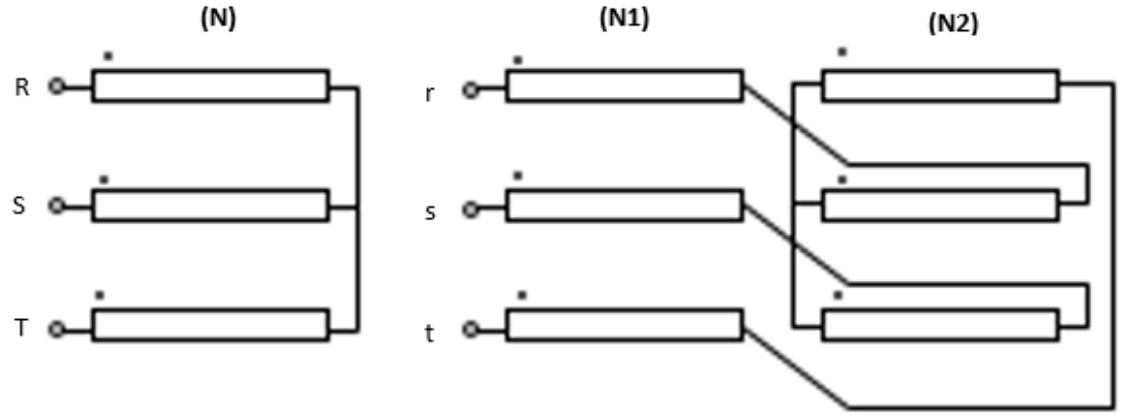
INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Curso de Máquinas Eléctricas (5602) – Parcial N°1 – 2 de octubre de 2021.

Problema No. 1 (50%)

Para una aplicación específica, se requiere tener un sistema trifásico equilibrado girado un cierto ángulo respecto del sistema trifásico de referencia. A partir de tres transformadores monofásicos de tres arrollamientos conectados según se muestra en la figura, se busca cumplir con el objetivo propuesto.
Sea **N** el número de espiras del bobinado primario, **N1** el número de espira del secundario y **N2** el número de espiras del terciario. Las bobinas **N** y **N2** disponen, cada una, de un sistema de taps que permite variar la cantidad de espiras. **N1** = 100 espiras.



Se pide:

1) Mostrar que el sistema {r,s,t} es trifásico equilibrado, indicando el diagrama fasorial de las fases (V_r, V_s, V_t) y hallar la relación de transformación V_r/V_R. (20%)

2) Sea $\alpha = N_1/N$ y $x = N_2/N$. Calcular el ángulo de desfasaje en función de $\alpha\ y\ x$: $\varphi(\alpha, x)$ y determinar en qué rango puede ajustarse φ. (30%)

3) Se quiere ajustar $\varphi = 15°$ con relación de transformación igual a 1. Determinar si es posible especificar los taps del secundario N_2 y en el primario N. En caso afirmativo calcule dichos valores. (30%)

4) Con los valores ajustados en (d) se realizó un ensayo de cortocircuito del transformador alimentando el primario de este con una fuente trifásica perfecta de valor 40V y midiendo en el secundario, en cortocircuito, una corriente de 100A. La potencia activa medida en el primario es despreciable. Determinar la impedancia de cortocircuito del transformador, vista desde el primario. (20%)

Problema No. 2 (50%)

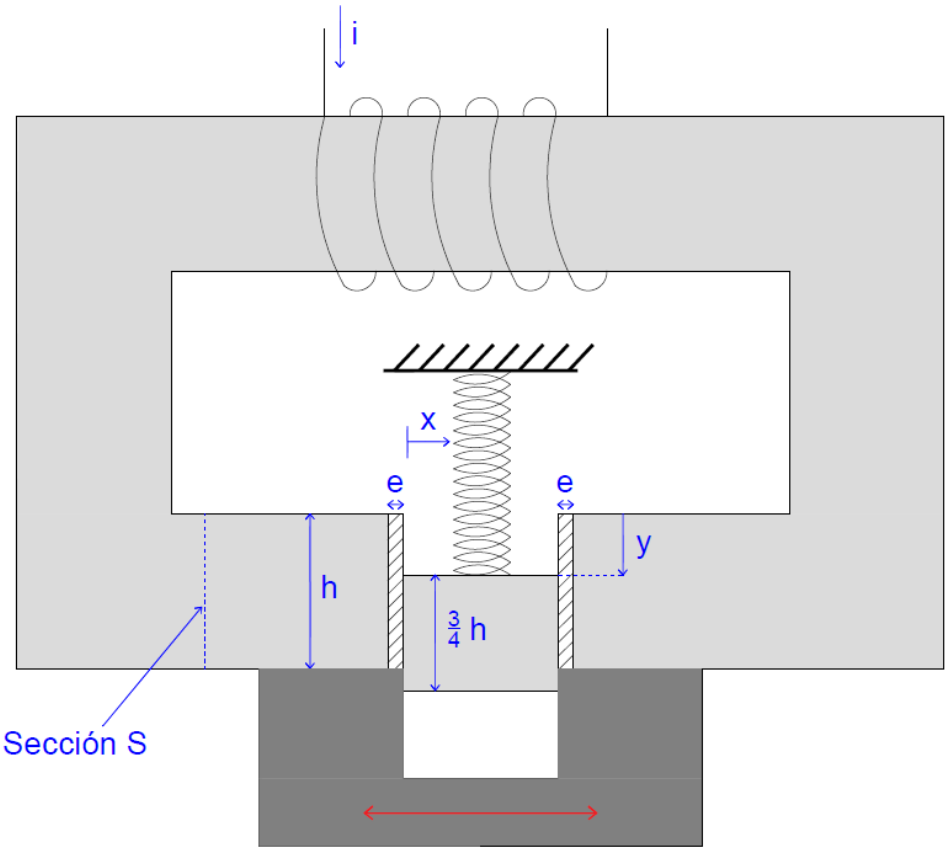
Se tiene el dispositivo de la figura. Se trata de un dispositivo que opera como cerradura magnética.

