

Période de l'année : Cette activité se déroule en fin de 2^{ème} semestre.

Pré-requis : Contenus d'enseignement sollicités lors de cette activité.

- ⇒ Machine asynchrone modélisation et schéma équivalent.
- ⇒ Puissances et mesures de puissances.
- ⇒ Compensation d'énergie réactive.
- ⇒ Variation de vitesse de la machine à courant continu.

Tache : T41

Contenus d'enseignement liés au taches : 4. Récepteurs et générateurs.

4-3 Machine asynchrone.

4-32. Réversibilité de la machine asynchrone.

Objectifs :

En fin d'activité les étudiants doivent avoir mis en évidence le fonctionnement de la machine asynchrone en génératrice et avoir pris conscience des grandeurs qui influencent ses caractéristiques externes tel que tension en fonction de la puissance.

Dans le cadre d'une utilisation dans une éolienne, étudier son excitation par analogie avec la machine synchrone et vérifier les limites de performances de la génératrice obtenue compte tenu des variables influentes que sont le vent, l'excitation et la puissance demandée par les récepteurs.

Préparation :	Individuelle ou en groupe
Organisation du groupe :	Binôme
Laboratoire :	Laboratoire essai de systèmes
Durée :	5 H

Moyens mis à votre disposition :

- ☞ Banc machine asynchrone couplée à un moteur à courant continu. (1.5 kW)
- ☞ Plan de charge résistif de 4 kW
- ☞ Plan de charge capacitif de 2 kVars.
- ☞ Moyens de mesure.

Préparation :

Dans la majorité des éoliennes l'aérogénérateur entraîne une machine asynchrone qui réalise la conversion énergie mécanique en énergie électrique.

Ce furent les premières machines utilisées, en effet cette machine est robuste du point de vue mécanique et nécessite une faible maintenance.

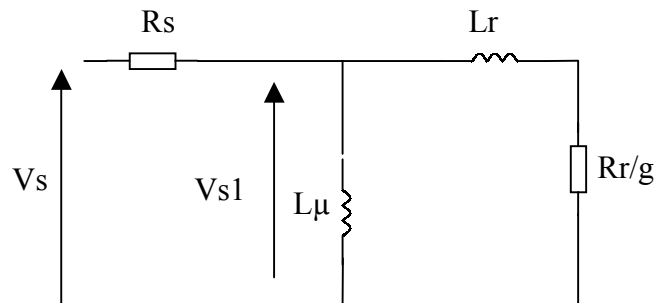
D'autre part, il est possible de la connecter directement au réseau sans être confronté aux problèmes de l'amplitude et de la fréquence qui sont inhérents à la machine synchrone.

Depuis d'autres solutions ont été envisagées et mises en œuvre utilisant la machine synchrone .

On se propose de faire l'étude d'une **génératrice asynchrone couplée au réseau** puis dans un deuxième temps en **mode isolé**.

1. Fonctionnement en génératrice couplée sur le réseau :

Le modèle retenu par phase de la machine est le modèle ramené au stator avec fuites globalisées au rotor.



Valeurs numériques du modèle étudié : $R_s = 4.4 \Omega$; $R_r = 3.84 \Omega$.

$L_\mu = 472 \text{ mH}$ et $L_r = 43.7 \text{ mH}$

On rappelle que la puissance P_{tr} développée au rotor s'exprime de la manière suivante :

$$P_{tr} = \frac{3 \times V_{s1}^2}{L_r W_s} \times \frac{1}{\frac{R_r}{L_r \times g \times W_s} + \frac{L_r \times g \times W_s}{R_r}}$$

où :

W_s la pulsation des tensions statoriques

L_r inductance de fuites globalisées ramenée au rotor.

R_r résistance rotorique et g le glissement.

V_s valeur efficace de la tension au stator.

1.1 Représenter la caractéristique $P_{tr} = f(g)$ en confondant V_{s1} et V_s .

1.2 Préciser les limites de g . Quel domaine de variation de Ω_m satisfait au fonctionnement de l'aérogénérateur ?

1.3 Préciser du point de vue de la machine si la puissance active est absorbée ou fournie.

L'impédance Z de la machine par phase peut s'écrire $Z = a + jb$ avec b toujours positif.

