Interrogación 1

IEE2213 Máquinas Eléctricas

20 de septiembre de 2023

Nombre: _____

Cuenta con **2 horas** para responder en este mismo documento. Sólo el uso de **calculadora** y un **formulario personal** en una hoja tamaño carta por una cara está permitido. No puede utilizar ningún material adicional (celulares, apuntes, libros, etc.).

Parte I. (30 %) Selección múltiple

Correcta (+3) Incorrrecta (-1) Omitida (0)

1. ¿Qué material se magnetiza débilmente en presencia de un campo magnético externo, pero no retiene la magnetización cuando se elimina el campo?

   (a) Diamagnético
   (b) Paramagnético
   (c) Ferromagnético
   (d) No magnético

   RESPUESTA: B

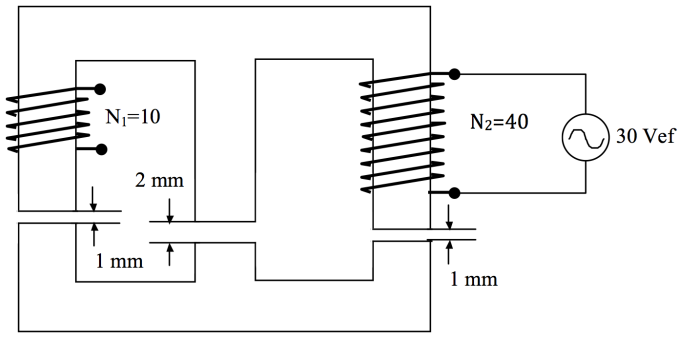
2. ¿En qué unidad se expresa normalmente la unidad de reluctancia magnética ($\mathfrak{R}$) en el circuito magnético?

   (a) Ohmios (Ω)
   (b) Amperio por voltaje sobre Weber (AV/Wb)
   (c) Henrio elevado a la -1 (H^{-1})
   (d) Tesla sobre Weber (T/Wb)

   RESPUESTA: C

3. El circuito magnético de la figura es de fierro ideal y de sección A=2 cm2 en toda su extensión, excepto en la pierna central donde es 1 cm2. De acuerdo con los datos de la figura, el valor efectivo de la tensión inducida en N1 es:

(a) 0 [V]
(b) 5 [V]
(c) 7,5 [V]
(d) 1,5 [V]



RESPUESTA: 6V (SE ANULA PREGUNTA)

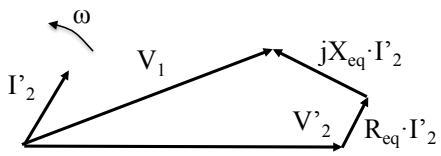
4. Un transformador que está diseñado para operar a 60 Hz es utilizado en Chile (50 Hz), entonces para operar el transformador en rangos de diseño se debe:

I Disminuir voltajes primario y secundario nominales en 5/6.
II Disminuir la potencia nominal en 5/6.
III Aumentar la corriente nominal en 6/5.

(a) Sólo I
(b) Sólo II
(c) I y II
(d) I y III

RESPUESTA: C (Ei=4.44 f Ni Omax)

5. Un transformador alimenta una carga a potencia nominal con el diagrama fasorial ilustrado abajo, con lo cuál se deduce que:

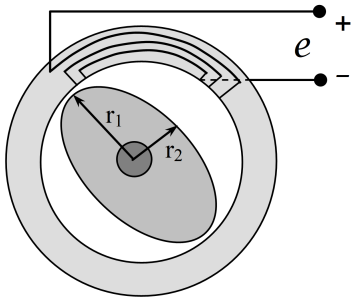


(a) La carga es inductiva y el transformador opera con una regulación de voltaje negativa.
(b) La carga es inductiva y el transformador opera con regulación de voltaje positiva.
(c) La carga es capacitiva y el transformador opera con una regulación de voltaje negativa.
(d) La carga es capacitiva y el transformador opera con regulación de voltaje positiva.

