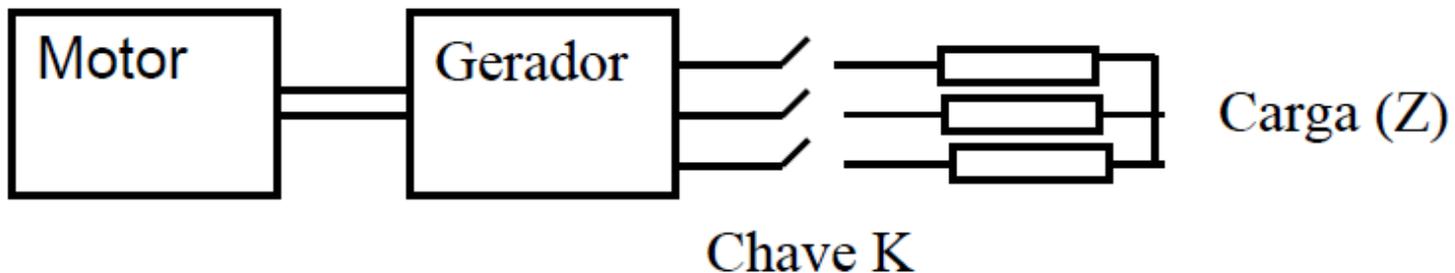


Exercício Alternador Síncrono

Um grupo moto-gerador alimenta impedância trifásica Z (Ω) (por fase) por meio de uma chave K . Com a chave aberta, rotação 1200 rpm e corrente de excitação do alternador ajustada em 3A, é induzida tensão $V = 380$ V (linha) em 60Hz, entre os terminais do gerador.

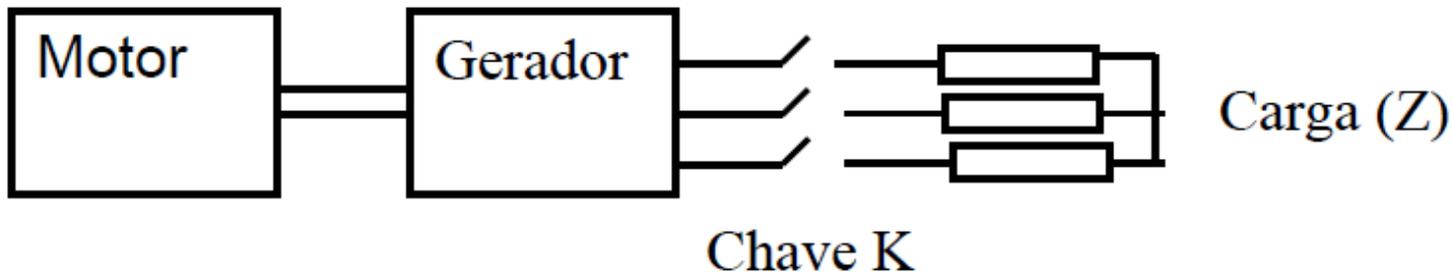
- A potência nominal do grupo é de 150 kVA. A reatância síncrona do alternador vale $1,0\Omega$. O torque necessário para manter a rotação em 1200 rpm com a chave K em aberto é 16 Nm.



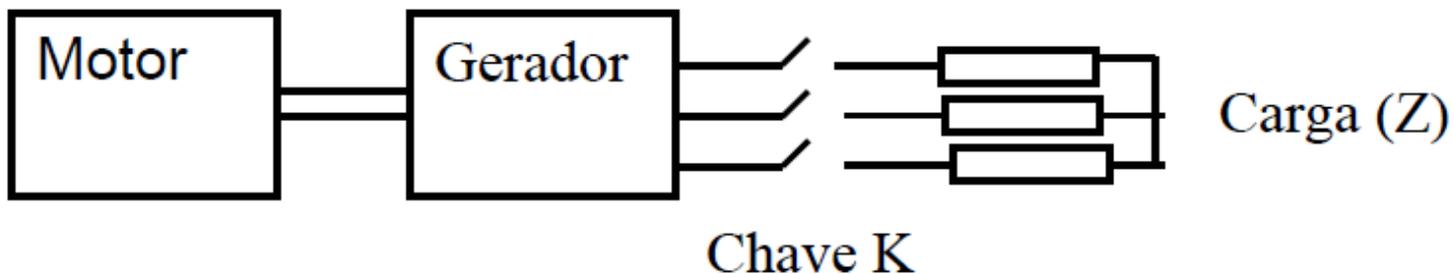
Porque o alternador consome potência com a chave K em aberto? Qual o valor desta potência?

