52109862

INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Examen de: MAQUINAS ELECTRICAS (P. 1997)

10 de Febrero de 2006.

Examen Total

Parte Práctica (Problemas: 50% del examen) (Eliminatorio: mínimo 50% del práctico)

Problema No. 1 (50% del práctico, 25% del examen)

En una fábrica se tiene una máquina sincrónica MS que se emplea como motor. La alimentación se realiza a partir de una red trifásica de 6 kV propia de la fábrica, la que a su vez se alimenta desde la red de 30 kV, 50 Hz (supuesta de potencia infinita) mediante un transformador trifásico T.

Datos MS:
Valores nominales: 125 kVA, 6 kV (entre fases), 50 Hz.
Montaje trifásico en estrella, rotor cilíndrico de 2 polos.

Ensayos a frecuencia nominal:
a) Ensayo en vacío:

i_{exc} (A)	0	2	4	6	8	10	12	15.6
U_0 (kV) (entre fases)	0	2.2	4.4	6.00	6.88	7.49	7.82	8.25

b) Ensayo en devatado bajo tensión nominal: i_{exc}= 11.33 A, Id = 12 A
c) Ensayo en cortocircuito: i_{exc}= 3 A, Icc = 9 A

Datos T:
Transformador trifásico, 30/6 kV, 125 kVA, 50 Hz, montaje Yyn.
u_{cc} % = 15% . Pérdidas despreciables. Alimentado con la tensión primaria nominal, en vacío la tensión secundaria es igual a la nominal.

Se pide:
1) Suponiendo que en bornes de MS se tiene tensión y frecuencia nominales constantes, determinar la corriente de excitación de MS para que este motor pueda mover una carga de 100 kW a la velocidad de sincronismo, consumiendo la mínima corriente de línea, y calcular dicha corriente de línea.

2) Teniendo en cuenta que la alimentación se realiza efectivamente mediante el transformador T, y suponiendo que en esa instalación MS es la única carga significativa de dicho transformador, calcular la corriente que el motor MS consumiría si se fijase la corriente de excitación en el valor calculado en 1). Calcular la tensión que se tendría en bornes de MS en ese caso.

Notas:
a) En la pregunta 1) se empleará el método de Potier.
b) Para la pregunta 2) se admitirá que, para un valor fijo de la corriente de excitación, un modelo suficientemente preciso de MS es el constituído por una fuente de tensión $E(i_{exc})$ en serie con una reactancia sincrónica $Xs(i_{exc})$.
c) A los efectos de la resolución, se despreciará las pérdidas de MS así como la caída de tensión óhmica en los bobinados de estator de MS, y se admitirá la linealización por tramos de la curva de vacío.

FAC. INGENIERIA
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Examen de: **MAQUINAS ELECTRICAS (P. 1997)**

10 de Febrero de 2006.

Examen Total

Parte Práctica (Problemas: 50% del examen) (Eliminatorio: mínimo 50% del práctico)

Problema No. 2 (50% del práctico, 25% del examen)

En una pequeña planta industrial se instala un motor sincrónico MS para accionar un compresor de aire que consume una potencia de 18 kW a 1500 rpm.

Datos de MS: valores nominales de acuerdo a la chapa:
70 kVA, 50 Hz, 400 V montaje estrella, 101 A, cos φ = 1, 4 polos.

MS está provisto de un sistema de excitación del cual se dispone de poca información, y por esa razón se decide en primera instancia no modificar la regulación de su corriente de excitación del valor preestablecido por el fabricante, y que corresponde al punto de funcionamiento nominal.

En la instalación considerada se alimenta MS a partir de la red trifásica (sin neutro) de 220 V, 50 Hz, para lo cual se le cambia el conexionado a triángulo. En esas condiciones, y antes de acoplarlo mecánicamente al compresor, se midió una corriente de línea de 76.4 A.

Se pide:

1) Calcular la corriente de línea y el factor de potencia de MS cuando funcione cargado por el compresor, en la red indicada.

2) Antes del montaje del grupo MS-compresor la planta presentaba consumos eléctricos mensuales medios de 1940 kWh y 938 kVARh. Sabiendo que el grupo MS-compresor trabaja 200 h/mes, y que no hay otros cambios en la instalación, calcular los nuevos consumos eléctricos mensuales medios de la planta.

