

TP4 - Teoría de Circuitos 1

Acoplamiento Magnético y Cuadripolos

Autores:

Pla, Juan Ignacio (63486)

Torino, Joaquín (63140)

Caviglia, Facundo (63178)

Belsito, Ramiro (62641)

Actualizado: November 10, 2023

1 Introducción

El objetivo de este experimento es trasladar los conocimientos teóricos sobre el acoplamiento magnético y sobre los cuadripolos a la práctica. Por restricciones de tiempo, la sección del estudio de cuadripolos no se pudo realizar.

Para desarrollar el experimento, se utilizarán bobinas que nos permitan intercambiar el núcleo, de forma tal que los mismos bobinados cambiarán su comportamiento según la permitividad magnética del aluminio, del hierro y del hierro laminado. Se analizará la reacción del transformador ante una carga en el circuito secundario, mediante la medición de las caídas de tensión en la misma y el cálculo previo de las inductancias propias y mutuas con el núcleo correspondiente.

2 Materiales utilizados

- Fuente de tensión alterna regulable, configurada en $V_{ef} = 30\text{v}$ y a $f = 50\text{Hz}$.
- Dos bobinados con núcleo abierto y resistencias internas de $21,5\Omega$ y 23Ω respectivamente.



Fig. 1: Bobinados

- Núcleo de hierro sólido, de hierro laminado y de aluminio.
- Multímetros digitales en los modos de: Óhmetro, Voltímetro y Amperímetro.
- Resistencia de 200Ω .

3 Desarrollo

3.1 Homología

Antes de analizar el circuito, se debe determinar la homología de las inductancias. Para ello, se llevará a cabo una conexión del primer bobinado a la fuente de tensión variable, de $f = 50\text{Hz}$, con el segundo bobinado acoplado magnéticamente mediante el núcleo compartido por ambos.

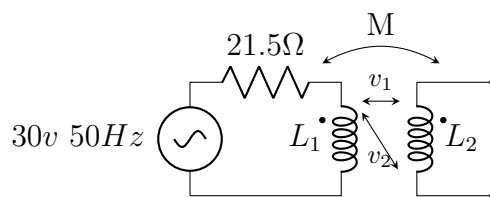


Fig. 2: Circuito 1

A continuación, se determinará la homología midiendo la tensión entre uno de los bornes del primer inductor y cada uno de los bornes del segundo. Es decir, se debe comparar la tensión v_1 y v_2 presentes en la "Fig.2:Circuito 1". Concluyendo que el par homólogo se encuentra en aquel borne cuya tensión es menor. Esto se debe a que al medir la tensión entre bornes homólogos, se está midiendo la tensión entre los dos extremos positivos de ambas bobinas. Cuando se mide la tensión entre un borne positivo y otro negativo, la diferencia de tensión será mayor que la anterior ya que la diferencia incluirá la caída de potencial en la bobina que se cambia de polaridad.

Mediante mediciones experimentales, pudimos identificar las grandes diferencias que existen en utilizar distintos núcleos para acoplar magnéticamente los bobinados. Los resultados podrán verse en las tablas en las siguientes secciones. Pero, teóricamente hablando, esto se debe a que hay núcleos, como el hierro, con mayor permitividad magnética μ .

3.2 Cálculo de Inductancias

Para obtener los valores de inductancia propia, se realizó un ensayo con el circuito secundario abierto y el primario conectado a la fuente de tensión variable. Se midió la caída de tensión en los bornes del primario con el voltímetro y la corriente que circulaba por el mismo con un amperímetro.

De esta forma, considerando que la corriente en el circuito secundario es nula, dado que este se encuentra abierto, se conocen los valores de resistencia ($R = 21.5\Omega$), tensión (30V) y corriente del circuito primario (i_1 - como se puede apreciar en la "Fig.3:Circuito 2" -). Aplicando la ecuación de mallas correspondiente, se puede obtener el valor de la inductancia propia del primario, siendo este el único valor desconocido de la ecuación.

$$(V_1) = (R_1 \cdot i_1 + j\omega L_1 \cdot i_1) \iff \left| \frac{V_1}{i_1} \right| = \sqrt{(R_1)^2 + (\omega L_1)^2} \quad (1)$$

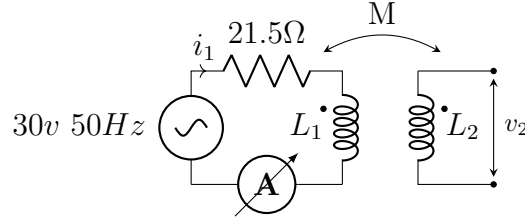


Fig. 3: Circuito 2

Para calcular el valor de la inductancia propia del segundo bobinado, se realizó el mismo ensayo pero con la fuente de tensión variable conectado a este y el circuito primario abierto. Luego se hizo uso de la ley de mallas con los valores obtenidos para el circuito secundario.

$$(V_2) = (R_2 \cdot i_2 + j\omega L_2 \cdot i_2) \iff \left| \frac{V_2}{i_2} \right| = \sqrt{(R_2)^2 + (\omega L_2)^2} \quad (2)$$

