

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

BIENVENIDOS AL CURSO

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



TRANSFORMADORES (Cambiar los niveles de tensión y corriente – Aislar eléctricamente dos circuitos)

- Monofásicos
- Trifásicos

LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE D.C. (Convertir Energía Eléctrica de D.C. en Energía Mecánica – Convertir Energía Mecánica en Energía Eléctrica de D.C.)

- Motores de D.C.
- Generadores D.C.

LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE A.C. (Convertir Energía Eléctrica de A.C. en Energía Mecánica – Convertir Energía Mecánica en Energía Eléctrica de A.C.)

- Motores de A.C.
- Generadores A.C.

Máquinas Eléctricas I

Máquinas Eléctricas II

MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS DE A.C.

Máquina Síncrona

Generador
Motor

Máquina de Inducción (Asíncrona)

Motor
Generador

TEMAS PARA REPASAR

Análisis de circuitos de alterna en estado estable.

Monofásicos
Trifásicos

Representación fasorial (Polar – Rectangular)

Potencia Aparente
Potencia Activa
Potencia Reactiva
Potencia Compleja
Factor de Potencia

Modelos de Carga

Impedancia
Potencia

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

GENERALIDADES DE LA MÁQUINA SÍNCRONA

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

MÁQUINA SÍNCRONA

FUENTE

MÁQUINA

CARGA



Este tipo de máquinas convierten energía eléctrica de AC en mecánica (Motor) o convierten energía mecánica en eléctrica de AC (Generador).

MÁQUINA SÍNCRONA

ROTOR

CAMPO

Su función es producir campo magnético. Esta no es la función principal de la máquina, sin embargo, es necesario para su operación.

ESTATOR

ARMADURA

Su función es actuar como puerto eléctrico, es decir, recibe o entrega la energía eléctrica (Motor o Generador).

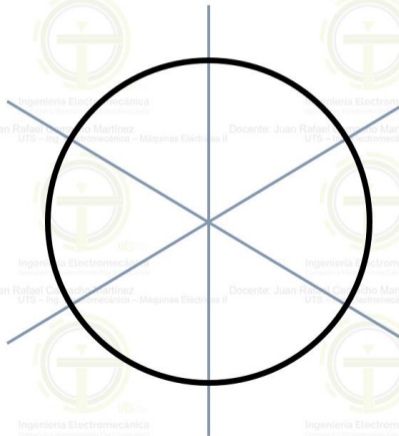
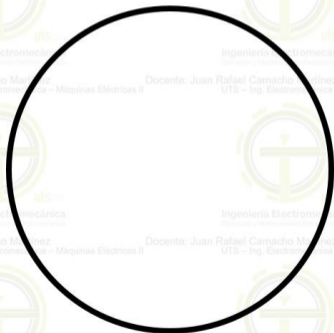
MÁQUINA SÍNCRONA

<div style="text-align: right;">Modo de operación</div> <div style="text-align: left;">Parte de la máquina</div>	MOTOR	GENERADOR
CAMPO (Usualmente está construido en el rotor)	Se debe alimentar con una fuente eléctrica de DC, es decir, debe existir la corriente de campo (I_f).	Se debe alimentar con una fuente eléctrica de DC, es decir, debe existir la corriente de campo (I_f).
ARMADURA (Usualmente está construida en el estator)	Se debe alimentar con una fuente eléctrica de AC, es decir, debe existir una tensión de armadura por fase (V_ϕ) impuesta, que ocasione la corriente de armadura (I_a) tomada de la fuente. $P_{in} = 3 V_\phi I_a \cos(\theta_{V_\phi} - \theta_{I_a})$	Se obtiene energía eléctrica de AC, es decir, a esta parte se debe conectar la carga eléctrica, la cual será energizada al voltaje de armadura por fase (V_ϕ) y solicitará una corriente de armadura (I_a). $P_{out} = 3 V_\phi I_a \cos(\theta_{V_\phi} - \theta_{I_a})$
EJE	Se obtiene un movimiento rotativo, lo que permite mover una carga de tipo mecánica que se acople al eje, aplicándole a dicha carga un torque de salida (T_{out}) que producirá una velocidad angular (ω). $P_{out} = T_{out}\omega$	Se acopla una fuente de energía mecánica que lo haga girar, es decir, se tendrá un torque de entrada (T_{in}) que producirá una velocidad angular (ω). $P_{in} = T_{in}\omega$

ARMADURA

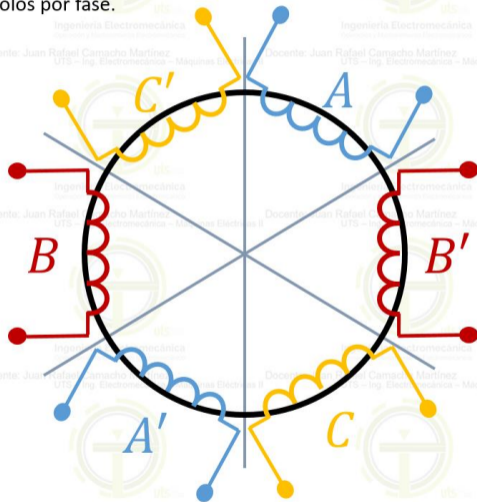
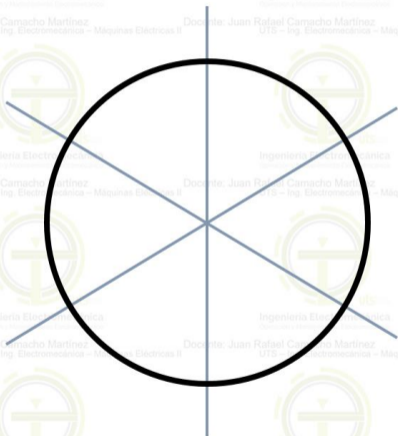
¿Cantidad de polos?

Siempre pares de polos por fase.

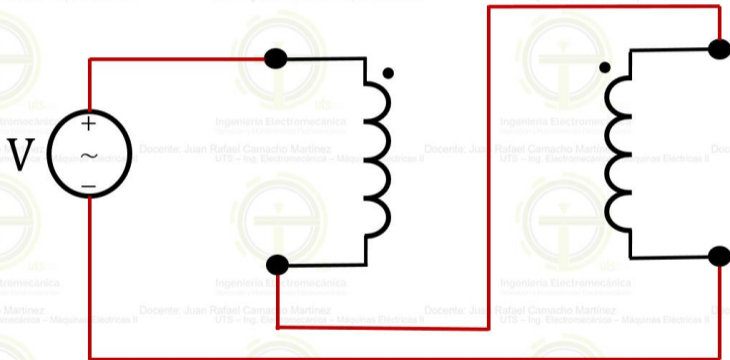


ARMADURA

Ejemplo: 2 polos por fase.



SIN LOGRAR EL COMPLEMENTO



LOGRANDO EL COMPLEMENTO

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

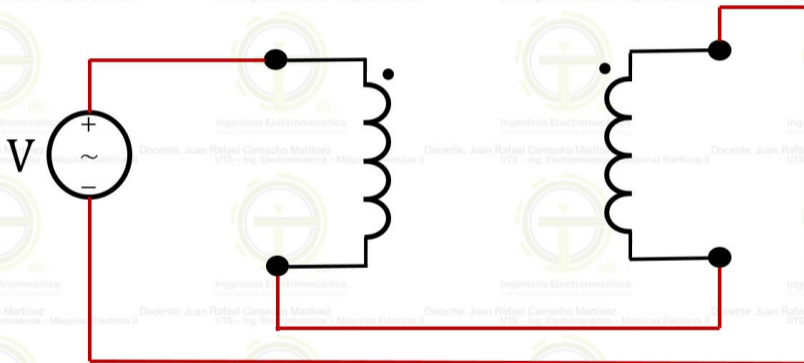
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

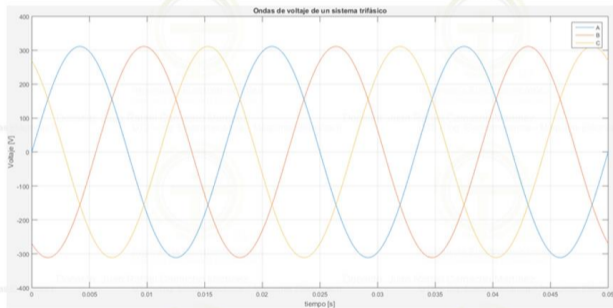
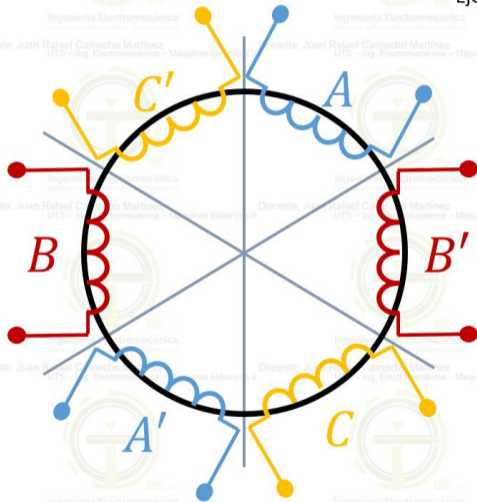
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Ingeniería Electromecánica
Máquinas y Motores Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

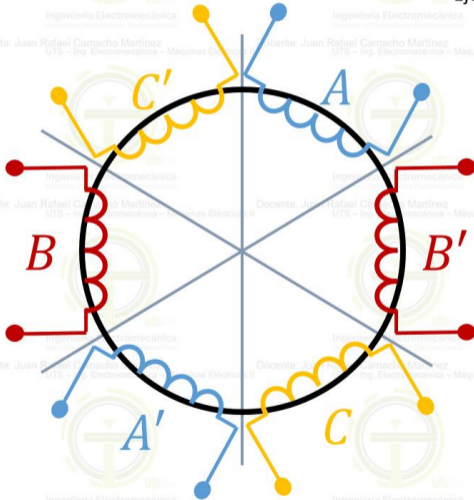
ARMADURA

Ejemplo: 2 polos por fase.



ARMADURA

Ejemplo: 2 polos por fase.



$$x \frac{\text{rad.}}{s} \rightarrow x \frac{\text{rad.} \cdot 1 \text{ vuelta}}{s \cdot 2\pi \text{ rad.}} \frac{60s}{1 \text{ min}}$$

ω_s : Velocidad angular síncrona

P' : Pares de polos por fase

P : Polos por fase.

$$\omega_s = \frac{2\pi f}{P'} \quad n_s = \omega_s \frac{30}{\pi}$$

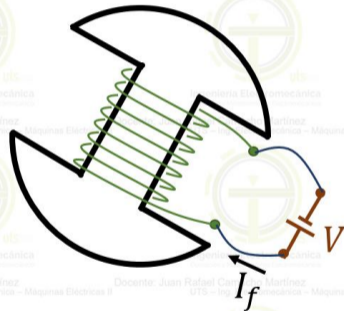
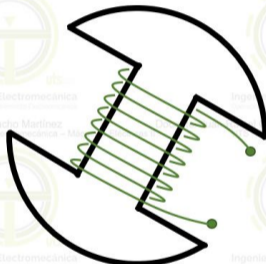
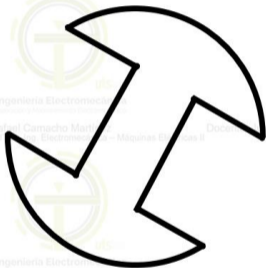
$$n_s = \frac{2\pi f \cdot 30}{P' \cdot \pi} = \frac{60f}{P'}$$

$$n_s = \frac{60f}{P'} = \frac{120f}{P}$$

$$f = \frac{P'n}{60} = \frac{Pn}{120}$$

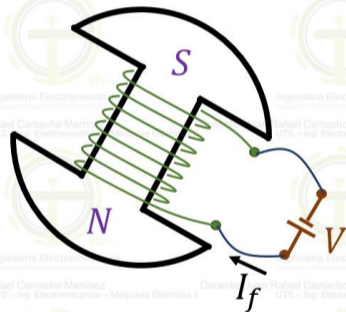
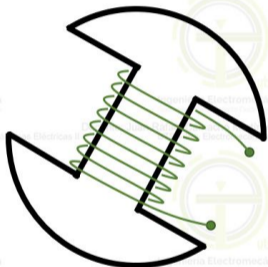
CAMPO

Ejemplo: 2 polos por fase.



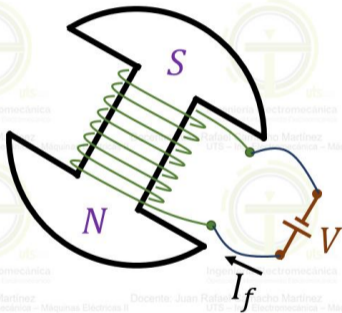
CAMPO

Ejemplo: 2 polos por fase.

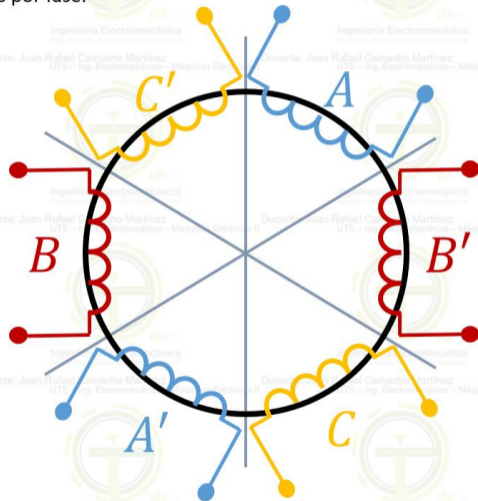


MOTOR SÍNCRONO

Ejemplo: 2 polos por fase.

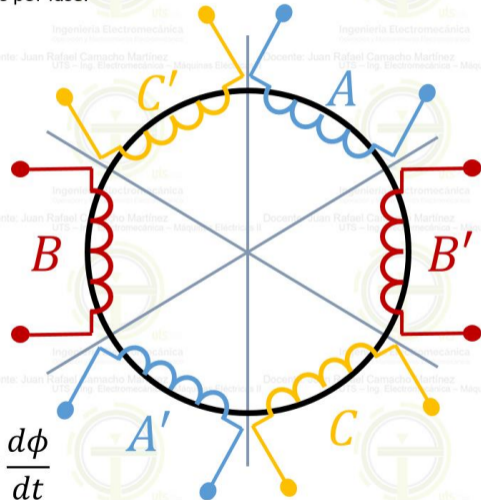
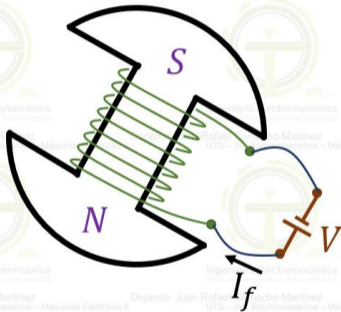


El rotor gira a la misma velocidad de la armadura.



GENERADOR SÍNCRONO

Ejemplo: 2 polos por fase.



$$e_{ind} = k \frac{d\phi}{dt}$$

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

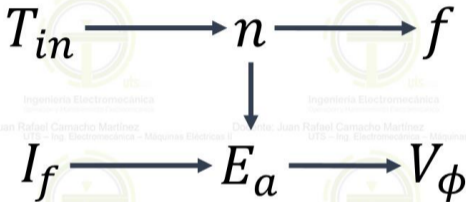
GENERADOR SÍNCRONO

$$e_{ind} = k \frac{d\phi}{dt}$$

$$f = \frac{Pn}{60} = \frac{P'n}{120}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Pér.}$$

$$P_{in} = T_{in}\omega$$



I_f : Corriente de campo.

E_a : Tensión generada internamente en la máquina síncrona por fase.

V_ϕ : Voltaje en bornes por fase.

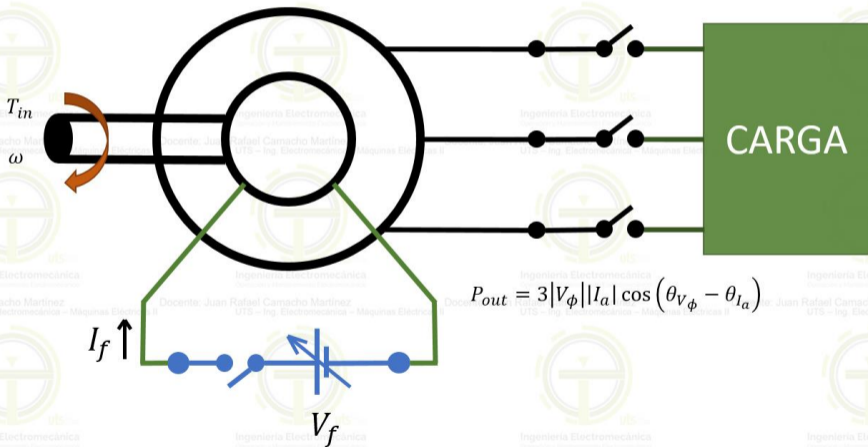
GENERADOR SÍNCRONO

$$e_{ind} = k \frac{d\phi}{dt}$$

$$f = \frac{Pn}{60} = \frac{P'n}{120}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{p\acute{e}r.}$$

$$P_{in} = T_{in}\omega$$



$$P_{out} = 3|V_{\phi}||I_a| \cos(\theta_{V_{\phi}} - \theta_{I_a})$$

GENERADOR SÍNCRONO

Se tiene un generador síncrono de 440 V, 2 polos por fase, se sabe que sus pérdidas son de 4 kW (considérelas constantes). Si está operando a 60 Hz y se le están aplicando 30 Nm, conteste lo siguiente:

- ¿Cuál es su potencia activa de salida?
- ¿Cuál es el factor de potencia al que opera? Si se sabe que la corriente de armadura es 20 A y la carga es de tipo R-L.

