



Temática – Máquinas Eléctricas

Capítulo – Máquina Síncrona

Secção –

## FUNCIONAMENTO ISOLADO DA REDE

### 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

## 0. Esquema

A figura 1 esquematiza o funcionamento da máquina síncrona como gerador (alternador) isolado da rede.

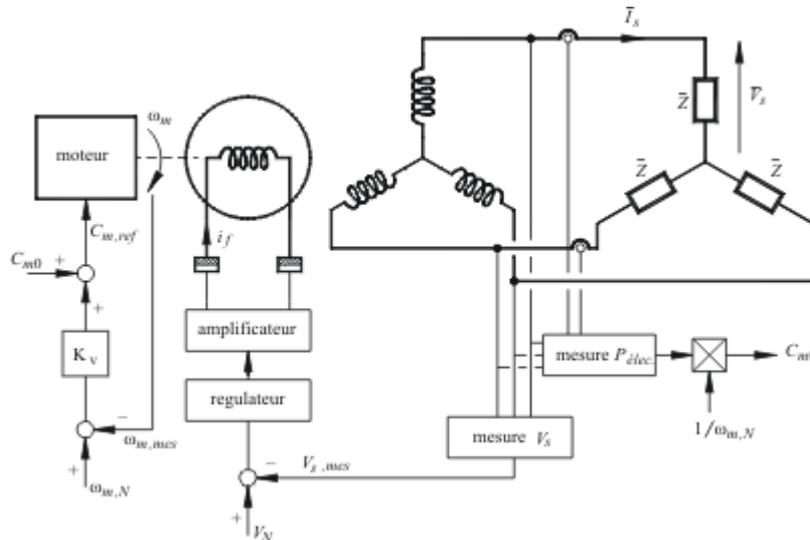


Figura 1

O motor de accionamento possui um regulador por forma a manter constante a velocidade de rotação do grupo (à velocidade nominal) ajustando o binário desenvolvido pelo motor. Este regulador recebe como sinal de entrada a velocidade de referência  $\omega_{m,N}$ , a velocidade real do grupo e, no caso concreto, um termo de acção preditiva  $C_{m0}$  igual ao binário electromagnético correspondente à potência activa medida aos terminais da máquina síncrona.

O circuito de alimentação do indutor inclui um regulador cuja função é manter constante e igual ao seu valor nominal, o valor eficaz da tensão aos terminais do induzido. Ele regula o valor da corrente  $i_f$  que deve circular no indutor.

## 1. Ponto de funcionamento nominal

No ponto de funcionamento nominal a máquina debita a corrente nominal com  $\cos \varphi$  nominal (indutivo).

Calcular

- a impedância  $Z_N$  de carga
- a corrente do indutor  $i_f$
- o binário electromagnético desenvolvido pela máquina

para as condições de funcionamento correspondentes ao ponto nominal.

AJUDA

- Traçar o diagrama vectorial evidenciando a relação entre a tensão  $\bar{V}_s$  aos terminais da máquina e a  $\bar{E}_0$  e  $\bar{I}_s$ .

RESPOSTA>>

- $Z = 4,4\Omega ; 36,9^\circ$
- $i_f = 2,5\text{ A}$
- $C_{em} = 170\text{ Nm}$

QUESTÃO 1 : DEMONSTRAÇÃO

O diagrama vectorial relativo ao ponto nominal está representado na figura 1.