3) La tarifa de la energía eléctrica cobra la reactiva si el factor de potencia medio mensual es inferior a 0.95. Se pide corregir el factor de potencia de la instalación de forma de no pagar cargos de reactiva modificando con ese fin la regulación de la excitación de MS. Determinar el rango de variación (en proporción al valor preestablecido por el fabricante) dentro del cual deberá fijarse la nueva corriente de excitación a efectos de no tener penalización por bajo factor de potencia.

Notas y datos complementarios:

- A los efectos de la resolución del problema, se supondrá despreciables la resistencia del bobinado de cada fase de MS, y también todas las pérdidas: Joule en el estator y rotor, pérdidas en el hierro, y pérdidas mecánicas en el eje.
- Por razones constructivas de MS, se sabe que su reactancia sincrónica no puede ser inferior a 0.5 p.u.
- Para MS se adoptará un modelo de polos lisos y sin saturación (modelo de Behn-Eschemburg).

INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Examen de: MAQUINAS ELECTRICAS (P. 1997)

10 de Febrero de 2006.

Examen Total

Parte Teórica (Preguntas: 50% del examen)

1) Diagrama de Mordey. (50% del teórico, 25% del examen)

a) Describir el diagrama de Curvas "en V" (o diagrama de Mordey) de una Máquina Sincrónica (MS) de polos lisos en régimen lineal. Indicar qué parámetros del funcionamiento de la máquina se grafica en abscisas y en ordenadas, y qué familia de curvas se representa en el diagrama, bajo qué hipótesis.
b) A partir del diagrama fasorial de la MS, supuesta con resistencia de fase de estator despreciable, dar una explicación a la forma general de la familia de curvas representada en el diagrama de Mordey.
c) Indicar el andamiento particular que tienen las curvas correspondientes a potencia activa nula, y cómo se puede explicar el mismo.
d) Describir cualitativamente cómo deberían deformarse las curvas del diagrama si la MS presentara saturación. Indicando que parte de las curvas se deformaría y en qué sentido.

2) Máquina Sincrónica de polos salientes en régimen lineal. P = f(E, δ) (50% del teórico, 25% del examen)

A partir de la expresión general de la tensión en bornes de una MS de polos salientes en régimen permanente sinusoidal:

$$\vec{V}_s + R_s \vec{I}_s = -j\omega \vec{\psi}_s \qquad \text{con} \quad \vec{\psi}_s = \vec{\psi}_d + \vec{\psi}_q \quad \text{y} \quad \vec{\psi}_d = M_{rs} \vec{I}_r + L_d \vec{I}_d$$

$$\vec{\psi}_q = L_q \vec{I}_q$$

Se pide:
a) Deducir la expresión de la potencia activa **P = función (E , δ)** , suponiendo conocidos los parámetros de MS : R_s (se admitirá $R_s \approx 0$), $X_d = \omega L_d$, $X_q = \omega L_q$ y el régimen de funcionamiento: Vs constante, frecuencia constante, e Is dato (módulo y fase).
b) Mostrar que $P \neq 0$ cuando $I_r = 0$, e indicar cuál es el valor de δ correspondiente al límite de estabilidad estática en ese caso.

Notación: $E = \omega M_{rs} |\vec{I}_r|$, y δ = ángulo interno de la máquina, entre $\vec{V}_s$ y $-j\omega M_{rs} \vec{I}_r$

2

DEPARTAMENTO FAC. INGENIERIA MONTEVIDEO

INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Examen de: **MAQUINAS ELECTRICAS (P. 1997)**

10 de Febrero de 2006.

Examen Parcial

Parte Teórica (Preguntas: 100% del examen)

1) Armónicos en los transformadores trifásicos. (30% del examen)

a) Explicar cuáles son las causas que normalmente provocan la aparición de armónicos en las corrientes y tensiones de un transformador trifásico, aún cuando se lo alimente en su primario con un sistema de tensiones trifásicas, equilibradas y directas, perfectamente sinusoidales, sin armónicos.

b) Indicar los métodos constructivos que conoce para reducir o limitar la amplitud de los armónicos de tensiones y corrientes en los bobinados primario y secundario de un transformador trifásico YNyn, justificando los mismos e indicando el campo de aplicación de cada método.