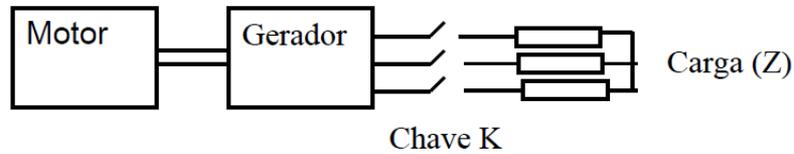
- Perdas Mecânicas nos mancais (por exemplo)

$$P = C \times \Omega = 16 \times 2 \pi \frac{1200}{60} = 2.010 \text{ W}$$

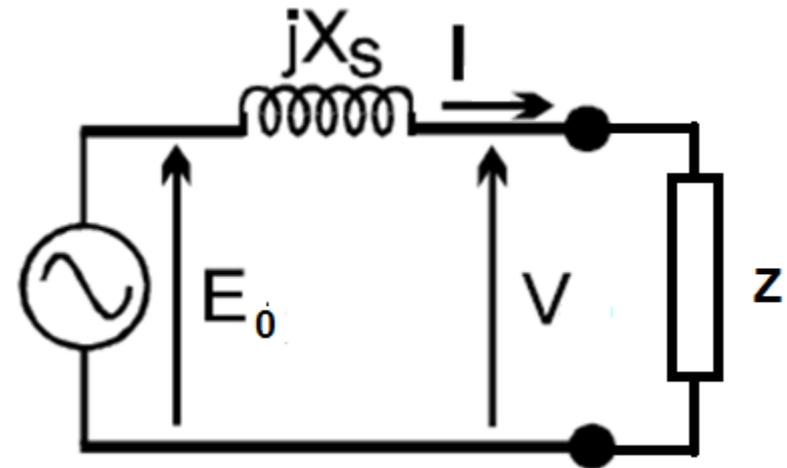


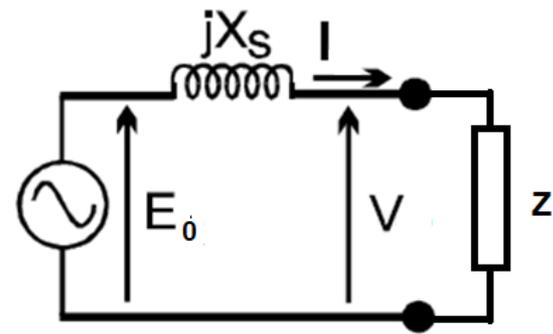
- Quantos polos possui este alternador?
- Ele gira a 1200 rpm e a frequência vale 60 Hz.
- $f = pn$, logo $60 = p \cdot 1200/60 \rightarrow 3$ pares de polos, ou seja, 6 polos.





Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir 380 V (linha) em 60Hz na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale $Z = 1.0 \Omega/\text{fase}$ (resistiva pura)?





