

1 Introducción Teórica

En este trabajo se procedió a medir las características de un transformador construido a partir de dos bobinas separadas. En particular, las inductancias L_1 y L_2 de dichas bobinas, el coeficiente de acoplamiento k , y la inductancia mutua M . Se estudió, además, la variación de dichos parámetros probando distintos materiales como núcleos para el transformador.

2 Método experimental

2.1 Primera conexión

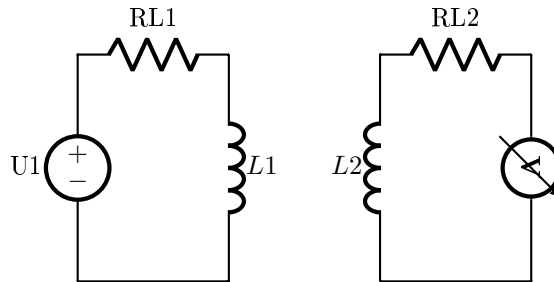


Figure 1: circuito con fuente de continua

Para determinar el sentido de la inductancia mutua M , se conectó al transformador una fuente de tensión continua en la entrada (primario), y un voltímetro digital a la salida del secundario. Teniendo en cuenta el borne donde se conecta el positivo de la fuente, se la enciende. Se observa en ese instante la medición en el voltímetro producida por el cambio de potencial en la bobina primaria (dado que luego la medición vuelve a 0 el resto del tiempo ya que por ser la tensión constante su derivada es nula, por la ley de Faraday la tensión inducida en el secundario será 0). Si la medición cambió hacia valores positivos, entonces la polaridad positiva de la bobina secundaria coincide con la entrada positiva del instrumento. En caso contrario, la polaridad positiva es en el borne opuesto. Además, se observó la diferencia de la magnitud de la tensión del bobinado secundario con el transformador con y sin núcleo.

En la siguiente figura se muestra como se construyó el transformador con las bobinas provistas por el laboratorio, donde del lado izquierdo se tomó como primario (bobina clara), y el derecho como secundario (bobina oscura).



Figure 2: Bobinas utilizadas para armar el trafo

2.2 Obtención de la inductancia

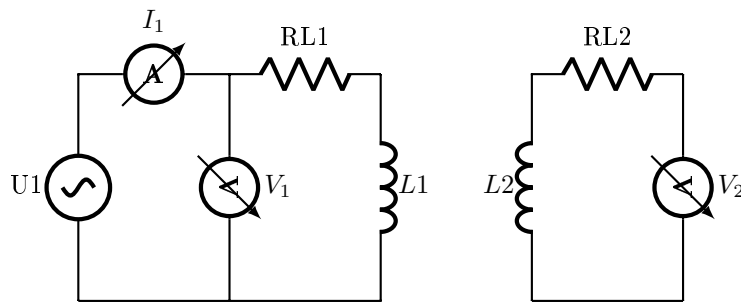


Figure 3: Circuito en vacio

Se procedió a medir, en vacío la tensión y la corrientes del circuito de la figura 2 con las dos bobinas, y luego invirtiendo sus roles. Midiendo además $RL1$ y $RL2$ se pudo despejar el valor de las inductancias.

$$U_1^2 = V_{L1}^2 + V_{RL1}^2 \Rightarrow V_{L1} = \sqrt{U_1^2 - V_{RL1}^2}$$

$$V_{L1} = I_1 w L \Rightarrow L = \frac{\sqrt{U_1^2 - (I_1^2 R_{L1}^2)}}{w I_1} \quad (1)$$

Además, con las mediciones de la tensión en el bobinado secundario se pudo determinar M .

$$V_{L2} = w M I_1 \Rightarrow M = \frac{V_{L2}}{w I_1} \quad (2)$$

2.3 Mediciones con carga

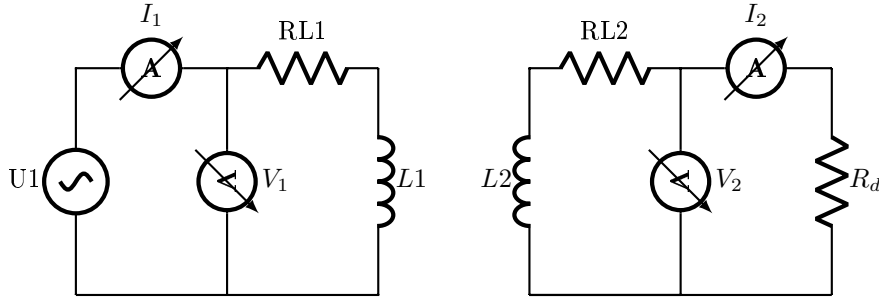


Figure 4: Circuito con carga

Se conectó una resistencia de carga al bobinado secundario, $R_d = 200\Omega$ y, con distintos núcleos mediante las mediciones de las tensiones y las corrientes se pudo calcular el L_2 y el k del transformador, utilizando el conexionado largo.

$$\pm jwMI_1 = \underbrace{+I_2(R_{L2} + R_d)}_{\angle 0} + \underbrace{jwL_2I_2}_{\angle 90} \implies wMI_1 = \sqrt{(I_2R_{L2} + I_2R_d)^2 + (wL_2I_2)^2}$$

$$L_2 = \frac{\sqrt{(wMI_1)^2 - (I_2R_{L2} + I_2R_d)^2}}{wI_2} \quad (3)$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1L_2}} \quad (4)$$

3 Análisis de resultados

3.1 Mediciones directas

Se obtuvieron los siguientes resultados. Salvo en el primer caso, siempre el bobinado primario fue L_1 , el secundario L_2 .

