FACULTAD DE INGENIERIA
Depto de Documentación y Biblioteca
Montevideo

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

12 de Febrero de 2016

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

Problema No. 1 (50% del práctico)

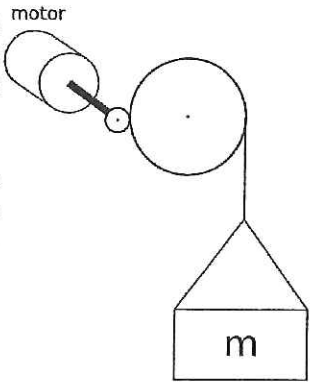
En un grupo electrógeno de 10 kVA, 50 Hz, 230 V, se sustituye el alternador original por otro de igual cantidad de polos, pero de 60 Hz, 440 V, como se indica más adelante. Se conserva el motor primario con su regulación de velocidad para 50 Hz, el sistema de excitación original, y el regulador de tensión entre la salida del alternador y la conexión a la red.

Datos nominales del nuevo alternador: Pn= 10 kVA, Un= 440 V (entre fases), cos φn=1, conexión estrella, Xs =1.2 p.u., iexcn = 5 A, efectos de saturación despreciables hasta las condiciones nominales.
Este alternador se conecta por su eje al motor del grupo electrógeno, se alimenta su excitación desde el sistema original, y sus bornes se conectan al regulador de tensión. El grupo se conecta a una red de 230 V entre fases, 50 Hz. Para trabajar en las nuevas condiciones se cambia el conexionado del alternador de estrella a triángulo. El regulador de tensión se ajusta de modo de tener 200 V constantes en bornes de la máquina sincrónica, y 230 V entre fases a la salida del grupo. Se despreciarán todas las pérdidas.
Se pide:

a) El sistema de excitación del grupo puede dar hasta una corriente continua máxima de 5 A. Calcular el valor de la corriente de excitación para que el nuevo alternador funcione en vacío en las condiciones indicadas.
b) Trabajando siempre con cos φ=1, determinar la máxima potencia eléctrica activa que el grupo podría suministrar sin sobrecargar al alternador, y calcular la corriente de excitación correspondiente.
c) Aún admitiendo sobrecargas, calcular cuál sería el límite máximo de potencia activa que el grupo podría dar en las condiciones de montaje indicadas, suponiendo que el motor primario no sea una restricción y que tampoco se mantenga la exigencia de cos φ=1. Indicar la sobrecarga correspondiente del alternador.
d) Para obtener más potencia que en b) y sin sobrecargar al alternador, se advierte que es posible cambiar la consigna del regulador de tensión de modo de aumentar la tensión en bornes del alternador. Suponiendo que el regulador de tensión no sea una restricción, indicar cuál sería la máxima tensión que Ud. recomendaría en ese caso, y calcular cuál sería la máxima potencia activa que podría obtener entonces del grupo, sin exigir al alternador por fuera de sus valores nominales. Calcular el cos φ correspondiente a ese funcionamiento.

Problema No. 2 (50% del Práctico)

Una grúa es impulsada por un motor de inducción accionado a partir de un variador de frecuencia. El motor de inducción mueve, a través de un reductor de velocidad, una polea en la que se enrolla un cable que sostiene la carga de la grúa. Las características de los equipos se detallan más abajo.



Se pide:

a) Si la carga tiene masa m=250 kg y debe ser izada verticalmente a una velocidad de 0.5 m/s determine el valor al que debería ajustarse la frecuencia a la salida del variador. Se admite usar para esta parte el modelo de pequeño deslizamiento para el motor de inducción.
b) En las condiciones de la parte anterior calcule las pérdidas Joule y en el hierro del motor.

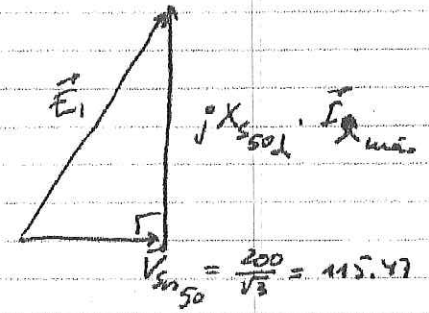
Datos:
MI: 400V, 50Hz, 725rpm
Parámetros del modelo monofásico estrella equivalente @50Hz: R1=R2e=0.4 Ω; X1+X2e=1.8 Ω; X0 =30Ω; R0=290 Ω
Se desprecian las pérdidas mecánicas.
Se asume que las pérdidas en el hierro tienen el siguiente comportamiento:
P Fe= $k*(0.5*V^2/f+0.5*V^2)$, donde f y V son frecuencia y tensión de alimentación.
Variador de frecuencia: Mantiene la relación V/f constante.
Polea: radio R=0.3m
Reductor de velocidad: relación 5:1, pérdidas mecánicas despreciables.

