e-LEE
e-Learning tools for Electrical Engineering

Temática – Máquinas Eléctricas

Capítulo – Máquina Síncrona

Secção –

MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS

INTRODUÇÃO

Esta primeira página contém uma apresentação genérica do recurso.

- pré-requisitos:
- nível : Bases de Engenharia Electrotécnica ou Área de Especialização
- recursos relacionados :
- duração estimada : 1 hora
- autor: Francis Labrique
- realização : Sophie Labrique
- versão portuguesa : Maria José Resende

Este projecto é financiado pela União Europeia no âmbito de uma acção Sócrates-Minerva. As informações nele contidas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores. A União Europeia declina toda a responsabilidade relativamente ao seu uso.

QUESTÃO 1

1. A placa sinalética da máquina contém as seguintes informações:

Frequência nominal : $f_N = 50\,\mathrm{Hz}$

Velocidade nomival: $V_N = 1500\,\mathrm{t/min}$

Potência nominal: $S_N = 33\,\mathrm{kVA}$

Enrolamentos do estator em estrela

- tensão nominal: $U_N = 380\,\mathrm{V}$
- corrente nominal : $I_N = 50\,\mathrm{A}$
- $\cos\varphi$nominal : $\cos\varphi_N = 0,8\,\mathrm{inductif}$

Circuito de excitação

- tensão nominal : $u_{fN} = 80\,\mathrm{V}$
- corrente nominal : $i_{fN} = 2,50\,\mathrm{A}$

Determinar:

- A tensão nominal fase-neutro V_{phN} e a corrente nominal na fase I_{phN}
- O número de pares de pólos *p*.

AJUDA

- Os valores nominais das tensões e das correntes estatóricas indicadas na placa sinalética são valores na linha.
- O número de pares de pólos está relacionado com a velocidade eléctrica (frequência de alimentação do estator) e a velocidade mecânica.

RESPOSTA>>

$V_{phN} = 220\,\mathrm{V}$

$I_{phN} = 50\,\mathrm{A}$

$p = 2$

QUESTÃO 1 : DEMONSTRAÇÃO

Como os enrolamentos do estator estão em estrela:

- a tensão nominal na fase é $\sqrt{3}$vezes mais pequena que a tensão nominal na linha:

$$V_{phN} = \frac{V_N}{\sqrt{3}}.$$

- a corrente nominal na fase é igual à corrente nominal na linha:

$$I_{phN} = I_N$$

O número de pares de pólos *p* obtém-se dividindo a velocidade angular nominal eléctrica $\omega_{s,N}$ pela velocidade angular mecânica nominal $\omega_{m,N}$.

A velocidade angular nominal eléctrica é igual a:

$$\omega_{s,N} = 2\pi \ f_N = 100\pi$$

A velocidade angular mecânica deduz-se da velocidade mecânica em rotações/minuto reduzindo-a a rotações por segundo e, depois, multiplicando o resultado por 2π:

$$\omega_{m,N} = \frac{1500}{60} 2\pi = 50\pi$$

Obtém-se $p = 2$.

QUESTÃO 2

2. Ensaio em vazio

Estando a máquina à velocidade nominal, mede-se a tensão de linha em vazio V_ℓ em função da corrente de excitação (figura 1).

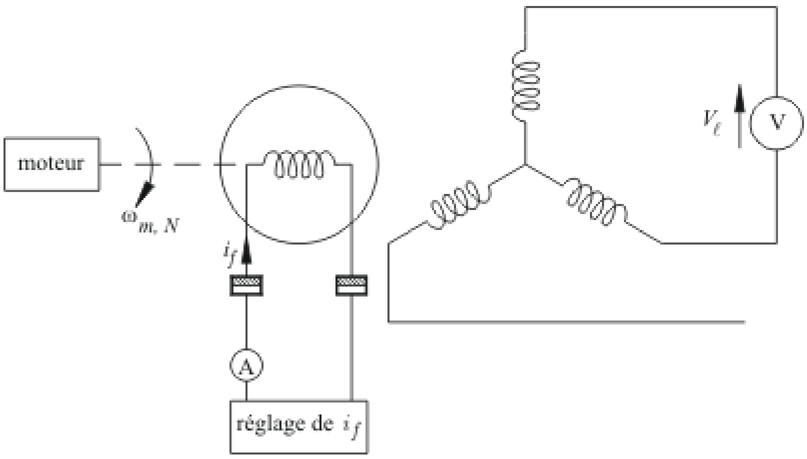

Figura 1

Tem-se:

i_f	V_ℓ
0	0
1	250
1.53	380
2	485
2.5	600
3	700

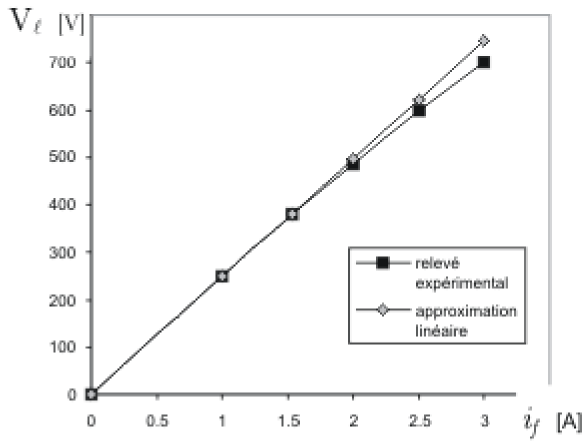

Figura 2

Determinar o coeficiente que relaciona E_0 a i_f quando se aproxima a característica em vazio a uma recta que passe pela origem e pelo ponto para o qual V_ℓ atinge o valor nominal da tensão da máquina.

