

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

Daniel Fernando Aranda Contreras, Carlos Fernando Torres Ferrer
Escuela E3T, Universidad Industrial de Santander
Correo electrónico: {daniel2221648, carlos2221116 }@correo.uis.edu.co

Index Terms—Transformador Tensión, Bobinado, Relación de transformación, Aislante, Fusibles, Corriente, Potencia, Diseño, Construcción.

Resumen—For this activity, "Design and Construction of an Electrical Transformer, in the subject Electrical Machines I, which aims to improve ABET student outcome 6: Ability to develop and conduct appropriate experiments, analyze and interpret data, and use engineering judgment to draw conclusions." The objective is to construct a transformer model that will be evaluated against rubric. Therefore, the following report will detail the transformer design, including its dimensions, coil gauge, number of turns in each winding, etc. The details and results of voltage, current, and power obtained through short-circuit and open-circuit tests in the High Voltage laboratories will also be specified.

I. INTRODUCCIÓN

Los transformadores se han convertido en parte esencial de nuestro día a día, los podemos encontrar en muchos lados, incluso en nuestras casas, estos dispositivos permiten hacer el cambio de tensión para facilitar el manejo de esta, podemos encontrarlo en cargadores cuya función es reducir la tensión para el correcto funcionamiento y evitando el daño del dispositivo a cargar, se encuentran también en las ciudades donde su función es disminuir la tensión para el uso comercial o para el uso doméstico, así como el transformador puede ser un reductor también puede ser elevador, este transformador es principalmente utilizado en el principio de la cadena de producción de energía eléctrica, su función es elevar la tensión a cierto punto en el cual permite la transmisión de energía disminuyendo en gran medida sus pérdidas.

II. RESUMEN

Para esta actividad "Diseño y construcción de un transformador eléctrico" de la asignatura máquinas eléctricas I que tiene como finalidad mejorar el student outcome 6 del ABET: "Capacidad para desarrollar y llevar una experimentación adecuada, analizar e interpretar datos y usar juicios de ingeniería para sacar conclusiones.", se requiere como finalidad construir un modelo de transformador que será evaluado con respecto a una rúbrica, por lo cual, en el siguiente informe se detalla a fondo el diseño del transformador, como lo son sus dimensiones, el calibre de sus bobinas, el número de vueltas de cada bobinado, etc. Así como también se va a especificar los detalles y resultados

de tensión, corriente y potencia, los cuales fueron obtenidos por medio de las pruebas de corto circuito y de circuito abierto en los laboratorios de Alta Tensión.

III. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Si bien en el diseño no se tiene un transformador ideal, es importante entender el principio de funcionamiento de un transformador ideal, ya que este nos permite acercarnos a el funcionamiento del transformador real y de allí pasar al diseño del transformador.

III-A. Transformador ideal

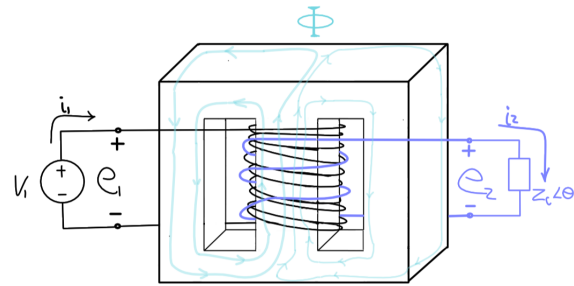


Figura 1: Modelo de transformador ideal.

A partir de la ley de Faraday-Lenz, se establece que la fuerza electromotriz (f.e.m.) inducida en un circuito es proporcional a la rapidez de cambio del flujo magnético a través de él. Resultado para una bobina La ecuación que describe esta relación es la siguiente:

$$e_1 = N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} [V \cdot vueltas] \quad (1)$$

e	F.e.m inducida en la bobina.
N	Número de vueltas de la bobina.
Φ	Flujo magnético a través de la bobina.

