



INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE  
BUENOS AIRES

## Trabajo Práctico N° 6

Teoría de Circuitos I  
25.10

### Grupo N° 2

Juan Bautista Correa Uranga  
Juan Ignacio Caorsi  
Rita Moschini

Legajo: 65016  
Legajo: 65532  
Legajo: 67026

13 de noviembre de 2025

## **Resumen**

# Índice

<b>1.. Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. Instrumental . . . . .	3
1.2. Marco teórico . . . . .	3
<b>2.. Desarrollo</b>	<b>6</b>
2.1. Procedimiento . . . . .	6
2.2. Datos recolectados . . . . .	6
2.3. Cálculos . . . . .	8
<b>3.. Análisis</b>	<b>9</b>
<b>4.. Conclusiones</b>	<b>9</b>

# 1. Introducción

## 1.1 Instrumental

En esta experiencia se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Osciloscopio Keysight (Agilent) DSO6014A
- Generador de ondas con resistencia interna de  $50\Omega$
- Analizador de impedancias LCR.
- Resistencia de  $100\Omega$  (nominal y medido).
- Capacitor de  $2,2\text{ nF}$ .
- Inductor de inductancia entre  $0,5\text{ mH}$  y  $2\text{ mH}$

## 1.2 Marco teórico

El modelo de transformador estudiado a lo largo de este trabajo práctico consiste en dos bobinados alrededor de un núcleo. Si se conecta uno de estos bobinados a una fuente de alterna, el campo magnético variable debido al carácter alterno de la excitación genera un flujo de campo magnético variable a través del mismo, y el cual induce una corriente en el núcleo. Dicha corriente se llama **corriente de Eddy** o corriente de Foucault, y se obtiene mediante la ecuación

$$I = I_1 \cdot N_1 + I_2 \cdot N_2 = \frac{\phi l}{A\mu}$$

donde  $N_1$  y  $N_2$  representan el número de vueltas del bobinado primario y el secundario respectivamente,  $I_1, I_2$  las corrientes que circulan por los mismos,  $A$  la sección transversal del núcleo,  $l$  la longitud del mismo y  $\phi$  el flujo de campo magnético a través del mismo. En base a esto, se define la reluctancia  $R$  como

$$R = \frac{l}{A\mu}$$

La corriente de Eddy es un efecto no deseable de la configuración física del transformador, ya que disipa potencia que no es aprovechada. Es por esto que se busca que  $\mu$  sea muy grande, ya que en ese caso  $I=0$  y

$$0 = I_1 \cdot N_1 + I_2 \cdot N_2 = \frac{\phi l}{A\mu} \Rightarrow I_2 = \frac{-N_1}{N_2} I_1$$

Los materiales que tienen  $\mu$  grande se denominan materiales mu-magnéticos.

Defino la constante  $n = \frac{N_2}{N_1}$  que establece una relación entre el número de vueltas de ambos bobinados. Las 3 relaciones de transformación son:

$$V_2 = nV_1 \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{-I_1}{n} \quad (2)$$

$$S_2 = -S_1 \quad (3)$$

$$n = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \quad (4)$$

Nótese que si  $N_2 > N_1 \Rightarrow n > 1 \Rightarrow V_2 > V_1 \wedge I_2 < -I_1$  es decir, si el bobinado secundario tiene mayor cantidad de vueltas que el primario, la caída de tensión en el secundario es mayor que en el primario, y lo contrario sucede con la corriente. Al bobinado que tiene mayor tensión se le dice **reductor**, ya que si se conecta una tensión de alimentación al mismo, la tensión en el otro bobinado se verá reducida; de manera análoga, al bobinado con menor tensión se lo denomina **elevador**.

Un transformador ideal no tiene efecto inductivo entre las bobinas. Sin embargo, el campo magnético generado por la corriente  $I_1$  también atraviesa el bobinado secundario, y viceversa. Esto resulta en la presencia de la inductancia mutua  $M$ , de manera que se considera el siguiente modelo

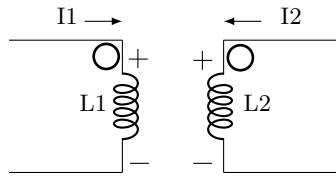


Figura 1: Modelo de transformador sin corrientes de Eddy, con inductancia mutua, ambas corrientes “entrando por el punto”.