2) Diagrama de Mordey. (35% del examen)

a) Describir el diagrama de Curvas "en V" (o diagrama de Mordey) de una Máquina Sincrónica (MS) de polos lisos en régimen lineal. Indicar qué parámetros del funcionamiento de la máquina se grafica en abscisas y en ordenadas, y qué familia de curvas se representa en el diagrama, bajo qué hipótesis.

b) A partir del diagrama fasorial de la MS, supuesta con resistencia de fase de estator despreciable, dar una explicación a la forma general de la familia de curvas representada en el diagrama de Mordey.

c) Indicar el andamiento particular que tienen las curvas correspondientes a potencia activa nula, y cómo se puede explicar el mismo.

d) Describir cualitativamente cómo se deformarían las curvas del diagrama si la MS presentara saturación. Indicar qué parte de las curvas se deformaría y en qué sentido.

3) Máquina Sincrónica de polos salientes en régimen lineal. P = f(E, δ) (35% del examen)

A partir de la expresión general de la tensión en bornes de una MS de polos salientes en régimen permanente sinusoidal:

$$\vec{V}_s + R_s \vec{I}_s = -j\omega \vec{\psi}_s \qquad \text{con} \quad \vec{\psi}_s = \vec{\psi}_d + \vec{\psi}_q \quad \text{y} \quad \vec{\psi}_d = M_{rs} \vec{I}_r + L_d \vec{I}_d$$

$$\vec{\psi}_q = L_q \vec{I}_q$$

Se pide:

a) Deducir la expresión de la potencia activa **P = función (E , δ)** , suponiendo conocidos los parámetros de MS : R_s (se admitirá $R_s \approx 0$), $X_d = \omega L_d$, $X_q = \omega L_q$ y el régimen de funcionamiento: V_s constante, frecuencia constante, e I_s dato (módulo y fase).

b) Mostrar que $P \neq 0$ cuando $I_r = 0$, e indicar cuál es el valor de δ correspondiente al límite de estabilidad estática en ese caso.

Notación: $E = \omega M_{rs} |\vec{I}_r|$, y δ = ángulo interno de la máquina, entre $\vec{V}_s$ y $-j\omega M_{rs} \vec{I}_r$

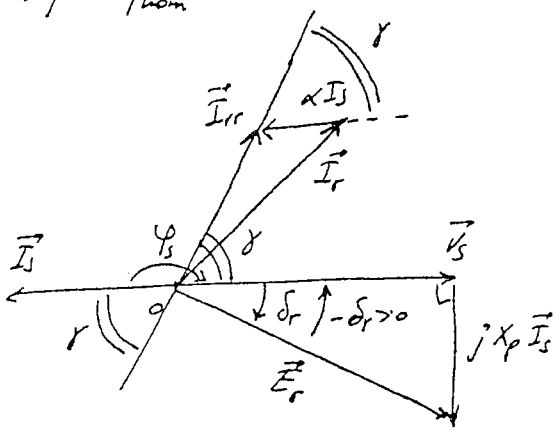
Problema Nº1 - Solución propuesta.

Previo: Determinación de α y X_p de Potier: Ver hoja adjunta

$$\boxed{\begin{array}{l}\alpha = 0{,}254 \\ X_p = 48{,}11\ \Omega\end{array}}$$

1) Determinación de i_{exc} para que MS pueda mover una carga de 100 kW con corriente I_s mínima.

Hip. $\begin{cases} V_s = V_{snom} = cte \\ f = f_{nom} = cte \end{cases}$ Método de Potier, Conv. de signo: generador



$|\vec{I}_s|_{min} \Rightarrow |\cos\varphi_s| = 1$

En conv. generador: $\varphi_s = \pi$

$P = 3 V_s I_s \cos\varphi_s = -3 V_{sn} I_{smin}$

$$\boxed{|I_{smin}| = \frac{|P|}{3 V_{sn}} = \frac{100}{\sqrt{3}\ 6} = 9{,}62\ A}$$

$$E_r = \sqrt{V_{sn}^2 + (X_p I_{smin})^2}$$

$$E_r = \sqrt{\left(\frac{6000}{\sqrt{3}}\right)^2 + (48{,}11 \cdot 9{,}62)^2} = 3494{,}9 \simeq 3495\ V$$