Nota: Tener en cuenta para la parte a) el desplazamiento en la curva par-velocidad como consecuencia de mantener V/f constante.

FACULTAD DE INGENIERIA
Depto de Documentación y Biblioteca
Montevideo - Uruguay

Funcionamiento a máxima Potencia activa a $\cos\varphi = 1$

En λ equiv.:



Si $I_n = 13,122$ A en cada fase

$\Rightarrow \boxed{I_{\lambda_{máx}} = \sqrt{3}\, I_n = 22,728 \text{ A}}$

$\Rightarrow P_{máx} = 3 V_{s_{n_{50}}} \cdot I_{\lambda_{máx}} \cdot \underset{1}{\cos\varphi} = \sqrt{3}\, U_{s_n} \cdot I_{\lambda_{máx}}$

$\Rightarrow \boxed{P_{máx} = \sqrt{3} \cdot 200\,V \cdot 22,728\,A = 7,873 \text{ kW}}$

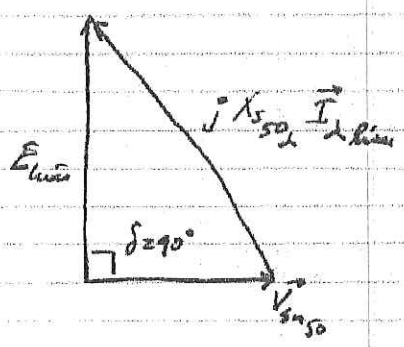
Cálculo de la corriente de excitación: $E_1^2 = V_{s_{n_{50}}}^2 + (X_{s_{50\lambda}} \cdot I_{\lambda_{máx}})^2$

$\Rightarrow E_1 = \sqrt{115,47^2 + (6,453 \cdot 22,728)^2} = 186,66$ V por fase, en λ equiv.

$\Rightarrow \boxed{i_{exc_{50}} = 5A \cdot \frac{60}{50} \cdot \frac{\sqrt{3}\, 186,66}{396,8} = 4,889 \text{ A}}$

c) Límite teórico máximo de P_{activa}:

$P = \frac{3EV}{X_s} \sin\delta \Rightarrow P_{máx} = \frac{3 E_{máx} \cdot V}{X_s}$



$E_{máx}$ corresponde a $i_{exc_{máx}} = 5$ A

$\boxed{E_{máx} = 186,66\,V \cdot \frac{5A}{4,889\,A} = 190,91 \text{ V}}$

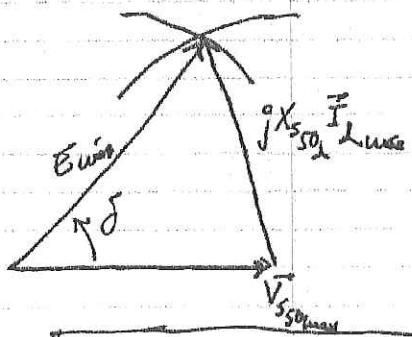
$X_{s_{50\lambda}} I_{\lambda_{lím}} = \sqrt{115,47^2 + 190,91^2} = 223,11$ V

$\Rightarrow I_{\lambda_{lím}} = \frac{223,11\,V}{6,453\,\Omega} = 34,58$ A

Sobrecarga $= \frac{I_{\lambda\,lím}}{I_{\lambda\,máx}} = \frac{34,58}{22,728} = 1,52 \Rightarrow \boxed{52\% \text{ s/c}}$

$\Rightarrow \boxed{P_{máx} = \frac{3\,VE}{X_s} = \frac{3 \cdot 115,47 \cdot 190,91}{6,453} = 10,28 \text{ kW}}$

d) Máxima tensión en bornes recomendable: Se tiene $V \simeq \omega\psi$. Si no se quiere que ψ exceda su valor nominal $\Rightarrow \boxed{V_{s_{50máx}} = \frac{50}{60} \cdot \frac{254,03\,V}{\sqrt{3}} = 122,22 \text{ V}}$



