52101413

INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
EXÁMENES DE: CONVERSIÓN ELECTROMECÁNICA
MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

MARZO 2001

PROBLEMA 2.

Se dispone de un transformador trifásico de tres arrollamientos de las siguientes características:

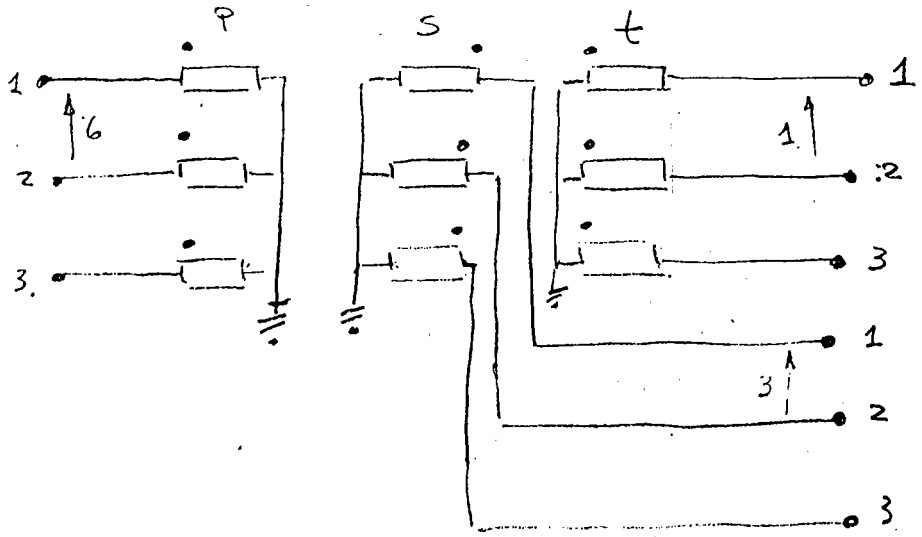
Nueve bornes accesibles mas los tres de neutro.
P/S/T : 6/3/1 kV ; 1000/600/600 kVA ; 50 Hz.
P/S: YNYn0; Tensión de cortocircuito del primario con el terciario abierto 600V (de línea)
P/T: YNYn6; Tensión de cortocircuito del primario con el secundario abierto 700V (de línea)
Los neutros de los tres bobinados se conectan a una tierra común.

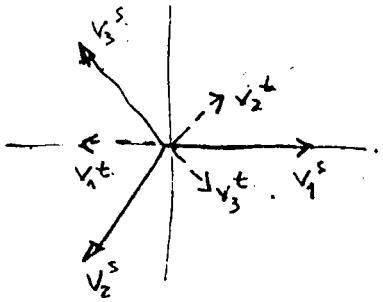
a) Dibujar el esquema **trifásico** explícito del transformador indicando claramente, la numeración correspondientes de todas las fases, la referencia de polaridad correspondientes en cada bobina (puntos) y las impedancias de cortocircuito reflejadas en el secundario y terciario expresando las mismas en ohm.
b) Se conecta el transformador a una fuente trifásica ideal de 6 kV 50 Hz entre líneas, a los efectos de alimentar un motor de inducción cuyos datos se indican.
Indicar claramente, también en un esquema trifásico, como conectaría los tres bobinados estatóricos del motor al transformador de tal manera que el arranque del mismo sea lo más rápido posible sin sobrepasar su tensión nominal.
(Nota: en esta parte **no** se tendrán en cuenta las impedancias de cortocicuito del transformador.)
c) Determinar la corriente de arranque en el primario del transformador para la conexión determinada en b).

Motor: Tensión nominal de cada bobina estatórica 2,5 kV.
jaula de ardilla, 6 bornes accesibles, 50 Hz, 4 polos.
Velocidad de vacío aprox. 1500 rpm.
Resistencia de cada bobinado estatórico 0,3 Ω
Ensayo a rotor bloqueado 500V, 100 A, 21kW.
Se desprecian las pérdidas mecánicas y en el hierro.

No se tendrán en cuenta las corrientes magnetizante ni del motor ni del transformador.
En todo el problema se supondrá :
el motor no tiene carga en el eje.
las impedancias de cortocicuito del transformador son reactivas puras y es nula la de los bobinados primarios.
siempre se está en régimen equilibrado perfecto despreciándose todas las asimetrías que el circuito magnético del transformador pudiera imponer.

se tiene.