SOLUCIÓN

$$n = \frac{120f}{P'} = \frac{120(60)}{2} = 3600 \text{ r.p.m.}$$

$$P_{in} = \omega T_{in} = \left(3600 \frac{\pi}{30}\right) (30) = 3600\pi \approx 11309,73355 \text{ W}$$

$$P_{out} = P_{in} - P_{pér.} = 3600\pi - 4000$$

$$\boxed{P_{out} = 7309,733553}$$

$$S = 3|V_{\phi}| |I_{fase-a}| = \sqrt{3}|V_{Línea}| |I_{Línea-a}|$$

$$P = S \cos(\theta_{V_{\phi}} - \theta_{I_{fase-a}}) = SF.P.$$

$$Q = S \sin(\theta_{V_{\phi}} - \theta_{I_{fase-a}})$$

$$S_{out} = \sqrt{3}|V_L| |I_a| = \sqrt{3}(440)(20) = 15242,04711 \text{ VA}$$

$$F.P._{out} = \frac{P_{out}}{S_{out}} = \frac{7309,733553}{15242,04711}$$

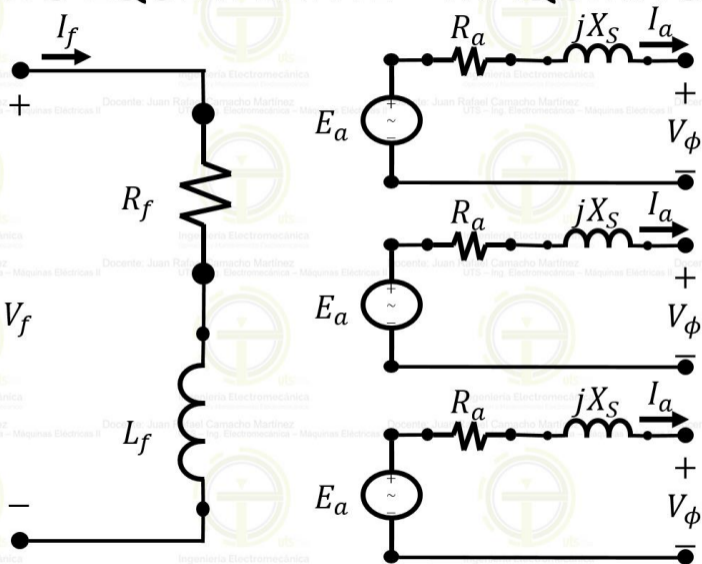
$$\boxed{F.P._{out} = 0,4795768902 \text{ en Atraso}}$$

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA MÁQUINA SÍNCRONA

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

CIRCUITO EQUIVALENTE – MÁQUINA SÍNCRONA



CIRCUITO EQUIVALENTE – MÁQUINA SÍNCRONA

Impedancia Síncrona:

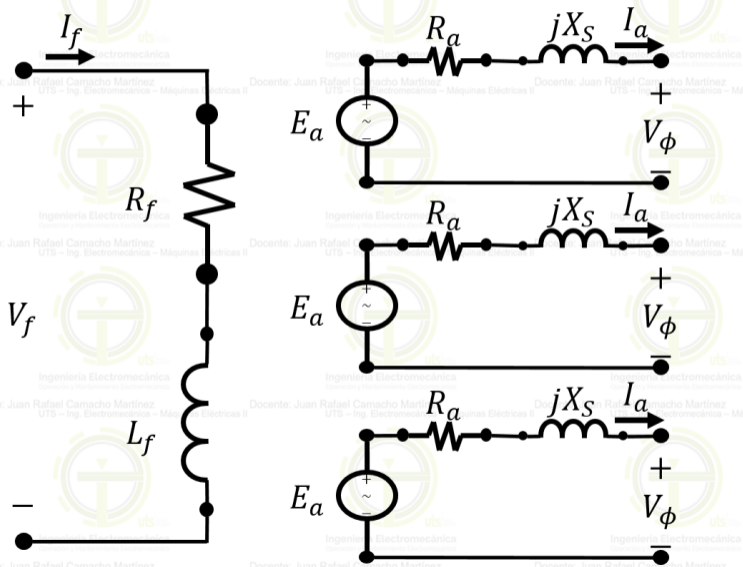
$$Z_S = R_a + jX_S = |Z_S| \angle \theta_{Z_S}$$

Teniendo en cuenta que, para mantener la frecuencia estable, la velocidad de rotación del eje debe permanecer constante, la tensión generada internamente por fase (E_a) es una función de la corriente de campo (I_f).

Para obtener los valores de los elementos del circuito equivalente de la máquina síncrona se realizan las siguientes pruebas:

- Prueba de vacío.
- Prueba de corto.
- Prueba de medición de la resistencia de armadura (R_a).

PRUEBA DE VACÍO DE LA MÁQUINA SÍNCRONA



$$-E_a + I_a(R_a + jX_s) + V_\phi = 0$$

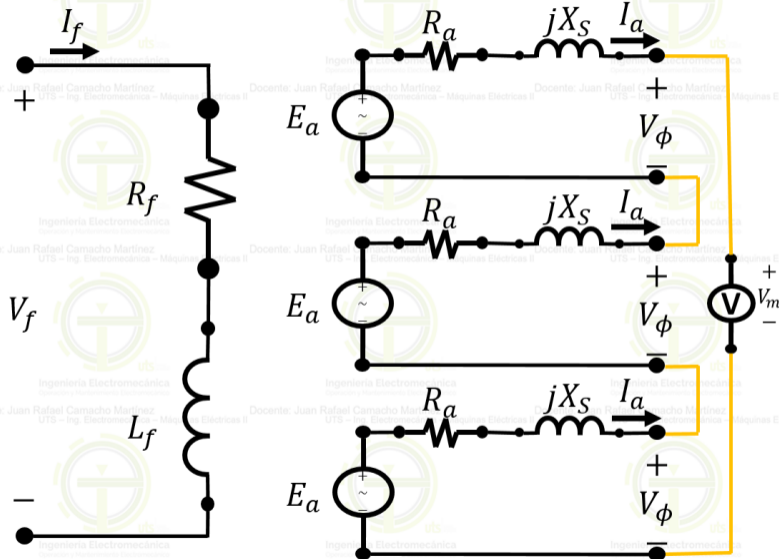
$$V_\phi = E_a - I_a(R_a + jX_s)$$

$$E_a = V_\phi + I_a(R_a + jX_s)$$

La prueba de vacío permite obtener a E_a en función de la corriente de campo (I_f) para una velocidad constante.

Teniendo en cuenta lo anterior, la prueba de vacío debe realizarse como generador, a velocidad constante (aquella que produzca la frecuencia deseada), sin carga y con el devanado de armadura conectado en Y. En esta prueba se deben medir I_f y el voltaje en bornes.

PRUEBA DE VACÍO DE LA MÁQUINA SÍNCRONA



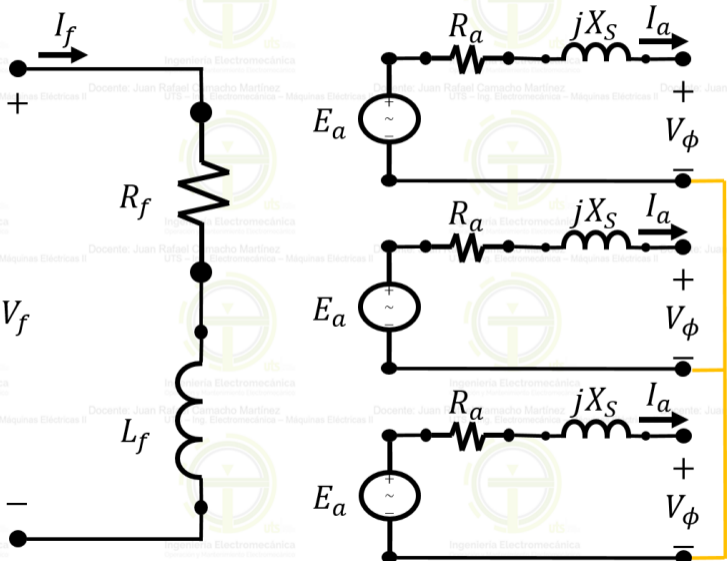
¿Qué ocurre en una conexión delta si existe desbalance en los voltajes?

$$-V_m + V_{\phi 1} + V_{\phi 2} + V_{\phi 3} = 0$$

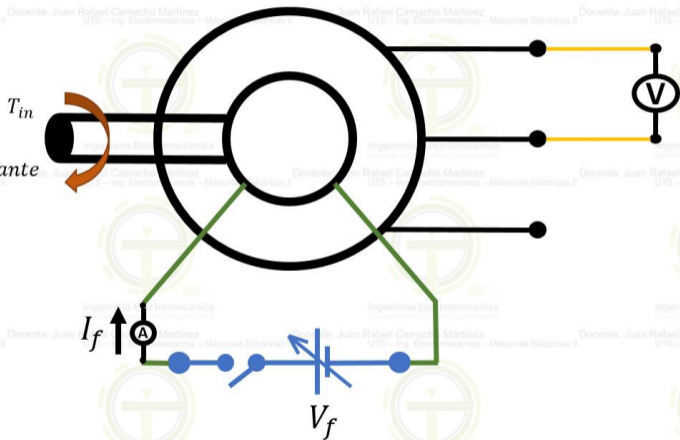
$$V_m = V_{\phi 1} + V_{\phi 2} + V_{\phi 3}$$

$$V_m = |V_\phi| (1\angle 0^\circ + 1\angle -120^\circ + 1\angle 120^\circ)$$

PRUEBA DE VACÍO DE LA MÁQUINA SÍNCRONA



PRUEBA DE VACÍO DE LA MÁQUINA SÍNCRONA



Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

PRUEBA DE VACÍO DE LA MÁQUINA SÍNCRONA

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

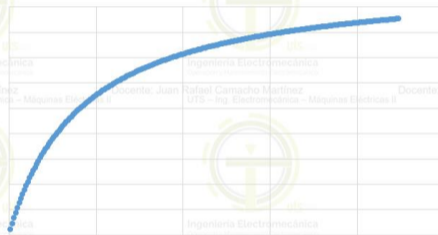
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

$|V_0|$ [V]

Curva típica de vacío

OJO: Este es, usualmente, el voltaje de línea en bornes en condición de vacío, por lo cual es $\sqrt{3}|E_a|$ si la máquina está conectada en Y o directamente $|E_a|$ si la máquinas está conectada en Δ .



$$V_0 = \frac{A I_{fz}}{B + I_f}$$

I_f [A]

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

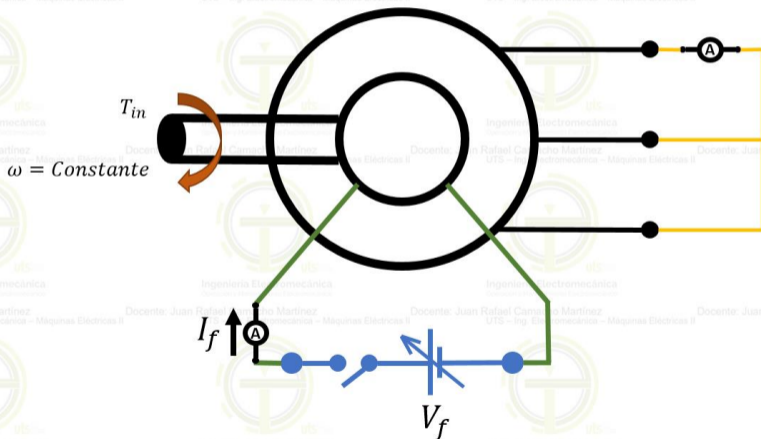
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

PRUEBA DE CORTO DE LA MÁQUINA SÍNCRONA

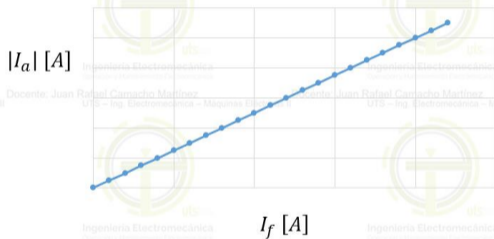
Para una velocidad constante:

$|I_a|$ En función de I_f



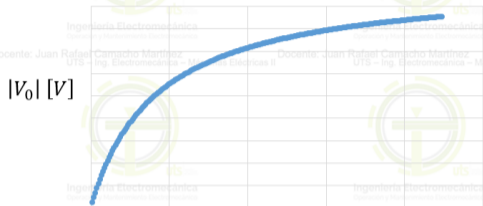
PRUEBA DE CORTO DE LA MÁQUINA SÍNCRONA

Gráfica típica de corto

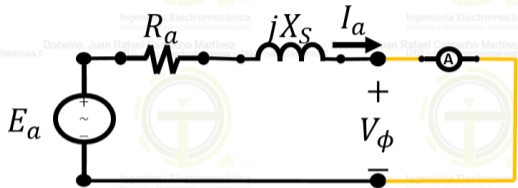
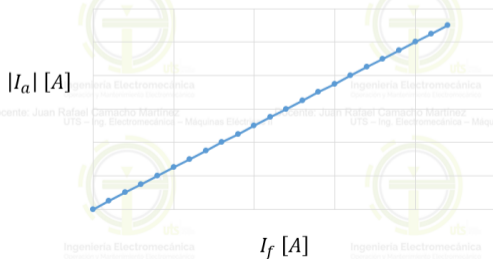


CÁLCULO DE LA MAGNITUD DE LA IMPEDANCIA SÍNCRONA

Curva típica de vacío



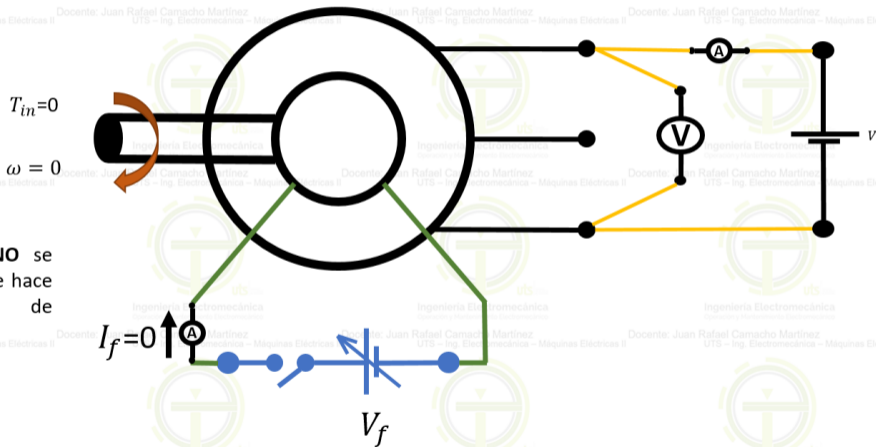
Gráfica típica de corto



$$|Z_S| = \frac{|E_a(I'_f)|}{|I_{a_corto}(I'_f)|}$$

$$Z_S = R_a + jX_S = |Z_S| \angle \theta_{Z_S}$$

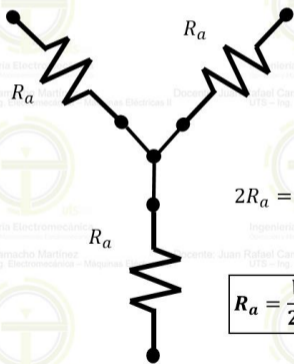
PRUEBA DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE ARMADURA (R_a)



Para esta prueba **NO** se hace girar el eje ni se hace circular corriente de campo.

PRUEBA DE MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE ARMADURA (R_a)

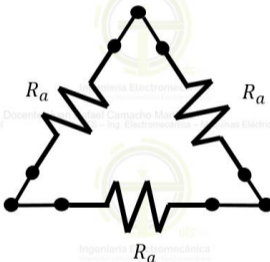
Con conexión Y:



$$2R_a = \frac{V_{D.C.}}{I_{D.C.}}$$

$$R_a = \frac{V_{D.C.}}{2I_{D.C.}}$$

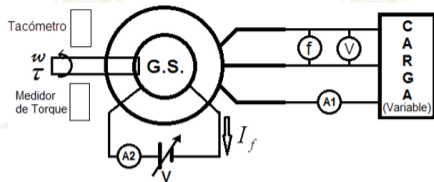
Con conexión Δ :



$$\frac{R_a(2R_a)}{R_a + 2R_a} = \frac{2R_a}{3} = \frac{V_{D.C.}}{I_{D.C.}}$$

$$R_a = \frac{3V_{D.C.}}{2I_{D.C.}}$$

Ejercicio: Para una situación inicial del generador síncrono (G.S.) representado en la figura, el tacómetro indica 1650 r.p.m., el medidor de torque 14 Nm, el frecuencímetro mide 55 Hz, el voltímetro 220 V, el primer amperímetro 8 A y el segundo amperímetro 2 A. Se sabe que la carga tiene componente resistivo e inductivo.



Responda, justificadamente, las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el número de polos por fase de la máquina?
- Si se desprecian todas las pérdidas de potencia de la máquina: ¿Cuál es el factor de potencia al que está operando la carga?
- Si el componente inductivo de la carga fuese capacitivo: ¿Cómo debería ser la corriente de campo con referencia a la lectura inicial para mantener la tensión en 220V?
- ¿Qué haría para generar a 60 Hz manteniendo constante la tensión de salida de la máquina?
- Después de realizar la modificación anterior. ¿Qué ocurre con la medida del primer amperímetro?

SOLUCIÓN DEL EJERCICIO

Inciso "a":

$$n = \frac{120f}{P'} \rightarrow P' = \frac{120f}{n}$$

$$P' = \frac{120(55)}{1650}$$

$$\boxed{P' = 4}$$

Inciso "b":

$$P_{in} = T_{in}\omega = 14 \left(1650 \frac{\pi}{30} \right)$$

$$P_{in} = 770\pi = 2419,026343 \text{ W}$$

$$P_{out} = P_{in} - P_{P\acute{e}r.} = 2419,026343 - 0$$

$$P_{out} = 2419,026343 \text{ W} = P_L$$

$$S_{out} = \sqrt{3}|V_L||I_L| = \sqrt{3}(220)(8)$$

$$S_{out} = 3048,409421 \text{ VA} = S_L$$

$$F.P.L = \frac{P_L}{S_L} = \frac{2419,026343}{3048,409421}$$

$$\boxed{F.P.L = 0,7935372218 \text{ en Atraso}}$$

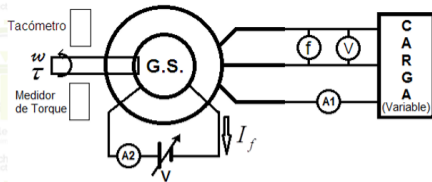
Inciso "d":

Incrementar T_{in} para que la velocidad sea 1800 *r.p.m.* y disminuir I_f para mantener constante la tensión en 220 V.

Inciso "e":

Depende de las características de la carga.

1. (1,5) Para una situación inicial del generador síncrono (G.S.) representado en la Figura 1, el tacómetro indica n_1 , el medidor de torque marca T_{in1} , el frecuencímetro mide el valor f_1 , en el voltímetro se lee el valor V_1 , el primer amperímetro (A1) indica el valor I_1 y el segundo amperímetro (A2) indica el valor I_2 . Se sabe que la carga tiene componente resistivo e inductivo.



Responda las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el número de polos por fase de la máquina?
- Si se desprecian todas las pérdidas de potencia de la máquina: ¿Cuánta potencia reactiva está asociada a la carga?
- Determine la potencia de pérdidas de la máquina si se sabe que el factor de potencia de la carga es 0,5 *en atraso*.