$V_{s_{50máx}} = 122,22\,V \leftrightarrow U_{s_{máx}} = 211,7$ V

$E_{máx} = 190,91$ V

$X_{s_{50\lambda}} I_{\lambda_{máx}} = 6,453 \cdot 22,728 = 146,66$ V

Th. coseno: $\cos\delta = \frac{190,91^2 + 122,22^2 - 146,66^2}{2 \cdot 190,91 \cdot 122,22} = 0,64$

$\Rightarrow \delta = 50°,194 \Rightarrow \sin\delta = 0,768$

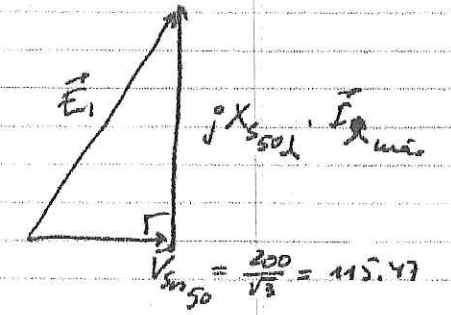
$\Rightarrow \boxed{P_{máx} = 3 \cdot \frac{190,91 \cdot 122,22}{6.453} \cdot 0,768 = 8,33 \text{ kW}}$ $\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}\,UI} = \frac{8,33}{\sqrt{3} \cdot 211,7 \cdot 22,728}$

$\boxed{\cos\varphi \simeq 0,998 \simeq 1}$

FACULTAD DE INGENIERIA
Depto de Documentación y Biblioteca
Montevideo - Uruguay

Funcionamiento a máxima Potencia activa a $\cos\varphi = 1$

En λ equiv.:



Si $I_n = 13,122$ A en cada fase

$\Rightarrow \boxed{I_{\lambda máx} = \sqrt{3}\, I_n = 22,728 \text{ A}}$

$\Rightarrow P_{máx} = 3 V_{Sn_{50}} \cdot I_{\lambda máx} \cdot \underset{1}{\cos\varphi} = \sqrt{3}\, U_{Sn} \cdot I_{\lambda máx}$

$\Rightarrow \boxed{P_{máx} = \sqrt{3} \cdot 200\text{V} \cdot 22,728\text{A} = 7,873 \text{ kW}}$

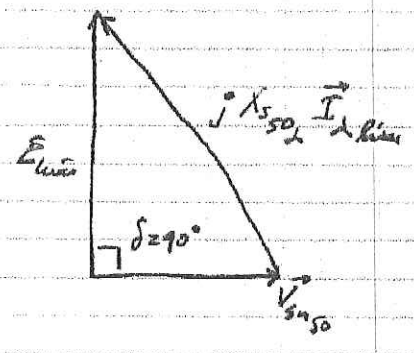
Cálculo de la corriente de excitación: $E_1^2 = V_{Sn_{50}}^2 + (X_{S50_\lambda} \cdot I_{\lambda máx})^2$

$\Rightarrow E_1 = \sqrt{115,47^2 + (6,453 \cdot 22,728)^2} = 186,66$ V por fase, en λ equiv.

$\Rightarrow \boxed{i_{exc_{1_{50}}} = 5\text{A} \cdot \frac{60}{50} \cdot \frac{\sqrt{3}\, 186,66}{396,8} = 4,889 \text{ A}}$

c) Límite teórico máximo de P_{activa}:

$P = \frac{3EV}{X_S} \sin\delta \Rightarrow P_{máx} = \frac{3 E_{máx} \cdot V}{X_S}$



$E_{máx}$ corresponde a $i_{exc_{máx}} = 5$ A

$\boxed{E_{máx} = 186,66\text{ V} \cdot \frac{5\text{A}}{4,889\text{A}} = 190,91 \text{ V}}$

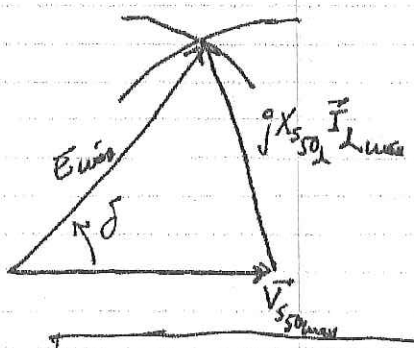
$X_{S50_\lambda} I_{\lambda lím} = \sqrt{115,47^2 + 190,91^2} = 223,11$ V

