



LABORATORIO DE MAQUINAS I

TEMA I

Práctica 1. Instrumentos y Errores de Medición.

Práctica 2. Circuitos Magnéticos y Ciclo de Histéresis.

Práctica 3. Circuito Magnético de un Contactor

Realizado por:

Prof. Nerio Ojeda.

Prof. Julian Pérez



Tema 1. PRACTICA N° 1. Instrumentos y errores de Medición

1. INTRODUCCIÓN:

Esta práctica está orientada a afianzar los conocimientos del estudiante sobre procesos de medición, la utilización de instrumentos para cada caso en particular y el cálculo de errores de medición; con particular énfasis en los instrumentos disponibles en el laboratorio de máquinas eléctricas.

2. INSTRUMENTOS DE MEDICION:

A continuación se presentan, de forma breve y sencilla, algunos de los conceptos relativos a los instrumentos de medición y mediciones que serán necesarias para el laboratorio, los cuales sólo pretenden ser un complemento de conocimientos previos y por lo tanto para información más detallada deberá darse un repaso a la bibliografía utilizada en semestres anteriores.

En este laboratorio, los instrumentos a utilizar, de acuerdo al mecanismo de medición, son los de bobina móvil, hierro móvil y electrodinámico.

Instrumento de bobina móvil: Es aquel cuya deflexión se debe a la reacción de un cuerpo magnético y la corriente que fluye a través de la bobina móvil. La deflexión es proporcional al valor promedio de dicha corriente. Una variante de estos son los de *bobina móvil con rectificador* que permiten reportar valores eficaces de corriente alterna; la deflexión de estos instrumentos es proporcional al valor promedio de la corriente rectificada que circula por la bobina móvil; sin embargo la lectura indicada corresponde al valor eficaz de una onda sinusoidal pura, debido a que internamente en estos instrumentos se introduce una constante, que para el caso de rectificación de onda completa es 1.11.

Instrumento de hierro móvil: Es aquel cuya deflexión se debe a la reacción de un campo magnético establecido por la corriente en la bobina del instrumento con uno o varios núcleos de material ferromagnético. La deflexión es proporcional al valor eficaz de la corriente que circula por la bobina del instrumento.

Instrumento electrodinámico: Es aquel cuya deflexión se debe a la reacción originada por las corrientes que fluyen a través de la bobina móvil y fija del instrumento. La deflexión es proporcional al producto del valor eficaz de la corriente que circula por las bobinas y el coseno del ángulo entre ellas.

3. ERRORES DE MEDICIÓN.

El resultado de las mediciones obtenidas difiere del valor verdadero porque existe una imperfección en los medios y métodos de medición. Por lo tanto durante una medición es necesario determinar, a parte del resultado de la medición, el error que expresa la incertidumbre al valor verdadero del resultado de la medida. Un error pequeño corresponde a una alta exactitud y lo contrario implica una baja exactitud de la medida.

El resultado de la medición es usualmente escrito bajo la forma de una suma total de dos valores, el valor de la medida y su incertidumbre o error.

$$A_r = A_m \pm A(\text{clase} / 100) \quad (1)$$

Donde: A_r = Resultado de la medición.
 A_m = Valor medido.
 A = Valor a plena escala del instrumento.
Clase= Clase de exactitud del instrumento.



Es importante destacar que el error antes descrito solo considera la incertidumbre que introduce el instrumento de medición y no toma en consideración el error de apreciación al cual un observador humano está limitado, conforme a la mínima lectura que permite la escala de medición seleccionada.

Para efecto de este laboratorio el error de medición será la mayor incertidumbre dada por la apreciación del instrumento o por la clase de exactitud, cuando la lectura es registrada por un observador humano.

En el caso de registros digitales, donde no interviene un observador humano, solo debe considerarse la incertidumbre que introduce el sistema de medición y de adquisición de datos.

El error asociado a cantidades físicas determinadas indirectamente (p.e.: por medio de una expresión matemática) a través de valores medidos experimentalmente, deberá ser determinado con base a la suma aritmética de los errores parciales debido a las incertidumbres de los valores medidos directamente.

4. CIFRAS SIGNIFICATIVAS.

La cantidad de cifras significativas de un resultado deberá estar acotada por la primera cifra del error; este último debe tener una sola cifra. Ej.: $4,563 \pm 0,02V$ debe ser expresado como: $4,56 \pm 0,02V$.

