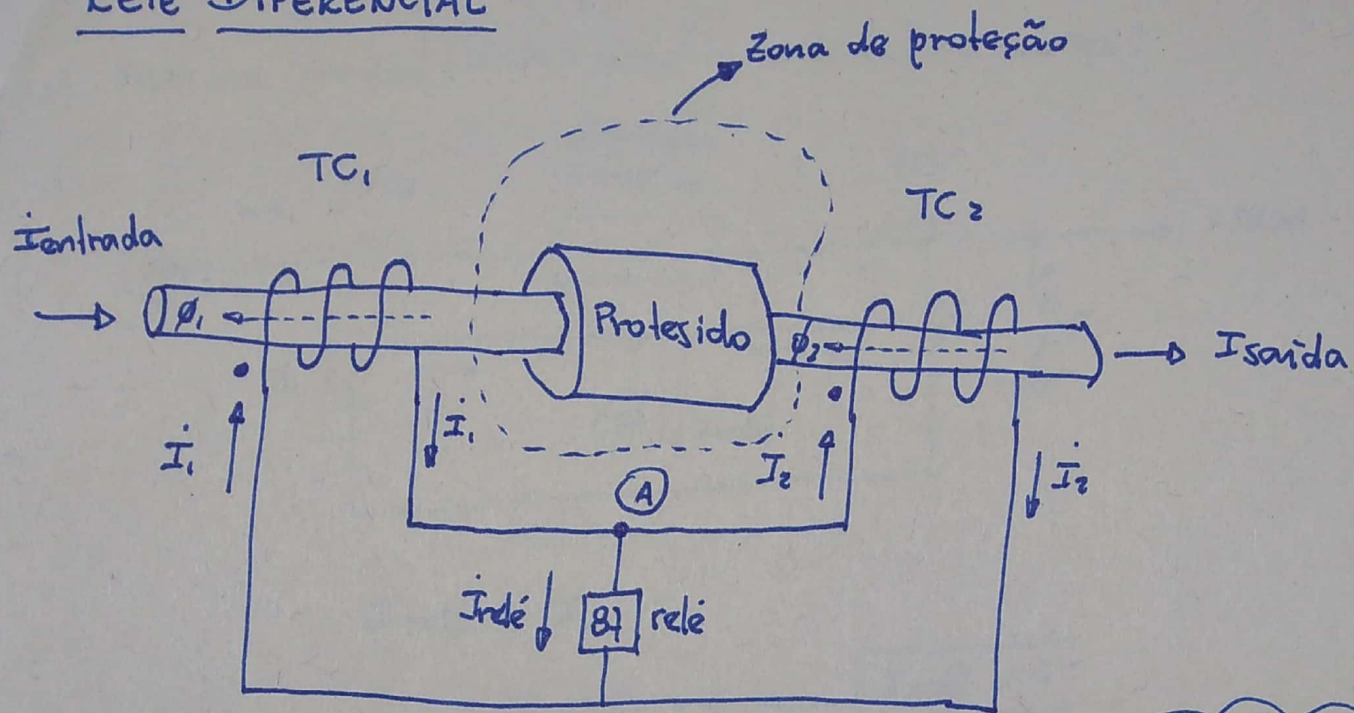


RELÉ DIFERENCIAL



$$I_{relé} + I_2 = I_1$$
$$I_{relé} = I_1 - I_2$$

Se $I_{entrada} = I_{saida} \rightarrow I_1 = I_2$

Se $I_{entrada} \neq I_{saida} \rightarrow I_1 \neq I_2$

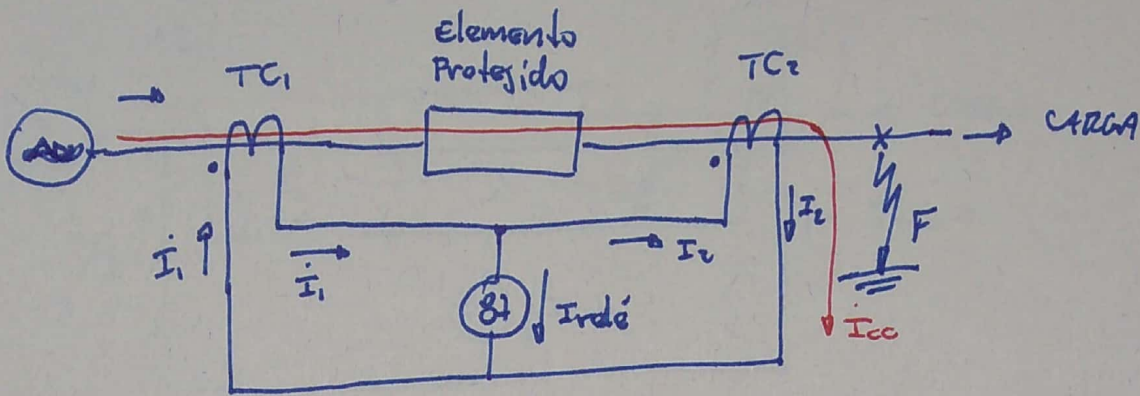
Lei de Kirchhoff das correntes no ponto (A):

