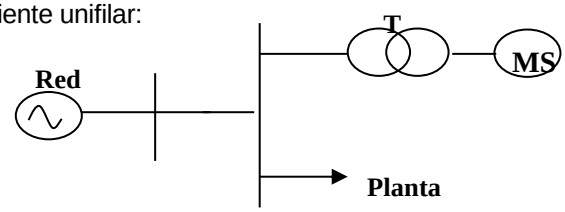
INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Curso de Máquinas Eléctricas (5602) – Parcial N°2 – 24 de noviembre de 2016.

Problema No. 1 (20 puntos)

Se dispone de una máquina sincrónica (MS) accionada por una turbina operando en paralelo con la red para alimentar una planta industrial de acuerdo al siguiente unifilar:



Considerando los datos que se indican más abajo se pide:

1. Valor de la corriente de excitación de MS si la máquina funciona como compensador sincrónico y compensa toda la reactiva consumida por la planta. (30%)
2. Valor de la corriente de excitación de MS si se opera la máquina como motor moviendo una carga que presenta un par resistente Cr = $0.039w^2$ (con Cr en N.m y w en rad/s) y además compensa toda la potencia reactiva posible sin sobrecargarse. (70%)

Datos:
MS: Un = 6000V, 5Hz, 210 kVA, dos pares de polos
Ensayo de vacío a 50 Hz:

i (A)	5	10	15	20	25	30	39
E (kV)	2.20	4.40	6.00	6.86	7.49	7.82	8.25

No se considera la resistencia del bobinado estatórico y no se consideran perdidas mecánicas ni de ningún otro tipo en la máquina.
La reactancia de Potier a 50 Hz posee un valor de 44.26 Ω
Ensayo de cortocircuito a 50Hz:
Para i =10 A se obtuvo Icc = 12 A.

T: 6.3/0.4 kV 500kVA Xcc = 5% 50 Hz.
Red: 0.38 kV 50 Hz.
Planta: consume una potencia de 250 kVA bajo un factor de potencia constante igual a 0.8 inductivo.

Problema No. 2 (20 puntos)

Una máquina de inducción de rotor bobinado se conecta su estator directo a una red de 440 V, 50 Hz y su rotor a través de un convertidor estático de potencia que puede fijar la frecuencia de las magnitudes eléctricas en el rotor y operar en los cuatro cuadrantes, en lo que refiere a la potencia.

Datos de la máquina:

400 kW, 440 V, 50 Hz, un par de polos.

1. Determinar la frecuencia que debe imponer el convertidor conectado al rotor de la máquina para que la velocidad de la misma sea 2820 rpm. (20%)
2. Determine la potencia activa que debe consumir el convertidor para que funcionando a la velocidad de (1) suministre en el eje su potencia nominal. (30%)
3. El convertidor alimenta ahora al rotor con un sistema de secuencia inversa de 2 Hz; determinar la velocidad de giro de la máquina. (20%)

4. En la situación de (2) el convertidor suministra al rotor 8 kW; determinar si la maquina está suministrando o consumiendo potencia mecánica en el eje. La respuesta se debe justificar mediante un balance de potencia activa. (30%)

Nota: Para la resolución del problema despreciar todas las pérdidas de origen eléctrico y mecánico.

Teórico (10 puntos)

Pregunta 1. (1/3 de los puntos)

Se dispone de un transformador triásico, de núcleo plano de tres columnas, Yyd donde el terciario en d se encuentra en vacío.

1. Comente el comportamiento de la máquina, en vacío, referente a los armónicos de tensión y corriente originados por la naturaleza no lineal del hierro.
2. El secundario se carga en forma desequilibrada conectando cargas entre fase y neutro; comente el comportamiento de la maquina frente a este tipo de cargas.
3. Se abre el bobinado terciario; explique el comportamiento de la maquina frente a cargas como la de (2) y el comportamiento en lo que refiere a armónicos como se solicita en (1).
4. Responda (1) y (3) para el caso en que se tiene un banco trifásico formado por tres transformadores monofásicos.

