



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



LABORATORIO DE MÁQUINAS I

TEMA II

Práctica 4. Transformador Monofásico. Modelo

**Práctica 5. Transformador Monofásico.
Comportamiento**

Realizado por:

Prof. Nerio Ojeda.

Prof. Julian Pérez

Revisión: 2012



Tema 2. PRACTICA N° 4. Transformador Monofásico. Modelo

1. INTRODUCCIÓN:

Del conocimiento teórico se sabe que un transformador monofásico está constituido por dos arrollados de N_1 y N_2 espiras respectivamente. Donde, se denomina circuito primario a aquel en el cual se conecta la alimentación y circuito secundario en donde se conecta la carga. Asociadas a las corriente I_1 e I_2 están los flujos Φ_{11} y Φ_{22} . La mayor parte de estos flujos atraviesa a ambos arrollados y se denomina flujo común (Φ_c), una parte reducida no lo hace y se conocen por esta razón como flujos de fuga Φ_{f1} y Φ_{f2} . Lo que hasta ahora se ha descrito como un transformador monofásico es susceptible de una representación circuital, es decir, se puede determinar un circuito equivalente donde algunas de las características del mismo se vean reflejadas o modeladas a través de un elemento concentrado en la correspondiente topología.

2. OBJETIVOS:

- Trabajar con un elemento importante en los sistemas eléctricos.
- Reforzar el conocimiento en torno al circuito magnético.
- Estimular la utilización de normas para la realización de pruebas en dispositivos eléctricos.
- Dar a conocer algunos de los ensayos de rutina que se realizan sobre las unidades monofásicas y como se determinan a partir de los mismos los elementos correspondientes al circuito equivalente.

3. REFERENCIA:

Para la realización de los ensayos se debe utilizar como referencia lo siguiente:

- ANSI / IEEE C57.12.91-2001. Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers.
- COVENIN 3172-95. Transformadores de Potencia (Métodos de ensayo)
- COVENIN 536-94. Transformadores de potencia. Generalidades.
- E.E. Staff del M.I.T. Circuitos Magnéticos y Transformadores. Editorial Reverte. Argentina, 1981.
- Enrique Ras. Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección. 4ta edición. Editorial Marcombo. España. 1978.

4. PARTE EXPERIMENTAL

Para la realización de cada prueba se debe tomar en cuenta las características físicas y eléctricas de las unidades de transformación a utilizar. Esta información es importante para elaborar los esquemas, indicar los procedimientos y señalar las condiciones de la prueba. Por lo cual, se recomienda que el estudiante obtenga esta información antes de empezar la preparación de la práctica.

a) MEDICIÓN DE RESISTENCIA.

Para medir la resistencia de los arrollados se utilizará uno de los siguientes métodos:

- Método del puente:
Es empleado para mediciones de resistencia hasta $10k\Omega$. También se emplean en los casos donde la corriente nominal del devanado del transformador a ser medido es menor de 1 A.
Nota: Para valores de resistencia de 1Ω o mayores, el puente de Wheatstone es el más usado; y para valores de resistencia inferiores a 1Ω el puente de Kelvin o doble Thomson es el más usado.
- Método del voltímetro amperímetro:
Este método es en algunas ocasiones más conveniente que el del puente. Se debe emplear preferiblemente si la corriente nominal del devanado del transformador es de 1 A o mayor. Para la aplicación de este método, se emplea el circuito de la Figura 1:

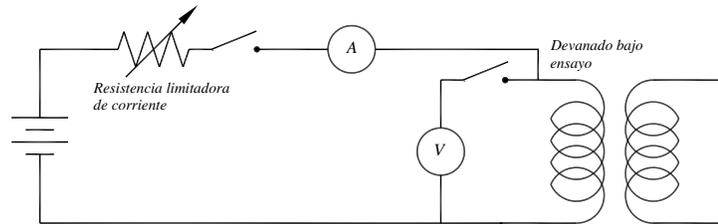


Figura 1. Método del Voltímetro Amperímetro

A fin de minimizar los errores y proteger los instrumentos, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los instrumentos de medición deben estar en los rangos que den la mayor deflexión del instrumento.
- A fin de evitar incluir en el cálculo de resistencia la de los conductores y terminales del circuito de corriente, se debe conectar el voltímetro lo más cerca posible al devanado a ser medido.
- Para proteger el voltímetro de posibles daños, éste se debe desconectar del circuito antes de desconectar el transformador. La desconexión del transformador se debe hacer a través de un interruptor adecuado.
- Cuando se usen instrumentos de deflexión, se deben tomar al menos cuatro lecturas, **la media de las resistencias calculadas de estas mediciones se considera como la resistencia del devanado.**
- La corriente utilizada no debe exceder el 15% de la corriente nominal del devanado cuya resistencia se quiere medir.

