAD

PRACTICA No. 5 RELACION DE TRANSFORMACIÓN

PRACTICA No. 6 RELACION DE TRANSFORMACIÓN CON EQUIPO TTR

PRACTICA No. 7 EL AUTO TRANSFORMADOR

PRACTICA No. 8 CONEXIONES TRIFÁSICAS

PRACTICA No. 9 RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

PRACTICA No. 10 PRUEBA DE VACIO CIRCUITO ABIERTO (PERDIDAS EN EL NÚCLEO)

PRACTICA No. 11 PRUEBA DE CORTO CIRCUITO (PERDIDAS EN EL COBRE)

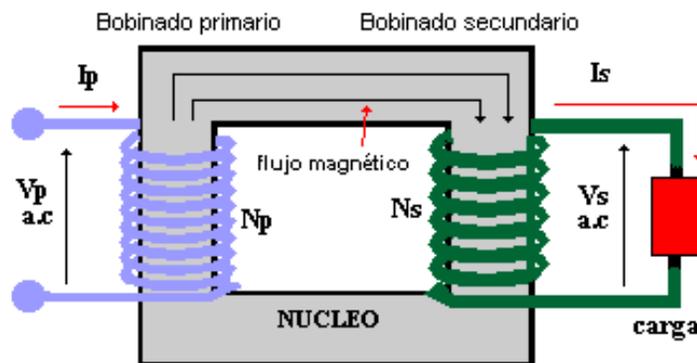
PRACTICA No. 12 CALCULO DE REGULACION Y EFICIENCIA A TRANSFORMADOR TIPO

PRACTICA No. 1 EL TRANSFORMADOR

OBJETIVO. El estudiante aprenderá y conocerá físicamente las partes y características del TRANSFORMADOR, así como tomar la placa de datos como información.

El transformador es un dispositivo eléctrico estático que transfiere energía de un circuito a otro, del cual esta aislado eléctricamente, pero unido magnéticamente por un núcleo de acero laminado. Esta transferencia se hace sin cambio de frecuencia y la mayoría de las veces con cambio de voltaje y de corriente.

El circuito que recibe la energía del exterior o de la red se llama PRIMARIO y el que la entrega una vez ya transformada por efecto de inducción magnética se llama SECUNDARIO. El primario o el secundario pueden ser indistintamente el lado de alta tensión o el lado de bajo tensión.



La capacidad del aparato se mide en KVA.

Las pérdidas en el aparato están dadas por el porcentaje de impedancia, dato que debe proporcionar el fabricante. Entonces:

$$V_1 * I_1 = V_2 * I_2 + \text{Pérdidas.}$$

Las pérdidas son muy pequeñas y pueden despreciarse, entonces:

$$V_1 * I_1 = V_2 * I_2 \text{ Por lo tanto } (V_1/V_2) = (I_2/I_1)$$

Por ser una máquina estática, no tiene pérdidas mecánicas, sus pérdidas son únicamente eléctricas y pérdidas en el hierro. Por tal razón su rendimiento es extremadamente alto comparado con las máquinas eléctricas rotativas.

Los transformadores pueden dividirse en tres clases: Transformadores para Instrumentos, Transformadores de Corriente Constante y Transformadores de Potencial Constante.

Los transformadores de potencial constante se usan para sistemas de fuerza y alumbrado generalmente se dividen en dos grupos: Transformadores de Distribución y Transformadores de Potencia o de Fuerza.

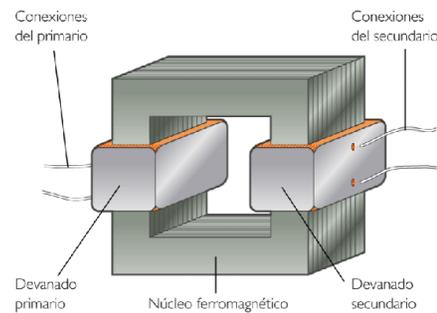
EQUIPO A UTILIZAR:

LOS TRANSFORMADORES QUE SE ENCUENTRAN EN LA PARTE DE LA SUBESTACIÓN DEL LABORATORIO Y TRANSFORMADOR DE 1000 VA 240-480/120 VOLTS, TRANSFORMADOR ITK.

PARTES DEL TRANSFORMADOR

Un transformador consta de numerosas partes, las principales son las siguientes:

- a) Núcleo magnético.
- b) Devanados, primario, secundario, terciario, etc.



- a) El núcleo constituye el circuito magnético que transfiere energía de un circuito a otro. Y su función principal es la de conducir el flujo activo. Está sujeto por el herraje o bastidor, se construye de laminaciones de acero al silicio (4%) y sus gruesos son del orden de 0.0014 de pulgada (0.355mm) con un aislante de 0.001 de pulgada (0.0254mm).
- b) Los devanados constituyen los circuitos de alimentación y carga, pueden ser de una, dos o tres fases y, por la corriente y número de espiras, pueden ser de alambre delgado o de barra. La función principal de los devanados es crear un campo magnético (primario) con una pérdida de energía muy pequeña y utilizar el flujo para inducir una fuerza electromotriz (secundario).

Las Partes auxiliares son:

- A) Tanque, recipiente o cubierta.
- B) Boquillas terminales.
- C) Medio refrigerante.
- D) Conmutadores auxiliares.
- E) Indicadores.



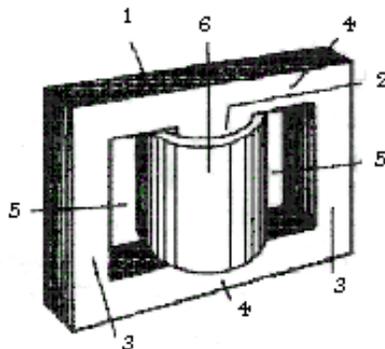
- A) El tanque o recipiente es un elemento indispensable en aquellos transformadores cuyo medio de refrigeración no es el aire, sin embargo, puede prescindirse de él en casos especiales. Su función es la de radiar el calor producido en el transformador.
- B) La boquilla permite el paso de la corriente a través del transformador evita que haya un escape indebido de corriente y con la protección contra flameo.
- C) El medio refrigerante debe ser un buen conductor del calor, puede ser liquido (como la mayoría de transformadores de gran potencia) sólido, o semisólido.
- D) Los conmutadores, cambiadores de derivaciones o taps, son órganos destinados a cambiar la relación de voltajes de entrada y salida, con objeto de regular el potencial de un sistema o la transferencia de energía activa o reactiva entre los sistemas interconectados. Existen dos tipos de ellos: El Sencillo, de cambio sin carga, y el perfeccionado, de cambio con carga por medio de señal, o automático.
- E) Los indicadores son aparatos que nos señalan el estado del transformador. Por ejemplo marcan el nivel del líquido, la temperatura, la presión, etc.



- 1 Boquillas de alta tension A.T.
- 2 Boquillas de baja tension B.T.
- 3 Valvula de muestreo de aceite
- 4 Cambiador de ajuste en taps
- 5 Radiadores de enfriamiento
- 6 Asas de levantamiento
- 7 Tanque conservador
- 8 Conector a tierra
- 9 Placa de datos

De acuerdo con su construcción a seguir los transformadores se distinguen de dos tipos que son: Tipo Columna y Tipo Shell o Acorazado.

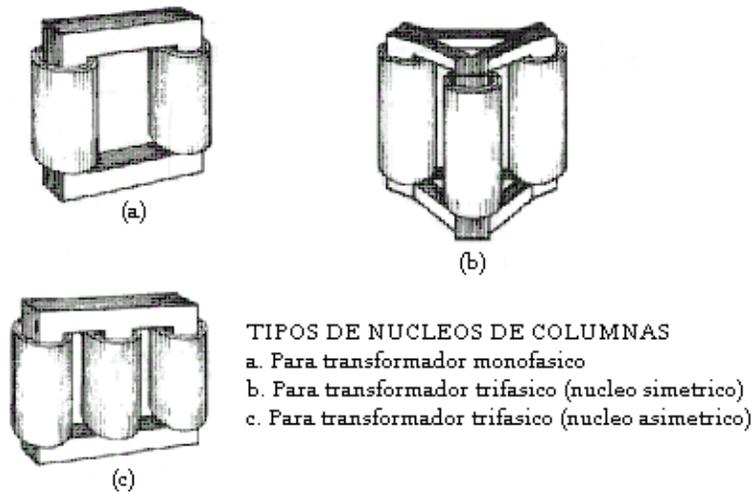
El tipo shell son aquellos cuyo núcleo va colocado envolviendo las bobinas o devanados. Este tipo se conocen como de circuito magnético envolvente.



NUCLEO ACORAZADO

1. Nucleo.
2. Columna central.
3. Piernas laterales.
4. Yugos superior e inferior.
5. Ventana.
6. Devanado.

El tipo columna son aquellos cuyas bobinas o devanados van colocados envolviéndose el núcleo de hierro. Este tipo se conocen como de circuito eléctrico envolvente.



Todo transformador necesita de un medio refrigerante siendo los principales el aire, el aceite y algunos líquidos inertes.

Por el tipo de enfriamiento pueden ser:

Clase AA. Tipo Seco, no contiene aceite ni otros líquidos para enfriamiento, son usados en voltajes nominales menores de 15 KVA.

Clase AFA. Tipo Seco con enfriamiento por aire forzado.

Clase OA. Sumergido en aceite o sumergido en líquido aislante con enfriamiento propio.

Clase OA/FA. Sumergido en aceite con enfriamiento propio y por medio de aire forzado, para aumentar la capacidad de disipación de calor.

Clase OA/FA/FOA. Sumergido en aceite, con enfriamiento propio y por medio de aire forzado, con adición de ventiladores y bombas para la circulación del aceite.

Clase OW. Tipo sumergido en aceite y enfriado con agua. El agua de enfriamiento es conducida por serpentines, los cuales están en contacto con el aceite aislante del transformador que circula por convección natural.



Anote la placa de datos de alguno de los transformadores de la práctica.

PRACTICA No. 2 MEDICION DE LA RESISTENCIA OHMICA.

OBJETIVO: El estudiante aprenderá a determinar el valor de la resistencia óhmica de cada uno de los devanados del transformador.

Es necesario conocer el valor de la resistencia óhmica de cada uno de los devanados del transformador para poder determinar:

- ✓ Perdidas por efecto joule (I^2R)
- ✓ Elevación de temperatura en el cobre

Una prueba que generalmente es de las últimas que se efectúan, es la de temperatura, y consiste en hacer trabajar el transformador a plena carga durante un tiempo prolongado con el objeto de provocar el calentamiento que inevitablemente ocurrirá durante su operación, debido a las diferentes pérdidas que se producen en los elementos eléctricos y magnéticos.

La medida de la resistencia óhmica juega un doble papel en esta prueba, como ya se mencionó, y es evaluar las pérdidas por el efecto joule dentro del conjunto de pérdidas que se determinan, estimar la temperatura de los embobinados, ya que no es posible medirla directamente con instrumentos sensores de temperatura. Para este último cálculo, se vuelve a medir la resistencia óhmica al término de la prueba, y valiéndonos de coeficiente térmico de resistividad, conociendo cuál ha sido la variación en la resistencia podemos determinar la correspondiente variación en la temperatura.

No obstante mencionamos que la prueba de temperatura es de las últimas en efectuarse, es recomendable medir la resistencia óhmica en frío antes que ninguna otra prueba, para garantizar que no ha habido causas de precalentamiento de los embobinados, y si al valor medido corresponderá a la del transformador.

Es por tanto necesario verificar para la primera medición que el transformador.

- No ha sido excitado durante un tiempo de cuatro u ocho horas (de acuerdo al tamaño del transformador) antes de la prueba.
- Este situado en un área donde la fluctuación de temperatura sea mínima.

Para la medición de la resistencia óhmica se recomiendan dos métodos:

- Método de la caída de potencial (ley de ohm)
- Uso del puente de kelvin. (no se emplea en esta sección)

1.- METODO DE LA CAIDA DE POTENCIAL

Este método consiste en hacer circular por el devanado una corriente directa cuyo valor se mide con la mayor precisión, e igualmente se mide la caída de potencial entre los extremos de la bobina.

Aplicando la ley de ohm, se determina la resistencia correspondiente.

EQUIPO A UTILIZAR:

Transformador 1 KVA 240-480/120 Volts

Amperímetro 0-20 C.D.

Voltímetro 0-200 V.C.D.

Fuente de Voltaje Variable ITK

Cables de Conexión.

Es necesario tener en cuenta que bajo condiciones de corriente directa en estado estable no existe la reactancia del devanado; la única limitante al paso de la corriente es la resistencia óhmica cuyo valor es muy pequeño (desde fracciones de ohm hasta unos cuantos ohms, de acuerdo al embobinado), y por lo tanto la tensión aplicada debe ser muy pequeña, de modo que la **corriente circulante no exceda el 15% de la nominal**, de manera que se evite en lo posible el calentamiento del devanado.

Haga las operaciones indicadas para el transformador y el equipo de medición.

Si la fuente de corriente directa tiene un voltaje elevado, se incluye en el circuito un reóstato limitador.

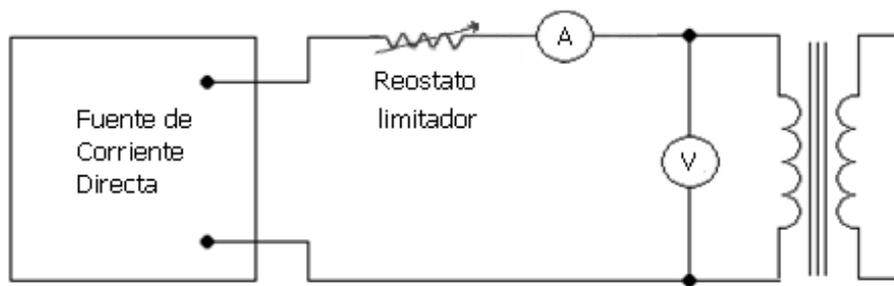


Diagrama de circuito para la medición de la resistencia de aislamiento por caída de potencial

Anote el valor de la corriente _____ A.

Anote el valor del voltaje _____ V.

Aplice la Ley de ohm y encuentre el valor de la resistencia del arrollamiento medido.

Resistencia obtenida: _____ Ohms.

Repita la misma operación para el otro arrollamiento.

2. PRACTICA CON EQUIPO OHMETRO TRANSFORMADOR.

PANEL DE CONTROL Y OPERACIÓN DE FUNCIONES

Esta sección describe la operación de funciones del óhmetro transformador referido a la figura siguiente.

1. Encendido el instrumento se activa presionándolo hacia arriba. Con el control de corriente 4 en la posición central, el led 5 de listo se iluminará 15 segundos después de que el instrumento se encienda.
2. Socket de la línea de entrada. Este socket de la línea internacional, también contiene el fusible de la línea y un fusible de repuesto.
3. Selector del voltaje de línea. Este instrumento se configura en la fábrica para una operación con 115 volts. La mala elección del voltaje del voltaje correcto puede ocasionar daños en el instrumento.
4. Control de corriente. Este interruptor es utilizado para iniciar el flujo de corriente del instrumento up y activar un proceso por medio del cual el aparato bajo prueba es descargado down.
5. LED de listo. Este led es necesita encenderse para el inicio de una prueba dada. Este indicador se activara bajo las siguientes condiciones:
 - a. La prueba sea iniciado.
 - b. El espécimen de prueba está soportando una descarga.
 - c. La interferencia eléctrica del entorno excede la capacidad de supresión del instrumento.
6. LED de alta temperatura. Este led se enciende cuando los componentes del Instrumento ha excedido su capacidad térmica.
7. Indicador de corriente este aparato mecánico indica la presencia de flujo de corriente a través de las terminales exteriores 9 y/o voltaje de excitación este proceso opera independiente mente del voltaje de línea por que la corriente puede estar fluyendo en las terminales de prueba después de que el instrumento se haya apagado.
8. Entrada de potencial "A" conectado a través de un arrollamiento del transformador, esta entrada mide la caída de voltaje de arrollamiento y muestra en la pantalla el valor del voltaje referido en el display "A" 15.
9. Salida de corriente conectada a través de un arrollamiento del transformador, esta salida, suministra una corriente seleccionada de C.D. a través de un arrollamiento.
10. Potencial de entrada "B" conectado a través de un arrollamiento del transformador, esta entrada mide la caída de voltaje del arrollamiento y muestra en pantalla el valor del voltaje referido en el display "B" 16.
11. Este interruptor la selección de la corriente de prueba que debe de ser suministrada a los arrollamientos del transformador mediante las terminales de salida 9 también permite cambios en los rangos de resistencia, incrementando la resolución con un incremento del rango de la corriente de prueba.
12. Selector de rango "A" este interruptor cambia el rango de resistencia para el potencial de entrada "A".
13. Selector de rango "B" este interruptor cambia el rango de resistencia para el potencial de entrada "B".
14. Selector de pantalla display este interruptor selecciona el valor para ser moni toreado en el display "A" o el porcentaje de la corriente de prueba o la resistencia de salida.

15. Display "A" el valor mostrado es la resistencia relacionada con el potencial de entrada "A" 8 o el porcentaje de la corriente de prueba de salida 9.
16. Display "B" el valor mostrado es la resistencia relacionada con el potencial de entrada "B" 10.
17. Tabla de rangos de resistencia estas tablas muestran la máxima resistencia permisible para la combinación del selector de corriente 11 y el selector de rango 12 o 13.

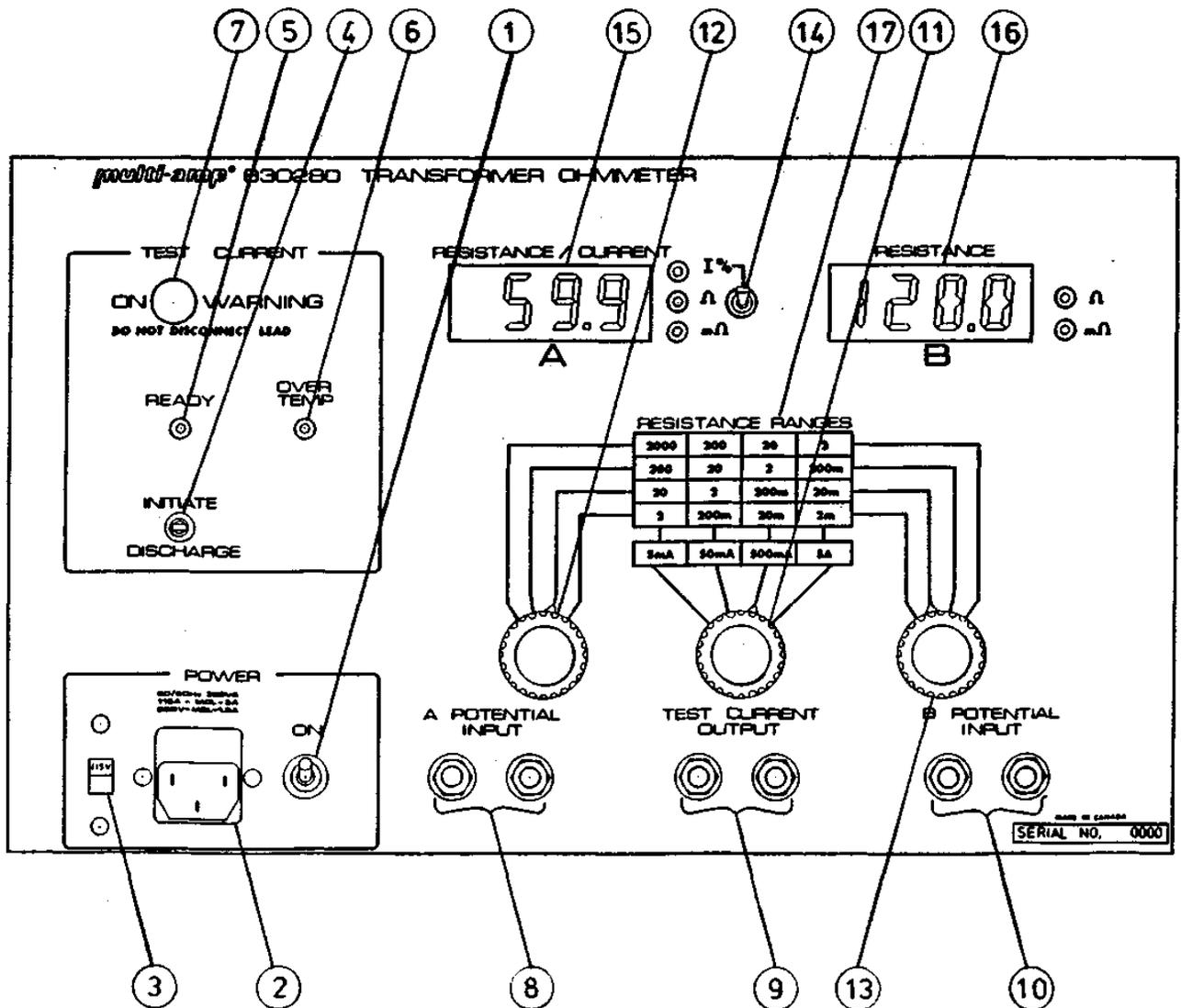


Figura 1. Panel de control y funciones de operación.

