TP5 : ALTERNATEUR SYNCHRONE TRIPHASE

INTRODUCTION

Dans les grandes centrales de production de l'énergie électrique, de type thermique utilisant des combustibles fossiles (charbon, hydrocarbures, uranium), ou de type hydraulique (« houille blanche »), des générateurs, appelés alors alternateurs , y produisent de l'électricité sous forme alternative. La puissance unitaire de ces groupes est considérable, celle des dernières unités en service atteignant en France 1 450 mégawatts. Le réseau alternatif industriel fournit l'énergie électrique principalement sous des tensions sinusoïdales de fréquence et d'amplitude fixes (50 Hz-220 V pour le particulier).

La distribution électrique

De petits alternateurs (entre 500W et 1,5 kW) sont aussi embarqués sur les automobiles, afin de recharger les batteries d'accumulateurs à travers des ponts redresseurs à diodes. C'est ce type d'alternateur que nous allons étudier dans la présente manipulation (Figure 1).

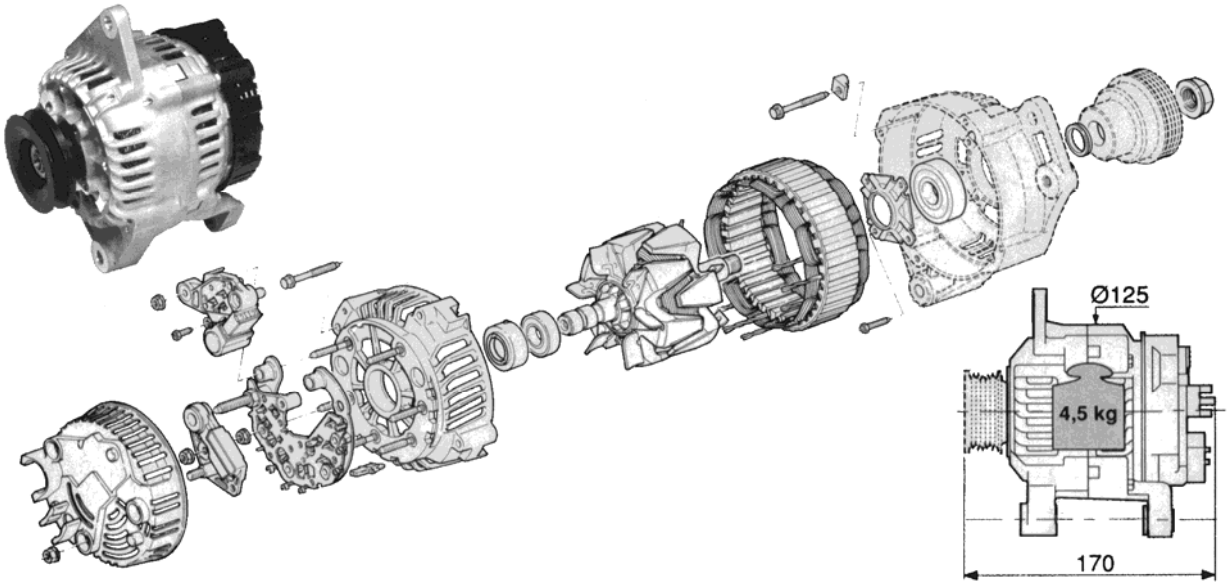

Figure 1 : Alternateur d'automobile (6 paires de pôles, 220W/Kg, 10000 tr/mn max)

Enfin, ces machines sont réversibles et peuvent fonctionner en moteurs : on les rencontre par exemple dans la traction ferroviaire ou sur certains véhicules automobile électriques. Afin de pouvoir fonctionner à vitesse variable sans "décrocher", ils sont alors alimentés par des onduleurs à transistors et l'ensemble est géré par un système de commande en boucle fermée.

OBJECTIFS DE LA MANIPULATION

Cette manipulation consiste à étudier une machine synchrone triphasée fonctionnant en génératrice. Elle sera donc entraînée par un moteur, en l'occurrence un moteur à courant continu et aimants permanents.

