INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA Parcial N°1 de: MAQUINAS ELECTRICAS (E5602) (P. 1997)

29 de Septiembre de 2015

Puntaje total del Parcial N°1 = 40 puntos del total de 80

Problema 1 - Armónicos en transformadores trifásicos (8 puntos)

Una instalación industrial está alimentada desde una red trifásica de 15 kV, 50 hz, mediante un transformador principal de 15/0.66 kV, YNd11. El neutro del primario está conectado a tierra. En el interior de la instalación se tiene una distribución de 660 V sin neutro para uso en motores de mediana potencia, y conectado a esa red también hay un transformador 660/400 V de conexión Yyn0, que alimenta una red con distribución de neutro para el suministro a aplicaciones usuales de baja tensión. El neutro de ese transformador está conectado a esa red de neutro, pero no a tierra. Lasa cargas trifásicas equilibradas y en estrella se conectan a esa red, pero sin conectar el neutro. Las cargas monofásicas de 230 V se conectan entre fase y neutro, y algunas aplicaciones monofásicas de 400 V entre 2 fases. El transformador principal está constituido por un banco de 3 transformadores monofásicos, mientras que el transformador 660/400 V es de núcleo trifásico de 3 columnas.

Se pide:

- a) Explicar por qué razón(es) la red interna de 660 V no está expuesta a tensiones ni corrientes de armónicos múltiplos de 3 provenientes de la red de 15 kV.
- b) ¿Cómo afecta a la red de 660 V la no linealidad (armónicos) debida a la saturación del hierro del transformador principal?
- c) Indicar si la red de 400 V puede tener armónicos múltiplos de 3 si está cargada solamente por cargas trifásicas equilibradas no conectadas a la red de neutro.
- d) ¿Qué sucede en la red de 400V con los armónicos múltiplos de 3 cuando se conectan cargas monofásicas a la misma? Analizar separadamente el caso de una carga monofásica conectada entre fase y neutro, y una carga monofásica conectada entre 2 fases en la red de 400 V. ¿Qué consecuencias se tienen en la tensión de alimentación de esas cargas?

Problema 2 - Aplicaciones de transformadores (10 puntos)

Se dispone de tres auto-transformadores monofásicos iguales de relación de transformación variable que se utilizarán para montar un regulador de tensión para una carga trifásica que consume 5 MW con $\cos \phi = 0.92$ cuando está alimentada a 6.4 kV entre fases.

La carga se conecta al regulador mediante un cable de 2 km de largo, de impedancia Zc [Ohm/km] = 1.61 + j 1.0 por fase,. Los auto-transformadores son de potencia nominal 7 MVA y están pensados para funcionar en una red de 15 kV conectados en estrella, por lo que se conectarán sus secundarios en triángulo para utilizarlos en la red de 6.4 kV

Auto-transformador monofásico: Montado como auto-transformador monofásico permite regular la tensión de salida mediante un sistema de 5 tomas de conexión ("taps") en un rango total de ±10% de la tensión de entrada tal como se indica a continuación:

Se asumirá que la carga es de impedancia constante y que la impedancia de cortocircuito de los autotransformadores es despreciable frente a la del cable de conexión.

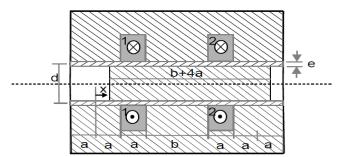
Se pide:

- a) Determinar en qué rango de tensión podrá regular el banco, conectado según la configuración propuesta. Hacer una tabla indicando para cada tap la relación entre las tensiones de entrada y de salida de los auto-transformadores.
- b) Indicar en qué tap deberá conectarse el regulador si se desea que la tensión en la carga no se aparte de ±1.5% de 6.4 kV .

Problema 3 - Fuerzas en dispositivos electromagnéticos (12 puntos)

El dispositivo representado en la figura tiene simetría de revolución. Posee 2 bobinas iguales, de N espiras cada una, con alimentaciones eléctricas independientes. Ambas bobinas son circulares y de

sección cuadrada y están alojadas en el hierro del núcleo como se indica en la figura (corte del dispositivo). El hierro del núcleo y del vástago móvil son supuestos de permeabilidad magnética infinita y se despreciarán los flujos de fugas. El desplazamiento del vástago móvil se realiza dentro de una guía tubular de bronce, de diámetro medio d y espesor e, y se mide por la coordenada x (x≥0 o x≤0) contada a partir de la posición centrada del vástago.



Se pide:

- a) Suponiendo |x| < a, calcular las inductancias propias L_1 y L_2 de ambas bobinas y su mutua M_{12} . Expresar los resultados en función de las dimensiones geométricas del dispositivo, y de $L_0 = (\mu_0 \pi d a^2 N^2)/(e (2a + b))$.
- b) Calcular la fuerza electromagnética que se ejerce sobre el vástago móvil cuando las bobinas
 1 y 2 están recorridas por corrientes i₁ e i₂ respectivamente.
- c) Determinar la posición de equilibrio del vástago móvil. ¿Cuál es dicha posición si las corrientes i₁ e i₂ son iguales? Comentar el caso en que sea i₁ = i₂.
- d) En función de lo anterior, ¿cómo elegiría la relación entre las dimensiones a y b si i₂ puede ser hasta el doble de i₁?

Problema 4 - Campos giratorios y Máquinas sincrónicas (10 puntos)

Una máquina sincrónica trifásica MS de polos lisos conectada en estrella funciona como generador movida por un motor primario y conectada en forma permanente a una red que mantiene la tensión en bornes y la frecuencia en sus valores nominales.

Estando el generador en vacío con corriente de línea nula, si se incrementa la potencia mecánica del motor primario en un valor P, sin modificar la corriente de excitación, se observa que el rotor del generador se desfasa de un ángulo θ eléctrico respecto del campo magnético en el entrehierro.

Se pide:

- a) Expresar en términos de P y θ la máxima potencia mecánica Pmax que teóricamente podría convertirse en potencia eléctrica con ese generador en esa red y sin modificar la corriente de excitación.
- b) Una vez aplicada esa potencia mecánica P al eje de MS, indicar cuánto debería modificarse la corriente de excitación para minimizar la corriente de línea de MS. Expresar cuantitativamente dicha modificación en % respecto de la corriente de excitación de 1), y calcular en qué proporción se reduciría la corriente de línea.
- c) Aplicación numérica: Calcular la corriente final en b) para Un = 2.2 kV (entre fases), fn = 50 Hz, P = 5000 kW, θ = 30° eléctricos. Mediante un ensayo donde se alimentó sólo la fase a de MS, se pudo medir su inductancia propia, igual a 1.027 mH.
- d) A dicha máquina se le cambia el rotor por otro, igual en todo al original, excepto por su radio, ligeramente mayor. Como consecuencia de esto el entrehierro de MS se reduce a la mitad de su valor original. Indicar qué efecto puede tener esto en el resultado a) anterior cuando se aplica la misma potencia P en el eje, a partir del funcionamiento en vacío con corriente de línea nula, justificando la respuesta.

Se supondrán despreciables las resistencias de los bobinados, así como todas las demás pérdidas de MS. Se supondrá la permeabilidad magnética del hierro infinita. Para la parte d) se podrá suponer que el bobinado es de distribución sinusoidal, aunque el resultado no cambiaría si fuese distribuido en 1 capa, o en 2 capas y de paso reducido 1/6.