Si se tiene que la fuente es una senoide, el flujo magnético es:

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin(\omega t) [Wb] \quad (2)$$

Puesto que es un transformador ideal, la f.e.m. inducida en el primario es igual a la tensión de entrada, por lo que se puede escribir la ecuación 1 como:

$$\begin{aligned}
V_1 &= N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = N_1 \cdot \frac{d}{dt}(\Phi_m \cdot \sin(\omega t)) [V] \\
&= N_1 \cdot \Phi_m \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) [V] \\
V_1 &= \frac{N_1 \cdot \Phi_m \cdot \omega}{\sqrt{2}} [V_{rms}] \\
V_1 &= N_1 \cdot \Phi_m \cdot \frac{f \cdot 2\pi}{\sqrt{2}} [V_{rms}] \quad (3)
\end{aligned}$$

Tenemos la ley de Gauss para campo magnético, que establece que el flujo magnético a través de una superficie cerrada es igual a la integral de la densidad de flujo magnético a través de esa superficie. La ecuación que describe esta relación es la siguiente:

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} [Wb] \quad (4)$$

Como la sección transversal del núcleo es cuadrada, se puede escribir la ecuación 4 como: $\Phi = B \cdot S$. Finalmente de la ecuación 4 en 3 despejando para N se obtiene:

$$N_1 = \frac{V_{rms}}{\Phi_m \cdot f \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}}} = \frac{V_{rms}}{B_m \cdot S \cdot f \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}}} [vueltas] \quad (5)$$

f	frecuencia de la fuente. En (hertz) o [Hz].
V_{rms}	Tensión eficaz en el primario. En (Valor cuadrático medio de los volts) o [Vrms].
Φ	Flujo magnético a través del arrollamiento. En (webers) o [Wb].
B_m	Valor pico de la densidad de flujo magnético. En (teslas) o [T].
S	Sección transversal del núcleo. En (metros cuadrados) o [m ²].

Transformador ideal: Transformador real:

Sin pérdidas	Con pérdidas
Sin resistencia	Con resistencia
Sin reactancia	Con reactancia
Sin saturación	Con saturación
Sin fuga de flujo	Con fuga de flujo

En la práctica se emplea un factor de corrección para compensar las pérdidas de energía en el núcleo y para estas dimensiones la densidad de flujo magnético que se suele emplear es de 1.1 [T], por lo que el número de vueltas se calcula como:

$$N_1 = \frac{V_{rms}}{\Phi_m \cdot f \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}}} = \frac{V_{rms}}{1,1 \cdot S \cdot f \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot 0,9} [vueltas] \quad (6)$$

IV. DISEÑO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DEL TRANSFORMADOR

IV-A. Núcleo

Las laminas del núcleo son de acero al silicio laminado en frío. El núcleo está construido con láminas en forma de E y de I, el transformador se construye con 68 láminas de E y con 66 láminas de I, las cuales

al ser acomodadas comprenden una sección transversal de 22·38[mm²], la cual es la misma sección transversal de nuestro carrete (la del carrete es un poco mayor). En la figura 3 se muestra las dimensiones de las laminas E además de la I del núcleo.

Disposición de las laminas en el núcleo: como último paso cuando se tienen las vueltas alrededor del carrete, se posicionan las laminas como se muestra en la figura 2.

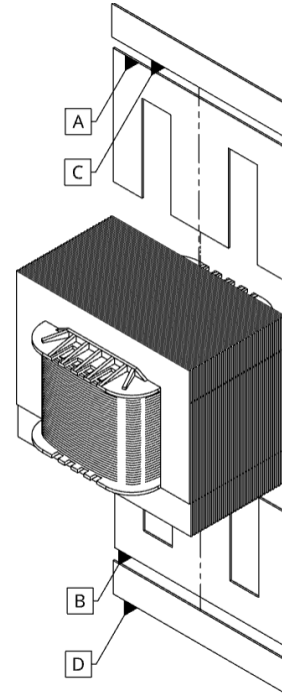


Figura 2: Plano de disposición de las laminas en el núcleo primero se alterna entre el paso A y B sucesivamente hasta que se tenga apretado el carrete y posterior se alterna entre el paso C y D.

