

1. Objetivos

- Proponer, simular, calcular y reproducir para el análisis, la topología de diversos circuitos acoplados magnéticamente (al menos 6). Dos con acople en aire, dos con núcleo abierto y dos con núcleo cerrado para determinar experimentalmente los diferentes grados de acoplamiento y la inductancia mutua entre circuitos inductivos.
- Comprobar experimentalmente, las relaciones de transformación de impedancia, voltaje y corriente de un transformador ideal.
- Analizar y explicar teórica y experimentalmente el comportamiento de múltiples circuitos acoplados magnéticamente.
- Proponer, simular, calcular y reproducir para el análisis, un circuito eléctrico que contenga al menos dos bobinas acopladas magnéticamente

2. Marco Teórico

Transformadores lineales

Un transformador es por lo general un dispositivo de cuatro terminales que comprende dos (o más) bobinas magnéticamente acopladas.

Como se observa en la figura 1, la bobina directamente conectada con la fuente de tensión se llama *devanado primario*. La bobina conectada a la carga se llama *devanado secundario*. Las resistencias R_1 y R_2 se incluyen para tomar en cuenta las pérdidas (disipación de potencia) en las bobinas. Se dice que el transformador es lineal si las bobinas están devanadas en un material lineal magnéticamente, en el que la permeabilidad magnética es constante.

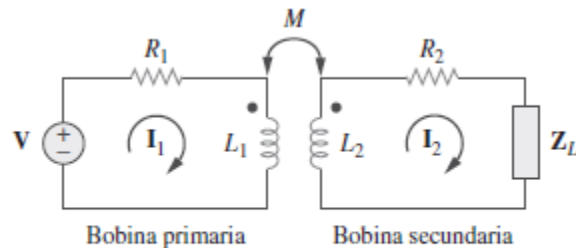


Figura 1 Transformador lineal

Interesa obtener la impedancia de entrada Z_{ent} vista desde la fuente, porque Z_{ent} rige el comportamiento del circuito primario. La aplicación de la LTK a los dos lazos de la figura 1 da como resultado

$$\begin{aligned} V &= (R_1 + j\omega L_1)I_1 - j\omega M I_2 \\ 0 &= -j\omega M I_1 + (R_2 + j\omega L_2 + Z_L)I_2 \end{aligned}$$

La impedancia de entrada se obtiene como

$$Z_{\text{ent}} = \frac{V}{I_1} = R_1 + j\omega L_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_L}$$

La primera parte de la anterior ecuación muestra la impedancia primaria, El segundo término se debe al acoplamiento entre los devanados primario y secundario. Es como si esta impedancia se reflejara en la primaria. Así, se conoce como impedancia reflejada Z_R , y

$$Z_R = \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_L}$$

Las relaciones de tensión-corriente de las bobinas primaria y secundaria producen la ecuación matricial

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} j\omega L_1 & j\omega M \\ j\omega M & j\omega L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Por inversión matricial, esto puede escribirse como

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_2}{j\omega(L_1 L_2 - M^2)} & \frac{-M}{j\omega(L_1 L_2 - M^2)} \\ \frac{-M}{j\omega(L_1 L_2 - M^2)} & \frac{L_1}{j\omega(L_1 L_2 - M^2)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

La igualación de términos en las matrices de impedancia de las ecuaciones y conduce a

$$L_a = L_1 - M, \quad L_b = L_2 - M, \quad L_c = M$$

Método de trabajo (principio de funcionamiento)

El módulo de circuitos magnéticos es una herramienta desarrollada para la comprensión y estudio de los diferentes comportamientos del flujo magnético a través de distintos materiales y así obtener datos útiles para los diferentes análisis, requeridos en las asignaturas de circuitos, campos electromagnéticos y conversión de energía eléctrica.

