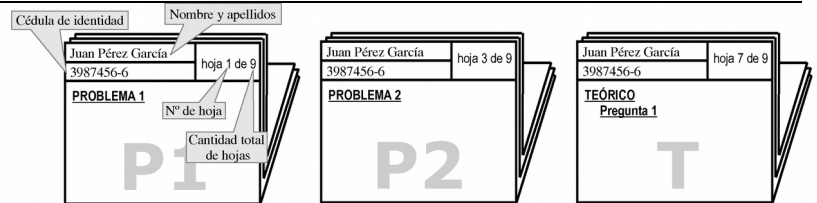


**LEER ESTO CON ATENCIÓN**

- Doblar las hojas CON PROLIJIDAD y con el NOMBRE VISIBLE en TRES paquetes como en los dibujos.
- NO escribir a ambos lados de cada hoja.
- Hacer LETRA PROLIJA, lo que no se entienda no se corrige.



- Usar mínimo 4 cifras significativas en los cálculos. Ej.: 0.002105, 12.36, 1234000.
- El uso de TELÉFONO durante la prueba conllevará el inmediato retiro de la misma.
- Durante la lectura de la letra y en **dos instancias de 10 minutos cada una**, a una hora y dos horas de iniciada la prueba, se responderán dudas **de letra en voz alta y desde el banco**. Fuera de esos intervalos **NO ES POSIBLE ATENDER NINGÚN TIPO DE CONSULTA. POR FAVOR NO INSISTA**, en caso de duda realice una hipótesis razonable y continúe.
- Extensión de las respuestas: se **sugiere** no mas de **3 carillas por problema**, y no más de **1 carilla por pregunta** teórica.

**PROBLEMA 1** – Se dispone de un motor de inducción trifásico con rotor jaula de ardilla, cuyos datos se listan abajo.

1. Determinar los parámetros  $R_1+R_{2e}$ ,  $X_1+X_{2e}$ ,  $X_0$  del modelo monofásico estrella equivalente del motor.
2. Determinar  $R_1$  y  $R_{2e}$ . Tomar la solución que tiene sentido (ambas resistencias con el mismo orden de magnitud).
3. Se decide cambiar el tipo de jaula por una de bronce para obtener un mayor par de arranque. Indique el valor de resistencia para el rotor (visto desde el estator, o sea el nuevo  $R_{2e}$ ) que permitiría obtener el máximo par de arranque.
4. Con el nuevo rotor de bronce, indicar el porcentaje de incremento del par de arranque respecto al rotor original.
5. Hallar la nueva potencia nominal del motor con la jaula de bronce, asumiendo que las condiciones de disipación térmica y temperatura ambiente no varían.

Datos MI:

20 kW (en el eje), 230 V, 50 Hz, 1440 rpm

Ensayos a 50Hz:

Ensayo en vacío: 220 V, 19 A. Se desprecia la potencia activa consumida.

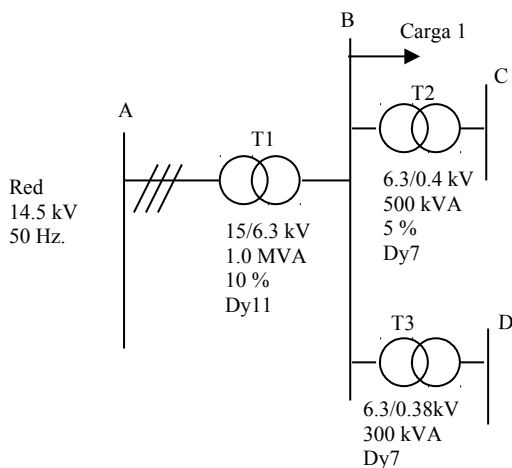
Ensayo de rotor bloqueado: 36 V, 60 A, 1750 W.

Nota: En todo el problema se desprecian las pérdidas mecánicas.

**PROBLEMA 2** – En el circuito unifilar de la figura todos los transformadores y cargas son trifásicas de 50 Hz de frecuencia nominal.

