

# IDENTIFICATION DES PARAMETRES D'UNE GENERATRICE ASYNCHRONE POUR EOLIENNE

SIDKI Mohammed

Université Mohamed V-Ecole Mohammadia d'Ingénieurs  
sidki@emi.ac.ma

**Mots clés**— Modélisation de la génératrice asynchrone, énergie éolienne, multi capteur

## I. RESUME

La plupart des génératrices utilisées par les éoliennes sont des génératrices asynchrones triphasées. Celles-ci ont plusieurs avantages, elles sont robustes, leur coût est faible. Par ailleurs, leurs inconvénients c'est la consommation d'énergie réactive fournie soit par le réseau, soit compensée par une batterie de condensateurs d'où la possibilité de fonctionnement autonome. Dans notre étude nous présentons les résultats expérimentaux de la machine asynchrone à cage d'écureuil, la plus utilisée dans les éoliennes fonctionnant à une vitesse constante, en tenant compte des hypothèses simplificatrices pour la modélisation mathématique de la machine, ainsi que la simulation du fonctionnement de l'éolienne.

## II. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA GENERATRICE ASYNCHRONE AUTO EXCITEE

Dans la plupart des cas, les machines asynchrones ne sont alimentées qu'au stator, les courants rotoriques étant induits par le champ statorique.

Pour que la machine fonctionne en génératrice il faut que le rotor tourne dans le sens du champ tournant du stator à une vitesse supérieure à la vitesse de synchronisme Figure 1. Pour une certaine vitesse dans le domaine stable la puissance et le couple sont proportionnelles au glissement.

A partir d'une vitesse de rotation, on aura une diminution de flux par conséquent une augmentation de l'intensité de courant pour un couple équivalent.

Il est donc intéressant à ne pas fonctionner l'éolienne dans la zone de diminution du couple afin d'éviter une survitesse de la machine.

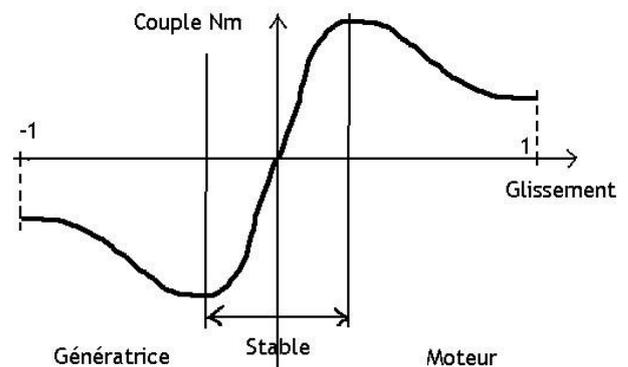
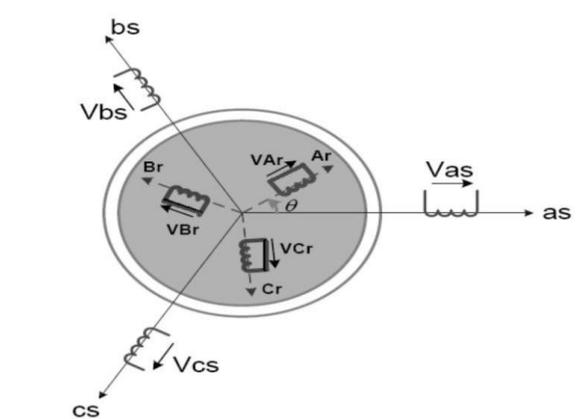


Figure 1 Glissement d'une génératrice asynchrone

## 1- Représentation de la machine

En l'absence de réseau pilote, il est possible d'auto-exciter la génératrice asynchrone au moyen de condensateurs, mais en tenant compte des problèmes dus à l'amorçage et la protection contre les surtensions de résonance.

Les variations de charge influent directement sur les valeurs de la tension et la fréquence délivrées.



De plus, un dispositif d'orientation des pales de l'éolienne est nécessaire pour maintenir une vitesse de rotation et par conséquent une fréquence fixe. Afin de déterminer les performances et les limites de fonctionnement de ce dispositif, nous avons établi un modèle de la machine. Des simulations sont alors effectuées, puis validées par des essais expérimentaux.

La Figure 2.représente le modèle utilisé, les entrées du système sont les trois tensions statoriques et le couple résistant et les grandeurs de sorties sont les trois courants statoriques ainsi que la vitesse de rotation.

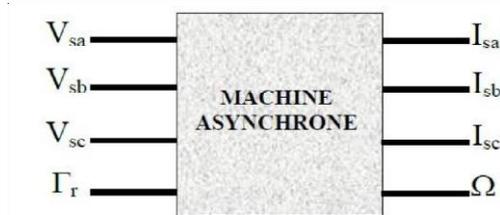


Figure 2 : Entrées/sorties du modèle de la machine asynchrone Auto-excitation de la génératrice à Vide

Lorsque la génératrice asynchrone débite sur un réseau d'impédance  $Z_{eq}$  figure 3.

