



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



# **LABORATORIO DE MÁQUINAS I**

## **TEMA III**

**Práctica 6. Transformador Monofásico. Rendimiento**

**Práctica 7. Transformador Monofásico en Paralelo**

**Realizado por:**

**Prof. Nerio Ojeda.**

**Prof. Julian Pérez**

**Revisión: 2012**



Tema 2. PRÁCTICA N° 6. Rendimiento de un Transformador Monofásico.

1. INTRODUCCIÓN:

La eficiencia de un transformador, expresada en por unidad, es la relación entre la potencia real de salida y la de entrada:

$$Eficiencia = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = 1 - \frac{P_{pérdidas}}{P_{entrada}} \quad (1)$$

Donde:  $P_{salida}$  = Potencia de salida o transformada  
 $P_{entrada}$  = Potencia de entrada o aún no transformada  
 $P_{pérdidas}$  = Pérdidas totales

Las pérdidas totales son la suma de las pérdidas sin carga o vacío y las pérdidas con carga. Las pérdidas sin carga incluyen las pérdidas por corriente de Eddy, pérdidas por histéresis, las pérdidas  $I^2R$  causadas por la corriente de excitación y las pérdidas dieléctricas; esto es, todas las pérdidas que inciden en la magnetización a plena tensión con el secundario abierto. Con carga, por otro lado, se incluyen las pérdidas  $I^2R$  causadas por la corriente de carga, pérdidas por corrientes de Eddy inducidas por el flujo de dispersión dentro de la estructura del transformador y pérdidas similares que varían con la corriente de carga.

Separando en dos grupos: las pérdidas en los arrollados ( $R_{Cu}I^2$ ) y las pérdidas en el núcleo ferromagnético ( $P_{fe}$ ), el rendimiento queda como:

$$\eta = 1 - \frac{P_{fe} + R_{Cu}I_1^2}{U_1I_1 \cos \phi} \quad (2)$$

Donde:  $U_1$  = Tensión aplicada en el primario del transformador en Voltio.  
 $I_1$  = Corriente que circula por el primario del transformador, en Ampère.  
 $\cos \phi$  = factor de potencia o cociente entre la potencia activa y la potencia aparente.  
 $R_{Cu}$  = Resistencia óhmica del arrollado, referido al lado primario.

Considerando que la tensión de alimentación y el factor de potencia permanecen ambos constantes, se puede concluir que el rendimiento máximo se alcanza en:

$$\frac{d\eta}{dI_1} = \frac{P_{fe}}{I_1^2} - R_{Cu} = 0 \Leftrightarrow P_{fe} = R_{Cu}I_1^2 \quad (3)$$

Como parte de la preparación previa a la sesión de laboratorio, el estudiante debe:

1. Predeterminar la curva de rendimiento del transformador para una carga resistiva.
2. Predeterminar la curva y estime el punto del rendimiento del transformador para una carga inductiva.



## **2. OBJETIVOS:**

- Observar el comportamiento del rendimiento de un transformador.
- Establecer las condiciones que deben tomarse en cuenta para realizar los montajes, conforme a la normativa recomendada.

## **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.

### **MEDICIONES:**

- Mida la curva de rendimiento del transformador para una carga resistiva. Para el punto a plena carga, determine la temperatura del ensayo por el método de la resistencia.
- Mida un punto del rendimiento del transformador para una carga inductiva. Determine la temperatura del ensayo por el método de la resistencia.
- Concluya acerca de la potencia nominal del transformador. Verifique y justifique el punto de rendimiento máximo.

## **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

**Tema 3. PRACTICA N° 7. Transformador Monofásico en Paralelo**

**1. INTRODUCCIÓN:**

El propósito de la práctica involucra el estudio de dos transformadores monofásicos conectados en paralelo. El estudiante debe establecer las condiciones que deben tomarse en cuenta para realizar dicha conexión.

La conexión de transformadores en paralelo es muy frecuente en los sistemas de potencia. Esto se debe no sólo a las grandes cantidades de potencia que es necesario transmitir y transformar, lo cual haría enormes las dimensiones del transformador único en cuestión, sino además la adopción de varias unidades conectadas en paralelo disminuye la probabilidad de falla, haciendo menos vulnerable al sistema; además, facilita enormemente el mantenimiento de las unidades en cuestión.

El comportamiento de las dos unidades conectadas en paralelo, depende de las características de los transformadores y la relación entre ellas y por ende son estas características las que condicionan la conexión.

El esquema de conexión de dos transformadores, denominados  $T_a$  y  $T_b$ , se muestra en la figura 1:

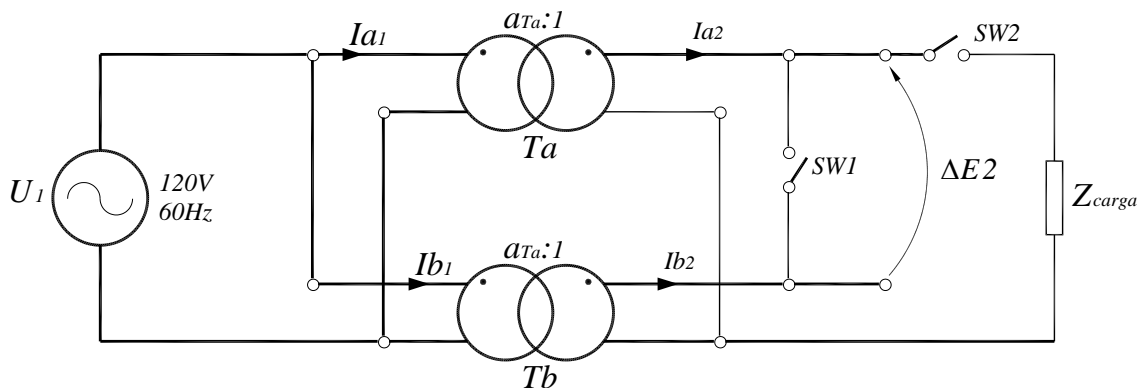


Figura 1. Conexión de Transformadores monofásicos en paralelo.

Donde:

- $U_1$ : Valor rms de la tensión de alimentación.
- $a_{Tx}$ : Relación de transformación del transformador  $T_a$  o  $T_b$ .
- $I_{x1}$ : Corriente primaria del transformador  $x$ ; con  $x = a$  ó  $b$
- $I_{x2}$ : Corriente secundaria del transformador  $T_a$  o  $T_b$ .
- $Z_{carga}$ : Impedancia de carga.

Los devanados primarios de los transformadores pueden conectarse en paralelo, sin observar comportamiento particular alguno; no así ocurre en los devanados secundarios. Las tensiones inducidas  $E_{a2}$  y  $E_{b2}$ , en los devanados secundarios de los transformadores  $T_a$  y  $T_b$  respectivamente, cumplen con las siguientes relaciones:

$$E_{a2} = \frac{E_{a1}}{a_{T_a}}$$

$$E_{b2} = \frac{E_{b1}}{a_{T_b}}$$



Para la conexión de la figura 1, las tensiones inducidas en los primarios de los transformadores ( $E_{a1}$  y  $E_{b1}$  respectivamente), son iguales en magnitud y fase ya que corresponden a la tensión de alimentación del grupo ( $U_1$ ), suponiendo que las imperfecciones (resistencia óhmica y reactancia de dispersión) del arrollado primario están reflejadas en el secundario del circuito equivalente; entonces, la diferencia de potencial entre los secundarios, con SW1 y SW2 abiertos, es:

$$\Delta \bar{E}_{a2} = \bar{E}_{a2} - \bar{E}_{b2} = \frac{\bar{E}_{a1}}{a_{Ta}} - \frac{\bar{E}_{b1}}{a_{Tb}} = \bar{U}_1 \cdot \left( \frac{1}{a_{Ta}} - \frac{1}{a_{Tb}} \right)$$

Para que no haya corriente circulatoria (cuando SW1 está cerrado con SW2 abierto) se debe cumplir que el fasor  $\Delta E$  sea nulo; es decir, que las tensiones inducidas en el secundario de cada unidad sean iguales en magnitud y fase; lo anterior impone que sean iguales tanto las relaciones de transformación como las polaridades de las unidades de transformación en paralelo. No obstante; dos transformadores, aunque fabricados en el mismo momento y bajo el mismo proceso industrial son siempre diferentes; por lo tanto, lo serán las correspondientes tensiones inducidas (esta diferencia estará acotado por una tolerancia). Cuando las tensiones inducidas son diferentes aparece una corriente circulatoria ( $I_{a2}$  y  $I_{b2}$  para los transformadores  $T_a$  y  $T_b$  respectivamente) que bajo condición de vacío (corriente hacia la carga nula), vienen dada por la siguiente expresión:

$$I_{a2} = -I_{b2} = \frac{\Delta E_2}{Z'_{ccb} + Z'_{cca}} \approx U_2 \cdot \Delta a$$

Donde:

$Z'_{cc,a}$  y  $Z'_{cc,b}$  son las correspondientes impedancias de cortocircuito de cada transformador, referidas al secundario.

$$\Delta a = \frac{(a_{Tb} - a_{Ta})}{a_T}$$
$$a_T = \frac{(a_{Tb} + a_{Ta})}{2}$$

## 2. OBJETIVOS:

- Analizar la conexión de dos transformadores monofásicos en paralelo.
- Estudiar el comportamiento de los transformadores monofásicos en paralelo en vacío y bajo carga.

## 3. REFERENCIA:

Para la realización de la práctica 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.

##### **MEDICIONES:**

- escoja dos transformadores monofásicos con la misma tensión de placa y preferiblemente de diferentes constructores.
- Determine a través de los correspondientes ensayos, la polaridad y la impedancia de cortocircuito de cada transformador, salvo la de aquel que tenga caracterizado por ensayos anteriores.
- Conecte en paralelo los transformadores, verificando que se cumplan las condiciones para efectuar dicha conexión.
- Tome medida de las corrientes de interés con los transformadores en las siguientes dos (2) condiciones: vacío y bajo carga.
- Compare el valor de corriente circulatoria medido contra el valor calculado. En cada caso incluya la incertidumbre de los parámetros y variables involucradas.
- Cuantifique con base a valores medidos, la demanda entregada a la carga por cada transformador.
- Justifique la repartición de potencia, con base a los parámetros del circuito equivalente de los transformadores.

#### **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