Importância do circuito equivalente

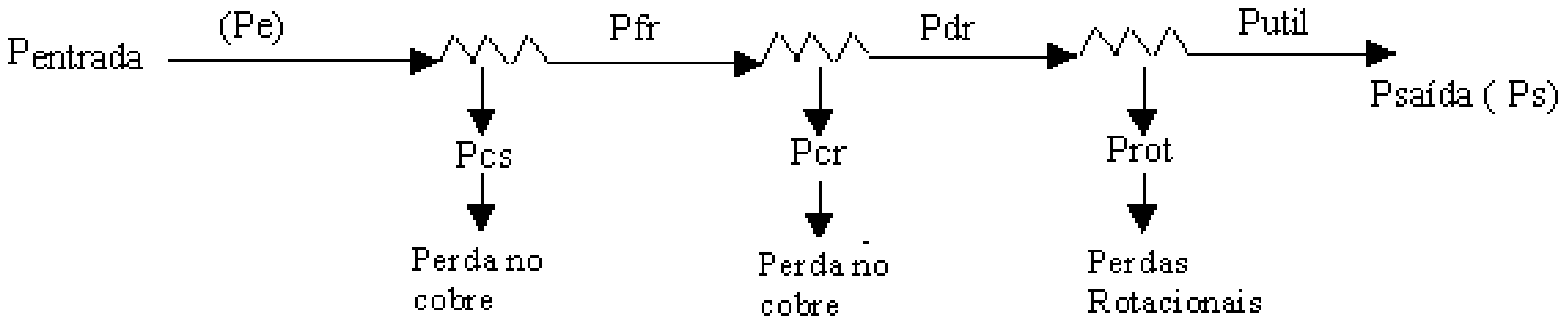
Exercícios

Importância do circuito equivalente

- Com o circuito equivalente e seus respectivos parâmetros, podemos calcular diversas características de desempenho da máquina:

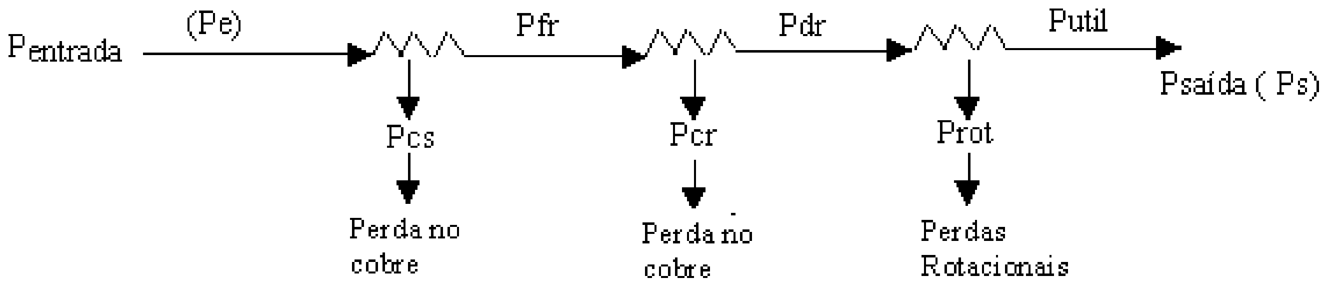
  - Relação Torque versus velocidade
  - Corrente de partida
  - Fator de potência
  - Rendimento

Análise do circuito equivalente do MIT



- Potencia absorvida ou Potencia de entrada ou Potencia de linha $P_e = 3V_s I_s \cos\varphi$
- Perda no cobre do estator $P_{cs} = 3R_s I_s^{\ 2}$
- Potencia fornecida ao rotor $P_{fr} = P_e - P_{cs} = 3\,{}^{R'_r}\!/_{s}\, I_s^{\ 2}$
- Perda no cobre do rotor $P_{cr} = P_{fr} - P_{dr} = 3R'_r I'^{2}_r$

Análise do circuito equivalente do MIT



- Potencia desenvolvida pelo rotor ou Potencia interna

$$Pdr = Pfr - Pcr = 3\,{R'_r}/{s}\;(1-s).(I'_s)^2 = (1-s)P_{fr}$$

- Perdas rotacionais $P_{rot} = P_o - P_{cs} = P_o - R_s.(I_0)^2$

- Potência útil ou potência de saída ou potência no eixo $P_s = P_{dr} - P_{rot}$