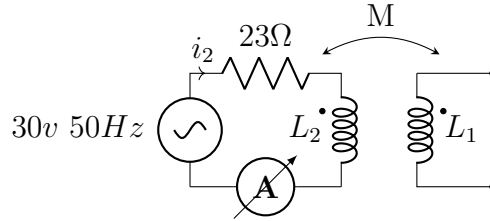


Fig. 4: Circuito 3

En el caso de la inductancia mutua, se utilizó el mismo ensayo que nos permitió determinar la inductancia propia del primer bobinado ("Fig.3:Circuito2") y se obtuvo el valor de la caída de tensión en los bornes del bobinado secundario abierto (v_2). Por ende, considerando que dicha caída corresponde a:

$$|V_2| = | -j \cdot \omega \cdot L_2 \cdot i_1 \cdot M | \iff M = \left| \frac{V_2}{\omega \cdot L_2 \cdot i_1} \right| \quad (3)$$

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (4)$$

3.3 Resultados Obtenidos

En esta tabla se pueden observar todos los datos obtenidos en el experimento, tanto los valores medidos como los calculados.

Núcleo	V1 (v)	I1 (mA)	V2 (v)	I2 (mA)	L1 (H)	L2 (H)	R1 (ohm)	R2 (ohm)	M (H)	K
Hierro Laminado	30	150	30	110	0,633	0,865	21,5	23	0,307	0,415
Hierro No Laminado	30	120	30	170	0,793	0,557	21,5	23	0,400	0,363
Aluminio	30	310	30	290	0,3	0,321	21,5	23	0,090	0,083
Aire	30	310	30	280	0,3	0,333	21,5	23	0,096	0,091

Fig. 5: Resultados obtenidos

4 Conexión de Resistencia en el Secundario

En el siguiente experimento, se conectó una resistencia de $R_d = 200\Omega$ en el circuito secundario y se midió la caída de tensión determinada como V_2 . Se hizo un análisis de la caída de potencial V_2 y también de la corriente que circula por el circuito secundario, para cada uno de los núcleos utilizados.

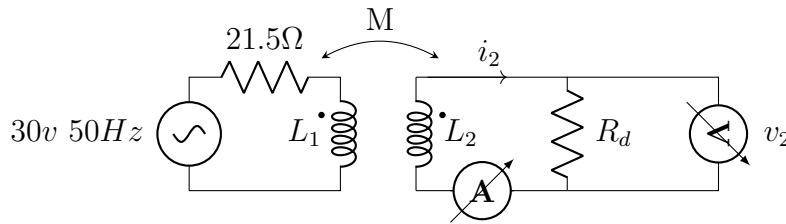


Fig. 6: Circuito 4

4.1 Mediciones Experimentales

Núcleo	V1 (v)	I1 (mA)	V2 (v)	I2 (mA)	Rd (ohm)	M (H)	K
Hierro Laminado	30	160	8,3	41,5	200	0,307	0,415
Hierro No Laminado	30	130	6	30	200	0,400	0,363
Aluminio	30	320	2,1	10,5	200	0,090	0,083
Aire	30	300	2,4	12	200	0,096	0,091

Fig. 7: Resultados obtenidos con R_d conectado en el circuito secundario

4.2 Analisis de Errores

Dada la naturaleza experimental de las mediciones realizadas, los errores son inevitables y es de vital importancia reconocerlos. Primero y principal, la posición de los núcleos dentro de las bobinas fue determinada de manera completamente experimental. Se trato de que la ubicación sea lo más imparcial posible, pero no se efectuó ninguna medición rigurosa para asegurarse de que esto sea así. Sin embargo, esta particularidad queda reflejada en el valor de K , por lo cual no es algo que este obviado en los resultados. Finalmente, errores como la resistencia de los cables, variaciones en la fuente de tensión, fluctuaciones en el autotransformador y hasta las limitaciones físicas del multímetro digital son todos factores que reducen en cierta medida la calidad de las mediciones. Sin embargo, a pesar de estas fuentes de error, los efectos estudiados pudieron seguir siendo apreciados y no se modificó la calidad de la experiencia, que no tenía como objetivo la toma de valores perfectos sino la apreciación de fenómenos electromagnéticos entre dos bobinados.

4.3 Análisis de Resultados y Conclusión

Puede notarse en las tablas anteriores, que cada resultado depende enormemente del núcleo utilizado. Esto se debe a que dependiendo de las propiedades del mismo, las bobinas compartirán mayor o menor flujo de campo magnético, lo cual afecta tanto a las inductancias propias como a la inductancia mutua y por ende el coeficiente de acoplamiento, como puede verse en los resultados obtenidos por la Fig.5. Por ejemplo, el núcleo de hierro laminado ayuda a disminuir pérdidas por corrientes de Foucault.

En la Fig.7 se puede observar que la caída de tensión y la corriente en el circuito secundario son mayores cuando se utilizan los núcleos de hierro, mientras que las menores se obtienen con el núcleo de aluminio, que posee una baja permeabilidad magnética. Entendiendo la correlación directa entre las tensiones v_2 encontradas en el secundario y la energía que el bobinado primario transfiere a través del acoplamiento magnético.