5. PARTE EXPERIMENTAL

Durante esta práctica, se usarán amperímetros y voltímetros magnetoeléctricos (bobina móvil), ferromagnéticos (hierro móvil), electrodinámicos y electrónicos, para:

- Medición de ondas de formas sinusoidales o sinusoidales rectificadas.
- Medición de ondas de formas no sinusoidales.

a. Medición de ondas sinusoidales o sinusoidales rectificadas.

- 1.1. Realizar un montaje con una fuente alterna ajustable (fuente de 120 V @ 60 HZ, en serie con un auto transformador o VARIAC) que alimenta una carga compuesta por un puente rectificador de onda completa que alimenta en DC un elemento resistivo de 33Ω @ 25 °C.
- 1.2. Medir con instrumentos de los tipos arriba descritos, los valores de tensión y corriente del lado DC y la corriente del lado AC.
- 1.3. Calcular el coeficiente de conversión que introduce un equipo magnetoeléctrico para dar valores eficaces. Comprobar este valor calculado con las mediciones realizadas.

b. Medición de ondas no sinusoidales.

- b.1. Realizar un montaje con una fuente alterna ajustable (fuente de 120 V @ 60 HZ, en serie con un auto transformador o VARIAC) que alimenta una carga compuesta por un puente rectificador de onda completa que alimenta en DC un elemento resistivo de 33Ω , en paralelo con un condensador de unos $33\mu F$ o más.
- b.2. Medir con instrumentos de los tipos arriba descritos, los valores de tensión y corriente del lado DC y la corriente del lado AC.
- b.3. Calcular el coeficiente de conversión que introduce un equipo magnetoeléctrico para dar valores eficaces. Comprobar este valor calculado con las mediciones realizadas.
- b.4. Hacer varias mediciones para tensiones de alimentación diferentes, deducir cuánto mide la resistencia utilizada.
- b.5. Trazar la curva tensión versus corriente sobre papel milimetrado marcando cada punto de medición con sus correspondientes errores.
- b.6. Explicar las discrepancias entre las mediciones, del punto 1 con las realizadas en el punto 2, utilizando un osciloscopio para observar las formas de onda de la corriente y la tensión.



6. ADVERTENCIA:

- Al conectar el terminal de referencia de la punta de prueba de un osciloscopio con canales de medición convencionales (donde el terminal de referencia no está galvánicamente aislado de la masa del aparato) a un potencial no nulo se debe tener previamente aislado de la fuente de alimentación eléctrica del instrumento, el pin de puesta a tierra del enchufe terminal.
- Al utilizar los dos canales de un osciloscopio convencional, se debe utilizar un solo terminal de referencia, es decir un único potencial de tensión sobre el terminal de referencia.
- Para energizar un circuito o montaje experimental, solicite autorización al Profesor.

7. OBSERVACIONES GENERALES

- Todas y cada una de las mediciones realizadas y los resultados a partir de ellas, deben reflejar los errores de medición, los resultados deben escribirse con un número de cifras significativas en concordancia.
- Tiempo para la realización de la práctica: 2 horas.
- Indique claramente todos los resultados, con sus respectivas unidades conforme al Sistema Internacional de medidas.

Tema 1. PRACTICA N° 2. Circuitos Magnéticos y Ciclo de Histéresis.

1. INTRODUCCIÓN:

Esta práctica busca reforzar en el estudiante los conocimientos relacionados con el comportamiento del circuito magnético de dos tipos de núcleos ferromagnéticos: macizo y laminado. Se plantea el estudio de un circuito magnético, así como la medición del correspondiente Ciclo de Histéresis.