PRINCIPIOS DE OPERACIÓN

El óhmetro transformador multiamper mide resistencia de los arrollamientos del transformador por:

1. Aplicando una corriente directa a través de los arrollamientos del transformador y una corriente interna estándar en el shunt.
2. Midiendo los voltajes de corriente directa a través de los arrollamientos y el shunt.
3. Comparando sus dos voltajes y mostrando su relación como resistencia.

Este método nos permite desprestigiar la resistencia de las terminales por que es independiente de la corriente. Todas las lecturas son directas y por lo tanto no se requiere aplicar ningún factor de multiplicación cuando se cambian los rangos de la corriente.

Cuando los transformadores que se prueban tengan grandes INDUCTANCIAS, la fuente de corriente directa deberá ser extremadamente estable. Esto se ve en la fórmula de corriente directa a través de un inductor:

$$VCD = I * R + L \, di / dt$$

Donde: VCD = Voltaje de C.D. a través de los arrollamientos del transformador
I = Corriente directa a través de los arrollamientos del transformador
R = Resistencia de arrollamiento Tx
L = Inductancia de arrollamiento Tx
di/dT = Valor de cambio de corriente (ondulación) = "0" para C.D. estable

Para una operación óptima, la resistencia del Ohmetro transformador mostrada en el display se mostrará solo con la corriente de prueba mayor que el 55% del rango de la corriente seleccionada si la corriente no alcanza el 55% requerido, no se mostrará ningún valor de resistencia en el display.

INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN GENERALES Y AUTOPRUEBA DEL INSTRUMENTO.

1. Conecte el cordón de la línea al instrumento e insérteselo dentro del socket de potencia (asegúrese que el selector de voltaje de línea 3 este puesto en el voltaje correcto).
2. Ajuste lo siguiente
 - ✓ Control de corriente 4: posición medida
 - ✓ Selector del display 14: posición arriba
 - ✓ Selector de rango "A" 12: posición mas a la izquierda
 - ✓ Selector de rango "B" 13: posición mas a la derecha
 - ✓ Selector de corriente 11: 5mA
3. Salida corta de corriente 9; entrada corta de potencial "A" 8
4. Interruptor de encendido 1 ON. Listo L.E.D. 5 deberá encenderse
5. Presione el interruptor de control de corriente 4 up para iniciar el flujo de corriente. Suéltelo cuando el indicador de corriente 7 indique.
6. Observe el display "A". La indicación deberá mostrar un numero incrementando con un % del L.E.D. Iluminado.
7. Las lecturas deberán fijarse al 100% aproximadamente (+-10%. Éste valor no tiene efecto en las medidas de las resistencias.
8. Mueva el interruptor del display 14 abajo.

9. La indicación deberá ser “000” y los L.E.D.S. de ohms iluminados.
10. Ponga momentáneamente el interruptor de corriente 4 abajo. La corriente deberá de descargarse y el indicador del flujo de corriente 7 deberá apagarse.
11. Si desea ponga el interruptor del flujo de corriente 11 con otra corriente y proceda con los pasos de 3 a 11.
12. ALTERNATIVAS:

a. Para el paso 3 anterior; coloque un shunt estándar de corriente (de valor conocido, menor a 2,000 ohms) entre la salida de corriente 9. coloque la entrada de potencial “A” 8 a través del shunt de corriente de entrada.

b. Siguiendo los pasos anteriores con la excepción del paso 3 el valor del shunt estándar deberá de leerse en el display “A”.

NOTA: CUANDO PRUEBE UN TRANSFORMADOR ASEGÚRESE DE COLOCAR UNA BUENA TIERRA EN EL ESPÉCIMEN DE TIERRA DE PRUEBA COMO SE MUESTRA EN TODOS LOS DIAGRAMAS DE CONEXIONES.

PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DE UN TRANSFORMADOR MONOFASICO.

Este procedimiento describe solo las conexiones básicas y los ajustes de control para un transformador monofásico, con dos arrollamientos. A continuación de esta descripción será las conexiones y las notas especiales para los transformadores trifásicos. Los diferentes tipos y tamaños varían en el ajuste de tiempo de la corriente de prueba ya así variara el tiempo que se requiere para obtener las lecturas. A causa de que las terminales de entrada y salida están aisladas totalmente del ohmetro transformador. Ninguna tierra debe quitarse del transformador en prueba.

PRUEBA DE UN ARROLLAMIENTO SENCILLO

Vea la figura 2 para la conexión del transformador de prueba.

PROCEDIMIENTO:

1. Conecte el cable de la línea a la unidad y enchúfelo en el socket de 120V.
2. Ajuste las siguientes condiciones:
 - ✓ Selector del display 14: posición arriba.
 - ✓ Selector de rango “A” 12: posición más a la izquierda.
 - ✓ Selector de rango “B” 13: posición más a la derecha.
 - ✓ Selector de corriente 11: posición a la corriente deseada.
3. Conecte la salida de corriente 9 al arrollamiento del espécimen de prueba. Vea la figura 2.
4. Conecte la entrada del potencial B 10 al arrollamiento del espécimen de prueba.
No sujete las puntas del potencial a las puntas de la corriente ya que agregara resistencia de contacto a la medición. Las puntas del potencial deberán colocarse siempre en el interior de las puntas de la corriente véase la figura 2.
5. Encienda el interruptor 1 ON los LEDS 5 de LISTO deberán encenderse.
6. Presione el interruptor de control de corriente 4 para iniciar el flujo de corriente suéltelo cuando el indicador de corriente 7 indique ON.

7. El display A 15 indica la salida de corriente en % en cuanto a la salida de corriente se aproxima a una valor estable el display B 16 de resistencia se enciende para indicar resistencia del espécimen.

NOTA: Para transformadores grandes, el display de resistencia 14 deberá de observarse y las lecturas de resistencia tomadas cuando la lectura se estabilice. la desviación de las lecturas de resistencia indicadas son debidas a la inductancia del transformador. para transformadores pequeños la desviación se muestra solo unos pocos segundos, para transformadores monofásicos de alto voltaje (500kv), la desviación puede durar la fracción de un minuto; para grandes transformadores conectados en delta la desviación puede ser mayor como resultado de la corriente circulante.

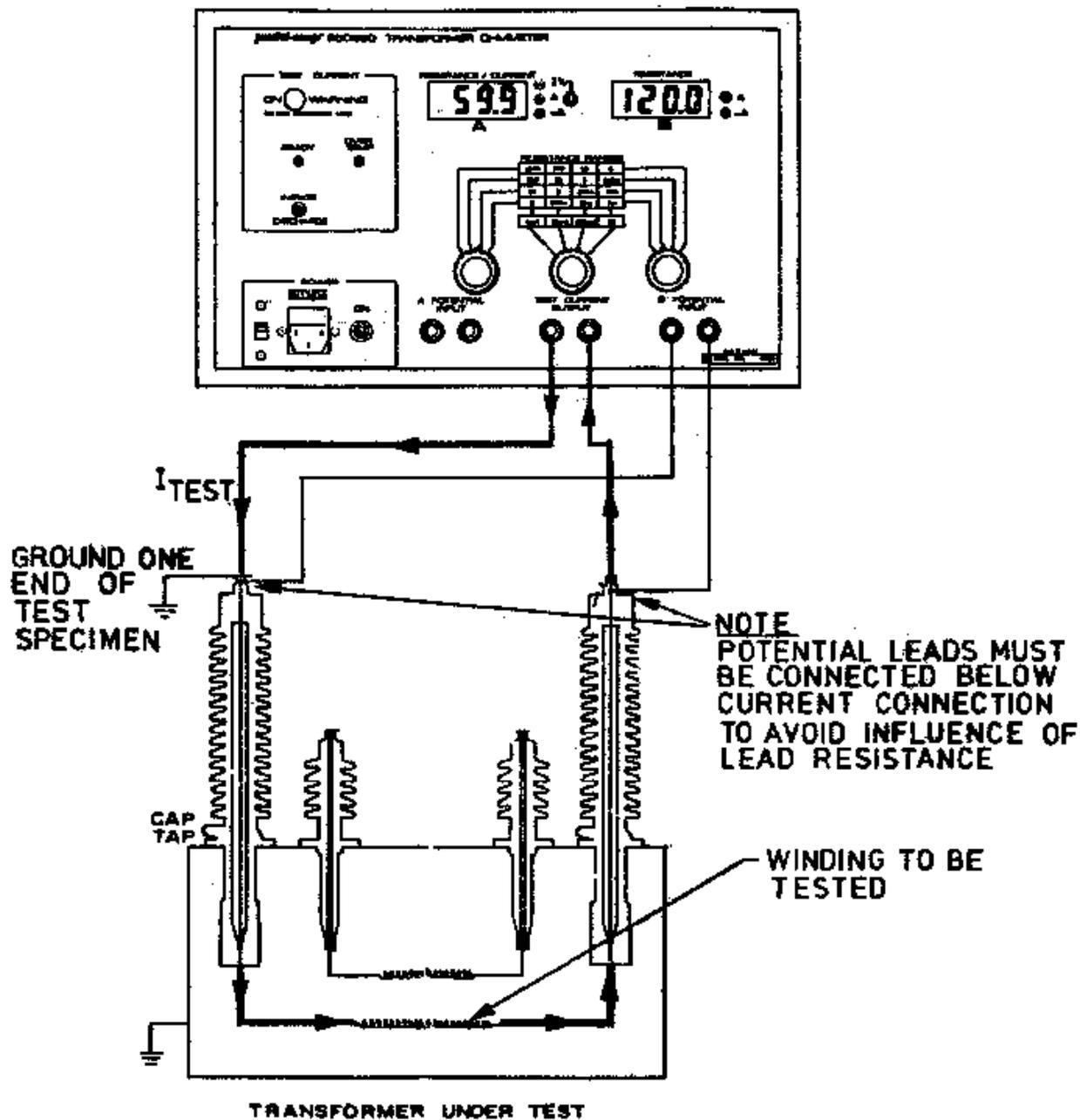


Figura 2. Single winding measurement.

PROCEDIMIENTO:

1. Conecte el cable de línea a la unidad y enchúfelo dentro del socket de línea
2. Establezca las siguientes condiciones:
 - ✓ Selector del display 14: posición abajo
 - ✓ Selector de rango A 12: posición extrema izquierda
 - ✓ Selector de rango B 13: posición extrema a la derecha
 - ✓ Selector de corriente 11: en la corriente de prueba deseada
3. Conecte la salida de corriente 9 a la salida del espécimen de prueba vea figura 3.
4. Conecte la entrada de potencial a 8 a las terminales H1 y H2 del transformador de prueba las puntas de potencial deben de colocarse dentro de las puntas de corriente y el puente (jumper)
5. Conecte la entrada del potencial B 10 a las terminales x1 y x2 del transformador de prueba. Las puntas de potencial deben de colocarse dentro de las puntas de corriente del puente (jumper).
6. Gira el interruptor de potencia 1 ON los LEDS READY(LISTO) deben de encenderse.
7. Empuje el interruptor de control de corriente 4 hacia arriba para iniciar el flujo. Suéltelo cuando el indicador de corriente indique ON.
8. Observe el display A la indicación mostrara un incremento en el valor con % de LEDS iluminados.
9. Cuando la lectura se estabilice aproximadamente 100+-10% la indicación deberá automáticamente cambiarse a la indicación de ohms y se mostrara en el display la resistencia de los arrollamientos H1 Y H2.
10. El display B mostrara ahora las resistencias de los arrollamientos x1 y x2
11. Para obtener mejor resolución en los displays A y B ajuste los selectores de rango 12,13.
12. Cuando la medición se haya completado, empuje el interruptor de control momentáneo de corriente 4 abajo para terminar las mediciones y descargar la corriente la descarga es completa cuando el indicador de corriente 7 es apagado negro (black).

NO DESCONECTE LAS TERMINALES ANTES DE QUE EL INDICADOR DE CORRIENTE ESTA APAGADO.

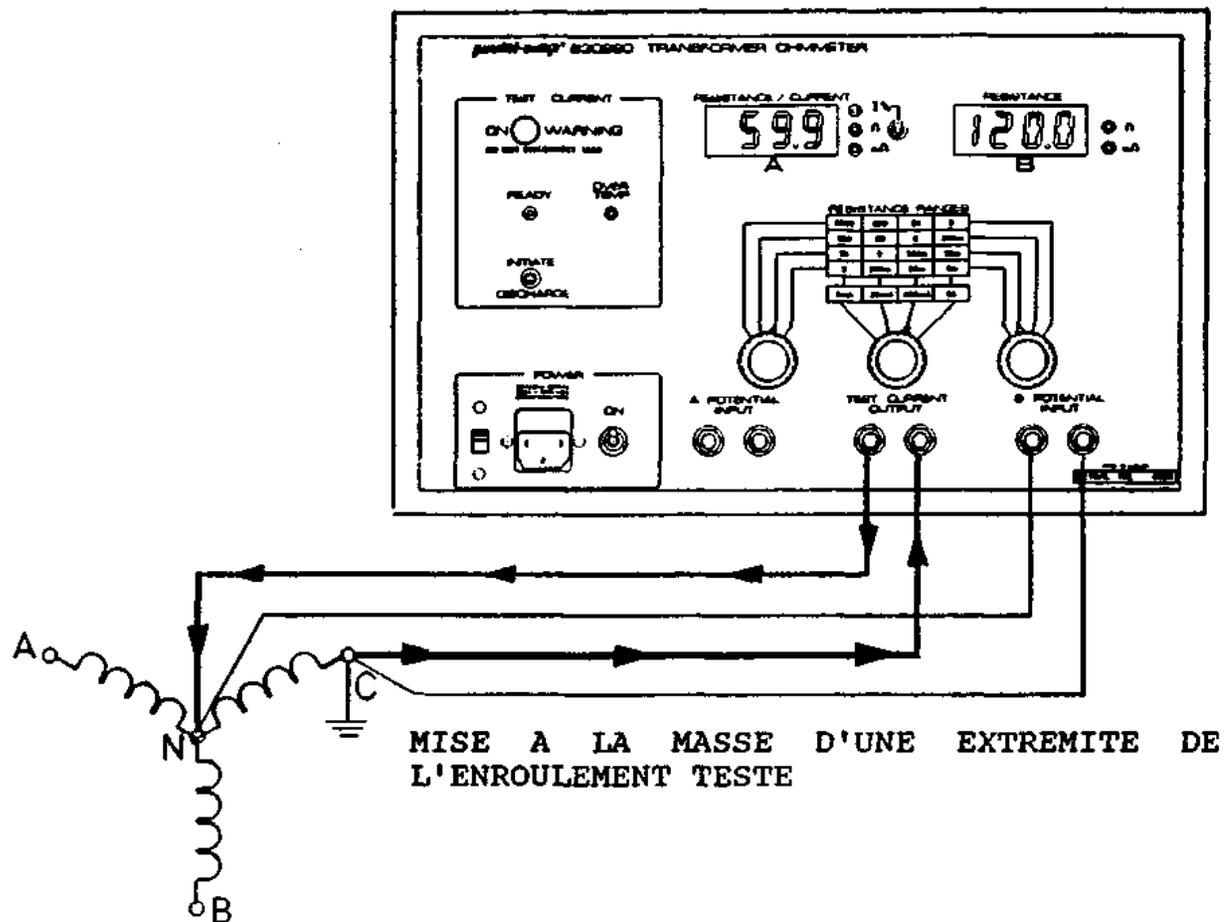
PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO.

La siguiente sección describe las conexiones que deben hacerse en un transformador trifásico. Esta es una descripción de los mejores métodos de conexión para obtener los mejores resultados. Las mediciones tomadas son para un arrollamiento a la vez. Los siguientes diagramas de conexión, se utilizaran en conjunto con el procedimiento anterior “Prueba de un transformador monofásico”, este procedimiento se usara cuando se pruebe un transformador trifásico, las únicas diferencias están en la colocación de las puntas.