ANEXO B. DATOS PARA CADA ESTUDIANTE – PUNTOS 1 Y 2

APELLIDO	PUNTO 1						PUNTO 2			
	n_1 [rpm]	T_{in1} [Nm]	f_1 [Hz]	V_1 [V]	I_1 [A]	I_2 [A]	V_2 [V]	I_3 [A]	V_{dc} [V]	I_{dc} [A]
	4032	11881	67,2	2400	1885,44	71,2	3978	2800	120	2857

Punto 1-a

$$P' = \frac{120f}{n} = \frac{120(67,2)}{4032}$$

$$\boxed{P' = 2}$$

Punto 1-b

$$P_{in} = T_{in}\omega = 11881 \left[4032 \left(\frac{\pi}{30} \right) \right]$$

$$P_{in} = 5016515,255 \text{ W} = P_{out}$$

$$S_{out} = \sqrt{3}(2400)(1885,44)$$

$$S_{out} = 7837626,899 \text{ VA}$$

$$Q_{out} = \sqrt{S_{out}^2 - P_{out}^2} = \sqrt{(7837626,899)^2 - (5016515,255)^2}$$

$$Q_{out} = 6021874,302 \text{ VAr} = Q_L$$

$$\boxed{Q_L = 6021874,302 \text{ VAr}}$$

Punto 1-c

$$P_{out} = S_{out}(F.P._{out}) = 7837626,899(0,5)$$

$$P_{out} = 3918813,45 \text{ W}$$

$$P_{Pér.} = P_{in} - P_{out} = 5016515,255 - P_{out}$$

$$\boxed{P_{Pér.} = 1097701,805 \text{ W}}$$

2. (0,8) Determine la resistencia de armadura y la reactancia síncrona de una máquina síncrona, conectada en Y, en la que se realizan las siguientes pruebas:

- Cuando es puesta a trabajar como generador, con una velocidad constante y con cierta corriente de campo, produce un voltaje V_2 en sus terminales en condición de vacío y circula una corriente I_3 en su armadura en condiciones de corto.
- Con el eje quieto y sin aplicar corriente de campo, circula una corriente I_{dc} cuando se le conecta, a dos de sus terminales de armadura, una fuente de DC de valor V_{dc} .

$$V_2 = 3978 \text{ V} \quad I_3 = 2800 \text{ A}$$
$$V_{dc} = 120 \text{ V} \quad I_{dc} = 2857 \text{ A}$$

$$R_a = \frac{V_{dc}}{2I_{dc}} = \frac{120}{2(2857)}$$

$$R_a = 0,02100105005 \Omega$$

$$|Z_S| = \frac{3978/\sqrt{3}}{2800} = \frac{3978}{\sqrt{3}(2800)} = 0,8202497753 \Omega$$

$$X_S = \sqrt{|Z_S|^2 - R_a^2} = \sqrt{\frac{3978^2}{3(2800)^2} - 0,02100105005^2}$$

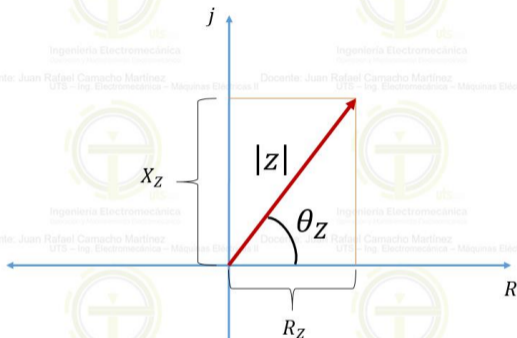
$$X_S = 0,8199808838 \Omega$$

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

**DIAGRAMAS FASORIALES DEL GENERADOR SÍNCRONO - EFICIENCIA Y
REGULACIÓN DE VOLTAJE**

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

REPRESENTACIÓN DE IMPEDANCIA



POLAR:
 $Z = |Z| \angle \theta_Z$

RECTANGULAR:
 $Z = R_Z + jX_Z$

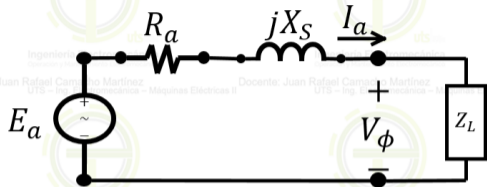
$$R_Z = |Z| \cos(\theta_Z)$$
$$X_Z = |Z| \sin(\theta_Z)$$

$$\text{Parte reactiva} = \begin{cases} j2\pi fL \\ \frac{1}{j2\pi fC} = -\frac{j}{2\pi fC} \end{cases}$$

$$Z = \frac{V_Z}{I_Z} = \frac{|V_Z|}{|I_Z|} \angle (\theta_{V_Z} - \theta_{I_Z}) = |Z| \angle \theta_Z$$

$$\theta_{I_Z} = \theta_{V_Z} - \theta_Z$$

DIAGRAMAS FASORIALES



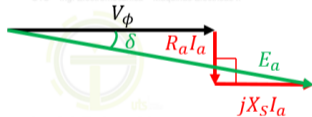
$$(A)(B) = (|A|\angle\theta_A)(|B|\angle\theta_B) = |A||B|\angle(\theta_A + \theta_B)$$

$$\frac{A}{B} = \frac{|A|\angle\theta_A}{|B|\angle\theta_B} = \frac{|A|}{|B|}\angle(\theta_A - \theta_B)$$

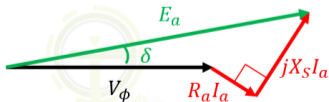
$$-E_a + I_a(R_a + jX_S) + V_\phi = 0$$

$$E_a = V_\phi + I_a(R_a + jX_S)$$

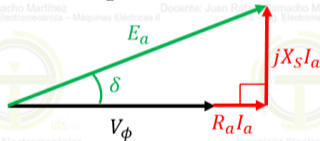
$F.P.L = 0$ en Atraso



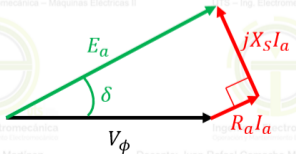
$0 < F.P.L < 1$; en Atraso



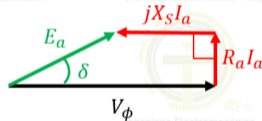
$F.P.L = 1$



$0 < F.P.L < 1$; en Adelanto



$F.P.L = 0$ en Adelanto

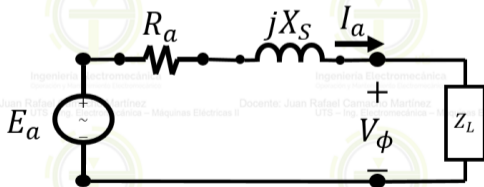


EFICIENCIA ($\eta\%$):

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\%$$

PORCENTAJE DE REGULACIÓN DE TENSIÓN ($\%R.V.$):

$$\%R.V. = \frac{|V_{Emisor}| - |V_{Receptor}|}{|V_{Referencia}|} 100\%$$



3. (2,7) Se tiene un generador síncrono cuyo voltaje nominal ($V_{Nom.}$), capacidad ($S_{Nom.}$), reactancia síncrona (X_S), resistencia de armadura (R_a), parámetros para definir su curva de vacío ($V_0 = \frac{AI_f}{B+I_f}$), cantidad de polos por fase ($Polos$) y potencia de pérdidas mecánicas y en el núcleo ($P_{Mec.}$) se proporcionan, para cada estudiante, en el Anexo C. Teniendo en cuenta la máquina descrita previamente, realice los siguientes análisis:

- (0,9) Determine el torque aplicado, el porcentaje de regulación de voltaje y la eficiencia de la máquina, si la frecuencia se mantiene en su condición nominal, se le hace circular una corriente de campo I_{f1} y la carga se encuentra conectada en estrella y su impedancia por fase es $Z_L = R_L + jX_L$.
- (1,2) Determine el torque aplicado, la corriente de campo, el porcentaje de regulación de voltaje y la eficiencia de la máquina, si opera a su condición nominal con factor de potencia 0,8 *en atraso*.
- (0,6) Determine la potencia activa y reactiva demandadas por la carga, si la máquina se encuentra operando en su condición nominal y el porcentaje de regulación de voltaje es cero.

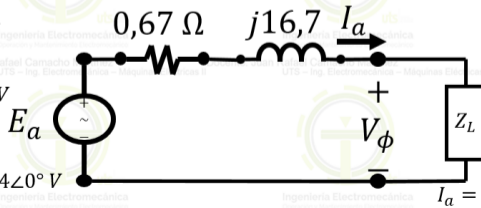
APELLIDO	Parámetros de la máquina del punto 3								Inciso "a"		
	$V_{Nom.}$ [V]	$S_{Nom.}$ [kVA]	X_S [Ω]	R_a [Ω]	A	B	Polos	$P_{Mec.}$ [kW]	I_{f1} [A]	R_L [Ω]	X_L [Ω]
	22000	26000	16,7	0,67	73282	619	6	4602	204	29,43	-22,74

$$V_0 = \frac{73282 I_f}{619 + I_f} \quad I_f = \frac{619 V_0}{73282 - V_0}$$

a.

$$V_0 = \frac{73282(204)}{619 + 204} = 18164,67558 \text{ V}$$

$$E_a = \frac{18164,67558}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = 10487,38034 \angle 0^\circ \text{ V}$$



$$I_a = \frac{E_a}{Z_S + Z_L}$$

$$I_a = \frac{10487,38034 \angle 0^\circ}{0,67 + j16,7 + 29,43 - j22,74}$$

$$I_a = 341,6081902 \angle 11,34653384^\circ \text{ A}$$

$$V_\phi = E_a \frac{Z_L}{Z_S + Z_L} = 10487,38034 \angle 0^\circ \frac{29,43 - j22,74}{0,67 + j16,7 + 29,43 - j22,74}$$

$$V_\phi = 12705,03503 \angle -26,34604434^\circ \text{ V}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{P\acute{e}r.} = P_{out} + P_{Mec.} + P_{Cu}$$

$$P_{in} = [3|I_a|^2 R_L] + [4602(10^3)] + [3|I_a|^2 R_a]$$

$$P_{in} = 15139662,85 \text{ W}$$

$$T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega} = \frac{15139662,85}{120(60) \left(\frac{\pi}{30}\right)}$$

$$\boxed{T_{in} = 120477,609 \text{ Nm}}$$

$$\%R.V. = \frac{|E_a| - |V_\phi|}{|V_{Nom. - Fase}|} 100\%$$

$$\%R.V. = \frac{10487,38034 - 12705,03503}{22000/\sqrt{3}} 100\%$$

$$\boxed{\%R.V. = -17,45950271 \%}$$

$$P_{out} = 3|I_a|^2 R_L = 10303103,58 \text{ W}$$

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% = \frac{10303103,58}{15139662,85} 100\%$$

$$\boxed{\% \eta = 68,05371878 \%}$$

$$\text{b. } |V_{L\acute{i}nea}| = 22000 \text{ V} \quad S_{out} = 26 \text{ MVA} \quad F.P._{out} = 0,8 \text{ en Atraso}$$

$$I_a = \frac{S_{out}}{\sqrt{3}V_{L\acute{i}nea}} \angle \theta_{V_\phi} \pm \cos^{-1}(F.P.) = \frac{26(10^6)}{\sqrt{3}(22000)} \angle 0^\circ - \cos^{-1}(0,8)$$

$$I_a = 682,3230454 \angle -36,86989765^\circ \text{ A}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Mec.} + 3R_a |I_a|^2$$

$$P_{in} = [26(10^6)(0,8)] + [4602(10^3)] + [3(0,67)(682,3230454)^2]$$

$$P_{in} = 26337778,02 \text{ W}$$

$$T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega} = \frac{26337778,02}{120(60) \left(\frac{\pi}{30}\right)}$$

$$\boxed{T_{in} = 209589,3781 \text{ Nm}}$$

$$E_a = V_\phi + I_a Z_S = \frac{22000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + (682,3230454 \angle -36,86989765^\circ)(0,67 + j16,7)$$

$$E_a = 21779,67727 \angle 23,95090888^\circ V$$

$$V_0 = \sqrt{3} |E_a| = 37723,5076 V$$

$$I_f = \frac{619 V_0}{73282 - V_0} = \frac{619(37723,5076)}{73282 - 37723,5076}$$

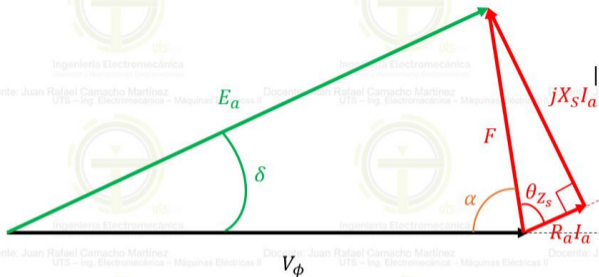
$$I_f = 656,6884485 A$$

$$\%R.V. = \frac{37723,5076 - 22000}{22000} 100\%$$

$$\%R.V. = 71,47048909 \%$$

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% = \frac{26(10^6)(0,8)}{26337778,02} 100\%$$

$$\% \eta = 78,9740121 \%$$



$$\%R.V. = \frac{|E_a| - |V_\phi|}{|V_{Nom.}|} 100\% = 0 \rightarrow |E_a| = |V_\phi|$$

$$|F| = |I_a| |R_a + jX_s| = (682,3230454) \left(\sqrt{0,67^2 + 16,7^2} \right)$$

$$|F| = 11403,96167 \text{ V}$$

$$\theta_{z_s} = \tan^{-1} \left(\frac{X_s}{R_a} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{16,7}{0,67} \right)$$

$$\theta_{z_s} = 87,70253918^\circ$$

$$\alpha = 63,3259349^\circ$$

$$180^\circ = \alpha + \theta_{z_s} + \theta_{I_a} \rightarrow \theta_{I_a} = 180^\circ - \alpha - \theta_{z_s}$$

$$\theta_{I_a} = 28,97152592^\circ$$

$$P_L = 26(10^6) \cos(0^\circ - 28,97152592^\circ)$$

$$\boxed{P_L = 22746373,86 \text{ W}}$$

$$Q_L = 26(10^6) \sin(0^\circ - 28,97152592^\circ)$$

$$\boxed{Q_L = -12593747,5 \text{ VAr}}$$

$$|I_a| = \frac{S_{Nom.}}{\sqrt{3}|V_{Nom.}|} = \frac{26(10^6)}{\sqrt{3}(22000)} = 682,3230454 \text{ A}$$

$$|E_a|^2 = |V_\phi|^2 + |F|^2 - 2|V_\phi||F|\cos(\alpha)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{|V_\phi|^2 + |F|^2 - |E_a|^2}{2|V_\phi||F|} \right)$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{|F|^2}{2|V_\phi||F|} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{11403,96167^2}{2 \left(\frac{22000}{\sqrt{3}} \right) (11403,96167)} \right)$$



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



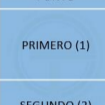
Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



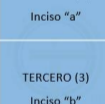
Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



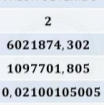
Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Energía y Mecatrónica Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

ANEXO A. TABLA DE RESPUESTAS

PUNTO	VARIABLE	VALOR OBTENIDO
PRIMERO (1)	Número de polos por fase	2
	Q_L [VAr]	6021874,302
SEGUNDO (2)	$P_{P\acute{e}r}$ [W]	1097701,805
	R_a [Ω]	0,02100105005
TERCERO (3)	X_S [Ω]	0,8199808838
	T_{in} [Nm]	120477,609
Inciso "a"	%R. V. [%]	-17,45950271
	% η [%]	68,05371878
TERCERO (3)	T_{in} [Nm]	209589,3781
	I_f [A]	656,6884485
Inciso "b"	%R. V. [%]	71,47048909
	% η [%]	78,9740121
TERCERO (3)	P_L [W]	22746373,86
	Q_L [VAr]	-12593747,5

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Para el análisis de todas las situaciones propuestas, considere el generador síncrono cuyo voltaje nominal ($V_{Nom.}$), capacidad ($S_{Nom.}$), reactancia síncrona (X_S), resistencia de armadura (R_a), parámetros para definir su curva de vacío ($V_0 = \frac{A I_f}{B + I_f}$), cantidad de polos por fase ($Polos$) y potencia de pérdidas mecánicas y en el núcleo ($P_{Mec.}$) se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO B.

ANEXO B. DATOS PARA CADA ESTUDIANTE											
APELLIDO	PARÁMETROS DE LA MÁQUINA PARA LOS DOS PUNTOS								PUNTO 1 (b y c)	PUNTO 2-c	
	$V_{Nom.}$ [V]	$S_{Nom.}$ [kVA]	X_S [Ω]	R_a [Ω]	A	B	$Polos$	$P_{Mec.}$ [kW]	I_{f1} [A]	R_L [Ω]	X_L [Ω]
	9600	7200	16,5	0,56	31824	294	2	1814	284	19,61	12,73

1. (2,0) Para la máquina descrita previamente, determine:

- El torque aplicado necesario para mantener la velocidad nominal durante la prueba de vacío (la frecuencia nominal es 60 Hz).
- El voltaje medido en la prueba de vacío, si la corriente de campo se ajusta en el valor I_{f1} .
- La corriente medida en la armadura en la prueba de corto, si la corriente de campo se ajusta en el valor I_{f1} .
- El voltaje de D.C. que se requiere aplicar a dos de los terminales de la armadura de la máquina para que circule el 50% de la corriente nominal. En este caso, considere que el eje de la máquina está estático y que no se alimenta el campo de la máquina.

$$a. P_{in} = P_{out} + P_{P\acute{e}r} = 0 + 1814(10^3)$$

$$T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega} = \frac{1814(10^3)}{120(60)\pi / 2(30)}$$

$$T_{in} = 4811,784446 \text{ Nm}$$

$$V_0 = \frac{31824 I_f}{294 + I_f}$$

$$b. V_0 = \frac{31824(284)}{294+284}$$

$$V_0 = 15636,70588 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{294 V_0}{31824 - V_0}$$

$$c. |I_{a_corto}| = \frac{15636,70588 / \sqrt{3}}{\sqrt{0,56^2 + 16,5^2}}$$

$$|I_{a_corto}| = 546,8279589 \text{ A}$$

$$d. V_{d.c.} = 2R_a(0,5I_{Nom.})$$

$$V_{d.c.} = 2(0,56) \left[0,5 \frac{7200(10^3)}{\sqrt{3}(9600)} \right]$$

$$V_{d.c.} = 242,4871131 \text{ V}$$

2. (3,0) Para la máquina cuyas características se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO B, realice los siguientes análisis:

a. Determine la corriente de campo y el porcentaje de regulación de voltaje del generador, si la frecuencia y el voltaje en los terminales se mantienen en su condición nominal y la carga exige el 80% de la capacidad del generador con un factor de potencia de 0,7 en atraso.

b. Determine la corriente de campo y el porcentaje de regulación de voltaje del generador, si la frecuencia y el voltaje en los terminales se mantienen en su condición nominal y la carga exige el 80% de la capacidad del generador con un factor de potencia de 0,7 en adelanto.

c. Determine la corriente de campo y el porcentaje de regulación de voltaje del generador, si la frecuencia y el voltaje en los terminales se mantienen en su condición nominal y la carga se encuentra conectada en estrella y su impedancia por fase es $Z_L = R_L + jX_L$ (los valores de R_L y de X_L se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO B).

