



Temática – Máquinas Eléctricas

Capítulo – Máquina Síncrona

Secção –

## REGULAÇÃO DE TENSÃO

### 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.

GUIA DO LABORATÓRIO

Tal como esquematizado na figura 1, a corrente do indutor  $i_f$  é, normalmente, imposta por um regulador que adapta o valor desta corrente às condições de utilização de forma a colocar nos terminais do estator uma tensão de linha cujo valor eficaz é o valor de referência  $V_{L,ref}$ , portanto, cujo valor de fase  $V_s$  apresenta um valor de referência de  $V_{L,ref}/\sqrt{3}$

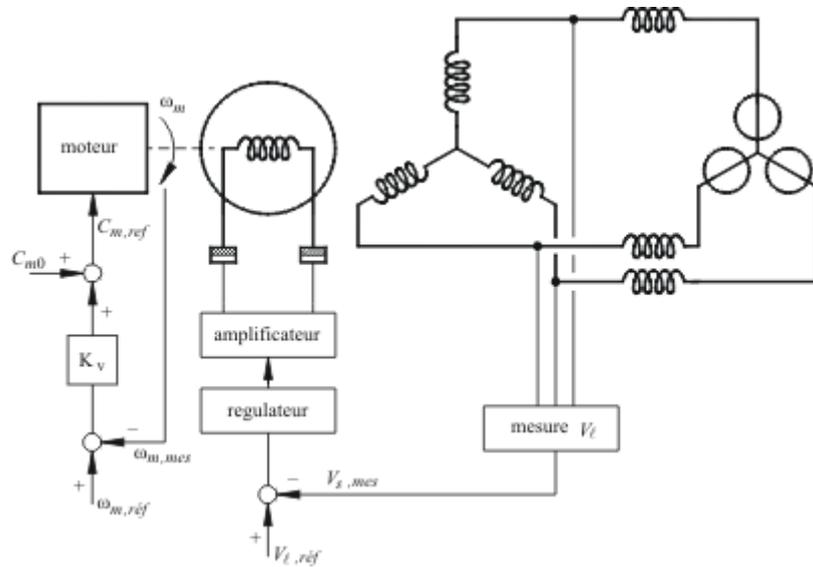


Figura 1

Nestas condições, admitindo que a regulação se efectua de forma perfeita, tal que  $V_s = V_{s,ref}$ , a potência fornecida pela máquina à rede (figura 2) pode escrever-se (desprezando  $R_s$ ):

$$P_{étec} = C_m \frac{\omega_{\infty}}{P} = \frac{3V_{\infty} V_{s,ref}}{X_g} \sin \delta'$$

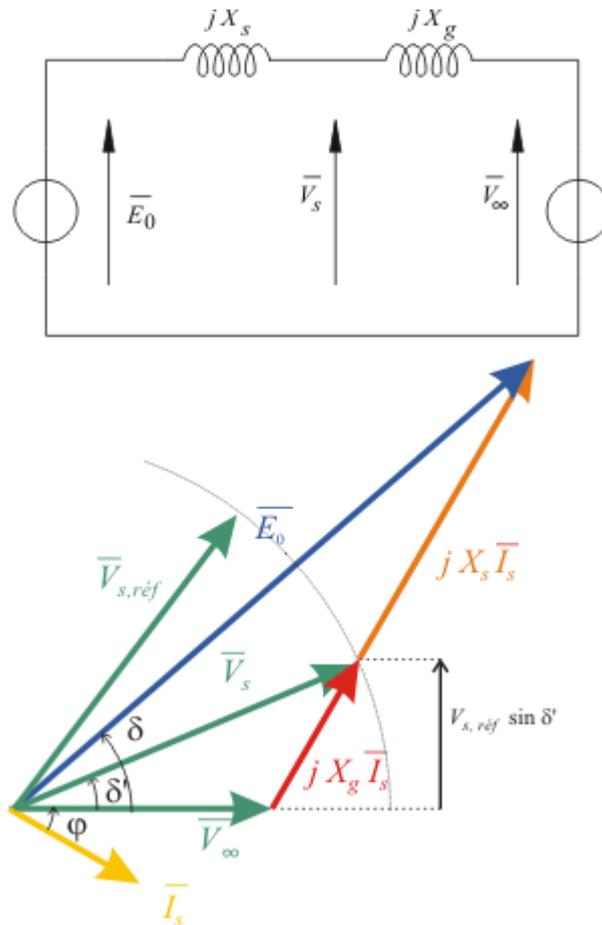
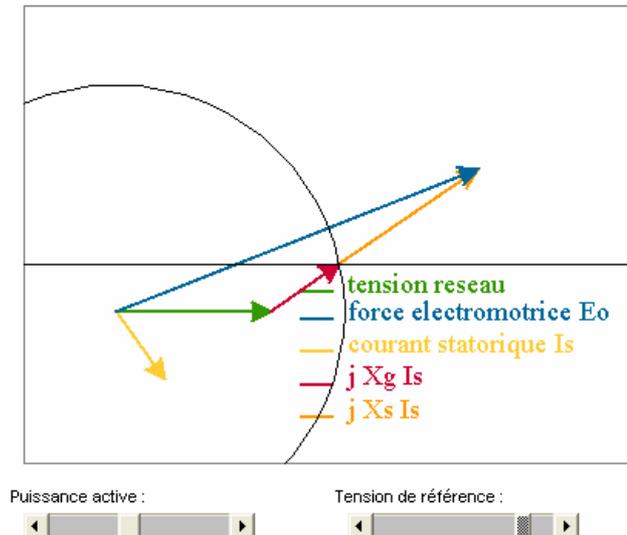