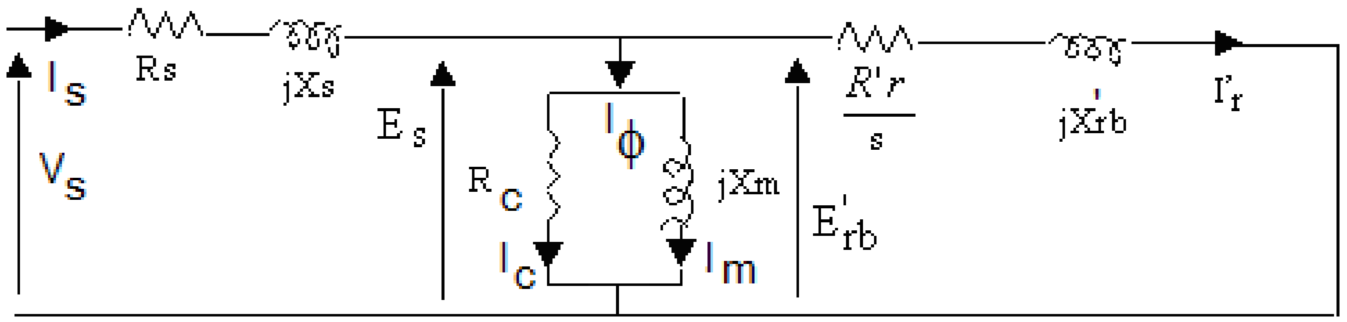
- Rendimento $\eta\ (\%) = \frac{P_s}{P_e}.100$

Exercício

Desenhe o circuito equivalente do motor de indução trifásico (MIT), em Ω / fase, referido ao estator.

a) Diga o significado das grandezas referentes a tensões e correntes

b) Diga a representação física de cada um dos parâmetros (impedâncias)



Exercício

a)

V_s = modulo da tensão de fase nos terminais do estator;

E_s = modulo da f.e.m induzida no estator, gerada pelo fluxo de entreferro;

E'_{rb} = modulo da f.c.e.m induzida no rotor, situação de rotor bloqueado, referido ao estator;

I_s = modulo da corrente de fase no estator;

$I_\varnothing$ = modulo da corrente de excitação;

I_c = modulo da corrente de perdas no núcleo;

I_m = modulo da corrente de magnetização;

I'_r = modulo da corrente de fase no rotor, referido ao estator

Exercício

b)

Rs = resistência ohmica que representa a perda joule na bobina do estator;

Xs = reatância indutiva que representa a dispersão de fluxo na bobina do estator;

Rc = resistência ohmica que representa as perdas magnéticas no núcleo (Foucault, Histerese, Ruido...;

Xm = reatância indutiva de magnetização;

R’r = resistência ohmica que representa a perda joule na bobina rotor, referido ao estator;

X’rb = reatância indutiva que representa a dispersão de fluxo na bobina do rotor referido ao estator.

OBS: R’r /s = R’r + Rcarga (resistência ficticia que representa o comportamento da carga em função do escorregamento.

Exemplo 2

Um motor de indução trifásico, estator conectado em Y, 460 V, 1740 rpm, 60 Hz, 4 polos, rotor bobinado tem os seguintes parâmetros (por fase):

$$R_1 = 0{,}25\ \Omega \qquad R_2' = 0{,}2\ \Omega$$

$$X_1 = X_2' = 0{,}5\ \Omega \qquad X_m = 30\ \Omega$$

As perdas rotacionais são de 1700 W. Com o rotor curto-circuitado, encontre:

(a) (i) corrente de partida quando ligado a tensão nominal;

(ii) torque de partida;

(b) (i) escorregamento a plena carga;

(ii) corrente a plena carga;

(iii) razão entre as correntes de partida e de carga nominal;

(iv) fator de potência a plena carga;

(v) torque a plena carga;

(vi) eficiência interna e eficiência do motor a plena carga;

(c) (i) escorregamento para torque máximo;

(ii) torque máximo;

(d) resistência que deve ser conectada por fase ao rotor para torque máximo na partida.