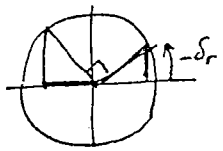
$$P = 3\,\frac{V_{sn} E_r}{X_p} \sin\delta_r \Rightarrow \sin\delta_r = \frac{P X_p}{3 V_{sn} E_r} = \frac{(-100\ 10^3)\ 48{,}11}{3\left(\frac{6\ 10^3}{\sqrt{3}}\right) \cdot 3495} = -0{,}13246$$

$$\Rightarrow \delta_r = -7{,}612^\circ$$

$$\boxed{I_r^2 = I_{rr}^2 + (\alpha I_s)^2 - 2 I_{rr} \cdot \alpha I_s \cos(\pi - \gamma)}$$

$$\gamma + (-\delta_r) = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \pi - \gamma = \pi - \left[\frac{\pi}{2} + (-\delta_r)\right] = \frac{\pi}{2} + (-\delta_r)$$

$$\cos(\pi - \gamma) = \cos\left(\frac{\pi}{2} + (-\delta_r)\right) = -\sin(-\delta_r)$$



$$E_r = 3495\ V \rightarrow \sqrt{3}\, E_r = 6053{,}5\ V$$

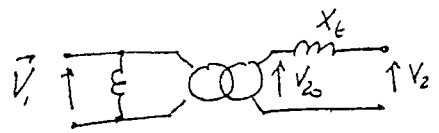
$$\Rightarrow I_{rr} = 6 + \frac{8-6}{6{,}88-6}(6{,}054-6) = 6{,}123\ A$$

$$\Rightarrow i_{exc} = I_r = \sqrt{6{,}123^2 + (0{,}254 \cdot 9{,}62)^2 + 2 \cdot 6{,}123 \cdot 0{,}254 \cdot 9{,}62 \sin 7{,}612^\circ} = 6{,}887\ A$$

$$\boxed{i_{exc} = 6{,}89\ A.}$$

DEPARTAMENTO DE ... FAC. INGENIERIA ... DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

2) Previo: Modelo del Transformador TR (por fase)



La corriente de vacío no interesa (está siempre alimentada desde el primario)

$|\vec{V}_1| = \frac{30\ kV}{\sqrt{3}}$ (fuente de potencia infinita)

$$m = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_{20}}{V_1} = \frac{30}{6}$$

$$Z_{b_2} = \frac{U_{2n}^2}{S_n} = \frac{6000^2}{125\ 10^3} = 288\ \Omega$$

$$\boxed{X_t = u_{cc}\% \cdot Z_{b_2} = 0,15 \cdot 288 = 43,2\ \Omega}$$

Modelo de MS (como $X_s(i_{exc})$, = cte si i_{exc} = cte)

$i_{exc} = 6,89$ A.

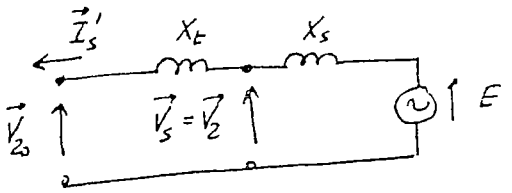
$$X_s(i_{exc}) = \frac{E(i_{exc})}{I_{sc}(i_{exc})}$$

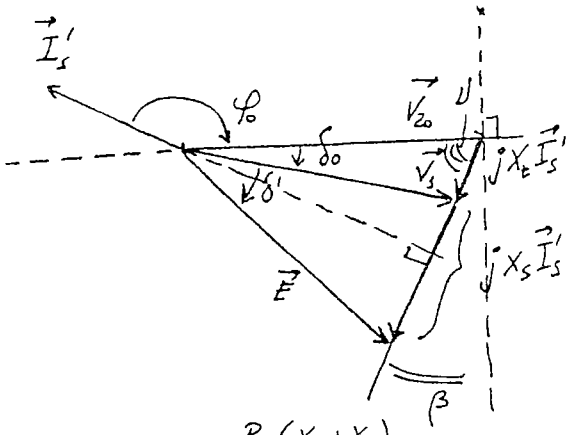
$$E(i_{exc}) = \frac{1}{\sqrt{3}}\left[6000 + \frac{6880-6000}{8-6}(6,89-6)\right] = 3,69\ kV$$

$$I_{sc}(i_{exc}) = 9.A \cdot \frac{6,89}{3} = 20,67\ A$$

$$\boxed{X_s(i_{exc}) = \frac{3690}{20,67} = 178,5\ \Omega}$$

MS + TR, con $i_{exc} = 6,89$ A = cte.





