



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Máquinas Elétricas I

Turma 1

Victor Hugo de Avelar Rezende

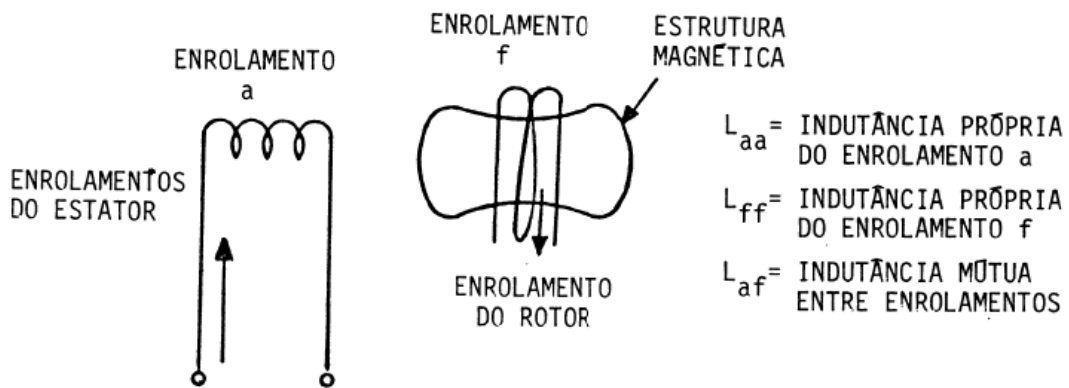
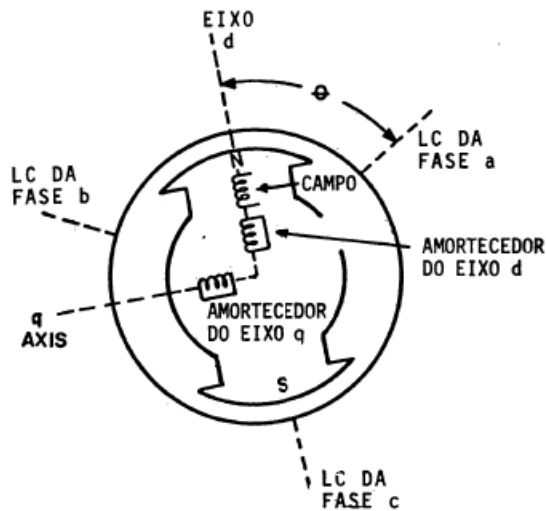
Lista 01

Professor: Otto Wanner Ganvini

Rio de Janeiro

1º Questão

ANÁLISE DE MÁQUINAS SÍNCRONAS



1º Passo:

Máquina síncrona é composta por um número de enrolamentos no estator e no rotor, relacionando os enlaces de fluxo a correntes, através das auto e mútua indutâncias é obtido a equação (1).

$$\Psi_a = -L_{aa} \cdot i_a + L_{ab} \cdot i_b + \dots + L_{afd} \cdot i_{fd} \quad (1)$$

2º Passo:

As indutâncias dos enrolamentos são expressas como funções trigonométricas da posição do rotor em relação ao estator, sendo L_{afd} a indutância mútua entre os enrolamentos da fase "a" e do campo constante na posição de $\theta = 0$, como descrito na equação (2):

$$L_{afd} = L_{afd} \cdot \cos(\theta) \quad (2)$$

3º Passo:

Os enlaces de fluxo são expressos em termos das correntes que passam pelos enrolamentos do estator que são i_a , i_b e i_c e para os enrolamentos do rotor i_{fd} , i_{kd} e i_{kq} .

Fazendo a transformada de Park as correntes são transformadas para os componentes no eixo d e q, apresentados nas equações (3) e (4):

$$I_d = (2/3) * (i_a * \cos(\theta) + i_b * \cos(\theta - 120^\circ) + i_c * \cos(\theta + 120^\circ)) \quad (3)$$

$$I_q = -(2/3) * (i_a * \sin(\theta) + i_b * \sin(\theta - 120^\circ) + i_c * \sin(\theta + 120^\circ)) \quad (4)$$

4° Passo:

As equações dos enlaces de fluxo para os enrolamentos do rotor são descritas como função das correntes dos enrolamentos do rotor e dos componentes d e q das correntes de armadura.