2. MEDICIÓN DEL CICLO DE HISTERESIS:

Para medir y visualizar el Ciclo de Histéresis se utilizará un circuito integrador de tensión como el que se muestra en la Figura N°1:

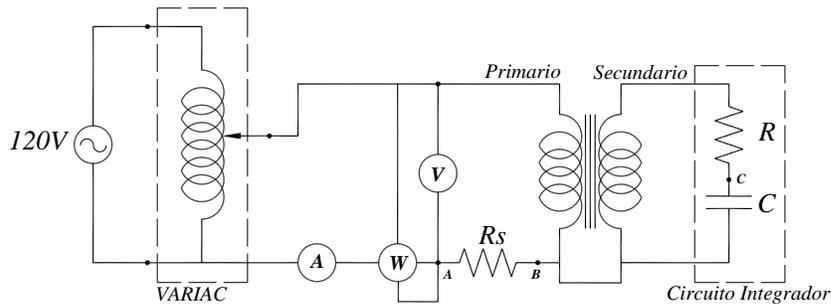


Figura N°1. Utilización del Circuito Integrador.

Si se desprecia el valor de la resistencia de la bobina, la integral de la tensión de alimentación es proporcional a la densidad de flujo (**B**) y la corriente que atraviesa la bobina es proporcional a la intensidad de campo magnético (**H**). Para visualizar el ciclo se utilizará un osciloscopio de dos vías. Para calcular las escalas del Ciclo de Histéresis, en unidades de campo a partir de las unidades de Ingeniería, se debe emplear el siguiente procedimiento:

- a. Determinación del factor de escala vertical (K_v)

Según la ley de Faraday, la tensión inducida en el secundario producto del flujo variable en el tiempo

$$\text{en el núcleo, se tiene que: } V_2 = N_2 \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1)$$

Suponiendo que el flujo es perpendicular a la sección transversal en todo momento, se tiene que:

$$\phi = \int_s \vec{B} \cdot d\vec{A} = BA \quad (2)$$

Donde B es la densidad de flujo en el núcleo y A el área efectiva de la sección transversal. Cabe destacar que en núcleos laminados, el área geométrica (calculada a partir de las dimensiones físicas del núcleo) debe ser afectada por el factor de apilamiento que, en este caso particular es de 0,93. Así el área efectiva será el producto del área geométrica por el factor de apilamiento. Otra suposición implícita en la ecuación (2) es que el área de la sección transversal es constante, lo cual estrictamente hablando no es cierto, particularmente en las aristas de la pieza; sin embargo esta suposición es bastante buena para el problema específico. Sustituyendo la ecuación (2) en la ecuación (1) se tiene que:

$$V_2 = N_2 A \frac{\partial B}{\partial t} \quad (3)$$

Para el circuito integrador usado: $R \gg X_c$, por lo que se tiene que:



$$I_2 = \frac{V_2}{R} \quad (4)$$

La tensión sobre el condensador será entonces:

$$V_c = \frac{1}{C} \int I_2 dt = \frac{1}{C} \int \frac{V_2}{R} dt \quad (5)$$

Substituyendo la ecuación (2) en la ecuación (5) se tiene que:

$$V_c = \frac{N_2 AB}{CR} \quad (6)$$

Por lo cual el factor de escala vertical será:

$$K_v = \frac{V_c CR}{N_2 A} [\text{Tesla} / \text{div}] \quad (7)$$

Donde: V_c es la escala del canal respectivo del osciloscopio (Amp/div) llevada a Volt/div.

b. Determinación del factor de escala horizontal (K_h)

Aplicando la Ley de Ampère en el lado del primario se tiene que:

$$H = \frac{N_1 I_1}{L} \quad (8)$$

Donde I_1 es la corriente que circula por el devanado primario y L es la longitud del camino magnético promedio. Este camino magnético promedio representa el camino promedio recorrido por el flujo que circula dentro del núcleo. Este camino se obtiene por condiciones puramente geométricas.

La corriente que circula por el primario es censada a través de la tensión sobre la resistencia shunt (R_s), llamando V_{shunt} a la tensión sobre dicha resistencia, se tiene que:

$$K_h = \frac{N_1 V_s}{R_s L} [A / m.div] \quad (9)$$

Donde V_s es igual a la escala del canal respectivo del osciloscopio (Amp/div) llevada a Volt/div.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1.- Núcleo macizo:

- Realizar el montaje con un núcleo macizo, tomando en cuenta que la constante de tiempo RC debe ser muy superior al periodo de la red, por ejemplo: $C=1\mu\text{F}$ y $R=150\text{k}\Omega$, y las bobinas existente en el Laboratorio. Nota: el circuito integrador está disponible en el laboratorio.
- Observar la forma de ondas de tensión y corriente de alimentación.
- Discutir en torno a la forma de onda de la corriente.
- Medir la potencia consumida por la bobina.
- Trazar sobre **papel milimetrado** el ciclo de histéresis para una tensión de alimentación entre 40V y 110V.
- Calcular las escalas del ciclo en unidades de campo.
- Calcular:
 - Las pérdidas del núcleo.
 - Las pérdidas por histéresis, a partir de las dimensiones del núcleo y el área de ciclo.
 - Las pérdidas por corriente parásitas.
- Deducir el valor de la corriente de magnetización a la tensión especificada en el punto e y compararla con la corriente medida en el osciloscopio.