$V_{20} = \frac{6000}{\sqrt{3}} = 3464,1$ V, cte.

$E = 3690$ V

(1) $$P = 3\frac{V_{20}\,E}{(X_s+X_t)}\sin(\delta_0+\delta_s') \Rightarrow \sin(\delta_0+\delta_s') = \frac{P\,(X_s+X_t)}{3\,V_{20}\,E}$$

$$\sin(\delta_0+\delta_s') = \frac{(-100\ 10^3)(43,2+178,5)}{3.\ 3464,1 \cdot 3690} = -0,5781 \Rightarrow \delta_0+\delta_s' = -35°,32$$

(2) $$(X_t+X_s)^2 I_s'^2 = V_{20}^2 + E^2 - 2\,V_{20}.E.\cos(\delta_0+\delta_s')$$

$$I_s' = \frac{\sqrt{V_{20}^2+E^2-2V_{20}E\cos(\delta_0+\delta_s')}}{(X_t+X_s)} = \frac{\sqrt{3464,1^2+3690^2-2.3464,1.3690\cos 35°,32}}{(43,2+178,5)}$$

$$\boxed{I_s' = 9,84\ A}$$

DEPARTAMENTO FAC. INGENIERIA DOCUMENTACION Y BIBLIOTECAS

(3) $P = 3 V_{20} I'_s \cos\varphi_0 \Rightarrow \cos\varphi_0 = \dfrac{P}{3 V_{20} I'_s} = \dfrac{-100\ 10^3}{3 \cdot 3464,1 \cdot 9,84} = -0,9779$

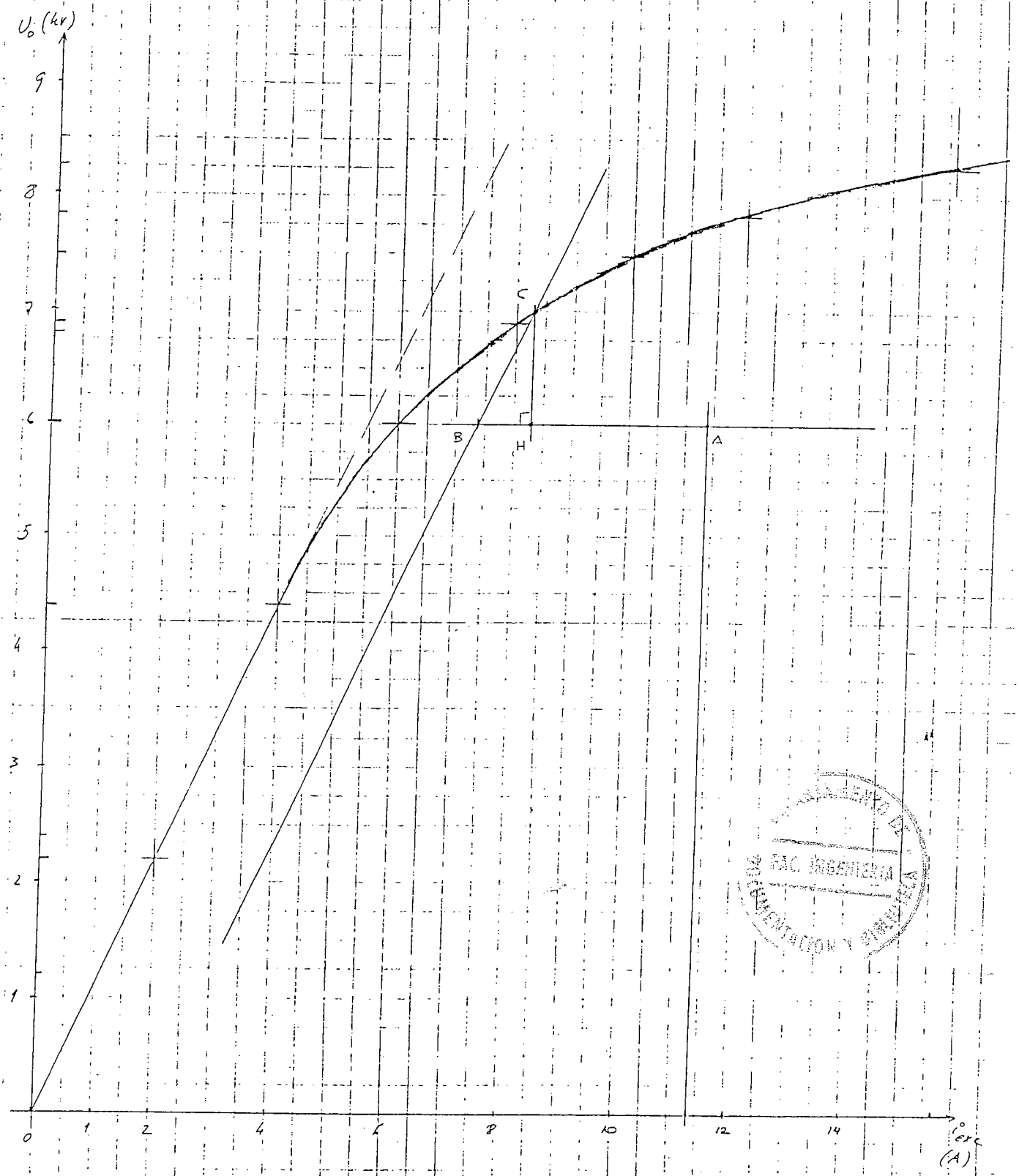
$$\varphi_0 = 167°,93$$
$$\beta = \pi - \varphi_0 = 12°,07$$
$$\nu = \frac{\pi}{2} - \beta = 77°,93$$