De este módulo podemos obtener información como:

- Flujo magnético
- Corrientes inducidas
- Voltajes inducidos
- Fuerza sobre materiales magnéticos
- Estudio de la ley de Lorentz

ESPECIFICACIONES TECNICAS			
BOBINA	VOLTAJE NOMINAL [V]	CORRIENTE NOMINAL [A]	CALIBRE DEL CONDUCTOR
400 Espiras	50	2.5	20
320 Espiras	40	2.5	20
200 Espiras	16	2.5	20
160 Espiras	12	2.5	20
120 Espiras	7	2.5	20
40 Espiras	2	2.5	20

DIMENSIONES NUCLEO DE ACERO 1020 Y TEFLON [cm]		DIMENSIONES NUCLEO DE CHAPAS DE SILICIO [cm]	
Barra horizontal -2 unidades de acero -1 unidad de teflón -Longitud-----19,7cm -Altura -----2,9 cm -Profundidad---3,1 cm		E DE SILICIO 	
Barra vertical -3 unidades de acero -2 unidades de teflón -Longitud-----12 cm -Altura-----2,9cm -Profundidad----3,1cm		I DE SILICIO 	
Barra vertical para GAP -1 unidad -Longitud-----11,9cm -Altura-----2,9 cm -Profundidad----3,1 cm		DIMENSIONES FORMALETA DE BOBINA c = 5,5cm d = 2,9cm e = 4,6cm	

Para hallar las inductancias se desarrolla con el uso de una serie de pruebas- error, donde L es la inductividad de la bobina en Henrios, u (μ) es la permeabilidad del núcleo, n es el número de espiras de la bobina, s la superficie cubierta por el núcleo en cm^2 y l la longitud de la bobina en cm.

$$L = \mu \cdot 1,257 \cdot \frac{n^2 s}{10^8 l}$$

3. Metodología

a. Materiales:

- 3 Multímetros
- 1 Variac
- Conectores de potencia

b. Arme la siguiente estructura

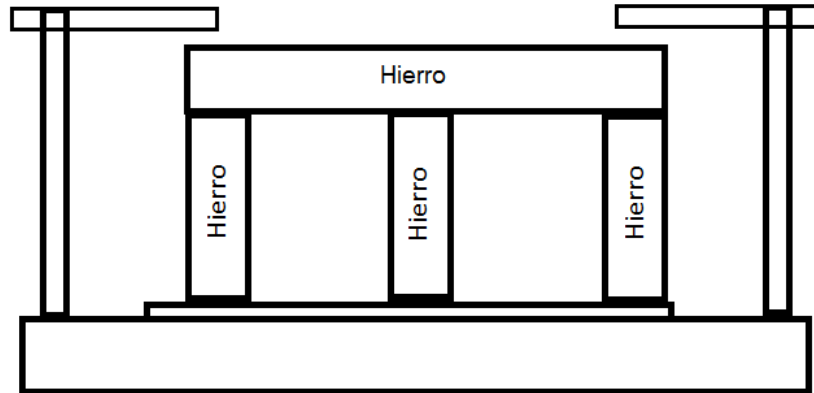


Fig. 1 Estructura de hierro

Monte las inductancias según el número de espiras de la siguiente manera:

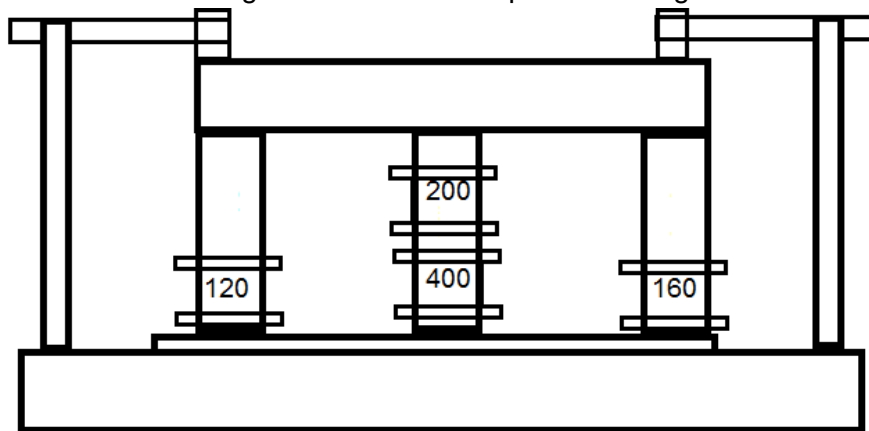


Fig. 2 Configuración de inductancias

Conecte un variac a la inductancia de 400. Tomar los valores de corriente y voltaje de entrada, y tomar los valores de voltajes en las inductancias de 200-120-160.

- c. Cambie la primera columna por un material aislante y vuelva a tomar los valores de tensión y corriente como en el punto anterior.

