

Laboratorio 6

Inducción E.M. y el Transformador

6.1 Objetivos

1. Estudiar la FEM inducida en bobinas y la inductancia mutua.
2. Estudiar el cambio de la inductancia en una bobina al variar el núcleo laminado.
3. Estudiar los principios físicos que se presentan en un transformador eléctrico.
4. Determinar la relación existente entre las espiras y voltajes en un transformador dado.
5. Estudiar las características de un transformador con núcleo de hierro laminado.

6.2 Preinforme

1. Consulte en los textos la Ley de Faraday.
2. Consulte el concepto de autoinductancia e inductancia mutua.
3. ¿Qué tipo de pérdidas se presentan en un transformador?. Explíquelas.

6.3 Fundamento Teórico

En la figura (6.1) se muestran dos bobinas $B - 1$ y $B - 2$ proximas entre sí pertenecientes a circuitos diferentes.

Al cerrar el interruptor S , circula durante un breve tiempo, una corriente variable

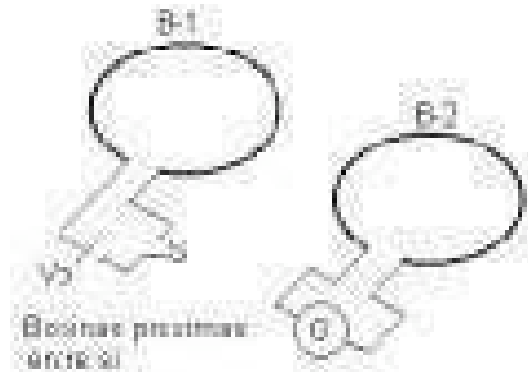


Figura 6.1: Diagrama eléctrico para observar la inducción electromagnética entre dos espiras.

I_1 , a través de $B - 1$. Esto genera un flujo magnético variable a través de $B - 2$ y se observa la deflexión rápida en la aguja del galvanómetro, indicando el paso de una corriente I_2 , debido a la FEM ε_2 que se genera en ella. Según la ley de Faraday:

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = -\frac{d(N_2\phi)}{dt} \quad (6.1)$$

donde:

ε_2 : FEM generada en $B - 2$.

N_2 : Número de espiras de $B - 2$.

ϕ : Flujo magnético en cada espira.

$N_2\phi$: Flujo magnético enlazante en $B - 2$.

Este flujo magnético enlazante $N_2\phi$ debido a la corriente variable I_1 , aumenta si ella aumenta:

$$N_2\phi \propto I_1 \quad (6.2)$$

Definiendo M : Inductancia Mutua

$$M \equiv \frac{N_2\phi}{I_1} \quad (6.3)$$

$$\varepsilon_2 = -\frac{d(N_2\phi)}{dt} = -N_2 \frac{dI_1}{dt} \quad (6.4)$$

Se observa de la ecuación (6.4) que mientras I_1 varíe, estará ε_2 presente en $B - 2$. Una vez llegado al estado estacionario, la corriente I_1 será constante y $\varepsilon_2 = 0$ como se observa en el galvanómetro. El factor M se llama **Inductancia Mutua**, es una constante que depende de la forma, tamaño, número de espiras, separación relativa entre las bobinas y el material presente en los núcleos de ellas (aire ó un material ferromagnético como el hierro dulce). Si ahora se intercambian pila y

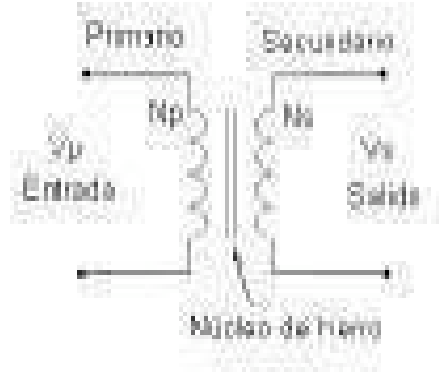


Figura 6.2: Diagrama eléctrico de un transformador de núcleo de hierro.

galvanómetro, se tiene la situación inversa: corriente variable I_2 y FEM inducida ε_1 :

$$\varepsilon_1 = -M \frac{dI_2}{dt} \quad (6.5)$$

Siendo M el mismo ya que el arreglo no se ha modificado.