1.4 Montrer que la machine a forcément un comportement inductif. Conclure.

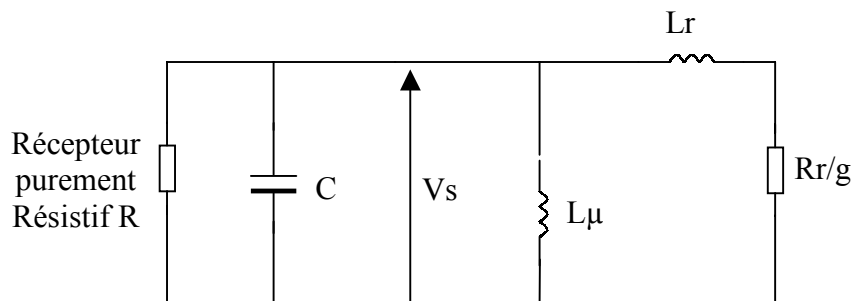
2. Fonctionnement de la machine en mode isolé : *Auto-excitation par condensateur* :

2.1 La machine à vide étant entraînée par l'éolienne, énoncer la condition pour qu'une tension apparaisse aux bornes de la génératrice.

2.2 Cette tension étant d'amplitude relativement faible comment pourrait-on l'amener à sa valeur nominale ?

La génératrice a besoin d'énergie réactive pour créer son champ magnétique glissant. On peut donc espérer amorcer une machine asynchrone dont les enroulements statoriques sont isolés du réseau en connectant une batterie de condensateurs à ses bornes.

Le schéma équivalent devient alors le suivant en négligeant les pertes joules au stator.



L'auto-amorçage a lieu si les deux conditions suivantes sont satisfaites :

Puissance active totale = 0

Puissance réactive totale = 0

Ce qui revient au même de dire que l'impédance équivalente à une phase de la machine $Z = a + jb$ est nulle. Soit $a = 0$ et $b = 0$.

La réalisation de ces deux conditions conduit aux relations suivantes :

$$Lr = \frac{R^2 \times L\mu(L\mu \times C \times W^2 - 1)}{(L\mu \times W)^2 + R^2(L\mu \times C \times W^2 - 1)^2} \quad (1)$$

$$g = -\frac{Rr}{R} \left(1 + R^2 \left(CW - \frac{1}{LW}\right)^2\right) \quad (2)$$

2.3 On fixe une fréquence de 50 hz. En posant $X = (L\mu \times C \times W^2 - 1)$ Calculer la valeur de C et en déduire la puissance réactive à fournir pour une puissance active de 1000 W sous la tension nominale.

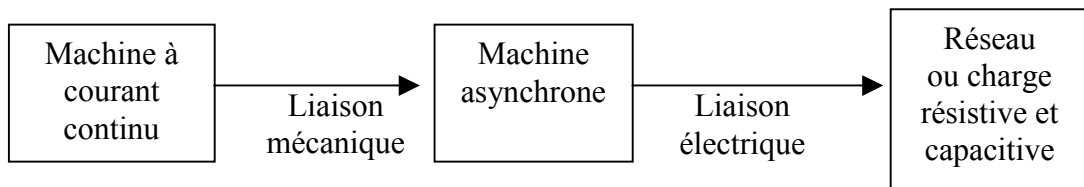
2.4 Déterminer la puissance réactive que doit fournir une batterie de condensateur afin d'obtenir la tension nominale statorique à vide (courant au rotor nul).

Manipulation :

On utilise afin de simuler l'aéromoteur un moteur à courant continu à excitation séparée. Il faudra veiller tout au long des manipulations à ne pas dépasser les caractéristiques de ce moteur.

On pourra éventuellement pratiquer le défluxage de la machine à courant continu en respectant l'intensité maximale admissible par l'induit afin d'obtenir des vitesses supérieures au synchronisme.

Le banc de mesure répond alors au synoptique suivant :



Les grandeurs de réglages de la machine à courant continu sont : tension d'induit U_{cc} et courant d'excitation I_{ex} .

3. Machine sur le réseau :

La machine asynchrone est couplée au réseau et entraînée au-delà de sa vitesse de synchronisme par l'intermédiaire d'un moteur à courant continu. On obtient alors une génératrice hypersynchrone.

Attention : Il faut s'assurer que le sens de rotation est identique pour les 2 machines. Attention aux couplages du stator.

3.1 Augmenter la vitesse de la machine afin d'obtenir le courant nominal dans un enroulement statorique puis mesurer la valeur de la puissance active P et réactive Q de la machine asynchrone.