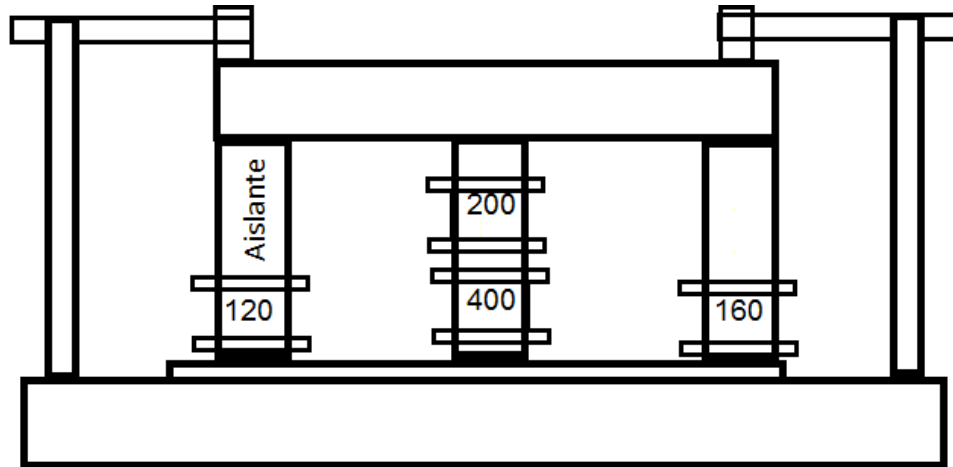


Fig. 3 Estructura con columna aislante

- d. Cambie la segunda columna por una de hierro 1 mm más pequeña, con toda la configuración de hierro. Tome los datos de tensión y corriente como en el punto anterior.
- e. Cambie toda la estructura por una de silicio y Tome los datos de tensión y corriente como en el punto anterior.
- f. Determine el valor de las inductancias con los datos que se obtuvieron.
- g. Determine el valor de acoplamiento.

4. Descripción

Durante la práctica de laboratorio se utilizaron 4 inductores acoplados magnéticamente donde L_1 cumple el papel de primario y los otros tres de secundarios. El primario se conectó a un variac el cual podía regular el voltaje desde cero hasta 140,6 V. Básicamente el circuito es el de la fig. a:

Luego se conectaron multímetros para medir el voltaje y corriente que ingresaba al primario, y los voltajes que ingresaban en los secundarios, como se muestra en la fig. b

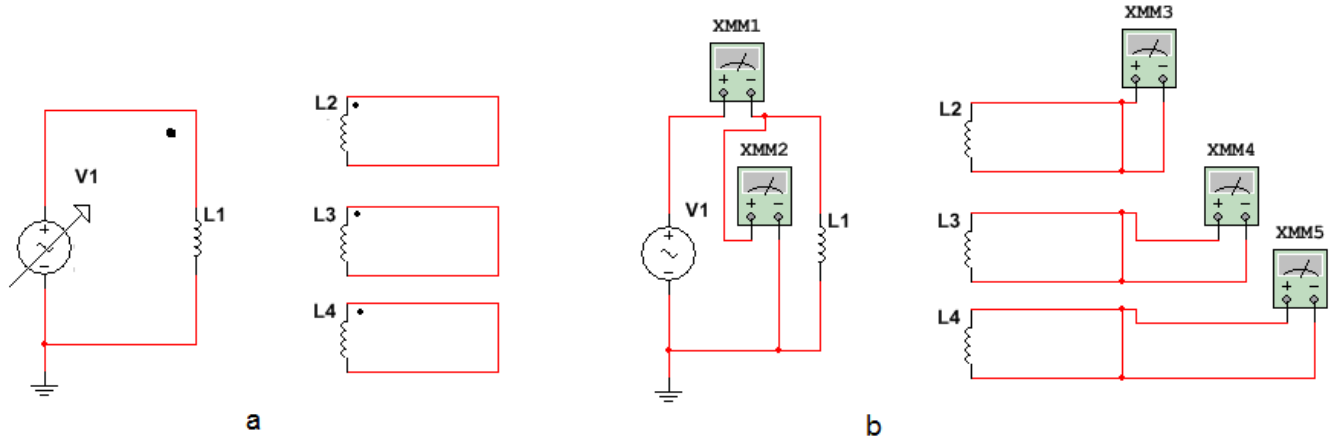


Fig. 4 Circuito acoplado magnéticamente a) circuito b) conexión de los multímetros

Estos estaban conectados a través de columnas, las cuales en primer lugar todas eran de hierro y se procedió a tomar los datos hasta el la corriente máxima que podían soportar los inductores teniendo el este tipo de conexión que es de 3,15 A (dado por el manual), luego se cambió la primera columna por una aislante, después se pusieron de nuevo todas de hierro con la diferencia que la del núcleo iba ser 1mm más pequeña que las otras dos y por último se cambiaron todas por unas de silicio esto permitió tener una corriente cercana a 1^a

5. Hipótesis:

Se espera que al tener el núcleo de hierro, uno de aire y uno de silicio, el acoplamiento con núcleo de silicio pueda soportar una mayor tensión que los otros dos.