(4) $V_s^2 = V_{20}^2 + (X_t \cdot I'_s)^2 - 2 V_{20} (X_t I'_s) \cos\nu$

$$\boxed{V_s = \sqrt{3464,1^2 + (43,2 \cdot 9,84)^2 - 2(3464,1 \cdot 43.2 \cdot 9,84) \cos 77°,93} = 3400,7\ V}$$

$$\boxed{U_s = \sqrt{3}\, V_s = 5890\ V} \Rightarrow \boxed{u_s = \frac{U_s}{U_{s_{nom}}} = 0,98}$$

FAC. INGENIERIA
DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA



$AH = \alpha I_{sd} = 30{,}5 \text{ mm} = 3{,}05 \text{ A}$

$CH = \sqrt{3}\, X_p I_{sd} = 20 \text{ mm} = 1 \text{ kV}$

$I_{sd} = 12 \text{ A} \Rightarrow$

$$\boxed{\begin{aligned} \alpha &= \frac{3{,}05 \text{ A}}{12 \text{ A}} = 0{,}254 \\ X_p &= \frac{1000 \text{ V}}{\sqrt{3}\ 12 \text{ A}} = 48{,}11\ \Omega \end{aligned}}$$

Problema Nº 2. Solución propuesta

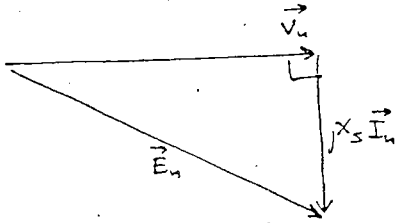
Determinación de E_n y X_s: (Se adopta conv. de signos alternador (o generador))

a) Func. nominal

$U_n = 400\ V$

$V_n = \frac{400\ V}{\sqrt{3}} = 230.94\ V \simeq 231\ V$

Diagrama por fase: (≡ entre fase y neutro)



① $\boxed{E_n^2 = V_n^2 + (X_s I_n)^2}$

b) Func. en vacío, en Δ, en la red de la planta ind.

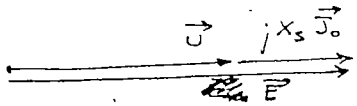
$U = 220\ V$; $J_0 = \frac{I_0}{\sqrt{3}}$

De ① ⇒ $E_n > V_n \approx 231\ V > 220\ V$

Sin Resistencia ni pérdidas.

con $|\vec{E}| = E_n$.

