



e-Learning for Electrical Engineering

## RÉGULATION DE TENSION

**Thématique :** *Machines électriques*

↪ **Chapitre :** *Machines synchrones*

↪ **Section :**

**Type ressource :**     *Exposé*             *Laboratoire virtuel / Exercice*             *Qcm*

*Le but du laboratoire est d'étudier le fonctionnement d'une machine synchrone à pôles lisses en régime non saturé.*

*Les machines synchrones sont principalement utilisées pour produire de l'énergie électrique sous forme de systèmes de tensions et de courants triphasés équilibrés sinusoïdaux*

*Ce laboratoire est consacré à la prise en compte d'un régulateur de tension.*

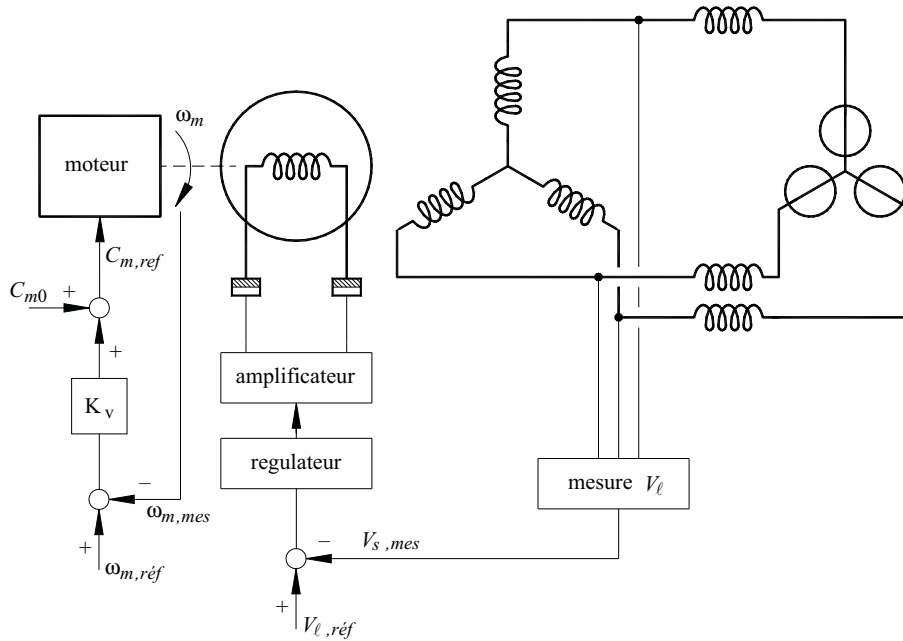
- *pré requis : 2-deuxième cycle*
- *niveau : 2 - deuxième cycle*
- *durée estimée :*
- *auteur(s) : Francis Labrique (UCL)*
- *réalisation : Sophie Labrique*



*Avec le soutien financier de la Commission Européenne. Le présent document n'engage que son(s) auteur(s). La Commission ne saurait être tenue responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans ce document.*

## Prise en compte d'un régulateur de tension

Comme le montre la figure 17, le courant inducteur  $i_f$  est normalement imposé par un régulateur qui adapte la valeur de ce courant aux conditions d'utilisation de manière à asservir la valeur efficace de la tension de ligne aux bornes de la machine à une valeur de référence  $V_{\ell,réf}$  et donc la valeur efficace de la tension de phase  $\bar{V}_s$  à une valeur de référence égale à  $V_{\ell,réf}/\sqrt{3}$ .



Dans ces conditions, si on suppose que la régulation s'effectue de manière parfaite, de sorte que  $V_s = V_{s,réf}$ , la puissance fournie par la machine au réseau (figure 18) peut s'écrire en négligeant  $R_s$  :

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

De  $jX_g \bar{I}_S = \bar{V}_s - \bar{V}_\infty$ , on déduit sans peine la valeur de  $\bar{I}_S$ . En prolongeant  $jX_g \bar{I}_S$  par un vecteur de même direction d'une longueur égale à  $(X_s/X_g)X_g \bar{I}_S$ , on trouve le point correspondant à l'extrémité de  $\bar{E}_0$ . Comme on connaît la relation liant  $E_0$  à  $i_f$ , ( $E_0 = 142 i_f$ ), on obtient la valeur du courant  $i_f$  que le régulateur fait circuler dans l'inducteur. La connaissance de  $\bar{E}_0$  fournit également l'angle  $\delta$  que fait  $\bar{E}_0$  avec  $\bar{V}_\infty$ .