$$I_{relé} + I_2 = I_1 \rightarrow \boxed{I_{relé} = I_1 - I_2}$$

Assim:

- Se $I_1 - I_2 = 0 \rightarrow$ o relé não atua
- Se $I_1 - I_2 < I_{ajuste} \rightarrow$ o relé não atua
- Se $I_1 - I_2 > I_{ajuste} \rightarrow$ o relé atua (trip)

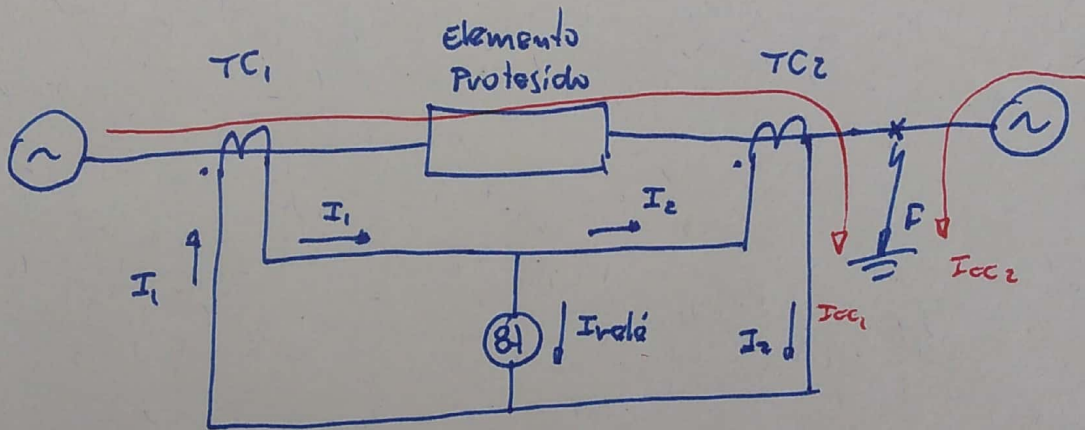
1) sistema radial (urbo - circuito externo) ou carga:



$$I_{rdé} = I_1 - I_2$$

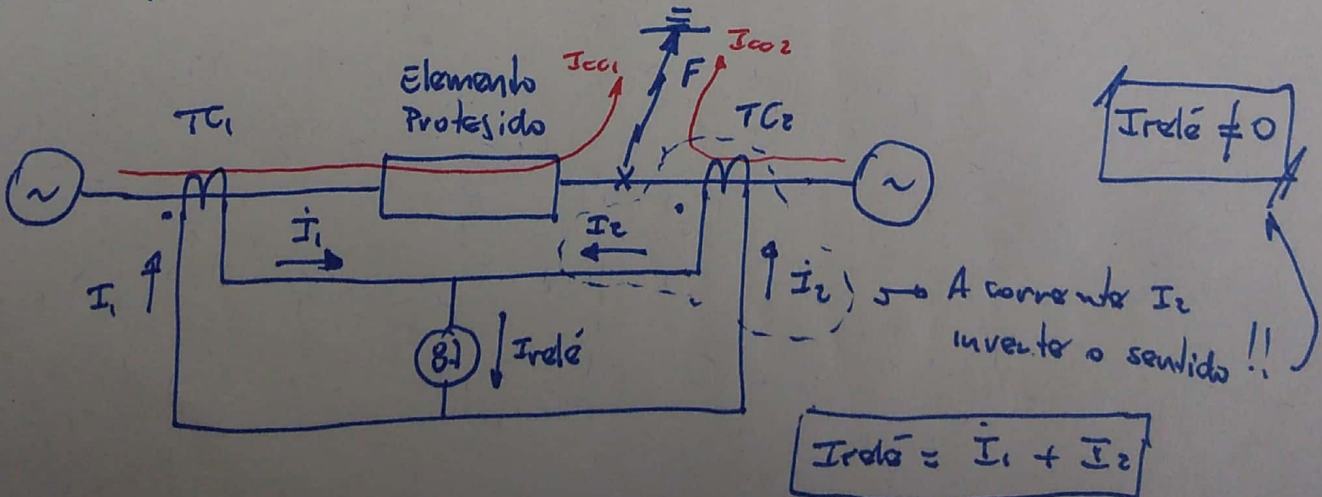
$$I_1 - I_2 = 0 \rightarrow \boxed{I_{rdé} = 0}$$

2) sistema em anel (urbo - circuito externo):

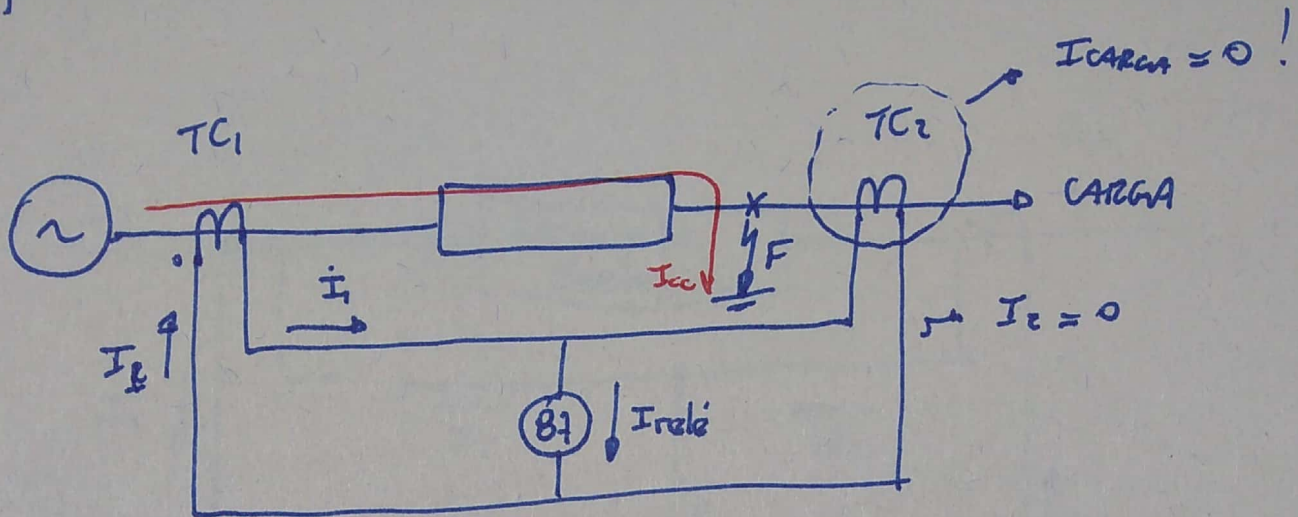


$$I_{rdé} = I_1 - I_2 = 0 \rightarrow \boxed{I_{rdé} = 0}$$

3) defeito interno (sistema em anel):