la ubicación de los puntos indica el signo del término con  $M$ ; si en un inductor la corriente entra por el puntoz en el otro ”sale por el punto”, entonces el signo del término con  $M$  es contrario al del término sin  $M$  en la tensión dada. En el caso de la figura 1, las ecuaciones son

$$\begin{cases} V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} \\ V_2 = M \frac{dI_1}{dt} + \frac{dI_2}{dt} \end{cases} \quad (5)$$

en cambio, en la figura 2

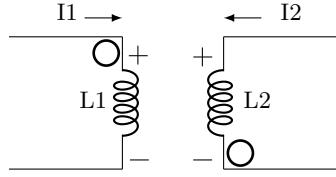


Figura 2: Modelo de transformador sin corrientes de Eddy, con inductancia mutua, una corriente “entrando por el punto” y la otra “saliendo”.

las ecuaciones de las tensiones son

$$\begin{cases} V_1 = L_1 \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt} \\ V_2 = -M \frac{dI_1}{dt} + \frac{dI_2}{dt} \end{cases}$$

en este trabajo práctico, se utilizó el modelo de la figura 1.

Un factor que influye en la inductancia mutua  $M$  es el acoplamiento de las bobinas. Se puede despejar a partir de las ecuaciones ya dadas la ecuación  $M = \sqrt{L_1 L_2}$ ; sin embargo, en la práctica se observa que  $M \leq \sqrt{L_1 L_2}$ , pues no todo el campo magnético generado por cada bobinado pasa también por el otro. Esto sucede por la no idealidad de los materiales, y porque es imposible asegurar que ambos bobinados se mantengan perfectamente alineados. Para describir que tanto se acercan las condiciones del experimento a las ideales, se define el acoplamiento  $K$

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (6)$$

Como  $M \leq \sqrt{L_1 L_2} \Rightarrow 0 \leq K \leq 1$ . Las condiciones ideales en las que  $K = 1$  se denominan **acoplamiento perfecto**.

Una ventaja esencial del uso de transformadores es el aislamiento eléctrico. Esto quiere decir que si por ejemplo en la figura 3 se quema la resistencia  $R_1$ , esto no afectaría a  $R_2$ , sino que simplemente dejaría de circular corriente a través del transformador.

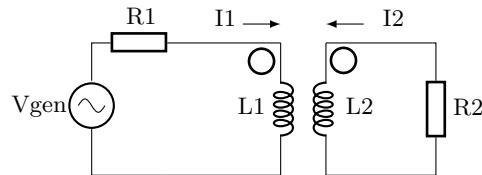


Figura 3: Ejemplo de circuito con cargas conectadas a ambos bobinados.

Otra característica de los transformadores es que si se agrega un offset a la señal que alimenta el bobinado primario del esquema, como el offset es esencialmente una señal que continua que se superpone con la alterna, y los inductores se comportan como cortocircuitos en régimen de continua, esa tensión adicional no afecta al acoplamiento, y no se transmite al bobinado secundario.

# 2. Desarrollo

## 2.1 Procedimiento

El procedimiento de este TP se dividió en 3 secciones:

- En la primera sección se midieron los parámetros del inductor. Para ello, primero se midieron los valores de inductancia de ambos lados del inductor. Eso realizó mediante el medidor LRC configurándolo a 50kHz. Seguido a eso, midió la tensión de salida de cada lado, al conectar un generador de señal senoidal de 1,5V pico con una frecuencia de 50kHz en el lado opuesto.
- En la segunda parte se conectó una resistencia adicional  $47\ \Omega$  entre el generador y la entrada del transformador del lado elevador. Seguidamente, se varió el offset (se tomaron valores de -5v a 5v) a la señal usada en la primera sección y se midió la tensión de salida. La salida se consideró como circuito abierto.
- En la tercera parte (COMPLETA)

## 2.2 Datos recolectados

### Parametros del inductor

Se midieron los siguientes parámetros en la primera sección. En primer lugar se obtuvieron los siguientes valores de inductancia a 50kHz con el medidor LRC.

- $L_1 = 0,135\ mH$
- $L_2 = 1,931\ mH$

Luego, con el generador de ondas configurado con una onda senoidal de 3 V<sub>pp</sub> a 50kHz con offset nulo, se midieron los siguientes valores (Observar tabla 1)

	$V_{entrada}$	$V_{salida}$
$V_{L1}$ como entrada	2,10 V <sub>pp</sub> $\angle 0^\circ$	4,34 V <sub>pp</sub> $\angle 182^\circ$
$V_{L2}$ como entrada	3,10 V <sub>pp</sub> $\angle 0^\circ$	0,45 V <sub>pp</sub> $\angle 181^\circ$

Tabla 1: Tensiones medidas en cada bobina con sus respectivas fases.