Corrientes nominales de S y T $\Rightarrow$ $I_{N_S} = \dfrac{600\ 10^3}{\sqrt{3}\ 3\ 10^3} = 115{,}5\ A$ $\qquad I_{N_t} = 346\ A$

$\Rightarrow$ $Z_{cc_S} = \dfrac{600/\sqrt{3}}{115{,}5} = 3j\ \Omega$ $\qquad Z_{cc_t} = \dfrac{700/\sqrt{3}}{346} = 1{,}17j\ \Omega$

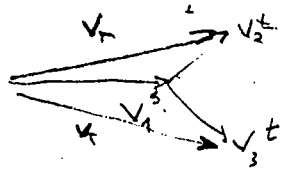
b) Dado un motor aumento la velocidad de arranque cuanto mayor sea la tensión puesto que aumenta la potencia trasmitida y con ella el par de arranque.

$\Rightarrow$ Debo conectarlo a la mayor tensión posible.

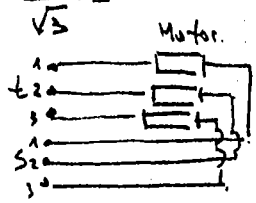
1) $\Rightarrow$ Si conecto al secundario el motor en estrella $\Rightarrow$ $\sqrt{3}$ kV s/cada bobina.

2) $\Rightarrow$ " " entre fases correspondientes (1-1; 2-2, 3-3) $\Rightarrow$ $\dfrac{3+1}{\sqrt{3}} = 2.3$ kV "

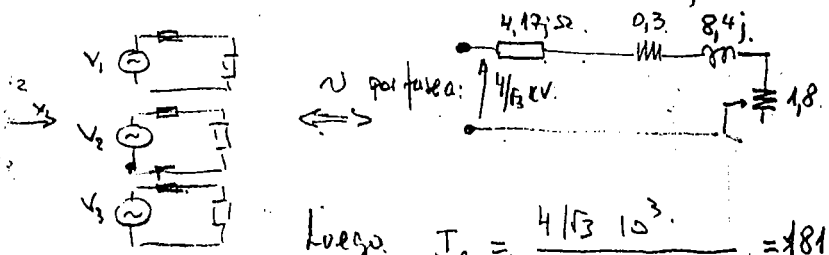
3) $\Rightarrow$ " " " " 1-2 o 1-3 la sit. es:



que es menor que la sit. 2) $\Rightarrow$



c) El motor está sometido a una fuente de $\underline{4/\sqrt{3}\ kV}$ con. $Z_{cc} = (3+1{,}17)j = \underline{4{,}17j\ \Omega}$.



$Z_{cc_\Delta}^{Motor} = \dfrac{500}{100/\sqrt{3}} \angle \text{Arcos}\ \dfrac{21\ 10^3}{\sqrt{3}\ 500\ 100} = 8{,}66 \angle 76^\circ = 2{,}1 + j\,8{,}4$

Luego $I_a = \dfrac{4/\sqrt{3}\ 10^3}{2{,}1 + j(8{,}4 + 4{,}17)} = 181\ A$.

En el primario $\Rightarrow$ $N_p I_p = N_S I_S + N_t I_t \Rightarrow I_p = \dfrac{N_S}{N_p} I_S + \dfrac{N_t}{N_p} I_t$.

pero $I_S = I_t$ $\Rightarrow$ $I_p = \dfrac{3}{6}\,181 + \dfrac{1}{6}\,181 \Rightarrow \boxed{I_p = 120{,}6}$

INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA

Examen de: **MAQUINAS ELECTRICAS I (Planes 1991 y 1987)**
MAQUINAS ELECTRICAS (Planes 1995 y 1974)
CONVERSION ELECTROMECANICA (Opc. Plan 1991)

30 de Marzo 2001.

Problema No. 1

Se tiene un motor sincrónico MS de rotor cilíndrico, de 100 kW de potencia útil nominal, y cuyos demás datos se indica a continuación, conectado a las barras de 6 kV, 50 Hz, de una instalación trifásica industrial.

MS: Valores nominales: 100 kW, 6 kV, 50 Hz, 1500 rpm, montaje triángulo.
factor de potencia nominal = 0.8 inductivo.