PROCEDIMIENTO:

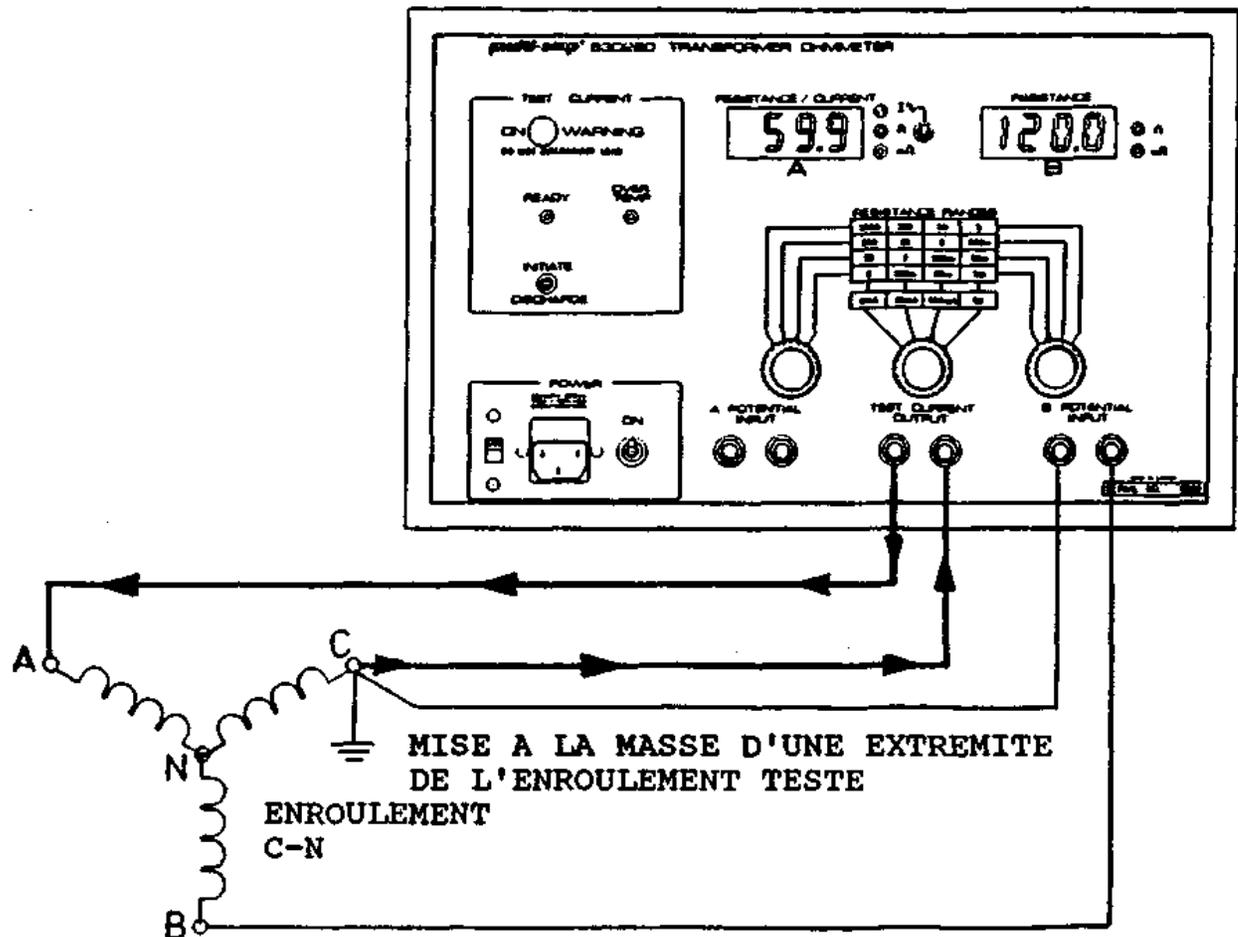
1. Tres fases de arrollamiento en estrella con neutro.
Conecte como se indica en la figura 4.
Siga el procedimiento de manejo del óhmetro y obtenga la lectura de la resistencia.
La lectura obtenida es directa, resistencia del arrollamiento C-N.

FIGURA 4. ARROLLAMIENTO TRIFASICO CON NEUTRO



2. Tres fases en arrollamiento estrella sin neutro la lectura obtenida es directa, resistencia del arrollamiento C-A .
Conecte como se indica en la figura 5.
Siga el procedimiento de manejo del óhmetro y obtenga la lectura de la resistencia.

FIGURA 5. ARROLLAMIENTO DUAL C-A CON NEUTRO.



La lectura obtenida es directa, resistencia del arrollamiento C-A.

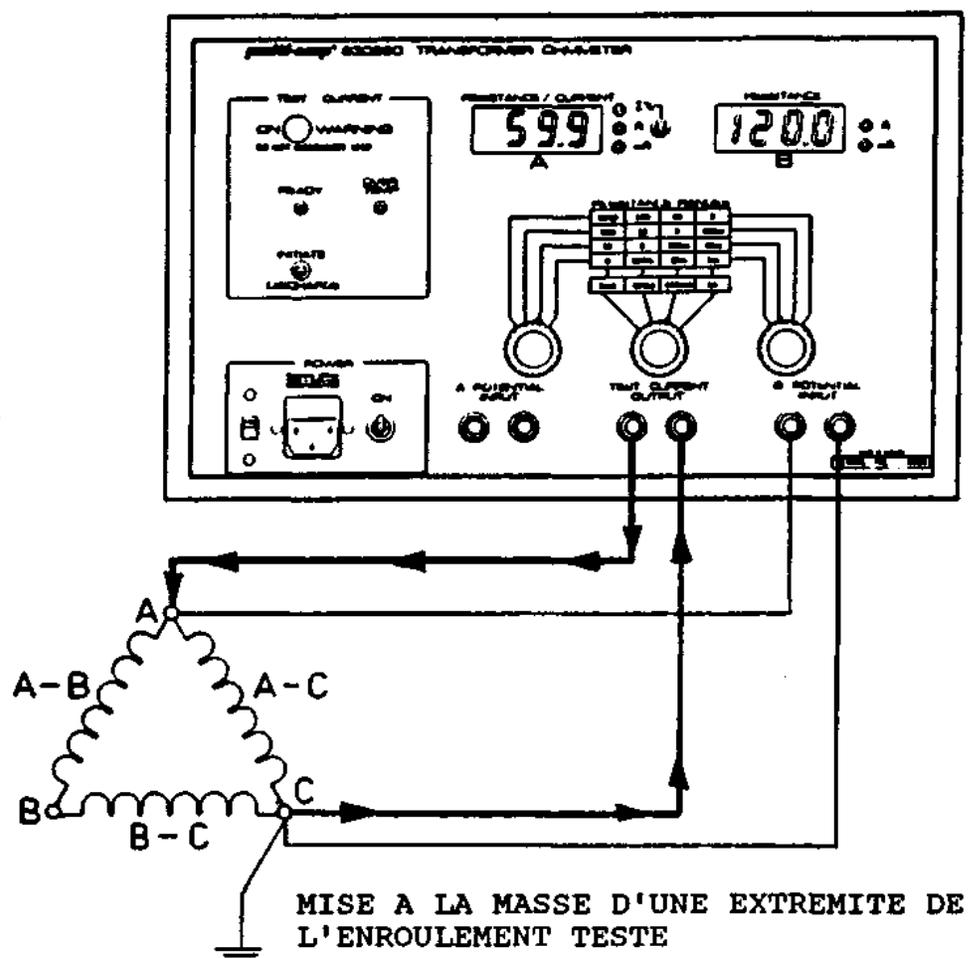
PROBANDO ARROLLAMIENTOS TRIFASICOS – DELTA

Asuma que la resistencia de los tres arrollamientos es igual a la resistencia del arrollamiento A-C = Lectura obtenida * 1.5.

Los otros dos arrollamientos son paralelos a el arrollamiento medido (A-B + B-C).

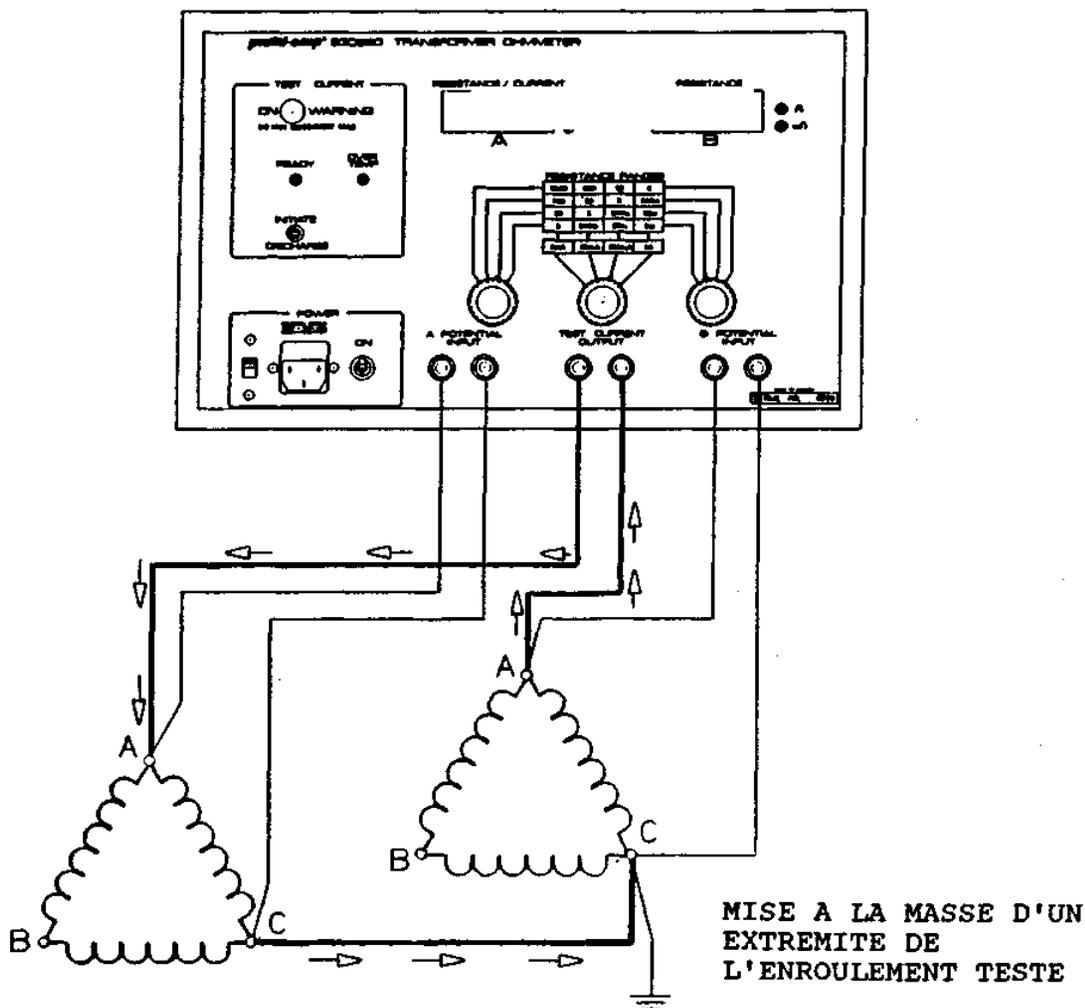
Para medir la resistencia A-B, coloque las terminales de resistencia y potencial en los bujes de las fases A y B.

Resistencia obtenida A-B = Resistencia medida * 1.5 para un método absoluto. Lo mismo se hace para el arrollamiento B-C.



PROBANDO ARROLLAMIENTOS DELTA-DELTA.

Aunque los transformadores delta-delta no son muy comunes, se consideran por varias razones. La prueba de un arrollamiento delta-delta es regularmente un procedimiento que lleva tiempo. Esto es por que los arrollamientos semejan dos conductores de loop (rizo) cerrado. Cuando se energizan los inductores, esta energía (en forma de C.D.) circula continuamente en cada arrollamiento. El balance correcto de tiempo puede ser de 30 minutos a 10 del cual puede exceder la restricción de tiempo para muchas pruebas.



El método para probar esta configuración rápidamente requiere que ambos, el lado de alta y de baja se conecten en serie con la fuente de corriente del óhmetro transformador de la figura anterior teniendo los dos arrollamientos con polaridades opuestas, la circulación de la corriente interna se estabiliza muy rápidamente para obtener un balance, y descarga con la misma velocidad. El tiempo de prueba por, ejemplo se reduce de 14 minutos a 30 segundos en un transformador delta-delta de 300 KVA.

Aun si solo un lado del transformador necesita probarse, conectando ambos arrollamientos de alta y baja en serie agilizará la prueba considerablemente.

CALCULO DE LA RESISTENCIA DE LOS ARROLLAMIENTOS DELTA.

En la industria eléctrica de potencia nos encontramos una gran cantidad de equipo que se conecta en delta. Un óhmetro ordinario, cuando mide un juego de resistencias conectadas en delta, mide una resistencia en paralelo con las otras dos conectadas en serie. Calcular el valor de las resistencias es fácil cuando son iguales, ya que el valor medido se puede multiplicar por 1.5. Cuando las resistencias no son iguales, uno de resolver tres ecuaciones simultaneas para encontrar el valor de las resistencias. Esto lleva a un mayor consumo de tiempo.

CONCLUSIÓN: Un procedimiento que permite que las resistencias individuales de un equipo en delta sean calculado fácilmente sea presentado. Aunque el método con ciertas modificaciones, se aplica en la mayoría de los óhmetros, se aplica especialmente cuando use un óhmetro transformador multi-ampere 830280 para comprobar transformadores conectados en delta.

PROBANDO LOS TRANSFORMADORES CON DERIVACIONES (TAPS)

Muchos transformadores en uso tienen derivaciones construidas dentro de ellos. Estas derivaciones permiten que la relación de transformación aumente o disminuya en fracciones de por ciento. Cualquiera de los cambios de relación implica un contacto de una posición a otra. Este es el contacto que debe chequearse mediante su resistencia.

El contacto puede estar mal por varias razones.

1. -Des alineamiento cuando se fabrica lo cual causa una superficie de contacto insuficiente. La máxima corriente de carga sobrecalienta la superficie de contacto, causando que se quemé.
2. -La corriente que pasa a través del contacto excede la máxima corriente nominal.
3. -El taps de cambio de operación “hágalo antes de abrir (break)” crea un arco interno en la superficie de contacto.
4. -Un TAP que se va a descargar se cambia mientras esta con carga. La superficie de contacto esta picada y desgastada.

Los taps de cambio se dividen en dos tipos, con carga y sin carga. Los taps con carga permiten seleccionar la relación de transformación mientras el transformador esta en servicio. Esto significa que la relación del transformador se puede cambiar cuando la corriente esta pasando a través de él. El ejemplo más común de éste tipo de cambiador “con carga” es un regulador de voltaje.

El óhmetro transformador es idealmente adecuado para la prueba de los taps cambiadores con carga ya que el instrumento puede dejarse en ON (puesto) mientras se cambia de TAP a TAP. Esto permite al operador efectuar mediciones rápidas sin descargar y después recargar el transformador para cada TAP. El óhmetro transformador deberá re balancear después de cada cambio de TAP. Si el TAP es defectuoso (abierto) o si hay una fracción de tiempo (1ms) en que el circuito esta abierto. El óhmetro transformador automáticamente entrara en su ciclo de descarga. Esto le dará al operador una indicación clara de una posible falla dentro del TAP cambiador. Para esto en la condición abierta (open), no se dañara el transformador con la corriente (DC) directa del óhmetro transformador.

El segundo tipo de taps cambiadores es el de sin carga (off-load). Este no es tan común como el de con carga (on-load) porque para cambiar los taps, el transformador debe ponerse fuera de servicio o por lo menos desconectarse de la carga. Este tipo de taps cambiador puede dañarse más rápidamente que uno con carga por la razón del cambio inadvertido de taps mientras esta en servicio. El óhmetro transformador puede probar estos transformadores, pero deben estos descargarse entre los cambios de taps, si no se descarga el óhmetro transformador de la corriente de prueba entre los cambios de taps, el instrumento deberá descargarse automáticamente al censar una interrupción (break) de la trayectoria de la corriente. A causa de la baja corriente de 5 Amp, 30 Volts, ningún daño real sufrirán las superficies de contacto de los taps por el óhmetro transformador cuando ocurre el cambio de taps.

Cuando pruebe realmente los taps cambiadores, siga los procedimientos del transformador bajo prueba y tenga en cuenta esta sección.

CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

Mientras se aplica corriente a un transformador con muy alta inductancia, deberá tener cuidado siempre de no quitar las terminales de corriente, cuando esta esté todavía fluyendo. Esto causa un voltaje extremadamente alto desarrollado entre los puntos donde se interrumpe la corriente. Con condiciones correctas este voltaje puede ser letal para el operador que abra la trayectoria de la corriente.

El óhmetro transformador Mult-Amp tiene protecciones internas de seguridad. Estas características de seguridad están, presentes en forma de una ruta alterna a través de una u otra de las terminales de potencial.

Ejemplo: Si la terminal de corriente se desconecta circulara corriente, a través, del transformador, la corriente circulara a través de la trayectoria alterna de las terminales de potencial sin dañar el instrumento o al operador con un choque eléctrico.

Es muy importante sin embargo, no conectar las terminales de potencial arriba de las de corriente o junto a las de corriente. De esta forma, si una terminal falla en el transformador la otra seguirá inmediatamente.

El óhmetro transformador está protegido, aun si ambas terminales de potencial o corriente fallan al mismo tiempo. Esto no significa sin embargo, que el operador no sentirá el alto voltaje que se provoque (sí el está cerca del área donde se desconecta la terminal).

PRACTICA No. 3 RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

OBJETIVO: El estudiante podrá determinar la resistencia de aislamiento a transformadores así como su resistencia mínima aceptable.

Resumen teórico:

Puede decirse que la vida útil de un transformador depende básicamente de la duración de sus aislamientos. En el interior del transformador se producen reacciones químicas debidas a la humedad y a la acción prolongada de la temperatura que redundan en ir haciendo cada vez más frágil el aislamiento.

La medición de la resistencia de aislamiento sirve para tener una idea del estado en que se encuentran los aislamientos, y con base a ello decidir si están en condiciones de soportar los esfuerzos dieléctricos que se originan al aplicar tensiones en prueba o trabajo.

También verificar el grado de humedad o suciedad al obtener valores bajos en el aislamiento.

Por todo lo anterior expuesto se observa que es necesario probar los aislamientos en los transformadores, ya que una falla de este tipo implica la necesidad de cortar la transmisión de energía eléctrica, lo cual resulta mucho más costoso.

La resistencia de aislamiento se define como la resistencia en Megaohms que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje de corriente directa durante un tiempo dado medido a partir de la aplicación del mismo.

La medición de la resistencia de aislamiento se efectúa por lo general con un aparato denominado MEGGER, que consta básicamente de una fuente de C.D. y un indicador de megahms. La capacidad de la fuente de C.D. generalmente es baja, ya que la finalidad es ver el estado en que se encuentra el aislamiento, es decir, esta es una prueba indicativa no destructiva, de tal forma que si un aislamiento esta débil no lo agrave.

PROCEDIMIENTOS:

- 1.- Precaución. Se deberá restringir mediante un cordón de seguridad o letreros de peligro de acceso al área de prueba.
- 2.- El personal encargado de armar las conexiones de prueba, deberá usar zapatos y guantes de seguridad dieléctricos.
- 3.- La prueba deberá efectuarse bajo las condiciones atmosféricas adecuadas sin cambios bruscos de temperatura y con una humedad relativa menor del 75%.
- 4.- No realizar la prueba en una atmósfera explosiva.
- 5.- Verifique que el transformador a probar se encuentra desenergizado y aislado tanto en el lado primario como en el secundario (Libranza).
- 6.- Conectar a tierra cada uno de los devanados antes de la prueba, con objeto de eliminar toda la carga capacitada que pueda afectar a la prueba.

- 7.- Efectué pruebas de continuidad en los devanados primarios y secundarios del transformador de acuerdo con el diagrama de alambrado aplicable.
- 8.- Verifique que todas las conexiones de prueba estén firmemente apretadas.
- 9.- Asegúrese que el tanque del transformador este sólidamente aterrizado.
- 10.- También de que se encuentra desconectado el neutro del transformador (en caso de conexión estrella), y de que estén limpias las boquillas o aisladores.
- 11.- El equipo de medición Megger debe de quedar colocado en una base bien nivelada, para poder operarlo, en caso de traer tornillos niveladores nivelar adecuadamente.
- 12.- Verificar el infinito del aparato, manteniendo las terminales separadas y excitar manualmente, la aguja tendera a desplazarse hacia infinito.
- 13.- Conectar entre si las terminales de la línea y tierra del aparato (terminales de los cables de prueba), excite manualmente la manivela o el botón pulsador en caso de megger electrónico, y observe si la aguja se va hacia cero; con esto nos indicara que los cables de prueba no están abiertos entonces se puede empezar la prueba.