IV-B. Carrete

El carrete comprende una sección transversal de 22·38[mm²] y una altura de 33 [mm], la sección transversal del carrete es un poco mayor a lo mencionado pero principalmente es igual a la del núcleo, estos datos son necesarios para poder hacer los cálculos del número de vueltas requeridas para el bobinado primario y el bobinado secundario. En la figura 3 se muestra las dimensiones de la sección transversal del carrete.

IV-C. Relación de transformación

Para la relación de transformación elegimos los voltajes de 120 [V] a 50 [V], al realizar la relación de transformación nos queda de la siguiente manera:

IV-D. Número de vueltas

Recordando la ecuación 6 esto nos resultaría en el siguiente número de vueltas:

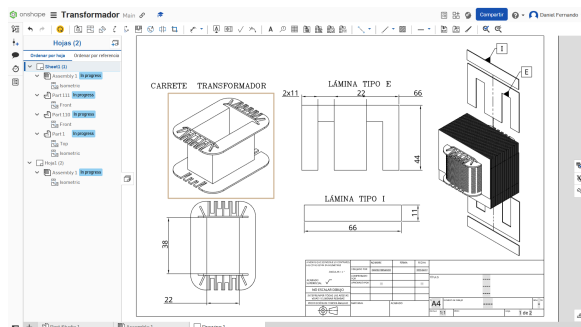


Figura 3: Plano con aspectos constructivos.

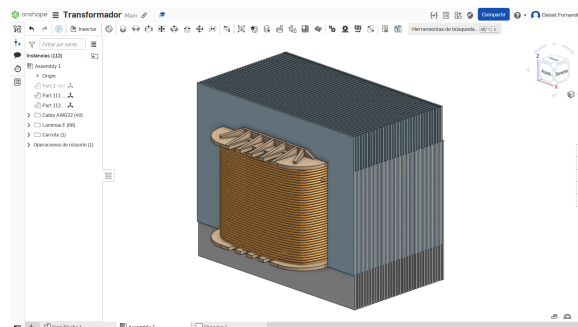


Figura 4: Resultado final del transformador (ocultando los fusibles y el papel aislante).

$$N_1 = \frac{120}{1,1 \cdot S \cdot f \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot 0,9} = 384,599 \approx 385 \text{ [vueltas]}$$

$$N_2 = \frac{50}{1,1 \cdot S \cdot f \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot 0,9} = 160,249 \approx 160 \text{ [vueltas]}$$

IV-E. Bobinado primario

Teniendo el número de vueltas requerido para el lado primario es de 385, hacemos los cálculos de cuánta corriente podría pasar por el conductor según el voltaje seleccionado 120 [V] y la potencia que queremos 50 [VA], seleccionamos un conductor adecuado el cual es cobre esmaltado de calibre AWG 24 que permite el paso de una corriente de 0.577 A (amperios) a 0.94 A .

IV-F. Bobinado secundario

Para hallar el número de vueltas que se requiere en el lado secundario lo despejamos de la fórmula de relación de transformación, al aplicarlo tenemos que la cantidad de vueltas será de 160, para este lado secundario también analizamos la corriente que pasará con un voltaje de 50 [V] y una potencia de 50 [VA], seleccionamos un conductor de cobre esmaltado de calibre AWG 22 que permite el paso de una corriente de 0.92 A (amperios) a 1.5 A .

IV-G. Aislante

Se envolvió entre ambos bobinados una capa de papel aislante, el cual ayuda a cubrir ambos bobinados y separarlos entre ellos.

IV-H. Fusibles

Se agregaron dos portafusibles, uno en cada borne de alimentación del transformador, es decir, un fusible de 2 [A] en el lado de tensión primario y uno de 5 [A] en el lado de tensión secundario, esto para prevenir posibles quemaduras o fallas en el dispositivo. Y finalmente se realizó toda la conexión con las borneras.