$$a. I_a = 0,8 \frac{7200(10^3)}{\sqrt{3}(9600)} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0,7)] \quad I_f = \frac{294(18180,84177)}{31824 - 18180,84177} \quad E_a = \frac{9600}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + I_a(0,56 + j16,5)$$

$$I_a = 346,4101615 \angle -45,572996^\circ \text{ A}$$

$$I_f = 391,7837344 \text{ A}$$

$$E_a = 4436,757992 \angle 69,91021385^\circ \text{ V}$$

$$E_a = V_\phi + I_a(R_a + jX_s)$$

$$V_0 = \sqrt{3}|E_a| = 7684,690263 \text{ V}$$

$$E_a = \frac{9600}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + I_a(0,56 + j16,5)$$

$$\%R.V. = \frac{18180,84177 - 9600}{9600} 100\%$$

$$I_f = \frac{294(7684,690263)}{31824 - 7684,690263}$$

$$E_a = 10496,71389 \angle 21,59062425^\circ \text{ V}$$

$$\%R.V. = 89,38376844 \%$$

$$I_f = 93,59418152 \text{ A}$$

$$I_f = \frac{294V_0}{31824 - V_0}$$

$$b. I_a = 0,8 \frac{7200(10^3)}{\sqrt{3}(9600)} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(0,7)]$$

$$\%R.V. = \frac{7684,690263 - 9600}{9600} 100\%$$

$$I_a = 346,4101615 \angle 45,572996^\circ \text{ A}$$

$$\%R.V. = -19,95114309 \%$$

$$V_0 = \sqrt{3}|E_a| = 18180,84177 \text{ V}$$

$$E_a = V_\phi + I_a(R_a + jX_s)$$

$$c. I_a = \frac{9600}{\sqrt{3}(19,61+j12,73)} = 237,0684748 \angle -32,98996412^\circ \text{ A}$$

$$E_a = V_\phi + I_a(R_a + jX_s)$$

$$E_a = \frac{9600}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + I_a(0,56 + j16,5)$$

$$E_a = 8419,175063 \angle 22,40263404^\circ \text{ V}$$

$$V_0 = \sqrt{3}|E_a| = 14582,43897 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{294(14582,43897)}{31824 - 14582,43897}$$

$$I_f = 248,6571285 \text{ A}$$

$$\%R.V. = \frac{14582,43897 - 9600}{9600} 100\%$$

$$\%R.V. = 51,90040594 \%$$





Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



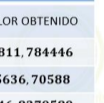
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



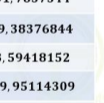
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

ANEXO A. TABLA DE RESPUESTAS

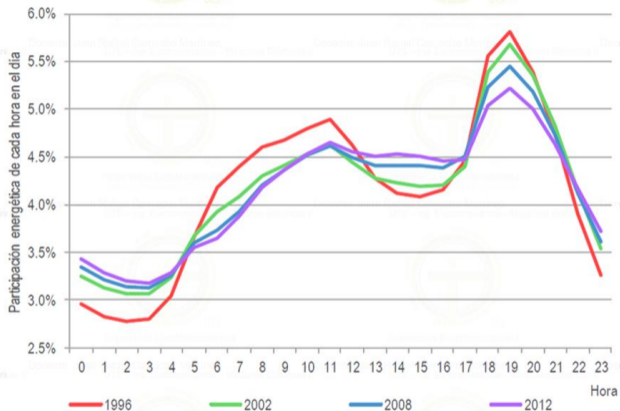
PUNTO	VARIABLE	VALOR OBTENIDO
PRIMERO (1)	$T_{in} [Nm]$	4811,784446
	$V_{Vacío} [V]$	15636,70588
	$I_{Corto} [A]$	546,8279589
	$V_{D.C.} [V]$	242,4871131
SEGUNDO - a (2-a)	$I_f [A]$	391,7837344
	%R. V. [%]	89,38376844
SEGUNDO - b (2-b)	$I_f [A]$	93,59418152
	%R. V. [%]	-19,95114309
SEGUNDO - c (2-c)	$I_f [A]$	248,6571285
	%R. V. [%]	51,90040594

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

CONEXIÓN DEL GENERADOR SÍNCRONO A LA RED

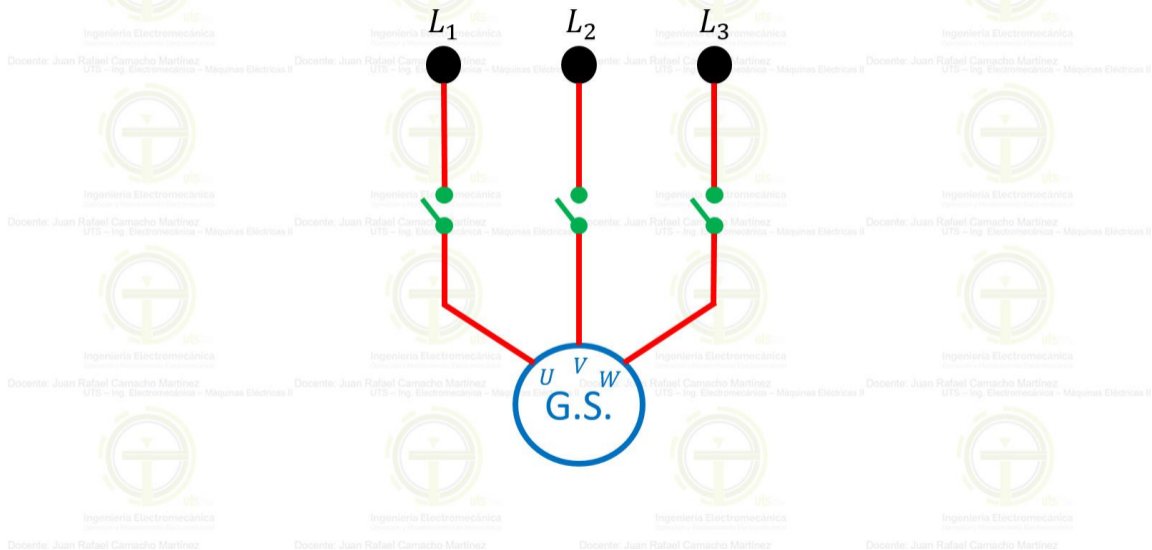
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

¿POR QUÉ REALIZAR LA CONEXIÓN A LA RED?



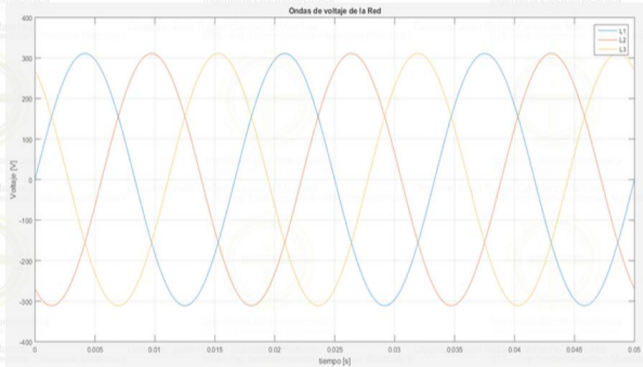
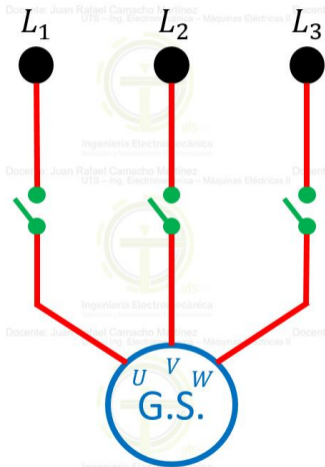
Fuente: XM-Expertos en Mercados. Cálculos: UPME

RED

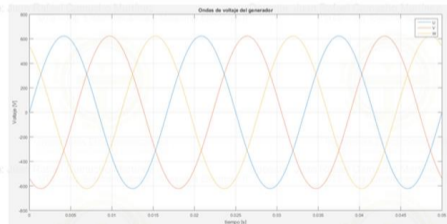
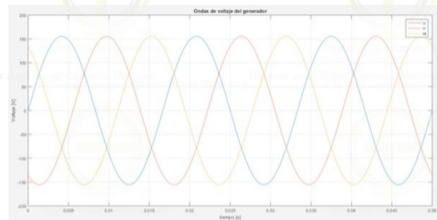
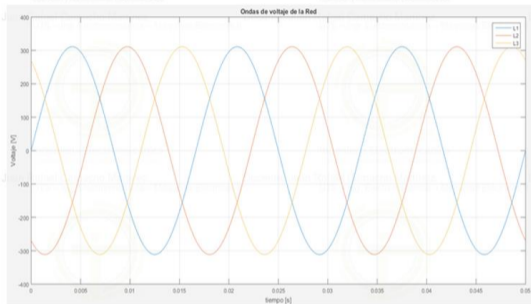


CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

RED



CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN



Ingeniería Electromecánica

Ingeniería Electromecánica

Ingeniería Electromecánica

Ingeniería Electromecánica

Ingeniería Electromecánica

Ingeniería Electromecánica

Ingeniería Electromecánica

Ingeniería Electromecánica

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

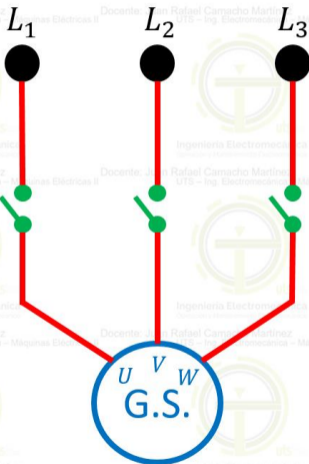
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

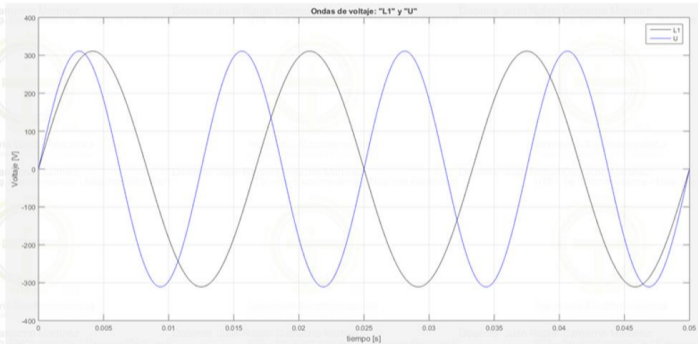
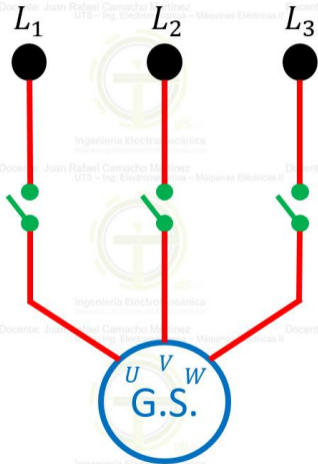
CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN RED



$$|V_G| = |V_R|$$

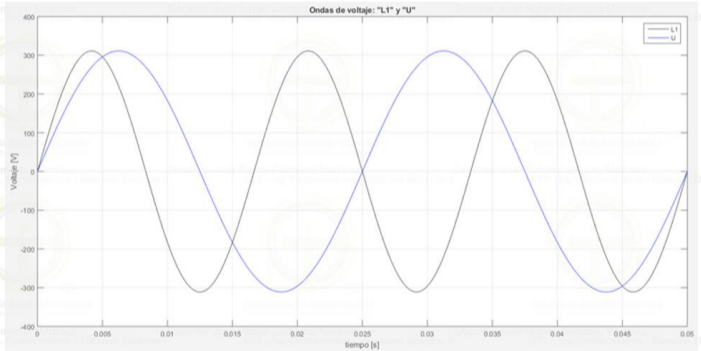
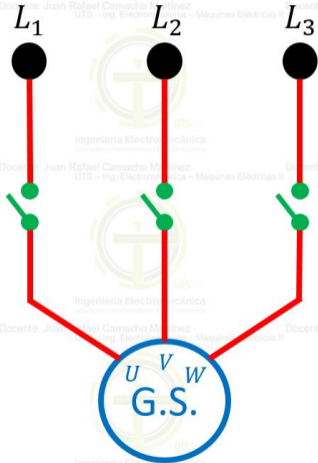
CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

RED

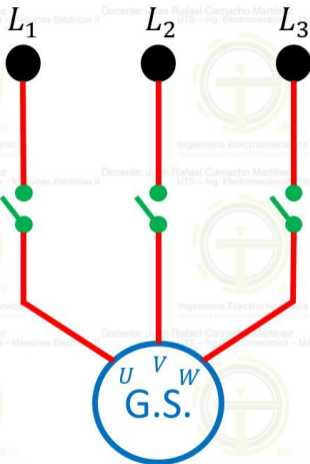


CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

RED



CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN RED

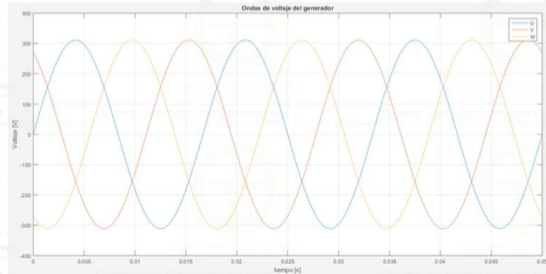
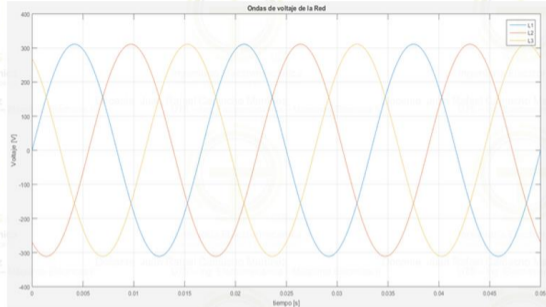
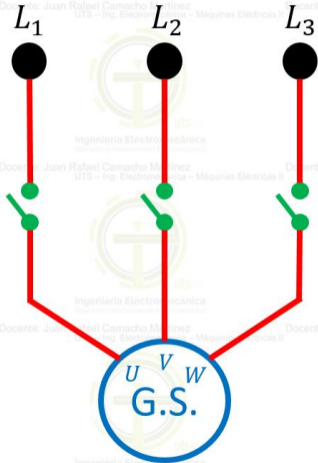


$$|V_G| = |V_R|$$

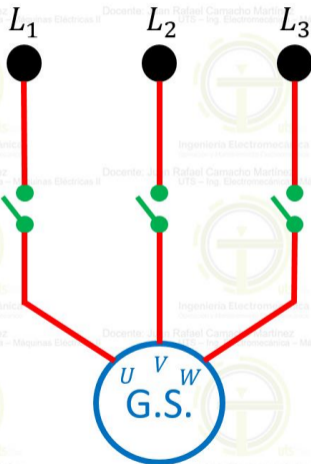
$$f_G \approx f_R$$

CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

RED



CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN RED



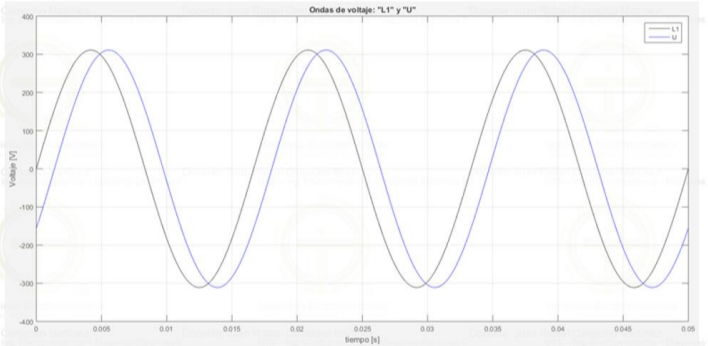
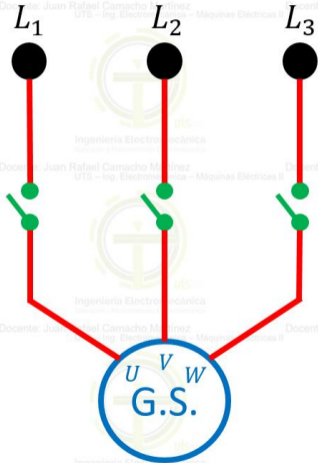
$$|V_G| = |V_R|$$

$$f_G \cong f_R$$

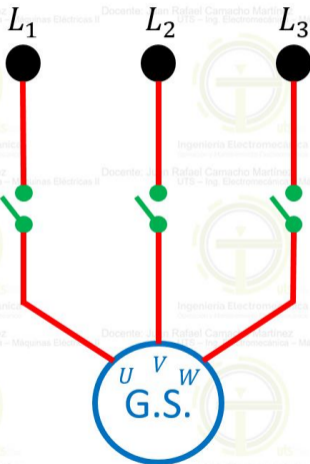
$$Sec_G = Sec_R$$

CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

RED



CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN RED



$$|V_G| = |V_R|$$

$$f_G \cong f_R$$

$$Sec_G = Sec_R$$

$$\varphi_G = \varphi_R$$

CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

RED

$$|V_R| = \text{constante}$$

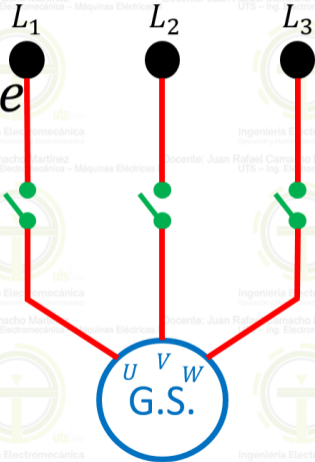
$$f_R = \text{constante}$$

$$|V_G| = |V_R|$$

$$f_G \cong f_R$$

$$Sec_G = Sec_R$$

$$\varphi_G = \varphi_R$$



CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

RED

$$|V_R| = \text{constante}$$

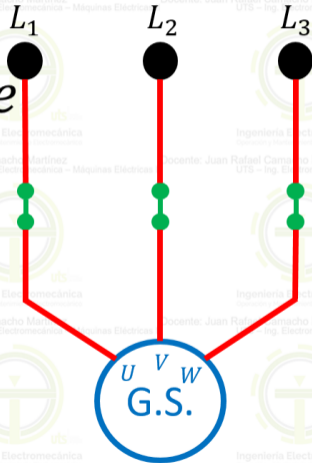
$$f_R = \text{constante}$$

$$|V_G| = |V_R|$$

$$f_G \cong f_R$$

$$Sec_G = Sec_R$$

$$\varphi_G = \varphi_R$$



CONDICIONES PARA LA CONEXIÓN

RED

$$|V_R| = \text{constante}$$

$$f_R = \text{constante}$$

$$|V_G| = |V_R|$$

$$f_G = f_R$$

L_1

L_2

L_3

$$|V_G| = |V_R|$$

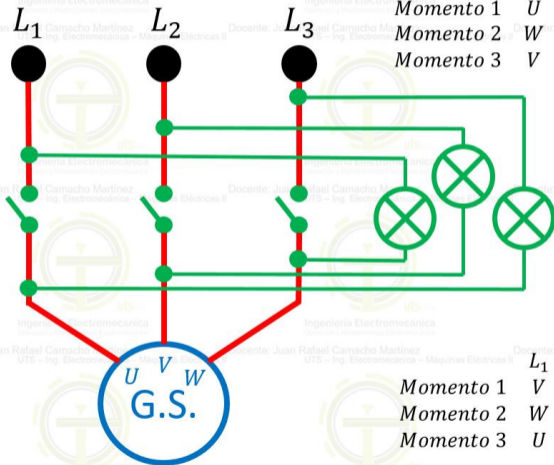
$$f_G \cong f_R$$

$$Sec_G = Sec_R$$

$$\varphi_G = \varphi_R$$



RED



SECUENCIA CONTRARIA

	L_1	L_2	L_3	L_1	L_2	...	Indicación en las lámparas
Momento 1	U	W	V	U	W	...	Las tres encendidas
Momento 2	W	V	U	W	V	...	Las tres apagadas
Momento 3	V	U	W	V	U	...	Las tres encendidas