Las mediciones de resistencia en frío se deben convertir a una temperatura de referencia mediante la siguiente ecuación:

$$R_r = R_m \frac{T_r + T_k}{T_m + T_k} \quad (1)$$

- Donde:
- R_r = Resistencia a la temperatura deseada
 - R_m = Resistencia medida a la temperatura T_m
 - T_m = Temperatura a la cual se midió la resistencia R_m en °C
 - T_r = Temperatura de referencia en °C
 - T_k = 234,5 °C para el cobre
225 °C para el aluminio grado eléctrico.

b) MEDICIÓN DE RELACION DE TRANSFORMACION.

Determinar la relación del número de vueltas o espiras entre las bobinas de alta y baja tensión.

- Método del voltímetro:
 - Se deben emplear dos voltímetros, uno para la tensión del devanado de alta tensión y otro para el devanado de baja tensión. Los dos voltímetros deben leerse simultáneamente.
 - Se aplica por lo menos 20% de la tensión nominal por uno de los devanados del transformador y se realiza una primera serie de lecturas de tensión en los dos voltímetros para distintas tensiones aplicadas.
 - Se realiza una segunda serie de lecturas con los voltímetros intercambiados y usando los mismos valores de tensión aplicados en el punto anterior y se registra el promedio de las dos series de lecturas para compensar los errores de los instrumentos.
 - El ensayo se realiza al menos con cuatro tensiones diferentes, separadas entre sí en pasos de 10% del valor de tensión inicialmente aplicado. Para cada valor de tensión se calcula la relación de transformación y luego se calcula la media de esta serie de valores, la cual se tomará como el valor

verdadero. Cada valor de relación de transformación no debe diferir de la media en más de 1%, caso contrario, debe repetirse las mediciones con otros voltímetros.

- Método de comparación:
 - El transformador a probar es comparado con otro de relación conocida e igual a la del transformador bajo ensayo. Se conectan los dos secundarios en paralelo, pero con un voltímetro o detector en la conexión entre dos terminales de similar polaridad. Cuando los transformadores son de igual relación de transformación, la lectura será cero o insignificante en el voltímetro o detector.

c) VERIFICACION DE POLARIDAD.

Este ensayo es primordial para determinar cómo se encuentran unas con respecto a otras las bobinas de un transformador monofásico, de modo que la “dirección” de tensión secundaria se puede conocer cuando se conecten en paralelo los transformadores, o bien formando bancos polifásicos.

- Polaridad por corriente alterna:
 - Para determinar cuándo un transformador posee polaridad aditiva o sustractiva, se conecta el devanado de **alta tensión** a una fuente de corriente alterna (E_g) y los devanados adyacentes de alta y baja tensión se conectan entre sí. Se conecta un voltímetro (E_x) entre los otros dos terminales adyacentes y otro voltímetro (E_p), se conecta a través del devanado de alta tensión, como se indica en la Figura 2.

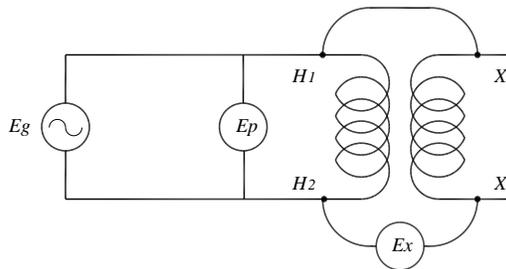


Figura 2. Determinación de la polaridad de un transformador monofásico.

- Si la lectura de (E_x) es mayor a la del voltímetro (E_p), se dice que la polaridad es aditiva, lo que significa que los terminales (H_1) y (X_1) se encuentran diagonalmente opuestos.
- Por otra parte, si la lectura (E_x) es inferior a (E_p), se dice que la polaridad es sustractiva y los terminales (H_1) y (X_1) están adyacentes.