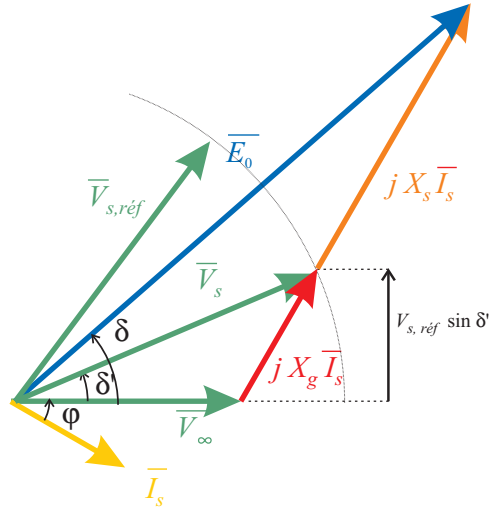
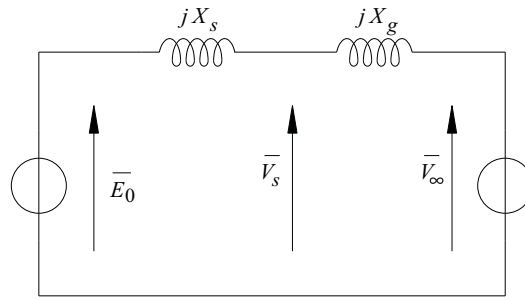


FIG. 1 –

L'animation ci-dessous vous permet de voir, en présence d'un régulateur de tension, comment évolue le point de fonctionnement lorsqu'on modifie les valeurs en agissant sur le couple fourni par le moteur. On voit que la présence d'un régulateur de tension permet de travailler avec des valeurs de  $\delta$  supérieures à  $\pi/2$ . On notera que la valeur de  $\delta$  pour laquelle  $P_{elec}$  atteint son maximum correspond à une valeur de  $\delta'$  égale à  $\pi/2$ . On notera également qu'à puissance active constante, on règle la puissance réactive en agissant sur la valeur de  $V_{s,ref}$ .

### Question 1

Calculez la courbe qui lie  $P_{elec}$  à  $\delta$  lorsqu'on travaille à  $V_{s,ref}$  constant.

### Aide

Utilisez le diagramme de la figure 2.  
Établissez les équations sous forme paramétrique

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

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

### Réponse

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

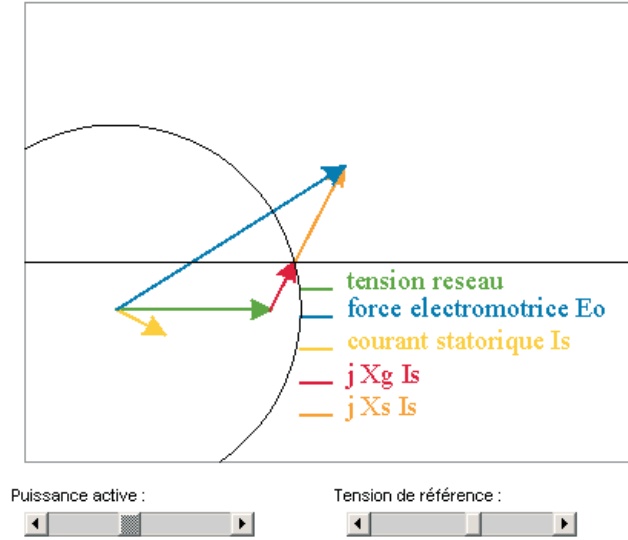


FIG. 2 –

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

### Explication

On a (figure 2) :

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

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

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

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

On en tire

$$\tan \delta = \frac{(X_g + X_s) I_s \cos \varphi}{(X_g + X_s) I_s \sin \varphi + V_{\infty}}$$

$$\tan \delta = \frac{(X_g + X_s) V_{s,ref} \sin \delta' / X_g}{(X_g + X_s) \cdot \left[ \frac{V_{s,ref} \cos \delta' - V_{\infty}}{X_g} \right] + V_{\infty}} \quad (1)$$

Par ailleurs on a

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

De (2) on déduit la valeur de  $\delta$  en prenant l'arc tangente (arctan) des deux membres

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

Les équations qui fournissent respectivement  $\delta$  et  $P_{elec}$  en fonction de  $\delta'$  sont un système d'équations paramétriques de la courbe  $P, \delta$ .

Le schéma des régulateurs associés à la machine est représenté à la figure 1. Normalement, les signaux  $P_{réf}$  et  $Q_{réf}$  qui fixent les valeurs de la puissance active et de la puissance réactive que la machine doit fournir au réseau proviennent d'un régulateur principal qui tient compte de la répartition de charge qui doit être réalisée entre les différents pôles de production.

La sortie du régulateur de puissance active fournit le couple  $C_m$  que doit développer le moteur d'entraînement.

La sortie du régulateur de puissance réactive fournit le courant inducteur  $i_f$ .