SECUENCIA IGUAL

	L_1	L_2	L_3	L_1	L_2	...	Indicación en las lámparas
Momento 1	V	W	U	V	W	...	La de la derecha apagada
Momento 2	W	U	V	W	U	...	La de la izquierda apagada
Momento 3	U	V	W	U	V	...	La del centro apagada

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

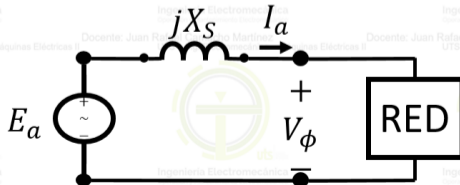
OPERACIÓN DEL GENERADOR SÍNCRONO CONECTADO A LA RED

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

EJERCICIO

Se tiene un generador síncrono de 800kVA, 2000V, 6 polos por fases, con reactancia síncrona de $3,5\Omega$, tiene una curva de vacío definida por la ecuación: $V_0 = \frac{3600I_f}{25+I_f}$. Para lograr producir 60Hz en vacío es necesario aplicarle 716Nm (considere constantes las pérdidas mecánicas y en el núcleo). Si se conecta la máquina a una red eléctrica, conteste lo siguiente:

- ¿Cuánto torque y qué corriente de campo se le aplican a la máquina? Si la corriente de armadura es nula. **(Punto Flotante)**
- ¿Cuánto torque y qué corriente de campo se le aplican a la máquina? Si la corriente de armadura es 150A y el factor de potencia es 0,85 en atraso.



$$P_{Mec.} = 716\omega = 716 \left[\frac{120(60)\pi}{6 \cdot 30} \right]$$

$$P_{Mec.} = 28640\pi W = 89975,2136 W$$

$$a. T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{P\acute{e}r.} = P_{out} + P_{Mec.} + P_{Cu}$$

$$P_{in} = 0 + 28640\pi + 0 = 28640\pi \text{ W}$$

$$T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega} = \frac{28640\pi}{\frac{120(60)\pi}{6(30)}}$$

$$\boxed{T_{in} = 716 \text{ Nm}}$$

$$-E_a + I_a(jX_s) + V_\phi = 0$$

$$E_a = V_\phi + I_a(jX_s) = \frac{2000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 0(j3,5)$$

$$E_a = \frac{2000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$V_0 = \sqrt{3}|E_a| = \sqrt{3} \frac{2000}{\sqrt{3}} = 2000 \text{ V}$$

$$V_0 = \frac{3600I_f}{25 + I_f} \quad I_f = \frac{25V_0}{3600 - V_0}$$

$$I_f = \frac{25(2000)}{3600 - 2000}$$

$$\boxed{I_f = 31,25 \text{ A}}$$

$$b. P_{out} = \sqrt{3}|V_L||I_a|F.P. = \sqrt{3}(2000)(150)(0,85) = 441672,9559 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{P\acute{e}r.} = 531648,1695 \text{ W}$$

$$T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega} = \frac{531648,1695}{\frac{120(60)\pi}{6(30)}}$$

$$\boxed{T_{in} = 4230,721708 \text{ Nm}}$$

$$I_a = 150 \angle 0^\circ - \cos^{-1}(0,85) = 150 \angle -31,78833062^\circ \text{ A}$$

$$E_a = \frac{2000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + I_a(j3,5) = 1499,215928 \angle 17,31684664^\circ \text{ V}$$

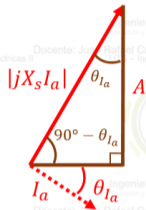
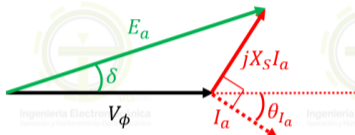
$$V_0 = \sqrt{3}|E_a| = 2596,718159 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{25(2596,718159)}{3600 - 2596,718159}$$

$$\boxed{I_f = 64,70560048 \text{ A}}$$

c. ¿Cuánto torque y qué corriente de campo se le aplican a la máquina? Si la corriente de armadura es 150A y el factor de potencia es 0,85 en adelanto.

EL ÁNGULO DE POTENCIA – ÁNGULO DEL PAR (δ)



$$A = X_s |I_a| \cos(\theta_{I_a})$$

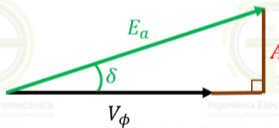
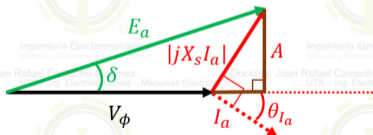
$$A = |E_a| \text{sen}(\delta)$$

$$X_s |I_a| \cos(\theta_{I_a}) = |E_a| \text{sen}(\delta)$$

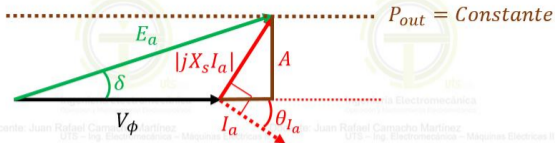
$$P_{out} = 3 |V_\phi| |I_a| \cos(\theta_{V_\phi} - \theta_{I_a})$$

$$|I_a| \cos(\theta_{I_a}) = \frac{P_{out}}{3 |V_\phi|}$$

$$X_s \frac{P_{out}}{3 |V_\phi|} = |E_a| \text{sen}(\delta)$$



$$P_{out} = \frac{3 |V_\phi| |E_a|}{X_s} \text{sen}(\delta)$$

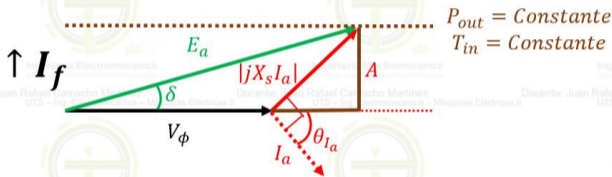


Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

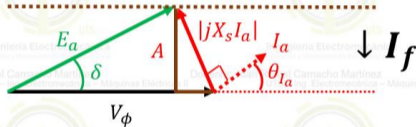


Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

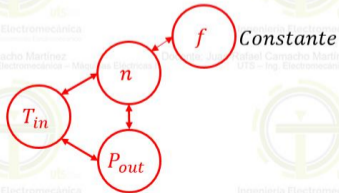
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II



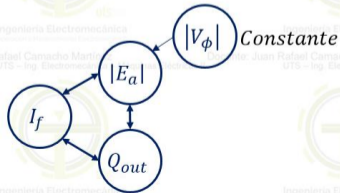
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS - Ing. Electromecánica - Máquinas Eléctricas II



Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Del ejercicio realizado anteriormente:

$$P_{out} = 441672,9559 \text{ W}$$

$$E_a = 1499,215928 \angle 17,31684664^\circ \text{ V}$$

$$I_a = 150 \angle -31,78833062^\circ \text{ A}$$

$$X_s = 3,5 \Omega$$

$$V_\phi = \frac{2000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$P_{out} = \frac{3|V_\phi||E_a| \text{sen}(\delta)}{X_s}$$

$$P_{out} = \frac{3 \left(\frac{2000}{\sqrt{3}} \right) (1499,215928)}{3,5} \text{sen}(17,31684664^\circ)$$

$$P_{out} = 441672,9559 \text{ W}$$

c. ¿Cuánto torque y qué corriente de campo se le aplican a la máquina? Si la corriente de armadura es 150A y el factor de potencia es 0,85 en adelanto.

$$c. P_{out} = \sqrt{3}|V_L||I_a|F.P.L = \sqrt{3}(2000)(150)(0,85) = 441672,9559 W$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{P\acute{e}r.} = 531648,1695 W$$

$$T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega} = \frac{531648,1695}{\frac{120(60)\pi}{6(30)}}$$

$$\boxed{T_{in} = 4230,721708 Nm}$$

$$I_a = 150\angle 0^\circ + \cos^{-1}(0,85) = 150\angle 31,78833062^\circ A$$

$$E_a = \frac{2000}{\sqrt{3}}\angle 0^\circ + I_a(j3,5) = 985,021963\angle 26,93861129^\circ V$$

$$V_0 = \sqrt{3}|E_a| = 1706,108086 V$$

$$I_f = \frac{25(1706,108086)}{3600 - 1706,108086}$$

$$\boxed{I_f = 22,52119133 A}$$

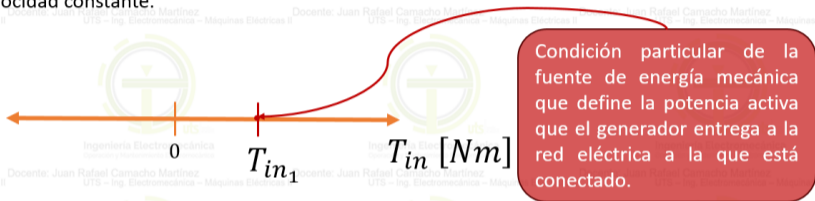
$$P_{out} = \frac{3|V_\phi||E_a|}{X_s} \text{sen}(\delta)$$

$$P_{out} = \frac{3\left(\frac{2000}{\sqrt{3}}\right)(985,021963)}{3,5} \text{sen}(26,93861129^\circ)$$

$$P_{out} = 441672,9559 W$$

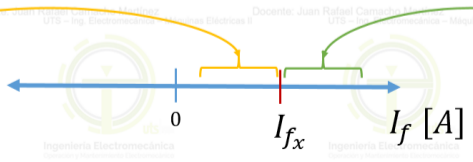
RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DEL G.S. SÍNCRONO

La potencia activa que el generador entrega a la red eléctrica a la que se encuentra conectado es proporcional al torque que se le aplique en el eje. Existe un torque aplicado (T_x) que, de manera justa, satisface las pérdidas de la máquina, por lo cual, la potencia activa de salida es cero. Es decir, si se aplicara un torque menor que T_x , la máquina tomaría de la red la potencia activa necesaria para mantener su velocidad constante.



Las variaciones en la corriente de campo (I_f) del generador síncrono afectan la potencia reactiva asociada a la máquina. Dependiendo del torque aplicado, existe un valor (I_{fx}) de I_f para el cual el factor de potencia es unitario. Valores de corriente de campo superiores a I_{fx} hacen que la máquina opere en atraso (sobrexcitación) y valores inferiores a I_{fx} ocasionan que opere en adelante (subexcitación).

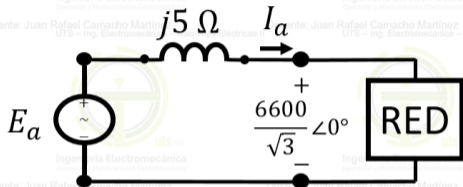
Subexcitación: el generador opera con factor de potencia en adelante.



Sobreexcitación: el generador opera con factor de potencia en atraso.

Ejercicio 5.14 (Jesús Fraile Mora)

Un alternador trifásico tiene una impedancia síncrona de $(0 + j5)\Omega$ y está conectado a una red de potencia infinita de $6600 V$. La excitación es tal que la f.e.m. inducida en vacío es de $6000 V$. Determinar la potencia activa máxima que en estas condiciones podrá suministrar la máquina, sin que exista pérdida de estabilidad. Hallar también la corriente de inducido y el *F.P.* para dicha carga.



$$-E_a + jX_s I_a + V_\phi = 0$$

$$I_a = \frac{E_a - V_\phi}{jX_s} = \frac{\left(\frac{6000}{\sqrt{3}} \angle 90^\circ\right) - \left(\frac{6600}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ\right)}{j5}$$

$$I_a = 1029,951455 \angle 47,72631099^\circ A$$

$$|I_a| = 1029,951455 A$$

$$\delta = 90^\circ$$

$$P_{out} = \frac{3|V_\phi||E_a|}{X_s} \text{sen}(\delta)$$

$$P_{out-\text{m}\acute{a}\text{x.}} = \frac{3\left(\frac{6600}{\sqrt{3}}\right)\left(\frac{6000}{\sqrt{3}}\right)}{5} \text{sen}(90^\circ)$$

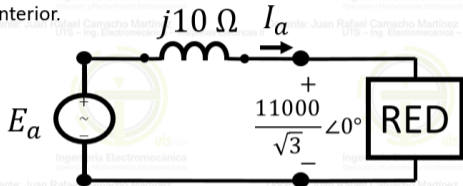
$$P_{out-\text{m}\acute{a}\text{x.}} = 7920000 W$$

$$F.P. = \cos(\theta_{V_\phi} - \theta_{I_a}) = \cos(0^\circ - 47,72631099^\circ)$$

$$F.P. = 0,672672794 \text{ en Adelanto}$$

Ejercicio 5.15 (Jesús Fraile Mora)

Un alternador trifásico tiene una impedancia síncrona de $(0 + j10) \Omega$, está conectado a una red de potencia infinita de $11000 V$, suministrando una corriente de $220 A$ con $F.P.$ unidad. Sin cambiar la entrada de potencia a la máquina motriz, se eleva la f.e.m. un 25%. Calcular: a) Intensidad del inducido y $F.P.$ en estas condiciones; b) potencia activa máxima que podrá ceder la máquina a la red antes de perder el sincronismo, con el nuevo valor de la excitación; c) intensidad y $F.P.$ en las condiciones del apartado anterior.



SITUACIÓN 1:

$$E_{a-1} = V_{\phi} + jX_s I_{a-1} = \frac{11000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + j10(220 \angle 0^\circ)$$

$$E_{a-1} = 6721,111019 \angle 19,10660535^\circ V$$

$$P_{out-1} = \sqrt{3}(11000)(220)(1) = 4191562,954 W$$

SITUACIÓN 2:

$$|E_{a-2}| = 1,25|E_{a-1}|$$

$$|E_{a-2}| = 8401,388774 V$$

$$P_{out-2} = P_{out-1}$$

$$P_{out} = \frac{3|V_{\phi}||E_a|}{X_s} \text{sen}(\delta)$$

$$\delta_2 = \text{sen}^{-1} \left(\frac{X_s P_{out-2}}{3|V_{\phi}||E_{a-2}|} \right) = \text{sen}^{-1} \left[\frac{10(4191562,954)}{\sqrt{3}(11000)(8401,388774)} \right]$$

$$\delta_2 = 15,1805438^\circ$$

$$E_{a-2} = 8401,388774 \angle 15,1805438^\circ V$$

$$I_{a-2} = \frac{E_{a-2} - V_{\phi}}{jX_s} = 281,5734534 \angle -38,61807164^\circ A$$

a) $|I_{a-2}| = 281,5734534 A$

$$F.P._2 = \cos(0^\circ + 38,61807164^\circ)$$

a) $F.P._2 = 0,7813236559 \text{ en Atraso}$

$$P_{out-m\acute{a}x-2} = \frac{3|V_{\phi}||E_{a-2}|}{X_s} \text{sen}(90^{\circ})$$

$$P_{out-m\acute{a}x-2} = \frac{\sqrt{3}(11000)(8401,388774)}{10} (1)$$

$$b) \quad P_{out-m\acute{a}x-2} = 16006795,43 \text{ W}$$

SITUACIÓN 3:

$$P_{out-3} = P_{out-m\acute{a}x-2}$$

$$E_{a-3} = 8401,388774 \angle 90^{\circ} \text{ V}$$

$$I_{a-3} = \frac{E_{a-3} - V_{\phi}}{jX_s}$$

$$I_{a-3} = 1053,169819 \angle 37,08668993^{\circ} \text{ A}$$

$$c) \quad |I_{a-2}| = 1053,169819 \text{ A}$$

$$F.P._2 = \cos(0^{\circ} - 37,08668993^{\circ})$$

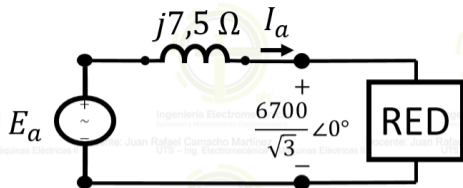
$$c) \quad F.P._2 = 0,7977240353 \text{ en Adelanto}$$

Para el análisis de todas las situaciones propuestas, considere el generador síncrono cuyo voltaje nominal ($V_{Nom.}$), capacidad ($S_{Nom.}$), reactancia síncrona (X_S), parámetros para definir su curva de vacío ($V_0 = \frac{A I_f}{B + I_f}$), cantidad de polos por fase ($Polos$) y potencia de pérdidas mecánicas y en el núcleo ($P_{Mec.}$) se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO B. Considere que la máquina se encuentra conectada a un barraje infinito, cuya tensión es igual a la tensión nominal de la máquina.

- (1) ¿Cuánto torque y qué corriente de campo se le aplican a la máquina? Si la corriente de armadura es nula.
- (1,2) Calcule la potencia activa, potencia reactiva y la magnitud de la corriente de armadura de la máquina, si se le aplica un torque T_{in1} y una corriente de campo I_{f1} . Los valores de T_{in1} e I_{f1} se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO C.
- (1) Calcule el torque aplicado y la corriente de campo de la máquina si entrega a la red el 60% de su capacidad con un factor de potencia de 0,85 *en atraso*.
- (1,2) Calcule la eficiencia, la potencia reactiva y la magnitud de la corriente de armadura de la máquina, si entrega una potencia activa P_{out2} y se le aplica una corriente de campo I_{f2} . Los valores de P_{out2} e I_{f2} se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO C.
- (0,6) Determine la corriente de campo que producirá la mínima corriente de armadura, si se desea mantener constante la potencia activa que la máquina suministra a la red cuando la magnitud de la corriente de armadura es I_{a3} y la corriente de campo es I_{f3} . Los valores de I_{a3} e I_{f3} se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO C.

