



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
CUADERNILLO PARA EXÁMENES FINALES



NOMBRE: Picardo Lambraño
CÉDULA: 8-930-86
FECHA: 25-10-19

ASIGNATURA: Conversión 1/2
GRUPO: IEE141
PROFESOR: Edilberto Hall

$$\delta_2 = \sin^{-1} \left[\frac{E_{A1} \sin(\delta_1)}{E_{A2}} \right]$$

$$I_{A2} = \frac{V_{\phi} - E_{A2}}{R_A + jX_S}$$

PREGUNTAS: (40 PTS)

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

$$\eta = P_o / P_i$$

$$f_p = P_i / S$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$I_L = S_{3\phi} / \sqrt{3} V_L$$

$$E_A = V_{\phi} - I_L (R_A + jX_S)$$

$$S = 3 V_{\phi} I_L^*$$

$$P_{in} = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \therefore I_L$$

$$P_{elct} = 3 I_A^2 R_A$$

- 1) ¿Cuál es la regulación de velocidad $VR(\%)$ de un motor síncrono de 100 Hp, 440 V, con pf de 80% (+), que opera al 85% de plena carga? Dibuje la característica par-velocidad resultante.
- 2) Explique brevemente las técnicas utilizadas para arrancar un motor síncrono.
- 3) Dibuje la curva en "V" de un motor síncrono y muestre sus regiones de operación.
- 4) Qué es un condensador síncrono, dibuje su diagrama fasorial operando sobre-excitado.

PROBLEMA # 1. (40 PTS).

Un motor síncrono de 100 HP, 440 V, con un pf de 80% (+), conectado en Delta, tiene una resistencia en el inducido de 0.22Ω y una reactancia síncrona de 3.0Ω . Su eficiencia a plena carga es de 89%.

- a) Calcule la potencia P y Q que suministra o absorbe la máquina en las condiciones nominales, dibuje el diagrama fasorial. Demuestre si la máquina opera sobre-excitada o bajo-excitada.
- b) Si $E_A = 470 \angle -12^\circ \text{ V}$ y $V_t = 440 \angle 0^\circ \text{ V}$, ¿la máquina consume potencia real o suministra potencia real del o al sistema de potencia? ¿Absorbe potencia reactiva o suministra potencia reactiva del o al sistema de potencia? Demuestre todas sus respuestas.
- c) Calcule las potencias P y Q que suministra o absorbe la máquina en las condiciones del inciso (b). A qué factor de potencia opera la máquina? ¿La máquina opera dentro de sus valores nominales en estas circunstancias? Demuestre su respuesta.
- d) Si $E_A = 430 \angle -90^\circ \text{ V}$ y $V_t = 440 \angle 0^\circ \text{ V}$. Calcule la potencia P y Q que suministra o absorbe. A qué factor de potencia opera la máquina? Opera dentro o fuera de las condiciones nominales? En qué régimen de operación se considera la máquina en estas circunstancias. Dibuje el diagrama fasorial correcto.

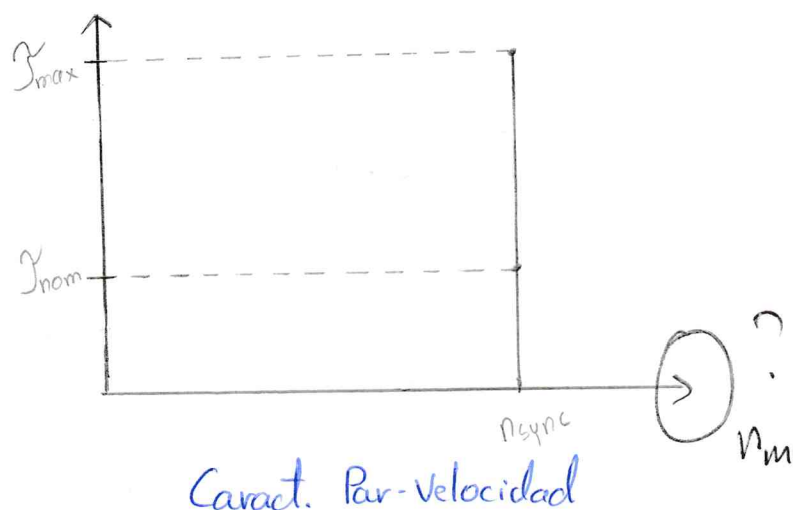
PROBLEMA # 2. (20 PTS).

