

## Examen febrero 2019 - Int. a la Electrotécnica

11 de febrero de 2019

### IIE - Facultad de Ingeniería - Universidad de la República

- Poner nombre y cédula en todas las hojas. Utilizar hojas separadas para cada ejercicio y el teórico. Sea prolijo y ordenado. Justifique siempre su trabajo.
- Para la aprobación de la prueba se requiere al menos un ejercicio correcto, 60 % del teórico y 60 % del total de la prueba.
- La prueba es de carácter individual. Está prohibida la utilización del teléfono celular.
- La duración de la prueba es de 3 horas.

#### Problema 1

La alimentación a una planta industrial, desde una red trifásica de media tensión, se realiza a través de dos transformadores trifásicos, los cuales poseen las siguientes características:

- T1: 6.3/0.4 kV 500 kVA 5 % Dyn11.
- T2: 6.3/0.4 kV 300 kVA 5 % Dyn11.
- Red: ideal de valor 6.1 kV, 50 Hz.

Se pide:

- (1) Determinar el equivalente de Thévenin visto desde el secundario. (25)
- (2) La planta se puede modelar como una carga trifásica equilibrada de valor constante que bajo 380 V consume 500 kW y 250 kVAR. Determinar el porcentaje en que queda cargado cada transformador cuando el conjunto alimenta a la planta. (25 %)
- (3) Para el caso de ambos transformadores alimentando la carga determinar la tensión sobre la misma. (25 %)
- (4) Determinar la corriente de excitación a fijar en una máquina síncrona que opera como compensador síncrono y se conecta en paralelo con la red, de forma que el factor de potencia visto sea 1. (25 %) Datos MS: 6.3 kV 400 kVA 50 Hz  $X_s = 20\%$   $E = 2000i$  a 50Hz.

#### Problema 2

Se dispone de un motor de inducción trifásico con las siguientes características:

- 400 V, 50 Hz, 70 kW, dos pares de polos, conexión en triángulo.
- Ensayo de vacío: 400 V, 50 A, 3 kW
- Ensayo rotor bloqueado: 30 V, 80 A, 1 kW
- Ensayo en corriente continua: Se alimenta a 6V y se miden 97 A.

Se pide:

- (1) Determinar el modelo monofásico estrella equivalente.
- (2) Determinar la velocidad y corriente nominal de la máquina.
- (3) La máquina se carga en el eje con una carga que le ejerce un par resistente constante e independiente de la velocidad igual a 400 N.m. Determinar la velocidad y la corriente de funcionamiento en este caso.
- (4) Si la máquina es arrancada mediante el método de arranque estrella-triángulo. Determinar la corriente de arranque y la máxima carga del tipo constante e independiente de la velocidad que es posible arrancar mediante este método.

Nota: Para la resolución de las partes 2 y 3 es posible utilizar el modelo para pequeños deslizamientos de la máquina de inducción.

## Teórico

### 1 Transformadores en paralelo:

Dos transformadores trifásicos  $T_a$  y  $T_b$  tienen iguales sus voltajes nominales ( $U_{pn}$  y  $U_{sn}$ ) e igual voltaje de cortocircuito ( $U_z$ ). La potencia nominal es distinta ( $S_{na}$  y  $S_{nb}$ ). Se conectan ambos transformadores en paralelo, tomando el conjunto una corriente  $I$ . Se pide

- (a) Deducir como se reparte la corriente  $I$  entre los dos transformadores.
- (b) Indicar cuales son las características de un transformador  $T_e$  que es equivalente al conjunto del paralelo de  $T_a$  con  $T_b$ .

### 2 Máquina de inducción – arranque estrella/triangulo.

- (a) Deducir en cuanto varia la corriente tomada de la red y el par de arranque, comparando el arranque directo respecto al arranque estrella/triangulo.
- (b) Dibuje la conexión de los bobinados en el arranque y en la marcha.