On a:  $V_s = Z_g I_s = -Z_{eq} I_s$

Où  $Z_g$  représente l'impédance résultante vue des bornes de la génératrice. La puissance réactive  $Q_C$  lorsque les condensateurs sont connectés en étoile est donnée par la relation suivante:

$$Q_C = 3V_s^2 C \omega$$

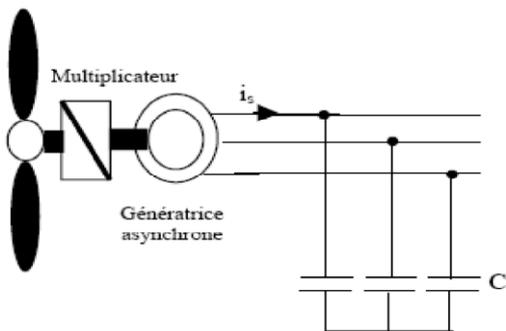


Figure 3 Schéma de principe

D'où le schéma équivalent simplifié figure 4

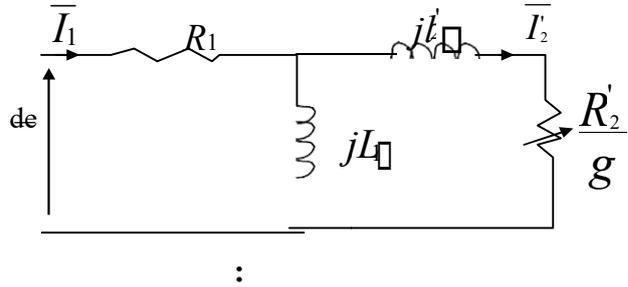


Figure 4 Schéma équivalent simplifié

Avec  $(Z_g + Z_{eq}) = 0$  (1-1)

$$Z_g = R_1 + \frac{j\omega L_1 (\frac{R_2'}{g} + j\omega l_2')}{\frac{R_2'}{g} + j\omega (l_2' + L_1)}$$

Si la génératrice est déconnectée du réseau, mais branchée sur une batterie de condensateurs tels que :

$$Z_{eq} = -\frac{j}{C\omega}$$

Le fonctionnement stable de la génératrice asynchrone auto-excitée sera assuré si l'équation (1-1) est satisfaite.

La condition d'autoamorçage, s'exprimera sous la forme simple :  $Re(Z_g + Z_{eq}) < 0$

## 2. Auto-excitation de la génératrice en charge

Dans le cas où une charge purement résistive R est connectée au stator de la machine, la capacité d'auto-excitation et la charge peuvent alors être modifiées. Ainsi on retrouve une nouvelle résistance R' en série avec  $R_s$  et une nouvelle valeur de capacité afin d'obtenir la configuration à vide. Figure 5

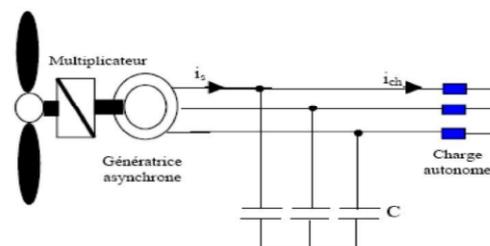
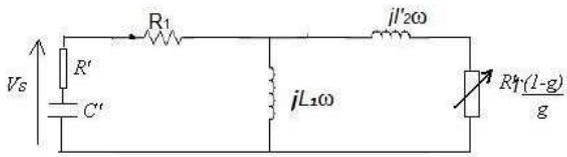


Figure 5 Schéma de principe de la génératrice



**Figure 6 : Schéma équivalent de la génératrice avec une charge résistive**

Donc on détermine simplement les capacités d'auto-amorçage de la génératrice asynchrone autonome en fonctionnement linéaire. A partir de la figure 6.

Avec

$$R' = \frac{R}{1 + \omega^2 R^2 C^2}$$

$$C' = \frac{1 + \omega^2 R^2 C^2}{\omega^2 R^2 C}$$

**III- Montage et résultats expérimentaux**

Nous vous proposons d'étudier la génératrice asynchrone à cage d'une éolienne pour laboratoire de puissance 2 KW. Les éoliennes fonctionnent à vitesse fixe, la génératrice est reliée à la charge. Nous allons déterminer la puissance, la vitesse de rotation de l'arbre de la génératrice, et le schéma équivalent de la génératrice. L'éolienne comporte des multiplicateurs de vitesse. Figure 7.

