INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Examen de: MAQUINAS ELECTRICAS (E5602 - P. 1997) (AC39 – Actualización Profesional)

9 de Diciembre de 2015

Parte Práctica (Problemas) (Eliminatorio: mínimo 50% del Práctico)

Problema 1 (50% del práctico)

Un motor de inducción MI de 400 V, 60 Hz, 2 pares de polos, es alimentado por un variador de frecuencia (V/f), el cual funciona manteniendo la relación tensión frecuencia constante.
El motor de inducción MI tiene acoplado a su eje una máquina síncrona MS la cual se encuentra conectada a una red de 50 Hz y potencia infinita.
Se pide:

a) Se ajusta la frecuencia del variador (V/f) en un valor de 50 Hz y se mide un consumo del motor siendo este 30 A y 2 kW. Determine el mejor modelo del motor con los datos disponibles indicando el rango de validez de este modelo.
b) Se ajusta la frecuencia de V/f en 52 Hz. Determinar la excitación de la maquina sincrónica de forma que la misma funcione a mínima corriente de armadura.
c) Asumiendo que las pérdidas de vacío en MI se mantienen constantes ¿es admisible para la maquina el funcionamiento según b)? Justifique su respuesta para que la misma sea considerada.

Datos:
MI: 400 V, 60 Hz, 75 kW, 2 pares de polos, velocidad nominal 1746 rpm.
MS: 400 V, 50 Hz, 70 kW, 2 pares de polos, Xs = 20%, E =100*i (a 50 Hz) de línea.
No considerar pérdidas mecánicas en ninguna de las máquinas.
Red: 400 V, 50 Hz

FACULTAD DE INGENIERIA
Depto. de Documentación y Biblioteca
Montevideo - Uruguay

Problema No. 2 (50% del Práctico)

Se tiene un motor sincrónico, trifásico, conectado en estrella, de valores nominales según chapa: 10 kW, 440 V (entre fases), 60 Hz, cos φ = 1. Su rotor porta el bobinado inductor y es cilíndrico. Su reactancia sincrónica vale 0.8 p.u. Los efectos de la saturación, así como las pérdidas de la máquina, se considerarán despreciables.

Este motor será alimentado a partir de una red trifásica de 380 V entre fases, 50 Hz, manteniendo su conexionado en estrella.

Se pide:

a) Calcular la corriente de línea y el factor de potencia en régimen permanente cuando el motor entrega su potencia nominal en las nuevas condiciones de alimentación, y se mantiene la corriente de excitación ajustada en el mismo valor que para el funcionamiento bajo condiciones nominales (según chapa) a plena carga. Indicar si hay sobrecarga en la corriente de línea del motor.
b) Determinar la máxima potencia mecánica que podría suministrarse con ese motor alimentado en la red 380 V, 50 Hz, para no sobrepasar su corriente de línea nominal. Indicar la eventual modificación de la corriente de excitación requerida a ese fin, expresándola en % de la corriente de excitación nominal (funcionamiento según chapa).
c) Funcionando en régimen en las condiciones de b), el sistema de excitación tiene una falla y comienza a entregar la mitad de la corriente de excitación necesaria. Por otra parte hay un mecanismo de protección tal que, ante perturbaciones importantes de la velocidad desconecta la carga del motor, dejando a éste alimentado desde la red. Indicar qué le sucede al motor con la nueva corriente de excitación, en el nuevo régimen permanente resultante. Calcular el nuevo valor resultante de la corriente de línea y de la potencia reactiva, indicando cómo "ve" la red al motor en este nuevo régimen (carga inductiva o capacitiva).

FACULTAD DE INGENIERÍA
Depto. de Documentación y Biblioteca
Montevideo - Uruguay

Problema 4

1) $f = 50Hz \Rightarrow n = 1500 rpm \Rightarrow$ Motor en vacío $\Rightarrow \bar{Z}_0 = \frac{V}{30} \angle \arccos \frac{2000}{\sqrt{3}\,0 \times 30}$ $\quad U = \sqrt{3} \times V$

$\frac{U}{f} = cte = \frac{400}{60} = 6{,}67 \rightarrow U = 6{,}67 \times 50 = 333{,}5V \Rightarrow V = 192{,}8V \Rightarrow \bar{Z}_0 = 6{,}43 \angle 83{,}4° \; @ 50Hz.$

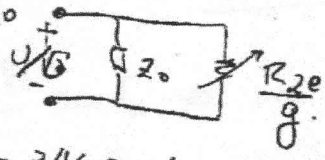
$P_N = 75 \times 10^3 = C_N \times 1746 \times \frac{2\pi}{60} \Rightarrow C_N = 419{,}2 \, Nm = \frac{400^2 \times g_N}{\omega_s R_{2e}}$ (MRD.)