Se pide:

- 1) Circuito monofásico estrella equivalente a nivel 6300 V con las barras C y D en vacío.
- 2) Estando las barras C y D en vacío determinar la tensión en las barras: B, C y D.
- 3) Se conecta a la barra D la carga 2 y en la barra C se conecta una máquina sincrónica (MS), la cual se opera como compensador sincrónico de forma tal que la tensión en la barra B sea 6195V. Determinar la tensión en las barras C y D.
- 4) En la situación de (3) determinar la corriente de excitación de MS.



Carga 1: bajo 6100 V consume 9.5 A y 95 kW.

Carga 2: bajo 380 V consume 275 kVA con un factor de potencia 0.9 inductivo.

T3) Ensayo de cortocircuito:  $U_{cc} = 300$  V  $I_{cc} = 9$  A  $P_{cc} = 500$ W. Ensayo efectuado a 50 Hz.

No se consideran las impedancias de vacío de los transformadores.

MS) 400 V, 50 Hz, 400 kVA,  $X_s = 20$  %,  $E = 432$  i (E tensión de línea en voltios, i corriente de excitación en Amperes). No se consideran perdidas en la máquina.

---

## TEÓRICO

### 1) Circuito magnético:

A dos toroides iguales de largo  $L = 0,2$ , sección  $S = 0,001$  y permeabilidad  $\mu = 0,003$ , se les pone un bobinado que enrolla ambos toroides. La cantidad de vueltas  $N$  es 40.

Se le aplica al bobinado un voltaje de 200V 50Hz de fase cero.

- a) Determinar el valor del fasor corriente.
- b) Se puede sacarle largo a uno de los toroides para agregarle al otro. Siempre se debe mantener que la suma de los largos de los dos toroides debe ser 0,4. También se sabe que por razones físicas el largo mínimo no puede ser inferior a 0,1. En estas condiciones determinar el valor de los largos ( $L_1$  y  $L_2$ ) para que la corriente tomada por la fuente sea mínima.

Nota: todas los valores corresponden a unidades del Sistema Internacional.

---

### 2) Transformadores:

Demostrar las condiciones que deben cumplir dos transformadores trifásicos en paralelo, para que la corriente se reparta en proporción a sus potencias nominales.

---

### 3) Máquina de inducción:

Deducir el modelo de funcionamiento de la máquina de inducción de doble jaula.

Mostrar:

- Característica  $C(g)$ .
- Modelo monofásico estrella equivalente.
- Describirlo físicamente.

## PROBLEMA 1

$$2) \text{ Vecio: } X_0 = \frac{220/\sqrt{3}}{19} = \underline{6.68 \Omega}$$

$$\text{Pot. blyq.: } \bar{Z}_{ze} = \frac{36/\sqrt{3}}{60} \angle \arccos \frac{1750}{\sqrt{3} \cdot 36 \cdot 60} = 0.3464 \angle 62.11^\circ = (0.1620 + j 0.3062) \Omega$$

$$\underline{R_1 + R_{ze} = 0.1620 \Omega}$$

$$\underline{X_1 + X_{ze} = 0.3062 \Omega}$$

$$2) P_M = 3 R_{ze} \frac{(1-g)}{g} I_{ze}^2 = R_{ze} \frac{(1-g)}{g} \frac{U_N^2}{\left(\frac{R_1 + R_{ze}}{8}\right)^2 + X^2}$$

$(X = X_1 + X_{ze}, R = R_1 + R_{ze})$

cuentas:

$$(1-g)^2 R_{ze}^2 + g(1-g) \left(2R - \frac{U_N^2}{P_M}\right) R_{ze} + (R^2 + X^2) g^2 = 0$$

$$\Rightarrow R_{ze} = \frac{0.09450 \Omega}{0.002205 \Omega}$$

$$\boxed{R_{ze} = 0.09450 \Omega}$$
$$\boxed{R_1 = 0.06750 \Omega}$$

$$3) C_A = R_{ze} \frac{60}{2\pi \cdot 15} \cdot \frac{U_N^2}{(R_1 + R_{ze})^2 + X^2}$$

$$\frac{dC_A}{dR_{ze}} = 0 \Rightarrow R_{ze}^{\text{bronce}} = \sqrt{R_1^2 + X^2} = \underline{0.3136 \Omega}$$

$$4) C_A = 265.2 \text{ Nm}, C_A^{\text{bronce}} = 441.9 \text{ Nm}, \underline{\text{incremento } 67\%}$$