Las partes en gris claro son de hierro. Tanto la parte fija (externa, de sección **S**) como el vástago móvil (pieza de altura 3/4**h**), ambas tienen sección transversal rectangular, y la misma profundidad. El vástago móvil está encerrado entre dos superficies de plástico de espesor **e** y sólo tiene movimiento según la dirección vertical ***y.***

La parte en gris oscuro es de bronce (material no magnético) y, cuando la cerradura está destrabada (vástago levantado) puede moverse en la dirección de la flecha roja. Cuando la cerradura está trabada el vástago impide el movimiento lateral de esta pieza.

Un resorte opera empujando hacia abajo el vástago móvil, siendo la posición de reposo del resorte **y=h/2** y la constante del mismo **K.** El resorte opera de forma lineal con su deformación.

La excitación es proporcionada por una bobina de **N** vueltas por la que circula una corriente ***i.*** Las dimensiones se presentan en el esquema a continuación:



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).

Se pide:

1) Determinar la fuerza magnética sobre el vástago móvil según la dirección **x** (ver figura). (10%)

2) Determinar la fuerza magnética sobre el vástago móvil según la dirección **y** (ver figura), para el rango **$-h/2 < y < h/2$**. (30%)

3) Determinar el valor de corriente constante **i** que asegura que la cerradura quede destrabada de forma permanente. Exprese el resultado en función de las otras constantes del problema. (30%)

4) Explique qué sucede en cuanto al movimiento y posición del vástago si se aplica una corriente menor o mayor al valor calculado en la parte anterior. (30%)

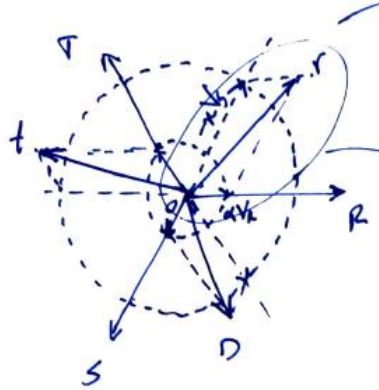
INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA - Departamento de POTENCIA
Curso de Máquinas Eléctricas (5602) – Parcial N°1 – 2 de octubre de 2021.

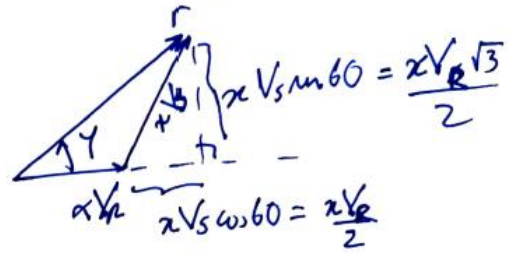
Solución

Problema No. 1 (50%)

1)

tres triángulos iguales => rot en RST rotado Y con factor de escalado.





$$V_r^2 = \left(\alpha V_R + \frac{x V_R}{2}\right)^2 + \left(\frac{x V_R \sqrt{3}}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow V_r = V_R \sqrt{\alpha^2 + \alpha x + \frac{x^2}{4} + \frac{3x^2}{4}} \Rightarrow \boxed{\frac{V_r}{V_R} = \sqrt{\alpha^2 + \alpha x + x^2}}$$

2)

$$\operatorname{sen} Y = \frac{x V_R \sqrt{3}}{V_r \cdot 2} \Rightarrow \operatorname{sen} Y = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{x}{\sqrt{\alpha^2 + \alpha x + x^2}}$$

$$\Rightarrow \boxed{Y \in [0, 60)}$$

3)