6. Presentación de datos

VOLTAJE PRIMARIO	CORRIENTE ENTRADA	VOLTAJE SECUNDARIO120	VOLTAJE SECUNDARIO 200	VOLTAJE SECUNDARIO 160
COLUMNAS DE HIERRO				
11,7 V	0,5 A	0,869 V	4,04 V	1 V
20,8 V	0,87 A	1.672 V	7,43 V	2 V
31 V	1,37 A	3 V	10,99 V	3 V
41 V	1,88 A	3,26 V	13,98 V	4,52 V
50,4 V	2,48 A	3,96 V	16,96 V	5,52 V
60 V	3,15 A	4,7 V	19,82 V	6,46 V
 AISLANTE EN LA PRIMERA COLUMNA				
10,3 V	0,47 A	0,0606 V	3 V	1 V
20,3 V	0,9 A	0,1191 V	7,09 V	2,83 V
30,7 V	1,43 A	0,1813 V	10,61 V	4,34 V
40,3 V	1,98 A	0,2399 V	13,68 V	5,53 V
50,8 V	2,59 A	0,2978 V	16,52 V	6,62 V
60,4 V	3,27 A	0,357 V	19,42 V	7,63 V
NÚCLEO DE AIRE				
10,4 V	0,46 A	0,7 V	3,35 V	0,96 V
20,1 V	0,86 A	1,6 V	6,82 V	2,3 V
30,7 V	1,37 A	2,53 V	10,38 V	3,34 V
40,48 V	1,92 A	3,32 V	13,46 V	4,46 V
50,4 V	2,49 A	4,02 V	16,22 V	5,4 V
60 V	3,18 A	4,81 V	19,17 V	6,38V
CHAPAS DE SILICIO				
10,45 V	0,06 A	1,24 V	4,88 V	2,17 V
20,23 V	0,12 A	2,48 V	9,47 V	4,27 V
30,12 V	0,18 A	3,58 V	14,15 V	6,38 V
40,8 V	0,24 A	4,94 V	19,21 V	8,68 V
50,4 V	0,29 A	5,97 V	23,37 V	10,57 V
60,3 V	0,34 A	7,13 V	27,99 V	12,68 V
80,1 V	0,45 A	9,43 V	37,15 V	16,43 V
100,4 V	0,57 A	11,76 V	47 V	21,25 V
120,7 V	0,71 A	14,14 V	56,6 V	25,55 V
140,6 V	0,86 A	16,46 V	65,9 V	29,7 V

