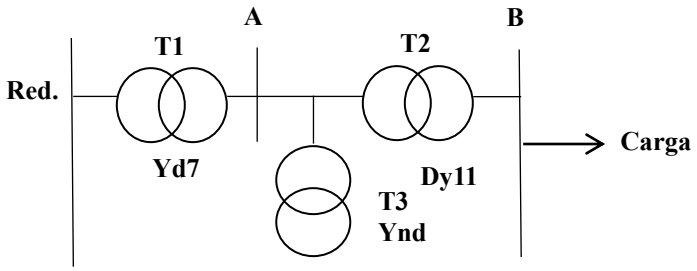
INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Curso de Máquinas Eléctricas (5602) – Parcial N°1 – 3 de octubre de 2022.

Problema No. 1 (50%)

Se dispone de una red de potencia infinita de tensión 147,656 kV, que alimenta una estación de transformación según el siguiente esquema:



T1) Banco de transformadores monofásicos donde cada monofásico: $\frac{150}{\sqrt{3}}$ / 31,5 kV, 63 MVA, 12%. impedancia de cortocircuito inductiva pura, corriente de vacío despreciable.

T2) Banco de transformadores monofásicos donde cada monofásico: 31,5/$\frac{6,4}{\sqrt{3}}$ kV, 10 MVA, 8%, impedancia de cortocircuito inductiva pura, corriente de vacío despreciable.

T3) Banco de transformadores monofásicos donde cada monofásico: 18000/18000V 100 kVA, 6%, impedancia de cortocircuito inductiva pura, corriente de vacío despreciable. Neutro del primario aterrado, secundario en vacío.

Carga: trifásica equilibrada, conectada a la barra B. La tensión en la barra A es 30,785 kV y la potencia activa entregada a la carga 20,715 MW.

Se pide:

1) Determinar la tensión en la barra B.
2) Determinar la corriente por la red (módulo y fase).
3) Estando T1 solo con T3 conectado a su secundario se pone una fase a tierra de forma que la corriente que circula a tierra vale I. Determinar las corrientes en las tres fases del secundario de T1, en función de I. Determinar el valor de I.

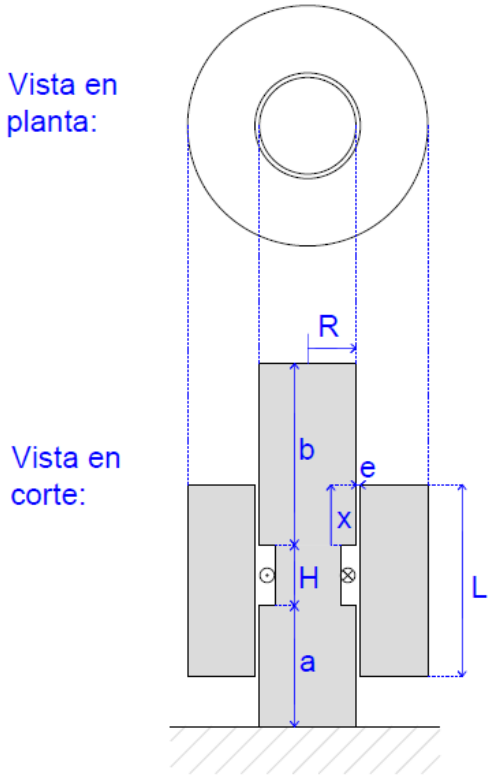
Problema No. 2 (50%)

Se tiene el dispositivo de la figura.

Las partes en gris claro son de hierro. La geometría es de simetría de revolución, con un vástago central de radio **R** (fijo). Entre el mismo y la parte exterior (móvil) se encuentra un entrehierro de ancho **e**. La pieza exterior puede desplazarse verticalmente según la coordenada **x** indicada.

El vástago cuenta con una zona de menor diámetro donde se aloja un bobinado de **N** vueltas por la que circula una corriente ***i.*** Las dimensiones se presentan en el esquema a continuación:

INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Curso de Máquinas Eléctricas (5602) – Parcial N°1 – 3 de octubre de 2022.



