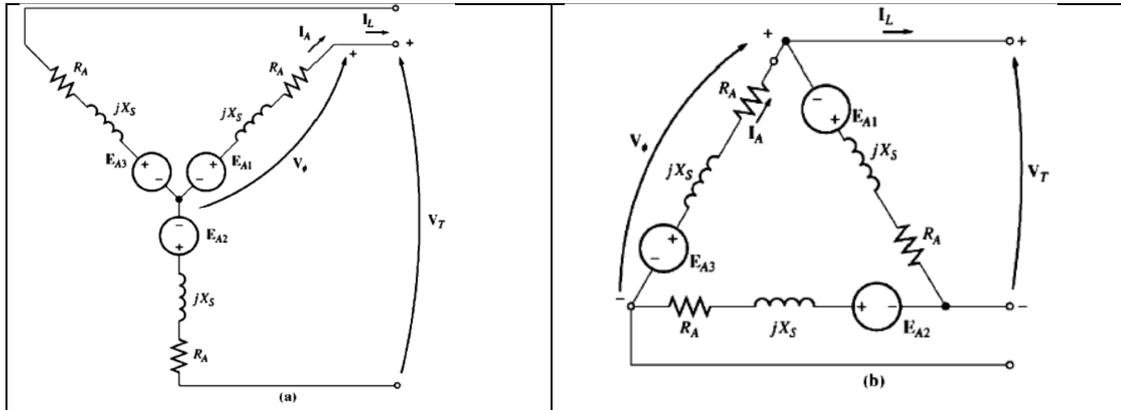


MÁQUINAS SÍNCRONAS

Lembrando a última aula:

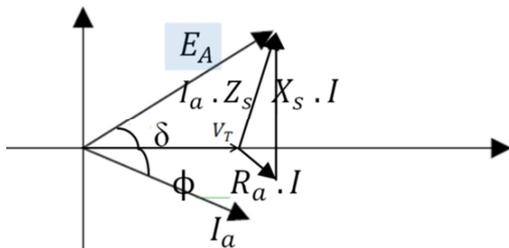


$$Y \rightarrow V_L = \sqrt{3} \cdot E_{Afase}$$

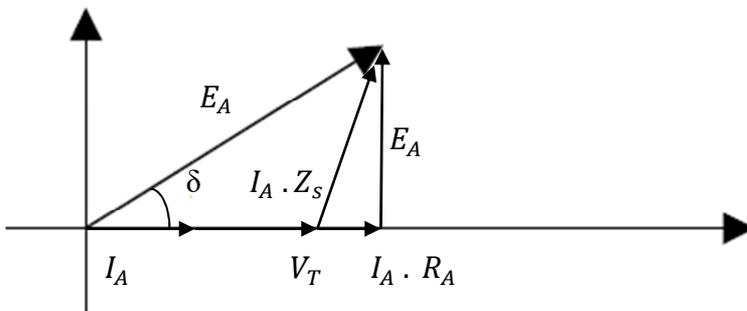
$$\Delta \rightarrow V_L = E_{Afase}$$

3.5) Diagrama fasorial de um gerador síncrono

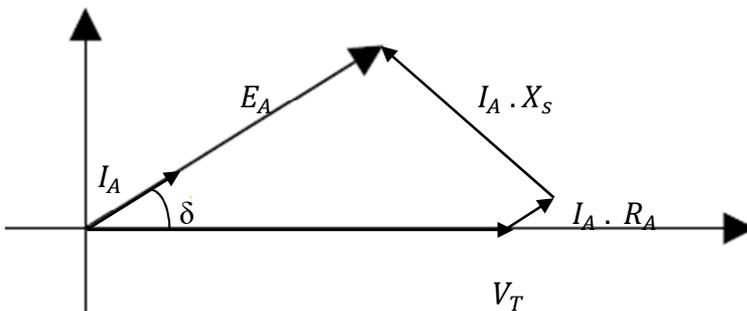
a) Indutivo (f.d.p. ↓)



b) Resistivo (f.d.p. = 1)



c) Capacitivo



δ = ângulo de potência ou ângulo de carga

3.6) Regulação de tensão

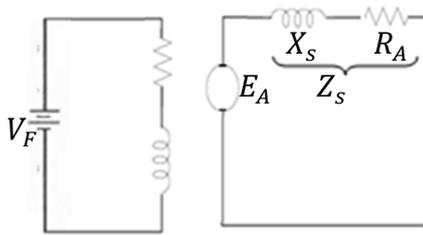
$$V_R = \frac{|V_{T\text{vazio}}| - |V_{TPC}|}{|V_{TPC}|} \cdot 100\% \rightarrow V_R = \frac{|E_A| - |V_{TPC}|}{|V_{TPC}|} \cdot 100\%$$