### Fuente de tensión con offset

En la segunda parte al analizar variar el offset, se obtuvieron las siguientes mediciones:

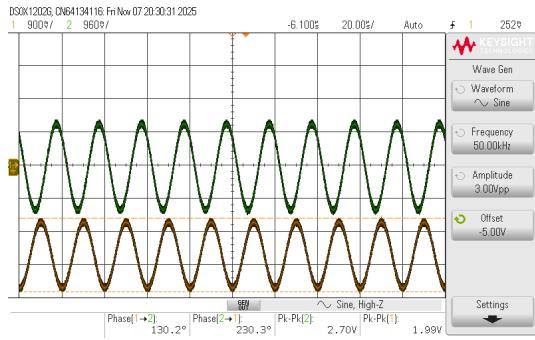


Figura 4: Fuente con offset de -5 V.

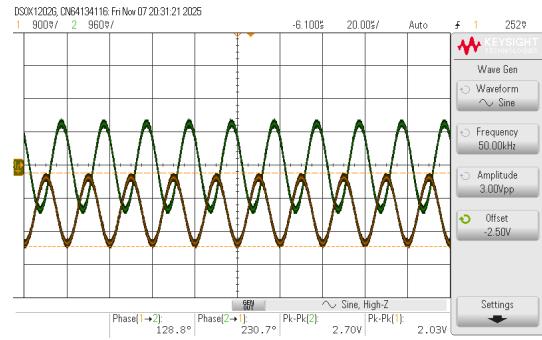


Figura 5: Fuente con offset de -2,5 V.

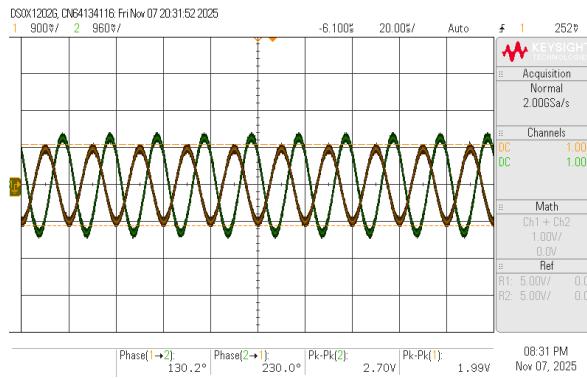


Figura 6: Fuente con offset de 0 V.

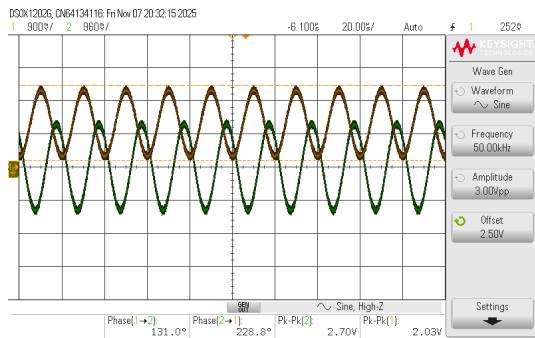


Figura 7: Fuente con offset de 2,5 V.

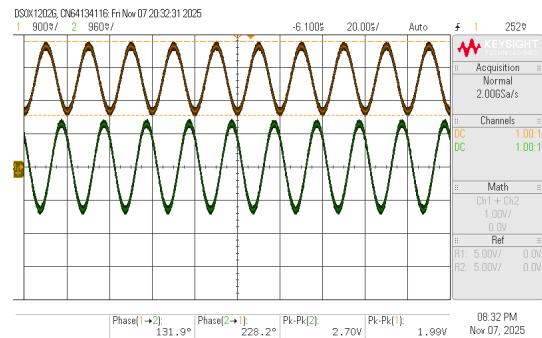


Figura 8: Fuente con offset de 5 V.