RESPUESTA: C

6. El dibujo de la figura, hecho de fierro ideal, tiene un rotor de forma elipsoidal de radio mayor r_1 y radio menor r_2. Si el rotor gira en el sentido de los punteros del reloj a una velocidad ω, la tensión en vacío (sin carga eléctrica) "e" que se inducirá será:

(a) con la polaridad indicada y frecuencia ω
(b) con la polaridad indicada y frecuencia 2ω
(c) con la polaridad invertida y frecuencia 2ω
(d) ninguna de las anteriores



RESPUESTA: D

Parte II. (20 %) Verdadero y Falso

Correcta (+3) Incorrrecta (-3) Omitida (0)
Justifique su respuesta brevemente.

__V__ Un material con alta saturación B_{sat} y baja coercitividad H_c sería ideal para transformadores.

__F__ El transformador YD es el más utilizado en sistemas de transmisión con la delta en el lado de alta tensión.
F estrella en AT porque la soporta mejor por bobina

__V__ Disminuir el flujo de fuga (utilizando un núcleo de doble acorazado por ejemplo), es más relevante en un transformador de voltaje que de corriente.

__F__ Un transformador con núcleo de cobre genera una corriente de excitación con alto contenido armónico.
F cobre no tiene histeresis

__F__ El autotransformador tiene la ventaja de aumentar la potencia respecto a su configuración como transformador, pero empeora (aumenta) la regulación de voltaje.
F aumenta potencia y mejora regulación de voltaje

__V__ La conexión Delta en transformadores permite la circulación de la 9na armónica de corriente en sus enrollados, impidiendo su propagación al resto del sistema.

Parte III. Desarrollo (50 %)

Problema 1 (15 %)

El siguiente circuito magnético más el integrador se utiliza para medir las características magnéticas del hierro. La forma en que se hizo el núcleo son láminas apiladas para minimizar las corrientes de foucault. La bobina de N_1 vueltas se excita con un voltaje AC, mientras que la bobina de N_2 vueltas recibe el flujo magnético generado.

Como se observa en la figura, w es el ancho de las láminas, mientras que Δ es el grosor de cada lámina y en total hay n láminas que forman el núcleo.

Asuma que la bobina 1 es alimentada por una corriente $i_1 = I_0 sin(wt)$.

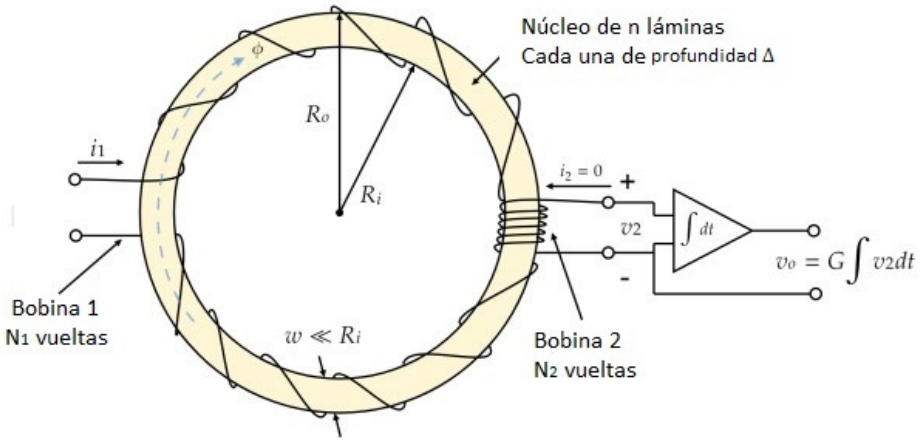


Figura 1: Configuración del circuito magnético

- Parte 1

  Encuentre en función de los parámetros entregados:

  a) La relación entre la intensidad de campo magnético H y la corriente i_1.

  b) La relación entre el voltaje v_2 y el campo magnético B. Considere que la bobina está enrollada a lo largo de todo el núcleo.

  c) La relación entre el voltaje v_o y el campo magnético B.

  Hint: Recuerde que $2\pi r = l$ en una circunferencia. Además que el área que cruza el flujo por **una** lamina es $w\Delta$.