Fechando-se a chave K
 será necessário ajustar o
 torque e a corrente de
 excitação para garantir
 380 V em 60Hz na carga.
 Qual o torque e a
 corrente de excitação se
 a carga vale $Z = 1.0$
 Ω /fase (resistiva pura) ?

$$\hat{V} = 380 / \sqrt{3} \angle 0^\circ$$

$$\hat{I} = \frac{\hat{V}}{Z} = \frac{220}{1} = 220 \angle 0^\circ A$$

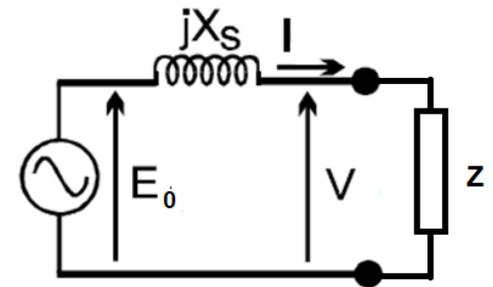
$$\hat{E} = \hat{V} + jX_s \hat{I} = 311,13 \angle 45^\circ$$

- Cálculo do Torque

$$P = 3VI \cos(\varphi) = 3 \times 220 \times 220 \times 1 = 145.200 W$$

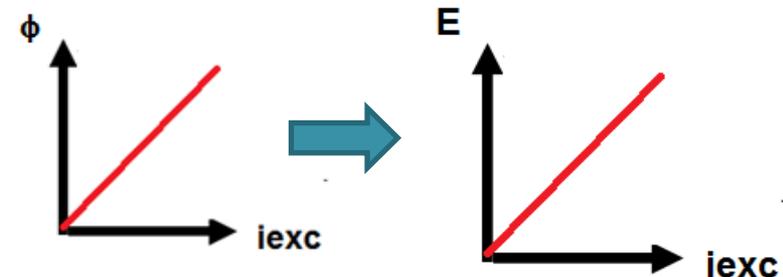
$$C = P / \Omega + 16 = 1.171 \text{ Nm}$$

- Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir **380 V (linha)** em **60Hz** na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale $Z = 1.0 \Omega/\text{fase}$ (resistiva pura)?



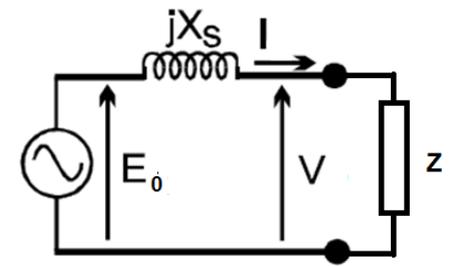
- Cálculo da corrente de Excitação

- Circuito Magnético Linear

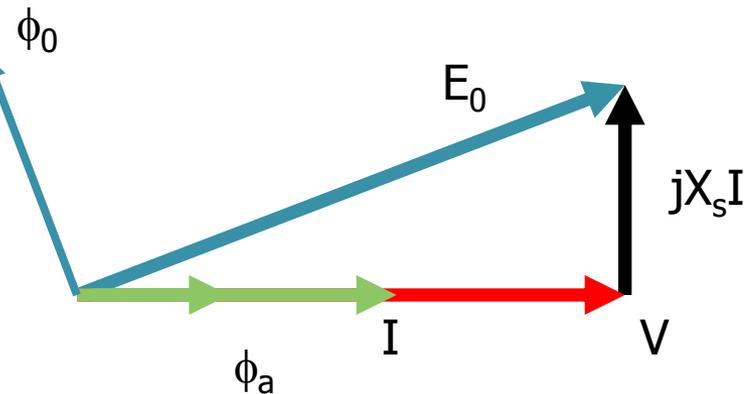


$$\frac{220}{311} = \frac{I_{exc}(\text{inicial})}{I_{exc}(\text{procurada})} = \frac{3}{I_{exc}(\text{procurada})}$$