PRUEBAS DE LABORATORIO ALTA TENSIÓN

Para probar el funcionamiento de un transformador, es necesario someterlo a un par de pruebas, las cuales son la Prueba de Corto Circuito y la Prueba de Circuito Abierto. Con base en estas dos pruebas podemos ver la relación de tensión entre ambos bobinados, las corrientes que manejan estos y su potencia.

Prueba de Corto Circuito

Para esta prueba, se cortocircuita uno de los lados del transformador. Se calcula qué corriente pasa por este cortocircuito y qué tensión es la aplicada en el lado primario. Al escoger una potencia de 50 W y tener el lado secundario con una tensión de 50 V, se aplica una corriente por el cortocircuito de 1 A. Por la fórmula (sabiendo que la potencia reactiva de la rama de magnetización es muy ínfima):

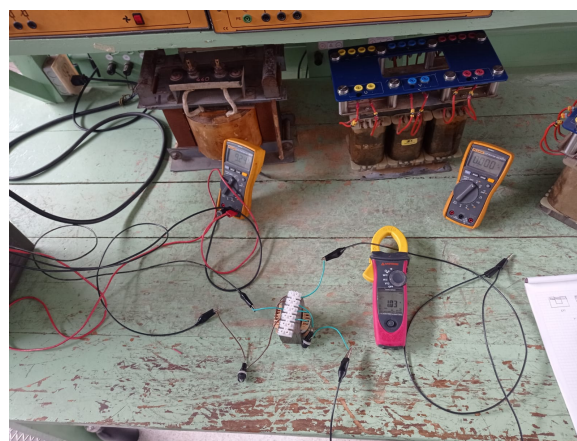


Figura 5: Prueba en el laboratorio de alta tensión.

$$S = V \cdot I = 50 \text{ [VA]}$$

Tensión del lado primario:

$$9,24[V]$$

Corriente que recorre el cortocircuito : 1,03 [A]

Prueba de Circuito Abierto

En esta prueba, se deja el lado secundario abierto. Se calcula la tensión en este lado y se toman la corriente y la tensión que aplicamos en el lado primario del transformador. Para esta parte del laboratorio se comprueba la relación de transformación, teniendo en cuenta los criterios que escogimos para nuestro transformador, el cual es: tensión del lado primario 120 V y lado secundario 50 V. Aplicamos la fórmula:

Relación de transformación:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{120 \text{ [V]}}{50 \text{ [V]}} = 2,4$$



Figura 6: Prueba en el laboratorio de alta tensión.

Tensión en el lado primario del transformador:

$$119,9 \text{ [V]}$$

Tensión en el lado secundario del transformador:

$$49,91 \text{ [V]}$$

Relación de transformación:

$$\frac{119,9 \text{ [V]}}{49,91 \text{ [V]}} = 2,402$$

Corriente por el lado primario del transformador:

$$0,22 \text{ [A]}$$



Figura 7: Prueba en el laboratorio de alta tensión.

V. ANALISIS DE RESULTADOS

V-A. Resultados de la prueba de circuito abierto

Al realizar la prueba de circuito abierto, se observa que la tensión en el lado primario es de 119.9 V y la tensión en el lado secundario es de 49.91 V, lo que indica que la relación de transformación es de 2.402. Esto significa que el transformador está funcionando correctamente y que la relación de transformación es la esperada. Con relación a la corriente de excitación en

el lado primario es de 0.22 A, de la cual para valores nominales se esperaba que fuera de 0.4166 A. para lo cual se tiene que la corriente de excitación es 52.8 % lo quiere decir que la rama de magnetización tiene un valor por encima del esperado que es del 10 % respecto a la nominal

V-B. Resultados de la prueba de corto circuito

Al realizar la prueba de corto circuito, se observa que la tensión en el lado primario es de 9.24 V y la corriente en el lado del cortocircuito es de 1.03 A. Esto indica que el transformador está funcionando correctamente. Para la corriente de carga para valores nominales se tendría que debería ser de 1[A] por lo cual respecto a esta se tiene que la corriente de carga es del 103 % respecto a la nominal. Esto indica que el transformador está funcionando correctamente en los valores esperados.