Hipótesis:

- Suponer infinita la permeabilidad del hierro
- Los entrehierros **e** son muy pequeños en comparación con el resto de las dimensiones (no se consideran flujos de fugas o distorsiones del mismo en los bordes).
- a + H < L
- b + H > L

<u>Se pide:</u>

1) Determinar la autoinductancia de la bobina, expresada en función de la posición **x** de la pieza móvil.

2) Determinar la fuerza magnética sobre la parte móvil según la dirección **x**.

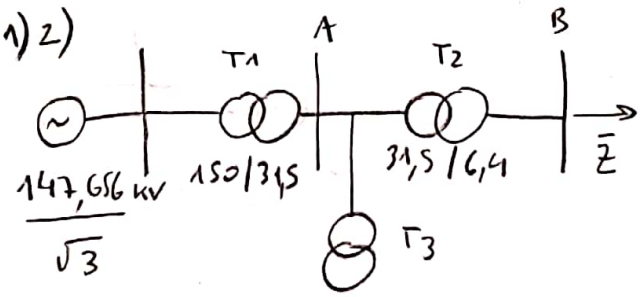
3) Explicar cómo será el movimiento de la parte móvil si inicialmente la misma se encuentra en reposo, apoyada sobre la base, y se aplica una corriente continua de valor **i** en forma permanente (considere que la pieza móvil tiene masa **m**). Se debe indicar la posición final de la pieza.

4) Explique qué sucede en cuanto al movimiento y posición de la parte móvil si se alimenta la bobina con una corriente alterna de 50 Hz, con valor de pico igual a $\sqrt{\mathbf{i}}$ (siendo **i** la corriente continua de la parte anterior).

Problema 1

Solución 1er Parcial Máquinas Eléctricas 2022

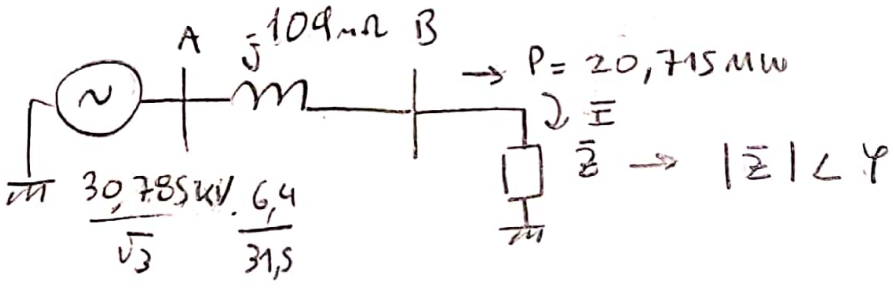
1) 2)

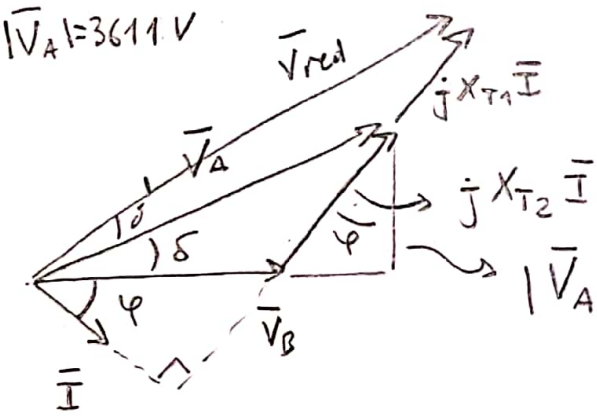


$$X_{T_1} = 0{,}12 \cdot \frac{150^2}{(3 \times 63)} = 14{,}3\ \Omega \quad @_{150\,kV}$$

$$X_{T_2} = 0{,}08 \cdot \frac{6{,}4^2}{(3 \times 10)} = 109\ m\Omega \quad @_{6{,}4\,kV}$$

T_3 en vacío, en régimen equilibrado no juega.