$\omega_s = 2\pi \times \frac{60}{2} = 188{,}5 \frac{rad}{s}$

$g_N = \frac{1800 - 1746}{1800} = 0{,}03$

$\Rightarrow R_{2e} = 0{,}062 \, \Omega$

Modelo



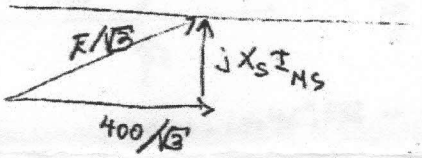
Valido para $g << 1$

2) $f = 52 Hz \Rightarrow \begin{cases} U = 6{,}67 \times 52 = 346{,}84V \\ n_s = 52 \times \frac{60}{2} = 1560 \, rpm \Rightarrow \omega_s = 163{,}4 \frac{rad}{s} \end{cases} \Rightarrow C = \frac{346{,}84^2 \times g^*}{163{,}4 \times R_{2e}}$

$g^* = \frac{1560 - 1500}{1500}$

$g^* = 0{,}04.$

$\Rightarrow C = 460{,}2 \, Nxm \Rightarrow P = 460{,}2 \times 2\pi \times \frac{1500}{60} = 72{,}3 \, kW$



$72{,}3 \times 10^3 = \sqrt{3} \times 400 \times I_{MS} \Rightarrow I_{MS} = 104{,}5A$

$E = \sqrt{3} \times \sqrt{(400/\sqrt{3})^2 + (X_s I_{MS})^2} = 236{,}2 \times \sqrt{3}$

$X_s = 0{,}2 \times \frac{400^2}{70 \times 10^3} = 0{,}46 \, \Omega.$

$\Rightarrow E = 408{,}6V \Rightarrow \boxed{i \cong 4{,}1A}$ #

Pb. 2 - Solución propuesta.

MS - motor

Valores nominales: 10 kW, $U_n = 440$ V entre fases, 60 Hz, $\cos\varphi_n = 1$, $x_s = 0{,}8$ pu

a) Utilización en red de 380 V entre fases, 50 Hz

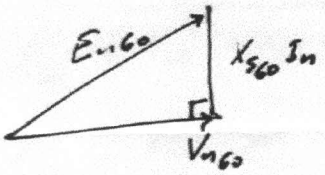
FACULTAD DE INGENIERÍA
Depto de Documentación y Biblioteca
Montevideo - Uruguay

$$P_{50} = P_{60} = 10 \text{ kW}$$

$$X_{s_{60}} = 0{,}8 \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = 0{,}8 \cdot \frac{440^2}{10000} = 15{,}488\ \Omega$$

$$X_{s_{50}} = \frac{50}{60} X_{s_{60}} = 12{,}907\ \Omega$$

$$E_{50} = \frac{50}{60} E_{60_n}$$



$$V_{n_{60}}\ p.u = \frac{V_{n60}}{V_n} = 1\ p.u \qquad V_n = \frac{440}{\sqrt{3}}$$

$$x_{s_{60}} \cdot i_{n_{60}}\ p.u = 0{,}8 \cdot 1 = 0{,}8\ p.u$$

$$e_{n_{60}}\ p.u = \sqrt{v_{n_{60}}^2 + x_{s_{60}}^2 \cdot i_{n_{60}}^2} = \sqrt{1 + 0{,}8^2} = 1{,}281$$

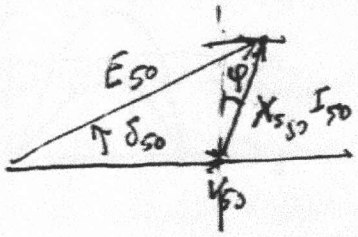
$$E_{n_{60}} = 1{,}281 \cdot \frac{440}{\sqrt{3}} = 325{,}32 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \underline{E_{50} = 271{,}10 \text{ V}}$$

$$P_{50} = \frac{3 V_{50} E_{50}}{X_{s_{50}}} \sin\delta_{50} \Rightarrow \sin\delta_{50} = \frac{P_{50} \cdot X_{s_{50}}}{3 V_{50} E_{50}}$$

$$\sin\delta_{50} = \frac{10.000 \cdot 12{,}907}{3\ \frac{380}{\sqrt{3}} \cdot 271{,}10} = 0{,}723$$