$\Rightarrow I_{\lambda lím} = \frac{223,11\text{ V}}{6,453\,\Omega} = 34,58$ A

Sobrecarga $= \frac{I_{\lambda lím}}{I_{\lambda máx}} = \frac{34,58}{22,728} = 1,52 \Rightarrow \boxed{52\% \text{ s/c}}$

$\Rightarrow \boxed{P_{máx} = \frac{3\,VE}{X_S} = \frac{3 \cdot 115,47 \cdot 190,91}{6,453} = 10,28 \text{ kW}}$

d) Máxima tensión en bornes recomendable: Se tiene $V \simeq \omega\psi$. Si no se quiere que ψ exceda su valor nominal $\Rightarrow \boxed{V_{S_{50_{máx}}} = \frac{50}{60} \cdot \frac{254,03\text{ V}}{\sqrt{3}} = 122,22 \text{ V}}$



$V_{S_{50_{máx}}} = 122,22$ V $\leftrightarrow U_{S_{máx}} = 211,7$ V

$E_{máx} = 190,91$ V

$X_{S50_\lambda} I_{\lambda máx} = 6,453 \cdot 22,728 = 146,66$ V

Th. coseno: $\cos\delta = \frac{190,91^2 + 122,22^2 - 146,66^2}{2 \cdot 190,91 \cdot 122,22} = 0,64$

$\Rightarrow \delta = 50°,194 \Rightarrow \sin\delta = 0,768$

$\Rightarrow \boxed{P_{máx} = 3 \cdot \frac{190,91 \cdot 122,22}{6.453} \cdot 0,768 = 8,33 \text{ kW}}$ $\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}\,VI} = \frac{8,33}{\sqrt{3} \cdot 211,7 \cdot 22,768}$

$\boxed{\cos\varphi = 0,998 \simeq 1}$

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

Solución Prob.2:

a):
Se tiene la velocidad a la que sube la masa, como es constante el par que deberá realizar el motor es tal que la fuerza neta sobre la masa sea nula.
El par sobre la polea es entonces: C=mgR=736Nm
Dado que se tiene un reductor de velocidad, el par en el eje del motor será: 736 / 5= 147Nm
Aplicando el modelo de pequeño deslizamiento el par motor es $Cm=U^2*s/(\omega_s*R_{2e})$, donde s es el deslizamiento.
Evaluando la expresión anterior calculamos el deslizamiento que tendría el motor con un par de 147Nm pero alimentado a 400V, 50Hz: s=0.0289
La velocidad de rotación en las condiciones anteriores será: n=750 * (1-0.0289)=728.3 rpm
Con una diferencia de velocidad en este régimen de = 750-728.3=21.7 rpm.
Si la masa se elevará a 0.5m/s la velocidad de rotación debe ser (considerando el reductor):
ω= 0.5/0.3=1.67rad /s , entonces n=79.6 rpm
Como el variador de frecuencia mantiene la relación V/f=cte, se produce un desplazamiento de la curva par velocidad según el eje de la velocidad.
Por lo tanto la velocidad de sincronismo para operar con el par y velocidad necesaria será:
n_s=21.7 rpm+ 79.6 rpm= 101.2 rpm
Lo que equivale a una frecuencia de alimentación:
f=101.2*50/750=**6.75Hz**
La tensión del variador será: V=400*6.75/50=54.0V

b) :
Para calcular las pérdidas debemos considerar el modelo completo del motor.
Pérdidas en el hierro:
Dado que cambiaron la frecuencia y la tensión, se debe recalcular estas pérdidas.
En condiciones nominales:
$P\,Fe= k*(0.5*V^2/f+0.5*V^2)= k*(0.5*400^2/50+0.5*400^2)= 400^2/290$ entonces k=0.00676
En las nuevas condiciones las pérdidas son:
$P\,Fe= 0.00676*(0.5*54^2/6.75+0.5*54^2)$=**11.3W**

Pérdidas Joule:
Para calcularlas se debe calcular la corriente I2e en la nueva situación:
I2e=13.7 A, donde se debe tener en cuenta que la variación de frecuencia genera que X1+X2e se modifique en consecuencia.
Las nuevas pérdidas Joule resultan:
$P\,J=3*(R1+R2e)*13.7^2$=**448W**

Comentario:
Las pérdidas Joule nominales son 815W y las pérdidas en el hierro 552W, por lo que se observa que ambas se reducen, particularmente en el caso de las pérdidas en el hierro al depender cuadráticamente con la tensión. Las pérdidas Joule se reducen, si bien el deslizamiento en esta nueva condición es 21%, la reducción de la tensión compensa este aumento.