Medición	$V_1(V)$	$I_1(mA)$	$V_2(V)$	$I_2(mA)$
Hierro sólido, vacío, trafo invertido	100 ± 1	145 ± 5	\emptyset	\emptyset
Hierro sólido, vacío	100 ± 1	150 ± 5	18.4 ± 0.1	\emptyset
Núcleo laminado, vacío	100 ± 1	135 ± 5	20.5 ± 0.1	\emptyset
Sin núcleo, vacío	100 ± 1	285 ± 5	5.2 ± 0.1	\emptyset
Hierro sólido, carga conectada	100 ± 1	145 ± 5	11.1 ± 0.1	25 ± 1
Núcleo laminado, carga conectada	100 ± 1	150 ± 5	13.4 ± 0.1	27 ± 1

Además, midiendo la resistencia interna de las bobinas se obtuvieron los siguientes valores.

R_{L1}	R_{L2}
22 ± 0.1	64.9 ± 0.1

3.2 Cálculo de L_1 , L_2 , M y k

Utilizando la expresión (1), con los resultados de las primeras dos mediciones y los valores de R_{L1} , R_{L2} , se pudo calcular L_1 y L_2 en vacío.

Caso	$L_1(H)$	$L_2(H)$
Hierro sólido	2.18 ± 0.08	2.12 ± 0.07
Núcleo laminado	2.35 ± 0.09	2.26 ± 0.14
Sin núcleo	1.11 ± 0.023	-

Utilizando las expresiones (3) y (4), con los resultados de todas las mediciones, excepto la primera, se pudo determinar M y k del transformador para los diversos casos.

Medición	$M(H)$	k
Hierro sólido, vacío	0.39 ± 0.013	0.181 ± 0.008
Núcleo laminado, vacío	0.435 ± 0.015	0.187 ± 0.011
Sin núcleo, vacío	0.058 ± 0.0015	-
Hierro sólido, carga conectada	0.39 ± 0.04	0.181 ± 0.018
Núcleo laminado, carga conectada	0.435 ± 0.07	0.188 ± 0.019

4 Conclusiones generales

Al armar el transformador y conectarlo a la fuente tanto desde el primario como desde el secundario, se observó que en ambos sentidos la tensión de entrada se muestra reducida en el otro bobinado (en lugar de lo que se espera que ocurra, que es que en un sentido la tensión se vea reducida, y en el otro aumentada). Esto se debe a que hay una diferencia considerable entre las resistencias de ambas bobinas para los órdenes en los que se trabaja ($< 100\Omega$), por lo que el transformador no resulta comportarse de la forma esperada.

Teniendo armado el transformador e identificado el sentido de la inductancia mutua, se procedió a verificar que efectos producía cambiar el núcleo por materiales diferentes. El caso sin núcleo (es decir al vacío) es en el que las líneas de campo magnético se dispersan más, por lo que la corriente medida en el primario es la mayor comparada al resto de los casos, aunque no tiene pérdidas por Foucault. Es el caso donde las inductancias toman los valores más pequeños.

En los casos con núcleo no vacío, el valor de la corriente disminuye considerablemente, al estar las líneas de campo magnético más concentradas. Dentro de éstos, están las pruebas con núcleo de hierro sólido y laminado. En el caso de hierro sólido se observó que esta hipótesis se verifica, obteniendo una corriente en el primario menor y además se ven aumentados los valores de las inductancias, dado que las mismas dependen sólo de las características del transformador. Respecto al caso con núcleo vacío, además, se ve que el valor que la inductancia mutua M también aumenta considerablemente. Luego, en el caso con núcleo laminado, se observa también un aumento en los valores de las inductancias y una disminución en las corrientes medidas (en primario y secundario) con la impedancia de carga Rd conectada. Se observa, además, un aumento en el valor de la inductancia mutua M y una leve mejoría en el coeficiente de acoplamiento k respecto al caso con núcleo sólido. Esto es debido a que, al estar el hierro en láminas en lugar de ser un sólo sólido, se reducen las pérdidas por Foucault, mejorando un poco el rendimiento.

Para conseguir L_2 en el caso de núcleo laminado se tomo el criterio de que con un mismo núcleo, la autoinductancia M debe ser la misma tanto para el caso con impedancia de carga Rd en el secundario como sin carga, dado que la misma sólo depende de los parámetros del transformador. En el caso sin núcleo, dado que no se solicitaba repetir el experimento con la carga Rd , no se calculó L_2 , y por ende tampoco el coeficiente de acoplamiento k .

Dado que la impedancia de los bobinados es muy pequeña, se hace comparable con la resistencia interna del amperímetro. Si se utiliza la conexión corta, la tensión que cae sobre el amperímetro se hace comparable a la que cae en el bobinado donde se está midiendo, lo que provocaría una medición de tensión incorrecta con el voltímetro. Por ello se utiliza el conexionado largo, de forma tal de evitar este error en la medición de tensión.