El concepto de inductancia se aplica también a una sola bobina aislada de N espiras apretadas. Cuando por ella circula una I variable, dentro de ella se produce un campo magnético variable, que a su vez produce un flujo magnético $N\phi$ variable, y finalmente una FEM inducida llamada **FEM Autoinducida**. Así, se define la inductancia L , o simplemente inductancia como en la ecuación (6.3):

$$L = \frac{N\phi}{I} \quad (6.6)$$

$$-N \frac{d\phi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (6.7)$$

L variará según la geometría y si hay aire o material ferromagnético en su núcleo. Visto lo anterior, se tiene que dos circuitos como la figura (6.1) están acoplados magnéticamente. Si la corriente en $B - 1$ varía con el tiempo; aparece una FEM inducida en $B - 2$, pero no todo el flujo magnético que atraviesa $B - 1$ atraviesa $B - 2$. El flujo que NO atraviesa a $B - 2$ se llama **Flujo de disperso** en $B - 2$. En determinados casos representa una pérdida de energía e interesa con frecuencia que sea lo menor posible. Cuando el flujo disperso es muy grande, se dice que las bobinas están débilmente acoplados magnéticamente. Por el contrario, si el flujo disperso es muy pequeño las bobinas tienen un fuerte acoplamiento. Esto es lo que se desea en el transformador:

El transformador es un dispositivo que utiliza la inducción mutua para variar o transformar voltajes y corrientes suministrado por un circuito AC que alimenta

otro circuito AC. Se compone de dos bobinas de alambre conocidas como bobina primaria con N_p vueltas y bobina secundaria con N_s vueltas. Las dos bobinas pueden estar entrelazadas ó acopladas por medio de un núcleo de hierro blando, laminado, para evitar pérdidas por corrientes parásitas. La idea es que el flujo magnético producido por una corriente variable en el primario atraviese el devanado secundario de tal modo que todo el flujo que se pase através del primario, atraviese también el secundario, es decir hay un fuerte acoplamiento magnético. Pueden haber pérdidas de energía como el efecto Joule en la resistencia de los devanados y la histéresis presentada en el hierro del núcleo. La figura (6.2) es la representación de un transformador ideal.

Cuando se aplica un voltaje AC en el primario V_p , se producirá un voltaje en el secundario de igual frecuencia. Sin embargo, el voltaje será diferente de acuerdo con el número de vueltas en dicho devanado.

De acuerdo con la ley de Faraday, el voltaje en el secundario se presenta como:

$$V_s = N_s \frac{d\phi}{dt} \quad (6.8)$$

El voltaje de entrada V_p se relaciona con este flujo magnético cambiante así:

$$V_p = N_p \frac{d\phi}{dt} \quad (6.9)$$

Finalmente:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (6.10)$$

Esta es la ecuación del transformador que relaciona el voltaje del secundario (Salida) con el voltaje del primario (Entrada); V_s y V_p pueden ser los valores eficaces o r.m.s ó también los valores máximos de ambos voltajes.

Si $N_s > N_p$ y $V_s > V_p$ se tiene el TRANSFORMADOR ELEVADOR.

Si $N_s < N_p$ y $V_s < V_p$ se tiene el TRANSFORMADOR REDUCTOR.

Un transformador bien diseñado puede tener una eficiencia del orden del 99%. La eficiencia viene dada por:

$$Eficiencia(\eta) = \frac{Potencia\ de\ salida}{Potencia\ de\ entrada} = \frac{P_s}{P_e}$$

Para el caso ideal la potencia entrada es igual a la de salida.

$$V_p I_p = V_s I_s \quad (6.11)$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (6.12)$$

Es importante notar que un transformador opera sólo con corriente alterna (AC). Una corriente continua en el primario no producirá una FEM en el secundario, pero sí puede hacer un daño al circuito primario si se deja circulando corriente por él un buen tiempo.