Diagrama por fase (≠ entre fase y neutro)



② $\boxed{E_n = U + X_s \frac{I_0}{\sqrt{3}}}$

① y ② → $U^2 + 2U\frac{I_0}{\sqrt{3}}X_s + X_s^2\frac{I_0^2}{3} = V_n^2 + X_s^2 I_n^2$

③ $\boxed{\left(I_n^2 - \frac{I_0^2}{3}\right)X_s^2 - 2U\frac{I_0}{\sqrt{3}}X_s + (V_n^2 - U^2) = 0}$

$$\left(101^2 - \frac{76.4^2}{3}\right)X_s^2 - 2 \cdot 220\ \frac{76.4}{\sqrt{3}}\ X_s + \left(\frac{400^2}{3} - 220^2\right) = 0$$

$$8255.3\ X_s^2 - 19408.2\ X_s + 4933.3 = 0 \Rightarrow X_s = \begin{cases} 2{,}061\ \Omega \\ 0{,}290\ \Omega \end{cases}$$

Si $X_s = 2{,}061\ \Omega \rightarrow x_s\ (p.u.) = \frac{2{,}061}{\left(\frac{V_n}{I_n}\right)} = \frac{2.061}{\left(\frac{400}{\sqrt{3}\cdot 101}\right)} = 0.901$

Si $X_s = 0.290\ \Omega \rightarrow x_s\ (p.u.) = \frac{0.290}{\left(\frac{V_n}{I_n}\right)} = \frac{0.290}{\left(\frac{400}{\sqrt{3}\ 101}\right)} = 0{,}127$, se descarta

pues $x_s > 0{,}50$ (utópico).

Solución: $\boxed{\begin{array}{l} X_s = 2.061\ \Omega \\ E_n = 220 + 2.061 \cdot \frac{76.4}{\sqrt{3}} = 310.9\ V \end{array}}$

DEPARTAMENTO DE FAC. INGENIERIA DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

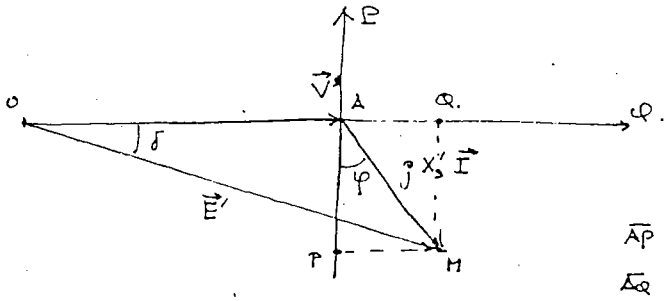
Para el funcionamiento en Δ, en la red de la planta industrial, adoptaremos un esquema en λ equivalente, con

$$V' = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V}$$

$$E' = \frac{E_n}{\sqrt{3}} = \frac{310.9}{\sqrt{3}} = 179.5 \text{ V}$$

$$X_s' = X_{s_\lambda}' = \frac{1}{3} X_{s_\Delta} = \frac{2.061}{3} = 0.687 \ \Omega$$

c) Func. en carga, en Δ, representado en λ equiv.



$$\overline{AP} = X_s' I \cos\varphi$$

$$\overline{AQ} = X_s' I \sin\varphi$$

También

$$\overline{AP} = X_s' I \cos\varphi = E' \sin\delta$$

$$\overline{AQ} = E' \cos\delta - V'$$

$$P = 3V' I \cos\varphi = \left(\frac{3V'}{X_s'}\right) \overline{AP}$$

$$\Rightarrow \overline{AP} = \frac{X_s'}{3V'} P = E' \sin\delta \Rightarrow \sin\delta = \frac{X_s'}{3V'} \frac{P}{E'}$$

$$\sin\delta = \frac{0.687}{3 \cdot 127} \cdot \frac{18 \cdot 10^3}{179.5} = 0,1808 \rightarrow \boxed{\delta = 10^\circ.417}$$

$$\overline{AQ} = E' \cos\delta - V' = 179.5 \cos 10^\circ.417 - 127 = 49.54 \text{ v.}$$

$$\overline{AP} = E' \sin\delta = 179.5 \cdot 0,1808 = 32.45 \text{ v.}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\overline{AQ}}{\overline{AP}} = \frac{49.54}{32.45} = 1.5267 \rightarrow \varphi = 56^\circ,77$$

1) $\Rightarrow \boxed{\cos\varphi = 0.5479}$

$$X_s' I = \sqrt{\overline{AP}^2 + \overline{AQ}^2} = \sqrt{32,45^2 + 49.54^2} = 59.22 \text{ v}$$

$$\boxed{I = 86.20 \text{ A}}$$

...AMENTO DE
FAC. INGENIERIA
...CUMENTACION Y BIBLIOTECA

2) Ms:

$$P = -18 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U I \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 86.2 \sin 56^\circ.77 = 27,478 \text{ kVAR}.$$