ANEXO B. DATOS DE LA MÁQUINA SÍNCRONA							
APELLIDO	$V_{Nom.}$ [V]	$S_{Nom.}$ [kVA]	X_S [Ω]	A	B	Polos	$P_{Mec.}$ [kW]
	6700	9900	7,5	22391	176	2	2286

ANEXO C. INFORMACIÓN PARA LAS PREGUNTAS						
APELLIDO	Punto 2		Punto 4		Punto 5	
	T_{in1} [Nm]	I_{f1} [A]	P_{out2} [kW]	I_{f2} [A]	I_{a3} [A]	I_{f3} [A]
	13942	51	1801,8	118	418	58



PUNTO 1

$$I_A = 0 \text{ A}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Mec.}$$

$$P_{in} = 0 + 2286(10^3) = T_{in}\omega$$

$$T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega} = \frac{2286(10^3)}{\left(\frac{120(60)}{2}\right)\left(\frac{\pi}{30}\right)}$$

$$T_{in} = \mathbf{6063,803332 \text{ Nm}}$$

$$-E_a + jX_s I_a + V_\phi = 0$$

$$E_a = V_\phi + jX_s I_a = V_\phi + jX_s(0) = V_\phi$$

$$V_0 = \sqrt{3}|E_a| = \sqrt{3}\frac{6700}{\sqrt{3}} = 6700 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{176V_0}{22391 - V_0} = \frac{176(6700)}{22391 - 6700}$$

$$I_f = \mathbf{75,15136065 \text{ A}}$$

$$V_0 = \frac{22391I_f}{176 + I_f}$$

$$I_f = \frac{176V_0}{22391 - V_0}$$

PUNTO 2

$$T_{in} = 13942 \text{ Nm}$$

$$I_f = 51 \text{ A}$$

$$P_{in} = T_{in}\omega = 13942 \left[\left(\frac{120(60)}{2} \right) \left(\frac{\pi}{30} \right) \right]$$

$$P_{in} = 5256010,173 \text{ W}$$

$$P_G = P_{in} - P_{Mec.} = P_{in} - 2286(10^3)$$

$$P_G = \mathbf{2970010,173 \text{ W}}$$

$$V_0 = \frac{22391I_f}{176 + I_f} = \frac{22391(51)}{176 + 51} = 5030,577093 \text{ V}$$

$$|E_a| = \frac{V_0}{\sqrt{3}} = \frac{5030,577093}{\sqrt{3}} = 2904,405039 \text{ V}$$

$$P_{out} = \frac{3|V_{\phi}||E_a|}{X_s} \text{sen}(\delta)$$

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left(\frac{X_s P_G}{3|V_{\phi}||E_a|} \right)$$

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left[\frac{7,5(2970010,173)}{\sqrt{3}(6700)(2904,405039)} \right]$$

$$\delta = 41,36748349^\circ$$

$$E_a = 2904,405039 \angle 41,36748349^\circ \text{ V}$$

$$I_a = \frac{E_a - V_{\phi}}{jX_s} = \frac{E_a - \left(\frac{6700}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \right)}{j7,5}$$

$$I_a = 340,8627631 \angle 41,33747428^\circ \text{ A}$$

$$Q_G = \sqrt{3}|V_L||I_a| \text{sen}(\theta_{V_{\phi}} - \theta_{I_a})$$

$$Q_G = \sqrt{3}(6700)(340,8627631) \text{sen}(0^\circ - 41,33747428^\circ)$$

$$Q_G = -2612661,452 \text{ VAR}$$

$$|I_a| = 340,8627631 \text{ A}$$

PUNTO 3

$$S_G = 0,6S_{Nom.} = 0,6[9900(10^3)] = 5940(10^3)$$

$$F.P.G = 0,85 \text{ en Atraso}$$

$$P_{in} = P_G + P_{Mec.} = S_G F.P.G + 2286(10^3)$$

$$P_{in} = 7335000 \text{ W} = T_{in} \omega$$

$$T_{in} = \frac{P_{in}}{\omega} = \frac{P_{in}}{\left(\frac{120(60)}{2} \right) \left(\frac{\pi}{30} \right)}$$

$$T_{in} = 19456,69179 \text{ Nm}$$

$$I_a = \frac{S_G}{\sqrt{3}|V_L|} \angle \left[\theta_{V_{\phi}} \mp \cos^{-1}(F.P.G) \right] = \frac{5940(10^3)}{\sqrt{3}(6700)} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0,85)]$$

$$I_a = 511,8597909 \angle -31,78833062^\circ \text{ A}$$

$$E_a = V_{\phi} + jX_s I_a = \left(\frac{6700}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \right) + j7,5 I_a$$

$$E_a = 6733,966455 \angle 28,98457658^\circ \text{ V}$$

$$I_f = \frac{176(\sqrt{3}|E_a|)}{22391 - \sqrt{3}|E_a|}$$

$$I_f = 191,3588873 \text{ A}$$

PUNTO 4

$$P_G = 1801,8 \text{ kW} \quad I_f = 118 \text{ A}$$

$$P_{in} = P_G + P_{Mec.} = 1801,8(10^3) + 2286(10^3) = 4087800 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_G}{P_{in}} 100\% = \frac{1801,8}{4087,8} 100\%$$

$$\eta = 44,0774989 \%$$

$$V_0 = \frac{22391I_f}{176 + I_f} = \frac{22391(118)}{176 + 118} = 8986,863946 \text{ V}$$

$$|E_a| = \frac{V_0}{\sqrt{3}} = \frac{8986,863946}{\sqrt{3}} = 5188,568318 \text{ V}$$

$$P_{out} = \frac{3|V_\phi||E_a|}{X_s} \text{sen}(\delta)$$

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left(\frac{X_s P_G}{3|V_\phi||E_a|} \right)$$

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left[\frac{7,5(1801800)}{\sqrt{3}(6700)(5188,568318)} \right]$$

$$\delta = 12,96948292^\circ$$

$$E_a = 5188,568318 \angle 12,96948292^\circ \text{ V}$$

$$I_a = \frac{E_a - V_\phi}{jX_s} = \frac{(5188,568318 \angle 12,96948292^\circ) - \frac{6700}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ}{j7,5}$$

$$I_a = 221,8012934 \angle -45,57182719^\circ \text{ A}$$

$$Q_G = \sqrt{3}|V_L||I_a| \text{sen}(\theta_{V_\phi} - \theta_{I_a})$$

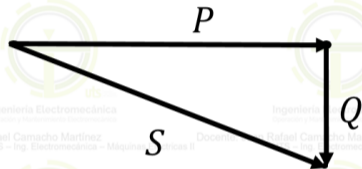
$$Q_G = \sqrt{3}(6700)(221,8012934) \text{sen}(0^\circ + 45,57182719^\circ)$$

$$Q_G = 1838128,667 \text{ VAr}$$

$$|I_a| = 221,8012934 \text{ A}$$

PUNTO 5

$$S = \sqrt{3}|V_L||I_L|$$

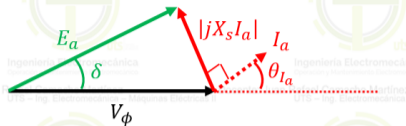


SITUACIÓN 1:

$$|I_a| = 418 \text{ A} \quad I_f = 58 \text{ A}$$

$$V_0 = \frac{22391I_f}{176 + I_f} = \frac{22391(58)}{176 + 58} = 5549,905983 \text{ V}$$

$$|E_a| = \frac{V_0}{\sqrt{3}} = \frac{5549,905983}{\sqrt{3}} = 3204,239713 \text{ V}$$



$$|jX_s I_a|^2 = |E_a|^2 + |V_\phi|^2 - 2|E_a||V_\phi| \cos(\delta)$$

$$\delta = \cos^{-1} \left[\frac{|E_a|^2 + |V_\phi|^2 - |jX_s I_a|^2}{2|E_a||V_\phi|} \right]$$

$$\delta = 51,58741208^\circ$$

$$P_G = \sqrt{3} \frac{(6700)(3204,239713)}{7,5} \text{sen}(51,58741208^\circ)$$

$$P_G = 3884809,656 \text{ W}$$

SITUACIÓN 2:

$$Q_G = 0 \text{ VAR} \quad S_G = P_G \quad F.P._G = 1$$

$$I_a = \frac{3884809,656}{\sqrt{3}(6700)} \angle 0^\circ = 334,7605822 \angle 0^\circ \text{ A}$$



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

$$E_a = V_\phi + jX_s I_a$$

$$E_a = \frac{6700}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + j7,5 I_a$$

$$E_a = 4611,612489 \angle 32,98578233^\circ \text{ V}$$

$$V_0 = \sqrt{3} |E_a| = 7987,547136 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{176(7987,547136)}{22391 - 7987,547136}$$

$$I_f = 97,60217284 \text{ A}$$



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



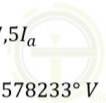
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



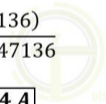
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento de Equipos Eléctricos

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



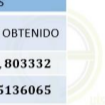
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

ANEXO A. TABLA DE RESPUESTAS

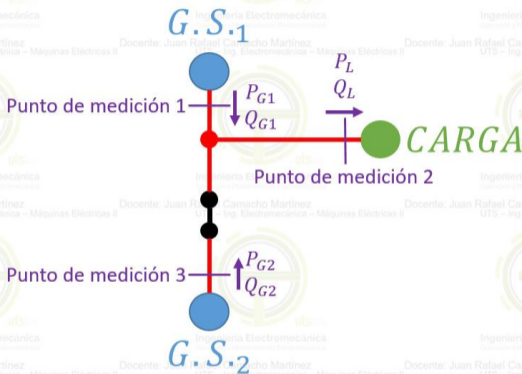
PUNTO	VARIABLE	VALOR OBTENIDO
PRIMERO (1)	T_m [Nm]	6063,803332
	I_f [A]	75,15136065
SEGUNDO (2)	P_G [W]	2970010,173
	Q_G [VAr]	-2612661,452
TERCERO (3)	$ I_a $ [A]	340,8627631
	T_m [Nm]	19456,69179
CUARTO (4)	I_f [A]	191,3588873
	$\% \eta$ [%]	44,0774989
QUINTO (5)	Q_G [VAr]	1838128,667
	$ I_a $ [A]	221,8012934
	I_f [A]	97,60217284

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

OPERACIÓN DE GENERADORES SÍNCRONOS CONECTADOS EN PARALELO

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

OPERACIÓN DE GENERADORES SÍNCRONOS EN PARALELO



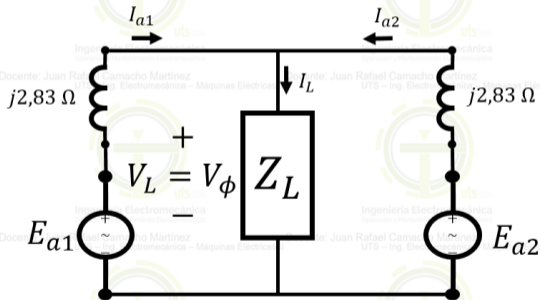
$$I_L = I_{G1} + I_{G2}$$

$$P_L = P_{G1} + P_{G2}$$

$$Q_L = Q_{G1} + Q_{G2}$$

Ejercicio 5.22 (Jesús Fraile Mora)

Dos alternadores idénticos de 15 MVA, 6,6 kV, 50 Hz, conectados en estrella, están acoplados en paralelo, suministrando en conjunto a una red aislada una potencia de 20 MW con $F.P.$ 0,8 inductivo. Ambos generadores tienen resistencias de inducido despreciables y reactancias síncronas de un valor de $2,83 \Omega$. Sabiendo que la potencia activa se reparte por igual entre ambos generadores y que el primero tiene una f.e.m. de 11484 V de línea, calcular: 1) Corrientes suministradas por cada generador con sus $F.P.$ Respectivos; 2) f.e.m. generada por el segundo alternador. NOTA: Se supone que la tensión común en barras de ambos generadores permanece constante en el valor nominal de 6600 V.



$$P_L = 20 \text{ MW} \quad F.P._L = 0,8 \text{ en Atraso}$$

$$V_L = \frac{6600}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$|E_{a1}| = \frac{11484}{\sqrt{3}} \text{ V} \cong 6630,290491$$

$$P_{out1} = P_{out2} = \frac{P_L}{2} = \frac{20 \text{ MW}}{2} = 10 \text{ MW}$$

$$\delta_1 = \text{sen}^{-1} \left[\frac{X_{s1} P_{out1}}{3 |V_\phi| |E_{a1}|} \right] = \text{sen}^{-1} \left[\frac{2,83 [10 (10^6)]}{3 \left(\frac{6600}{\sqrt{3}} \right) (6630,290491)} \right]$$

$$\delta = 21,92413015^\circ \quad E_{a1} = 6630,290491 \angle 21,92413015^\circ \text{ V}$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a1} - V_\phi}{jX_{s1}} = 1203,775415 \angle -43,39027255^\circ \text{ A}$$

$$I_L = \frac{P_L}{\sqrt{3}|V_{\text{Línea-L}}|F.P.L} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(F.P.L)] = \frac{20(10^6)}{\sqrt{3}(6600)(0,8)} \angle -\cos^{-1}(0,8)$$

$$I_L = 2186,932838 \angle -36,86989765^\circ \text{ A}$$

$$I_L = I_{a1} + I_{a2} \rightarrow I_{a2} = I_L - I_{a1} = (2186,932838 \angle -36,86989765^\circ) - (1203,775415 \angle -43,39027255^\circ)$$

$$I_{a2} = 1000,327926 \angle -29,01575437^\circ \text{ A}$$

$$F.P. = \cos(\theta_{V_\phi} - \theta_{I_a})$$

$$\begin{aligned} |I_{a1}| &= 1203,775415 & F.P._1 &= 0,7266913115 \text{ en Atraso} \\ |I_{a2}| &= 1000,327926 & F.P._2 &= 0,8744863681 \text{ en Atraso} \end{aligned}$$

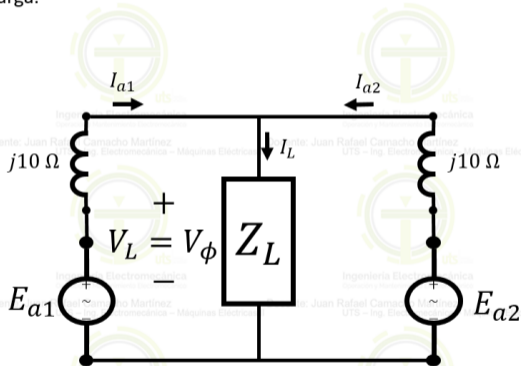
$$E_{a2} = V_\phi + jX_s I_{a2} = \frac{6600}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + j2,83(1000,327926 \angle -29,01575437^\circ)$$

$$E_{a2} = 5744,466929 \angle 25,52819567^\circ \text{ V}$$

$$V_{0-2} = \sqrt{3}|E_{a2}| = 9949,708583 \text{ V}$$

Ejercicio 5.23 (Jesús Fraile Mora)

Dos alternadores idénticos conectados en estrella están acoplados en paralelo alimentando una carga aislada. Ambas máquinas tienen sus resistencias de inducido despreciables y sus reactancias síncronas son de 10Ω . Las f.e.m.s. generadas por cada alternador son $E_1 = 6700 \text{ V/fase}$ y $E_2 = 6500 \text{ V/fase}$, estando la f.e.m. E_2 adelantándose 10° eléctricos respecto a E_1 . Si la carga absorbe una corriente total de 500 A que está desfasada 37° en retraso respecto a la f.e.m. E_1 , calcular: a) Tensión en la barra común en ambas máquinas en voltios por fase; b) Corrientes suministradas por cada alternador con sus *F.P.*; c) *F.P.* de la carga.



$$|E_{a1}| = 6700 \text{ V} \quad |E_{a2}| = 6500 \text{ V}$$

$$E_{a1} = 6700 \angle 0^\circ \text{ V} \quad E_{a2} = 6500 \angle 10^\circ \text{ V} \quad I_L = 500 \angle -37^\circ \text{ A}$$

$$-E_{a1} + j10I_{a1} + V_\phi = 0$$

$$-E_{a2} + j10I_{a2} + V_\phi = 0$$

$$I_{a1} + I_{a2} = I_L$$

$$V_\phi = E_{a1} - j10I_{a1}$$

$$V_\phi = E_{a2} - j10I_{a2}$$

$$I_{a2} = I_L - I_{a1}$$

$$V_\phi = E_{a2} - j10(I_L - I_{a1}) = E_{a2} - j10I_L + j10I_{a1}$$

$$E_{a1} - j10I_{a1} = E_{a2} - j10I_L + j10I_{a1}$$

$$j20I_{a1} = E_{a1} - E_{a2} + j10I_L$$

$$I_{a1} = \frac{E_{a1} - E_{a2} + j10I_L}{j20}$$

$$I_{a1} = 218,7856294 \angle -49,10854385^\circ \text{ A}$$

$$V_{\phi} = E_{a1} - j10I_{a1}$$

$$V_{\phi} = 6700\angle 0^{\circ} - j10(218,7856294\angle - 49,10854385^{\circ})$$

$$V_{\phi} = 5245,406518\angle - 15,84554473^{\circ} \text{ V}$$

$$\boxed{|V_{\phi}| = 5245,406518 \text{ V}}$$

$$I_{a1} = 218,7856294\angle - 49,10854385^{\circ} \text{ A}$$

$$I_{a2} = I_L - I_{a1} = (500\angle - 37^{\circ}) - (218,7856294\angle - 49,10854385^{\circ})$$

$$I_{a2} = 289,7396623\angle - 27,88622842^{\circ} \text{ A}$$

$$F.P.G = \cos(\theta_{V_{\phi}} - \theta_{I_a})$$

$$\boxed{\begin{array}{ll} |I_{a1}| = 218,7856294 \text{ A} & |I_{a2}| = 289,7396623 \text{ A} \\ F.P.G_1 = 0,836161739 \text{ en Atraso} & F.P.G_2 = 0,9779997235 \text{ en Atraso} \end{array}}$$

$$F.P.L = \cos(-15,84554473^{\circ} + 37^{\circ})$$

$$\boxed{F.P.L = 0,932610964 \text{ en Atraso}}$$

PRUEBA DEL RESULTADO

$$\delta_1 - \theta_{V\phi} = 0^\circ + 15,84554473^\circ$$

$$P_{G_1} = 3 \frac{(6700)(5245,406518)}{10} \text{sen}(15,84554473^\circ) = 2878786,717 \text{ W}$$

$$P_{G_1} = 3(5245,406518)(218,7856294)(0,836161739) = 2878786,717 \text{ W}$$

$$P_{G_2} = 3(5245,406518)(289,7396623)(0,9779997235) = 4459098,726 \text{ W}$$

$$P_L = P_{G_1} + P_{G_2} = 7337885,443 \text{ W}$$

$$P_L = 3(5245,406518)(500)(0,932610964) = 7337885,444 \text{ W}$$

Para el análisis de todas las situaciones propuestas, considere el generador síncrono cuyo voltaje nominal ($V_{Nom.}$), capacidad ($S_{Nom.}$), reactancia síncrona (X_S), parámetros para definir su curva de vacío ($V_0 = \frac{A I_f}{B + I_f}$), cantidad de polos por fase ($Polos$) y potencia de pérdidas mecánicas y en el núcleo ($P_{Mec.}$) se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO B. Considere que la máquina se encuentra conectada a un barraje infinito, cuya tensión es igual a la tensión nominal de la máquina.