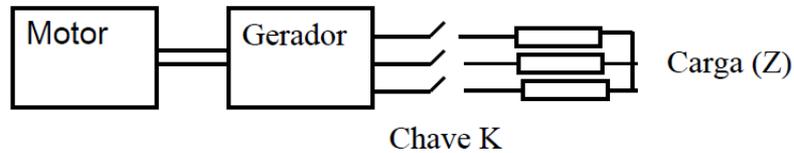
$$I_{exc}(\text{procurada}) = 4.24 A$$



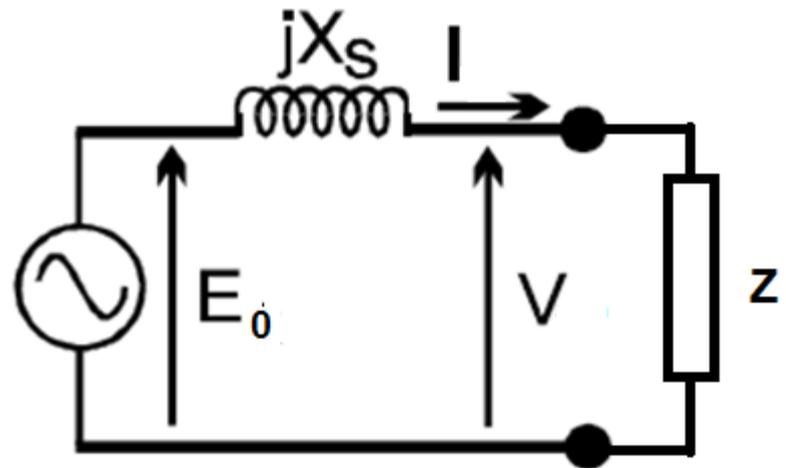
- Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir **380 V** em **60 Hz** na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale $Z = 1.0 \Omega/\text{fase}$ (resistiva pura)

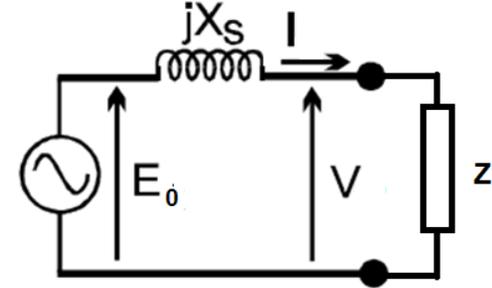


- Reação de Armadura Desmagnetizante



Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir **380 V** em **60 Hz** na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale **$Z = j1.0 \Omega/\text{fase}$** (indutiva pura) ?





- Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir **380 V** (linha) em **60 Hz** na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale **$Z = j1.0 \Omega$** /fase (indutiva pura)

$$\hat{V} = 380 / \sqrt{3} \angle 0^\circ$$

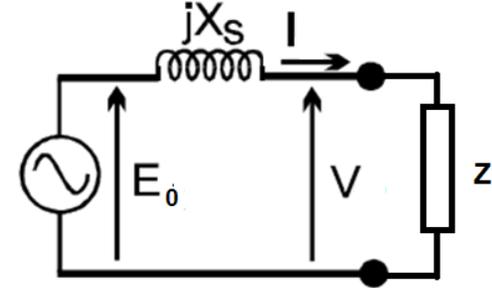
$$\hat{I} = \frac{\hat{V}}{Z} = \frac{220}{j1} = 220 \angle -90^\circ A$$

$$\hat{E} = \hat{V} + jX_s \hat{I} = 440 \angle 0^\circ$$

- Cálculo do Torque

$$P = 3VI \cos(\varphi) = 3 \times 220 \times 220 \times 0 = 0W$$

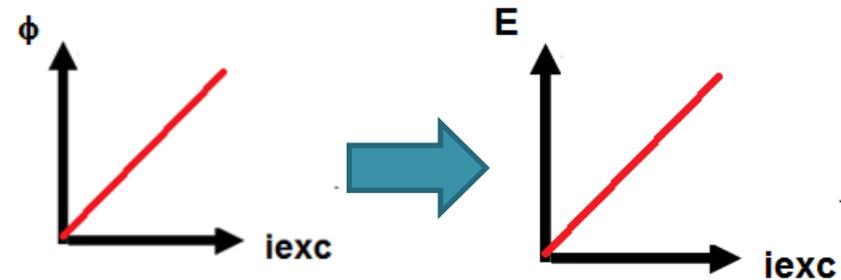
$$C = P / \Omega + 16 = 16 \text{ Nm}$$



- Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir **380 V (linha)** em **60Hz** na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale **$Z = j1.0 \Omega/\text{fase}$** (indutiva pura) ?