18
Un motor síncronico de 2300 V, 1000 HP, $\text{pf} = 0.8 (+)$, 60 Hz, 2 polos, conectado en Y, tiene una resistencia del inducido de 0.3Ω y reactancia síncronica de 5.0Ω . Las pérdidas mecánicas son de 30 kW y las del núcleo son de 20 kW.

- 8 a) Dibuje el diagrama de flujo de potencias y calcule todos sus componentes. ¿Cuál es la eficiencia del motor a plena carga con un $\text{pf} = 1.0$?
- 10 b) Si se incrementa 5% la corriente de campo, ¿cuál será el nuevo valor de la corriente de armadura (inducido)? ¿Cuál será el nuevo factor de potencia? ¿Cuánta potencia reactiva absorbe o suministra el motor?

Preguntas.

1.



$$\%SR = \frac{n_{sync} - n_{pc}}{n_{pc}} \times 100\% = 0\%$$

- La regulación de velocidad de un motor sincrónico es "0" ya que su velocidad es constante en todo momento (la velocidad sincrónica)

2. Las técnicas son:

- Reducción de frecuencia

- Se reduce la frecuencia directamente reduciendo la velocidad, enganchando el estator al rotor y produciendo el arranque.

- Usar un motor auxiliar

- Se utiliza un motor adicional por medio de un acople a la máquina sincrónica (motor sincrónico); cuando este motor, que es más pequeño, alcanza la velocidad sincrónica de la máquina, se desconecta y la máquina queda funcionando como el motor sincrónico.

- Devanado de amortiguamiento

- Son barras que se acoplan al rotor del motor, al energizarse inducen voltaje y corriente y produce un campo magnético que a su vez produce un par para el arranque del motor. UNIDIRECCIONAL!

3.

Curva "V" de un motor sincrónico



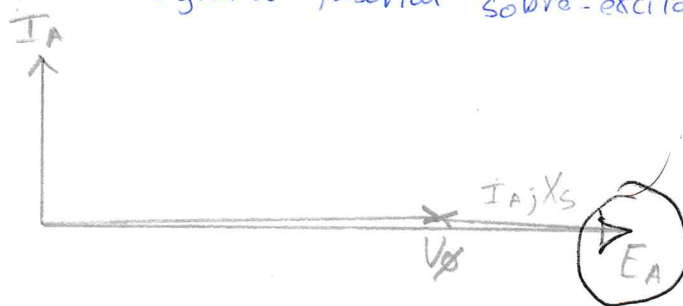
... consume potencia real o suministra

4) ~~Un condensador sincrónico~~

Ricardo Lambraño
8-930-86

4) Un condensador sincrónico es un motor sincrónico que no tiene carga, por lo que opera en vacío, con desfaseamiento o para el par, se encarga de inyectar potencia reactiva al sistema de potencia.