Pregunta 2. (1/3 de los puntos)

Dada una máquina con entrehierro constante (rotor cilíndrico):

1. Explicar qué características de variación con el tiempo y con la coordenada angular tiene el llamado “campo giratorio” en el entrehierro de una máquina eléctrica, calculándolo en el caso de 3 bobinas diametrales, fijas en el estator y separadas 120º entre sí, alimentadas por un sistema de corrientes sinuosidades trifásicas. Admita que esas bobinas diametrales no introducen armónicos espaciales.
2. Si se tienen en cuenta los armónicos espaciales en el campo giratorio producido según (1):
   - ¿Cuál es orden de los dos primeros armónicos espaciales que intervienen en el campo giratorio resultante?
   - ¿Qué sucede con los armónicos de orden 9 y 12?
   - Explique en que consiste el método para reducir armónicos espaciales llamado acortamiento del paso polar.
   - Explique el origen del llamado factor de devanado (Kw). De un valor aproximado, correspondiente a los armónicos de orden 1,5 y 7, de este factor para el caso de una distribución de bobinado continua y uniforme donde cada fase ocupa 1/3 de la periferia del estator y a su vez se acorto el paso polar 1/6.
3. Explicar cómo se deben disponer las bobinas en la periferia (es decir en ranuras) del entrehierro para obtener un campo giratorio de cuatro polos. Exponga la solución correspondiente a bobinas diametrales.

Pregunta 3. (1/3 de los puntos)

1. Dibuje el llamado “diagrama de capabilidad” de la MS, explicando los distintos límites operativos.

2. Justifique teóricamente la existencia de dos reactancias Xd y Xq en máquinas sincrónicas de polos salientes, indicando qué relación cumplen entre sí.

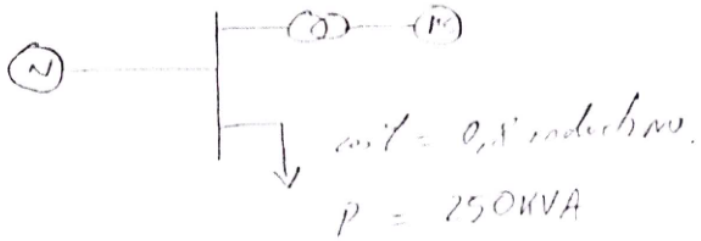
3. Una máquina sincrónica conectada a la red eléctrica, alimenta carga desbalanceada (sistema no equilibrado de corrientes). Explique los efectos de esta corriente en las pérdidas en el hierro de la MS.

Segundo parcial 2016

@ 6kV

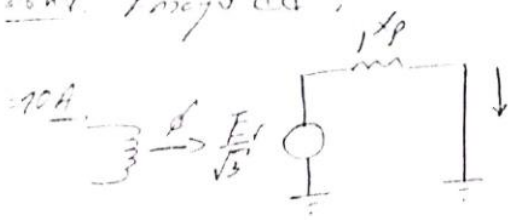
TT: $X_{TR} = 0{,}05 \cdot \frac{6{,}3^2}{0{,}5} = 3{,}97\,\Omega$

P1)



P1: $X_p = 44{,}26\,\Omega$

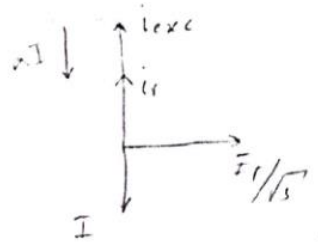
26kV Ensayo CC:



$\Rightarrow E_r = X_p I \sqrt{3}$

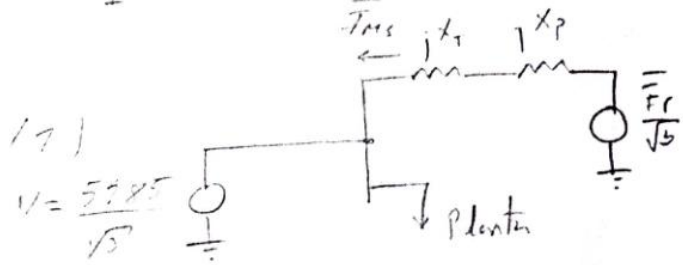
$= 920V \Rightarrow i_r = \frac{920 \cdot 5}{2200}$

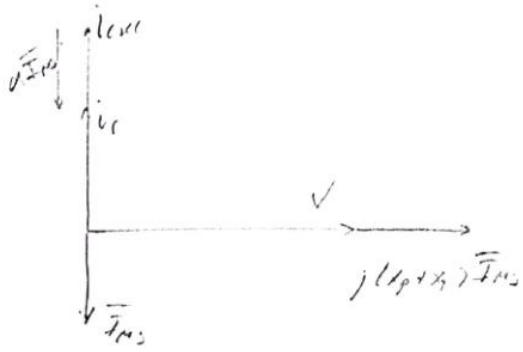
$i_r = 2{,}1A$



$\bar{i}_r = \alpha \bar{I} + \bar{i}_{exc}$

$\Rightarrow \alpha = \frac{10 - 2{,}1}{12} = \boxed{0{,}658 = \alpha}$





$I_{ms} = \frac{250 \cdot 10^3 \cdot \sin(\text{Acos } 0{,}8)}{\sqrt{3}\, 5{,}985 \cdot 10^3} = 14{,}5A$

$\Rightarrow E_r = \sqrt{3} \cdot (3{,}97 + 44{,}26) \cdot 14{,}5 + 5985 = 7{,}193\,kV$

$\Rightarrow i_r = 22{,}6A \Rightarrow i_{exc} = 22{,}6 + 0{,}658 \cdot 14{,}5 \cong \boxed{32A = i_{exc}}$

(2) $C_r = 0{,}039 \cdot w^2$.