5° Passo:

Os enlaces de fluxo e tensão de armadura (5) também são transformados para as componentes dos eixos d e q, equação de Park (6):

$$e_a = \frac{d\psi_a}{dt} - r * i_a \quad (5)$$

$$e_d = \frac{d\psi_d}{dt} - \omega * \psi_q - r * i_d \quad (6)$$

2° Questão

As transformadas são usadas para referenciar as componentes e grandezas das fases a, b e c em apenas dois eixos girantes d e q. Com a finalidade de manter as grandezas sempre constantes sendo é utilizado dois eixos girantes acompanhando o giro do rotor por θ . Na equação (7) é observado a equação linear de correntes, (8) os enlaces de fluxo da armadura e (9) enlaces do fluxo do rotor.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \psi_d &= -L_d i_d + L_{afd} i_{fd} + L_{akd} i_{akd} \\ \psi_q &= -L_q i_q + L_{akq} i_{kq} \\ \psi_0 &= -L_0 i_0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \psi_{fd} &= L_{ffd} i_d + L_{fkd} i_{kd} - \frac{3}{2} L_{afd} i_d \\ \psi_{kd} &= L_{fkd} i_d + L_{kkd} i_{kd} - \frac{3}{2} L_{akd} i_d \\ \psi_{kq} &= L_{kkq} i_{kq} - \frac{3}{2} L_{akq} i_q \end{aligned} \quad (9)$$

3° Questão

Na figura 1 está representado o circuito equivalente para o eixo d:

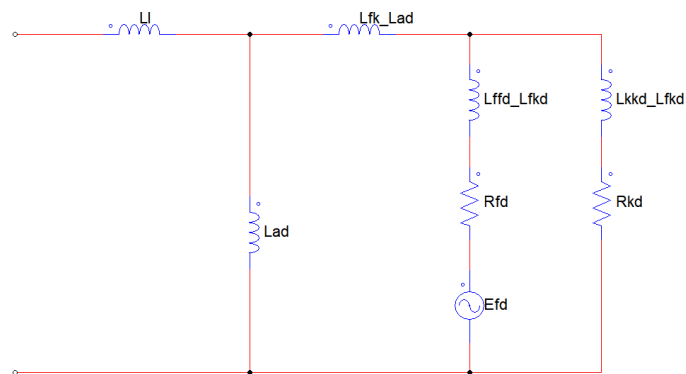


Figura 1 – Circuito equivalente do eixo d

L_l = Indutância de dispersão do eixo d

L_{ad} = Indutância mútua entre os enrolamentos da fase “a” e amortecedor eixo d

L_f = Autoindutância do enrolamento de campo

R_{fd} = Resistência do enrolamento de campo

L_{kd} = Autoindutância do amortecedor do eixo d

R_{kd} = Resistência do amortecedor do eixo d

Na figura 2 está representado o circuito equivalente para o eixo q:

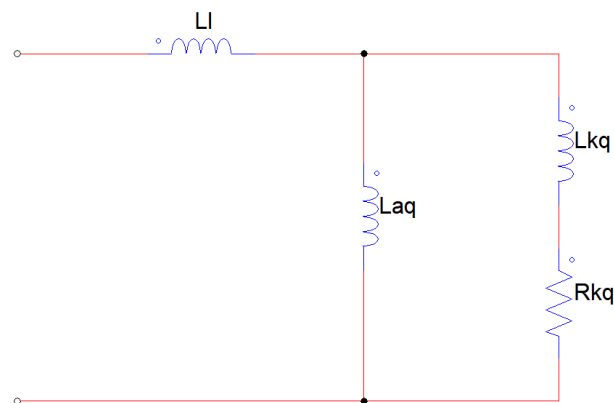


Figura 2 – Circuito equivalente do eixo q

L_l = Indutância de dispersão do eixo q

L_{aq} = Indutância mútua entre os enrolamentos da fase “a” e amortecedor eixo q

L_{kq} = Autoindutância do amortecedor do eixo q

R_{kq} = Resistência do amortecedor do eixo q

4° Questão

$$l_{aa} = 3.2758 + 0.0458 \cdot \cos(2\theta) \text{ mH}$$

$$l_{ab} = -1.6379 - 0.0458 \cdot \cos(2\theta + \pi/3) \text{ mH}$$

$$l_{afd} = 40 \cdot \cos(\theta) \text{ mH}$$

$$l_{afd} = 576.92 \text{ mH}$$

$$R_a = 0.0031 \, \Omega$$

$$R_{fd} = 0.0715 \, \Omega$$

Formulário

$$l_{aa} = L_{aao} + L_{aa2} \cos 2\theta$$

$$l_{afd} = L_{afd} \cos \theta$$

$$l_{ab} = L_{abo} + L_{ab2} \cos(2\theta + \pi/3)$$

$$L_d = (L_{aao} + L_{abo} + 3/2 L_{aa2})$$

$$L_q = (L_{aao} + L_{abo} - 3/2 L_{aa2})$$

$$L_o = (L_{aao} - 2L_{abo})$$

$$L_{aao} = 3.2758 \text{ mH}$$

$$L_{aa2} = 0.0458 \text{ mH}$$

$$L_{abo} = 1.6379 \text{ mH}$$

$$L_{ab2} = 0.0458 \text{ mH}$$

$$L_{afd} = 40 \text{ mH}$$

a) $L_d = L_{aao} + L_{abo} + (3/2) \cdot L_{aa2}$

$$L_d = 4.979 \text{ mH}$$

$$L_q = L_{aao} + L_{abo} - (3/2) \cdot L_{aa2}$$

$$L_q = 4.842 \text{ mH}$$

b) $L_l = 0.42 \text{ mH}$

$$L_{ad} = L_d - L_l$$

$$L_{ad} = 4.559 \text{ mH}$$

$$L_{aq} = L_q - L_l$$

$$L_{aq} = 4.422 \text{ mH}$$

c) Valores de base:

$$S_b = 520 \text{ MVA}$$

$$V_b = 24 \text{ kV} \quad V_{(ef)b} = (24/\sqrt{3}) = 13.856 \text{ kV} \quad V_{(pico)b} = V_{sb} = V_{(ef)b} * \sqrt{2} = 19.5953 \text{ kV}$$

$$I_b = S_b/3 * V_{efb} = 12.509 \text{ kA} \quad I_{(pico)b} = I_{sb} = I_b * \sqrt{2} = 17.69 \text{ kA}$$

$$Z_{sb} = V_{(pico)b} / I_{(pico)b} = 1.1077 \Omega$$

$$\omega_b = 2 * \pi * 60 = 377 \text{ rad/s}$$

$$L_{sb} = Z_{sb} / \omega_b = 2.9382 \text{ mH}$$

$$I_{(fd)b} = (L_{ad} / L_{afd}) * I_{sb} = 2.016 \text{ kA}$$

$$V_{(fd)b} = S_b / I_{(fd)b} = 257.887 \text{ kV}$$

$$Z_{(fd)b} = V_{(fd)b} / I_{(fd)b} = 127.8 \Omega$$

$$L_{(fd)b} = Z_{(fd)b} / \omega_b = 3.39 \text{ mH}$$

Valores em p.u.

$$L_l = 0.143$$

$$L_{ad} = 1.551$$

$$L_{aq} = 1.504$$

$$L_d = 1.694$$

$$L_q = 1.647$$

$$L_{afd} = 1.551$$

$$L_{ffd} = 1.7$$

$$L_{fd} = 0.14$$

$$R_a = 0.0028$$

$$R_{fd} = 0.00056$$

d) L_l = indutância de dispersão dos eixos d e q

L_{ad} = Indutância mútua entre os enrolamentos da fase "a" e amortecedor eixo d

L_{aq} = Indutância mútua entre os enrolamentos da fase "a" e amortecedor eixo q

L_d = Autoindutância do amortecedor do eixo d

L_q = Autoindutância do amortecedor do eixo q

L_{afd} = Indutância mútua entre os enrolamentos da fase "a" e enrolamento de campo

L_{ffd} = Indutância mútua entre o amortecedor eixo d e enrolamento de campo

L_{fd} = Autoindutância do enrolamento de campo

R_a = Resistencia do enrolamento da fase "a"

R_{fd} = Resistencia do enrolamento de campo