VOLTAJE DE PRUEBA

RANGO DEL VOLTAJE DEL EQUIPO	VOLTAJE DE PRUEBA DEL MEGGER
Hasta 100 volts	250 volts
Entre 120 y 480 volts	500 volts
Mayor a 480 y menor a 1000 volts	1000 volts
De 1000 y menores de 2500 volts	2500 volts
Mayor de 2500 y menor de 5000 volts	5000 volts
Otros voltajes mayores a 5000 volts	5000 volts

La resistencia de aislamiento de un transformador se mide entre los devanados conectados entre sí (cortocircuito), contra el tanque conectado a tierra y entre cada devanado y el tanque, con el resto de los devanados conectados a tierra.

Estas mediciones se pueden expresar en forma sintetizada como:

ALTO VOLTAJE VS BAJO VOLTAJE

ALTO VOLTAJE VS BAJO VOLTAJE A TIERRA

ALTO VOLTAJE A TIERRA VS BAJO VOLTAJE

USO DE LA GUARDA

Generalmente todos los meggers con rango mayor de 1000 MΩ están equipados con terminal de guarda. El propósito de esta terminal es el contar con un medio para efectuar mediciones en mallas de tres terminales en tal forma que puede determinarse directamente el valor de una de las dos trayectorias posibles. Además de esta finalidad principal, dicha terminal hace posible que el megger pueda utilizarse como una fuente de voltaje de corriente directa con buena regulación, aunque con capacidad de corriente limitada.

Concretamente puede decirse que la corriente de fuga de toda componente de un sistema de aislamiento conectada a la terminal de guarda no interviene en la medición.

Al usar la terminal de guarda, particularmente en el caso de los instrumentos accionados con motor, o los de tipo rectificador, deberá de tenerse seguridad que no existen posibilidades de que se produzca un brinco eléctrico entre las terminales de la muestra bajo prueba, conectadas a guarda y tierra. Tal situación podría causar arqueo indeseable en el conmutador del generador del instrumento.

EQUIPO A UTILIZAR:

MEGGER MOTORIZADO YEW

MEGGER ELECTRÓNICO KYORITSU

TRANSFORMADOR DE 1000 VA 240-480/120 VOLTS

TRANSFORMADOR DE LA SUBESTACIÓN DEL LAB. DE MAQ ELECT.

PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

La resistencia de aislamiento del transformador es aceptable si cumplimos con los valores mínimos recomendados por el fabricante, de no existir esta información la resistencia de aislamiento mínima aceptable deberá calcularse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$R.M = KV + 1 \text{ Megaohm}$$

Donde: R.M = Resistencia de aislamiento mínima aceptable (megaohms)

KV = Voltaje primario del equipo bajo prueba (KV)

O también para determinar el valor mínimo a aceptar de resistencia de aislamiento consiste en multiplicar los kv de fase a fase por 25 para saber el valor mínimo de o bien se puede aceptar 1000megaohms a para voltajes superiores a 69 Kv aplicados durante 1 minuto.

La otra regla establece que el valor mínimo de resistencia de aislamiento debe ser de 1 megaohm por cada 1000 volts de prueba.

PRACTICA No. 4 DETERMINAR POLARIDAD

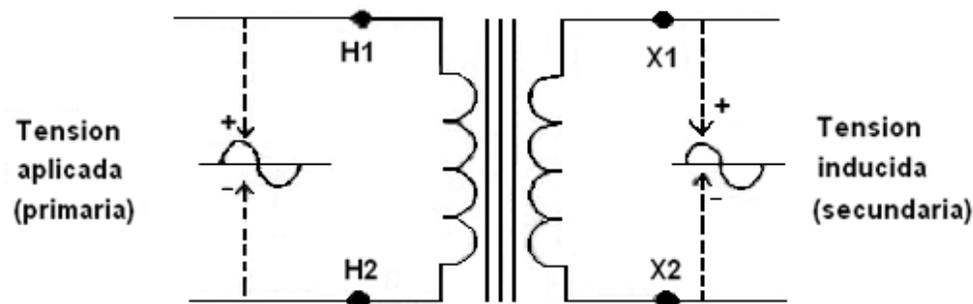
OBJETIVO. El estudiante aprenderá y determinará la correspondencia entre las terminales de las espiras de un transformador, para conectarlo correctamente, conocer su polaridad.

Cuando se aplica a un devanado un voltaje de C.A. en el otro devanado se induce otra onda proporcional a la aplicada. La onda aplicada o la inducida prácticamente se encuentran en fase. De manera que habrá una terminal de alta tensión y una de baja tensión que en cualquier instante tengan siempre la misma polaridad.

Estas terminales se identifican en los diagramas con un punto y en las terminales del transformador con los mismos subíndices.

En todos los casos es importante efectuar las conexiones respetando la polaridad de los devanados. Es por tanto necesario que definamos en esa parte el concepto de polaridad.

Cuando se aplica a un devanado una onda senoidal de voltaje, en el otro devanado se induce otra onda proporcional a la aplicada. La onda aplicada y la inducida prácticamente se encuentran en fase, de manera que habrá una terminal de alta tensión y una de baja tensión que en cualquier instante tengan siempre la misma polaridad. Estas terminales se identifican en los diagramas con un punto, y en las terminales del transformador con mismos subíndices.



Identificación de las terminales de misma polaridad

Para verificar la polaridad de los transformadores se recomiendan los siguientes métodos:

1. Método de los dos voltímetros
2. Método de la descarga inductiva

MÉTODO DE LOS DOS VOLTÍMETROS.

Este método consiste en aplicar al devanado de alta tensión un voltaje alterno de valor nominal o menor.

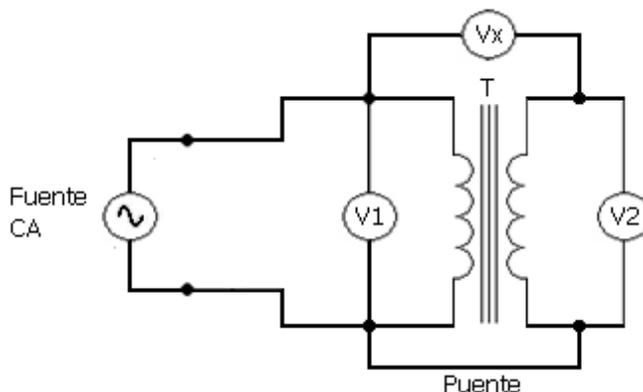
El observador, colocado frente a las terminales de baja tensión, debe puentear previamente las dos terminales de su izquierda y colocar 2 voltímetros, uno entre las terminales de alta tensión y otro entre las terminales de su derecha como se muestra en la figura.

El voltímetro colocado en alta tensión dará una lectura V_H (V_1) y el voltímetro colocado entre la alta y la baja tensión dará la suma algebraica de voltajes. V (V_x).

EQUIPO A UTILIZAR:

- 1 Transformador 1000 VA 480-240/120 Volts
- 1 Fuente 220 Volts Variable ITK
- 2 Voltímetros 0-220 - 750 Volts.
- Cables de Conexión Varios.

Si V_x es mayor que V_1 la polaridad es aditiva



Si V_x es menor que V_1 la polaridad es sustractiva

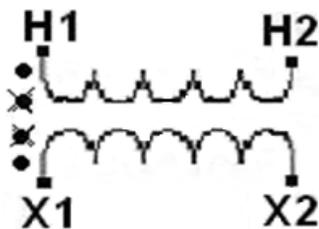
En la figura anterior hemos supuesto desconocidos los subíndices en la identificación de baja tensión.

Después de efectuada la prueba, debe identificarse la posición de estos subíndices de acuerdo a la siguiente regla de aplicación.

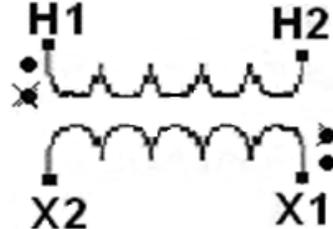
Cuando el observador se coloca frente a las dos terminales de B.T., si H_1 queda a su izquierda y X_1 a su derecha se dice que el transformador tiene polaridad aditiva, y si H_1 y X_1 quedan a su izquierda se dice que tiene polaridad sustractiva. (H_1 y X_1 son terminales de la misma polaridad). Sí la suma algebraica medida en V_x es mayor que la lectura entre terminales H y X la polaridad será aditiva.

Si la suma algebraica medida en V_x es menor que la lectura entre terminales H y X la polaridad será sustractiva.

POLARIDAD SUSTRACTIVA



POLARIDAD ADITIVA

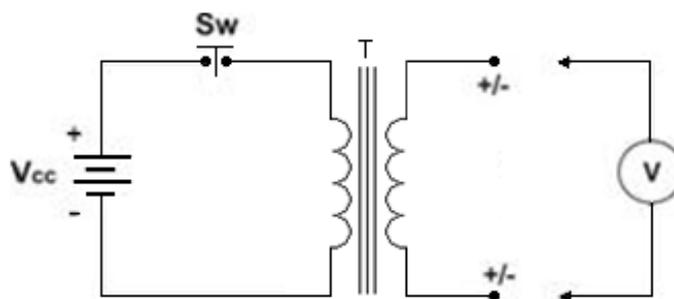


MÉTODO DE LA DESCARGA INDUCTIVA

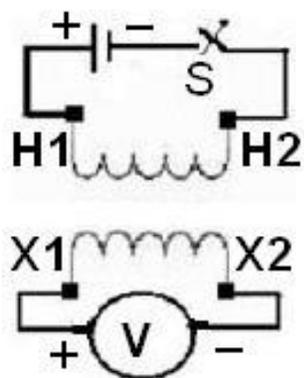
Este método consiste en aplicar C.D. a uno de los devanados cuidando de no exceder el valor nominal. Se debe realizar un pequeño cálculo supervisado por el instructor. El observador, colocado frente a las dos terminales de baja tensión, por medio de un voltímetro de C.D. debe averiguar la polaridad de la tensión aplicada, de acuerdo a las conexiones del diagrama.

EQUIPO A UTILIZAR:

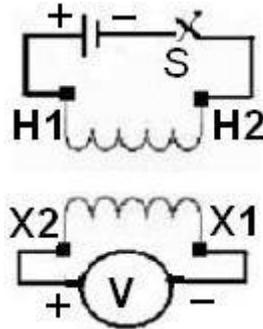
- 1 Transformador 1000 VA 480-240/120 Volts
- 1 Fuente 12 Volts CD Variable ITK o en su caso Batería de 9 Volts.
- 1 Voltímetro 0-10 Volts CD. Analógico.
- Cables de Conexión Varios.
- 1 Interruptor de 1 polo 1 tiro (opcional).



Si al cerrar el interruptor, el voltímetro marca dentro de la escala, significa que le fue aplicado a su borne, (+) una tensión cuya polaridad era positiva con relación a su otro borne, esto quiere decir que la terminal del transformador conectado al borne (+) del voltímetro es la correspondiente, a la terminal del devanado excitado, conectado al borne (+) de la batería (polaridad sustractiva o colineal).



Una deflexión en sentido contrario a la escala nos indicara que el borne (-) del voltímetro le fue aplicado un voltaje (+) luego la terminal conectada a este borne será la correspondiente a la terminal (+) del devanado excitado (polaridad aditiva o diagonal).



Anote los resultados de sus pruebas efectuadas:

PRACTICA No. 5 RELACION DE TRANSFORMACIÓN

OBJETIVO: El estudiante aprenderá a determinar la Relación de Transformación a transformadores, con diferentes Pruebas y Equipos.

La relación de transformación puede definirse en función de las características de construcción o en función de las variables de operación.

En función de las características de construcción es la razón del número de vueltas del devanado de alta tensión al número de vueltas del devanado de baja tensión.

$$a = NH / NX$$

Desde el punto de vista de pruebas de laboratorio, la segunda definición es la que nos interesa.

$$a = VH / VX$$

En esta definición incluimos la necesidad de que el transformador se excite en vacío, es decir, sin carga, puesto que si existiera corrientes en los devanados, las tensiones que mediríamos no serían iguales a las fuerzas electromotrices inducidas, debido a que se producirían caídas de voltaje en las resistencias y reactancias de dispersión.

Para determinar la relación de transformación en laboratorio existen tres métodos:

- Método de los voltímetros.
- Método del transformador patrón (no se emplea en esta sección).
- Método del potenciómetro de resistencia (no se emplea en esta sección).

Básicamente, los tres métodos consisten en aplicar a uno de los devanados una tensión alterna, y detectar el valor del voltaje inducido en el otro devanado. Los artificios para llevar a cabo estas operaciones son los que dan las tres variantes fundamentales.

MÉTODO DE LOS DOS VOLTÍMETROS

Consiste en aplicar a uno de los devanados del transformador una tensión alterna, incluyendo un voltímetro para medir la alta tensión (VH) y otro para medir la baja tensión (VX).

La razón de la alta tensión a la baja tensión nos dará la relación de transformación.

$$a = VH / VX$$

EQUIPO A UTILIZAR:

- 1 Transformador 1000 VA 480-240/120 Volts u otro similar del Laboratorio.
- 1 Fuente 0-220 Volts Variable ITK
- 2 Voltímetros 0-220 - 750 Volts.
- Cables de Conexión Varios.

Por razones de confiabilidad, se recomienda tomar ocho pares de lecturas, divididas en dos grupos de cuatro.

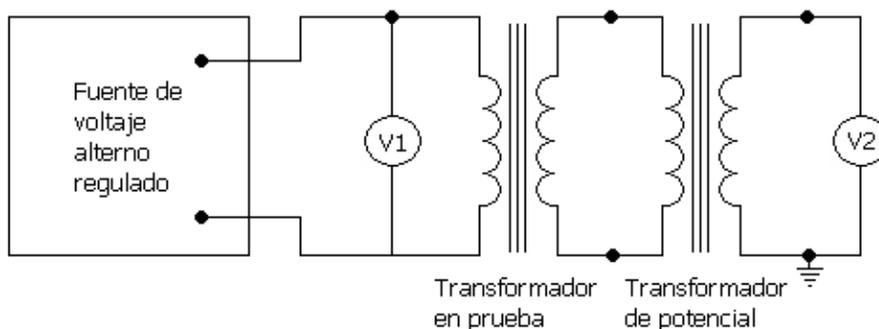
- a) Lectura a voltaje nominal.
- b) Lectura al 90% del voltaje nominal.
- c) Lectura al 80% del voltaje nominal.
- d) Lectura al 70% del voltaje nominal.

Posteriormente se intercambian los voltímetros para compensar errores de los aparatos, y se repite la serie de cuatro lecturas.

La frecuencia de prueba debe ser la nominal o mayor.

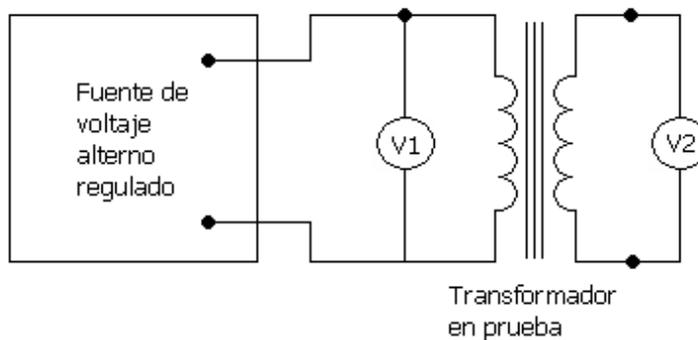
Cuando la relación por comprobar es de valor elevado, de tal manera que no se puedan conectar directamente voltímetros de la misma escala, debe incluirse un transformador de potencial, pues es requisito que los aparatos sean iguales para poderse intercambiar.

Diagrama de circuito para el método de dos voltímetros con transformador de potencial.



La relación se calcula para cada par de lecturas. Si los resultados no difieren más del 1%, la prueba es aceptable y se toma como relación de transformación, el promedio de todos los resultados.

Diagrama de circuito para el método de dos voltímetros



Si la diferencia es mayor del 1%, es necesario repetir la prueba con otros instrumentos.

Resultados Obtenidos de su prueba:

% V	VH	VX	a
100			
90			
80			
70			

**PRACTICA No. 6 RELACION DE TRANSFORMACIÓN
CON EQUIPO TTR**

OBJETIVO: El estudiante obtendrá la relación de transformación de transformadores cuya relación no pase de 130 que es el rango del equipo a emplear (TTR).

El transformador patrón con relación variable, conocido comercialmente con las siglas **TTR** (Transformer Turn-Ratio), es un instrumento que nos permite medir cualquier relación de transformación dentro de una escala de valores muy amplia. (0-130).

El TTR. Transformer Turn Ratio.

Este equipo esta diseñado para hacer mediciones de relación de transformación en auto transformadores y reguladores de voltaje, transformadores de potencia y de distribución. El ttr no es aplicable en la medición de relaciones mayores de 130, como es el caso de tp's y tc's y algunos transformadores de distribución.

El ttr es un instrumento práctico y preciso para analizar las condiciones de transformadores en los siguientes casos:

- Medición y verificación de terminales, derivaciones (taps) y sus conexiones internas.
- Determinación y comprobación de polaridad y continuidad.
- Pruebas de rutina y detección de fallas incipientes.
- También es muy valioso en la determinación de las condiciones reales del transformador después de la operación de protecciones primarias como la diferencial, bucholtz, fusibles de potencia, etc.
- Identificación de espiras en corto circuito.

El ttr opera bajo el conocido principio de que cuando dos transformadores que nominalmente tienen la misma relación de transformación, se conectan y se excitan en paralelo, con la más pequeña diferencia en la relación de alguno de ellos, se produce una corriente circulante entre ambos relativamente grande.

El ttr esta formado por un transformador de referencia con relación ajustable desde 0-130, una fuente de excitación de c. a. , un galvanómetro detector de cero corriente y un juego de terminales de prueba, todo esto contenido en una misma caja metálica o de fibra con un peso aproximado de 14 kg.

Hay 3 pasos para comprobar el funcionamiento correcto del ttr, con este procedimiento se detecta rápidamente cualquier desperfecto en las partes más vulnerables del aparato como son:

Terminales y conectores, el detector, los medidores, el potenciómetro.

1. Comprobación de balance. coloque los selectores en cero (00.000). conecte h1 con h2, asegúrese que los tornillos de los conectores c (x1, x2) se encuentran atornillados a la mitad de su rosca, que no hagan contacto con el tope, además no deberán tocarse entre si. gire la manivela del generador hasta lograr 8 volts de excitación. observe el detector (d) la aguja deberá permanecer al centro de la escala, sobre la marca de cero. si fuera necesario ajuste la aguja a cero con un desarmador mientras mantiene la excitación en 8 volts. suelte la manivela y observe el detector d. la aguja puede quedar ligeramente desviada de la marca de cero, si esta desviación es mayor de $1/16''$, ver manual del equipo.
2. Comprobación de la relación cero. en las terminales de excitación (x1, x2) apriete los tornillos hasta el tope, asegúrese que los tornillos hacen buen contacto contra la cara opuesta, si es necesario coloque unas arandelas de cobre para asegurar un buen contacto. mantenga separadas las terminales para que no se toquen entre si durante la comprobación. deje las terminales secundarias h1 y h2 conectadas entre si. deje los selectores en lecturas de cero. gire la manivela del generador hasta obtener 8 volts de excitación mientras gira observe el galvanómetro, si la aguja no indica cero, ajuste el cuarto selector hasta lograr que la aguja indique cero, mientras mantiene girando el generador con 8 volts. el error que se obtenga en la comprobación de la relación cero, afectara las lecturas del cuarto selector con la magnitud del error. si el error resulta inconveniente por ser grande, consulte el manual.
3. Comprobación de relación unitaria. en las terminales de excitación (x1, x2) apriete los tornillos hasta el tope, asegúrese que los tornillos hacen buen contacto contra la cara opuesta. mantenga separadas las terminales para que no se toquen entre si durante la comprobación. conecte la terminal secundaria h1 a la terminal negra de excitación x1. conecte la terminal secundaria roja h2 a la terminal de excitación roja x2. coloque los selectores en la lectura 1.000. gire la manivela hasta obtener 8 volts, simultáneamente observe el galvanómetro, si la lectura no es cero, ajuste el cuarto selector hasta que el detector indique cero, sin dejar de girar la manivela. si el cuarto selector indica menor de cero, cambie los selectores hasta obtener una lectura de 0.9999, otra vez ajuste el cuarto selector hasta que la aguja del galvanómetro marque cero. el equipo deberá leer 1.000 con casi la mitad de una división en el cuarto selector. el error que se obtenga en la comprobación unitaria, afectara en las lecturas del cuarto selector con la magnitud del error.