5) Rotar original:

$$P_{\text{pérdidas}} = (R_L + R_{ze}) \frac{U_N^2}{\left(\frac{R_L + R_{ze}}{g_N}\right)^2 + X^2} = 1429 \text{ W}$$

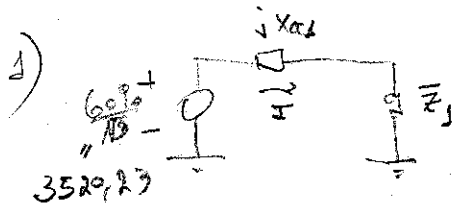
↑  
se debe mantener.

$$g_N^{\text{bronce}} = \frac{R_{ze}^{\text{bronce}}}{\sqrt{\frac{(R_L + R_{ze}^{\text{bronce}}) U_N^2}{P_{\text{pérdidas}}} - X^2} - R_L} = 0.1327$$

$$\Rightarrow P_N^{\text{bronce}} = P_M^{\text{bronce}} = R_{ze}^{\text{bronce}} \frac{(1 - g_N^{\text{bronce}})}{g_N^{\text{bronce}}} \frac{U_N^2}{\left(\frac{R_L + R_{ze}^{\text{bronce}}}{g_N^{\text{bronce}}}\right)^2 + X^2} =$$

$$= \underline{\underline{18068 \text{ W}}}$$

# Problemas



$$x_{a1} = 0,1 \times 6,3^2 = 3,97 \Omega$$

$$x_{a2} = 0,05 \times 6,3^2 = 3,97 \Omega$$

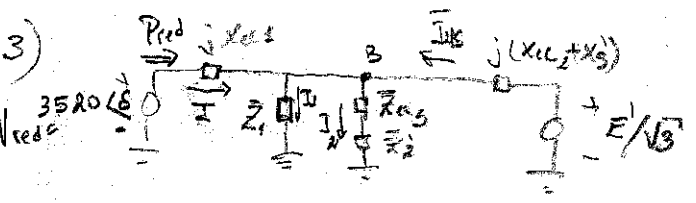
$$Z_{a3} = \frac{300/\sqrt{3}}{9} \angle \arccos\left(\frac{500}{\sqrt{3} \times 300 \times 9}\right) = 19,27 \angle 84^\circ \Omega$$

$$\bar{Z}_1 = \frac{6100/\sqrt{3}}{9,5} \angle \arccos\left(\frac{95 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6100 \times 9,5}\right) = 371,16 \angle 18,63^\circ = (351,7 + j118,6) \Omega$$

2)  $I = \frac{3520,23}{jX_{a1} + \bar{Z}_1} \Rightarrow I = 9,45 A$

$V_B = \bar{Z}_1 I = 3507,46 V \Rightarrow U_B = 6067,9 V \Rightarrow \begin{cases} U_C = 385,26 \\ U_D = 366 V \end{cases}$

$\bar{Z}_2 = 0,53 \angle 25,84^\circ$   
 $\bar{Z}_2' = \bar{Z}_2 \left(\frac{6,3}{0,4}\right)^2 = 131,41 \angle 25,84^\circ = 118,34 + j57,3$



Máquina síncrona:

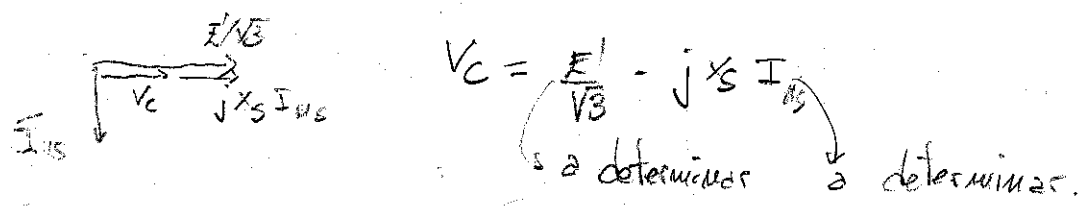
$x_s = 0,2 \times \frac{400^2}{400 \times 10^3} = 0,08 \Omega \Rightarrow x_s' = 0,08 \left(\frac{6,3}{0,4}\right)^2 = 20$   
 $x_{a2} + x_s' = 24 \Omega$

