**Induction machines**

**1/ Introduction**

In factories and in the industrial world this machine is the most popular because of its cheap cost . Its cost is under these of the synchronous machine because it needs very available and cheap materials as copper steel or alumunium whereas permanent magnet for synchronous rotor needs high ferromagnetic properties (more than 50$/kg)

However the efficiencies are greater for synchronous engines and despite of its more expensive initial cost it’s possible to get back money all along its very log life.

The cost of the design of an induction motor is about 5% of the total price of the needed electricity all along its life.

For a synchronous machine it may be 7 or 8%.more for IE4 class with better efficiencies.

The standard IEC/EN/NF 60034-30-1 : 2014 define four classes IE whose the best one is IE4 dedicated to synchronous machines.

Following this approach it’s not evident to conclude.

Mainly if the speed is maintained constant the best choice remains the induction way because of it’s possibility to obtain an high torque at starting point.

My guess, however, is that we will see both induction and brushless machines for many years to come .

Wally Rippel , principal power electronic engineer TESLA juanuary 2007

Pow Unlike the DC brushless rotor, the induction rotor has no magnets – just stacked steel laminations with buried peripheral conductors that form a “shorted structure.” Currents flowing in the stator windings produce a rotating magnetic field that enters the rotor. In turn, the frequency of this magnetic field as “seen” by the rotor is equal to the difference between the applied electrical frequency and the rotational “frequency” of the rotor itself. Accordingly, an induced voltage exists across the shorted structure that is proportionate to this speed difference between the rotor and electrical frequency. In response to this voltage, currents are produced within the rotor conductors that are approximately proportionate to the voltage, hence the speed difference. Finally, these currents interact with the original magnetic field to produce forces – a component of which is the desired rotor torquer Electronics Engineer

When a 3-phase induction motor is connected to utility type 3-phase power, torque is produced at the outset; the motor has the ability to start under load. No inverter is needed. (Were an inverter needed, Tesla’s invention would have been useless until sometime in the 1960s.) The fact that induction motors are directly compatible with conventional utility power is the main reason for their success. In contrast, a brushless DC motor produces no starting torque when directly connected to fixed frequency utility power. They really need the aid of an inverter whose “phase” is maintained in step with the angular position of the rotor.

While 3-phase induction motors have great utility, they also have some severe limitations. They cannot operate from DC; AC is a must. Shaft speed is proportionate to line frequency. Hence, when used with utility power, they are constant speed machines. Finally, when operated from utility power, they have limited starting torque and somewhat limited running peak torque capabilities, when compared to DC type machines.

Add an inverter (without any feedback control) and it becomes possible to power an induction machine from a battery or other DC source; variable speed also becomes possible simply by adjusting the inverter frequency. Still, torque performance is low compared with DC machines. Add some feedback loops such that the inverter produces the exact frequency that the motor “desires,” and the induction motor is now capable of competing with DC and DC brushless for vehicle applications



**MACHINES D’INDUCTION POLYPHASEES :**

**Modélisations et schémas équivalents**

**1MAS sans courant magnétisant:**

 **I1 I2**



**2 Machine asynchrone schéma complet :**

prise en compte du courant magnétisant.



**3 Machine asynchrone : hypothèse de la chute de tension série liée à I10 négligeable :**

****

**4 éléments du rotor vus au stator :**

Schéma équivalent simplifié

On néglige les éléments du stator



**jLFω**

**Rf**

****

Maille stator rotor

**I1 I10 I’1**

**jLf1ω**

****

 ****



 **R1 **

**jLFω**

**jLFω**

**Rf**

**Machines d’induction polyphasées**

**Identification du schéma équivalent simplifié**

**Essai à glissement nul:**

objectif : obtenir les éléments équivalents à la maille du stator.

Schéma équivalent pour cette hypothèse :



Figure 1

**Essai à rotor bloqué et tension réduite:**

**Objectif** : Obtenir les éléments équivalents au rotor.

**Moyen** : Valoriser la maile du rotor en effectuant un essai à forte valeur de g (g=1).

**Contrainte** : Réduire la tension à une valeur V1R  telle que le courant par enroulement soit de l’ordre de la valeur nominale**.**

****

Figure 2

**Schéma de câblage complet nécessaire à ces 2 essais** :



 Figure 3

**Machines d’induction polyphasées**

**Identification du schéma équivalent simplifié**

**Obtention de la valeur efficace I1’de la maille du rotor vue au stator** :

Les relations exprimées plus haut font apparaître la valeur efficace du courant I’1.

Cette avaleur peut être obtenue facilement par le tracé de Fresnel des intensités

Il est nécessaire de se doter d’une échelle, des intensités.

**I1R= I’1r + I10r**

**Sont connus** :

La valeur efficace de I1R ainsi que son déphasage ϕ par rapport à la tension V1r par sa mesure.

La valeur efficace du courant à vide I10r  et son déphasage ϕ10 par le calcul si l’essai à g nul a été réalisé avant.