Diagrama fasorial sobre-excitado



$$|E_A| > |V_\phi|$$

$$|E_A \cos \delta| \neq |V_\phi|$$

P_r suministrada
 $P_i = 83.82 \text{ kW}$
 $Q = 62.87 \text{ kVAR}$

Problema #1

a) $P_{out} = 100 \text{ hp} \left(\frac{746 \text{ W}}{1 \text{ hp}} \right) = 74.6 \text{ kW}$

$$P_i = \frac{P_o}{\eta} = \frac{74.6 \text{ kW}}{0.89} = 83.82 \text{ kW}$$

$$S = \frac{P_i}{f_p} = \frac{83.82 \text{ kW}}{0.8} = 104.78 \text{ KVA}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(104.78 \text{ KVA})^2 - (83.82 \text{ kW})^2} = 62.87 \text{ KVAR}$$

$$I_L = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} V_L} = \frac{104.78 \text{ KVA}}{(\sqrt{3} \times 440 \text{ V})} = 137.49 \text{ A}$$

$$\cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ$$

$$\frac{I_L}{\sqrt{3}} \angle 36.87^\circ = 79.38 \angle 36.87^\circ \text{ A} (= I_{L1})$$

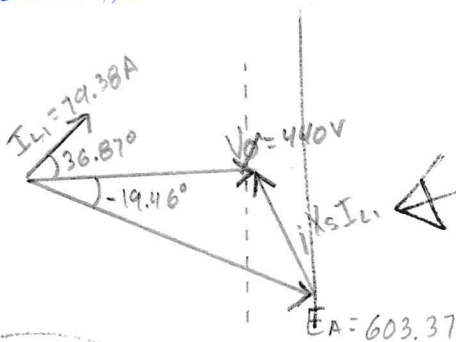
$$E_A = V_\phi - (I_{L1}) (R_A + jX_s) = 440 \text{ V} - (79.38 \angle 36.87^\circ \text{ A}) (0.72 + j3) = 603.37 \angle -19.46^\circ \text{ V}$$

$$E_A \cos \theta = (603.37) (\cos(-19.46^\circ)) = 568.90 \text{ V}$$

$$V_\phi = 440 \text{ V}$$

$$E_A \cos \theta > V_\phi$$

Diagrama fasorial



Sobre-excitado
P absorbe

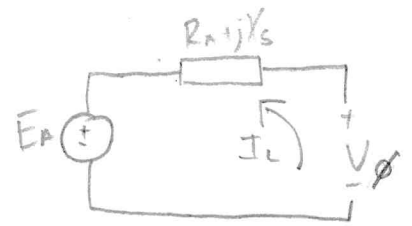
Q suministra

$$P_i = 83.82 \text{ kW}$$

$$Q = 62.87 \text{ KVAR}$$

DEMOSTRE !!

$$|E_A \cos \theta| \neq |V_\phi|$$



b) $E_A = 470 \angle -12^\circ \text{ V}$
 $V_\phi = 440 \angle 0^\circ \text{ V}$

$$E_A \cos \theta = (470) (\cos(-12^\circ)) = 459.73 \text{ V}$$

$$V_\phi = 440 \text{ V}$$

$$E_A \cos \theta > V_\phi$$

P absorbe

Q suministra

$$C) E_A = 470 \angle -12^\circ V ; V_t = 440 \angle 0^\circ V$$

$$I_L = \frac{V_t - E_A}{Z_A + jX_s} = \frac{(440 \angle 0^\circ V) - (470 \angle -12^\circ V)}{(0.22 + j3) \Omega} = 33.14 \angle 15.61^\circ A$$

$$S = 3V_t I_L^* = 3(440 \angle 0^\circ V)(33.14 \angle -15.61^\circ A) = 42131.30 - 11771.20j \text{ VA}$$

$$P = 42.13 \text{ kW}$$

$$Q = 11.77 \text{ kVAR}$$

$$S = 43.745 \text{ kVA}$$

$$S_{nom} = 104.78 \text{ kVA}$$

$S < S_{nom}$; opera dentro de sus valores nominales

$$f_p = \frac{P}{S} = \frac{42.13 \text{ kW}}{43.745 \text{ kVA}} = 0.96(+)$$

$$f_p = 0.96(-)$$

$$d) E_A = 430 \angle -90^\circ \text{ V}$$

$$V_t = 440 \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$I_L = \frac{V_\phi - E_A}{R_A + jX_s} = \frac{440 \angle 0^\circ \text{ V} - 430 \angle -90^\circ \text{ V}}{(0.22 + j3) \Omega} = 204.52 \angle -41.46^\circ$$