## Salida con carga

### 2.3 Cálculos

#### Parametros del transformador

Para la obtención de M, se partió del sistema de ecuaciones 5 y se despejaron las siguientes ecuaciones, considerando que  $I_2 = 0$ :

$$V_{in} - R_{Lin} \cdot I_{in} - j\omega L_{in} I_{in} = 0$$

$$V_{out} = j \cdot \omega \cdot M \cdot I_{in}$$

Al despejar y hacer el cociente de ambas, se puede llegar a:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{j \omega M}{R_{Lin} + j \omega L_{in}}$$

Finalmente, como la resistencia del inductor es muy chica a comparación de  $j \cdot \omega L_1$ , se desprecia R llegando a la ecuación final:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot L_{in} = M \quad (7)$$

con  $L_{in}$  el valor del bobinado conectado al generador,  $V_{in}$  la tensión en la entrada del transformador y  $V_{out}$  la tensión de la salida.

A partir de esta última ecuación se puede conseguir, mediante la fase, el signo de M, y al tomar el modulo, se puede despejar K mediante la ecuación 6.

Con esto en cuenta se llegaron a los siguientes resultados:

- $M = 0,279mH \angle -178^\circ \approx -0,279 \text{ mH}$
- $K = 0,546$

A partir de conectar  $V_L 1$  al generador.

- $M = 0,28mH \angle -179^\circ \approx -0,28 \text{ mH}$
- $K = 0,549$

A partir de conectar  $V_L 2$  al generador.

Otro valor que se trabajo fue el factor de relación de vueltas para un transformador ideal. Aquí se calculó el n de varias formas:

- Mediante la ecuación 1 con  $V_1$  la entrada de  $L_1$  :  $n = 2,06$
- Mediante la ecuación 1 con  $V_2$  la entrada de  $L_2$ :  $\frac{1}{n} = 0,145 \implies n = 6,89$
- Mediante la ecuación 4 :  $n = 3,78$

# 3. Análisis

## Parametros del transformador

En la primera parte se midieron los parametros y comportamiento del transformador. Al observar la tabla 1, se puede observar que el transformador poseía una entrada elevadora en la bobina L1 y reductora en L2.

El primer valor calculado fue M y se calculó a partir de las dos mediciones indicadas en la tabla 1. En ambos casos, se llegó a un M casi idéntico, el cuyos módulo difiere en 0,001 mH. Esto concuerda con la teoría, puesto a que el coeficiente de inductancia mutua, debe ser el mismo para ambos bobinados. Al mismo tiempo, esto sugiere que las mediciones de tensión fueron bastante confiables.

Otro aspecto observado en los resultados obtenidos de M, fue que el valor de la constante fue negativo. Aun así, esto no debería ser un problema, ya que estaría ligado al sistema de referencia usado para despejar las ecuaciones. En este caso se usó el indicado en la figura 1.

A partir del módulo de M y los valores de inductancia obtenidos se consiguió la constante de acoplamiento k. Este dió un valor bajo de  $\approx 0,55$ . Esto indica que las bobinas del transformador no estaban idealmente acopladas. Más aun, al querer estimar la relación de vueltas del transformador, se consiguieron valores muy distintos según el método utilizado.

Para el cálculo de errores, se tomó como referencia el n conseguido a partir de L1 y L2. Este valor nos permitiría indicar que este transformador tendría una relación aproximada de 1:3 o 1:4 vueltas. Con esto en cuenta, se obtuvieron valores que diferían en un 45,5 % para el caso en el que se calculaba n a partir de los valores medidos a partir de excitar la entrada L1 del transformador y un 82,28 % al calcular n a partir de los valores obtenidos al excitar la entrada L2 del transformador.

Con esto se puede concluir que el transformador no estaba perfectamente acoplado, y esto se podría atribuir a fugas en el campo magnético inducido por las bobinas. Si bien el material de la estructura del transformador era de ferrite, el mismo no era ideal, por lo que existen perdidas de flujo magnético. Al mismo tiempo, también es importante considerar las corrientes de eddy generadas en el interior del núcleo las cuales, a mayor frecuencia de cambio, aumentan las perdidas de energía. Es muy importante considerar esto, ya que en este trabajo, se utilizó una señal de frecuencia muy alta (50kHz).

## Fuente de tensión con offset

En esta parte, al observar las figuras 4 a la 8, se pudo observar que la tensión de salida no varió al modificar el offset. Esto se puede explicar de la siguiente manera. Al añadir un offset a una señal, se añade una corriente continua a la misma. Debido a que el transformador funciona como un filtro pasa altos, el mismo filtra la señal dc del offset dejando solo la señal senoidal original. Todo esto sin importar el valor del offset.

Por tal motivo, al observar las mediciones en todos los casos, se puede observar que la salida es la misma para todos los casos y concuerda con la señal original sin offset agregado.

# 4. Conclusiones