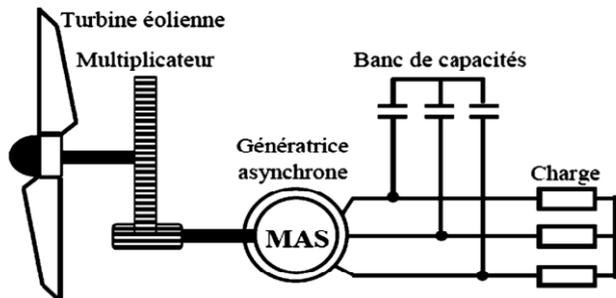


Figure 7 Schéma de l'Installation expérimentale

Les données caractéristiques relatives au vent et celle de la turbine sont données au tableau ci-dessous

la vitesse nominale du vent	<b>6 m/s</b>
vitesse nominale de la turbine éolienne	50 tr/min
Masse volumique de l'air	1.25
le coefficient aérodynamique	0.5
rayon des pales	3.66 m

**1-Calcul de la puissance électrique de génératrice**

**P<sub>elec</sub>**

Le multiplicateur utilisé a un rapport de 62,64 et un rendement de 96% et que L'éolienne tourne à 32,5 tr/min. Les pertes dues à la génératrice sont supposées négligeables. La puissance fournie par la turbine en tenant compte du coefficient aérodynamique

$$P_{turbine} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

**P<sub>turbine</sub> = 2840 W**

Et que La puissance mécanique récupérée à l'entrée de la génératrice est :

**P<sub>entree</sub> = P<sub>turbine</sub> \* η<sub>multiplicateur</sub>**

**P<sub>entree</sub> = 2727 W**

**2- Détermination de vitesse de rotation de l'arbre de la génératrice :**

La machine est en fonctionnement génératrice, ce qui nous intéresse, c'est la puissance électrique obtenue en sortie de la génératrice. Par hypothèse, les pertes dues à la génératrice étant supposées négligeables et par conséquent on en déduit que la vitesse de rotation de la génératrice :

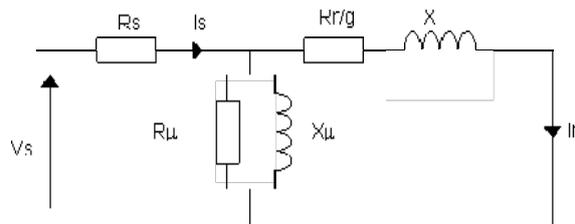
**Ω<sub>mas</sub> = Ω<sub>éolienne</sub> \* rapport**

D'ou

**Ω<sub>mas</sub> = 324.63 rad/s**

**3. Identification des paramètres du schéma équivalent de la génératrice asynchrone :**

Dans un deuxième temps, on souhaite déterminer le schéma équivalent de la génératrice asynchrone. On suppose que l'hypothèse de Kapp est vérifiée. figure 9



Is : courant statorique  
 Rs : résistance statorique  
 Vs : tension simple statorique  
 Rμ : résistance magnétisante  
 Xμ : réactance magnétisante  
 Rr/g : résistance au rotor tenant compte du glissement g  
 X : réactance au rotor  
 Ir : courant rotorique

Figure 9 : Schéma équivalent monophasé de la machine asynchrone

Nous présentons dans le tableau ci-dessous les caractéristiques de la plaque signalétique en fonctionnement moteur :

Tension d'alimentation	380 V
Courant nominal	8.75 A
Puissance	2.2 Kw
Facteur de puissance	0.83
Fréquence	50 Hz
Nombre de pôles	2
Vitesse de rotation	2900 tr/mn
Mode de couplage	Etoile

VI- Résultats expérimentaux des essais effectués sur la machine:

-Essai à vide :

Tension	220 V
Courant	2.68 A
Puissance absorbée	237W

-Essai à rotor bloqué:

• E

Tension	51.6 V
Courant	5.05 A
Puissance absorbée	342.6W

• -Essai en courant continu:

La résistance statorique mesurée entre une phase et le neutre à une valeur de :

$R_S = 3.56 \Omega$ . Et que les pertes mécaniques sont estimées à

$$p_{meca} = 120 \text{ W}$$

## V Exploitation des résultats expérimentaux

Détermination des pertes Joule statoriques  $P_{js}$  et rotoriques  $P_{jr}$  ainsi que les pertes fer statoriques  $p_{fs}$ . En déduire la résistance  $R_\mu$  et la réactance  $X_\mu$  du schéma équivalent.