$$\Rightarrow \delta_{50} = 46^\circ{,}332$$



$$\operatorname{tg}\varphi_{50} = \frac{E_{50}\cos\delta_{50} - V_{50}}{E_{50}\sin\delta_{50}}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{50} = \frac{271{,}10 \cdot \cos 46^\circ{,}332 - \frac{380}{\sqrt{3}}}{271{,}10 \sin 46^\circ{,}332} = -0{,}164 \Rightarrow \varphi_{50} = -9^\circ{,}326$$

$$\boxed{\cos\varphi_{50} = 0{,}987}$$

$$I_{50} = \frac{P_{50}}{\sqrt{3}\, U_{50} \cdot \cos\varphi_{50}} = 15{,}39 \text{ A}$$

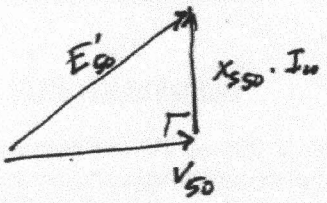
$$I_{60_n} = \frac{P_{50}}{\sqrt{3}\, U_{n60}\ 1} = 13{,}122 \text{ A}$$

$\rightarrow$ Sobrecarga en $I_s = \frac{15{,}39}{13{,}12} = 1{,}173$

$\hookrightarrow$ $\boxed{17{,}3\%}$

b) Máxima potencia mecánica en 380 V, 50 Hz –
Sin sobrepasar I_n

$I_n = I_{n_{60}} = 13{,}12\ A$ ← se minimiza la corriente de estator de modo de no sobrepasar este valor ⇒ $\cos\varphi = 1$



$$P_{máx_{50}} = \sqrt{3}\, V_{50} \cdot I_n = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 13{,}12 = 8635\ W$$

$$\boxed{P_{máx_{50}} = 8{,}635\ kW}$$

FACULTAD DE INGENIERIA
Depto. de Documentación y Biblioteca

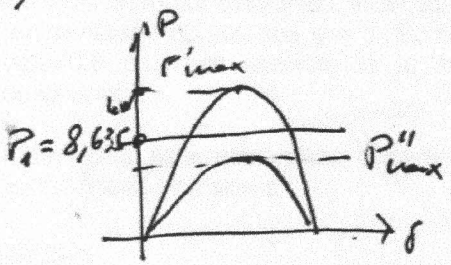
corrección de excitación:

$$E'_{50} = \sqrt{V_{50}^2 + (X_{50} \cdot I_n)^2} = \sqrt{\left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 + (12{,}907 \cdot 13{,}12)^2} = 277{,}15\ V$$

$$E'_{60} = \frac{60}{50} \cdot E'_{50} = 332{,}57\ V$$

$$\frac{i'_{exc}}{i_{exc_{n_{60}}}} = \frac{332{,}57}{\underbrace{325{,}32}_{E_{n_{60}}}} = 1{,}022 \rightarrow \boxed{\text{aumento de } 2{,}2\% \text{ en } i_{exc}}$$

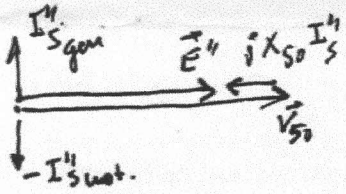
c) Si la corriente de excitación se reduce a la mitad, ⇒ $E''_{50} = \frac{1}{2} E'_{50} = \underline{138{,}6\ V}$



$$P'_{max} = \frac{3 V_{50} \cdot E'_{50}}{X_{s50}} = \frac{3 \frac{380}{\sqrt{3}} \cdot 277{,}15}{12{,}907} = 14{,}133\ kW$$

$$P''_{max} = \frac{1}{2} P'_{max} = 7{,}066\ kW < \underbrace{8{,}635\ kW}_{\text{carga}}$$

⇒ MS pierde el sincronismo y no entrega esta potencia ⇒ MS comienza a reducir velocidad
⇒ Se desenganchan la carga.
⇒ MS funciona como compensador sincrónico (mera reflexión)



$$\boxed{I''_s = \frac{V_{50} - E''_{50}}{X_{50}} = \frac{\frac{380}{\sqrt{3}} - 138{,}6}{12{,}907} = 6{,}26\ A}$$

Funciona en comp. sincrónico, "consumiendo" $\boxed{Q = 4{,}12\ kVA_r}$ a la red.
En conv. de signo generador es $Q < 0$, consumiría de la red.
Si se considera el motor como una carga, entonces es $Q > 0$ consumido de la red