3.2. Núcleo Laminado:

- a. Realizar el esquema recomendado en la referencia con un núcleo laminado, tomando en cuenta una constante de tiempo RC muy superior al periodo de la red, (por ejemplo: $C=1\mu\text{F}$ y $R=150\text{k}\Omega$), y las bobinas existente en el Laboratorio.
- b. Observar las formas de las ondas de tensión de alimentación, de la corriente y la de inducción en el hierro.
- c. Discutir en torno a la forma de onda de la corriente.
- d. Medir la potencia consumida por la bobina.
- e. Trazar sobre papel milimetrado el ciclo de histéresis para una tensión de alimentación entre 40V y 120V.
- f. Calcular las escalas del ciclo en unidades de campo.
- g. Calcular:
 - i. Las pérdidas del núcleo.
 - ii. Las pérdidas por histéresis, a partir de las dimensiones del núcleo y el área de ciclo.
 - iii. Las pérdidas por corriente parásitas.
- h. Deducir el valor de la corriente de magnetización a la tensión definida en el punto e y compararla con la corriente medida en el osciloscopio.

Nota: Para calcular la sección efectiva del circuito magnético con núcleo laminado, suponer un factor de apilamiento de 93%.

4. ADVERTENCIA:

- Al conectar el terminal de referencia de la punta de prueba de un osciloscopio con canales de medición convencionales (donde el terminal de referencia no está galvánicamente aislado de la masa del aparato) a un potencial no nulo se debe tener previamente aislado de la fuente de alimentación eléctrica del instrumento, el pin de puesta a tierra del enchufe terminal.
- Al utilizar los dos canales de un osciloscopio convencional, se debe utilizar un solo terminal de referencia, es decir un único potencial de tensión sobre el terminal de referencia.
- Para energizar un circuito o montaje experimental, solicite autorización al Profesor.

5. OBSERVACIONES GENERALES

- Todas y cada una de las mediciones realizadas y los resultados a partir de ellas, deben reflejar los errores de medición, los resultados deben escribirse con un número de cifras significativas en concordancia.
- Indique claramente todos los resultados, con sus respectivas unidades conforme al Sistema Internacional de medidas.
- Tiempo para la realización de la práctica: 2 horas.



Tema 1. PRACTICA N° 3. Estudio del Contactor o Conmutador electromagnéticos.

1. INTRODUCCIÓN:

En esta práctica el estudiante debe utilizar un elemento comercialmente elaborado como ejemplo de aplicación, del conocimiento teórico en torno al tópico de circuitos magnéticos, profundizando en el estudio del circuito magnético de un contactor. Además, se propone que el estudiante utilice la información que da el fabricante del contactor seleccionado.

2. CONTACTOR O CONMUTADOR ELECTROMAGNETICO

En primer lugar, se subraya que un contactor tiene dos partes esenciales: el circuito de magnetización cuyo elemento fundamental es la bobina (caracterizada por la tensión de alimentación o de control y su consumo en V.A.) y el circuito de potencia ó actuador (caracterizado por la tensión de servicio, la corriente nominal, la potencia en hp o kW, la cantidad de polos, la cantidad y tipo de contactos auxiliares y la cantidad de maniobras eléctricas y mecánicas) conformado por dos elementos, el núcleo magnético (elemento estacionario) y la armadura o martillo (elemento móvil); sobre estos dos últimos elementos se disponen los contactos principales de potencia y los correspondientes contactos auxiliares.