Ensayado como generador en vacío a la velocidad nominal, no se percibe efectos de saturación en la curva de vacío para tensiones inferiores a la nominal.

Para que en el ensayo como generador en cortocircuito la corriente de línea sea igual a la corriente nominal, se requiere una corriente de excitación tal que al abrir el cortocircuito, la tensión en bornes resulta igual al 50% de la nominal.

Se fija la excitación en el valor correspondiente al funcionamiento nominal, dejando la misma constante en todo el resto del problema. Las pérdidas de MS se consideran no significativas en este contexto.

Se pide:

1) Calcular la corriente de vacío consumida por MS.

2) Determinar para qué carga (potencia útil) se obtiene el funcionamiento a máximo factor de potencia. Calcular éste, así como la corriente de línea de MS. Evaluar las sobrecargas de este régimen respecto del nominal.

Nota: Para las preguntas 1) y 2) se supondrá que MS está siempre alimentado bajo tensión y frecuencia nominales, despreciando las eventuales variaciones de éstas. Para las preguntas 3) y 4) se deberá tomar en cuenta las variaciones de tensión eficaz en las barras de alimentación de acuerdo a la información que se da a continuación. La frecuencia se considerará siempre constante e igual a 50 Hz.

Las barras de la instalación considerada no son de potencia infinita: se sabe que si no se encuentra ninguna carga conectada, la tensión medida es de 6.3 kV, y que en caso de producirse un cortocircuito trifásico en dichas barras, la red del servicio público que las alimenta (que ésta sí puede suponerse infinita) aportaría una corriente de línea, puramente inductiva, de 75.77 A.

3) Con MS cargado con el mismo par resistente que en 2), determinar la tensión en barras de la instalación, despreciando toda otra carga conectada a dichas barras, y calcular la corriente de línea de MS.

4) Por razones de estabilidad, se desea que en el funcionamiento en régimen permanente, MS nunca se aproxime a menos de 35 grados eléctricos de su límite de estabilidad estática. Si el motor se encuentra cargado como en 3), y suponiendo que en algunas circunstancias la red de servicio público, aún considerada como infinita, puede presentar variaciones en su tensión, determinar: a) la mínima tensión admisible, medida en bornes del motor, compatible con la exigencia de estabilidad indicada, y b) la mínima tensión admisible que debería haber en la misma situación en las barras de la instalación, antes de conectar el motor.

Problema nº1. – Solución propuesta:

MS: $P_n = 100$ kW

$U_n = 6$ kV

$f_n = 50$ Hz.

$n_n = 1500$ rpm $\rightarrow$ 4 polos $\Rightarrow p = 2$.

$\cos\varphi_n = 0{,}8$ inductivo.

Si $E < V_n = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$

tensión en λ equivalente.

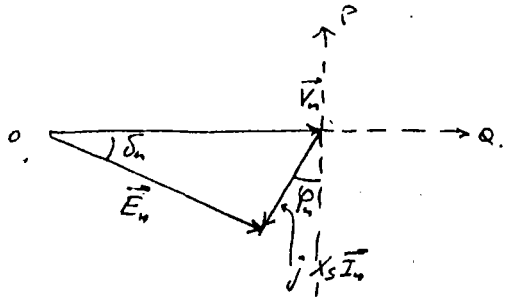
Determinación de X_s:

Ensayo en c.c.: $X_s I_{cc} = E_{cc} \Rightarrow X_s = \dfrac{0.5\,\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{I_{cc}} = \frac{1}{2}\cdot\dfrac{\frac{6000}{\sqrt{3}}}{I_n}$

$P_n = \sqrt{3}\,U_n I_n \cos\varphi_n \Rightarrow \boxed{I_n = \dfrac{P_n}{\sqrt{3}\,U_n \cos\varphi_n} = \dfrac{100\,10^3}{\sqrt{3}\;6\;10^3\;0.8} = 12{,}028\ A}$

$\Rightarrow \boxed{X_s = \frac{1}{2}\;\dfrac{\frac{6000}{\sqrt{3}}}{12{,}028} = 144\ \Omega}$

Determinación de E_n.