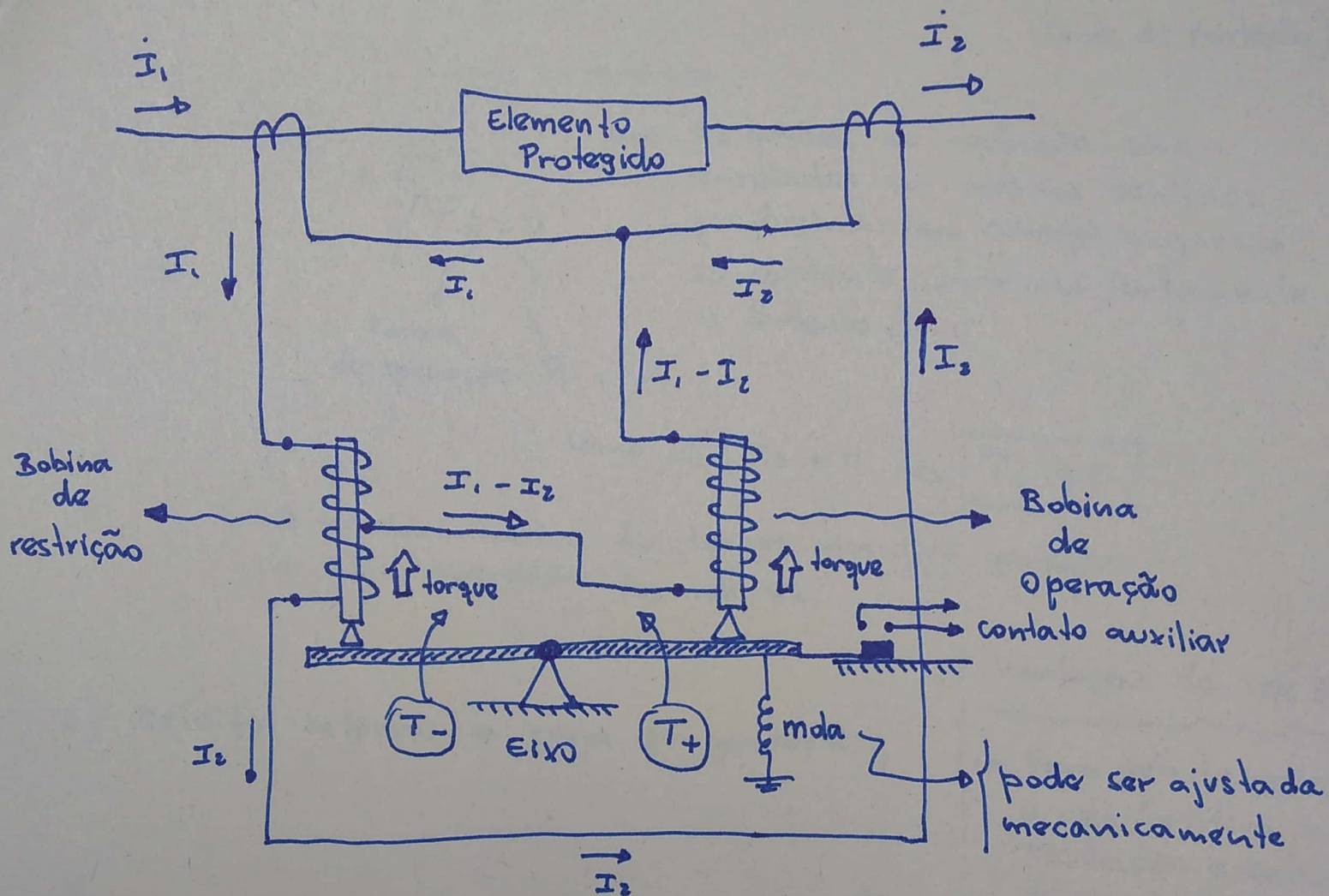
4) Detalle interno (sistema radia)