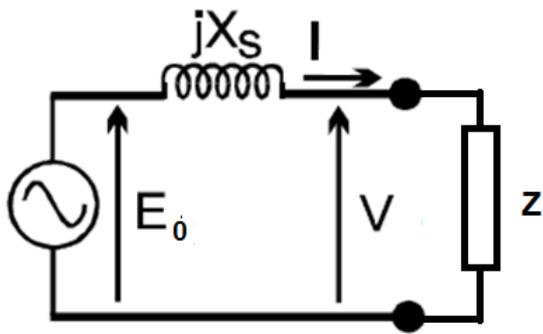
- Cálculo da corrente de Excitação

- Circuito Magnético Linear



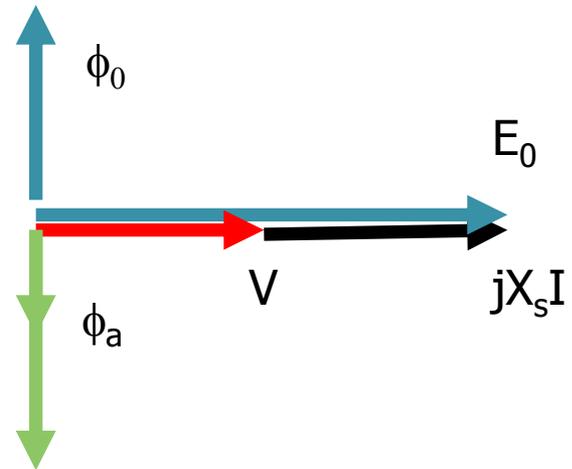
$$\frac{220}{440} = \frac{I_{exc}(\text{inicial})}{I_{exc}(\text{procurada})} = \frac{3}{I_{exc}(\text{procurada})}$$

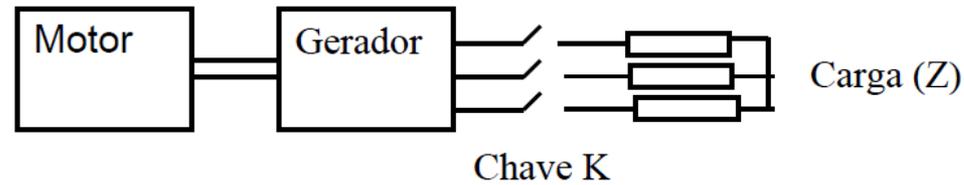
$$I_{exc}(\text{procurada}) = 6A$$



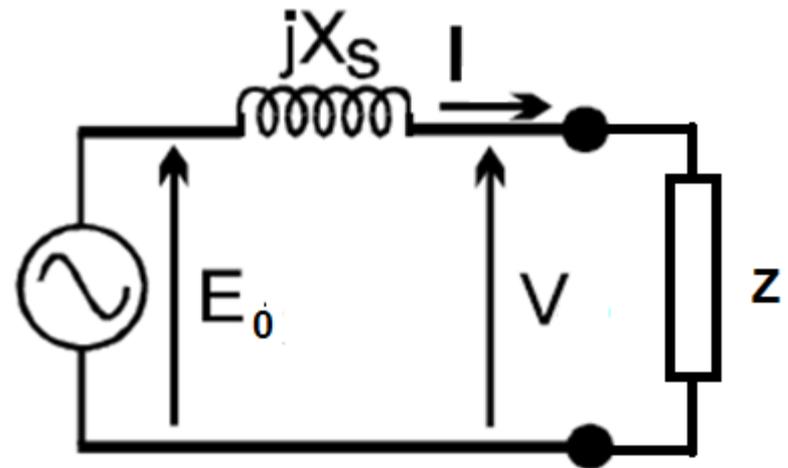
- Diagrama de Fasores para a carga indutiva pura $Z = j1.0 \Omega/\text{fase}$