$E_n^2 = V_n^2 + (X_s I_n)^2 - 2\,V_n X_s I_n \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_n\right)$

$= V_n^2 + X_s^2 I_n^2 - 2\,V_n X_s I_n \sin\varphi_n$

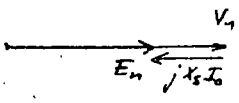
$\cos\varphi_n = 0.8 \Rightarrow \sin\varphi_n = 0.6$

$\boxed{E_n = \sqrt{\left(\frac{6000}{\sqrt{3}}\right)^2 + (144 \cdot 12{,}028)^2 - 2\,\frac{6000}{\sqrt{3}} \cdot 144 \cdot 12{,}028 \cdot 0{,}6} = 2792{,}85\ V}$

$\sqrt{3}\,E_n = 4837{,}4\ V < 6000\ V. \Rightarrow$ MS trabaja en régimen lineal.

1). Corriente de vacío:

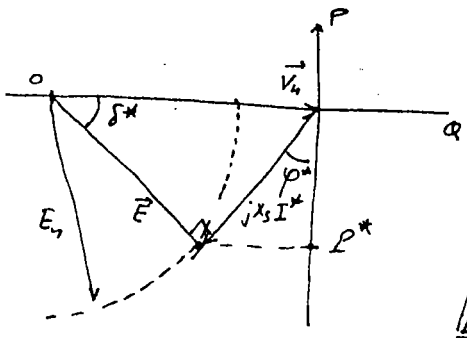
$P = 0 \Rightarrow \delta = 0$



$I_0 = \dfrac{V_n - E_n}{X_s} = \dfrac{\frac{6000}{\sqrt{3}} - 2792{,}85}{144}$

$\boxed{I_0 = 4{,}66\ A.}$

2) Funcionamiento bajo factor de potencia máximo:



$\varphi^* = \delta^*$

$X_s I^* = \sqrt{V_n^2 - E_n^2}$

$\boxed{I^* = \dfrac{\sqrt{\left(\frac{6000}{\sqrt{3}}\right)^2 - 2792{,}85^2}}{144} = 14{,}23\ A.}$

$\boxed{f.p. = \cos\varphi^* = \cos\delta^* = \dfrac{E_n}{V_n} = \dfrac{2792{,}85}{\frac{6000}{\sqrt{3}}} = 0{,}8062}$

$$P^* = \sqrt{3}\, U_n\, I^* \cos\varphi^* = \sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 14{,}23 \cdot 0{,}8062 = 119226{,}7 \text{ W}$$

$$\boxed{P^* = 119{,}2 \text{ kW} \simeq 119227 \text{ W}}$$

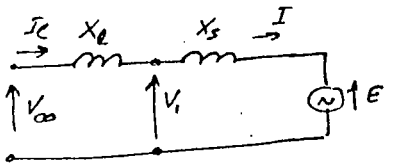
Sobrecarga:

$$\frac{I^*}{I_n} = \frac{14{,}23}{12{,}028} = 1{,}183 \Rightarrow 18{,}3\,\%$$

$$\frac{P^*}{P_n} = \frac{119{,}2}{100} = 1{,}192 \Rightarrow 19{,}2\,\%.$$

---

3).



$$V_\infty = \frac{U_\infty}{\sqrt{3}}$$

Determinación de X_ℓ:

en C.C.: $V_1 = 0 \Rightarrow I_\ell = 75.77$ A. $\Rightarrow \boxed{X_\ell = \frac{\left(\frac{U_\infty}{\sqrt{3}}\right)}{I_\ell} = \frac{\frac{6.300}{\sqrt{3}}}{75.77} = 48\ \Omega}$

Sea:

$$\left.\begin{aligned} \vec{V}_\infty &= V_\infty \angle 0 \\ \vec{V}_1 &= V_1 \angle \delta_1 \\ \vec{E} &= E \angle \delta \end{aligned}\right\}$$

$$\boxed{\begin{aligned} &(1) \quad P^* = 3\, \frac{V_1 V_\infty}{X_\ell} \sin\delta_1 \\ &(2) \quad P^* = 3\, \frac{V_1 E}{X_s} \sin(\delta - \delta_1) \\ &(3) \quad P^* = 3\, \frac{V_\infty E}{(X_\ell + X_s)} \sin\delta \end{aligned}}$$