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

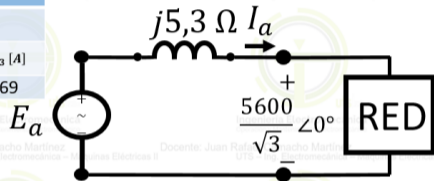
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

ANEXO B. DATOS PARA CADA ESTUDIANTE

APELLIDO	$V_{Nom.}$ [V]	$S_{Nom.}$ [kVA]	X_S [Ω]	A	B	Polos	$P_{Mec.}$ [kW]	PUNTO 2	PUNTO 3	
								T_{in2} [Nm]	I_{a3} [A]	I_{f3} [A]
	5600	8200	5,3	18485	183	6	1943	40258	220	69

$$V_0 = \frac{18485 I_f}{183 + I_f} \quad I_f = \frac{183 V_0}{18485 - V_0}$$



1. (2) Calcule el torque y la corriente de campo que se le aplican a la máquina si la corriente de armadura es el 5% de la nominal, el ángulo de potencia es 0° y el generador opera en atraso.

$$I_a = 0,05 \left(\frac{8200000}{\sqrt{3}(5600)} \right) \angle -90^\circ = 42,27028757 \angle -90^\circ \text{ A}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Mec.} = 0 + 1943(10^3)$$

$$P_{in} = 1943000 \text{ W} = T_{in} \omega$$

$$T_{in} = \frac{1943000}{\frac{120(60)}{6} \left(\frac{\pi}{30} \right)}$$

$$T_{in} = \mathbf{15461,90272 \text{ Nm}}$$

$$E_a = V_\phi + jX_S I_a = \frac{5600}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + j5,3 I_a$$

$$E_a = 3457,194032 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$V_0 = \sqrt{3} |E_a| = 5988,035715 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{183(5988,035715)}{18485 - 5988,035715}$$

$$I_f = \mathbf{87,68613808 \text{ A}}$$

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

2. (1) Calcule la corriente de campo que producirá la mínima corriente de armadura si el torque aplicado es T_{in2} .

$$T_{in2} = 40258 \text{ Nm}$$

$$P_{in} = 40258 \left[\frac{120(60)\pi}{6(30)} \right] = 5058969,482 \text{ W}$$

$$P_{out} = P_{in} - P_{Mec.} = 3115969,482 \text{ W}$$

$$Q_{out} = 0 \text{ VAR} \quad S_{out} = P_{out}$$

$$I_a = \frac{3115969,482}{\sqrt{3}(5600)} \angle 0^\circ = 321,2510391 \angle 0^\circ \text{ A}$$

$$E_a = V_\phi + jX_s I_a = \frac{5600}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + j5,3(321,2510391 \angle 0^\circ)$$

$$E_a = 3654,077719 \angle 27,77195203^\circ \text{ V}$$

$$V_0 = \sqrt{3}(3654,077719) = 6329,048264 \text{ V}$$

$$I_f = \frac{183(6329,048264)}{18485 - 6329,048264}$$

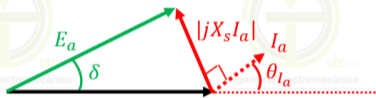
$$I_f = 95,27973272 \text{ A}$$

3. (2) Calcule la eficiencia y la potencia reactiva de la máquina si la magnitud de la corriente de armadura es I_{a3} y la corriente de capo es I_{f3} .

$$|I_a| = I_{a3} = 220 \text{ A} \quad I_{f3} = 69 \text{ A}$$

$$V_0 = \frac{18485(69)}{183 + 69} = 5061,369048 \text{ V}$$

$$|E_a| = \frac{V_0}{\sqrt{3}} = 2922,182782 \text{ V}$$



$$E_a = 2922,182782 \angle 21,06588745^\circ \text{ V}$$

$$I_a = \frac{E_a - V_\phi}{jX_s} = 220 \angle 25,7342748^\circ \text{ A}$$

$$Q_G = \sqrt{3}|V_L||I_L|\text{sen}(\theta_{V_\phi} - \theta_{I_a}) = \sqrt{3}(5600)(220)\text{sen}(-25,7342748^\circ)$$

$$Q_G = -926529,374 \text{ VAr}$$

$$|jX_s I_a|^2 = |E_a|^2 + |V_\phi|^2 - 2|E_a||V_\phi|\cos(\delta)$$

$$\delta = \cos^{-1} \left[\frac{|E_a|^2 + |V_\phi|^2 - |jX_s I_a|^2}{2|E_a||V_\phi|} \right]$$

$$\delta = 21,06588745^\circ$$

$$P_{out} = \frac{(5600)(5061,369048)}{5,3} \text{sen}(21,06588745^\circ) = 1922242,263 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Mec.} = 3865242,263 \text{ W}$$

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\%$$

$$\% \eta = 49,73148207 \%$$



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



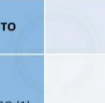
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



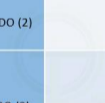
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



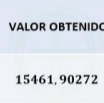
Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

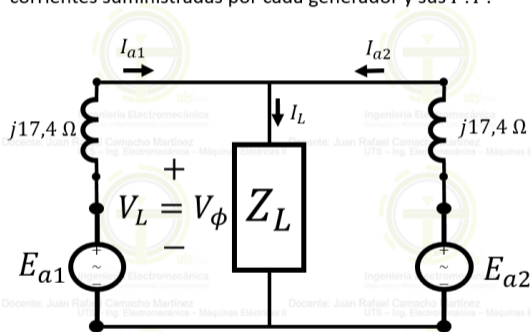
Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

ANEXO A. TABLA DE RESPUESTAS

PUNTO	VARIABLE	VALOR OBTENIDO
PRIMERO (1)	$T_{in} [Nm]$	15461,90272
	$I_f [A]$	87,68613808
SEGUNDO (2)	$I_f [A]$	95,27973272
TERCERO (3)	$\% \eta$ [%]	49,73148207
	$Q_G [VAr]$	-926529,374

Ejercicio 5.24 (Jesús Fraile Mora)

Dos alternadores idénticos de 5000 kVA, 6,6 kV, conectados en estrella, funcionan en paralelo con las mismas excitaciones y se reparten por igual una potencia activa de 8 MW a 6,6 kV con *F.P.* 0,8 inductivo. Las resistencias de los inducidos son despreciables y las reaktancias síncronas son 17,4 Ω: a) Calcular las *f.e.m.s.* de línea de cada generador; b) si la *f.e.m.* de uno de los generadores se reduce un 15%, determinar la *f.e.m.* que tendrá que generarse en el otro para evitar un cambio en la tensión en barras y un suministro adicional de vapor a cada uno; c) calcular en las condiciones del apartado anterior las corrientes suministradas por cada generador y sus *F.P.*



$$V_{\phi} = \frac{6600}{\sqrt{3}} \angle 0^{\circ} V$$

$$P_L = P_{out1} + P_{out2} \quad P_{out1} = P_{out2}$$

$$P_L = 8 \text{ MW} \quad P_{out1} = 4 \text{ MW} \quad P_{out2} = 4 \text{ MW}$$

$$F.P._L = 0,8 \text{ inductivo}$$

$$I_L = \frac{8(10^6)}{\sqrt{3}(6600)(0,8)} \angle -\cos^{-1}(0,8)$$

$$I_L = 874,7731351 \angle -36,86989765^{\circ} A$$

$$I_{a1} = I_{a2} = \frac{I_L}{2} = 437,3865676 \angle -36,86989765^{\circ} A$$

$$E_{a1} = E_{a2} = \frac{6600}{\sqrt{3}} \angle 0^{\circ} + j17,4(437,3865676 \angle -36,86989765^{\circ})$$

$$E_{a1} = E_{a2} = 10355,68009 \angle 36,01029311^{\circ} V$$

$$V_{0-1} = V_{0-2} = \sqrt{3}|E_{a1}| = \sqrt{3}(10355,68009)$$

$$\text{a) } \boxed{V_{0-1} = V_{0-2} = 17936,56406 \text{ V}}$$

$$|E_{a1-b}| = 0,85|E_{a1}| = 8802,328077 \text{ V}$$

$$P_L = 8 \text{ MW} \quad P_{out1} = 4 \text{ MW} \quad P_{out2} = 4 \text{ MW}$$

$$\delta_{1-b} = \text{sen}^{-1} \left[\frac{P_{out1} X_s}{3|V_\phi||E_{a-1b}|} \right] = 43,76348396^\circ$$

$$E_{a1-b} = 8802,328077 \angle 43,76348396^\circ \text{ V}$$

$$I_{a1-b} = \frac{E_{a1-b} - V_\phi}{jX_s} = 379,2830763 \angle -22,69758484^\circ \text{ A}$$

$$I_{a2-b} = I_L - I_{a1-b} = 515,4678098 \angle -47,24858916^\circ \text{ A}$$

$$E_{a2-b} = V_\phi + jX_s I_{a2-b} = 12048,16285 \angle 30,35393819^\circ \text{ V}$$

$$V_{0-2-b} = \sqrt{3}|E_{a2-b}|$$

$$\text{b) } \boxed{V_{0-2-b} = 20868,03019 \text{ V}}$$

$$F.P.G = \cos(\theta_{V_\phi} - \theta_{I_a})$$

$$\text{c) } \boxed{\begin{array}{ll} |I_{a1-c}| = 379,2830763 \text{ A} & |I_{a2-c}| = 515,4678098 \text{ A} \\ F.P.G_1 = 0,9225543555 \text{ en Atraso} & F.P.G_2 = 0,6788188271 \text{ en Atraso} \end{array}}$$

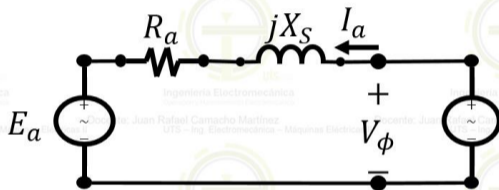
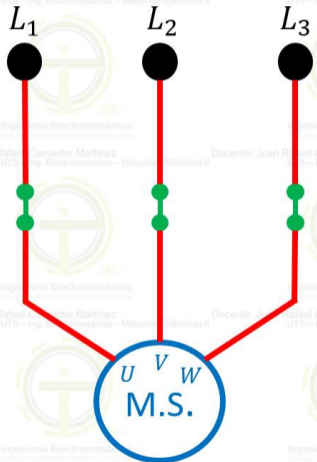
MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

MOTOR SÍNCRONO, CURVAS EN “V”

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

MÁQUINA SÍNCRONA OPERANDO COMO MOTOR

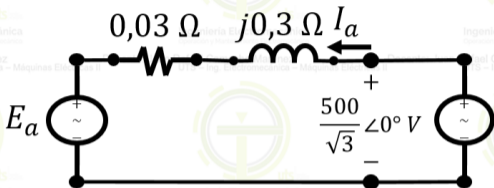
RED



$$1h.p. = 745,7 W$$

Ejercicio 5.25 (Jesús Fraile Mora)

Un motor síncrono trifásico conectado en estrella, de 75 kW , 500 V , tiene una impedancia síncrona $Z_s = (0,03 + j0,3)\ \Omega$. Si funciona a plena carga con un $F.P. 0,8\text{ capacitivo}$ y rendimiento del 90% , calcular la $f.e.m.$ inducida y la potencia activa absorbida de la red.



$$|E_a| = 309,0012473\text{ V}$$

$$P_{in} = 83333,33333\text{ W}$$

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% \rightarrow P_{in} = \frac{P_{out}}{\% \eta} 100\% = \frac{75000\text{ W}}{90\%} 100\%$$

$$P_{in} = \frac{250000}{3}\text{ W} \approx 83333,33333\text{ W}$$

$$I_a = \frac{P_{in}}{\sqrt{3}|V_L|F.P.} \angle \mp \cos^{-1}(F.P.) = \frac{250000/3}{\sqrt{3}(500)(0,8)} \angle \cos^{-1}(0,8) = 120,2813061 \angle 36,86989765^\circ\text{ A}$$

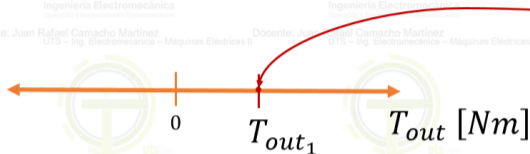
$$-E_a - I_a(R_a + jX_s) + V_\phi = 0$$

$$E_a = V_\phi - I_a(R_a + jX_s) = \frac{500}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ - [(120,2813061 \angle 36,86989765^\circ)(0,03 + j0,3)]$$

$$E_a = 309,0012473 \angle -5,763854363^\circ\text{ V}$$

RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DEL MOTOR SÍNCRONO

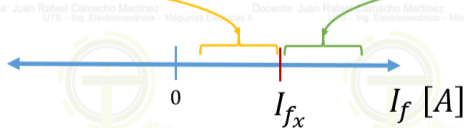
El torque de salida (T_{out}) de un motor síncrono es directamente proporcional a la carga acoplada al eje de la máquina. La potencia activa que el motor toma de la red eléctrica que lo alimenta se asocia directamente a la carga.



Condición particular de carga que define la potencia activa que el motor toma de la red eléctrica que lo alimenta.

Las variaciones en la corriente de campo (I_f) del motor síncrono afectan la potencia reactiva asociada a la máquina. Dependiendo de las condiciones de carga del motor, existe un valor (I_{f_x}) de I_f para el cual el factor de potencia es unitario. Valores de corriente de campo superiores a I_{f_x} hacen que la máquina opere en adelanto (sobreexcitación) y valores inferiores a I_{f_x} ocasionan que opere en atraso (subexcitación).

Subexcitación: el motor opera con factor de potencia en atraso.

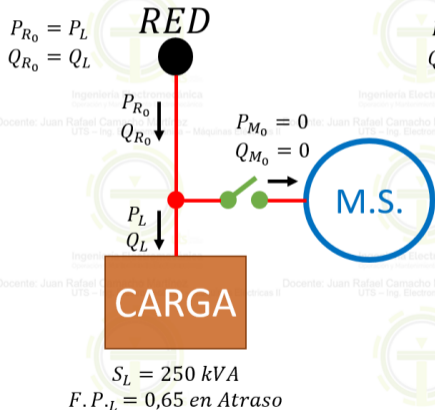


Sobreexcitación: el motor opera con factor de potencia en adelanto.

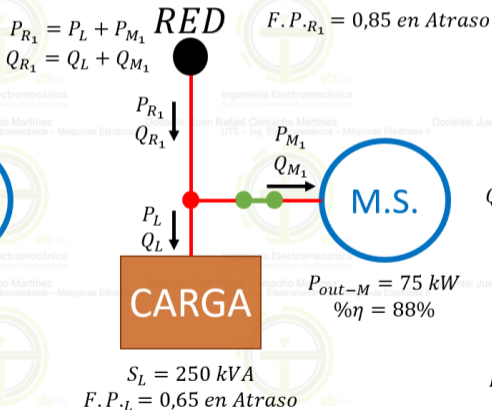
Ejercicio 5.29 (Jesús Fraile Mora)

Una carga de 250 kVA tiene un *F. P.* de 0,65 *inductivo*. Se conecta a la misma red un motor síncrono de 75 kW de rendimiento 88% para elevar el factor de potencia de la instalación a 0,85 *inductivo*. a) Calcular la potencia aparente del motor síncrono y el *F. P.* con el que trabaja. b) Si la tensión de alimentación es de 380 V y el motor tiene una impedancia síncrona de $(0 + j0,5) \Omega$ (conexión estrella), determinar la *f. m. e.* inducida en esta máquina.

Situación 0 (Interruptor abierto):



Situación 1 (Interruptor cerrado):



$$P_L = S_L F.P._L$$

$$P_L = 250(10^3)(0,65)$$

$$P_L = 162500 \text{ W}$$

$$Q_L = \sqrt{S_L^2 - P_L^2}$$

$$Q_L = 189983,5519 \text{ VAr}$$

$$\% \eta_M = \frac{P_{out-M}}{P_{M_1}} 100\%$$

$$P_{M_1} = \frac{P_{out-M}}{\% \eta} 100\%$$

$$P_{M_1} = 85227,27273 \text{ W}$$

$$P_{R_1} = P_L + P_{M_1}$$

$$Q_{R_1} = Q_L + Q_{M_1}$$

$$P_{R_1} = 162500 + 85227,27273 = 247727,2727 \text{ W}$$

$$F.P._{R_1} = 0,85 \text{ en Atraso}$$

$$S_{R_1} = \frac{P_{R_1}}{F.P._{R_1}} = \frac{247727,2727}{0,85} = 291443,8502 \text{ VA}$$

$$Q_{R_1} = \sqrt{S_{R_1}^2 - P_{R_1}^2} = 153527,5747 \text{ VAr}$$

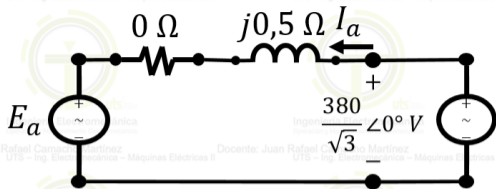
$$Q_{M_1} = Q_{R_1} - Q_L = 153527,5747 - 189983,5519 = -36455,9772 \text{ VAr}$$

$$S_{M_1} = \sqrt{P_{M_1}^2 + Q_{M_1}^2} = \sqrt{(85227,27273)^2 + (-36455,9772)^2}$$

$$\boxed{S_{M_1} = 92696,95945 \text{ VA}}$$

$$F.P._{M_1} = \frac{P_{M_1}}{S_{M_1}} = \frac{85227,27273}{92696,95945}$$

$$\boxed{F.P._{M_1} = 0,9194182122 \text{ en Adelanto}}$$



$$I_a = \frac{S_{M_1}}{\sqrt{3}(V_L)} \angle \cos^{-1}(F.P._{M_1})$$

$$I_a = \frac{92696,95945}{\sqrt{3}(380)} \angle \cos^{-1}(0,9194182122)$$

$$I_a = 140,8384592 \angle 23,15882381^\circ \text{ A}$$

$$E_a = V_\phi - Z_S I_a = \frac{380}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ - j0,5 I_a$$

$$E_a = 255,4294298 \angle -14,68318195^\circ \text{ V}$$

$$\boxed{\sqrt{3}|E_a| = 442,4167502 \text{ V}}$$

CURVAS EN "V" DEL MOTOR SÍNCRONO

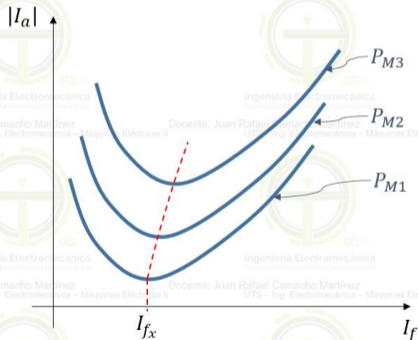
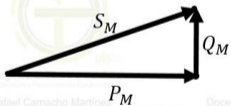
$|I_a|$ Vs I_f ; para una carga constante

$$P_{in} = P_{out} + P_{p\acute{e}r.}$$

$$P_M = \text{constante}$$

$$S_M = \sqrt{3}|V_L||I_a|$$

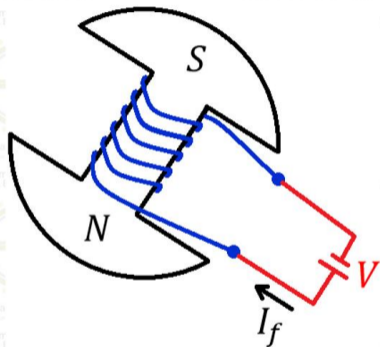
$$|I_a| = \frac{S_M}{\sqrt{3}|V_L|}$$



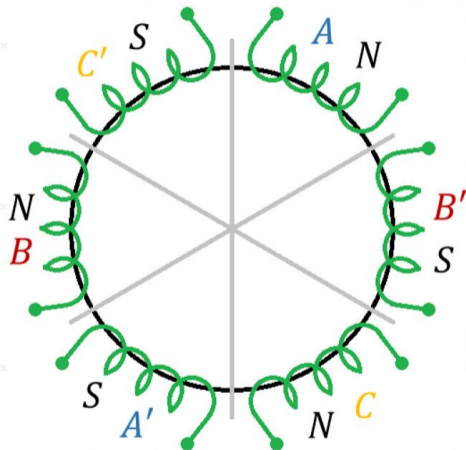
$$P_{M1} < P_{M2} < P_{M3}$$

MOTOR SÍNCRONO

Ejemplo: 2 polos por fase.