L'objectif principal de la manipulation est de modéliser l'alternateur en régime permanent par un schéma électrique (simple) équivalent, du type schéma de Thévenin.

A l'issue de la manipulation, (et après consultation du cours), l'étudiant doit savoir aborder ou traiter les points suivants :

- comprendre qualitativement le fonctionnement d'un alternateur,
- tracer ses caractéristiques à vide et en court-circuit, et déduire les paramètres du modèle électrique,
- décrire un point de fonctionnement sur charge résistive par un diagramme de Fresnel (diagramme de Behn-Eschenburg ou de la réactance synchrone).

PRÉCAUTIONS ET RECOMMANDATIONS

Il est impératif :

- **de faire vérifier le montage à chaque modification de câblage,**
- **de prendre soin de ne pas dépasser 8A de courant absorbé par le moteur à courant continu, 10A de courant efficace pour le courant dans un enroulement de phase de l'alternateur et 3A pour son courant d'excitation.**

MATÉRIELS MIS à DISPOSITION

Le matériel mis à disposition est constitué :

- d'un banc composé d'une machine synchrone triphasée (un alternateur d'automobile, voir Figure 1) et d'une machine à courant continu à aimants permanents [MM1] ,
- une alimentation continue réglable 0-60V 20A pour le moteur à courant continu [S3],
- une alimentation continue réglable d'au moins 15V et 3A pour l'excitation de l'alternateur,
- un rhéostat triphasé de 6,8Ω 10A par enroulement [R3],
- d'un oscilloscope, de 2 voltmètres et d'un ampèremètre [M3],
- d'une sonde de courant instantané [M2].

MANIPULATION

1. ETUDE DE LA FORCE ELECTROMOTRICE A VIDE DE L'ALTERNATEUR

1.1 Principe de base

Un alternateur synchrone est une machine électrique tournante permettant de créer une (des) force(s) électromotrice(s) alternative au moyen de la rotation d'aimants ou d'électro-aimants devant des bobines fixes. C'est donc la loi de Faraday $e_v(t) = \frac{d\phi}{dt}$ qui est mise en jeu. Les aimants ou électro-aimants constituent la roue polaire placer au rotor. Les bobines fixes constituent l'induit et sont placées au stator.

1.2 Montage

- Branchez l'alimentation du moteur à courant continu. Vérifiez que l'alimentation affiche ses tension et courant de sortie.
- Câblez l'excitation de la machine synchrone. Pour cela, alimentez la roue polaire au moyen d'une source de tension continue mais réglable. Prévoir un ampèremètre adéquat pour la mesure du courant d'excitation I_e.
- Réalisez le couplage **étoile** de l'induit de la machine synchrone. Prévoir de brancher un voltmètre à valeur efficace vraie et un oscilloscope

1.3 La FEM est alternative, quasi-sinusoïdale, triphasée

Après avoir réglé la vitesse de rotation du banc à 1500tr/mn et le courant d'excitation de l'alternateur à 1A, visualisez par groupe de 2 les différentes tensions simples produites par l'alternateur.

1.4 La fréquence de la FEM dépend linéairement de la vitesse de rotation

A partir du point de fonctionnement précédent mesurez la fréquence de la FEM pour 1000, 2000 et 3000tr/mn, en conservant le courant d'excitation à 1A. Dans chaque cas, calculez le rapport entre la pulsation électrique et la vitesse de rotation en rd/s. Comparez au nombre de dents (griffes) de la roue polaire.

1.5 L'amplitude et la valeur efficace de la FEM dépend linéairement de la vitessse de rotation, à courant d'excitation constant

A partir du point de fonctionnement, mesurez l'amplitude et la valeur efficace de la FEM pour 1000, 2000 et 3000tr/mn, en conservant le courant d'excitation à 1A.