$$I_{rele} = I_1 - I_2 \rightarrow \boxed{I_{rele} = I_1}$$

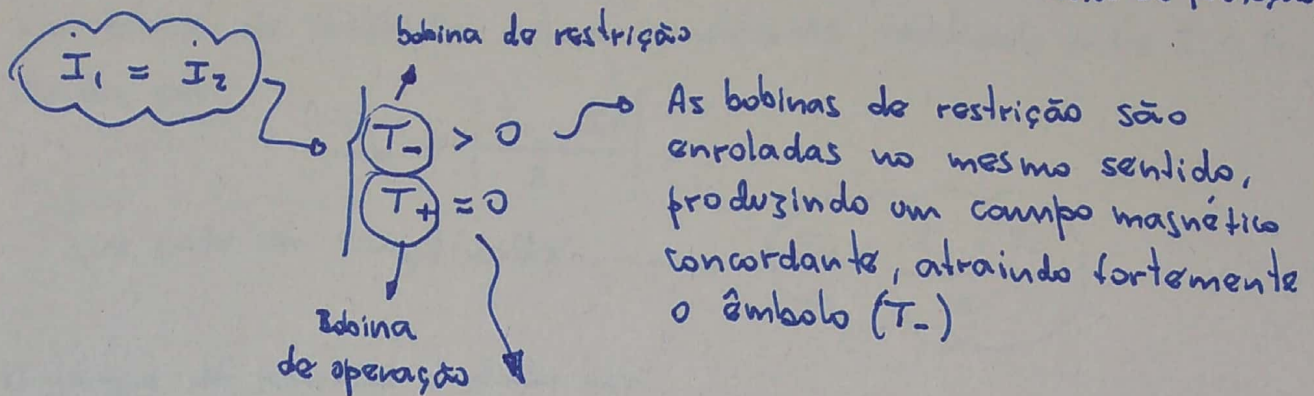
$$\boxed{I_{rele} \neq 0}$$

Relé Diferencial Percentual (Analogia relé eletromecânico)



→ O relé gt irá operar sempre que o torque $\oplus$ for maior que o torque $\ominus$

1) Operação normal do sistema ou falta externa (fora da zona de proteção):



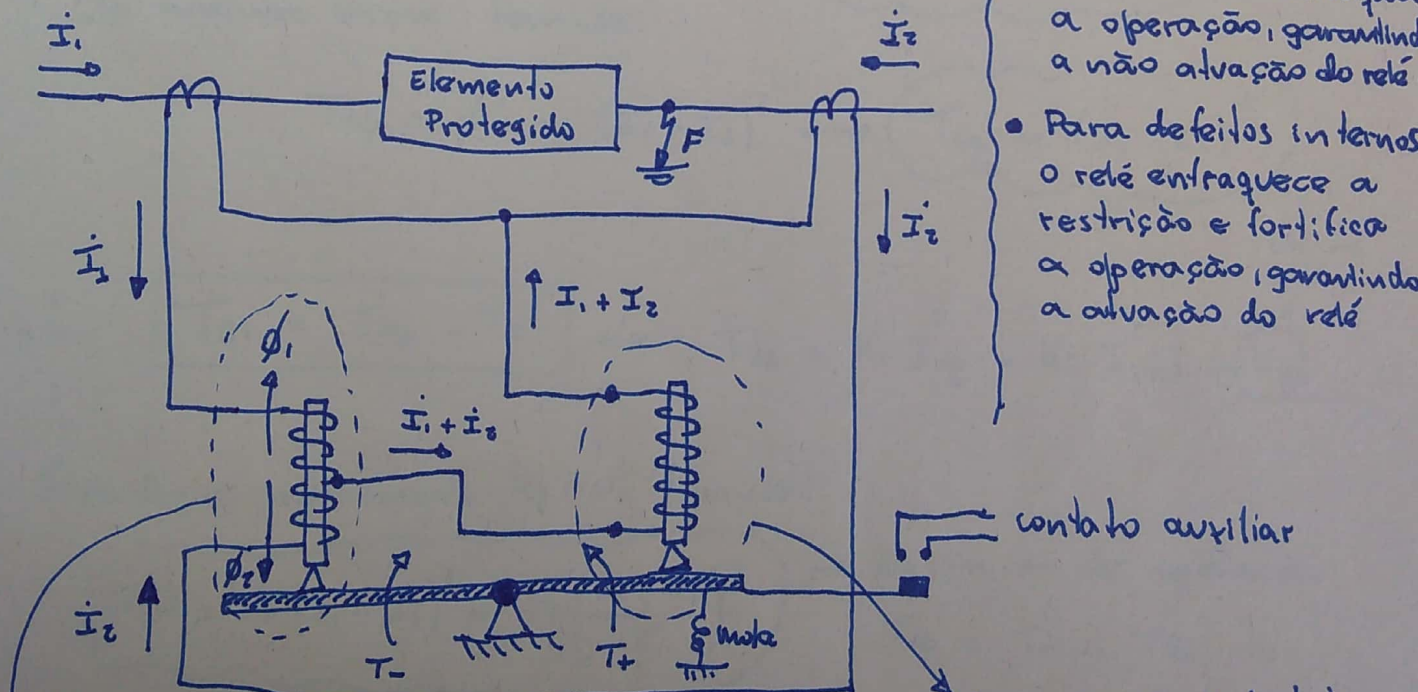
Como $I_1 - I_2 = 0 \Rightarrow T_+ = 0$