El rotor gira a la misma velocidad de la armadura.



MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

MÁQUINA DE INDUCCIÓN

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

MÁQUINA DE INDUCCIÓN

ROTOR

Está conformado por un devanado:

- Jaula de ardilla.
- Rotor bobinado.

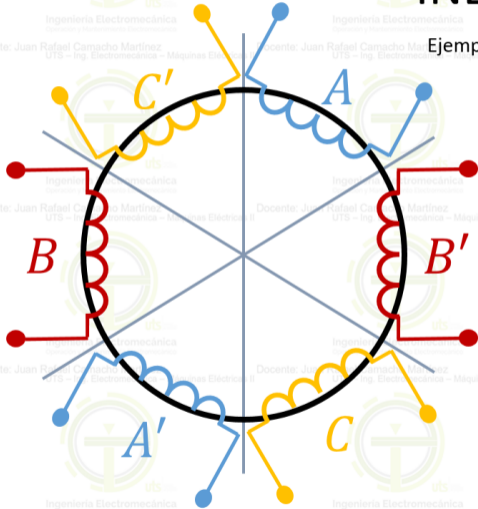
ESTATOR

Construido como el de la máquina síncrona (cuando la armadura está en esta parte):

$$n_s = \frac{120f}{P'}$$

DEVANADOS DEL ESTATOR DE LA MÁQUINA DE INDUCCIÓN

Ejemplo: 2 polos por fase.



$$x \frac{\text{rad.}}{\text{s}} \rightarrow x \frac{\text{rad.} \cdot 1 \text{ vuelta}}{\text{s}} \frac{60 \text{ s}}{2\pi \text{ rad.} \cdot 1 \text{ min}}$$

ω_s : Velocidad angular síncrona
 P : Pares de polos por fase
 P' : Polos por fase.

$$\omega_s = \frac{2\pi f}{P} \quad n_s = \omega_s \frac{30}{\pi}$$

$$n_s = \frac{2\pi f 30}{P \pi} = \frac{60f}{P}$$

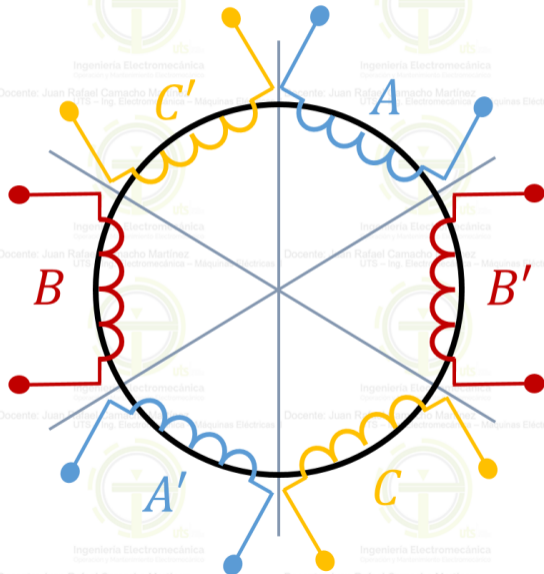
$$n_s = \frac{60f}{P} = \frac{120f}{P'}$$

$$f = \frac{Pn}{60} = \frac{P'n}{120}$$

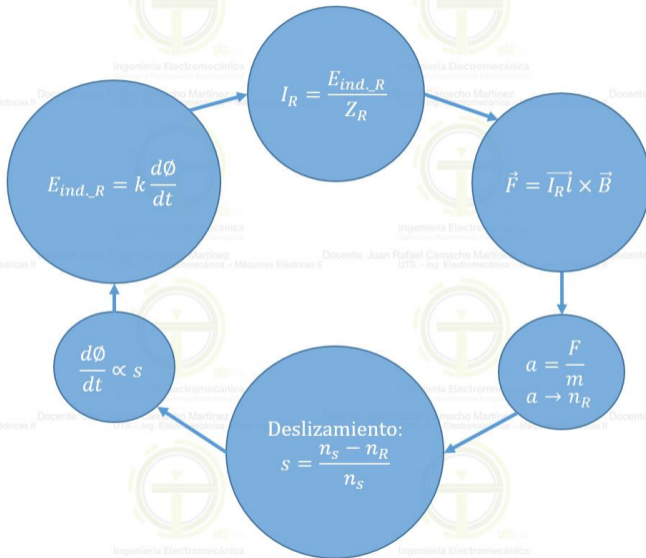
ROTOR JAULA



ESTATOR



MÁQUINA DE INDUCCIÓN



MÁQUINA DE INDUCCIÓN

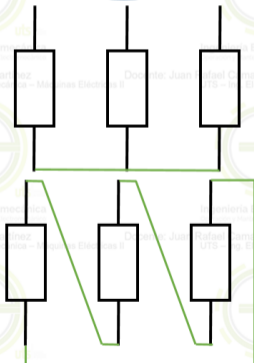
Arranque en vacío

La velocidad aumenta rápidamente, por tanto, la corriente disminuye prontamente.

Arranque Estrella – Triángulo ($Y - \Delta$)

Arranque por resistencias rotóricas

Consiste en conectar resistencias en serie a las bobinas del rotor. Este tipo de arranque solo es posible en las máquinas de rotor bobinado.



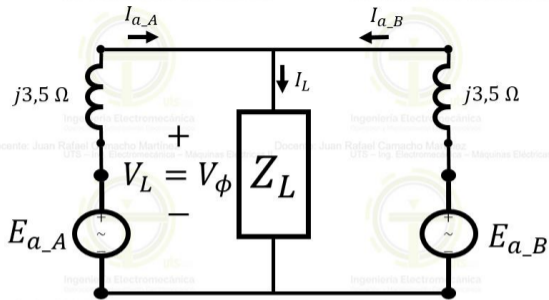
Para el análisis de todas las situaciones propuestas, tenga en cuenta, para la(s) máquina(s) síncrona(s), el voltaje nominal, capacidad, cantidad de polos por fase, reactancia síncrona, pérdidas (considérelas constantes) y parámetros para definir la curva de vacío $\left(V_0 = \frac{AI_f}{B+I_f}\right)$ que se proporcionan, para cada estudiante, en el ANEXO B. Nota: para cada condición de operación se supone frecuencia y tensión en bornes de la(s) máquina(s) igual a la nominal.

ANEXO B. DATOS PARA CADA ESTUDIANTE

APELLIDO	DATOS DE LA(S) MÁQUINA(S) SÍNCRONA(S)							Punto 1		Punto 2
	$V_{Nom.} [V]$	$S_{Nom.} [kVA]$	$X_S [\Omega]$	A	B	$Polos$	$P_{Mec.} [kW]$	$S_{L1} [kVA]$	$I_{fA1} [A]$	$P_{out1} [hp]$
	4900	8100	3,5	16439	119	4	1713	9558	62	3405

1. (2,6) Se acoplan en paralelo dos generadores idénticos (G_A y G_B), con las características proporcionadas, para cada estudiante, en el ANEXO B, alimentando en conjunto una carga de S_{L1} (según el ANEXO B) con un factor de potencia de 0,95 *en atraso*. Si la potencia activa del generador A (P_{GA}) es $\frac{3}{5}$ de la potencia activa del generador B (P_{GB}) y la corriente de campo del generador A es I_{fA1} (según el ANEXO B), calcule lo siguiente:

- (0,4) Potencia activa del generador A (P_{GA}).
- (0,4) Potencia activa del generador B (P_{GB}).
- (0,4) Potencia reactiva del generador A (Q_{GA}).
- (0,4) Potencia reactiva del generador B (Q_{GB}).
- (0,4) La corriente de campo del generador B (I_{fB}).



$$V_0 = \frac{16439 I_f}{119 + I_f} \quad I_f = \frac{119 V_0}{16439 - V_0}$$

$$|E_{a_A}| = \frac{16439 I_{fA1}}{119 + I_{fA1}} = \frac{16439(62)}{119 + 62} = 3251,081694 V$$

$$P_{G_A} = \frac{3}{5} P_{G_B} \quad P_L = P_{G_A} + P_{G_B} = \frac{3}{5} P_{G_B} + P_{G_B} = \frac{8}{5} P_{G_B}$$

$$S_L = 9558 \text{ kVA}$$

$$F.P._L = 0,95 \text{ en atraso}$$

$$I_L = \frac{9558(10^3)}{\sqrt{3}(4900)} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0,95)]$$

$$I_L = 1126,186505 \angle -18,19487234^\circ \text{ A}$$

$$P_L = 9080,1 \text{ kW} \quad Q_L = 2984,484543 \text{ kVAr}$$

$$P_{G_B} = \frac{5}{8} P_L = \frac{5}{8} [9080,1(10^3)] = 5675062,5 \text{ W}$$

$$P_{G_A} = 3405037,5 \text{ W}$$

$$P_{G_B} = 5675062,5 \text{ W}$$

$$\delta_A = \text{sen}^{-1} \left[\frac{P_{G_A} X_s}{3 |V_\phi| |E_{a_A}|} \right] = \text{sen}^{-1} \left[\frac{(3405037,5)(3,5)}{\sqrt{3}(4900)(3251,081694)} \right] = 25,58959883^\circ$$

$$E_{a_A} = 3251,081694 \angle 25,58959883^\circ \text{ V}$$

$$I_{a_A} = \frac{E_{a_A} - V_\phi}{jX_{s_A}} = \frac{(3251,081694 \angle 25,58959883^\circ) - \left(\frac{4900}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \right)}{j3,5} = 402,2853501 \angle -4,202063483^\circ \text{ A}$$

$$I_{a_B} = I_L - I_{a_A} = (1126,186505 \angle -18,19487234^\circ) - (402,2853501 \angle -4,202063483^\circ)$$

$$I_{a_B} = 742,2400691 \angle -25,72530645^\circ \text{ A}$$

$$Q = \sqrt{3} |V_{\text{Linea}}| |I_{\text{Linea}}| \text{sen}(\theta_{V_{\text{Fase}}} - \theta_{I_{\text{Fase}}})$$

$$Q_{G_A} = 250173,6161 \text{ VAr}$$

$$Q_{G_B} = 2734310,928 \text{ VAr}$$

$$E_{a_B} = V_\phi + jX_s I_{a_B} = \frac{4900}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + [j3,5(742,2400691 \angle -25,72530645^\circ)]$$

$$E_{a_B} = 4596,973579 \angle 30,60443675^\circ \text{ V}$$

$$I_f = \frac{119V_{0_B}}{16439 - V_{0_B}} = \frac{119[\sqrt{3}(4596,973579)]}{16439 - \sqrt{3}(4596,973579)}$$

$$I_{f_B} = 111,7756592 \text{ A}$$

Para los incisos "f" y "g", considere que, partiendo de la condición descrita previamente, se disminuye en un 10% el torque aplicado al generador A y se incrementa su corriente de campo en un 8%. Calcule:

f. (0,3) El torque aplicado al generador B (T_{inB}).

g. (0,3) La corriente de campo del generador B (I_{fB}).

$$T_{A_0} = \frac{P_{in_0}}{\omega_A} = \frac{P_{GA_0} + P_{Mec.}}{\frac{120f}{P'} \left(\frac{\pi}{30}\right)} = \frac{3405037,5 + 1713000}{\frac{120(60)}{4} \left(\frac{\pi}{30}\right)} = 27152,03224 \text{ Nm}$$

$$T_A = 0,9T_{A_0} = 24436,82902 \text{ Nm}$$

$$P_{GA} = P_{in} - P_{Mec.} = T_A \omega_A - P_{Mec.} = 2893233,752 \text{ W}$$

$$P_{GB} = P_L - P_{GA} = 6186866,248 \text{ W}$$

$$T_{inB} = \frac{P_{inB}}{\omega_B} = \frac{P_{GB} + P_{Mec.}}{\frac{120f}{P'} \left(\frac{\pi}{30}\right)}$$

$$\boxed{T_{inB} = 41910,0921 \text{ Nm}}$$

$$I_{fA} = 1,08 (I_{fA_0}) = 1,08(62) = 66,96 \text{ A}$$

$$|E_{aA}| = \frac{16439(66,96)}{\sqrt{3}} = 3417,516937 \text{ V}$$

$$\delta_A = \text{sen}^{-1} \left[\frac{2893233,752(3,5)}{\sqrt{3}(4900)(3417,516937)} \right]$$

$$\delta_A = 20,43396458^\circ$$

$$E_{aA} = 3417,516937 \angle 20,43396458^\circ \text{ V}$$

$$I_{aA} = \frac{E_{aA} - V_\phi}{jX_{sA}} = 357,208407 \angle -17,38004291^\circ \text{ A}$$

$$I_{aB} = I_L - I_{aA} = 769,0309978 \angle -18,57334373^\circ \text{ A}$$

$$E_{aB} = \frac{4900}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + j3,5I_{aB}$$

$$E_{aB} = 4483,176531 \angle 34,68818732^\circ \text{ V}$$

$$I_{fB} = \frac{119V_{0B}}{16439 - V_{0B}} = \frac{119[\sqrt{3}(4483,176531)]}{16439 - \sqrt{3}(4483,176531)}$$

$$\boxed{I_{fB} = 106,5316108 \text{ A}}$$

2. (2,4) Una máquina síncrona cuyos parámetros son los proporcionados, para cada estudiante, en el ANEXO B es puesta a trabajar como motor. Si este motor mueve una carga de P_{out_1} (según el ANEXO B – está dada en **hp**), calcule:

a. (0,6) La eficiencia del motor.

b. (0,6) La corriente de campo si la máquina opera con un factor de potencia de 0,85 *en atraso*.

c. (0,6) La corriente de campo si la máquina opera con un factor de potencia de 0,85 *en adelanto*.

d. (0,6) La corriente de campo si la máquina opera con la mínima corriente de armadura posible para la condición de carga dada.

$$P_{out} = 3405 \text{ h.p.} = 745,7(3405) \text{ W} = 2539108,5 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_{out} + P_{Mec.} = 2539108,5 + 1713000 = 4252108,5 \text{ W}$$

$$\% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} 100\% = \frac{2539108,5}{4252108,5} 100\%$$

$$\boxed{\% \eta = 59,71410419 \%}$$

$F.P.M = 0,85$ en Atraso

$$I_a = \frac{4252108,5}{\sqrt{3}(4900)(0,85)} \angle [0^\circ - \cos^{-1}(0,85)]$$

$$I_a = 589,425207 \angle -31,78833062^\circ \text{ A}$$

$$E_a = V_\phi - jX_s I_a = 2471,923681 \angle -45,18471542^\circ \text{ V}$$

$$I_f = \frac{119V_0}{16439 - V_0} = \frac{119[\sqrt{3}(2471,923681)]}{16439 - \sqrt{3}(2471,923681)}$$

$$\boxed{I_f = 41,90812938 \text{ A}}$$

$F.P.M = 0,85$ en Adelanto

$$I_a = \frac{4252108,5}{\sqrt{3}(4900)(0,85)} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(0,85)]$$

$$I_a = 589,425207 \angle 31,78833062^\circ \text{ A}$$

$$E_a = V_\phi - jX_s I_a = 4290,46627 \angle -24,12358363^\circ \text{ V}$$

$$I_f = \frac{119V_0}{16439 - V_0} = \frac{119[\sqrt{3}(4290,46627)]}{16439 - \sqrt{3}(4290,46627)}$$

$$\boxed{I_f = 98,17444067 \text{ A}}$$



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II



Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

$$F.P.M = 1$$

$$I_a = \frac{4252108,5}{\sqrt{3}(4900)(1)} \angle [0^\circ + \cos^{-1}(1)]$$

$$I_a = 501,0114259 \angle 0^\circ A$$

$$E_a = V_\phi - jX_s I_a = 3328,398388 \angle -31,79232728^\circ V$$

$$I_f = \frac{119V_0}{16439 - V_0} = \frac{119[\sqrt{3}(3328,398388)]}{16439 - \sqrt{3}(3328,398388)}$$

$$I_f = 64,27082388 A$$

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez
UTS – Ing. Electromecánica – Máquinas Eléctricas II

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

Ingeniería Electromecánica
Operación y Mantenimiento Electromecánico

Docente: Juan Rafael Camacho Martínez

ANEXO A. TABLA DE RESPUESTAS

PUNTO – INCISO	VARIABLE	VALOR OBTENIDO
1 - a	$P_{G_A} [W]$	3405037,5
1 - b	$P_{G_B} [W]$	5675062,5
1 - c	$Q_{G_A} [VAr]$	250173,6161
1 - d	$Q_{G_B} [VAr]$	2734310,928
1 - e	$I_{f_B} [A]$	111,7756592
1 - f	$T_{in_B} [Nm]$	41910,0921
1 - g	$I_{f_B} [A]$	106,5316108
2 - a	$\% \eta$	59,71410419
2 - b	$I_f [A]$	41,90812938
2 - c	$I_f [A]$	98,17444067
2 - d	$I_f [A]$	64,27082388