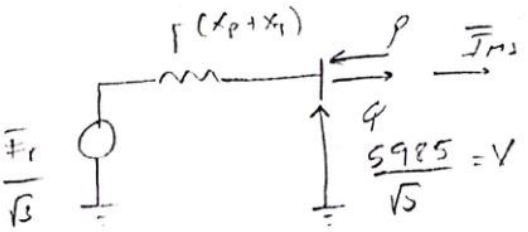
$p = 2$, $50\,Hz$ $\Rightarrow$ $w = 157\ rad/s$.

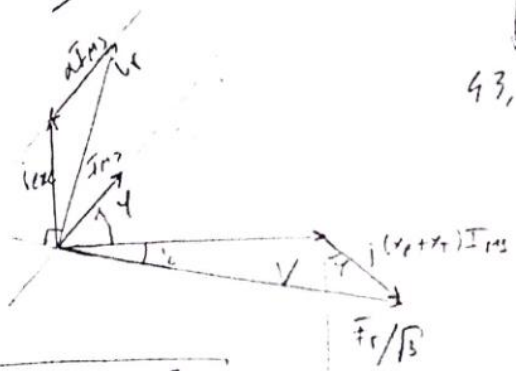
$\Rightarrow$ $P = 151{,}2\ KW$.

$\bar{I}_N = \dfrac{210}{\sqrt{3}\,6000} = 20\,A$. $\Rightarrow$ @ 5985 V $S = 209{,}5\ KVA \Rightarrow \cos\varphi = 0{,}722$

$\downarrow$

$43{,}8^\circ$





$$\Rightarrow F_r = \sqrt{3}\sqrt{\left(V + (X_p+X_T) I \sin\varphi\right)^2 + \left((X_p+X_T) I \cos\varphi\right)^2}$$

$$\boxed{F_r = 7{,}243\ KV}\ , \quad \delta = \operatorname{Arcsen}\left(\frac{(X_p + X_T)\, I_{rms} \cos\varphi}{F_r/\sqrt{3}}\right) = 9{,}58^\circ$$

$$\Rightarrow \bar{i}_r = 23 \angle 80{,}42^\circ$$

$$\Rightarrow i_{exc} = \left| \bar{i}_r - \alpha \bar{I}_{rms} \right| \Rightarrow \boxed{i_{exc} = 14{,}74}$$

P2) MI 400KW, 440V, 50Hz, $p = 1$

red 50Hz 440V

(a) $\left.\begin{array}{l} n = 2820 \text{ rpm} \\ n_s = 3000 \text{ rpm} \end{array}\right\} \Rightarrow g = 6\%$

$$f_r = g \underbrace{f_s}_{50Hz} \Rightarrow \boxed{f_r = 3 Hz.}$$

(b) Balance de potencia: $P_s = P_r + P_{mec}$

$$- P_r = g P_s \Leftrightarrow \begin{array}{l} E_r = g r E_s \\ I_r = \dfrac{I_s}{r} \end{array}$$

r = rel de transf en vacío

(H) despreciamos pérdidas

$$\Rightarrow P_r \left(\frac{1}{g} - 1\right) = P_{mec} \Rightarrow P_r = \frac{g P_{mec}}{1-g} \overset{\downarrow}{=} P_{convert.}$$

$g = 6\%$

$P_{mec} = 400 KW \Rightarrow \boxed{P_{conv} = 25,53 KW}$

(3) $f_r = -2Hz$ (Sec. inversa)

$$\Rightarrow g = \frac{-2}{50} = -4\% = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$\Rightarrow n = n_s(1-g) \Rightarrow \boxed{n = 3120 \text{ rpm}}$$

→ Otra forma de verlo:

la velocidad del rotor es la correspondiente a un campo giratorio de frecuencia 52 Hz.

$$\Rightarrow n = n_s \frac{52}{50} = 3120 \checkmark$$

(4) $g = -4\%$ (3)
$P_{conv} = -8KW$ $\Rightarrow$ $P_s = \frac{P_{conv}}{g} = 200KW$

$P_{mec} = 208KW$ $\Rightarrow$ funciona como motor.