VI. CONCLUSIONES

- En cuanto a la relación de transformación, el transformador presenta valores esperados, lo que indica que el transformador está funcionando correctamente.
- La potencia nominal del transformador es de 50 VA, lo que indica que el transformador está diseñado para manejar esta potencia sin problemas y que no se espera que se produzcan sobrecalentamientos o fallas en el transformador si se dimensiona un uso para estos valores.
- El transformador presenta valores por encima de lo esperado para la corriente de la rama de magnetización esto podría deberse a los ciclos de histéresis y corrientes parásitas principalmente el primer caso, lo que provoca que la corriente de excitación sea mayor a la esperada.
- La corriente de carga es del 103 % respecto a la nominal, lo que indica que el transformador está funcionando correctamente en los valores esperados.
- S
- En cuanto a la relación de transformación, el transformador presenta valores esperados, lo que indica que el transformador está funcionando correctamente. e logro comprender satisfactoriamente el funcionamiento del transformador, así como su diseño y construcción. lo que a futuro nos permitiría reallizar uno en funcion de las necesidades de un circuito en particular.

VII. ANEXOS

VII-A. Imágenes de la construcción del transformador

Las imágenes de la construcción del transformador son las figuras 8 a 13.

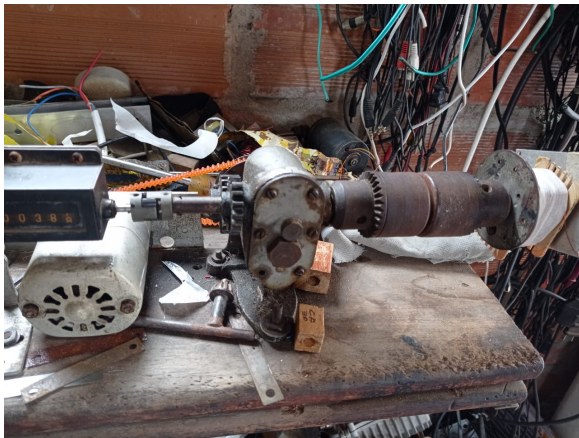


Figura 8: Construcción del transformador con el número de vueltas del devanado primario mas cinta de enmascarar.

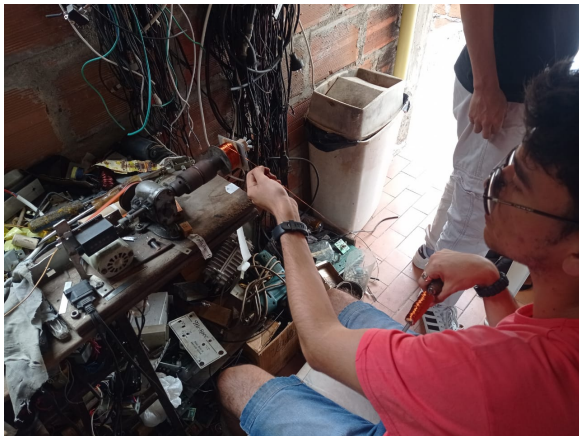


Figura 9: Construcción del transformador.

REFERENCIAS

- [1] ASTM International, *F1883 Standard Practice for Selection of Wire and Cable Size in AWG or Metric Units*, 1998. doi: 10.1520/F1883-98.
- [2] C. E. Gonzalez Aguas and O. García Colmenares, *Guía para el diseño de núcleos de transformadores de distribución*, Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista, Director H. R. Vargas Torres, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2008.
- [3] J. Fraile Mora, *Máquinas Eléctricas*, 6ª ed. Madrid, España: McGraw-Hill, 2008.



Figura 10: Construcción del transformador .



Figura 11: Construcción del transformador.



Figura 12: Construcción del transformador.



Figura 13: Construcción del transformador.