El circuito actuador de un contactor, es un circuito magnético que tiene dos estados: Reposo (el circuito magnético presenta la mayor reluctancia por presencia de un gran entrehierro entre el núcleo y la armadura), Energizado o Activado (el circuito magnético presenta la menor reluctancia por presencia de un mínimo entrehierro entre el núcleo y la armadura). Todos los comentarios alrededor de las mediciones efectuadas deberán tener en cuenta estos dos estados.

Se debe investigar las diferentes características de los circuitos de magnetización y potencia, conforme a lo definido por las correspondientes normas (IEC 947, UL o NEMA según el caso), para dar respuesta a interrogantes como:

- i. Corriente de empleo o de servicio nominal.
- ii. Corriente térmica nominal.
- iii. Tensión de servicio nominal.
- iv. Potencia de servicio nominal.
- v. Tipo de cerramiento.
- vi. Clase de Servicio.
- vii. Categorías de Servicio y los correspondientes campos de aplicación según los poderes de conexión y desconexión o corte en condiciones normales y ocasionales.

3. REFERENCIA:

Para la realización de esta práctica se debe utilizar como referencia lo siguiente:

- E.E. Staff del M.I.T. Circuitos Magnéticos y Transformadores. Editorial Reverte. Argentina, 1981.
- Enciclopedia CEAC de Electricidad. Manual, Mando y Control Eléctricos. Parte III. Capítulos 2 y 3. 1^{era} Edición- Ediciones CEAC S.A. Barcelona – España. 1976. ISBN: 84-329-6009-8.
- Schneider – Electric. Manual y Catalogo de Partes Eléctricas. Francia. 1999.
- Comité de Electricidad de Venezuela (CODELECTRA). Código Eléctrico Nacional FONDONORMA 200:2004 (7^a, Revisión). Partes VI y VII de la Sección 430: Motores, Circuitos y Controladores de Motores. Venezuela. 2004.

4. PARTE EXPERIMENTAL

Como primer punto, debe proceder a **DESARMAR EL CONTACTOR**, y examinar sus partes constitutiva.



- **Constitución física del circuito magnético.**

Luego de analizar las diferentes partes que componen al contactor (bobinas, núcleo y martillo) y después de documentarse con las definiciones y especificaciones suministradas por la bibliografía de referencia, debe dar respuesta a las siguientes preguntas:

- a. Función de las “espiras de sombra” ó anillos conductores colocados sobre las columnas del circuito magnético o superficies de contactos de los núcleos.
- b. Función del entrehierro permanente entre el núcleo y el martillo o armadura, impuesto por la desigualdad entre las longitudes de las columnas del núcleo magnético.
- c. Definición de la corriente de llamada y orden de magnitud en función de la corriente nominal.
- d. Definición de la corriente de mantenimiento y orden de magnitud en función de la corriente nominal.
- e. Definición de la tensión de mantenimiento y orden de magnitud en función de la corriente nominal.

Posteriormente proceda a **REARMAR EL CONTACTOR**.

- **Medición de las características eléctricas del circuito de accionamiento.**

Estos ensayos deben realizarse con el contactor en su posición normal de utilización.

- 1) Mida las corrientes de llamada y de mantenimiento del contactor. Para medir la corriente de llamada, para lo cual se debe alimentar el contactor a través de un fuente controlada de tensión, es necesario impedir que el contactor cierre su circuito magnético y realizar la medición rápidamente, ya que la bobina no está diseñada para tolerar sin daño esta magnitud de corriente (6 a 10 veces la corriente de mantenimiento) de manera permanente.
- 2) Poner el contactor en posición normal de funcionamiento y medir la tensión de mantenimiento y la tensión mínima de operación.
- 3) Comparar sus resultados con la ficha técnica del contactor utilizado. Comentar los resultados en función de dar respuestas a interrogantes como las siguientes: ¿este contactor cumple con las características suministradas por el fabricante? y ¿qué significan desde un punto de vista funcional estas características?

5. ADVERTENCIA:

- Para energizar un circuito o montaje experimental, solicite autorización al Profesor.

6. OBSERVACIONES GENERALES

- Todas y cada una de las mediciones realizadas y los resultados a partir de ellas, deben reflejar los errores de medición, los resultados deben escribirse con un número de cifras significativas en concordancia.
- Indique claramente todos los resultados, con sus respectivas unidades conforme al Sistema Internacional de medidas.
- Tiempo para la realización de la práctica: 2 horas.