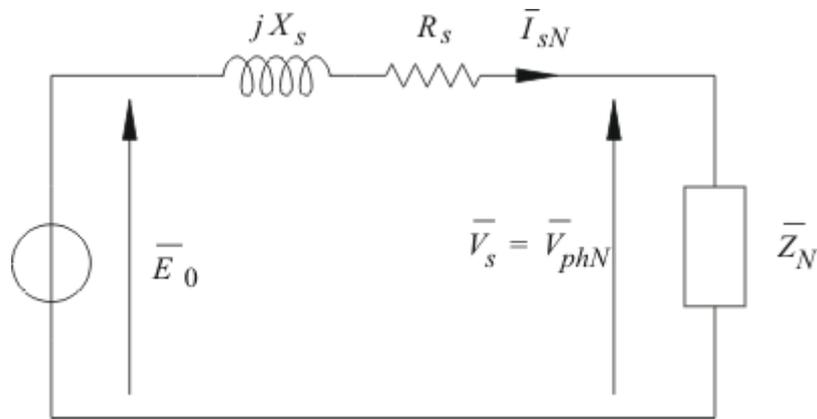


Figura 1a

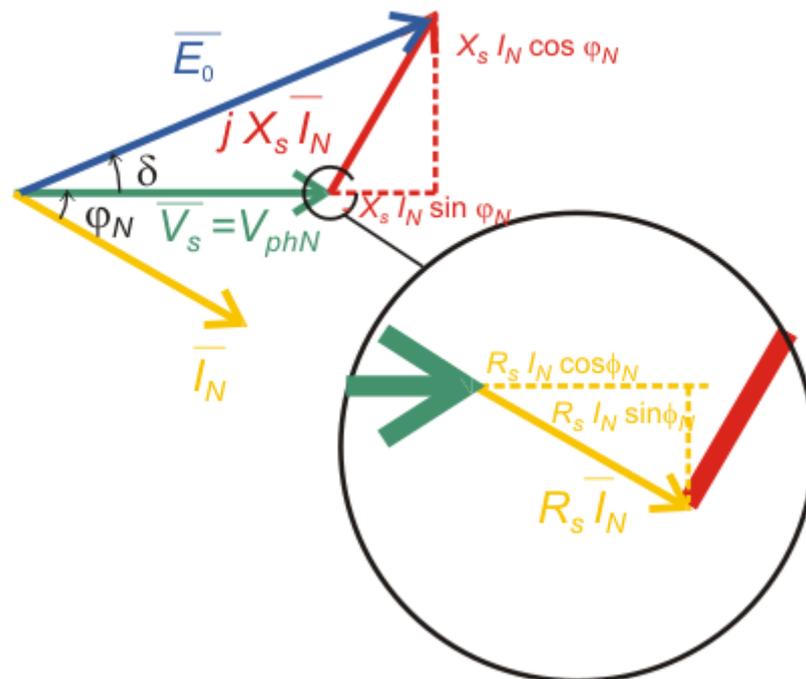


Figura 1b

A impedância  $\bar{Z}_N$  tem

- um módulo  $Z$  igual a  $V_{phN}/I_N$ , pelo que

$$Z = \frac{220}{50} = 4,4$$

- uma fase  $\varphi$  igual à defasagem de  $V_s$  relativamente a  $\bar{I}_s$  (ou seja, o simétrico da defasagem de  $\bar{I}_s$  relativamente a  $V_s$ ). Como o ponto nominal corresponde a um funcionamento do tipo indutivo, a tensão  $\bar{V}_s$  estará em avanço relativamente a  $\bar{I}_s$ , pelo que:

$$\varphi = \varphi_N = \arccos(0.8) = 36,8^\circ$$

Tem-se

$$E_0 = [(V_{phN} + R_s I_N \cos \varphi_N + X_s I_N \sin \varphi_N)^2 + (X_s I_N \cos \varphi_N - R_s I_N \sin \varphi_N)^2]^{1/2}$$

pelo que resulta

$$E_0 = 355V$$

Como  $E_0 = 142 i_f$ :

$$i_f = 2,5A$$

O binário electromagnético que a máquina desenvolve está associado à potência eléctrica

A potência  $P_{elec}$  vale:

$$P_{elec} = C_{em} \omega_{m,N} = 3E_0 I_N \cos(\delta + \varphi_N)$$

com

$$\delta = \arcsin \left( \frac{(X_s I_N \cos \varphi_N - R_s I_N \sin \varphi_N)}{E_0} \right)$$

Donde:

$$C_{em} = \frac{P_{elec}}{\omega_{m,N}} = 170 Nm$$

$P_{elec}$  que ela produz.