- Reação de Armadura Desmagnetizante... I

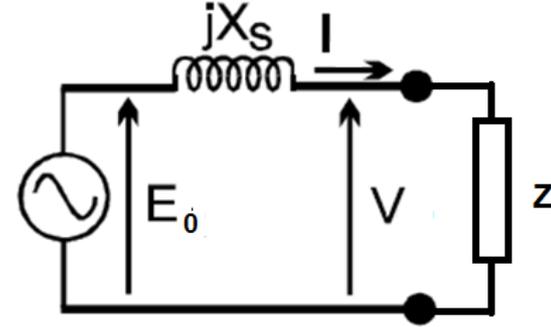




Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir 380 V (linha) em 60Hz na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale:



$$Z = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) \Omega / \text{fase}$$



- Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir **380 V (linha)** em **60Hz** na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale

$$Z = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right) \Omega / \text{fase}$$

$$\hat{V} = \frac{380}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$$

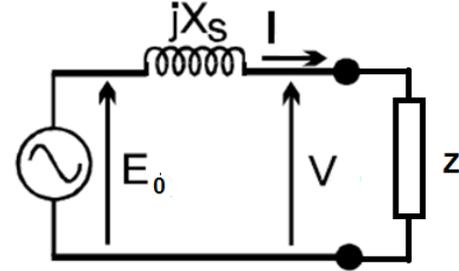
$$\hat{I} = \frac{\hat{V}}{Z} = \frac{220}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2} \right)} = 220 \angle 30^\circ \text{ A}$$

$$\hat{E} = \hat{V} + jX_s \hat{I} = 220 \angle 60^\circ$$

- Cálculo do Torque

$$P = 3VI \cos(30^\circ) = 125.746 \text{ W}$$

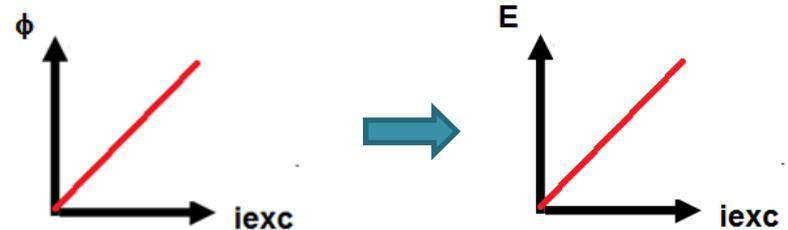
$$C = \frac{P}{\Omega} + 16 = 1016,66 \text{ Nm}$$



- Fechando-se a chave K será necessário ajustar o torque e a corrente de excitação para garantir **380 V (linha)** em **60Hz** na carga. Qual o torque e a corrente de excitação se a carga vale

- Cálculo da corrente de Excitação

- Circuito Magnético Linear



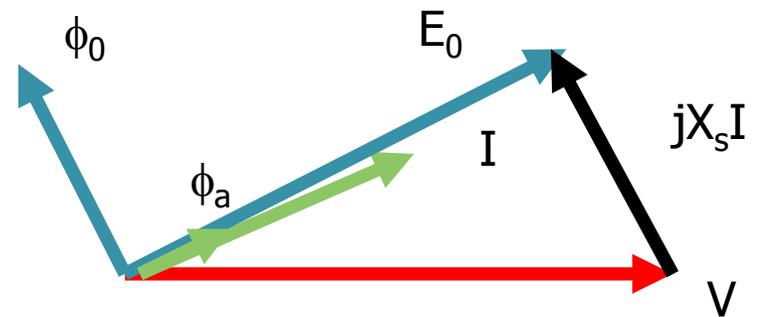
$$Z = \left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j \frac{1}{2} \right) \Omega / \text{fase}$$