Procedimiento de prueba del ttr.

Para hacer esta prueba se deberá proceder en el orden siguiente:

- a) Precaución: asegúrese que el transformador que se va a probar se encuentra desenergizado, verificando en el campo que tanto interruptores como cuchillas de cada uno de los circuitos conectados a los devanados del transformador se encuentran en posición abierta.
- b) Si el transformador bajo prueba se encuentra cerca de equipo energizado con alta tensión aterrice una terminal de cada uno de los devanados, así como del ttr utilizando su terminal de puesta a tierra.
- c) Desconecte todas las terminales de alta tensión y de baja de manera que el transformador quede totalmente listo para realizarle las pruebas.
- d) Conecte las terminales de excitación x1 y x2 al devanado de menor tensión de los dos devanados que van a ser comparados como se indica en el diagrama vectorial correspondiente del transformador. conecte la terminal secundaria h1 ala terminal de mayor tensión que corresponda a

x1 como se indica en el diagrama. conecte la terminal h2 a la otra terminal de mayor voltaje. Cuando ambos devanados estén conectados a tierra en una de sus dos terminales, conecte las terminales x1 y h1 (negras) a los puntos aterrizados.

e) Coloque los selectores del ttr en cero y gire la manivela del generador $\frac{1}{4}$ de vuelta. si el galvanómetro se deflexiona hacia la izquierda la conexión del transformador es sustractiva. las terminales h1 y x1 se conectaran a las terminales de la misma polaridad, igualmente h2 y x2.

f) Si el galvanómetro se deflexiona hacia la derecha cuando el transformador ha sido conectado y probado como se indico anteriormente, entonces la polaridad es aditiva y será necesario intercambiar las terminales h1 y h2 para conectar correctamente el ttr. esto es, que las terminales del mismo color deben ir conectadas a los bornes de la misma polaridad.

g) Una vez que el ttr ha quedado conectado al transformador, coloque los selectores en una lectura de 1.000 y lentamente gire la manivela. observe el galvanómetro. la aguja deberá deflexionarse hacia la izquierda. simultáneamente observe el amperímetro y el voltímetro. si la aguja del amperímetro se deflexiona a plena escala mientras que en la aguja del voltímetro no se aprecia deflexión alguna, esto es una indicación de que el transformador esta tomando mucha corriente de excitación. además, notara que la manivela resulta más difícil de girar, hay razón para sospechar de un corto circuito involucrando una gran parte del flujo. verifíquese sus conexiones asegurándose que las terminales de excitación no están en corto, trate de obtener el balance del galvanómetro.

Normalmente la aguja del amperímetro indicara valores altos y la del voltímetro se deflexionara ligeramente durante los ajustes preliminares. El voltaje de generación se ira incrementando hasta 8 volts conforme se obtenga el balance del galvanómetro. Las lecturas del amperímetro irán disminuyendo dado que la carga del secundario se reduce a cero en el punto de balance.

Si el galvanómetro se deflexiona hacia la izquierda el balance se puede realizar.

Precaución: No gire de la manivela si alguien esta tocando las terminales secundarias del ttr, en relaciones de transformación a grandes se tiene voltajes del orden de 1,000 Volts en el secundario al excitarse con 8 Volts el primario del ttr.

Gire la manivela del generador $\frac{1}{4}$ de vuelta, mientras gira el primer selector un paso en el sentido de las manecillas del reloj y observe el galvanómetro.

Si aun se deflexiona hacia la izquierda, continúe girando el selector en el sentido de las manecillas del reloj hasta que finalmente en uno de los pasos, observa que el galvanómetro se ha deflexionado hacia la derecha, mientras tanto, continua girando de la manivela del generador.

Entonces regrese un paso el selector, el galvanómetro se deflexionara ahora a la izquierda. Continúe con el mismo procedimiento en el segundo y tercer selector sin dejar de girar la manivela. Luego proceda con el cuarto selector (potenciómetro) girándolo lentamente en el sentido de giro de las manecillas del reloj, hasta que las deflexiones del galvanómetro sean pequeñas, mientras continúa girando lentamente la manivela del generador.

Ahora incremente su velocidad hasta obtener una lectura de 8 volts, en ese momento ajuste el cuarto selector hasta que la aguja del galvanómetro no muestre deflexión fuera de la marca de balance.

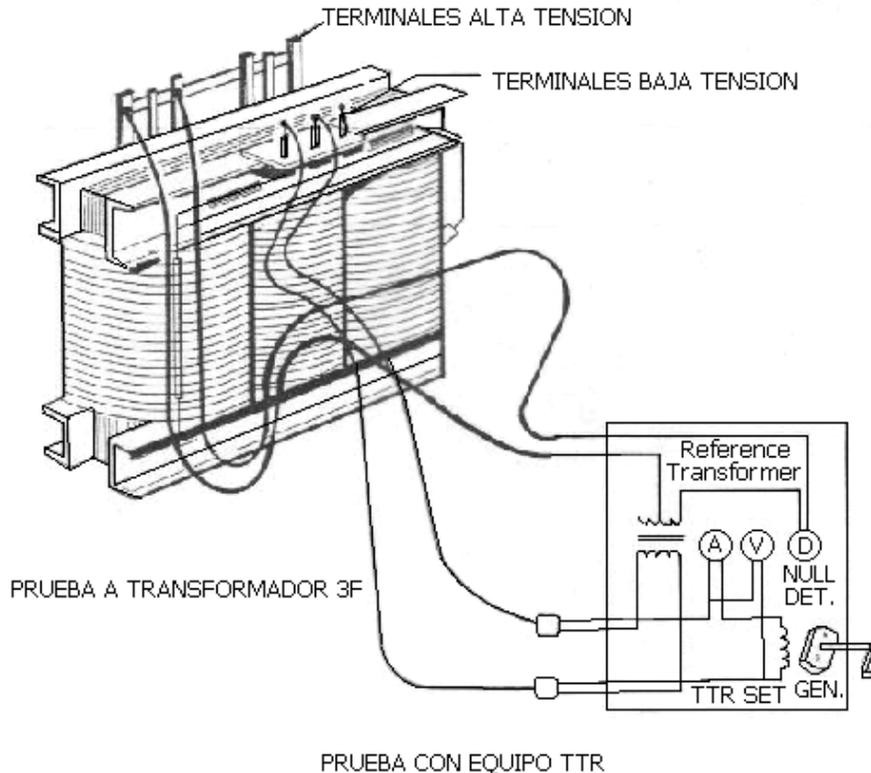
Tome las lecturas correspondientes y anótelas en la tabla de pruebas para esta práctica.

Para cada posición del cambiador de derivaciones o taps se debe registrar su lectura correspondiente, que por lo general son 5 derivaciones 2 de 2.5% cada una hacia arriba la central y otras 2 de 2.5% cada una hacia abajo.

EQUIPO A UTILIZAR:

- 1 Transformador 1000 VA 480-240/120 Volts o Cualquier otro de la Subestación del Lab. Maq.
- 1 TTR MARCA BIDDLE
- 1 HOJA DE TABLA DE PRUEBAS
- 1 Tierra efectiva.

Al conectar el TTR al transformador en prueba es importante observar las polaridades pues en caso de una conexión equivocada, el instrumento no dará lectura.



LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS
 TABLA DE CONEXIONES PARA DETERMINAR LA RELACION DE TRANSFORMACION
 A TRANSFORMADORES USANDO EQUIPO TTR BIDDLE No. 550005.

DIAG. NO.	TRANSFORMER TYPE		H WINDING		X WINDING		MEASURED TURN RATIO	IEN VECTOR GROUP	REMARKS
	HIGH-VOLTAGE WINDING (H)	LOW-VOLTAGE WINDING (X)	TERMINAL CONECTION	PHASE TESTED	TERMINAL CONECTION	PHASE TESTED			
1			H1 - H2		X1 - X2		VH / VX	1 1 0	SINGLE - PHASE
2			H1 - H2		X2 - X1		VH / VX	1 1 6	SINGLE - PHASE
3			H1 - H3	A	X1 - X3	a	VH / VX	D, d0	THREE -PHASE TRANSFORMER
			H2 - H1	B	X2 - X1	b			
			H3 - H2	C	X3 - X2	c			
4			H1 - H3	A	X1 - X3	a	VH / VX	D, d6	THREE -PHASE TRANSFORMER
			H2 - H1	B	X2 - X1	b			
			H3 - H2	C	X3 - X2	c			
5			H1 - H3	A	X1 - X0	a	$\frac{VH * \sqrt{3}}{VX}$	D, rm1	THREE -PHASE TRANSFORMER
			H2 - H1	B	X2 - X0	b			
			H3 - H2	C	X3 - X0	c			
6			H1 - H4	A	X0 - X1	a	$\frac{VH * \sqrt{3}}{VX}$	D, rm7	THREE -PHASE TRANSFORMER
			H2 - H2	B	X0 - X2	b			
			H3 - H3	C	X0 - X3	c			
7			H1 - H0	A	X1 - X0	a	VH / VX	YN, rm0	THREE -PHASE TRANSFORMER
			H2 - H0	B	X2 - X0	b			
			H3 - H0	C	X3 - X0	c			
8			H1 - H0	A	X0 - X1	a	VH / VX	YN, rm6	THREE -PHASE TRANSFORMER
			H2 - H0	B	X0 - X2	b			
			H3 - H0	C	X0 - X3	c			
9			H1 - H0	A	X1 - X2	a	$\frac{VH}{VX * \sqrt{3}}$	YN, d1	THREE -PHASE TRANSFORMER
			H2 - H0	B	X2 - X3	b			
			H3 - H0	C	X3 - X1	c			
10			H1 - H0	A	X2 - X1	a	$\frac{VH}{VX * \sqrt{3}}$	YN, d7	THREE -PHASE TRANSFORMER
			H2 - H0	B	X3 - X2	b			
			H3 - H0	C	X1 - X3	c			

Facultad de Ingeniería

Laboratorio de Máquinas Eléctricas

Relación de Transformación T. T. R. Conexión : H _____

Subestación: _____ Conexión : X _____

Transformador: _____ Conexión : Y _____

Tipo de Enfriamiento: _____ Marca y Serie : _____

Capacidad : _____ KVA Fases : _____

TAP	Voltaje	Relación	Fase A Fase 1		Fase B Fase 2		Fase C Fase 3	
	kV	Teórica	conexiones	%Diferencia	conexiones	%Diferencia	conexiones	%Diferencia
H -X								
1								
2								
3								
4								
5								

TAP	Voltaje	Relación	Fase a Fase 1		Fase b Fase 2		Fase c Fase 3	
	kV	Teórica	conexiones	%Diferencia	conexiones	%Diferencia	conexiones	%Diferencia
H -Y								
1								
2								
3								
4								
5								

<p style="text-align: center;">Diagrama Vectorial</p>	<p style="text-align: center;">% Dif. = $\frac{\text{Relación Teórica} - \text{Relación Medida} \times 100}{\text{Relación Teórica}}$</p> <p>Observaciones : _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Serie T.T.R. _____ Reporte No.</p> <p>Prueba Efectuada por : _____</p> <p>Reviso : _____</p>
---	---

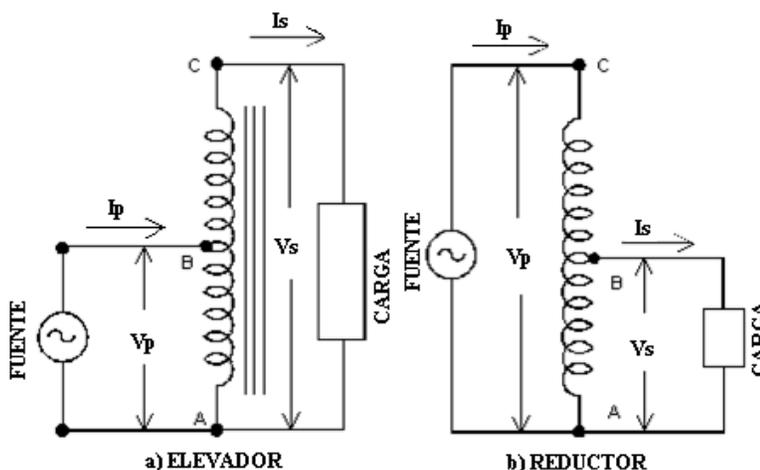
PRACTICA No. 7 EL AUTO TRANSFORMADOR

OBJETIVO: Estudiar la relación de tensión y de intensidad de corriente de un Auto transformador aprendiendo a conectarlo como elevador o reductor.

RESUMEN TEORICO.

El transformador que tiene un solo devanado, funcionando este como primario y secundario al mismo tiempo se le denomina Auto transformador. Cuando se utiliza un Auto transformador para elevar la tensión, se utiliza una parte del devanado que actúa como primario, y el devanado completo sirve como secundario. Cuando se usa un Auto transformador para reducir la tensión, todo el devanado actúa como primario y parte del devanado funciona como secundario.

En la figura se muestra la forma de como conectar ambos casos:



La acción del Auto transformador básicamente es la misma que la del transformador normal de dos devanados. La potencia se transfiere del primario al secundario por medio del campo magnético variable y el secundario a la vez, regula la intensidad de corriente del primario para establecer la condición requerida de igualdad de potencia en el primario y secundario.

La magnitud de la reducción o aumento de tensión depende de la relación del número de vueltas del primario y el secundario contando cada devanado como separado, es decir en la primer figura el primario será de A a B y el secundario de A a C, en la otra el primario es de A a C y el secundario de A a B.

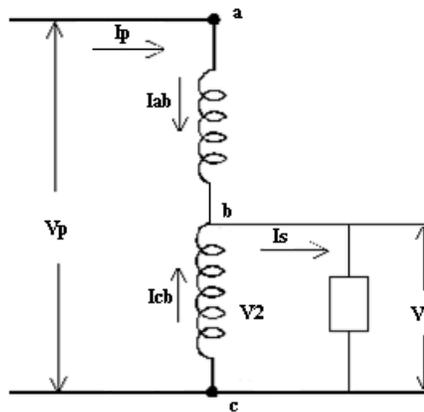
Las tensiones y la intensidad de diversos devanados se pueden establecer mediante dos reglas:

a) La potencia aparente del primario (VA) es igual a la potencia aparente secundario (VA).

$$(VA)_p = (VA)_s \text{ -----(1)}$$

$$(V_p I_p) = (V_s I_s) \text{ -----(2)}$$

b) La tensión del primario (fuente) y del secundario (carga) son directamente proporcionales al número de vueltas N. De la siguiente figura :



$$V_p / V_s = (N_A a_B) / (N_A a_B + N_B a_C) = N_A a_B / N_A a_C$$

De la otra figura:

$$V_p / V_s = (N_A a_B + N_B a_C) / (N_A a_B) = N_A a_C / N_A a_B$$

Estas expresiones dependen de que las tensiones $V_{A c B}$ y $V_{B a C}$, se suman en el mismo sentido y no se oponen entre sí. Se supone que las tensiones están en fase y la intensidad de corriente de la carga no puede ser mayor a la capacidad nominal de la intensidad de corriente del devanado.

Conociendo estos datos es sencillo calcular la carga VA que puede proporcionar un Auto transformador

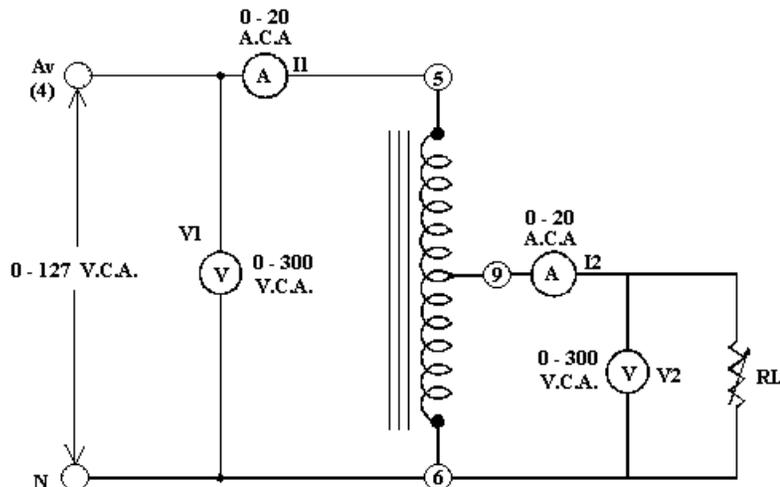
El auto transformador no tiene aislamiento entre los circuitos primarios y secundarios ya que varias vueltas son comunes entre sí. Esto podría considerarse una desventaja en ciertos circuitos.

EQUIPO A UTILIZAR:

- 1 Transformador 60 VA 127 / 220 Volts ITK
- 1 Fuente 220 Volts Variable ITK
- 2 Voltímetros 0-220 - 750 Volts.
- Cables de Conexión Varios.
- Resistencias de 1200, 600 y 300 ohms ITK

PROCEDIMIENTOS:

1. Conecte el circuito de la figura siguiente, utilizando el transformador, fuente de alimentación, resistencias e instrumentos de medición, el devanado 5 a 6 se conecta como el primario de la fuente de alimentación de 127 V.C.A. La derivación central del devanado terminal 9 se conecta a un lado de la carga y la porción 6 a 9 del devanado primario se conecta como secundario.



2. Con los interruptores abiertos de las resistencias, para tener una intensidad de corriente igual a cero.

A) Conecte la fuente de alimentación y ajústela a 127 V.C.A. según lo indique el voltímetro V_1 (es la tensión nominal para el devanado 5 a 6).

B) Ajuste la resistencia de carga R_L a 120 ohm.

C) Mida y anote las intensidades de corriente I_1 , I_2 y la tensión de salida V_2 .

$I_1 =$ A.C.A.

$I_2 =$ A.C.A.

$V_2 =$ V.C.A.

D) Reduzca la tensión acero y desconecte le fuente de alimentación.

E) Calcule la potencia aparente en los circuitos primarios y secundarios.