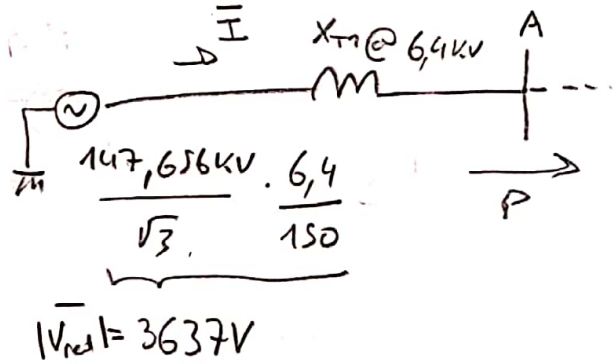




$$P = 3|\bar{V}_B||\bar{I}|\cos\varphi$$

$$|\bar{V}_A|\,\text{sen}\,\delta = X_{T_2}|\bar{I}|\cos\varphi$$

$$P = \frac{3|\bar{V}_B||\bar{V}_A|\,\text{sen}\,\delta}{X_{T_2}}$$



$$P = \frac{3 \cdot |\bar{V}_{red}||\bar{V}_A|\,\text{sen}\,\delta'}{X_{T_1}} \rightarrow \delta' = 0{,}78^\circ$$

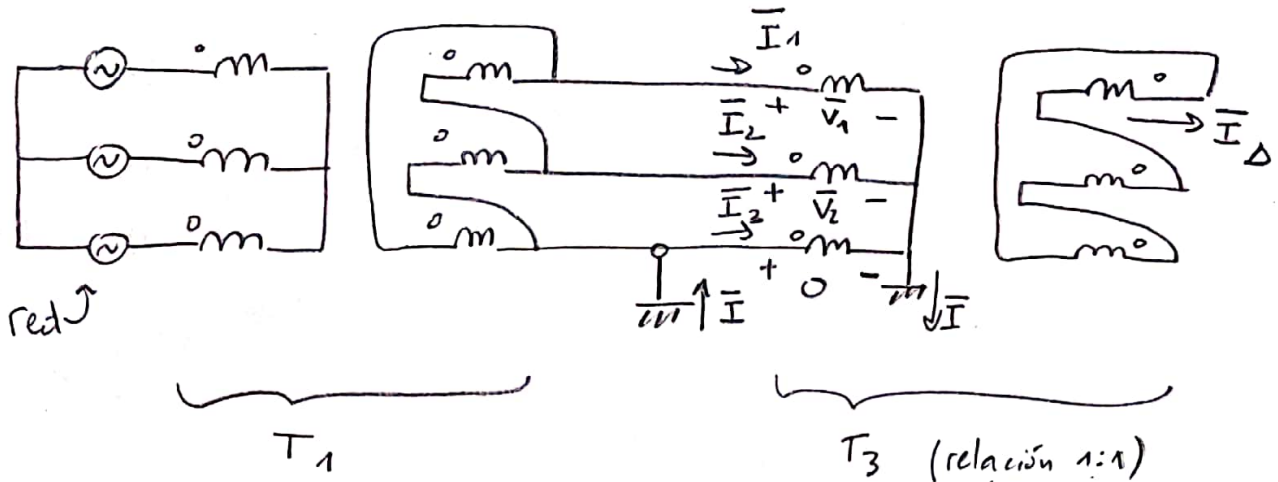
(resp. a $\bar{V}_A$)

$$\rightarrow |\bar{V}_{red}| = |\bar{V}_A| + j X_{T_1}\bar{I} \rightarrow \bar{I} = \frac{\bar{V}_{red} - \bar{V}_A}{j X_{T_1}} = \boxed{2142\ A \angle -27{,}4^\circ}$$

$$\rightarrow \bar{V}_B = \bar{V}_A - j X_{T_2}\bar{I} \rightarrow \bar{V}_B = 3510 \angle -3{,}3^\circ \rightarrow \boxed{|\bar{V}_B| = 6078\ V}$$