- a) f.d.p. indutivo $\rightarrow V_R + \rightarrow$ muito maior
- b) f.d.p. resistivo $\rightarrow V_R + \rightarrow$ pouco maior
- c) f.d.p. capacitivo $\rightarrow V_R - \rightarrow$ a partir de certo valor

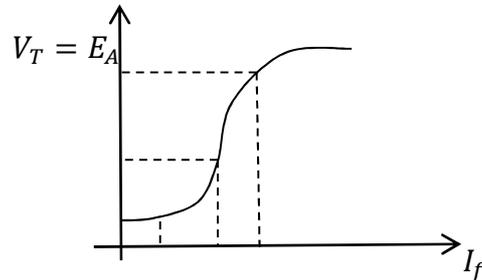
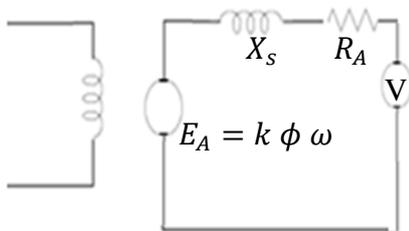
Sendo: $V_{T\text{vazio}}$, V_{TPC} : Tensão terminal de fase em Vazio e plena carga, respectivamente
 Observação: Também é possível calcular a regulação usando a tensão de linha.

3.7) Determinação de parâmetros da máquina síncrona

Dado o circuito do monofásico equivalente



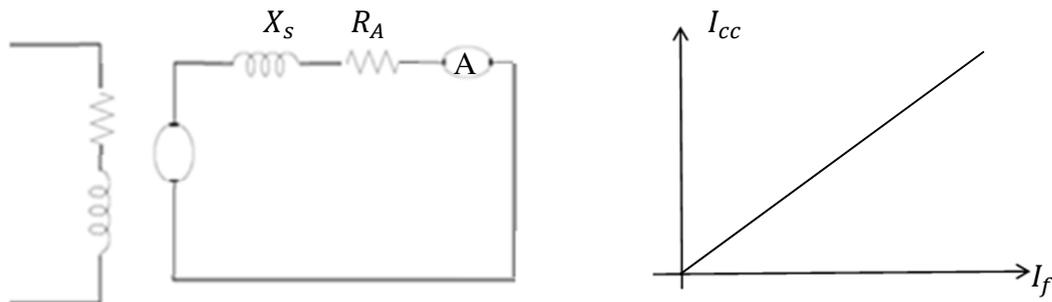
a) Teste em circuito aberto



Passos:

- A máquina deve estar com os terminais em aberto(vazio)
- Aciona-se a velocidade nominal.
- Aumenta-se a corrente de campo e se registra a tensão nos terminais para se obter a curva de saturação em vazio.
- A corrente de campo pode-se aumentar até o seu valor nominal tendo cuidado que a tensão nos terminais não ultrapasse mais de 10% de seu valor nominal.

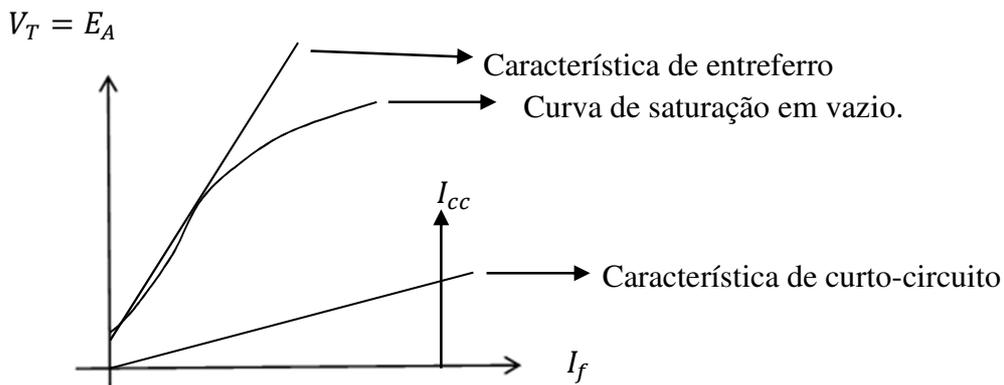
b) Teste em curto-circuito



Passos:

- A máquina deve estar com os terminais em curto circuito.
- Aciona-se a velocidade nominal com corrente de campo zero.
- Aumenta-se a corrente de campo I_f e se registra a corrente nos terminais (corrente de curto-circuito) para se obter a característica de entreferro.