Não se teria cometido um erro significativo se, para calcular a potência eléctrica, se tivessem desprezado as perdas de Joule  $3R_s I_N^2$  nos enrolamentos e se tivesse escrito:

$$P_{elec} = 3V_{phN} I_N \cos \varphi_N.$$

Com efeito, utilizando esta relação obtém-se  $P_{elec} = 26,4$  kW em vez de 26,7 kW, ou seja, um erro de 1,1%.

QUESTÃO 2

2. Evolução da corrente do indutor em função da carga

Para estudar a forma como o regulador de tensão faz evoluir a corrente do indutor em função da carga, por forma a manter constante a tensão aos terminais do induzido, deve ter-se em conta dois parâmetros (figura 2):

- o primeiro, corresponde à defasagem  $\varphi$  que a carga impões entre a tensão aos seus terminais e a corrente que ela absorve. O ângulo  $\varphi$  (defasagem de  $\vec{V}_s$  relativamente a  $\vec{I}_s$ ) será positivo se a corrente estiver em atraso relativamente à tensão (carga indutiva) e negativo se a corrente estiver avançada relativamente à tensão (carga capacitiva);
- o segundo, corresponde ao valor eficaz da corrente que a carga absorve (de zero a  $I_N$ ).

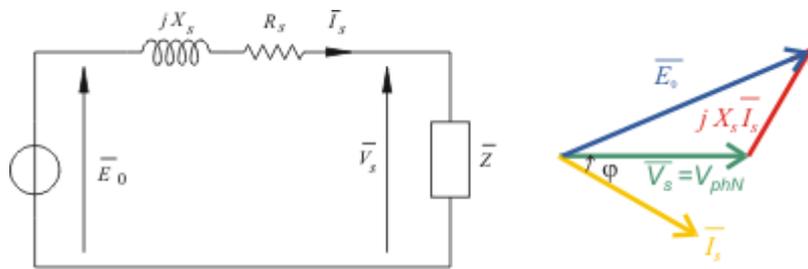
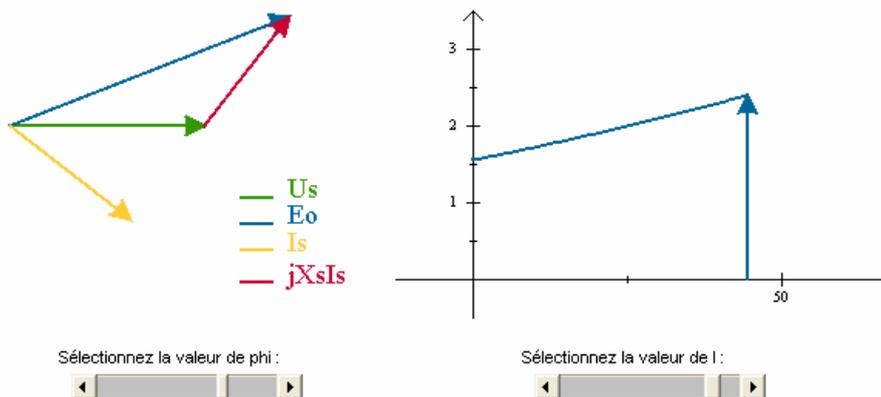


Figura 2

Na animação seguinte pode visualizar-se como deverá evoluir a corrente do indutor  $i_f$  em função destes dois parâmetros, agindo sobre os seus valores.