$\therefore$ A predominância do torque negativo garante a não operação do relé 87

2) Defeito interno à zona de proteção:

Vantagem do relé 87:

- Para defeitos externos, o relé fortalece a restrição e enfraquece a operação, garantindo a não atuação do relé.
- Para defeitos internos, o relé enfraquece a restrição e fortalece a operação, garantindo a atuação do relé



fazendo-se $I_1 = I_2$ (por simplificação)

tem-se $\phi_1 = \phi_2$ em sentidos opostos

$\Rightarrow T_- = 0$

Como passa pela bobina de operação $I_1 + I_2$

$\Rightarrow T_+ \gg 0$

O relé 87 atua!!

Expressões Analíticas:

- Na bobina de restrição, atua a corrente resultante entre I_1 e I_2 , dada por:

$$I_r = \left| \frac{I_1 + I_2}{2} \right|$$

que pode ser simplificada $\rightarrow$

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

- O torque de restrição é dado por:

$$T_r \Rightarrow \propto \phi^2 \propto \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)^2 \rightarrow T_r \sim \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)^2$$

- Na bobina de operação, a corrente resultante será:

$$I_{op} = |I_1 - I_2|$$

$$I_{op} = I_1 - I_2$$

Da mesma forma, tem-se:

$$T_{op} \sim \phi^2 \sim (I_1 - I_2)^2 \rightarrow T_{op} \sim (I_1 - I_2)^2$$

$$\therefore \boxed{T_{87} = T_{op} - T_r} \rightarrow T_{87} = k_1 I_{op}^2 - k_2 I_{rest}^2 - \underbrace{(k_3)}_{\text{cte da mola}}$$

fazendo-se inicialmente $k_3 = 0$, tem-se:

$$T_{87} = k_1 (I_1 - I_2)^2 - k_2 \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)^2 \rightarrow \text{No limiar de operação } T_{op} = T_r \rightarrow T_{87} \sim 0$$