$$S = 3 V_\phi I_L^* = 3(440 \angle 0^\circ \times 204.52 \angle 41.46^\circ) = 269966.4 \angle 41.46^\circ \text{ VA}$$

$$= 202317.72 \text{ W} + 178743.95 \text{ VAR}$$

$$P = 202.318 \text{ kW}$$

$$Q = 178.74 \text{ kVAR}$$

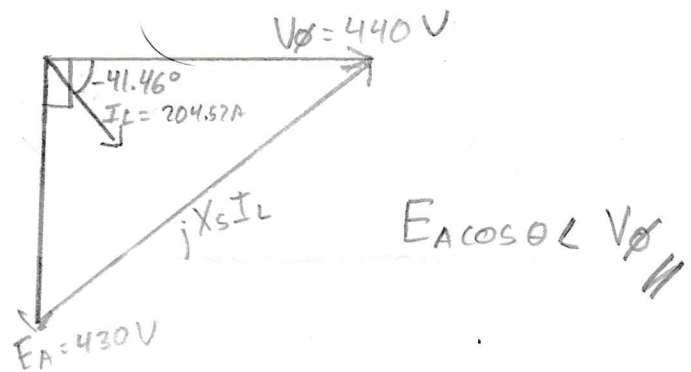
$$S_2 = 269.966 \text{ kVA}$$

$$S_{nom} = 104.78 \text{ kVA}$$

$$f_p = \frac{P}{S} = \frac{202.318}{269.966} = 0.75 (-)$$

$S_2 > S_{nom}$ opera fuera de sus valores nominales

Diagrama fasorial



$$E_A \cos \theta = (430)(\cos(-90^\circ)) = 0 \text{ V}$$

$$V_\phi = 440 \text{ V}$$

Problema #2

a) Aproximación: $P_{elect} = 0$

$$P_{in} = P_{out} + P_{mech} + P_{core} = (1000 \text{ HP})(746 \text{ W/HP}) + 30 \text{ kW} + 20 \text{ kW} = 796 \text{ kW}$$

$$I_L = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} V_L f_p} = \frac{796 \text{ kW}}{(\sqrt{3})(2300 \text{ V})(1.0)} = 199.81 \text{ A}$$

$$P_{elect} = 3 I_L^2 R_A = 3(199.81 \text{ A})^2 (0.3 \Omega) = 35.93 \text{ kW}$$

$$P_{in} = 796 \text{ kW} + 35.93 \text{ kW} = 831.93 \text{ kW}$$

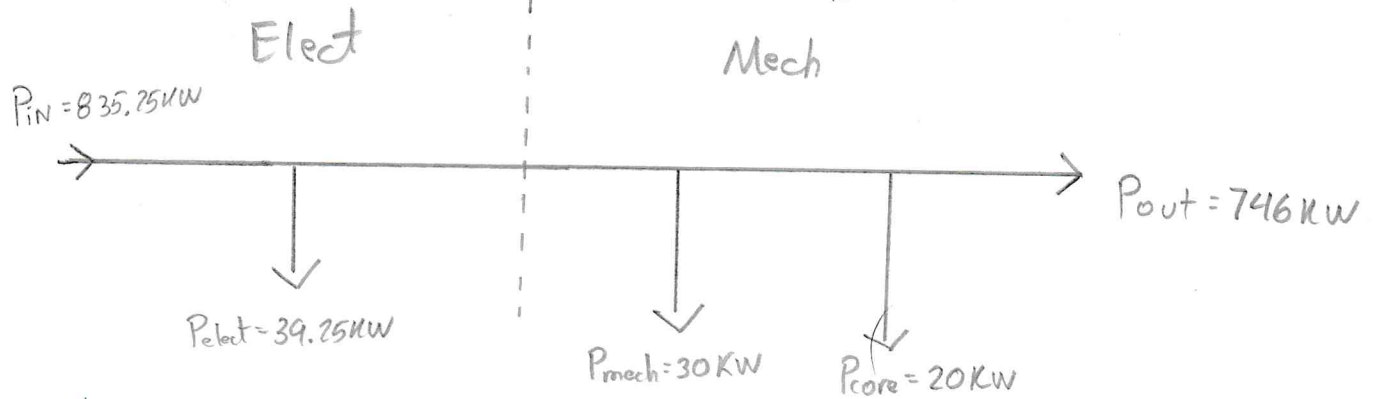
$$I_L = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} V_L f_p} = \frac{831.93 \text{ kW}}{(\sqrt{3})(2300 \text{ V})(1.0)} = 208.83 \text{ A}$$