### L'essai à vide:

En essai en moteur à vide

$$P_{abs} = p_{fs} + p_{meca} + p_{js}$$

$$\text{Avec } p_{js} = 3R_S I_s^2 = 28.62W$$

Donc les pertes fer statoriques sont de l'ordre :

$$p_{fs} = 88.37W$$

Comme la machine tourne à vide donc les pertes Joule rotoriques sont pratiquement négligeables on pourra déterminer la résistance de magnétisation du schéma équivalent:

$$R_{\mu} = \frac{3V^2}{p_{fs}} = 1642 \Omega$$

Et que la puissance réactive absorbée  $Q_{abs}$ , est déterminée par la relation suivante (1-2)

$$P_{abs}^2 + Q_{abs}^2 = (3V_s \cdot I_s)^2 \quad (1-2)$$

Donc :  $Q_{abs} = 1752 \text{ Var}$

la réactance  $X_{\mu}$  du schéma équivalent est calculée par l'expression suivante :

$$X_{\mu} = \frac{3V^2}{Q_{abs}}$$

$$X_{\mu} = 82.83 \Omega$$

### Exploitation de l'essai à rotor bloqué

Afin de Calculer la résistance rotorique  $R_r$  et la réactance de fuites  $X$  ramenées au stator nous allons utiliser les résultats expérimentaux à rotor bloqué. En fait pendant l'essai en court circuit les pertes cuivre :  $P_{RB} = 3 \cdot (R_s + R_r) \cdot I_{RB}^2$

$$R_r = \frac{P_{RB}}{3I_{RB}^2} - R_s = 0.91 \Omega$$

Et que l'énergie réactive

$$Q_{RB} = 3 \cdot X \cdot I_{RB}^2 \quad \text{D'où} \quad X = \frac{Q_{RB}}{3 \cdot I_{RB}^2}$$

Il faut alors déterminer la puissance réactive à rotor bloqué  $Q_{RB}$

$$P_{RB}^2 + Q_{RB}^2 = (3V_{RB} \cdot I_{RB})^2$$

$$Q_{RB} = 702.66 \text{ Var}$$

$$X = 46.38 \Omega$$

Finalement Le couple électromagnétique sur l'arbre de la machine asynchrone se déduit alors :

$$C_e = \frac{P_{meca}}{\Omega_{MAS}} = 8 \text{ N.m}$$

$P_{meca}$  représente la puissance mécanique  
 $\Omega_{MAS}$  est la vitesse de rotation de la MAS,

## 1) VII-Choix du convertisseur statique de la fréquence :

En variation de vitesse, la fréquence et l'amplitude de la tension, en sortie de la génératrice, sont variables. Pour satisfaire aux conditions de la charge, on utilise des convertisseurs de puissance agissant comme des convertisseurs de fréquence. La chaîne de conversion électrique comprend alors figure 8

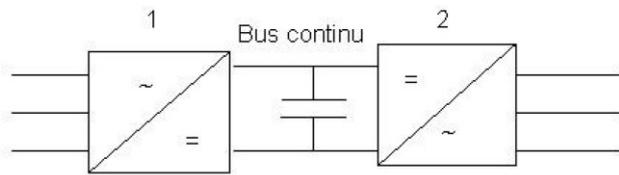
-la génératrice

-les convertisseurs :

- Alternatif/continu ou redresseur commandé

Le redresseur à MLI est utilisé pour les machines asynchrones. Le redresseur MLI permet par ailleurs de fournir la puissance réactive magnétisante.

- Continu/alternatif ou onduleur (2)  
on utilise un onduleur de type MLI.



Convertisseurs statiques de fréquence

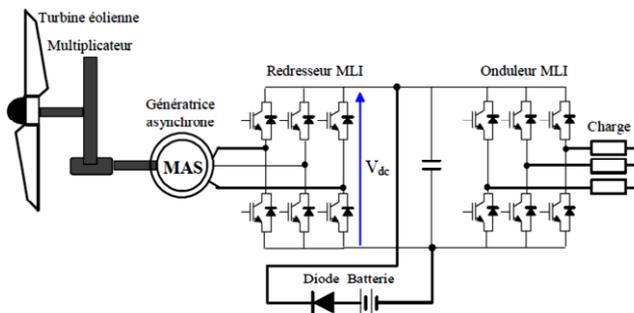


Figure 8 Convertisseur statique de fréquence

## Conclusion

Nous avons présentés les résultats expérimentaux obtenus au laboratoire sur une génératrice asynchrone à cage d'écureuil de puissance 2 kW pour une éolienne. Nous avons également modélisés la machine en respectant certains critères pour établir le schéma équivalent de la machine afin d'identifier tous les paramètres de la génératrice. Les résultats obtenus par simulation sont en accord avec les essais réalisés au laboratoire sur la génératrice asynchrone

## Bibliographie

- [[1] Cristian Nichita Chaîne de conversion électromécanique le Havre 2012
- [2] Frederic Poitiers Etude et commande de génératrices asynchrones Université de Nantes
- [3] Mahri Zouabah Calcul des efforts aérodynamiques département génie climatique