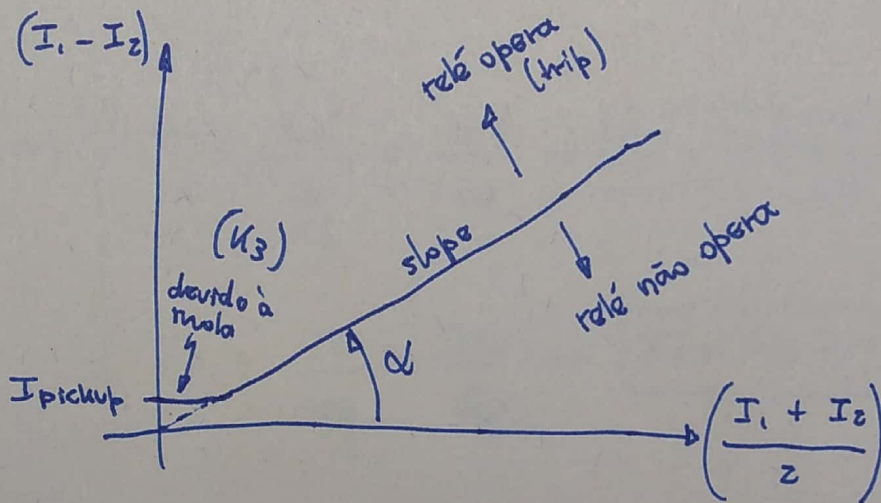
$$\therefore 0 = k_1 (I_1 - I_2)^2 - k_2 \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)^2$$
$$k_1 (I_1 - I_2)^2 = k_2 \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)^2$$
$$(I_1 - I_2)^2 = \frac{k_2}{k_1} \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)^2$$
$$I_1 - I_2 = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)$$

fazendo-se $\alpha = \sqrt{\frac{K_2}{K_1}}$, tem-se:

$$(I_1 - I_2) = \alpha \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right)$$

fazendo-se $y = I_1 - I_2$ e $x = \frac{I_1 + I_2}{2}$

$\Rightarrow$ $y = \alpha x$ $\rightarrow$ equação de uma reta passando pela origem.



$\alpha = \tan \alpha = \sqrt{\frac{K_2}{K_1}}$ $\rightarrow$ declividade ou "slope"

• Ajustes do relé diferencial:

a) Declividade (slope) $\rightarrow$ Situada entre 5% e 45%.

Ex: Se a declividade for de 25%.

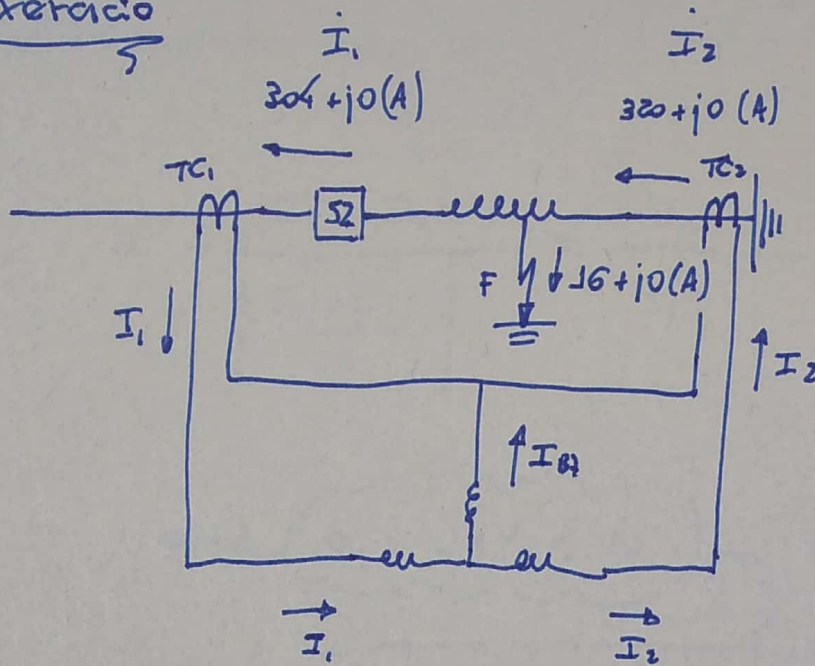
$\tan \alpha = 0,25 \rightarrow \alpha = \arctan(0,25) \rightarrow \alpha = 14,04^\circ$

* Quanto maior for a declividade, menor será a sensibilidade do relé

b) Ajuste da corrente de pickup (valor mínimo de atuação)