$$P_{\text{elect}} = 3 I_L^2 R_A = 3 (208.83 \text{ A})^2 (0.3 \Omega) = 39.25 \text{ kW}$$

$$P_{\text{IN}} = 796 \text{ kW} + 39.25 \text{ kW} = 835.25 \text{ kW}$$

Ricardo Lambrano
8-930-86

$$P_{\text{conv}} = 796 \text{ kW} = T_{\text{IND}} \omega_m$$



$$P_{\text{conv}} = 835.25 \text{ kW} - 39.25 \text{ kW} = 796 \text{ kW}$$

$$T_{\text{IND}} = ?$$

$$b) f_p = 1.0$$

$$E_{A1} = V_{\phi} - I_L (R_A + jX_s) = (2300V/\sqrt{3}) - (208.83A)(0.3 + j5)\Omega = 1640.46 \angle -39.53^\circ$$

$$\delta_2 = \sin^{-1} \left[\frac{E_{A1} \sin(\delta_1)}{E_{A2}} \right] \quad \therefore E_{A2} = 1.05 E_{A1} \quad ; \delta_1 = -39.53^\circ$$

$$\delta_2 = \sin^{-1} \left[\frac{1}{1.05} \sin(-39.53^\circ) \right]$$

$$\delta_2 = -37.31^\circ$$

$$I_{A2} = \frac{V_{\phi} - E_{A2}}{R_A + jX_s} = \frac{(2300V/\sqrt{3}) - (1640.46 \times 1.05 \angle -37.31^\circ) V}{(0.3 + j5)\Omega} = 208.60 \angle 5.74^\circ A$$

$$S = 3 V_{\phi} I_L^* = 3(2300V/\sqrt{3})(208.6 \angle -5.74^\circ A) = 831003.33 \angle -5.74^\circ VA$$

$$P = 826836.67 W$$

$$Q = 83112.304 VAR$$

$$f_p = \frac{P}{S} = \frac{826.836 KW}{831.003 KVA} = 0.99(+)$$

$$E_{A2} \cos \theta = (1.05 \times 1640.46 V \cos(-37.31^\circ)) = 1370.00 V$$

$$V_{\phi} = \frac{2300}{\sqrt{3}} = 1327.91$$

$$E_{A2} \cos \theta > V_{\phi}$$

$$I_{A2} = 208.60 \angle 5.74^\circ A$$

$$f_p = 0.99(+)$$

Suministra 83.112 KVAR.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
CUADERNILLO PARA EXÁMENES FINALES

66
100



NOMBRE: Picardo Lambraño
CÉDULA: 8-930-86
FECHA: 4-9-19

ASIGNATURA: Conversión 2
GRUPO: IEE141
PROFESOR: Edilberto Hall

PREGUNTAS: (20 PTS)

3

- 1) Dibuje el esquema de excitación sin escobillas que incluye un excitador piloto para máquinas Sincrónicas de corriente alterna.
- 2) Haga un sketch de las curvas de capacidad de un generador sincrónico, muestre los diferentes límites operativos (capacidad del eje, factor de potencia, corriente de armadura, corriente de campo, límite de estabilidad estática), y regiones de operación (motor, generador, sobre-excitado, bajo-excitado, factor de potencia en atraso y adelanto).