En esta prueba de polaridad, se conecta efectivamente la tensión secundaria (E_s), en serie con la tensión primaria (E_p), en consecuencia (E_s) o se suma o se resta a (E_p). En otras palabras:

$$E_x = E_p + E_s \quad \text{para polaridad aditiva.} \quad (2)$$

$$E_x = E_p - E_s \quad \text{para polaridad sustractiva.} \quad (3)$$

d) ENSAYO DE MEDICIÓN DE LAS PÉRDIDAS DEBIDO A LA CARGA Y TENSIONES DE CORTOCIRCUITO.

Este ensayo permite determinar:

- Tensión de cortocircuito en los devanados.
- Las pérdidas bajo condiciones de carga, las cuales comprenden: pérdidas por efecto Joule y pérdidas adicionales.
- Impedancia de cortocircuito.

Procedimiento:



- Se cortocircuita un devanado del transformador y se aplica al otro devanado una tensión sinusoidal y de frecuencia nominal hasta que circule una corriente comprendida entre 25% y 100% de la corriente nominal. Se mide la corriente y la potencia que consume el transformador, así como la tensión de cortocircuito.
- Se corrige el valor de la tensión de cortocircuito obtenida, multiplicándola por el factor de corriente:
$$V_{cc_c} = V_{cc} \cdot f_{cc}$$
, donde: $f_{cc} = \frac{I_n}{I_{cc}}$: Relación entre la corriente nominal y la corriente utilizada en el ensayo, además de los factores de transformadores de tensión y de corriente, si así fuese el caso.
- El valor corregido de las pérdidas debido a la carga y a temperatura ambiente (T_a), se obtiene multiplicando la lectura del vatímetro por el factor de corriente al cuadrado: $P_{cc_c} = P_{cc} (f_{cc})^2$
- A partir de este ensayo se obtienen los siguientes parámetros del transformador:
 - La impedancia de cortocircuito.
 - Las pérdidas debido a la carga.
 - La tensión de cortocircuito.

e) ENSAYO DE MEDICIÓN DE LAS PÉRDIDAS Y LA CORRIENTE DE VACÍO.

Con este ensayo se determinarán las pérdidas en el hierro del núcleo, las cuales comprenden las pérdidas por histéresis y pérdidas por corrientes de Foucault.

Procedimiento:

- Se aplica la tensión de ensayo en los bornes de uno de los devanados (primario) del transformador dejando el otro (secundario) en circuito abierto. Bajo esta condición, la tensión de alimentación del devanado primario se debe elevar lentamente desde cero y sin disminuir hasta el valor de la tensión de ensayo. Tomar las lecturas al incrementar el nivel de tensión en $.5 V_n$, $.8 V_n$, $1.0 V_n$, y $1.1 V_n$. Esto se debe realizar alcanzando estos puntos sin la necesidad de reducir la tensión. En el caso de requerir un valor menor, se deben comenzar las mediciones desde la tensión cero.
- Durante la prueba se mide la corriente y la tensión del primario y la potencia que consume el transformador.
- A partir de los datos de las medidas se trazan las variaciones de la corriente, la potencia y el $\cos\phi_o = \frac{P_1}{U_1 I_1}$, en función de la tensión nominal U_1 .
- A partir de este ensayo se obtienen los siguientes parámetros:
 - La corriente de vacío en por unidad.
 - La resistencia del hierro que representa las pérdidas del núcleo.
 - La impedancia de inducción mutua.

5. ADVERTENCIA:

- La conexión de cualquier circuito a la fuente de suministro de energía eléctrica (en este caso representada por el tablero de alimentación asignado al grupo de trabajo) se debe realizar a través de un elemento de protección (breaker).
- Para energizar un circuito o montaje experimental, solicite autorización al Profesor.

6. OBSERVACIONES GENERALES



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



-
- Todas y cada una de las mediciones realizadas y los resultados a partir de ellas, deben reflejar los errores de medición.
 - Todos los resultados, experimentales o calculados, deben escribirse con un número de cifras significativas en concordancia con la correspondiente incertidumbre.
 - Indique claramente todos los resultados, con sus respectivas unidades y conforme al Sistema Internacional de medidas.
 - Tiempo para la realización de la práctica: 2 horas



Tema 2. PRÁCTICA N° 5. Transformador Monofásico. Comportamiento

1. INTRODUCCIÓN:

En esta sesión de laboratorio se analizará el comportamiento de las variables eléctricas en un transformador monofásico cuando alimenta cargas lineales y no lineales. Para la realización de los ensayos se deben considerar los resultados de la práctica anterior; es decir, el circuito equivalente del transformador bajo estudio.