Fotos del laboratorio

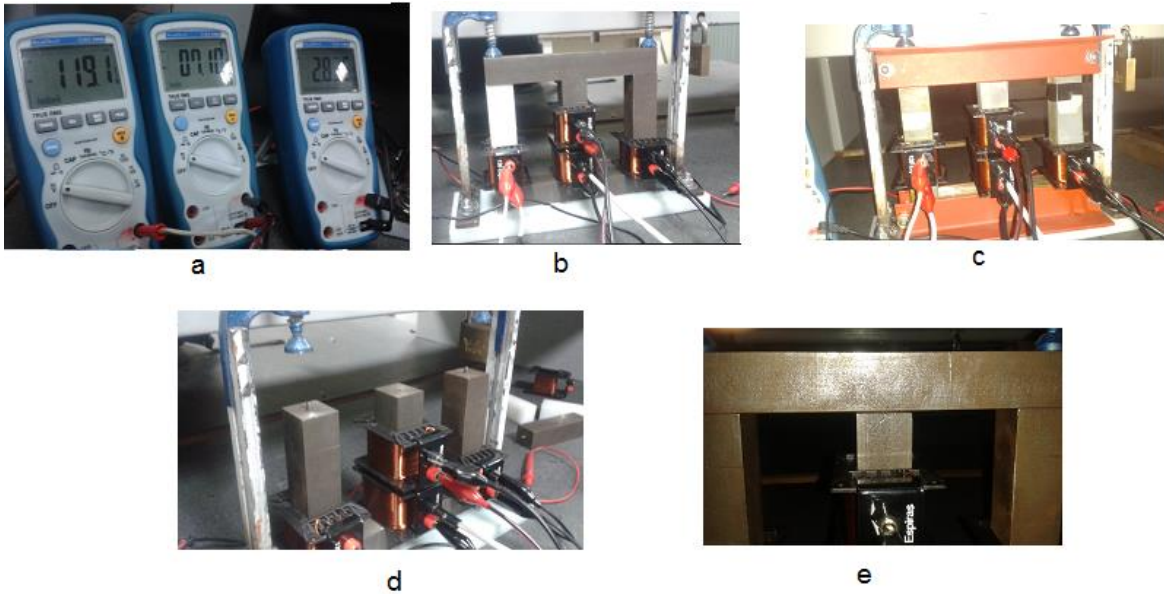


Fig. 5 a) magnitudes de voltajes en los inductores secundarios. b) acoplamiento con columna aislante. c) Acoplamiento con chapas de silicio. d) columna del nucleo más pequeña. e) espacio entre la columnadel medio y conductor

7. Análisis de Resultados

	Núcleo Silicio			
	200 Espiras	120 Espiras	160 Espiras	400 Espiras
Valor inductancia	473.2 mH	171.17 mH	304 mH	2 H

	Núcleo Aire			
	200 Espiras	120 Espiras	160 Espiras	400 Espiras
Valor inductancia	202 μ H	316 μ H	114 μ H	1,26 mH

	Núcleo Hierro			
	200 Espiras	120 Espiras	160 Espiras	400 Espiras
Valor inductancia	473.2 mH	171.17 mH	304 mH	2 H

Los datos obtenidos anteriormente se obtienen de la fórmula de inductancia que relaciona la permeabilidad la cual es 1 en todos los diferentes núcleos, el número de espiras en la bobina la superficie del núcleo y la longitud de la bobina.

En la práctica de laboratorio se observaron las diferentes características de las bobinas con los diferentes núcleos, con todos ellos podemos observar que el valor del voltaje depende del número de espiras, por lo cual entre mayor sea el número de espiras mayor será el voltaje inducido en el embobinado secundario.

En el transformar de aire que se simulo un aislante parecido al teflón, debido a que no hay una conductividad en la base, es decir no conduce, genera que no hay voltaje inducido por parte del voltaje que se aplica al primario, por ello es que en la columna donde se colocó dicho núcleo, el voltaje da por los rangos de lo mili voltios.

Cuando se utilizó el núcleo de silicio, al aumentar el voltaje en el embobinado primario por medio del Variac, lo primero que podemos observar que al aumentar el voltaje como se hizo con los otros núcleos la corriente aumenta lentamente comparado con otras bases de los transformadores, de lo anterior se vio que al introducir un voltaje al primario de 140,3 V que es el máximo voltaje en el variac, apenas encontramos una corriente de 0.86 A que comparadas con los otros núcleos a esa corriente se encuentran en 20 V. Con el núcleo de silicio también se puede ver que el voltaje aumenta conforme más espiras hay en el devanado secundario.

8. Conclusiones

- En los circuitos magnéticamente acoplados con núcleo de aire se observó que habían mayores pérdidas de tensión.
- Se observó que la distancia entre las barras determinaba una mayor pérdida en la variable de campo magnético lo cual nos deja, como aprendizaje que en un transformador esta distancia debe ser proporcionalmente menor.
- Se concluye que en un circuito magnéticamente acoplado con placas de silicio los voltajes en el primario pueden ser mayores sin que esto afecte el límite de la corriente en los bobinados.
- El flujo magnético de acoplamiento se ve afectado si se tiene un núcleo aislante.
- Para un circuito es más factible tener láminas de un material que tener una barra del mismo material.
- Al ser $N_1 > N_2$ se tiene un aumento de corriente el cual produce un aumento en la temperatura de los núcleos en un transformador.
- Se observa que se cumple la relación de transformación del número de espiras con respecto al voltaje $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$.
- Al tener un núcleo de hierro y de silicio el valor de las inductancias es mayor que al tener un núcleo de aire.