**Construction vectorielle** :

****

I10r

 Figure 4

**Bilan de puissance en moteur :**

** Figure 5**



**Etablissement de la formule du couple électromagnétique en fonction du glissement**

**1 Calcul du couple à partir du schéma équivalent :**

Le calcul repose sur la relation de la puissance transmise **PTR** au rotor par le jeu du champ magnétique commun au rotor et au stator à la vitesse de synchronisme **ΩS** qui introduit le couple électromagnétique **TE** tel que**:**



le schéma équivalent simplifié propose sa représentation électrique :



Ce qui fournit :

**2 Développement :**

Def (g)= soit Def de la vitesse du rotor Ω : 

Fonction impaire car  donc symétrique du point g=0

Etude limitée au domaine 

Limites quand g tend vers de fortes valeurs le couple décroit

Recherche des extrema de la fonction

 où 

Calcul de pour g0 = 

 -g0 0 +g0

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| D’ >0  | 0 <0  | <0  | 0 >0 |
| D(g) croissant |  Décrois | sant | croissant |
| TE(g) décroissant |  crois | sant  | décroissant |
|  |  |  |  |

Avec 

**Etablissement de la formule du couple électromagnétique en fonction du glissement**

**3 Exploitation de la caractéristique mécanique :**

**TE**



g0

g

1

2

0

gn

-

- g0

-1

-2

**Ωr**

2Ωs

Ωs

0

-Ωs

Pm< 0

Pm > 0

Pm < 0

Pm = TEΩr

Caractéristique mécanique

Génératrice hypersynchrone

Moteur

**Stable** instable

**frein**

Tn

****

**Rque 1 :**

g négatif signifie ΩR >ΩS

**le rotor tourne plus vite que le champ magnétique !!!!**

**Il tire le champ magnétique**

**Rque 2** :

Pm=TE. ΩR devient négative**la MAS devient génératrice cas des éoliennes**

**Rque 3 :**

**g= 1** correspond àΩR nulle donc au démarrage

**Rque 4 : discussion sur g**

**g>1 ΩR est négative dans le sens inverse du champ , Pm est négative c’est un frein.g restant positif il n’ya pas réversibilité d’énergie vers le réseau.**

**Rque 5 0<g<1 la MAS devient moteur**

**g0<g<1 La caractéristique moteur est instable car la dérivée du couple est <0**

**Rque 6 0<g<g0 La caractéristique moteur est stable car la dérivée du couple est >0 ,on peut linéariser en posant g<g0 donc (g<<g0)2**

**Cas du glissement inférieur à g0 (g<<R2/L2ω)2**

**Exploitation de la formule du couple électromagnétique en fonction du glissement**

D’où



La pente est réglable **par R2 voir les rotors bobinés**

**3.2 Exploitation graphique : **

Quand R2 augmente

g ΩS ΩR

TE TE

****

TR

 Ancien mode d’action sur la vitesse

**3.3 Considérations énergétiques :**

**g.TEΩS** est la surface construite sur le point de fonctionnement

mais c’est également les pertes joule au rotor

**Pertes Joule B > Pertes joule 1**

**TE**



g0

g

1

2

0

gn

**A**

**B**

Dans l’utilisation en frein les pertes élevées interdisent une répétition de fréquence élevée ou un maintien.

Pour g valant 2 c’est un frein brutal.

Pour g=1 , réduire également les démarrages directs sur le réseau.

Donc dans les 2 cas pertes joule augmentées donc rendement réduits

**La variation de vitesse Ωs(>1990) va apporter des solutions**

**Exploitation de la formule du couple électromagnétique en fonction du glissement**

**3.4 Variation de vitesse sous l’hypothèse de l’approximation linéaire :**



Ainsi 

Cette loi est dite **scalaire**

Pour faire varier le vitesse on agit sur la fréquence du réseau ce qui impose un convertisseur (AC/AC) entre le réseau réel et la machine.

Celui-ci réalise la variation de la tension efficace et celle de la fréquence simultanément.

Def F = {0,Fmax }

Ainsi def ΩS = { 0 , ΩSmax}

Alors on peut démarrer la machine avec progressivité avec un glissement qui reste modeste donc les pertes joule

également.

AC

 AC

TRI 400V

F

Sous l’hypothèse de

L’approximation linéaire et si

 A est une constante :



0 ΩS1 ΩS2 ΩS3 ΩR

TE F1F2 F3

**Utilisation de la machine asynchrone**

1. **Utilisation de la machine sur le réseau en direct :**

**premier niveau d’utilisation/**

 **4.1 Cas des courants de démarrage**

Calcul des courants au stator





**jLFω**

**Rf**

****

Maille stator rotor

**I1 I10 I’1**

Cette expression fournit une allure monotone décroissante du courant.



I10

ID

**Rotor à cage : ID = 5 à 7 In** le démarrage en direct sur le réseau est possible s’il

**Rotor bobiné : ID = 8 à 10 In** bref et si celui-ci le supporte

On peut réduire ID en réduisant la tension par exemple en alternant le mode de couplage

**2**

0 ΩS ΩR

**ID**

**ID/**

1

Principe :

1 V1 =V

2 V1 = U