- 3.2 En vous appuyant sur le modèle de la machine fournie lors de la préparation , calculer P et Q. Discuter des différences éventuelles pour les 2 mesures précédentes.
- 3.3 Quel est le paramètre qui fait varier la puissance fournie au réseau ? Conclure quant à la valeur du facteur de puissance de la machine.

4. Génératrice auto-excitée :

4.1 La génératrice étant à **vide et non connectée au réseau**, entraîner alors le groupe à la **vitesse** de 1500 tr.min^{-1} **constante**. Visualiser la tension générée par phase au stator. Justifier sa fréquence.

4.2 Afin de rendre cette tension exploitable on connecte au stator des condensateurs.

- ☞ Relever la valeur de V_s pour plusieurs valeurs des condensateurs C.
- ☞ Consigner vos relevés dans le tableau du **document réponse** , puis tracer la caractéristique V_s en fonction de C $V_s = f(c)$.
- ☞ Pour 100% du banc capacitif visualiser la tension aux bornes d'une phase ainsi que le courant qui le concerne. Commenter les oscillogrammes obtenus.

4.3 Par analogie avec la machine synchrone en alternateur donner le rôle de C. Montrer la difficulté de contrôler la tension V_s en comparaison avec la machine synchrone en alternateur.

4.4 On garde la valeur de C qui permet d'obtenir V_s à vide égale à la tension nominale.

- ☞ Relever alors la tension aux bornes de la génératrice en fonction de la puissance débitée P sur charge résistive ainsi que le courant dans le stator I_s Tracer $V_s = f(P)$.
- ☞ Relever en même temps Q puis conclure sur les limites de fonctionnement de la génératrice asynchrone.

Remarque : lorsque la génératrice décroche elle ne peut plus s'amorcer. Afin de la réamorcer à nouveau il faut couper l'alimentation du moteur à courant continu, et connecter la machine asynchrone au réseau afin de récupérer du rémanent. On peut ensuite la déconnecter du réseau et la réamorcer.

4.5 Refaire les manipulations précédentes avec 100% de C en service. Visualiser la tension et le courant d'une phase pour 25 % de la charge résistive. Commenter les oscillogrammes obtenus.

Influence de la variation de vitesse du vent à charge fixe avec une excitation fixée à 100 % du banc capacitif.

4.6 A partir d'un point de fonctionnement 25 % du plan de charge résistif et à partir de $N = 1500 \text{ tr.min}^{-1}$ diminuer la vitesse et relever P et Q ainsi que la tension et le courant générés. Commenter vos relevés.

4.7 A partir d'un point de fonctionnement 25 % du plan de charge résistif et à partir de $N = 1500 \text{ tr.min}^{-1}$ augmenter N en relevant les mêmes grandeurs que précédemment. Commenter vos relevés.

Attention à ne pas dépasser la tension maximale admissible par les condensateurs.

4.8 Que faudrait-il faire afin de garder V_s constante ?

SYNTHESE

- ⇒ Quels sont les risques générés par l'emploi de machine asynchrone en moteur compensé par des capacités lors de l'arrêt.
- ⇒ Pourrait-on à votre avis partir d'une vitesse nulle, la charge étant connectée les condensateurs aussi et atteindre le point de fonctionnement nominal. ($P ; V$)
- ⇒ On insère en série avec la charge des capacités. Montrer alors que la puissance réactive ainsi créée est liée au courant débité et que cela constitue donc une régulation simple de la puissance réactive consommée par la génératrice asynchrone et permet donc une stabilisation de V_s .
- ⇒ Quelles sont les grandeurs de réglages de V_s et de la puissance lorsqu'on utilise une génératrice asynchrone.

4.4 Manipulation avec excitation de 75% de C et à vitesse constante 1500 tr.min⁻¹.

% Charge P	5	10	15	20	25	30
W1						
W2						
P						
Q						
Is						
Us tension entre phases						

4.5 Manipulation avec 100%de C:

% P	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Ucc											
Icc											
W1											
W2											
P											
Q											
Is											
Us											

4.6 Diminution de la vitesse pour 25 % de P :

N	1500	1475	1450	1425	1400	1375	1350	1325	1300
Ucc									
Icc									
W1									
W2									
P									
Q									
Is									
Us									

4.7 Augmentation de la vitesse :

N	1500	1525	1550	1575	1600
Ucc					
Icc					
W1					
W2					
P					
Q					
Is					
Us					