PROBLEMA # 1. (40 PTS).

33

Un generador sincrónico de 20 MVA, 12.2 kV, con un PF de 80% (-), conectado en Y, tiene una reactancia en el inducido despreciable y una reactancia sincrónica de 1.1 pu. El generador está conectado en paralelo con un bus infinito de 60 Hz y 16 kV.

- a) ¿Cuál es el voltaje interno generado E_A del generador en condiciones nominales?
- b) Suponga que el generador tiene un incremento en el voltaje interno generado E_A en 5%, ¿Cuál será la nueva corriente en el inducido I_A ?
- c) ¿Cuántos MVAR adicionales entrega el generador en las condiciones del inciso (b)?
- d) Con los resultados de arriba, dibuje un diagrama fasorial que ilustre las condiciones operativas de los incisos (c) y (d).

PROBLEMA # 2. (40 PTS).

30

Una máquina sincrónica de 100 Hp, 440 V, con un PF de 80% (-), conectado en Delta, tiene una resistencia en el inducido de 0.22 Ω y una reactancia sincrónica de 3.0 Ω . Su eficiencia a plena carga es de 89%.

- a) Si $E_A = 430 \angle 13.5^\circ$ V y $V_t = 440 \angle 0^\circ$ V, ¿la máquina consume potencia real o suministra potencia real del o al sistema de potencia? ¿Consumo potencia reactiva o suministra potencia reactiva del o al sistema de potencia? Dibuje el diagrama fasorial en estas condiciones.
- b) Calcule la potencia P y la potencia reactiva Q que suministra o consume el generador en las condiciones del inciso (a).
- c) Calcule la potencia real y reactiva del generador en condiciones nominales. ¿Diga si el generador en el inciso (b) opera dentro o fuera de sus valores nominales?

$$\begin{aligned}
 1) \quad S &= 20 \text{ MVA} & 60 \text{ Hz} \\
 V_{LL} &= 12.2 \text{ kV} & 16 \text{ kV} \\
 f_p &= 0.8 (-) \\
 &Y \\
 X_s &= 1.1 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

$$a) \quad Z_B = \frac{3 V_{B,LL}^2}{S_{3\phi}} = \frac{3 (12.2 \text{ kV} / \sqrt{3})^2}{20 \text{ MVA}} = 7.442 \Omega$$

$$X_s = 7.442 \Omega \cdot 1.1 \text{ pu} = j 8.1862 \Omega$$

$$I_A = \frac{S_{3\phi,B}}{\sqrt{3} V_{LL,Base}} = \frac{20 \text{ MVA}}{\sqrt{3} (16 \text{ kV})} = 721.69 \text{ A} \quad \theta = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^\circ$$

$$E_A = \frac{16 \text{ kV}}{\sqrt{3}} + (721.69 \angle 36.87^\circ \times j 8.1862) = 13628.15 \angle 20.29^\circ \text{ V}$$

$$\begin{aligned}
 a) \quad E_A &= 13.628 \angle 20.29^\circ \text{ kV}_{LL} \\
 E_A &= 23.60 \angle 20.29^\circ \text{ kV}_{LL}
 \end{aligned}$$

$$b) \quad E_{A2} = 1.05 E_{A1}$$

$$E_{A1} \sin \theta_1 = E_{A2} \sin \theta_2$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\sin \theta_1 \left(\frac{E_{A1}}{1.05 E_{A1}} \right) \right) \therefore \theta_1 = 20.29^\circ$$

$$\theta_2 = 19.28^\circ$$

$$E_{A2} = \frac{16 \text{ kV}}{\sqrt{3}} + I_{A2} (j 8.1862)$$

$$I_{A2} = \left((1.05 \times 13.628 \angle 20.29^\circ \text{ kV}) - \frac{16 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \right) / j 8.1862$$

$$T_{A2} = 792.87 \angle -40.13^\circ \text{ A}$$

b) $I_{A2} = 792.87 \angle -40.13^\circ \text{ A}$

c) Para inciso A

$$S = 3 V_{LL} I_A^* = 3(16 \text{ kV})(721.69 \angle 36.87^\circ \text{ A}) = 27712.858 \text{ kW} + j 20.78 \text{ MVAR}$$