### 3 Máquina de continua– Cebado del generador shunt:

Una MCC funciona como generador con su inductor conectado en paralelo con el inducido (conexión shunt). El inductor tiene conectada en serie, una resistencia de ajuste denominada  $R_a$ . La resistencia del inductor se denomina  $r_i$  y la del inducido  $R_l$ . Se pide:

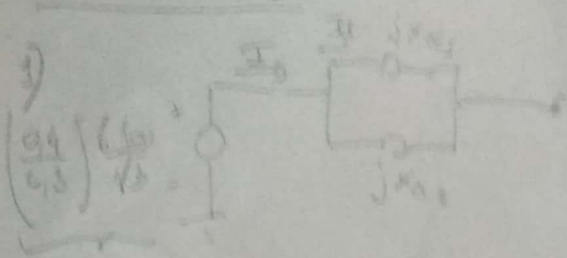
- (a) Deducir y mostrar gráficamente como son las condiciones de funcionamiento a la cual se produce el cebado del generador (cebado = tiene voltaje no nulo a la salida con el generador en vacío).
- (b) Explicar las razones por las cuales puede no producirse el cebado en las condiciones anteriores (significa que con el generador conectado y girando no tiene voltaje a la salida).

### 4 Máquina Síncrona – límites de funcionamiento:

Una MS tiene los siguientes parámetros nominales: 60kVA,  $U_n=230V$ , 12 %. Se conecta a una red de 230V. Se pide dibujar en el plano P – Q las zonas límites de funcionamiento considerando cada una de las siguientes restricciones:

- (a) Funciona solo como generador + no queda sobrecargado el estator (corriente de línea menor a la nominal).
- (b) Anterior + la potencia mecánica máxima del motor propulsor es de 40kW.
- (c) Anterior + la corriente máxima del rotor limita el  $E_{max}$  en 140V.

# Problema 1



$$X_{01} = 0,05 \times \frac{400^2}{500 \times 10^3} = 0,016 \Omega$$

$$X_{02} = 0,05 \times \frac{400^2}{300 \times 10^3} = 0,027 \Omega$$

$$\frac{223,9}{\sqrt{3}} = 223,9 \text{ V}$$

$$\bar{Z}_{th} = jX_{01} // jX_{02} = j0,03 \Omega$$

$$2) S_{\text{comp}} = \sqrt{500^2 + 250^2} = 557 \text{ kVA} = \sqrt{3} \times 380 \times I_c \Rightarrow I_c = 854,3 \text{ A}$$

$$\bar{Z}_c = \frac{380 \sqrt{3}}{854,3} \angle \text{Arctg} \left( \frac{250}{500} \right) = 0,258 \angle 26,57^\circ = (0,23 + j0,12) \Omega$$

$$\bar{I} = \frac{223,9}{0,03 + \bar{Z}_c} = \frac{223,9}{0,23 + j0,13} \Rightarrow I = \frac{223,9}{0,264} = 848,1 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{0,027}{0,043} \times I = 532,5 \text{ A}$$

$$I_{N1} = \frac{500 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 722,5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{0,016}{0,043} \times I = 315,6 \text{ A}$$

$$I_{N2} = \frac{300 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 433,5 \text{ A}$$

$$T_1: 74\% \quad T_2: 74\%$$

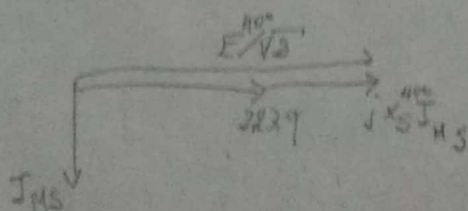
$$3) V_c = 0,258 \times 848,1 = 218,8 \Rightarrow U_c = 378,5 \text{ V}$$

$$4) \bar{I}_s = 848,1 \angle -29,5^\circ \Rightarrow \bar{S} = 3 \times 223,9 \times 848,1 \angle -29,5^\circ = 569,7 \angle -29,5^\circ \text{ kVA}$$