As duas curvas podem ser desenhadas para se obter



$$Z_s = \frac{E_A}{I_{cc}}$$

Para valores baixos de saturação, a impedância síncrona aproxima-se de uma constante (devido a linearidade de I_{cc} e E_A)

$$Z_s = R_A + jX_s$$

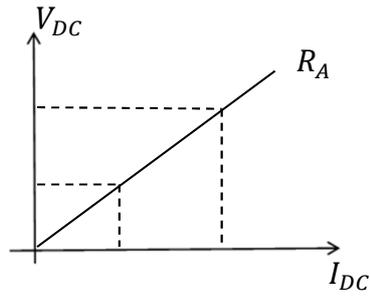
$$Z_s = \sqrt{R_A^2 + X_s^2}$$

c) Teste de corrente contínua(DC)

Com a máquina desligada determina-se a R_A (resistência de armadura)



$$R_A = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

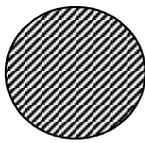


$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_A^2}$$

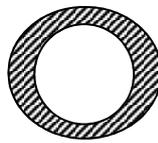
Obs.:

1) $|X_s| \approx |Z_s|$

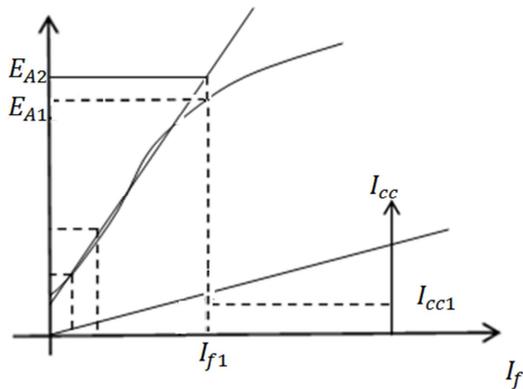
2)



Área efetiva em DC



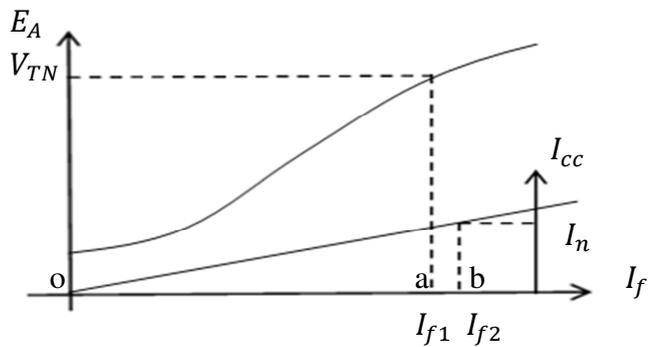
Área efetiva em AC



$Z_s = \frac{E_{A1}}{I_{cc1}} \approx X_{s,s}$ Reatância síncrona saturada.

$Z_s = \frac{E_{A2}}{I_{cc1}} = X_{s,ns}$ Reatância síncrona não saturada

d) Relação de curto-circuito (R.C.C.)



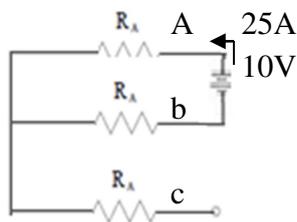
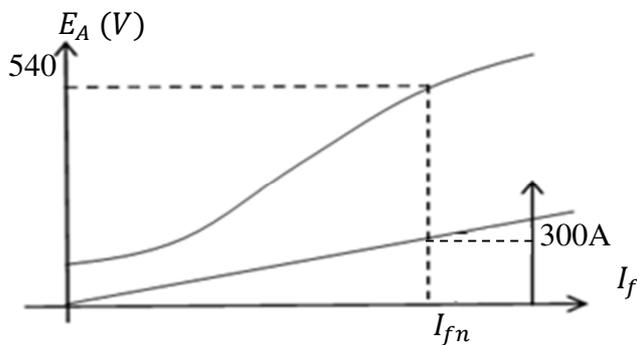
$$R_{CC} = \frac{I_{f1}}{I_{f2}} = \frac{I_{f1}(\text{tensão nominal em vazio})}{I_{f2}(\text{larmadura nominal em curto - circuito})} = \frac{o - a}{o - b}$$

$$X_{SS} = \frac{1}{R_{cc}} pu \text{ (reatância síncrona saturada à tensão terminal)}$$

Exemplo 1) Um gerador de 200KVA, 480V, 60Hz, ligado em Y, com corrente de campo nominal de 5A foi testado e foram obtidos os seguintes dados:

- 1) Tensão em circuito aberto = 540V
- 2) Corrente de curto-circuito = 300A
- 3) Quando foi aplicada tensão contínua de 10V nos terminais da máquina, foi obtido uma corrente de 25A.