Nuevos consumos mensuales medios: (Conv. de signos receptor: Consumo > 0 si $\begin{cases} P < 0 \\ Q < 0 \end{cases}$)

$$\boxed{\begin{aligned} E_{act} &= 1940 + 18 \cdot 200 = 5540 \text{ kWh}. \\ E_{react} &= 938 - 27.478 \cdot 200 = -4557.6 \text{ kVARh}. \end{aligned}}$$

FAC. INGENIERIA DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

3) Factor de potencia de la instalación

$$tg\,\varphi' = \frac{E_{react}}{E_{act.}} = -\frac{4557.6}{5540} = -0,82267 \Rightarrow \varphi' = -39°,443$$

$$\Rightarrow \boxed{\cos\varphi' = 0,7723}$$ Carga capacitiva.

DEPARTAMENTO FAC. INGENIERIA DOCUMENTACION Y MANUALES

Modificando la excitación de MS:

En convención de signo receptor:

$$E_{at} = E_a + E_{aMS} = 1940 + 18 \cdot 200 = 5540 \text{ kWh}$$

$$E_{rt} = E_r + E_{rMS} = 938 + E_{rMS} \quad (\text{kVArh})$$

Se busca $\cos\varphi = 0,95$, capacitivo o inductivo $\Rightarrow |tg\,\varphi| = 0,3287$

$$\Rightarrow |E_r + E_{rMS}| = 0,3287\,(E_a + E_{aMS}) = 0,3287 \cdot 5540 = 1821 \text{ kVArh}$$

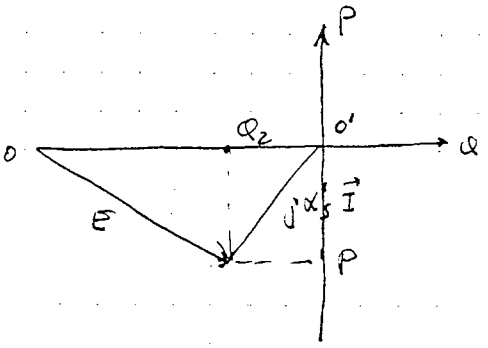
a) $E_r + E_{rMS} = -1821$ kVArh $\Rightarrow E_{rMS_1} = -(+1821+938) = -2759$ kVArh

b) $E_r + E_{rMS} = 1821$ kVArh $\Rightarrow E_{rMS_2} = 1821 - 938 = 883$ kVArh

Teniendo en cuenta que MS trabaja 200 h/mes $\Rightarrow Q_{MS_1} = -\frac{2759}{200} = -13,80$ kVAr

$$Q_{MS_2} = \frac{883}{200} = 4,42 \text{ kVAr}$$

Pasando a convención de signo generador: $\begin{cases} Q_{MS_1} = 13,80 \text{ kVAr} \\ Q_{MS_2} = -4,42 \text{ kVAr} \end{cases}$



$$O'P = \frac{X'_s}{3V'} \cdot P = \frac{0,687 \cdot 18 \cdot 10^3}{3 \times 127} = 32,46 \text{ V}$$

$$O'Q_1 = \frac{X'_s}{3V'} \cdot Q_{MS_1} = \frac{0,687 \cdot 13800}{3 \times 127} = 24,88$$

$$E_1 = \sqrt{(127 + 24,88)^2 + 32,46^2} = 155,31 \text{ V}$$

$$\boxed{i_{exc_1} = \frac{155,31}{179,5} = 0,865\ i_{exc_n}}$$

$$O'Q_2 = \frac{X'_s}{3V'} \cdot Q_{MS_2} = \frac{0,687 \cdot (-4420)}{3 \times 127} = -7,97 \text{ V}$$

$$E_2 = \sqrt{(127 - 7,97)^2 + 32,46^2} = 123,38 \text{ V}$$

$$\boxed{i_{exc_2} = \frac{123,38}{179,5} = 0,687\ i_{exc_n}}$$

$$\Rightarrow \boxed{0,687\, i_{exc_n} < i_{exc} < 0,865\, i_{exc_n}}$$

para no tener carga de reactiva

El valor preferible es para $\cos\varphi = 1 \Rightarrow E_{rMS} = -938$ (react)

$\Rightarrow E_{RMS} = 938$ kVArh (gen) $\Rightarrow Q_{MS} = \underline{4,69 \text{ kVAr}} \Rightarrow$ ~~[illegible]~~