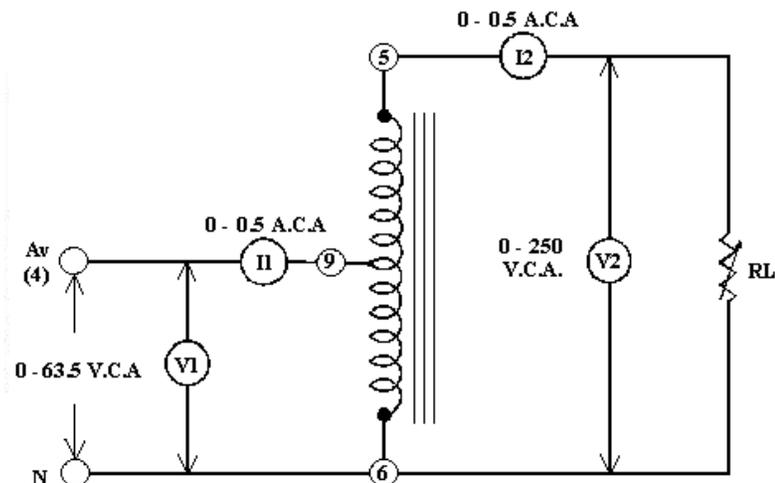
$$V_1 = \quad * I_1 \quad = \quad (\text{VA})_p$$

$$V_2 = \quad * I_2 \quad = \quad (\text{VA})_s$$

F) Son aproximadamente dos potencias aparentes

G) Se trata de un Auto transformador elevador o reductor

3. Conecte el circuito de la siguiente figura cerciorándose de que los interruptores de las resistencias estén abiertos.



- A) Conecte la fuente de alimentación y ajuste a 63.5 volts V.C.A. de acuerdo con el voltímetro V_1 (esta tensión es la nominal para el devanado 6 a 9).
- B) Ajuste la resistencia de carga R_L , a 660 ohms.
- C) Mida y anote las intensidades de corriente I_1 , I_2 y la tensión de salida V_2 .

$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A.C.A.}$$

$$I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A.C.A.}$$

$$V_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V.C.A.}$$

- D) Reduzca la tensión a cero y desconecte la fuente de alimentación.
- F) Calcule la potencia aparente en los circuitos primarios y secundarios.

$$V_1 * I_1 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (VA)}_p$$

$$V_2 * I_2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (VA)}_s$$

- F) Son aproximadamente iguales las dos potencias aparentes.

- G) Se trata de un Auto transformador elevador o reductor

PRACTICA No. 8 CONEXIONES TRIFÁSICAS

OBJETIVO: El estudiante aprenderá a realizar los diferentes tipos de conexiones de transformadores que se emplean comúnmente así como determinar sus parámetros de relación de voltajes y corriente.

1.- Conexiones de transformador trifásico

Un transformador trifásico consta de tres transformadores monofásicos, bien separados o combinados sobre un núcleo. Los primarios y secundarios de cualquier transformador trifásico pueden conectarse independientemente en estrella ($\square Y$) o en delta ($\square \Delta$). Esto da lugar a cuatro conexiones posibles para un transformador trifásico.

1.1.- Conexión estrella($\square Y$)- estrella($\square Y$)

1.2.- Conexión estrella($\square Y$)- delta($\square \Delta$)

1.3.- Conexión delta($\square \Delta$)- estrella($\square Y$)

1.4.- Conexión delta($\square \Delta$)- delta($\square \Delta$)

1.1.- Conexión estrella (Y)- estrella ($\square Y$)

La conexión Y \square Y de los transformadores se muestra en la figura 1.1.

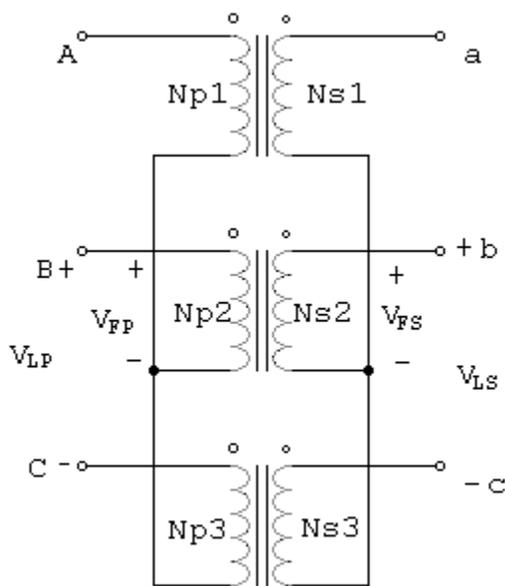


Figura 1.1 Conexión Y-Y

En una conexión Y-Y, el voltaje primario de cada fase se expresa por $V_{FP} = V_{LP} / \sqrt{3}$. El voltaje de la primera fase se enlaza con el voltaje de la segunda fase por la relación de espiras del transformador. El voltaje de fase secundario se relaciona, entonces, con el voltaje de la línea en el secundario por $V_{LS} = \sqrt{3} * V_{FS}$. Por tanto, la relación de voltaje en el transformador es

$$V_{LP} / V_{LS} = (\sqrt{3} * V_{FP}) / (\sqrt{3} * V_{FS}) = a$$

Se emplea en sistemas con tensiones muy elevadas, ya que disminuye la capacidad de aislamiento. Esta conexión tiene dos serias desventajas.

- Si las cargas en el circuito del transformador están desbalanceadas, entonces los voltajes en las fases del transformador se desbalancearán seriamente.
 - No presenta oposición a los armónicos impares (especialmente el tercero). Debido a esto la tensión del tercer armónico puede ser mayor que el mismo voltaje fundamental. Ambos problemas del desbalance y el problema del tercer armónico, pueden resolverse usando alguna de las dos técnicas que se esbozan a continuación.
 - **Conectar sólidamente a tierra el neutro primario de los transformadores.** Esto permite que los componentes adicionales del tercer armónico, causen un flujo de corriente en el neutro, en lugar de causar gran aumento en los voltajes. El neutro también proporciona un recorrido de retorno a cualquier corriente desbalanceada en la carga.
 - **Agregar un tercer embobinado (terciario) conectado en delta al grupo de transformadores.** Esto permite que se origine un flujo de corriente circulatoria dentro del embobinado, permitiendo que se eliminen los componentes del tercer armónico del voltaje, en la misma forma que lo hace la conexión a tierra de los neutros.
- De estas técnicas de corrección, una u otra deben usarse siempre que un transformador Y - Y se instale. En la práctica muy pocos transformadores de estos se usan pues el mismo trabajo puede hacerlo cualquier otro tipo de transformador trifásico.

1.2.- Conexión estrella (□Y) – delta (□Δ)

La conexión Y□□ Δ de los transformadores trifásicos se ilustra en la figura 1.2.

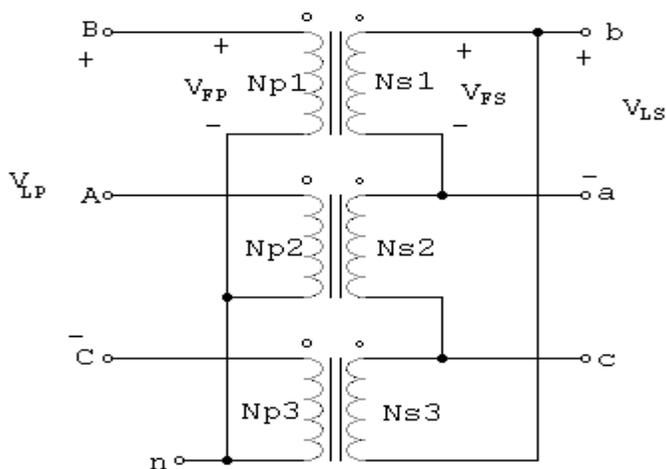


Figura 1.2 Conexión Y - Δ□

En esta conexión el voltaje primario de línea se relaciona con el voltaje primario de fase mediante $V_{LP} = \sqrt{3} * V_{FP}$, y el voltaje de línea secundario es igual al voltaje de fase secundario $V_{LS} = V_{FS}$. La relación de voltaje de cada fase es

$$V_{FP} / V_{FS} = a$$

De tal manera que la relación total entre el voltaje de línea en el lado primario del grupo y el voltaje de línea en el lado secundario del grupo es

$$V_{LP} / V_{LS} = (\sqrt{3} * V_{FP}) / V_{FS}$$

$$V_{LP} / V_{LS} = (\sqrt{3} * a)$$

La conexión Y - Δ no tiene problema con los componentes del tercer armónico en sus voltajes, ya que ellos se consumen en la corriente circulatoria del lado delta (Δ). Esta conexión también es más estable con relación a las cargas desbalanceadas, puesto que la delta (Δ) redistribuye parcialmente cualquier desbalance que se presente.

Esta disposición tiene, sin embargo, un problema. En razón de la conexión delta(Δ), el voltaje secundario se desplaza 30° con relación al voltaje primario del transformador. El hecho de que un desplazamiento de la fase haya ocurrido puede causar problemas al conectar en paralelo los secundarios de dos grupos de transformadores. Los ángulos de fase de los transformadores secundarios deben ser iguales si se supone que se van a conectar en paralelo, lo que significa que se debe poner mucha atención a la dirección de desplazamiento de 30° de la fase, que sucede en cada banco de transformadores que van a ser puestos en paralelo.

En estados unidos se acostumbra hacer que el voltaje secundario atrase al primario en 30° . Aunque esto es lo reglamentario, no siempre se ha cumplido y las instalaciones más antiguas deben revisarse muy cuidadosamente antes de poner en paralelo con ellos un nuevo transformador, para asegurarse que los ángulos de fase coincidan.

La conexión que se muestra en la figura 1.2 hará que el voltaje secundario se atrase, si la secuencia es **abc**. Si la secuencia del sistema fase es **acb**, entonces la conexión que se ve en la figura 1.2 hará que el voltaje secundario se adelante al voltaje primario en 30° .

Se usa en los sistemas de transmisión de las subestaciones receptoras cuya función es reducir el voltaje. En sistemas de distribución es poco usual (no tiene neutro) se emplea en algunas ocasiones para distribución rural a 20 KV.

1.3.- Conexión delta (Δ)- estrella (Y)

La conexión Δ -Y de los transformadores trifásicos se ilustra en la figura 1.3.

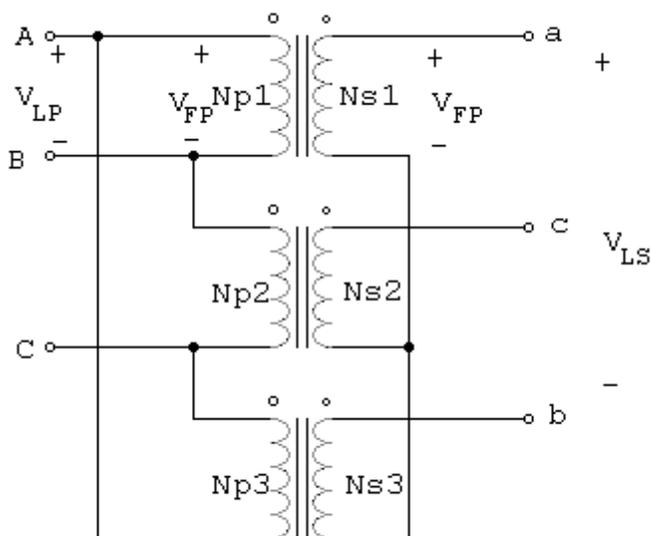


Figura 1.3 Conexión Δ -Y

En una conexión Δ -Y, el voltaje de línea primario es igual al voltaje de fase primario, $V_{LP}=V_{FP}$, en tanto que los voltajes secundarios se relacionan por $V_{LS}=\sqrt{3} * V_{FS}$, por tanto la relación de voltaje línea a línea de esta conexión es

$$V_{LP} / V_{LS} = V_{FP} / (\sqrt{3} * V_{FS})$$

$$V_{LP} / V_{LS} = a / \sqrt{3}$$

Esta conexión tiene las mismas ventajas y el mismo desplazamiento de fase que el transformador Y - Δ . La conexión que se ilustra en la figura 1.3, hace que el voltaje secundario atrase el primario en 30° , tal como sucedió antes.

Se usa en los sistemas de transmisión en los que es necesario elevar tensiones de generación. En sistemas de distribución industrial, su uso es conveniente debido a que se tiene acceso a dos tensiones distintas, de fase y línea.

1.4.- Conexión delta (\square) - delta (Δ)

La conexión Δ - Δ se ilustra en la figura 1.4

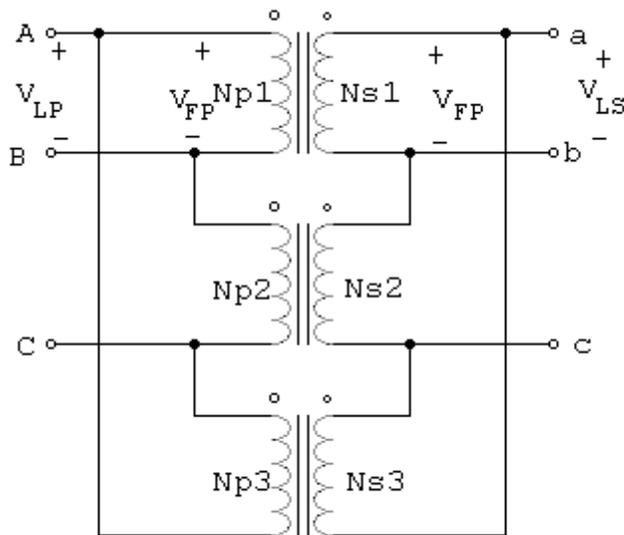


Figura 1.4 conexión Δ - Δ

En una conexión de estas,

$$V_{LP} = V_{FP}$$

$$V_{LS} = V_{FS}$$

Así que la relación entre los voltajes de línea primario y secundario es

$$V_{LP} / V_{LS} = V_{FP} / V_{FS} = a$$

Esta conexión se utiliza frecuentemente para alimentar sistemas de alumbrado monofásicos y carga de potencia trifásica simultáneamente, presenta la ventaja de poder conectar los devanados primario y secundario sin desfase, y no tiene problemas de cargas desbalanceadas o armónicas. Sin embargo, circulan altas corrientes a menos que todos los transformadores sean conectados con el mismo TAP de regulación y tengan la misma razón de tensión.

Sistemas de por unidad para transformadores trifásicos.

El sistema de medición por-unidad puede aplicarse tanto a los transformadores trifásicos como a los monofásicos. La base monofásica se aplica a un sistema trifásico en bases por fase. Si el valor total de la base voltiamperio del grupo de transformadores se llama S_{base} , entonces el valor de la base voltiamperio de uno de los transformadores $S_{1F, base}$ es

$$S_{1F, base} = S_{base} / 3$$

Y las bases de corriente e impedancia de fase del transformador son

$$I_{F, base} = S_{1F, base} / V_{F, base}$$

$$I_{F, base} = S_{base} / 3 * V_{F, base}$$

$$Z_{base} = (V_{F, base})^2 / S_{1F, base}$$

$$Z_{base} = 3 * (V_{F, base})^2 / S_{base}$$

Las magnitudes de línea en los grupos de transformadores trifásicos también pueden expresarse en por-unidad. La relación entre el voltaje base de línea y el voltaje base de fase del transformador dependen de la conexión de los devanados. Si los devanados se conectan en delta, $V_{L, base} = V_{F, base}$; mientras que si la conexión se hace en estrella, $V_{L, base} = \sqrt{3} * V_{F, base}$. La corriente de línea base en un transformador trifásico se expresa por.

$$I_{L, base} = S_{base} / \sqrt{3} * V_{L, base}$$

La aplicación del sistema por-unidad en los problemas de los transformadores trifásicos es similar a su aplicación en los ejemplos para los monofásicos.

2.- Transformación trifásica con el uso de dos transformadores

Además de las conexiones usuales de los transformadores trifásicos, existen otras formas para transformar corriente trifásica con solo dos transformadores. Todas las técnicas usadas para esto se basan en la reducción de la capacidad de carga de los transformadores, que puede justificarse por ciertos factores económicos

Algunas de las principales conexiones de este tipo son:

- 2.1.- La conexión Δ abierta (o V-V)
- 2.2.- La conexión Y abierta - Y abierta.
- 2.3.- La conexión Scott-T.

2.1 - La conexión Δ -abierta (o V-V)

En ciertos casos un grupo completo de transformadores puede no utilizarse para lograr transformación trifásica. Por ejemplo, supongamos que un grupo de transformadores Δ - Δ , compuesto de transformadores separados, tiene una fase averiada que se debe retirar para repararla. Si los voltajes secundarios restantes son $V_A = V \angle 0^\circ$ y $V_B = V \angle 120^\circ$ V, entonces el voltaje que atraviesa el intervalo en donde antes estaba el tercer transformador se expresa por

$$V_C = - V_A - V_B$$

$$= V \angle 0^\circ - V \angle 120^\circ = -V - (-0.5 - j0.866)$$

$$= -0.5 + j0.866 \text{ V}$$

$$V_C = V \angle 120^\circ$$

Este es exactamente el mismo voltaje que existiría si el tercer transformador aún estuviera allí. La fase C se llama fase fantasma, en algunas ocasiones. De modo que la conexión delta-abierta admite que un grupo de transformadores cumpla su función con solamente dos transformadores, permitiendo que cierto flujo de potencia continúe, aun habiéndosele removido una fase dañada.

¿Cuánta potencia aparente puede suministrar el grupo, eliminando uno de sus tres transformadores? Inicialmente, parecería que puede suministrar dos terceras partes de su potencia aparente nominal,

puesto que los dos tercios de los transformadores aún están presentes. Sin embargo, el asunto no es así de sencillo.

Estando conectando el grupo de transformadores Δ - Δ , (ver figura 1.4) con una carga resistiva. Si el voltaje nominal de un transformador en el grupo es V_F y la corriente nominal es I_F , entonces la potencia máxima que puede suministrarse a la carga es

$$P = 3 * V_F * I_F * \cos \theta$$

El ángulo entre el voltaje V_F y la corriente I_F , en cada fase es 0° , de manera que la potencia total suministrada por el transformador es

$$P = 3 * V_F * I_F * \cos 0^\circ$$

$$P = 3 * V_F * I_F$$

La conexión delta-abierta se observa en la figura 2.1

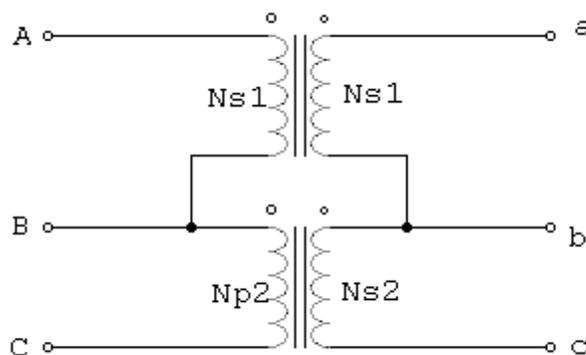


Figura 2.1 Conexión en V-V (o delta abierta)

Es importante fijarse en los ángulos de los voltajes y corrientes en este grupo de transformadores. Puesto que falta una de las fases del transformador, la corriente de la línea de transmisión es ahora igual a la corriente de fase de cada transformador y las corrientes y voltajes del grupo difieren en un ángulo de 30° . Como que los ángulos de corriente y voltaje son diferentes en cada uno de los dos transformadores, se hace necesario examinar cada uno de ellos individualmente para determinar la potencia máxima que pueden suministrar. Para el transformador 1, el voltaje tiene un ángulo de 150° y la corriente tiene uno de 120° , así que la máxima potencia del transformador 1 se expresa mediante

$$P_1 = V_F * I_F * \cos(150^\circ - 120^\circ)$$

$$P_1 = V_F * I_F * \cos 30^\circ$$

$$P_1 = (\sqrt{3} / 2) * V_F * I_F$$

Para el transformador 2, el voltaje está en un ángulo de 30° y la corriente en uno de 60° de modo que su potencia máxima es

$$P_2 = V_F * I_F * \cos(30^\circ - 60^\circ)$$

$$P_2 = V_F * I_F * \cos (-30^\circ)$$

$$P_2 = (\sqrt{3} / 2) * V_F * I_F$$

Entonces, la potencia máxima del grupo delta-abierto se expresa

$$P = \sqrt{3} * V_F * I_F$$

La corriente nominal es la misma en cada transformador, aun si hay dos o tres de éstos. El voltaje también es el mismo en cada uno de ellos; así que la relación de la potencia de salida disponible en el grupo delta abierto y la potencia de salida disponible del grupo trifásico normal es

$$P_{\Delta\text{-abierta}} / P_{3\text{-fases}} = (\sqrt{3} * V_F * I_F) / (3 * V_F * I_F) = 1 / \sqrt{3} = 0.577$$

La potencia disponible que sale del grupo en delta-abierto es sólo el 57.7% de la potencia nominal del grupo original.