AJUDA

- V_ℓ é uma tensão de linha.
- E_0 é a força electromotriz induzida por fase. .

RESPOSTA>>

$E_0 = 142 i_f$

$V_\ell = 246 i_f$

QUESTÃO 2 : DEMONSTRAÇÃO

A tensão nominal da máquina é de 380V. Para V_ℓ= 380*V* a corrente i_f vale 1.53 A;

donde

$$V_\ell = 246 i_f$$

Em vazio $I_s = 0$, donde $E_0 = V_s$(figura 1). A tensão medida é a tensão de linha igual a $\sqrt{3}$ vezes a tensão de fase V_s, pelo que resulta:

$$E_0 = \frac{246}{\sqrt{3}} i_f = 142 i_f$$

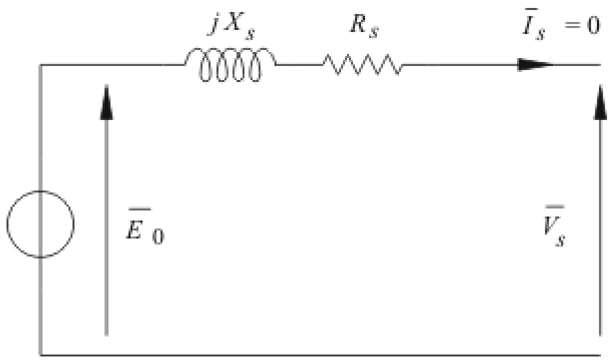

Figura 1

QUESTÃO 3:

3. Ensaio em curto - circuito

Estando a máquina à velocidade nominal e com os terminais do estator em curto-circuito (figura 3), mede-se a corrente de linha debitada I_s em função da corrente de excitação (figura 4).

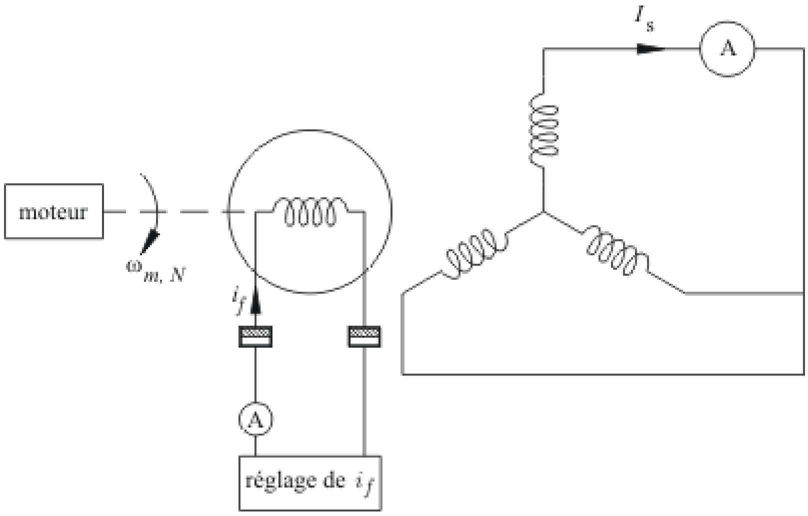

Figura 3

Obtém-se:

i_f	I_s
0	0
1	40.5
1.5	60.75

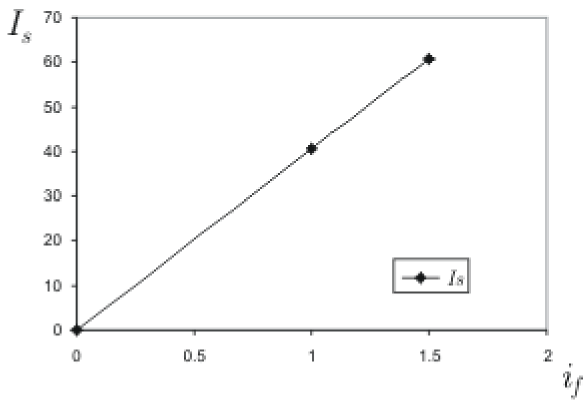

Figura 4

Mede-se, igualmente, a potência fornecida pelo motor de accionamento. Ao passar do ponto correspondente a $i_f = 0$ ao ponto correspondente a $i_f = 1,235\ \mathrm{A}$, para o qual a corrente do estator I_s atinge o seu valor nominal (50 A), a potência fornecida pelo motor de accionamento aumenta $\Delta P_{meca} = 300\,\mathrm{W}$.