Exemplo 2

a) I_1 e T_m na partida

$$V_1 = \frac{460}{\sqrt{3}} = 265{,}6 \text{ V/fase}$$

$$\text{Para } s = 1 \rightarrow Z_1 = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m\left(R_2 + jX_2\right)}{R_2 + j(X_1 + X_m)}$$

$$Z_1 = 1{,}08\angle 66°\ \Omega \rightarrow I_{1,\text{partida}} = \frac{V_1}{Z_1} = \boxed{\underline{\underline{245{,}6\angle -66°\text{ A}}}}$$

$$\omega_s = \frac{1800 \times 2\pi}{60} = 188{,}5 \text{ rad/s} \qquad V_{th} = \frac{265{,}6 \times j30}{0{,}25 + j30{,}5} \cong 261{,}3 \text{ V}$$

$$Z_{th} = R_{th} + jX_{th} = \frac{j30\left(0{,}25 + j0{,}5\right)}{0{,}25 + j30{,}5} = 0{,}55\angle 63{,}9° = 0{,}24 + j0{,}49\ \ \Omega$$

$$I_2' = \left|\frac{V_{th}}{Z_{th} + Z_2'}\right| = \frac{261{,}3}{\sqrt{\left(0{,}24 + 0{,}2\right)^2 + \left(0{,}49 + 0{,}5\right)^2}} = 241{,}19 \text{ A}$$

$$T_{m,\text{partida}} = \frac{P_{ag}}{\omega_s} = \frac{3}{\omega_s}\frac{R_2' I_2'^2}{s} = \frac{3}{188{,}5}\frac{0{,}2 \times 241{,}19^2}{1} = \boxed{\underline{\underline{185{,}17\text{ N}\cdot\text{m}}}}$$

Exemplo 2

b) s, I_1, $I_{1,\text{partida}}/I_{1,\text{nominal}}$, FP; η_{interno} e η_{real} para carga nominal

$$s = \frac{n_\text{s} - n}{n_\text{s}} = \frac{1800 - 1740}{1800} = 0{,}0333 = 3{,}33\%$$

$$\text{Para } s = 0{,}0333 \rightarrow Z_1 = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m\left(R_2/s + jX_2\right)}{R_2/s + j(X_1 + X_m)} 6{,}2123\angle 19{,}7°\,\Omega$$

$$\text{FP} = \cos 19{,}7° = 0{,}94$$

$$I_{1,\text{nominal}} = \frac{V_1}{Z_1} = 42{,}754\angle -19{,}7°\text{A}$$

$$\frac{I_{1,\text{partida}}}{I_{1,\text{nominal}}} = \frac{245{,}9}{42{,}754} = 5{,}75$$

$$T_{\text{m,nominal}} = \frac{3}{\omega_\text{s}} \frac{R_2^{'} I_2^{'2}}{s} = 163{,}11\,\text{N}\cdot\text{m}$$

Exemplo 2

$$\eta_{\text{interno}} = 1 - s = 0{,}9667 = 96{,}67\%$$

$$\eta_{\text{real}} = ?$$

$$P_{\text{entrada}} = 3V_1 I_1 \cos\theta_1 = 3 \cdot 265{,}6 \cdot 42{,}754 \cdot 0{,}94 = 32022{,}4 \text{ W}$$

$$P_{\text{saída}} = P_{\text{mec}} - P_{\text{rotacional}}$$

$$P_{\text{mec}} = T\omega_{\text{mec}} = 163{,}11 \cdot 1749 \cdot \frac{2\pi}{60} = 29721 \text{ W} = (1\text{-s})\text{P}_{\text{ag}} = (1\text{-s})\text{T}\omega_{\text{syn}}$$

$$P_{\text{saída}} = 29721 - 1700 = 28021$$

$$\eta_{\text{real}} = \frac{28021}{32022{,}4} = 87{,}5\%$$

Exemplo 2

c) s para $T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{máx}}$

$$s_{\text{Tmáx}} = \frac{R_2^{'}}{\sqrt{R_{\text{th}}^2 + \left(X_{\text{th}} + X_2^{'}\right)^2}} = 0{,}1963 = 19{,}63\%$$

$$\frac{T_{\text{máx}}}{T_{\text{nominal}}} = \frac{431{,}68}{163{,}11} = 2{,}65$$

$$T_{\text{máx}} = 3\frac{1}{2\omega_{\text{s}}}\frac{V_{\text{th}}^2}{R_{\text{th}} + \sqrt{R_{\text{th}}^2 + \left(X_{\text{th}} + X_2^{'}\right)^2}} = 431{,}68\ \text{N}\cdot\text{m}$$

d) R_{externo} para que $T_{\text{máx}}$ ocorra com $s = 1$.

$$s_{\text{Tmáx}} = \frac{R_2^{'} + R_{\text{externo}}}{\sqrt{R_{\text{th}}^2 + \left(X_{\text{th}} + X_2^{'}\right)^2}} = 1 \Rightarrow R_{\text{externo}} = 0{,}8186\ \Omega/\text{fase}$$