Para inciso B

$$S = 3 V_{LL} I_A^* = 3(16 \text{ kV})(792.87 \angle 40.13^\circ \text{ A}) = 2909.835 \text{ kW} + j 24.529 \text{ MVAR}$$

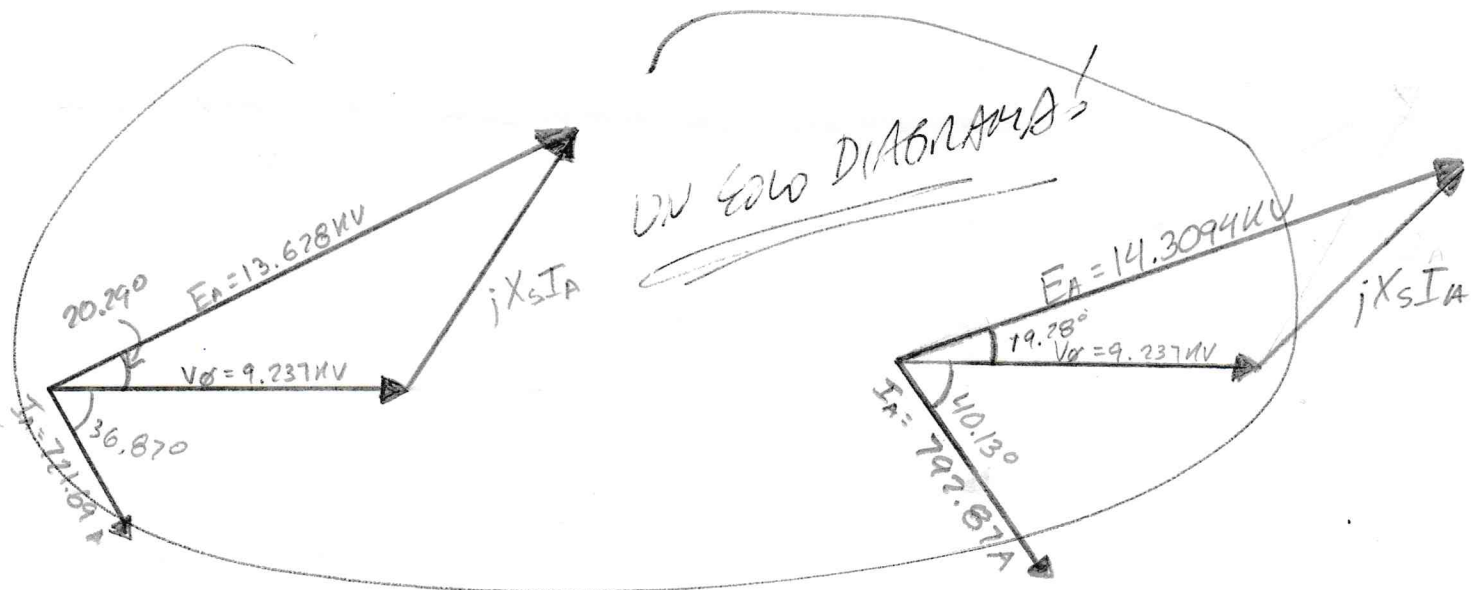
MVAR ADICIONALES = $24.529 \text{ MVAR} - 20.78 \text{ MVAR} = 6.749 \text{ MVAR}$ What?