- Parte 2

  Ahora, se desea probar este circuito. Por lo que se hace el núcleo con las siguientes características:

- $\Delta = 3.0$ mm.
- $R_i = 80$ mm y $R_o = 90$ mm.
- $n = 15$.
- Frecuencia de 50 Hz.

a) Se alimenta la bobina 1 con un voltaje sinosoidal de amplitud 20 V. Ignore la caída de voltaje del bobinado y determine el número de vueltas N_1 para que la densidad de campo magnético B sea igual a 1.8 T.

b) Considerando $N_2 = 10$ y una ganancia $G = 1000$ del integrador, el voltaje peak a la salida observado es de 7.5 Volts. Calcule la densidad de campo B en el núcleo y el voltaje aplicado a la bobina 1.

Solución

Parte 1

a) Sabemos de la ley de ampere:

$$Ni = Hl$$

Luego el largo promedio es:

$$l_c = \frac{2\pi(R_o + R_i)}{2}$$

Por lo que reemplazando con largo:

$$H = \frac{N_1 i_1}{\pi(R_o + R_i)}$$

b) Sabemos que el voltaje en una bobina está dado por la ley de faraday:

$$v_2 = N_2 \frac{d}{dt}\phi$$

Sabemos que:

$$\phi = B \cdot A$$

Luego, con la aproximación dada en el enunciado y considerando que la bobina está enrollada alrededor de todo el núcleo, el área total que atraviesa el flujo es:

$$A = w \cdot (n\Delta)$$

Entonces:

$$v_2 = N_2 w(n\Delta)\frac{d}{dt}B_{(t)}$$

c) Tenemos la relación dada por el integrador:

$$v_o = G \int v_2 dt$$

$$v_o = GN_2 w(n\Delta) \int \frac{d}{dt} B_{(t)} dt$$

$$v_o = GN_2 w(n\Delta) B_{(t)}$$

Parte 2:

1) Definimos nuestro flujo magnético:

$$\phi = \phi_{max} sen(\omega t)$$

Sabemos por la ley de faraday:

$$v_1 = N_1 \cdot \omega \cdot \phi_{max} cos(wt)$$

Reemplazando el flujo:

$$v_1 = N_1 \cdot \omega \cdot B_{max} \cdot A \cdot cos(\omega t)$$

Donde el área total es:

$$A = w \cdot (n\Delta)$$

y

$$w = R_o - R_i$$

$$v_1 = N_1 \cdot \omega \cdot B_{max} \cdot (R_o - R_i) \cdot (n\Delta) \cdot cos(\omega t)$$

$$V_{max} = N_1 \cdot \omega \cdot B_{max} \cdot (R_o - R_i) \cdot (n\Delta)$$

Por lo tanto:

$$N_1 = \frac{V_{max}}{\omega \cdot B_{max} \cdot (R_o - R_i) \cdot (n\Delta)}$$

Reemplazando:

$$N_1 = 79 \; vueltas$$

b) Al igual que antes:

$$B_{max} = \frac{V_{2,max}}{\omega \cdot N_2 \cdot (R_o - R_i) \cdot (n\Delta)}$$

Además, recordamos que:

$$v_0 = G \int v_2 dt$$

Derivando:

$$v_2 = \frac{d}{dt} \frac{v_0}{G}$$

Asumiendo $v_0 = V_{0,max} sen(\omega t)$:

$$v_2 = \frac{d}{dt} \frac{V_{0,max} sen(\omega t)}{G}$$

$$v_2 = \omega \frac{V_{0,max} cos(\omega t)}{G}$$

Por lo tanto:

$$V_{2,max} = \omega \frac{V_{0,max}}{G}$$

Entonces:

$$B_{max} = \frac{V_{0,max}}{G \cdot N_2 \cdot (R_o - R_i) \cdot (n\Delta)}$$

Entonces reemplazando se obtiene:

$$B_{max} = 1.67[T]$$

Recordamos la ecuación que calculamos al inicio que relaciona el voltaje de una bobina con la densidad de campo:

$$v_1 = N_1 \cdot \omega \cdot B_{max} \cdot A \cdot cos(\omega t)$$

Reemplazando se obtiene:

$$V_{1,max} = 18.65\ V$$

Problema 2 (20 %)