Desde el punto de vista oscilatorio, el transformador puede ser considerado como un sistema forzado amortiguado con dos grados de libertad, oscilando en una de las frecuencias propias, donde la fuente AC es el agente forzador.

6.4 Materiales

- Fuente de voltaje 0 - 25 V A.C.
- Juegos de bobinas:
 - 2 de 300 vueltas
 - 2 de 600 vueltas
 - 1 de 1200 vueltas
- Interruptor.
- Montaje núcleo cerrado laminado con yugo y soporte.
- 2 voltímetros A.C.
- Amperímetro.
- Bombillos, con plafón.
- Cables.
- Galvanómetro.
- Pila de 6 V D.C.
- Transformador comercial de 110 V a 6 V AC.

6.5 Precauciones

- Familiarizarse con el equipo.
- No exceda los voltajes aplicados.
- Utilice adecuadamente los instrumentos de medida así como la escala a emplear.

6.6 Procedimiento

A. Inductancia Mutua

Las preguntas enunciadas en esta sección contestarlas en el **ANÁLISIS**.

1. Monte el circuito de la figura (6.1).
2. Conecte lentamente el interruptor. ¿Qué observa en el galvanómetro?
Desconecte lentamente el interruptor. ¿Qué observa en el galvanómetro?
3. Conecte rápidamente el interruptor. ¿Qué observa en el galvanómetro?
Desconéctelo rápidamente. ¿Qué observa en el galvanómetro?. Explique.
4. ¿Qué diferencia encuentra en los dos casos anteriores?. Explique lo anterior basado en la Ley de Faraday.
5. Separe las bobinas entre sí unos 5cm. Conecte y desconecte el interruptor. Varíe la distancia de acercamiento de B respecto a A unas tres veces y repita el procedimiento. ¿Qué cambio nota en la aguja del galvanómetro?.

B. Cambio en la Inductancia de una bobina.

1. Monte el circuito de la figura (6.3). Utilice una fuente de C.A. variable de 0 – 25 voltios. Seleccione el valor de 10 voltios de la fuente y deslice lentamente el yugo (yunque o barra superior del núcleo) hacia la derecha o izquierda, como se ilustra en la figura (6.4).
2. Anote las lecturas de voltaje, corriente y la posición del yugo. Construya una tabla de datos.
3. Explique los cambios presentados en la corriente y en el voltaje.
4. ¿Qué le sucede a la inductancia, considerando las distintas fases del proceso anterior?.

C. Características del transformador ideal sin carga en el secundario (En vacío), con núcleo de hierro.

1. Monte el circuito de la figura (6.5) Para ello utilice el montaje de núcleo cerrado con yugo y soporte; cerciórese de que quede bien ajustado.
2. Haga el arreglo $N_p = 1200$ vueltas, $N_s = 300$ vueltas y aplique a la bobina primaria un voltaje de 3 V de la fuente. Mida el voltaje en la bobina secundaria.

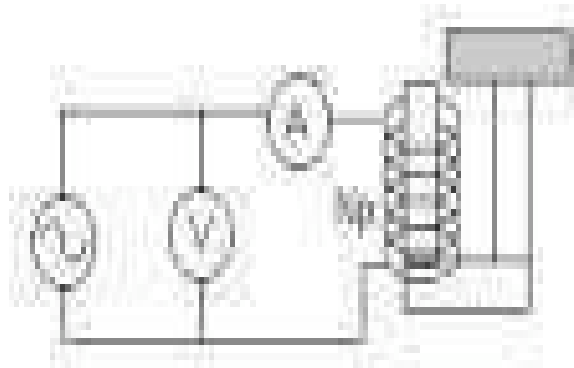


Figura 6.3: Diagrama eléctrico para observar el cambio en la inductancia de una bobina.