$\frac{E'}{\sqrt{3}} = j 24 \times \bar{I}_{HS} + \bar{V}_B$   
 compensated síncronico.  $E' \text{ actual} = \bar{V}_B$   
 $V_B = 6195/\sqrt{2} = 3581 V$

$\bar{I}_2 = \frac{3581}{\bar{Z}_{a3} + \bar{Z}_2} = \frac{3581}{120,3 + j76,5} = \frac{3581}{142,56 \angle 32,45^\circ} = 25,1 \angle -32,45^\circ \Rightarrow \bar{S}_2 = 3 \times 3581 \times \bar{I}_2^* = 269,6 \angle 32,45^\circ \times 10^3$

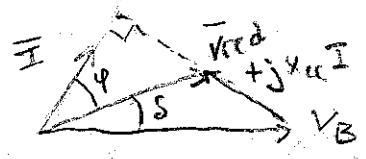
$\bar{I}_1 = \frac{3581}{\bar{Z}_1} = 9,65 \angle -18,63^\circ \Rightarrow \bar{S}_1 = 3 \times 3581 \times \bar{I}_1^* = 103,7 \times 10^3 \angle 18,63^\circ$

$V_D = I_2 \times \bar{Z}_2' = 3300 V \Rightarrow V_D^{380} = 199 V \Rightarrow U_D = 344,3 V$



4)  $P_2 = 269,6 \times 10^3 \cos 32,45 = 227,5 \text{ kW}$   
 $P_1 = 103,7 \times 10^3 \cos 18,63 = 98,3 \text{ kW}$

$P_{red} = P_1 + P_2 = 325,8 \text{ kW} = 3 \times \frac{3520 \times 3581}{X_{a1}} \text{ sen } \delta \Rightarrow \delta = 1,96^\circ$



$\bar{V}_{red} = j X_s I + \bar{V}_B \Rightarrow V_B = V_{red} - j X_{a1} \bar{I}$

$\bar{I} = \frac{3520 \angle 1,96^\circ - 3581}{3,97 \angle 90^\circ} = \frac{-63,1 + j120,4}{3,97 \angle 90^\circ} = \frac{136 \angle 117,7^\circ}{3,97 \angle 90^\circ}$

$\bar{I} = 34,25 A \angle 27,7^\circ \Rightarrow P = 25,74$

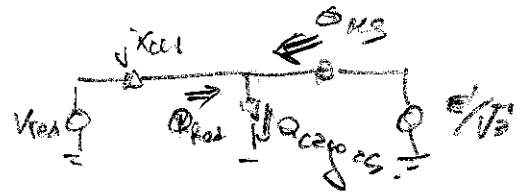
Lo red ve una carga capacitiva.  
 $Q_{red} = 3 \times 3520 \times 34,25 \text{ sen } 25,74$   
 $Q_{red} = 157,1 \text{ kVAR}$

$$Q_2 = 269,6 \sin 32,45 = 145,45 \text{ KVAR}$$

$$Q_1 = 103,7 \sin 18,63 = 33,1 \text{ KVAR}$$

$$Q_{\text{capos}} = 178,55 \text{ KVAR}$$

$$Q_{\text{Red}} = 3 \times 358 \times 34,25 \times \sin(-27,7) = -171 \text{ KVAR}$$



$$Q_{\text{MS}} = Q_{\text{capos}} - Q_{\text{Red}} = 171 + 178,55 = 349,5 \text{ KVAR}$$

$$I_{\text{MS}} = 32,5 \text{ A} \Rightarrow \frac{E'}{\sqrt{3}} = 358 + 24 \times 32,5 = 436 \Rightarrow E' = 754,5 \text{ V}$$

$$E = 479 \text{ V} \Rightarrow \underline{i = 1,1 \text{ A}}$$

$$V_c = 436 - 24 \times 32,5 = 358 \Rightarrow V_c^{400} = 227,4 \Rightarrow \underline{U_c = 393 \text{ V}}$$