c) 6.749 MVAR adicionales

consume potencia reactiva

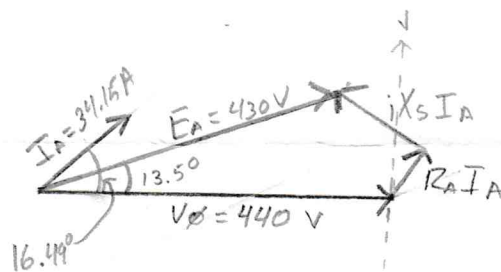
d) a) $V_\phi = 16 \text{ kV} / \sqrt{3} = 9.237 \text{ kV}$
 $E_A = 13.628 \text{ kV} \angle 20.29^\circ$

b) $V_\phi = 9.237 \text{ kV}$
 $E_A = 14.3094 \text{ kV}$



2) 100 hp, 440 V, $f_p = 0.8 \text{ (C)}$, Δ , $R_A = 0.22 \Omega$, $X_s = j3$ eff = 89%

a) $E_A = 430 \angle 13.5^\circ \text{ V}$
 $V_t = 440 \angle 0^\circ \text{ V} \rightarrow V_{LN}$



$$E_A = V_\phi + I_A (R_A + jX_s)$$

$$I_A = \frac{E_A - V_\phi}{R_A + jX_s} = \frac{430 \angle 13.5^\circ - 440 \angle 0^\circ}{0.22 \Omega + j3 \Omega}$$

$$= 34.15 \angle 16.49^\circ \text{ A}$$

d) Genom potencia real: consumo potencia real

$$b) S = 3 V_{LL} I_A^* = 3(440V \angle 34.15^\circ - 16.49^\circ A) = 43223.91 - j12795.29$$

$$b) P = 43.22 \text{ kW}$$

$$Q = 12.795 \text{ KVAR}$$

$$c) \left(\frac{P_{in}}{P_{out}} = \text{eff} \right) \quad \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

$$100 \text{ hp} = 74.6 \text{ kW}$$

$$P_{in} = (74.6 \text{ kW} \times 0.89) = 66.394 \text{ kW}$$

$$f_p = \frac{P}{S}$$

$$S = \frac{P}{f_p} = \frac{66.394 \text{ kW}}{0.8} = 83.6675 \text{ KVA}$$

$$Q = \sqrt{(83.6675 \text{ KVA})^2 - (66.394 \text{ kW})^2} = 50.91 \text{ KVAR}$$

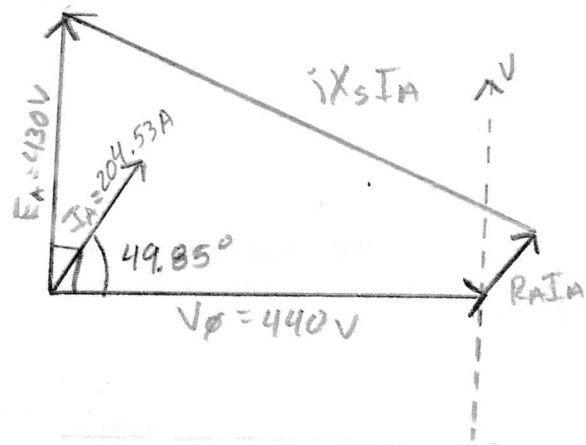
$$c) P = 66.394 \text{ kW}$$

$$Q = 50.91 \text{ KVAR}$$

Opera dentro de los valores nominales

$$d) E_A = 430 \angle 90^\circ$$

$$V_\phi = 440 \angle 0^\circ$$



$$I_A = \frac{E_A - V_\phi}{R_A + jX_s} = \frac{430 \angle 90^\circ - 440 \angle 0^\circ}{0.22 + j3}$$

$$= 204.53 \angle 49.85^\circ \text{ A}$$

d) Genera potencia real
Consume potencia reactiva