Figura 2

De  $jX_g \bar{I}_s = \bar{V}_s - \bar{V}_\infty$ , deduz-se o valor de  $\bar{I}_s$ . Prolongando  $jX_g \bar{I}_s$  com um vector com a mesma direcção e de amplitude  $(X_s/X_g)X_g \bar{I}_s$ , encontra-se o ponto correspondente à extremidade de  $\bar{E}_0$ . Como se conhece a relação entre  $\bar{E}_0$  e  $i_f$ , ( $E_0 = 142 i_f$ ), obtém-se assim o valor da corrente  $i_f$  que o regulador deverá fazer circular no circuito do indutor. Com o conhecimento de  $\bar{E}_0$  obtém-se, igualmente, o ângulo  $\delta$  que  $\bar{E}_0$  faz com  $\bar{V}_\infty$ .

A animação seguinte permite a visualização, na presença de um regulador de tensão, da evolução do ponto de funcionamento em função:

- da potência activa  $P$  fornecida à rede, representada pela grandeza  $V_{s, \text{ref}} \sin \delta$  que é uma sua imagem
- do valor de referência  $V_{s, \text{ref}}$  da tensão  $V_s$ .



Animação

Constata-se que a presença de um regulador de tensão permite pontos de funcionamento com valores do ângulo  $\delta$  superiores a  $\pi/2$ . Faz-se notar que o valor de  $\delta$  para o qual  $P_{elec}$  atinge o seu máximo, corresponde a um valor de  $\delta'$  igual  $\pi/2$ . Salienta-se também que, a potência activa constante, a regulação da potência reactiva se efectua através do valor de  $V_{s,ref}$ .

Determinar a equação que relaciona  $P_{elec}$  e  $\delta$  assumindo que se tem  $V_{s,ref}$  constante.

AJUDA

- Utilizar o diagrama da [Figura 2](#).
- Escrever as equações na forma paramétrica

$$\delta = f(\delta')$$

$$P_{elec} = g(\delta')$$

RESPOSTA

$$\delta = \arctan \frac{(X_g + X_s) V_{s,ref} \sin \delta' / X_g}{(X_g + X_s) \left[ \frac{V_{s,ref} \cos \delta' - V_{\infty}}{X_g} \right] + V_{\infty}}$$

$$P_{elec} = \frac{3V_{\infty} V_{s,ref} \sin \delta'}{X_g}$$

DEMONSTRAÇÃO DA RESPOSTA

Tem-se ([Figura 2](#)) :

$$I_S \cos \varphi = \frac{V_{s,ref} \sin \delta'}{X_g}$$

$$I_S \sin \varphi = \frac{V_{s,ref} \cos \delta' - V_{\infty}}{X_g}$$

$$E_0 \sin \delta = (X_g + X_s) \cdot I_S \cos \varphi$$

$$E_0 \cos \delta = (X_g + X_s) \cdot I_s \sin \varphi + V_\infty$$

Pelo que se obtém:

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{(X_g + X_s) I_s \cos \varphi}{(X_g + X_s) I_s \sin \varphi + V_\infty} \\ \tan \delta &= \frac{(X_g + X_s) V_{s,réf} \sin \delta' / X_g}{(X_g + X_s) \cdot \left[ \frac{V_{s,réf} \cos \delta' - V_\infty}{X_g} \right] + V_\infty} \end{aligned} \quad (1)$$

Por outro lado tem-se

$$P_{elec} = \frac{3V_\infty V_{s,réf} \sin \delta'}{X_g} \quad (2)$$

De (1) obtém-se o valor de  $\delta$  aplicando a função arco de tangente (arctan) aos dois membros

$$\delta = \arctan \left[ \frac{(X_g + X_s) V_{s,réf} \sin \delta' / X_g}{(X_g + X_s) \left[ \frac{V_{s,réf} \cos \delta' - V_\infty}{X_g} \right] + V_\infty} \right]$$

As equações que permitem calcular  $\delta$  e  $P_{elec}$  em função de  $\delta'$  são um sistema de equações paramétricas da curva  $P, \delta$ .