Calcular a reactância síncrona $jX_s = j\omega_{s,N} L_{cs}$ e a resistência R_s dos enrolamentos do estator.

AJUDA:

- Utilizar o esquema equivalente por fase com $\bar{V}_s = 0$

RESPOSTA>>

$$jX_s = 3,51\,\mathrm{j}\omega$$

$$R_s = 0,04\,\omega$$

QUESTÃO 3 : DEMONSTRAÇÃO

O cálculo baseia-se no esquema equivalente por fase (figura 1).

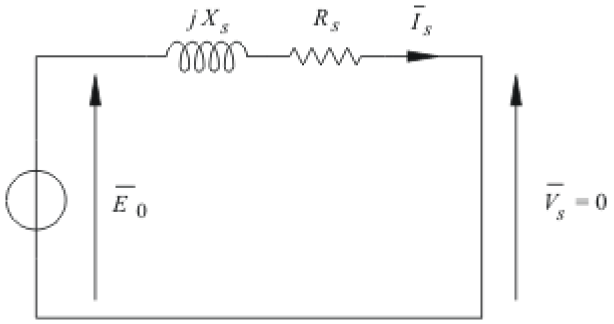

Figura 1

Como o estator está em curto-circuito tem-se $V_s = 0$ e portanto:

$$\bar{I}_s = \frac{\bar{E}_0}{R_s + jX_s}$$

ou, em módulo

$$I_s = \frac{E_0}{\sqrt{R_s^2 + X_s^2}}$$

Para um dado valor de i_f, por exemplo $i_f = 1\,\mathrm{A}$, obtém-se:

- a partir do ensaio em vazio

$$E_0 = 142 i_f = 142V$$

- a partir do ensio em curto-circuito

$$I_s = 40,5 A$$

Pelo que:

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + X_s^2} = \frac{142}{40,5} = 3,5062\Omega \simeq 3,51\Omega$$

A potência mecânica fornecida pelo motor de accionamento desde que a corrente de excitação i_f é nula até atingir o valor de 1,23 A corresponde à perdas por efeito de Joule devidas à circulação das correntes nos enrolamentos do estator. Com efeito, como:

- as perdas mecânicas se mantêm constantes porque a máquina está a velocidade constante;
- se podem desprezar as perdas magnéticas porque a máquina está em curto-circuito e trabalha a fluxo total virtualmente nulo;
- a potência consumida pelo circuito indutor (rotor) é fornecida pela fonte que o alimenta.

o aumento de potência fornecida pelo motor de accionamento só pode corresponder às perdas por efeito de Joule nos enrolamentos do estator. Pode escrever-se:

$$\Delta P_{meca} = 3\ R_s I_s^2$$

Donde

$$R_s = \frac{\Delta P_{meca}}{3 I_s^2} = 0,04\Omega$$

Obtém-se:

$$X_s = \omega_{s,N} L_{cs} = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = 3,5059\Omega \simeq 3,51\Omega$$

Pode verificar-se que o valor de $X_s = \omega_{s,N} L_{cs}$ é praticamente igual ao que se obteria desprezando R_s no esquema equivalente da figura 1 e escrevendo (figura 2) :

$$\bar{I}_s = \frac{E_0}{j\omega_{s,N} L_{cs}} = \frac{E_0}{jX_s}$$

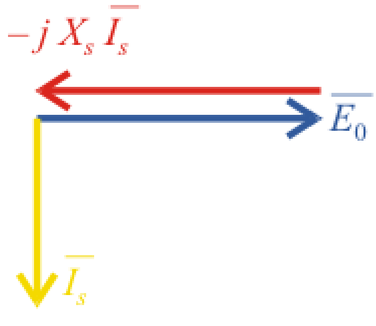

Figura 2

para $i_f = 1\,\mathrm{A}$ por exemplo, tem-se $E_0 = 142\,\mathrm{V}$, $I_s = 40,5\,\mathrm{A}$, donde:

$$X_s = \omega_{s,N} L_{cs} = \frac{142}{40,5} = 3,5062\Omega \simeq 3,51\Omega$$

Nota : pode-se também calcular R_s e X_s calculando $\cos\varphi$. Para $i_f = 1,235\,\mathrm{A}$, tem-se:

$\Delta P_{meca} = 300\,\mathrm{W}$

$I_s = 50\,\mathrm{W}$

$E_0 = 175,3$

Donde:

$$\cos\varphi = \frac{\Delta P_{méca}}{3E_0 I_s} = 0,011$$

A corrente $I_s$está desfasada de -89,34° em atraso relativamente a $\bar{E}_0$. O argumento ψ da impedância Z_sé, portanto, de 89,34°. Donde:

$$R_s = Z_s \cos\psi = 0,040$$

$$X_s = \omega_{s,N} L_{cs} = Z_s \sin\psi = 3,5059 \simeq 3,51$$