Escaneado con CamScanner

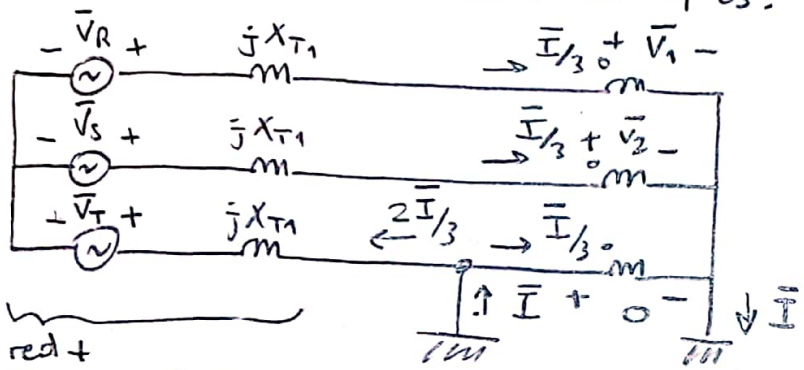
3)



T_3 en vacío, sólo corriente por el Δ: $\bar{I}_1 = \bar{I}_2 = \bar{I}_3 = \bar{I}_\Delta$

nudo: $\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = \bar{I} \rightarrow 3\bar{I}_\Delta = \bar{I}$

Entonces el circuito secundario de T_1 es:



Mallas:

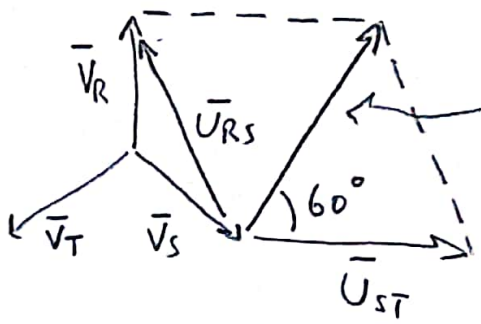
$$-\bar{U}_{RS} + j\cancel{X_{T_1}\frac{\bar{I}}{3}} + \bar{V}_1 - \bar{V}_2 - \cancel{jX_{T_1}\frac{\bar{I}}{3}} = 0$$

$$\hookrightarrow \bar{V}_1 - \bar{V}_2 = \bar{U}_{RS} \quad (1)$$

$$-\bar{U}_{ST} + jX_{T_1}\frac{\bar{I}}{3} + \bar{V}_2 + jX_{T_1}\frac{2\bar{I}}{3} = 0$$

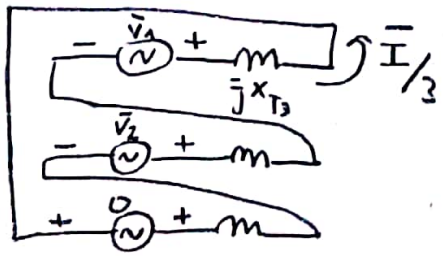
$$\hookrightarrow jX_{T_1}\bar{I} + \bar{V}_2 = \bar{U}_{ST} \quad (2)$$

(1) + (2): $\bar{V}_1 + jX_{T_1}\bar{I} = \underbrace{\bar{U}_{RS} + \bar{U}_{ST}}_{} \quad (3)$



$= 147{,}656\ kV \cdot \frac{31{,}5}{150} = 31{,}0\ kV \angle 60°$

Ahora, desde el secundario de T_3:



malla: $\bar{V}_1 + \bar{V}_2 = jX_{T_3} \cdot \bar{I} \xrightarrow{(3)} \bar{V}_1 + \frac{\cancel{j}X_{T_1}}{\cancel{j}X_{T_3}}(\bar{V}_1 + \bar{V}_2) = 31\angle 60°$

Escaneado con CamScanner

3) (cont.)