Considere un transformador monofásico de 100kVA y $14/2.4kV$, del que se desconocen los parámetros equivalentes. Para determinarlos, se despreció la rama paralela, y se realizó una prueba de cortocircuito en el lado de baja tensión. De esta prueba se midieron los siguientes valores:

$$\text{P} = 165.69\text{W} \quad \text{V} = 16.781\ \text{V} \quad \text{I} = 41.7\ \text{A}$$

Considerando los valores obtenidos de la prueba, y las características del transformador descrito:

a) Determine los parámetros equivalentes de la rama serie del transformador, referidos al lado de baja tensión (aproxime los resultados de este ítem al primer decimal).

Considere que el transformador es alimentado con una fuente de potencia que tiene una impedancia de linea de $38.2 + 149j\Omega$. La carga del transformador es de 90kW con un factor de potencia de 0.8 en retraso y un voltaje de 2400V. Bajo estas condiciones de operación:

b) ¿Cuál es el voltaje de la fuente de potencia del sistema?

c) ¿Cuál es la regulación de voltaje del transformador?

d) ¿Cuál es la eficiencia de TODO es el sistema de potencia en ese punto de operación?

Solución

a) Considerando los valores de la prueba de cortocircuito, se puede determinar el factor de potencia:

$$FP = \frac{P}{V \cdot I} = 0.236889$$

Luego, el ángulo entre el voltaje y la corriente será:

$$\theta = 76.297^\circ$$

Con esto se puede determinar la resistencia y la reactancia de la rama serie, como se muestra a continuación:

$$R = \frac{V \cdot \cos(\theta)}{I} = \frac{16.781 \cdot \cos(76.297)}{41.7} = 0.095\Omega \approx 0.1\Omega$$

$$X = \frac{V \cdot \sin(\theta)}{I} = \frac{16.781 \cdot \sin(76.297)}{41.7} = 0.39\Omega \approx 0.4\Omega$$

b) Para solucionar esta pregunta, se debe referir al secundario la impedancia de la linea:

$$Z_{linea} = \left(\frac{2.4\text{kV}}{14\text{kV}}\right)^2 (38.2 + 140j\Omega) = 1.12 + 4.11j\Omega$$

La corriente en el secundario I_S está dada por.

$$I_S = \frac{90\text{kW}}{2400\text{V} \cdot 0.8} = 46.88A$$

El factor de potencia es 0.8 en retraso, entonces la impedancia tiene ángulo $\theta = \cos^{-1}(0.8) = 36.87°$, y el fasor de la corriente es:

$$I_S = 46.88\angle -36.87°$$

Con todo esto, se puede determinar el voltaje de la fuente referido al secundario como:

$$V_{fuente} = V_S + I_s Z_{linea} + I_S Z_{eq} = 2576\angle 3°V$$

Por lo tanto, el voltaje de la fuente es:

$$V_{fuente} = (2576\angle 3°) \cdot \frac{14kV}{2.4kV} = 15500\angle 3°$$

c) Para encontrar la regulación del voltaje del transformador, se debe encontrar el voltaje en el primario bajo estas condiciones.

$$V_p = V_s + I_s \cdot Z_{eq} = 2415\angle 0.3°$$

Entonces hay una caída de tensión de 15V bajo las condiciones descritas. Por lo tanto la regulación de voltaje será:

$$RV = \frac{2415 - 2400}{2400} \cdot 100\,\% = 0.63\,\%$$

d) La eficiencia total del sistema será el cociente entre la potencia de salida y la de entrada del transformador. La potencia de salida es 90kW. La potencia de entrada entregada por la fuente es:

$$P_{in} = P_{out} + P_{perdidas} = (90KW) + (46.88A)^2(1.22\Omega) = 92.68kW$$

Luego, la eficiencia del sistema es:

$$\eta = \frac{90kW}{92.68kW} \cdot 100\,\% = 97.1\,\%$$

Problema 3 (15 %)

a) Un transformador trifásico ideal es conectado a una red de 25.98 [kV] y alimenta una carga que absorbe 500 [kVA] conectada en Delta. Se sabe que los bobinados del primario tienen 150 vueltas y los del secundario 50 vueltas. Calcule los voltajes y corrientes de las bobinas del primario y secundario si se conecta de las siguientes maneras el transformador:

Estrella / Estrella

Estrella / Delta

b) **Conexión Zig Zag:** Se tiene un transformador trifásico conectado en Estrella/Zig-Zag. Se sabe que la conexión es Yz9, el embobinado primario tiene N_1 vueltas y cada embobinado del secundario $1.5N_1$ vueltas. Dibuje las conexiones y el diagrama fasorial del transformador, además calcule el voltaje Fase-Neutro en el secundario en función del voltaje Fase-Neutro en el primario (V_1).

Solución

a) 1. Estrella / Estrella

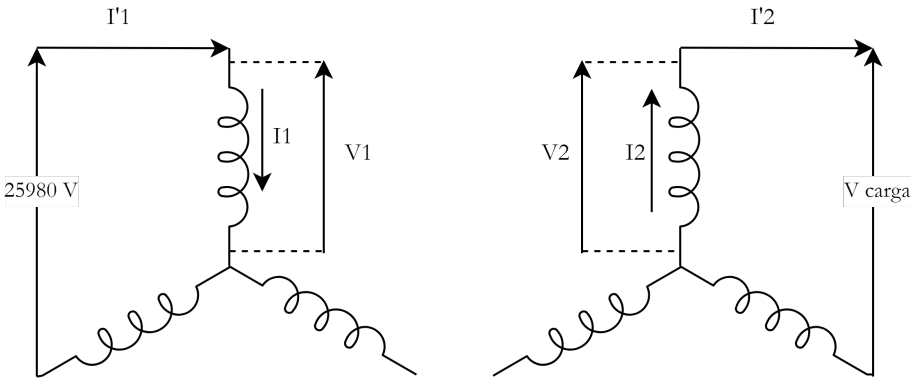


Figura 2: Conexión Estrella / Estrella.

Primero calculamos V1, sabiendo:

$$V_{fn} = \frac{V_{ff}}{\sqrt{3}}$$

Entonces tenemos:

$$V_1 = \frac{25980V}{\sqrt{3}} = 14999.6V$$

Ahora calculamos el voltaje en el secundario V_2 y en la carga V_{carga}:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

$$V_2 = 14999.6V \cdot \frac{50}{150} = 4999.85V$$

$$V_{carga} = V_2 \cdot \sqrt{3} = 4999.85V \cdot \sqrt{3} = 8660V$$

Ya con V_{carga}, calculamos I'_2, I_2, I_1 e I'_1.

$$I'_2 = I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{carga}}$$

$$I'_2 = I_2 = \frac{500kVA}{\sqrt{3} \cdot 8660V} = 33.33A$$

$$I'_1 = I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2$$

$$I'_1 = I_1 = \frac{50}{150} \cdot 33.33A = 11.11A$$

2. Estrella / Delta

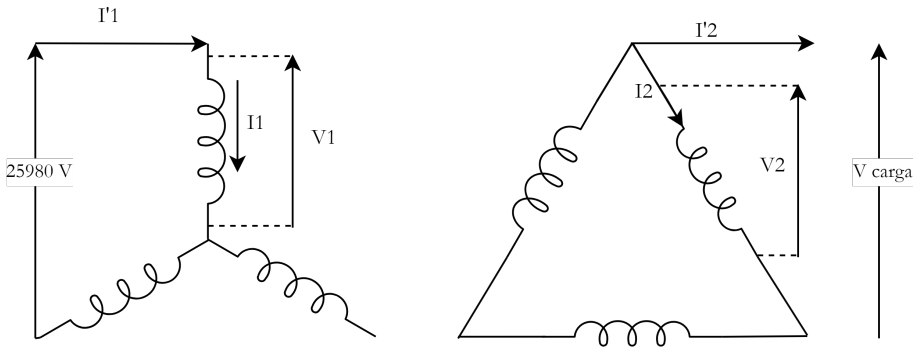


Figura 3: Conexión Estrella / Delta.