Una buena pregunta que nos podríamos hacer es: ¿Qué pasaría con el resto de la capacidad nominal del grupo en delta abierto. Después de todo, la potencia total que pueden entregar los dos transformadores juntos son las dos terceras partes de la capacidad nominal del grupo original. Para averiguarlo, examine la potencia reactiva del grupo en delta abierto.

La potencia reactiva del transformador 1 es

$$Q_1 = V_F * I_F * \text{sen}(150^\circ - 120^\circ)$$

$$Q_1 = V_F * I_F * \text{sen} 30^\circ$$

$$Q_1 = 0.5 * V_F * I_F$$

La potencia reactiva del transformador 2 es

$$Q_2 = V_F * I_F * \text{sen}(30^\circ - 60^\circ)$$

$$Q_2 = V_F * I_F * \text{sen}(-30^\circ)$$

$$Q_2 = -0.5 * V_F * I_F$$

Así, un transformador está produciendo la potencia reactiva que el otro está consumiendo. Este intercambio de energía entre los dos transformadores es él que limita la salida al 57.7% de la potencia nominal del grupo original, en lugar del 66.7% esperado en otras condiciones.

Otra alternativa para considerar la potencia indicada de la conexión delta-abierto es que el 86.7% de la potencia nominal de los dos transformadores restantes se puede usar.

La conexión delta abierto también se emplea cuando ocasionalmente es necesario suministrar una pequeña potencia trifásica a una carga principal monofásica. En tal caso se emplean esta conexión, en la cual el transformador T_2 es mucho más grande que T_1 .

2.2.- La conexión Y abierta - Δ abierta.

Este tipo de conexión es muy similar a la conexión delta-abierto, con la diferencia de que los voltajes primarios se obtienen a partir de dos fases y un neutro. Esta conexión se ilustra en la figura 2.2.

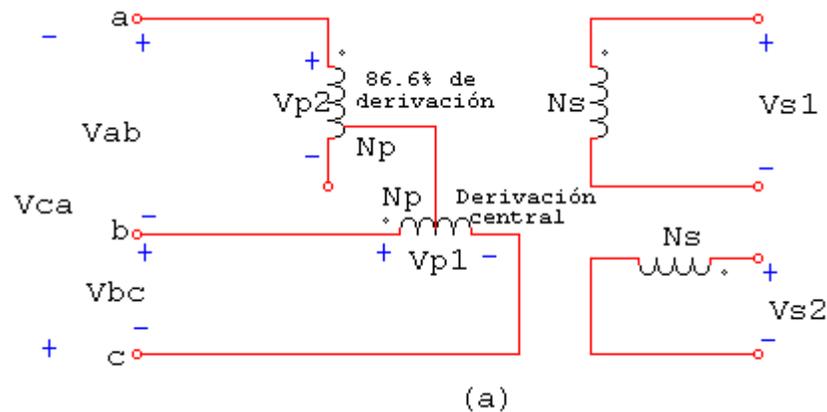


Figura 2.3. a) la conexión del transformador Scott-T

Esta conexión consiste en dos transformadores monofásicos con idéntica potencia nominal. Uno tiene derivación en su bobinado primario al 86.6% de voltaje a plena carga. Están conectados tal como se ilustra en la figura 2.3a. La derivación del transformador T_2 al 86.6%, está conectada a la derivación central del transformador T_1 . Los voltajes aplicados al bobinado primario aparecen en la figura 2.3b y los voltajes resultantes, aplicados a los primarios de los transformadores, se ilustran en la figura 2.3c.

Como estos voltajes están separados 90° , producirán una salida bifásica.

$$V_{ab} = V \angle 120^\circ \quad V_{bc} = V \angle 0^\circ \quad V_{ca} = V \angle -120^\circ$$

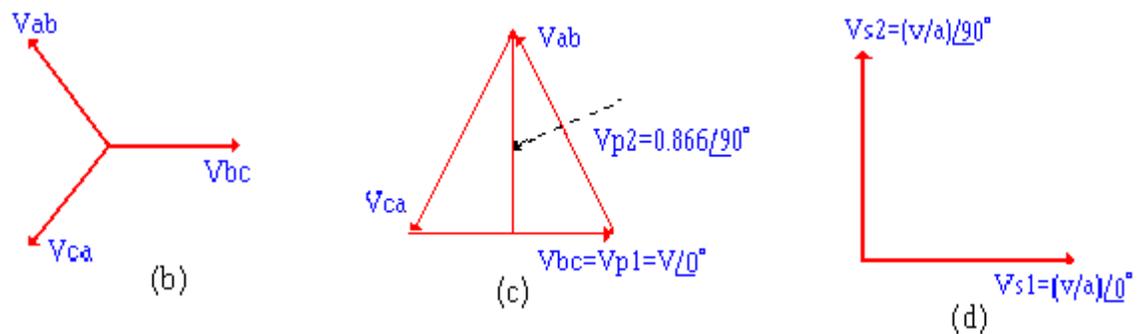


Figura 2.3. b) voltajes de alimentación trifásica; c) voltajes en los devanados primarios del transformador; d) voltajes secundarios bifásicos.

PRACTICA No. 9 RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

OBJETIVO: Al término de la práctica el estudiante podrá realizar las lecturas que nos indican la rigidez dieléctrica de los aceites aislantes de transformadores.

En el caso de los transformadores sumergidos en aceite, este tiene un doble fin, que es servir como medio de refrigerante, y como dieléctrico entre todas las piezas sumergidas. Desde el punto de vista del comportamiento eléctrico del equipo, es importante una alta rigidez dieléctrica del aceite. Un aceite puro tiene una rigidez elevada, pero esta se reduce a medida que aumenta su índice de contaminación.

El aceite nuevo que se usara en un transformador puede estar contaminado por:

- Impureza en los recipientes de transporte o de almacén.
- Absorción de humedad por contacto prolongado con el aire ambiente.

La medición de la rigidez del aceite puede ser también una prueba de mantenimiento preventivo, y para que ha estado trabajando en transformador, podemos considerar una tercera causa de contaminación.

- Degradación del aceite por descargas parciales.

Un aceite que muestre baja rigidez no es apropiado para uso en el transformador, por lo que será necesario someterlo a un proceso de filtrado para eliminar humedad e impurezas.

La prueba consiste en colocar dos electrodos planos o semiesféricos dentro de una muestra de aceite, y aplicarles una muestra de aceite, y aplicarles una diferencia de potencial cuyo valor aumenta gradualmente hasta obtener la ruptura.

Se requiere el siguiente equipo:

ACEITE DE TRANSFORMADOR.

PROBADOR DE RIGIDEZ DIELECTRICA MARCA AVO. QUE CONSTA DE:

A) Transformador de alta tensión. Un transformador elevador, alimentado en baja tensión por una fuente de voltaje regulado, y capaz de dar en alta tensión un valor superior a 35 KV. Se recomienda una capacidad mínima de 0.5 KVA para evitar distorsión de onda.

B) Interruptor. El transformador debe protegerse con un interruptor automático capaz de abrir como máximo en tres ciclos a partir de la ruptura.

C) Control de tensión. De preferencia se debe tener un control automático para incrementar la tensión a razón de 0.5, 2 y 3 KV/seg. $\pm 20\%$. Si no es posible, esta operación puede ser manual.

D) Medidor de tensión. Un voltímetro integrado al equipo, que nos indique con la mayor precisión los KV en el secundario del transformador elevador.

E) Copa de prueba. Debe cumplir con los siguientes requisitos.

Debe tener los electrodos rígidamente montados, con sus caras paralelas y sus ejes coincidentes en línea horizontal. Los electrodos deben ser discos de bronce pulido, de 2.54 cm de diámetro, cuando menos 0.32 cm de espesor con aristas a 90°, y separados una distancia de 2.54 ± 0.01 mm. Según la norma a emplear.

Ninguna parte de la copa debe estar a menos de 1.3 cm de cualquier parte de los electrodos y su borde superior debe estar a 3.8 cm de la parte superior de los electrodos.

F) Muestreadores. Son dispositivos adecuados para extraer la muestra de acuerdo al recipiente de almacenamiento.

G) Recipiente de muestreo. Se deben usar botellas de vidrio transparente para una mejor inspección visual, con capacidad de dos litros y tapones que eviten cualquier clase de contaminación.

Preparación. Tanto el muestreador como el recipiente de muestreo deben lavarse cuidadosamente con solventes, agua y jabón. Se recomienda que en el momento de muestrear el aceite se encuentre a la temperatura ambiente, a fin de reducir al mínimo la absorción de humedad. No debe drenarse antes de tomar la muestra, pues es importante que esta conserve todas sus impurezas.

Al vaciar la muestra en el recipiente, debe hacerse escurriéndolo por las paredes, para que no se formen burbujas. Cuando falte aproximadamente 13 mm., para que se llene, se retira el muestreador, se tapa la botella y se le coloca una identificación.

Previamente a la prueba, la muestra debe agitarse suavemente, de tal manera que no se produzcan burbujas. Se debe usar una porción de ella para enjuagar la copa, y después se limpia esta con papel o gamuza secos y libres de pelusas.

Es conveniente una primera prueba de la copa con aceite nuevo, filtrado y seco.

Desarrollo de la prueba. Se llena la copa lentamente hasta un nivel de 2 cm., arriba del borde superior de los electrodos, evitando la inclusión de aire, y se coloca en el transformador de prueba.

La temperatura ambiente no debe ser menor de 20° C.

Después de 2 a 3 minutos de haber llenado la copa, se comienza a aplicar la tensión, incrementándola a razón de 3 KV/segundo hasta que ocurra la ruptura.

La ruptura se caracteriza por una descarga continua entre los electrodos, que hace operar el interruptor de seguridad. En ocasiones ocurren pequeñas descargas momentáneas que no deben tomarse en cuenta.

Una vez determinada la ruptura, se vacía la copa en un recipiente limpio, y se llena nuevamente con otra porción de muestra, determinando nuevamente su ruptura.

Si ningún valor de las dos primeras pruebas esta por debajo del valor de aceptación, el aceite se considera bueno y no requiere mas pruebas.

Si cualquiera de los valores resultara por debajo de aceptación, entonces se requieren otras tres pruebas de la muestra.

Entonces se obtiene la diferencia entre los valores mayor y menor de las cinco pruebas, y se multiplica por tres. Si el valor obtenido es mayor que el inmediato superior al valor mínimo, la estadística es insuficiente y habrá que efectuar cinco pruebas. El promedio de los diez resultados se reportara como la tensión de ruptura de la muestra. Si no es así, basta el promedio de las primeras cinco pruebas.

DESARROLLO DE LA PRUEBA

- ✓ Haga la limpieza de sus dispositivos y llene el recipiente con la muestra.
- ✓ Agite suavemente la muestra y tome una primera porción para limpiar la copa. Verifique la calibración de los electrodos.
- ✓ Llene la copa con otra porción de muestra y colóquela en el transformador de prueba.
- ✓ Después de reposar de dos a tres minutos, comience a elevar la tensión, a razón de 3 KV/seg. Este pendiente de la tensión de ruptura, y anote su valor.
- ✓ Verifique que el equipo esta des energizado. Nunca esta de mas un exceso de precaución, de manera que es conveniente tocar el cable de alta tensión con un cable aterrizado, para descargar cualquier voltaje electrostático.
- ✓ Retire la copa, vacíela en un recipiente limpio y devuélvala a llenar con otra porción de muestra. Colóquela nuevamente en el equipo de prueba.
- ✓ Después de reposar de dos a tres minutos, comience a elevar la tensión (3 KV/seg) hasta el punto de ruptura y anote su resultado.
- ✓ Si ninguno de los valores obtenidos es menor a 25 KV, obtenga el promedio y anótelo, así como la temperatura de prueba. En caso contrario continúe con las siguientes indicaciones.
- ✓ Si alguna lectura resulto menor a 25 KV llene la copa otras tres veces, tome en cada una la tensión de ruptura.
- ✓ Obtenga la diferencia entre la lectura mayor y la menor y multiplíquela por tres.
- ✓ Compare este valor con el inmediato superior a la lectura menor.
- ✓ Si la diferencia $\times 3$ es menor que este valor, saque el promedio de las cinco lecturas y anótelo como tensión promedio de ruptura. Si no es así, obtenga otras cinco lecturas y anote el promedio de las diez.
- ✓ En caso de una tensión de ruptura baja, anote en observaciones si la muestra presenta impurezas y/o humedad.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE

RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE	
METODO DE PRUEBA:	
TEMPERATURA AMBIENTE: °C	
TENSIÓN DE RUPTURA	TENSIÓN PROMEDIO DE RUPTURA
	OBSERVACIONES:

Según la **NORMA AS1767** los electrodos deben ser de Hongo y Esferico con una separacion de 2.5 mm e iniciar la prueba despues de 3 minutos, a razon de 2 KV/seg, despues esperar solo 1 minuto para continuar y sacar el promedio. El numero de pruebas para esta norma es de 6.

Según la **NORMA ASTM D877** los electrodos son cilindricos con una separacion de 2.5 mm y empezar la prueba despues de 3 minutos y 20 segundos, a razon de 3 KV/seg y esperar solo 1 minuto para proseguir con las demas pruebas, que para esa norma son 5.

En la **NORMA ASTM D1816** los electrodos son tipo Hongo con una separacion de 1 o 2 mm y esperar 3 minutos para empezar la prueba, el voltaje es a razon de 0.5 KV/seg y 1 minuto entre prueba y prueba, son 5 pruebas las que se realizan.

Normalmente la rigidez dieléctrica en los aceites aislantes se debe comportar en la forma siguiente:

Aceites degradados y contaminados	De 10 a 28 KV
Aceites carbonizados no degradados	De 28 a 33 KV
Aceite Nuevo sin desgasificar	De 33 a 40 KV
Aceite Nuevo desgasificado	De 40 a 50 KV
Aceite Regenerado	De 50 a 60 KV

Los valores anteriores se refieren a normas de pruebas de acuerdo a los electrodos. Si se usan electrodos de 25.4 mm de diámetro con una separación de 2.54 mm la tensión de ruptura debe ser cuando menos 25 KV en aceites usados y 35 KV en aceites nuevos.

Cuando se usan electrodos de discos semiesféricos con una separación de 1.016 mm la tensión de ruptura mínima en aceites usados es de 20 KV y de 30 KV mínimo en aceites nuevos.

PRACTICA No. 10 PRUEBA DE VACIO
CIRCUITO ABIERTO (PERDIDAS EN EL NÚCLEO)

OBJETIVO: Obtener las pérdidas en el Núcleo del transformador, cuando éste se encuentra funcionando en vacío, además de la impedancia del transformador para la conexión a la cual se le haga la prueba.

PRUEBA EN CIRCUITO ABIERTO.

En la prueba de circuito abierto, casi no hay pérdidas en el cobre en el devanado del primario y ninguna en el secundario, porque I_o es muy pequeña comparada con la I_{nom} . Como consecuencia, toda la potencia que se consume en la prueba de circuito abierto se puede cargar a la cuenta de las pérdidas en el circuito magnético. Estas pérdidas incluyen aquellas por histéresis y corrientes parásitas, así como aquellas de potencia por magnetización.

Cuando se pueden evaluar las pérdidas tanto en el cobre como en el circuito magnético, se puede determinar con facilidad la eficiencia global del transformador.

Durante la prueba de vacío del transformador o de circuito abierto, se aplica el voltaje nominal del transformador por el devanado de bajo voltaje y se miden los voltajes V_p , la corriente de vacío I_o y la potencia P_o que representa directamente las pérdidas de vacío o en el núcleo del transformador.

Además de la determinación de la pérdidas en vacío por esta prueba, se pueden calcular también la potencia aparente de vacío como sigue en la figura.

En virtud del hecho de que esta prueba aplica el voltaje nominal al devanado excitado, existirá el voltaje normal inducido en el secundario V_s . Esto implica que esta presente el flujo normal completo. Como consecuencia, la medición de potencia en la prueba de circuito abierto es una medida realista de la suma de las pérdidas normales en el circuito magnético.

Se debe tener muy presente durante esta prueba que el alto voltaje normal existe en las terminales del circuito abierto. Estas terminales pueden alcanzar un nivel de miles de volts a pesar de que el voltaje de entrada de la prueba es de solo 120, 230 o 460v. Por tanto estas terminales se deben de tratar con respeto. Hay que estar conscientes de los peligros. Tome las precauciones debidas aislando las terminales y el área de trabajo y no tendrá ningún problema.

Durante la prueba de vacío del transformador o del circuito abierto, se aplica el voltaje nominal del transformador por el devanado de bajo voltaje y se miden los voltajes V_p , la corriente de vacío I_o y la potencia P_o que representan las pérdidas de vacío en el núcleo del transformador, se mide también el voltaje secundario V_s del transformador, además de la determinación de las pérdidas de vacío por esta prueba, se pueden calcular también la potencia aparente de vacío como:

$$S_o = V_p I_o;$$

Donde: S_0 = Potencia aparente de vacío en el núcleo en (VA)
 V_p = en volts
 I_0 = en ampers

La potencia reactiva que absorbe el núcleo como:

$$Q_0 = \sqrt{S_0^2 - P_0^2}$$

Donde Q_0 = Potencia reactiva en el núcleo en VAR

Para los fines del circuito equivalente del transformador, la resistencia y reactancia del circuito de magnetización, como:

$$R_m = \frac{V_p^2}{P_0}$$

Donde : R_m = reactancia de magnetización en ohms

$$X_m = \frac{V_p^2}{Q_0}$$

Donde: X_m = reactancia del circuito de magnetización en ohms

Equipo a utilizar:

- Transformador 1000 VA 240-480/120 Volts
- Voltímetro 0-300 Volts
- Amperímetro 0-20 A
- Wáttmetro ITK
- Fuente de voltaje regulado 0-127-220 Volts ITK
- Cables de Conexión.