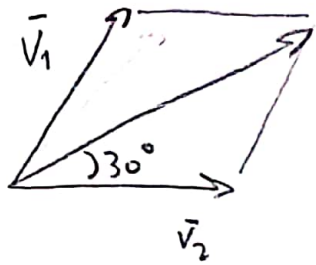
$$X_{T_3} = 0{,}06 \cdot \frac{18^2}{0{,}1} = 194{,}4\ \Omega \quad \rightarrow \quad \frac{X_{T1}}{X_{T3}} = 3{,}24 \times 10^{-3}$$

imp. monofásico

@ 31,5 kV

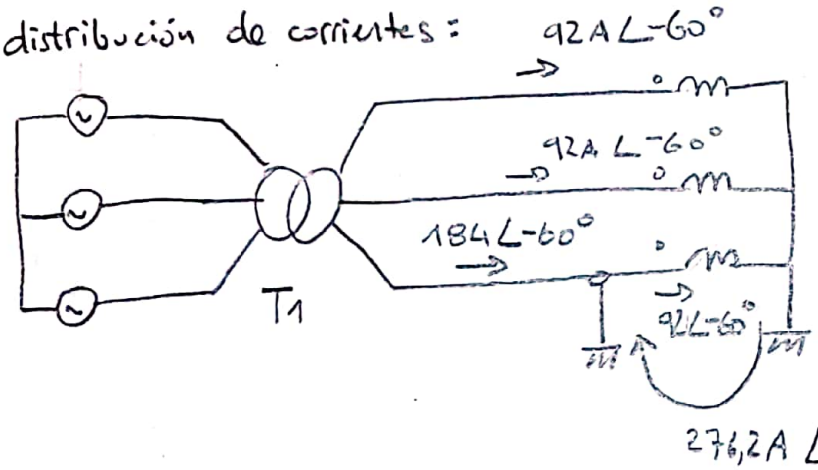
$$\rightarrow \bar{V}_1 \cong 31\ kV \angle 60^\circ \ ; \ \bar{V}_2 = \bar{V}_1 - \bar{U}_{R_S} = 31\ kV \angle 0^\circ$$

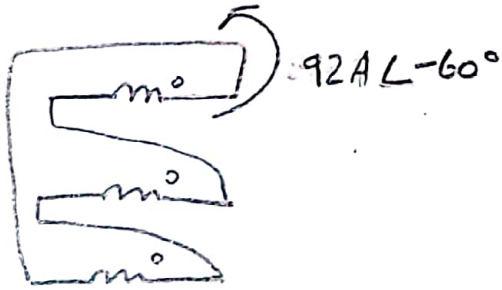
$\rightarrow$



$$\bar{I} = \frac{\overbrace{\bar{V}_1 + \bar{V}_2}^{31 \cdot \sqrt{3} \angle 30^\circ}}{j X_{T3}} = \boxed{276{,}2\ A \angle -60^\circ}$$

distribución de corrientes:



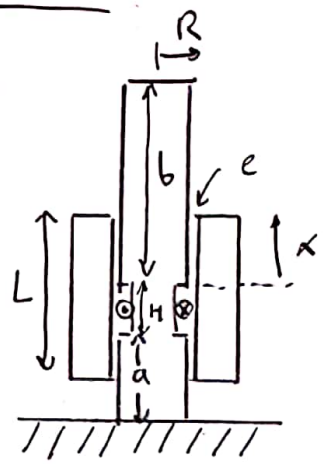


* fases respecto a tensiones secundarias de T1

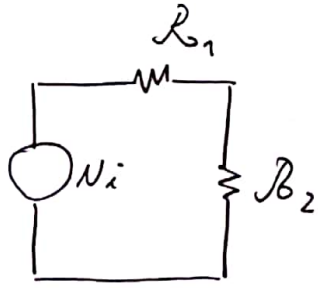
Escaneado con CamScanner

Problema 2

1)



circuito magnético equivalente :



$e \ll R$

$$\mathcal{R}_1 = \frac{e}{\mu_0 2\pi R\, x} \qquad \mathcal{R}_2 = \frac{e}{\mu_0 2\pi R (L-H-x)}$$

$$\rightarrow \mathcal{R}_{eq} = \mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2 = \frac{e}{\mu_0 2\pi R}\left(\frac{1}{x} + \frac{1}{L-H-x}\right) = \frac{e}{\mu_0 2\pi R}\left[\frac{L-H-\cancel{x}+\cancel{x}}{x(L-H-x)}\right]$$