Igual que antes calculamos V_1 como:

$$V_1 = \frac{25980V}{\sqrt{3}} = 14999.6V$$

Ahora calculamos el voltaje en el secundario V_2 y en la carga V_{carga}:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

$$V_2 = 14999.6V \cdot \frac{50}{150} = 4999.85V$$

$$V_{carga} = V_2 = 4999.85V$$

Ya con V_{carga}, calculamos I'_2, I_2, I_1 e I'_1.

$$I'_2 = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{carga}}$$

$$I'_2 = \frac{500kVA}{\sqrt{3} \cdot 4999.85V} = 57.74A$$

$$I_2 = \frac{I'_2}{\sqrt{3}} = \frac{57.74A}{\sqrt{3}} = 33.33A$$

$$I'_1 = I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2$$

$$I'_1 = I_1 = \frac{50}{150} \cdot 33.33A = 11.11A$$

b) Siguiendo las referencia del dibujo y el diagrama de conexiones tenemos:

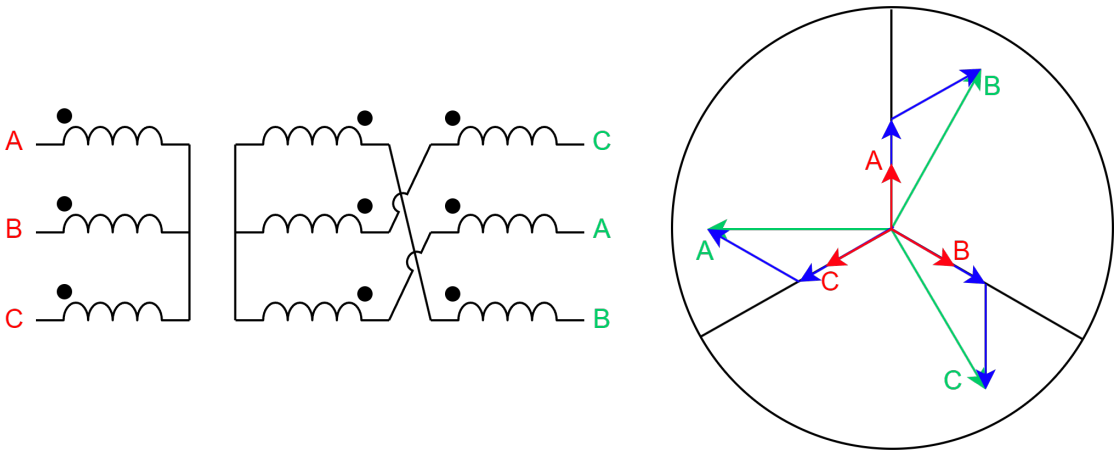


Figura 4: Conexión Yz9.

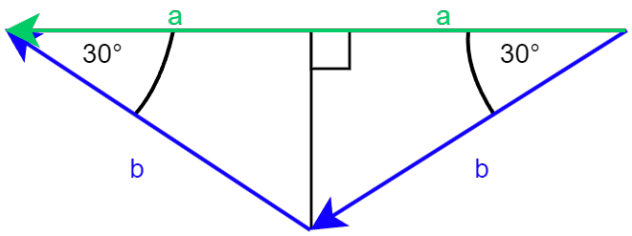


Figura 5: Diagrama Una Fase

$$b = V_1 \cdot \frac{1.5N_1}{N_1} = 1.5V_1$$

Usando trigonometría:

$$a = 1.5 \cdot V_1 \cdot \cos 30$$
$$a = 1.5 \cdot V_1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Con esto el valor para nuestro voltaje Fase-Neutro en el secundario es:

$$V_2 = 2 \cdot a = 1.5 \cdot V_1 \cdot \sqrt{3}$$