$I_{pickup} = \sqrt{\frac{K_3}{K_1}}$

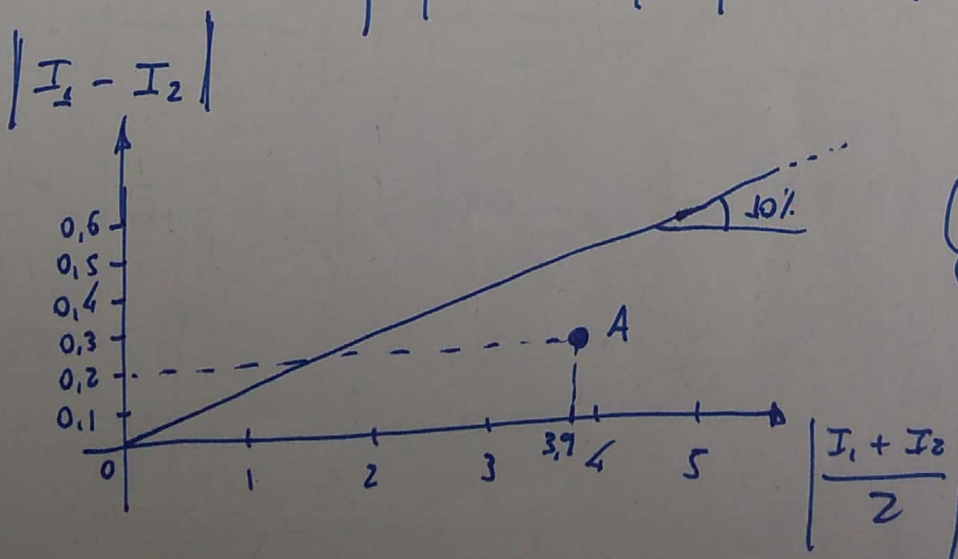
Exercício 5



$$\left. \begin{aligned} R_{TC_{1,2}} &= \frac{400}{5} = 80 \\ I_{pickup} &= 0,1 \text{ A} \\ \alpha &= 10\% \text{ (slope)} \end{aligned} \right\}$$

$$a) \left\{ \begin{aligned} I_1 &= \frac{304}{\frac{400}{5}} = \frac{304}{80} \rightarrow \boxed{I_1 = 3,8 \text{ A}} \\ I_2 &= \frac{320}{\frac{400}{5}} = \frac{320}{80} \rightarrow \boxed{I_2 = 4,0 \text{ A}} \end{aligned} \right.$$

$$\text{Assim, tem-se: } \left\{ \begin{aligned} \bullet \left(\frac{I_1 + I_2}{2} \right) &= \frac{4,0 + 3,8}{2} = 3,9 \text{ A} \\ \bullet |I_1 - I_2| &= |3,8 - 4,0| = 0,2 \text{ A} \end{aligned} \right.$$



relé não atua !!
para (A)

Análiticamente, tem-se:

$$a = \frac{|I_1 - I_2|}{\left| \frac{I_1 + I_2}{2} \right|} = \frac{0,2}{3,9} \Rightarrow a = 0,051$$

ou

$a = 5,1\%$

Como $a = 5,1\% < 10\%$ → relé não atua!!!

—————|—————|—————

b) caso com o gerador energizado, porém com o disjuntor aberto:

$I_1 = 0$ → Apenas corrente de falta circula na máquina.

$$I_2 = \frac{16}{\frac{400}{5}} \Rightarrow I_2 = 0,2 \text{ A}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \left| \frac{I_1 + I_2}{2} \right| = \left| \frac{0,0 + 0,2}{2} \right| = 0,10 \text{ A} \\ \bullet |I_1 - I_2| = |0,0 - 0,2| = 0,2 \text{ A} \end{array} \right.$$

Análiticamente:

$$a = \frac{I_1 - I_2}{\frac{I_1 + I_2}{2}} =$$

$$= \frac{0,2}{0,1} = 2$$

$$a = 200\%$$

$$a = 200\% > 10\%$$

↓
O relé não atua!!