$$\frac{220}{220} = \frac{I_{exc}(\text{inicial})}{I_{exc}(\text{procurada})} = \frac{3}{I_{exc}(\text{procurada})}$$

$$I_{exc}(\text{procurada}) = 3A$$

Diagrama de Fasores para carga capacitiva

- Fluxo de Reação de Armadura Magnetizante

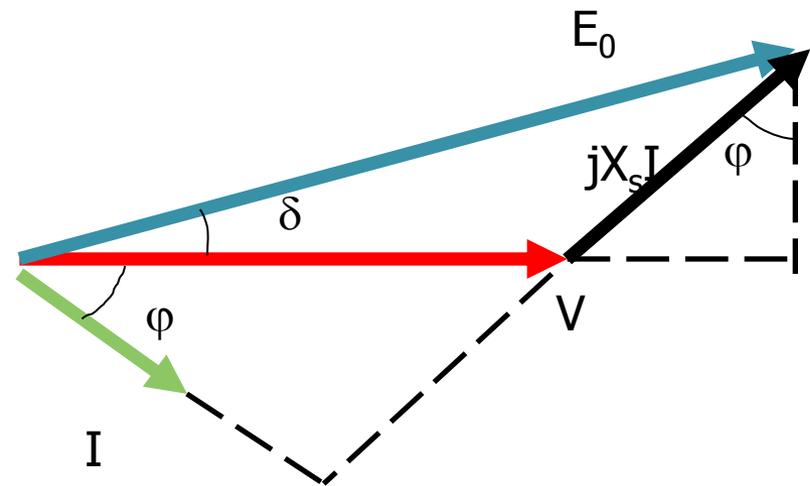


O Ângulo de Potência (ângulo δ)

- O ângulo δ aponta a defasagem entre o fasor E_0 e o fasor V .
- Note que $E_0 \sin \delta$ é igual a $X_s I \cos \varphi$
- Mas $P = VI \cos \varphi$ (em cada fase)
- Logo:

$$P = 3 \frac{VE_0}{X_s} \sin \delta$$

- Confira a expressão nos três itens do exercício. Ela será de grande valia. Note que V e E são de fase, mas P é trifásica.

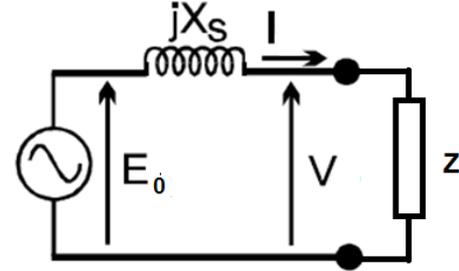


O que aconteceria se:

- Esta máquina girasse a 900 rpm em vazio com corrente de campo 4 A?
- Com 3 A e 1200 rpm, a tensão de linha era 380 V e a frequência 60 Hz.
- A 900 rpm (15 rps) a frequência cai para 45 Hz.
- O valor eficaz da tensão se manteria $E = 4.44 f N \phi$, pois
 - $f \times \frac{3}{4}$ e $\phi \times \frac{4}{3}$

○ que aconteceria se:

- Esta máquina girasse em carga com corrente de campo igual a 4 A na rotação de 900 rpm, alimentando carga equilibrada resistiva 1Ω (ligação estrela)?



- Do item anterior $f = 45 \text{ Hz}$ e $E = 380 \text{ V}$ (linha). Frequência se altera, logo $X_s = 0,75 \Omega$.

$$\hat{E} = \frac{380}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ$$

$$\hat{V} = \frac{R}{R + jX_s} \hat{E} = \frac{1}{1 + j0,75} 220 = 176 \angle -36,8699^\circ$$

$$P = 3 \frac{VE_0}{X_s} \sin \delta = 92.928 \text{ W}$$

$$C = \frac{P}{\Omega} + 16 = 1.002 \text{ Nm}$$