$$\Rightarrow Q = 569,7 \sin 29,5^\circ \text{ kVAR} = 280,5 \text{ kVAR}$$

$$\Rightarrow Q_{HS} = 280,5 \text{ kVAR} \quad \rho = 0,12 \text{ que } \cos \phi = 1$$

$$X_s = 0,1 \times \frac{(6300)^2}{400 \times 10^3} = 19,8 \Omega \Rightarrow X_s^{400} = \left( \frac{400}{6300} \right)^2 X_s = 0,08 \Omega$$



$$I_{HS} = \frac{280,5 \times 10^3}{3 \times 223,9} = 417,6 \text{ A}$$

$$E^{400} = (223,9 + 0,08 \times 417,6) \sqrt{3}$$

$$E_{400} = \sqrt{3} \times 257,3 = 445,1 \text{ V}$$

$$\Rightarrow E = \frac{6300 \times 445,1}{400} = 7010,3 \Rightarrow i = 3,5 \text{ A}$$

## Problema 2

$$1) \bar{Z}_a = \frac{30/\sqrt{3}}{80} \angle \text{Arccos}\left(\frac{1000}{\sqrt{3} \times 30 \times 80}\right) = 0,217 \angle \text{Arccos}(0,41) = 0,217 \angle 76,1^\circ$$

$$\bar{Z}_a = (0,043 + j 0,211) \Omega$$

$$R_1 + R_{2e} = 0,041 \Omega$$

$$X_1 + X_2 = 0,211 \Omega$$

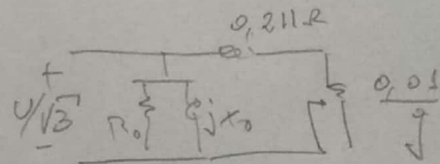
$$R_1 = \frac{6}{2 \times 97} = 0,031 \Omega$$

$$\Rightarrow R_{2e} = 0,01 \Omega$$

$$V_{200}: R_0 = \frac{400^2}{3000} = 53,3 \Omega$$

$$Q_0 = \sqrt{(\sqrt{3} \times 400 \times 50)^2 - 3000^2} \approx 34,5 \text{ kVAR}$$

$$X_0 = \frac{400^2}{34500} = 4,64 \Omega$$



$$2) 70 \times 10^3 = \frac{g_N (1 - g_N) U_N^2}{R_{2e}} \Rightarrow g_N = 0,45\%$$

$$n_N \approx 1493 \text{ rpm}$$

$$\bar{I}_{2eN} = \frac{400/\sqrt{3}}{0,01} \times 0,0045 = 104 \text{ A} \quad \bar{I}_0 = 50 \angle \text{Arccos}\left(\frac{3000}{\sqrt{3} \times 400 \times 50}\right)$$

$$\bar{I}_0 = 50 \angle 85^\circ = (4,33 + j 49,8) \text{ A}$$

$$\bar{I}_N = (108,33 + j 49,8) \text{ A} \Rightarrow \underline{I_N = 119 \text{ A}}$$

$$3) \text{MPD} \Rightarrow \frac{400^2}{557 \times 9,03} \times g = 640 \Rightarrow g = 0,004 = 0,4\%$$

$$\Rightarrow n = (1 - 0,004) 1500 = \underline{1494 \text{ rpm}} \quad \bar{I}_{2e} = \frac{231 \times 0,004}{0,01} = 92,4 \text{ A}$$

$$\underline{I \approx 105 \text{ A}}$$

$$4) I_A^D \approx \frac{400/\sqrt{3}}{0,217} = 1065,5 \text{ A} \Rightarrow I_A^{1/\Delta} = 355,2 \text{ A}$$

$$C_A^D = \frac{3}{157} \times 9,03 \times 1065,5^2 = 216,9 \text{ N.m} \Rightarrow C_A^{1/\Delta} = 72,3 \text{ N.m}$$

No Arranca.

Carga máxima  $C_r < 72,3 \text{ N.m}$