Objetivo $Y = 15°$
relación transformación = 1

$$\Rightarrow \operatorname{sen} Y = \frac{\sqrt{3}}{2} x \Rightarrow \underline{x = 0{,}299}$$

$$\Rightarrow 0 = \alpha^2 + \alpha \cdot 0{,}299 + \overbrace{0{,}299^2 - 1}^{-0{,}91} \Rightarrow \boxed{\alpha = 0{,}816}$$

$$\Rightarrow \boxed{\begin{array}{l} N = \frac{N_1}{\alpha} \cong 122 \text{ espiras} \\ N_L = \frac{N_1}{\alpha} \cdot x = 37 \text{ espiras} \end{array}}$$

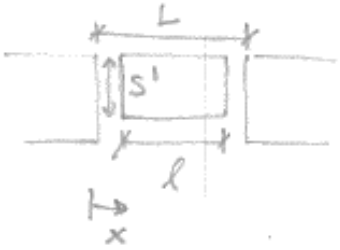
4)

$$\left.\begin{array}{l} \text{rel trans}/=1 \Rightarrow I_2 = I_1 = 100\,A \\ V_1 = 40V \end{array}\right\} \Rightarrow Z_{cc} = j\frac{40}{\sqrt{3}\cdot 100}\,\Omega \Rightarrow \boxed{j\frac{0{,}4}{\sqrt{3}}\,\Omega = \bar{Z}_{cc}}$$

Solución

Problema No. 2 (50%)

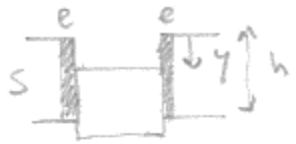
1) Suponiendo movimiento según x:
(no importa y, es cte.)



$$R_0 = \frac{x}{\mu_0 S'} + \frac{L-l-x}{\mu_0 S'} = \frac{\overbrace{L-l}^{\text{ancho total de los EH}}}{\mu_0 \underbrace{S'}_{\text{sección de los EH}}}$$

R_0 no depende de x → L tampoco → $\boxed{F_x = 0}$

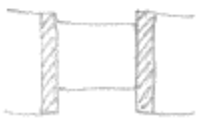
2) $\frac{h}{4} < y < \frac{h}{2}$:



$$\mathcal{R}_0 = \frac{2e}{\mu_0 S\left(1-\frac{y}{h}\right)} \rightarrow L(y) = \frac{N^2}{\mathcal{R}_0} = \frac{N^2 \mu_0 S\left(1-\frac{y}{h}\right)}{2e}$$

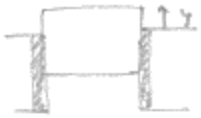
$$F_y = \frac{\partial W'}{\partial y}\Big|_{i=cte} = \frac{\partial}{\partial y}\frac{1}{2}L i^2\Big|_{i=cte} = \boxed{-\frac{N^2 \mu_0 S\, i^2}{4eh}}$$ (F es independiente de y)

$0 < y < \frac{h}{4}$:



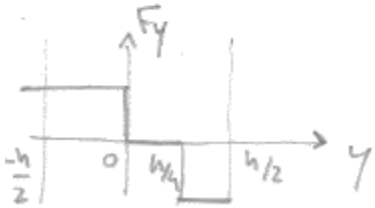
$\mathcal{R}_0$ indep. de y $\rightarrow$ $\boxed{F_y = 0}$

$-\frac{h}{2} < y < 0$:



$$\mathcal{R}_0 = \frac{2e}{\mu_0 S\left(\frac{3}{4}+\frac{y}{h}\right)}$$ $\rightarrow$ análogo al caso inicial

$$\boxed{F_y = \frac{N^2 \mu_0 S\, i^2}{4eh}}$$ (igual y opuesta)



3) Para destrabar requiero $y = \frac{h}{4}$ y equilibrio:

$$F_y = -F_{resorte} : \frac{\cancel{4} N^2 \mu_0 S i^2}{\cancel{4} e h} = \cancel{4} k \cdot \frac{h}{\cancel{4}}$$

$$\rightarrow \boxed{i^* = \sqrt{\frac{k h^2 e}{N^2 \mu_0 S}}}$$

4) con i^* se mantiene en eq. si aplico $i < i^*$, $|F_y|$ disminuye, el resorte se equilibra en $y > h/4$, cerradura trabada.

con $i > i^*$, $|F_y|$ supera al resorte en $y = h/4$ pero al seguir hacia arriba, $F_y = 0$, entonces el resorte impulsa hacia abajo de nuevo, y se repite ciclo. Probablemente oscile alrededor de $y = h/4$.