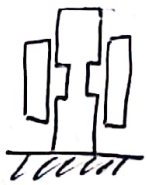
$$\rightarrow L(x) = \frac{N^2}{\mathcal{R}_{eq}} = \boxed{\frac{N^2 \mu_0 2\pi R}{e}\left[\frac{x(L-H-x)}{L-H}\right]}$$

2) circuito magnético lineal : $W_s = W_s'$ $\rightarrow$ $F(x) = \left.\frac{\partial W_s'}{\partial x}\right|_{i=cte.}$

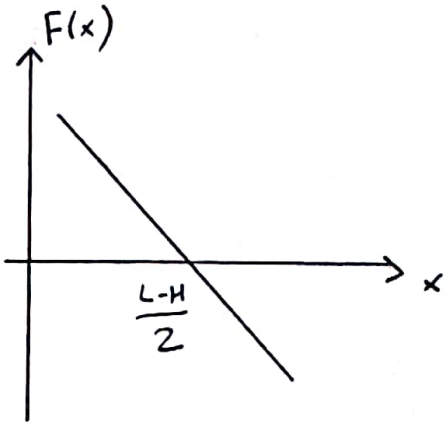
$$W_s' = \frac{1}{2} L i^2 = \frac{N^2 \mu_0 \pi R}{e} \cdot \frac{x(L-x-H)}{(L-H)} \cdot i^2$$

$$\rightarrow \boxed{F(x) = \frac{N^2 \mu_0 \pi R\, i^2}{e(L-H)}\left[L-H-2x\right]}$$

↳ casos particulares: si $x = \frac{L-H}{2}$



$\rightarrow F = 0$



Escaneado con CamScanner

3) Si inicialmente la parte móvil está apoyada en la base y se aplica una corriente continua i en la bobina, se tendrá una fuerza $F > 0$. Esto genera que la pieza tienda a levantarse, siempre y cuando la fuerza magnética supere el peso de la pieza $(m.g)$. En caso que esto se cumpla, se tendría una posición de equilibrio final dada por el balance de ambas fuerzas:

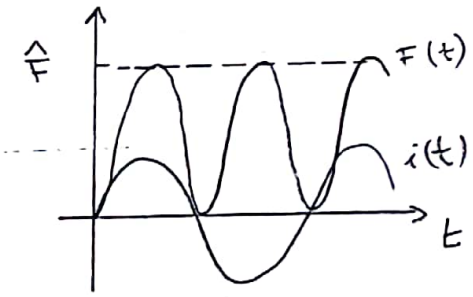
$$F(x^*) = \underbrace{\frac{N^2 \mu_0 \pi R}{e(L-H)}}_{k} \cdot i^2 \left[L - H - 2x^* \right] = mg$$

$$\rightarrow \boxed{x^* = \left(-\frac{mg}{i^2 \cdot k} + L - H \right) \cdot \frac{1}{2}}$$

En caso que exista algún amortiguamiento, el movimiento se detendrá en esa posición, en caso contrario será oscilatorio alrededor de la misma.

Obs:
más allá de los valores, se sabe que $x^* < \frac{L-H}{2}$ ya que $F = mg > 0$

4) Si en lugar de corriente continua se alimenta la bobina en AC, la fuerza será de tipo oscilatorio:



← Para cada x se tendrá una fuerza F distinta, con este comportamiento temporal.

$$\hat{F}(x) = \frac{N^2 \mu_0 \pi R}{e(L-H)} \left(\sqrt{i}\right)^2 (L - H - 2x)$$

El movimiento será oscilatorio ya que el peso actúa de forma cte. pero la fuerza F oscila a 100 Hz.

El punto central de la oscilación dependerá del valor medio de la fuerza $= \frac{\hat{F}}{2}$ y de cómo resulta éste en relación al peso $m.g$:

$$\frac{\hat{F}}{2} = \underbrace{\frac{N^2 \mu_0 \pi R}{e(L-H)}}_{k} \cdot \frac{i}{2} (L - H - 2x^*) = mg \rightarrow x^* = \left[\frac{-mg}{(k \cdot i/2)} + L - H \right] \cdot \frac{1}{2}$$

Escaneado con CamScanner