2. OBJETIVOS:

- Trabajar con un elemento importante en los sistemas eléctricos.
- Obtener la respuesta de la tensión secundaria del transformador para cargas lineales y no lineales con tensión de alimentación constante.
- Estimular la utilización de normas para la realización de pruebas en dispositivos eléctricos.

3. REFERENCIA:

Para la realización de los ensayos se debe utilizar como referencia lo siguiente:

- ANSI / IEEE C57.12.91-2001. Standard Test Code for Dry-Type Distribution and Power Transformers.
- COVENIN 3172-95. Transformadores de Potencia (Métodos de ensayo)
- COVENIN 536-94. Transformadores de potencia. Generalidades.
- E.E. Staff del M.I.T. Circuitos Magnéticos y Transformadores. Editorial Reverte. Argentina, 1981.
- Enrique Ras. Transformadores de Potencia, de Medida y de Protección. 4ta edición. Editorial Marcombo. España. 1978.

4. PARTE EXPERIMENTAL

Como parte de la preparación, el estudiante debe:

- Establecer el esquema equivalente completo de la unidad monofásica.
- Predeterminar o calcular la curva de tensión secundaria en función de la corriente de carga para una carga resistiva. Considerando una tensión de alimentación constante.
- Analizar el comportamiento del transformador bajo carga lineal.
- Estimar el comportamiento de la variable eléctrica del transformador bajo carga no lineal.

Para la realización de cada prueba se debe tomar en cuenta las características físicas y eléctricas de las unidades de transformación a utilizar. Esta información es importante para elaborar los esquemas, indicar los procedimientos y señalar las condiciones de la prueba. Por lo cual, se recomienda que el estudiante obtenga esta información antes de empezar la preparación de la práctica.

a. CARGA LINEAL.

La carga lineal a implementar estará conformada por una resistencia variable.

- Mida la curva de carga tomando en cuenta:
 - o La unidad de transformación monofásica analizada en la sesión práctica anterior.
 - o La Carga en el secundario del transformador conformada por elemento resistivo.
 - o La tensión de alimentación es constante.

En cada caso observe las formas de ondas de la corriente y la tensión en la carga y en el primario.

Compare las curvas predeterminadas del transformador bajo carga con las mediciones obtenidas en el laboratorio y concluya.



b. CARGA NO LINEAL.

Para una carga no lineal, conformada por un rectificador no controlado de onda completa que alimenta una carga inductiva, mida la potencia aparente y la potencia activa consumida por la misma. Observe las formas de ondas de la corriente y la tensión en la carga y en el primario.

Repita la medición, pero esta vez con el rectificador alimentando una carga capacitiva de $300 \mu\text{F}$ en paralelo con un elemento resistivo de 33Ω (estos valores son aproximados). Observe las formas de ondas de tensión y corriente en la carga y en el primario. Para el análisis y discusión que debe ser reportado en el correspondiente informe, se sugiere dar respuesta a la siguiente interrogante:

- ¿Existe diferencias entre la potencia aparente y la potencia activa consumida por la carga?
- Justifique a partir de las formas de onda observadas en el osciloscopio, y concluya acerca del dimensionamiento de transformadores destinados a alimentar fuentes de tensión DC.

5. ADVERTENCIA:

- La conexión de cualquier circuito a la fuente de suministro de energía eléctrica (en este caso representada por el tablero de alimentación asignado al grupo de trabajo) se debe realizar a través de un elemento de protección (breaker).
- Para energizar un circuito o montaje experimental, solicite autorización al Profesor.

6. OBSERVACIONES GENERALES

- Todas y cada una de las mediciones realizadas y los resultados a partir de ellas, deben reflejar los errores de medición.
- Todos los resultados, experimentales o calculados, deben escribirse con un número de cifras significativas en concordancia con la correspondiente incertidumbre.
- Indique claramente todos los resultados, con sus respectivas unidades y conforme al Sistema Internacional de medidas.
- Tiempo para la realización de la práctica: 2 horas