Calcular, desprezando a resistência  $R_s$ , a equação que relaciona  $i_f$  com a corrente debitada  $\vec{I}_s = I_s e^{j\varphi}$  assumindo que o regulador de tensão mantém constante o valor eficaz da tensão  $V_s$  e igual à tensão nominal de fase  $V_{phN} = 220V$ . Traçar as curvas  $(i_f, I_s)$  para

diferentes valores de  $\varphi$ .

AJUDA

- Traçar o diagrama vectorial evidenciando as relações entre  $\bar{V}_s$ ,  $\bar{E}_0$  e  $\bar{I}_s$  e negligenciando o termo  $\bar{R}_s \bar{I}_s$ . Faça um raciocínio com base na geometria do diagrama vectorial.

RESPOSTA >>

$$i_f = \frac{1}{142} [(V_{phN} + X_s I_s \sin \varphi)^2 + (X_s I_s \cos \varphi)^2]^{1/2}$$

QUESTÃO 2 : DEMONSTRAÇÃO

Desprezando  $\bar{R}_s$ , obtém-se o diagrama vectorial da figura 1; pelo que:

$$E_0 = [(V_{phN} + X_s I_s \sin \varphi)^2 + (X_s I_s \cos \varphi)^2]^{1/2}$$

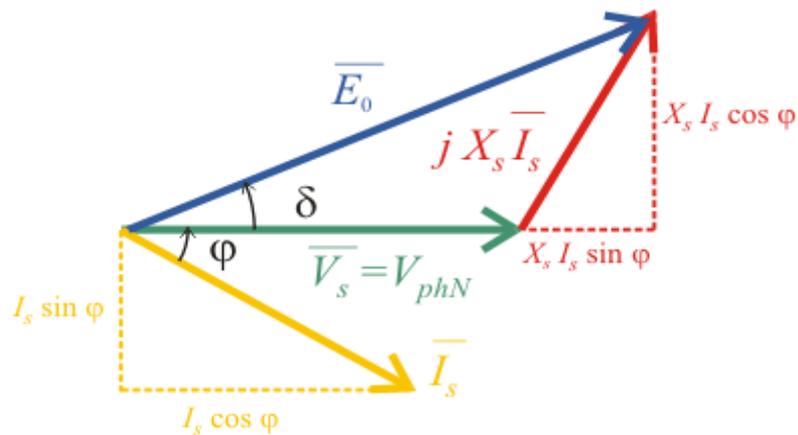


Figura 1

Como  $E_0 = 142 i_f$ , tem-se, finalmente:

$$i_f = \frac{1}{142} [(V_{phN} + X_s I_s \sin \varphi)^2 + (X_s I_s \cos \varphi)^2]^{1/2}$$

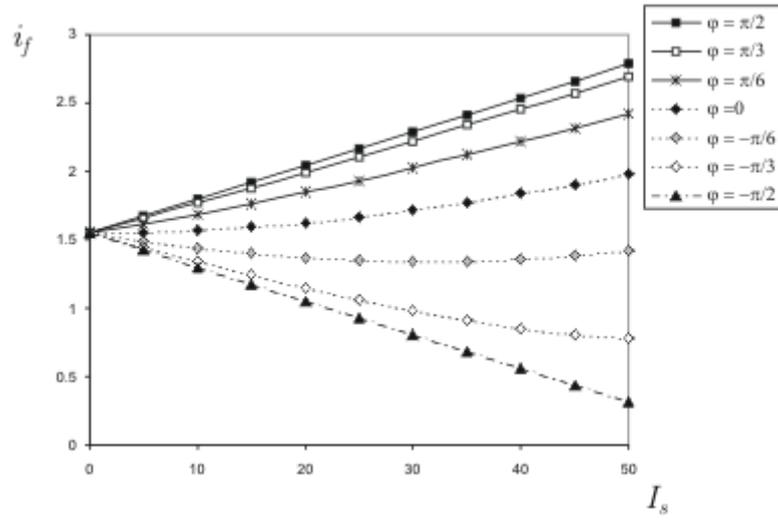


Figura 2