Cálculo de V_1:

$$(2)/(1) \Rightarrow 1 = \underbrace{\left(\frac{\left(\frac{E}{X_s}\right)}{\left(\frac{V_\infty}{X_\ell}\right)}\right)}_{\alpha} \frac{\sin(\delta - \delta_1)}{\sin\delta_1}$$

$$\Rightarrow (4) \quad 1 = \alpha\, \frac{\sin\delta \cos\delta_1 - \sin\delta_1 \cos\delta}{\sin\delta_1}$$

$$(4) \quad 1 = \alpha \left[\sin\delta \left(\frac{1}{tg\,\delta_1}\right) - \cos\delta \right] \Rightarrow \boxed{tg\,\delta_1 = \frac{\sin\delta}{\frac{1}{\alpha} + \cos\delta}} \quad (5)$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\left(\frac{V_\infty}{X_\ell}\right)}{\left(\frac{E}{X_s}\right)} = \frac{\left(\frac{6.3\,10^3}{\sqrt{3} \cdot 48}\right)}{\left(\frac{2792{,}85}{144}\right)} = 3{,}90709$$

$$(3) \Rightarrow \quad \sin\delta = \frac{P^*(X_\ell + X_s)}{3\,V_\infty\,E} = \frac{119\,227\,(48+144)}{3\,.\,\frac{6300}{\sqrt{3}}\,.\,2792{,}85} = 0{,}75115$$

$$\Rightarrow \delta = 48{,}69^\circ \quad \Rightarrow \quad \cos\delta = 0{,}66013$$

$$tg\,\delta_1 = \frac{0{,}75115}{3{,}90709 + 0{,}66013} = 0{,}16446 \quad \Rightarrow \quad \delta_1 = 9{,}34^\circ$$

$$\sin\delta_1 = 0{,}16228$$

$$(1) \qquad V_1 = \frac{P^*\,.\,X_\ell}{3\,V_\infty\,\sin\delta_1} = \frac{119\,227\,.\,48}{3\,.\,\frac{6300}{\sqrt{3}}\,.\,0{,}16228} = 3231.7\ V$$

$$\boxed{\sqrt{3}\,V_1 = U_1 = 5597{,}5\ V}$$

$$\vec{V_1} = jX_s\vec{I} + \vec{E} \quad \Rightarrow \quad \vec{I} = \frac{1}{jX_s}\left(\vec{V_1} - \vec{E}\right)$$

$$\vec{V_1} = 3231.7\ V\angle 9.34^\circ = 3188{,}86 + j\,524{,}48$$

$$\vec{E} = 2792{,}85\ V\angle 48{,}69^\circ = 1843{,}65 + j\,2097{,}85$$

$$\vec{I} = -j\,\frac{1}{144}\left(\underbrace{1345{,}21 - j\,1573{,}37}_{2070{,}0\angle 49{,}47}\right) = -j\,14{,}375\ A\angle 49{,}47^\circ$$

$$\boxed{I = 14{,}375\ A.}$$

(19,5 % de sobrecarga).

---

4) $\delta = \delta_{max} = 55^\circ = 90^\circ - 35^\circ \quad \Rightarrow \quad tg\,\delta_1 = \dfrac{\sin 55^\circ}{\frac{1}{\alpha} + \cos 55^\circ} = 0{,}18282$

$$\Rightarrow \delta_1 = 10^\circ{,}360$$

$$(2) \Rightarrow \quad V_{1_{min}} = \frac{P^*\,.\,X_s}{3\,E\,\sin(\delta_{max} - \delta_1)} = \frac{119\,227\,.\,144}{3\,.\,2792{,}85\,\sin(55 - 10{,}360)} = 2916{,}3\ V$$

a) $\boxed{\sqrt{3}\,V_{1_{min}} = U_{1_{min}} = 5051{,}2\ V.}$

b) $$V_{1_{0\,min}} = V_{\infty\,min} = \frac{P^*\,.\,(X_\ell + X_s)}{3\,E\,\sin\delta_{max}} = \frac{119.227\,.\,(48+144)}{3.\,2792{,}85\,\sin 55^\circ} = 3335{,}36\ V$$

$\boxed{\sqrt{3}\,V_{1_{0\,min}} = U_{\infty\,min} = 5777{,}0\ V}$ o sea 96,3% de la tensión nominal.