3. Repita lo anterior cada 3 V hasta llegar a 24 V .
4. Cambie el arreglo: $N_p = 1200$ vueltas, $N_s = 600$ vueltas.
5. Repita los pasos 1 y 2. Cada 4 V hasta 24 V.
6. Haga el arreglo: $N_p = 600$ vueltas, $N_s = 300$ vueltas.
7. Repita los pasos 1 y 2. Cada 3 V hasta 24 V.
8. Haga el arreglo: $N_p = 300$ vueltas, $N_s = 600$ vueltas.
9. Repita los pasos 1 y 2. Cada 3 V hasta 24 V.
10. Haga el arreglo: $N_p = 300$ vueltas, $N_s = 1200$ vueltas.
11. Repita los pasos 1 y 2. Cada 3 V hasta 24 V.
12. Haga el arreglo: $N_p = 600$ vueltas, $N_s = 600$ vueltas..
13. Repita los pasos 1 y 2. Cada 3 V hasta 24 V.

6.7 Análisis

Parte A

1. Conteste las preguntas de la parte A y dé explicaciones de lo observado.

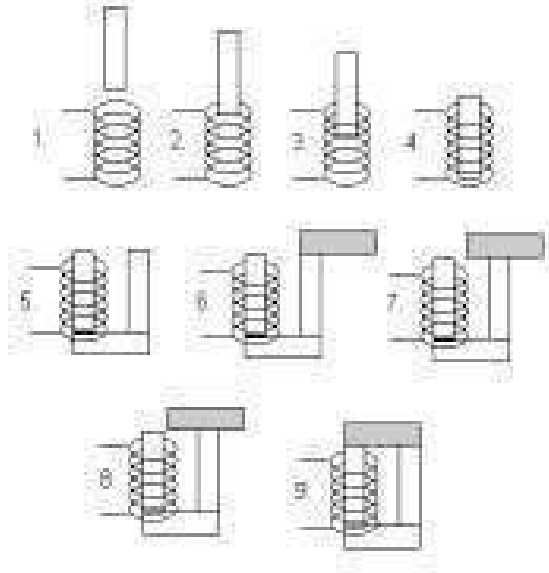


Figura 6.4: Diferentes pasos a seguir para modificar la inductancia.

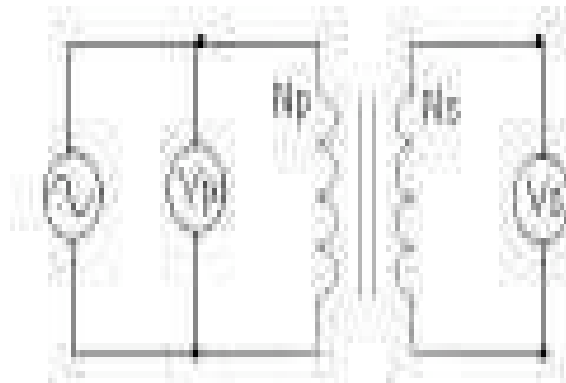


Figura 6.5: Diagrama utilizado en la parte C del procedimiento.

Parte B

1. Conteste las preguntas de la parte B y analice la tabla de datos obtenida con relación a la inductancia.

Parte C

1. Construya gráficos de V_p Vs. V_s para los diferentes arreglos hechos y halle las regresiones lineales donde lo considere.
2. Haga los análisis correspondientes para cada arreglo; determine la relación de transformación, especifique si se trata de un transformador reductor o elevador y compare el valor hallado con la relación de espiras $\frac{N_p}{N_s}$.

6.8 Preguntas

1. El arreglo hecho en la parte C-12 del procedimiento se llama un Autotransformador. Consulte en qué se utiliza.
2. De acuerdo a lo hallado en la parte D-4 del análisis, ¿ qué se puede decir de la potencia transferida a la resistencia de carga?. ¿ Es igual para cualquier resistencia?. Consulte.
3. ¿ Por qué es deseable en la transmisión de energía eléctrica hacerlo a altos voltajes y por tanto a bajas corrientes?.
4. ¿ Qué le podría suceder al transformador usado en esta práctica y que fuese diseñado para una línea de C.A de 120 voltios ?. Sí:
 - (a) Inadvertidamente el primario fuese conectado a una fuente D.C de 120 voltios.
 - (b) Si fuese conectado a una fuente D.C de 120 voltios con los terminales del secundario en corto.
 - (c) Ud olvidó conectar el yunque antes de conectar el transformador a la fuente C.A de 120 voltios. Qué sucede?.