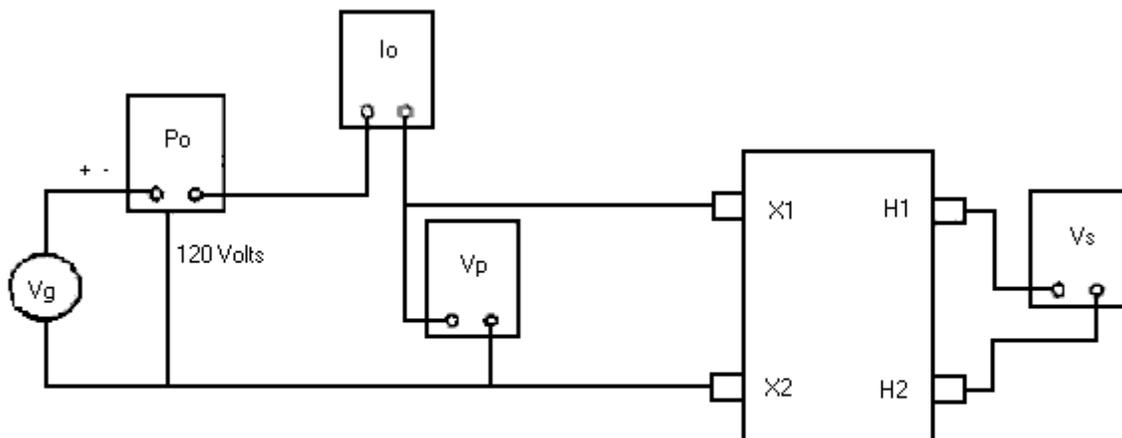


DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA DETERMINACION
 DE LAS PERDIDAS EN VACIO

V_1 (V_p)	A_1 (I_0)	V_2 (V_s)	W (P_0)	VA (S_0)	R_m	X_m	F.P. $\cos(\theta)$

OBSERVACIONES:

PRACTICA No. 11 PRUEBA DE CORTO CIRCUITO
(PERDIDAS EN EL COBRE)

OBJETIVO: Obtener las pérdidas en el cobre del transformador, cuando éste se encuentra funcionando a plena carga, además de la impedancia del transformador para la conexión a la cual se le haga la prueba.

PRUEBA DE CORTO CIRCUITO.

La prueba de corto circuito consiste en cerrar o poner en corto circuito, es decir, con una conexión de resistencia despreciable, las terminales de uno de los devanados y alimentar el otro con un voltaje reducido (aplicado en forma regulada) de un valor reducido de tensión que representa un pequeño porcentaje del voltaje del devanado por alimentar, de forma, que en los devanados circulen las corrientes nominales. En estas condiciones se miden las corrientes nominales y la potencia absorbida.

Debido a que la tensión aplicada es pequeña en comparación con la tensión nominal, las pérdidas en vacío o en el núcleo se pueden considerar como despreciables, de manera que toda la potencia absorbida es debida a las pérdidas por efecto joule en los devanados primario y secundario.

Pcc wáttmetro que indica directamente la potencia de pérdidas por efecto de circulación de las corrientes en los devanados primario y secundario.

C conexión de corto circuito entre las terminales del devanado.

Vcc voltaje de corto circuito de alimentación de voltaje reducido, de manera que se hagan circular las corrientes I1, I2 de valor nominal de cada devanado.

El voltaje aplicado (Vcc) es regulado y se varía como se indico antes, hasta que circule la corriente de plena carga en el primario. De los valores medidos se obtiene “la impedancia total” del transformador como:

$$ZT = \frac{Vcc}{I1}$$

donde:

I1 = corriente nominal primaria.

Vcc = voltaje de corto circuito aplicado en la prueba.

Zt = impedancia total interna referida al devanado primario. Esta impedancia se conoce también como impedancia equivalente del transformador.

Perdidas en los devanados a plena carga.

Debido a que el flujo es directamente proporcional al voltaje, el flujo mutuo en el transformador bajo las condiciones de prueba de corto circuito es muy pequeño, de manera que las pérdidas en el núcleo son despreciables. Sin embargo, la corriente que circula a través de la resistencia de los devanados produce las mismas pérdidas en estos, que cuando opera en condiciones de plena carga, esto se debe a que en ambos devanados se hace circular la corriente nominal.

En el circuito para la prueba de corto circuito, si el wáttmetro se conecta en el devanado primario o de alimentación, entonces se miden las pérdidas en los devanados ya que no hay otras pérdidas consideradas, de este valor que se toma de las pérdidas, se puede calcular “la resistencia equivalente” del transformador como:

$$R_T = \frac{P_{CC}}{I_1^2}$$

Donde:

P_{CC} = pérdidas en los devanados y que se obtienen de la lectura del wáttmetro.

Se deben tener siempre en mente, que el valor de la resistencia r_t , no es la suma aritmética de las resistencias en los devanados primario y secundario, es un valor que se determina del circuito equivalente y por tal motivo se le denomina “la resistencia equivalente del transformador”.

La impedancia equivalente de un transformador se puede expresar en términos de la resistencia y reactancia equivalente como:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

De tal forma, que la reactancia equivalente del transformador se calcula como:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$$

Estos valores están por lo general referidos al devanado de alto voltaje, debido a que se acostumbra poner en corto circuito el devanado de bajo voltaje, es decir las mediciones se hacen en el devanado de alto voltaje. Esto es por lo general el método normal de prueba. Las razones principales para esto:

1. La corriente nominal en el devanado de alto voltaje es menor que la corriente nominal en el devanado de bajo voltaje, por lo tanto, son menos peligrosas y por otra parte es más fácil encontrar instrumentos de medición dentro del rango.
2. Debido a que el voltaje aplicado es por lo general menor que el 5 % del valor del voltaje nominal del devanado alimentado, se obtiene una lectura del voltímetro con una deflexión apropiada para el rango de voltajes que se miden.

Se denominan pérdidas de carga a las originadas por el efecto joule en el cobre de los devanados de alto y bajo voltaje, más las que se originan en el mismo cobre, en el núcleo, el tanque y los herrajes del mismo transformador, como consecuencia del campo magnético producido por las corrientes que circulan en los devanados. Estas pérdidas son una función de carga y debido a las magnitudes de voltaje empleados se engloban en las pérdidas de $I^2 \cdot R$.

Para determinar estas pérdidas se hace la prueba llamada de Corto Circuito.

EQUIPO A UTILIZAR:

Transformador 1000 VA 240-480/120 Volts
Voltímetro 0-300 Volts
Amperímetro 0-20 A
Wáttmetro ITK
Fuente de voltaje regulado 0-127-220 Volts ITK
Cables de conexión.

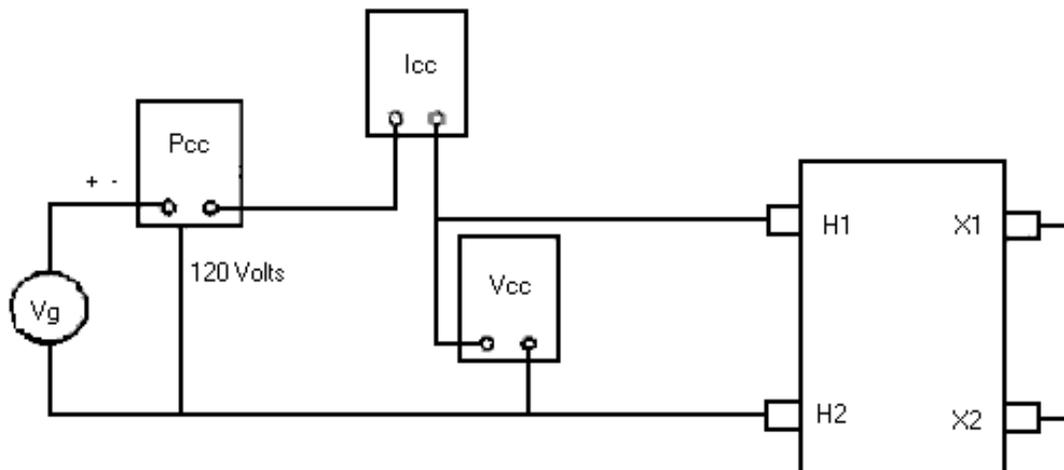


DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA LA DETERMINACION
DE CARACTERISTICAS DE CORTO CIRCUITO

Durante la realización de esta prueba el devanado secundario (**de bajo voltaje**) se **conecta en corto circuito** y se aplica por el devanado primario (de alto voltaje) en voltaje regulado que por lo general es del orden del 5% del devanado alimentado.

Un corto circuito en un transformador implica una condición límite de funcionamiento en el que el secundario esta cerrado sobre sí mismo y por consiguiente la tensión en los bornes del secundario es igual a cero.

La corriente primaria medida (I_{cc}) no debe exceder al valor nominal de la corriente del devanado alimentado (primario), la aplicación del voltaje se hace regulada (en forma gradual) para evitar sobrecalentamiento y en consecuencia un cambio rápido en la resistencia del devanado.

Directamente de la prueba se miden los valores de las pérdidas en los devanados P_{cc} , la corriente de corto circuito o nominal del devanado alimentado (I_{cc}) y la caída de voltaje por impedancia o voltaje de corto circuito V_{cc} , a partir de estas cantidades se pueden calcular las siguientes constantes.

$ZEP = V_{cc}/I_{cc}$ donde $ZEP =$ Impedancia equivalente referida al primario en ohms.

$REP = P_{cc}/I_{cc}$ donde $REP =$ Resistencia equivalente referida al primario en ohms.

$XEP = (ZEP - REP)$ donde $XEP =$ Reactancia equivalente referida al primario, en ohms.

De ser posible empiece con las corrientes más altas hasta llegar a las más bajas, con el fin de uniformar la temperatura en los devanados durante la prueba.

Los valores obtenidos se registran en la siguiente tabla:

V_{cc} (V)	I_{cc} (A)	P_{cc} (W)	Z_{ep}	Rep	X_{ep}	VA (VA)	F.P. Cos(θ)

OBSERVACIONES:

PRACTICA No. 12 CALCULO DE REGULACION Y EFICIENCIA
A TRANSFORMADOR TIPO.

OBJETIVO: El estudiante deberá calcular la regulación y eficiencia del transformador prototipo (Balleau de 1 kVA) de acuerdo a los parámetros establecidos en las prácticas anteriores.

CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Para corregir los valores de la prueba de corto circuito a la temperatura de trabajo de 75° C se utiliza los valores de temperatura inferida para el cobre, mediante la expresión.

$$Rep(75^{\circ}C) = \frac{(234.5 + 75^{\circ}C)}{(234.5 + Ta)} * Rep$$

Otra expresión que se puede emplear es donde aparece el coeficiente de temperatura:
 $\alpha = 0.00393$ para el cobre y $\alpha = 0.00391$ en el aluminio.

$$Rep(75^{\circ}C) = [1 + \alpha (75^{\circ}C - Ta)] * Rep (Ta)$$

El valor obtenido en $Rep(75^{\circ}C)$ se sustituye en Zep y en Wcc , para corregir los valores a temperatura de trabajo.

$$Zep (75^{\circ}C) = \sqrt{[Rep(75^{\circ}C)]^2 + [Xep(Ta)]^2}$$

Xep es la misma ya que este valor no varía con la temperatura.

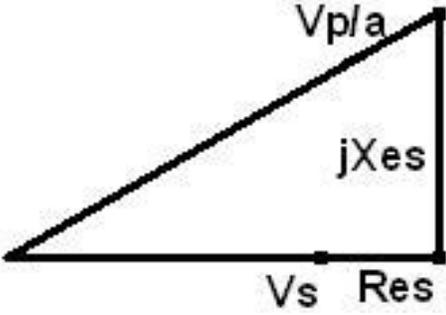
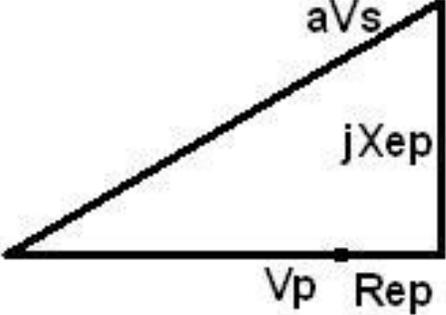
$$Wcc(75^{\circ}C) = (Icc)^2 * Rep(75^{\circ}C) = (Ipnom)^2 * Rep(75^{\circ}C)$$

REGULACIÓN DE VOLTAJE.

La regulación de voltaje es una maniobra u operación que se realiza en una máquina considerada como fuente, para mantener el voltaje de la carga en su valor nominal.

La regulación de voltaje se origina por la caída de tensión interna y es función del valor de la corriente que toma la carga, de su factor de potencia y de la impedancia de la propia ó equivalente de la máquina.

La caída de tensión interna se determina como un porcentaje del voltaje nominal del devanado de carga, se denomina por ciento de regulación.

 <p>a)</p>	 <p>b)</p>
<p>transformador reductor $\% \text{ Reg.} = \frac{[(V_{p/a}) - V_s] \times 100}{V_s}$</p>	<p>transformador elevador $\% \text{ Reg.} = \frac{[(aV_s) - V_p] \times 100}{V_p}$</p>

En a) el término $(V_{p/a})$ es el voltaje en el secundario después que se desconecta la carga, realizada la regulación de voltaje para mantener el voltaje nominal, ó el voltaje que hay en las terminales antes de conectar la carga, se calcula el incremento de voltaje para contrarrestar la caída de tensión interna.

Similarmente se tiene para el término (aV_s) , cuando la carga esta conectada en alta tensión.

Las expresiones vectoriales para calcular $(V_{p/a})$ y (aV_s) son:

$$V_{p/a} = V_s + I_s Z_{es} \quad (75^\circ \text{ C})$$

$$aV_s = V_p + I_p Z_{ep} \quad (75^\circ \text{ C})$$

Si se conocen las cantidades en por ciento de las caídas de tensión en la resistencia y reactancia equivalentes referidas al secundario ó del primario las ecuaciones antes mencionadas, se pueden aplicar para el cálculo de regulación de voltaje.

$$R_{ep} = R_p + a^2 R_s$$

$$X_{ep} = X_p + a^2 X_s$$

$$Z_{ep} = \sqrt{R_{ep}^2 + X_{ep}^2}$$

Los valores de resistencia, reactancia e impedancia equivalentes en términos del secundario están relacionados con los respectivos valores en términos del primario como sigue:

$$a^2 R_s = R_{ep}$$

$$a^2 X_s = X_{ep}$$

$$a^2 Z_s = Z_{ep}$$

Con frecuencia es necesario expresar las caídas de voltaje del transformador en porcentaje, para ello tenemos las siguientes expresiones:

$$\% I_s * R_{es} = \frac{I_s * R_{es}}{V_s} * 100$$

$$\%I_s * X_{es} = \frac{I_s * X_{es}}{V_s} * 100$$

$$\%I_s * Z_{es} = \frac{I_s * Z_{es}}{V_s} * 100$$

Entonces por definición:

$$\%I_p * R_{ep} = \%I_s * R_{es} = \% R$$

$$\%I_p * X_{ep} = \%I_s * X_{es} = \% X$$

$$\%I_p * Z_{ep} = \%I_s * Z_{es} = \% Z$$

Desde el punto de vista de diseño el conocimiento del ciclo de trabajo del transformador permite establecer una relación entre las pérdidas magnéticas y las de los devanados para lograr un transformador con una eficiencia máxima.

Un transformador de distribución se caracteriza porque en su ciclo de trabajo predomina la demanda de carga por debajo de la potencia nominal (aproximadamente en un 75% de las 24 horas del día).

Razón por la cual se diseña con bajas pérdidas magnéticas, estableciéndose una relación respecto de las del cobre del orden de:

$$W_{cc} = [(3 \text{ a } 4) \text{ veces}] W_{h+e}$$

En cambio en un transformador de potencia, el ciclo de trabajo se manifiesta por una carga nominal más ó menos constante, por tanto los devanados deberán diseñarse para bajas pérdidas eléctricas, tal que se cumpla:

$$W_{cc} = W_{h+e}$$

Las ecuaciones (anteriores) sirven para determinar la eficiencia convencional, eficiencia diaria y la carga para que un transformador opere con eficiencia máxima.

EFICIENCIA.

EFICIENCIA CONVENCIONAL. Se define como la relación entre la potencia real de salida y la potencia real que consume el transformador.

$$Eficiencia = \frac{Salida}{Salida + Pérdidas}$$

$$Eficiencia = \frac{Potencia \text{ de Salida}}{Pot. Sal. + Pérdidas Vacio + Pérdidas Corto Circuito}$$

$$Pérdidas \text{ en el núcleo} = P_h + P_e = P_o$$

$$Pérdidas \text{ en los devanados} = R_p * I_p^2 + R_s * I_s^2$$

$$Potencia \text{ de salida} = V_s * I_s * \cos(\theta)$$

$$Eficiencia = \frac{V_s * I_s * \cos(\theta)}{V_s * I_s * \cos(\theta) + P_{vacio} + P_{corto \text{ circuito}}}$$

Se tiene al transformador monofásico Balleau de 1 kVA, 480-240/120 volts, 60 hertz. De acuerdo con los datos obtenidos en las pruebas de resistencia óhmica, de vacío y cortocircuito, calcular:

- Z_e , R_e y X_e a temperatura ambiente (referidos al primario).
- Corregir los valores obtenidos en el inciso anterior a 75°C .
- Potencia en Watts a plena carga y F.P. 0.95 atrasado.
- Eficiencia a plena carga y F.P. 0.95 atrasado.
- Regulación a plena carga y F.P. 0.95 atrasado.

Prueba de resistencia Óhmica	Prueba de vacío	Prueba de corto circuito
$R_H = \underline{\hspace{2cm}}$ ohms	$V_o =$	$V_{cc} =$
$R_X = \underline{\hspace{2cm}}$ ohms	$I_o =$	$I_{cc} =$
$T_a = \underline{\hspace{2cm}}$ $^\circ\text{C}$	$P_o =$	$P_{cc} =$

SOLUCION:

$$a) Z_e = \frac{V_{cc}}{I_{cc}}$$

$$R_e = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2}$$

$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2}$$

$$b) R_{ep}(75^\circ\text{C}) = \frac{(234.5+75^\circ\text{C})}{(234.5+T_a)} * R_{ep}$$

X_e es la misma puesto que no se ve afectada por la temperatura.

$$Z_{ep}(75^\circ\text{C}) = \sqrt{[R_{ep}(75^\circ\text{C})]^2 + [X_{ep}(T_a)]^2}$$

$$c) F.P. = \frac{Watts}{VA} = \cos(\theta)$$

$$d) \text{Eficiencia} = \frac{V_s * I_s * \cos(\theta)}{V_s * I_s * \cos(\theta) + P_{vacio} + P_{corto\ circuito}}$$

$$e) \text{Regulación} \quad \frac{V_p}{a} = \sqrt{(V_H \cos(\theta) + I_H R_H)^2 + (V_H \sin(\theta) + I_H X_H)^2}$$

$$\%Reg = \frac{\frac{V_p}{a} - V_H}{V_H} * 100$$

REFERENCIAS:

- [1] Manual de Equipos Didácticos de Industrial Teleternik ITK.**
- [2] Máquinas Eléctricas. Stephen J. Chapman. 4ª Edición. Editorial Mc Graw Hill.**
- [3] El ABC de las Maquinas Eléctricas I. Transformadores. Enríquez Harper. 1ª Edición. Editorial Limusa.**
- [4] Manual de usuario Óhmetro Transformador, Marca AVO. Cat. No. 830280.**
- [5] Manual CFE Subgerencia de distribución.**
- [6] Manual de usuario TTR, Marca Biddle. Cat. No. 550005.**
- [7] Manual de usuario Oil Test Cell, Marca AVO. Cat. No. 670511.**
- [8] Curso de transformadores y motores trifásicos de inducción. 2ª Edición. Enríquez Harper. Editorial Limusa.**