1.6 Tracé de la caractéristique à vide à vitesse de rotation constante

Pour une vitesse de rotation de 1500tr/mn, remplissez le tableau suivant :

I_e (A)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
E_v (V)							
$\hat{\phi}_v$ (Wb)							

où I_e est le courant d'excitation de la roue polaire, E_v la valeur efficace de la FEM à vide sur un enroulement de l'induit (ici tension simple, puisque montage étoile) et $\hat{\phi}_v$ la valeur maximale (ou amplitude) du flux d'induction total envoyé à vide par la roue polaire dans cet enroulement. L'expression de E_v est donnée par la formule :

$$\boxed{E_v = \frac{1}{\sqrt{2}} p\hat{\phi}_v(I_e)\Omega = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} p\hat{\phi}_v(I_e)\frac{N}{60} = 4{,}44 p\hat{\phi}_v(I_e)\frac{N}{60}},$$

avec p le nombre de paires de pôles de la roue polaire, Ω la vitesse de rotation en rd/s et N la vitesse de rotation en tr/mn.

Tracez la caractéristique à vide $E_v(I_e)$ à 1500tr/mn et la courbe de "flux utile à vide" $\hat{\phi}_v(I_e)$. Analysez la forme de ces courbes.

2. ETUDE DE L'IMPEDANCE INTERNE DE L'ALTERNATEUR

2.1 Modèle de base

Lorsque l'alternateur est en charge, nous supposerons que chaque enroulement de phase de l'induit se comporte comme une source de tension réelle qui peut être décrite par un schéma équivalent de Thévenin (Figure 2).

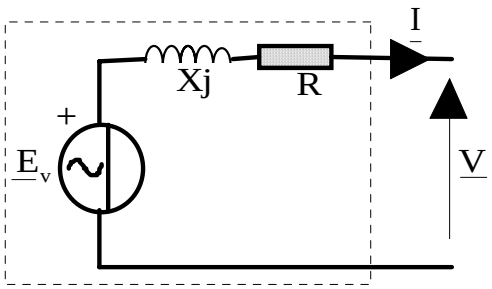

Figure 2 : *Schéma équivalent d'un enroulement de l'induit*

X est appelé la réactance synchrone et on admettra quelle est positive (de nature inductive). R est la résistance d'un enroulement. $\underline{Z}=Xj+R$ est l'impédance interne du générateur équivalent de Thévenin.

2.2 Caractérisation de l'impédance interne par l'essai en court-circuit

- Reprenez le montage précédent et placez le stator en court-circuit en mesurant le courant efficace de ligne (I_{cc}). Pour une vitesse de rotation de 1500tr/mn, remplir le tableau suivant :

I_e (A)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
I_{cc} (A)										
$Z = \frac{E_v}{I_{cc}}$ (Ω)										

- Tracez les courbes $I_{cc}(I_e)$ et $Z(I_e)$. Conclusion ?

- Toujours sur le même montage et pour un courant d'excitation constant de 0,4A, mesurez le courant de court-circuit pour 1000, 2000 et 3000tr/mn. Montrez que ces mesures permettent de supposer que $\underline{Z} \cong Xj$ et que X est de la forme $X = L\omega$, avec ω la pulsation électrique au stator.
L est appelé l'inductance synchrone. Déterminez sa valeur.

3. ETUDE D'UN POINT DE FONCTIONNEMENT SUR CHARGE RESISTIVE

3.1 Mesure

- Réglez le rhéostat triphasé à 4Ω par enroulement par une méthode voltampéremétrique au moyen d'une alimentation continu.
- Branchez sur le stator de l'alternateur ce rhéostat triphasé câblé en étoile. Placez sur le stator un voltmètre pour mesurer une tension simple et un ampèremètre pour mesurer le courant de ligne.
- Amenez l'excitation à 0 puis la vitesse de rotation à 2500tr/mn. Augmentez progressivement l'excitation pour amener la tension simple au stator à 14V en maintenant la vitesse à 2500tr/mn. Relevez alors le courant d'excitation correspondant et mesurez le courant de ligne.

3.2 Prévision par le modèle

En employant le modèle de la Figure 2 et les valeurs numériques des paramètres obtenues dans les parties I et II, prédéterminez le courant d'excitation permettant d'obtenir la tension simple et le courant de ligne du point de fonctionnement précédent, un supposant unitaire le facteur de puissance de la charge.