Determine a resistência de armadura e a reatância síncrona.



$$R_A = \frac{V_{DC}}{2 \cdot I_{DC}} = \frac{10}{2 \cdot 25} = 0,2 \Omega$$

$$Z_s = \frac{E_{Atinha}}{\sqrt{3} \cdot I_{cc}} = \frac{540}{\sqrt{3} \cdot 300} = 1,0392 \Omega$$

$$X_s = \sqrt{1,039^2 - 0,2^2} = 1,019$$

Exemplo 2) Um gerador trifásico 45 KVA, tensão de linha de 220V, 6 pólos, 60Hz, ligado em Y, foi testado com um ensaio circuito aberto e ensaio curto-circuito e os valores de entreferro foram extrapolares.

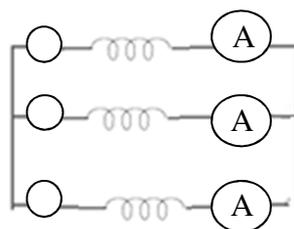
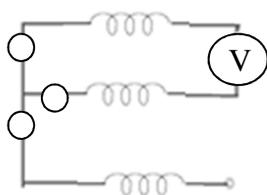
Os resultados foram:

Ensaio em circuito aberto

| | | |
|----------------|-----|------|
| If (A) | 2,2 | 2,84 |
| Vl (V) | 202 | 220 |
| Entreferro (V) | 202 | 260 |

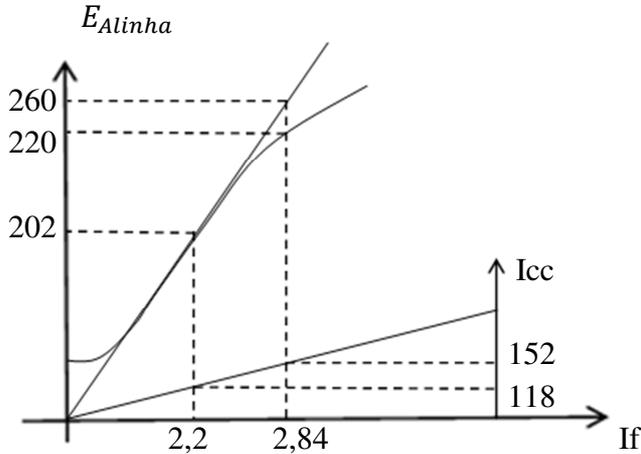
Ensaio em curto-circuito

| | | |
|---------|-----|------|
| If (A) | 2,2 | 2,84 |
| Icc (A) | 118 | 152 |



- a) Determine o valor não saturado da reatância síncrona

- b) Determine a reatância síncrona saturada à tensão nominal
 c) Determine os valores anteriores em p.u.(por unidade)
 d) Determine a relação de curto-circuito R_{cc}
 e) Verifique que $R_{cc} = \frac{1}{X_{SS}}$ em p.u.



a) X_s não saturado

$$Z_{sns} = \frac{E_A(fase)}{I_{cc}(fase)} = \frac{220/\sqrt{3}}{118} = 0,988 \Omega \text{ (obtido para IF= 2,2A)}$$

$$X_{sns} = \sqrt{Z_s^2 - R_A^2}$$

$$X_{sns} \approx \sqrt{Z_s^2} = Z_s = 0,988 \Omega$$

$$\text{Ou: } X_{sns} = \frac{V_{entreferro}}{I_{cc}} = \frac{260/\sqrt{3}}{152} = 0,9875 \Omega$$

b) X_s saturado a tensão nominal

$$X_{ss} = \frac{E_A}{I_{cc}} = \frac{220/\sqrt{3}}{152} = 0,8353 \Omega \text{ (obtido para IF= 2,84A)}$$

$$c) Z_b = \frac{V_L^2}{S_{b3\phi}} = \frac{220^2}{45 \cdot 10^3} = 1,0755 \Omega$$

$$X_{sns/pu} = \frac{X_{sns}}{Z_b} = \frac{0,985}{1,0755} = 0,9186 pu$$

$$X_{ss/pu} = \frac{X_{sns}}{Z_b} = \frac{0,8353}{1,0755} = 0,7766 pu$$

d) I_{f1} = corrente de campo para produzir a tensão nominal em circuito aberto.

I_{f2} = corrente de campo para produzir a corrente nominal em curto circuito.

$$RCC = \frac{I_{f1}}{I_{f2}} = \frac{2,84}{2,2} = 1,29$$

$$e) X_{ss} = \frac{1}{R_{cc}} = \frac{1}{1,29} = 0,7751 pu$$

Próxima Aula: Diagrama de potência, Operação do Gerador em forma isolada.