

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

1. GENERALITES

Le moteur asynchrone est la machine tournante la plus couramment employée dans l'industrie à cause de sa simplicité de construction et d'entretien qui en font la machine la plus économique.

Toutefois, elle est exclue de certaines applications, car elle ne peut donner en général qu'une seule vitesse de rotation dans des conditions économiques.

On a pour remédier à ce défaut cherché à faire du moteur asynchrone une machine à plusieurs vitesses ; la vitesse de synchronisme étant donnée par :

$$N \text{ tr / mn} = \frac{60 \times F}{P}$$

- où F est la fréquence du réseau en Hertz
- et P le nombre de paires de pôles de la machine

On voit que la fréquence du réseau étant fixée, on ne peut agir que sur le nombre de pôles pour avoir plusieurs vitesses disponibles ; on a donc construit des moteurs asynchrones dont les encoches stator reçoivent deux bobinages de deux polarités différentes, ce qui entraîne un surdimensionnement important par rapport à la machine à une seule polarité de même puissance, puisque l'un des bobinages est inutilisé quand l'autre est sous tension.

En 1897 Dahlander a conçu un schéma permettant d'obtenir deux polarités dans le rapport de 1 à 2 avec un seul bobinage en changeant le sens du courant dans une partie du bobinage.

On voit par exemple sur les figures 1 et 2 comment en inversant le sens du courant dans la partie A2 et A'2 du bobinage on inverse le sens du courant dans deux bobines sur quatre et, par conséquent, la polarité de ces bobines.

On voit que finalement, on a 8 pôles sur la figure 1 et quatre pôles sur la figure 2.

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

Le couplage entre les six demi-phases telles que A1 A'1 et A2 A'2 peut se faire de différentes façons de manière à obtenir le rapport de flux voulu sur les deux polarités en utilisant les différentes connexions possibles : série ou parallèle des deux demi-phases et étoile ou triangle de l'ensemble des trois phases. On pourrait, par exemple, faire pour le 8 pôles : triangle, série et pour le 4 pôles : étoile, deux circuits en parallèle comme représenté aux figures 3 et 4, on voit qu'on a besoin de sortir uniquement les points A'2 A1 ; B'2 B1 ; C'2 C1 ; et C'1 A2 ; B'1 B2 ; B'1 C2 soit 6 bornes en tout.

Ce schéma de Dahlander resta longtemps le seul utilisé ; les moteurs dont le rapport de vitesse n'était pas de 1 à 2 continuant à être construits avec deux bobinages ce qui limitait leur emploi économique étant donné le surdimensionnement et le prix le plus élevé de tels moteurs.

En 1957, le professeur G.H. Rawcliffe de l'Université de Bristol en Grande Bretagne commença à mettre au point une méthode appelée en abrégé P.A.M. et dont la traduction française peut être Pôles à Amplitude Modulée, elle permet d'obtenir le même résultat que le schéma Dahlander, mais cette fois, pour presque n'importe quel rapport des polarités.

2. PRINCIPES DES BOBINAGES P.A.M.

Ce procédé qui fit l'objet d'un certain nombre de publications du Professeur Rawcliffe ou de ses assistants de 1958 à 1965 est couvert par des brevets pris par la N.R.D.C. (National Research Development Corporation) qui accorde également des licences. Jeumont-Schneider a acquis le droit d'exploiter ces licences et peut par conséquent, construire des machines asynchrones à deux vitesses suivant les procédés P.A.M. sans aucune limitation de puissance.

Pour comprendre le fonctionnement d'un moteur à bobinage P.A.M., reprenons la figure 2 en connectant différemment les quatre bobines mais en gardant les sens du courant donc les polarités ; ceci est représenté sur la figure 5 ; si maintenant nous inversons encore une demi-phase ce qui est représenté sur la figure 6, nous voyons que nous avons maintenant 6 pôles, les pôles représentés ici ne sont pas égaux car nous n'avons représenté qu'une phase, mais la combinaison des trois phases donnera finalement 6 pôles réguliers.

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

Les figures 7 et 8 donnent un exemple d'un schéma pour 8/10 pôles avec 36 encoches.

Si p et q sont les nombres de paires de pôles des deux polarités, ceci peut se traduire analytiquement par l'équation trigonométrique suivante :

$$A \times \cos 2p \omega t \times \cos 2(p-q) \omega t = \frac{A \times \cos 2q \omega t + A \times \cos 2(2p - q) \omega t}{2}$$

Le bobinage à $2p$ pôles donne dans l'entrefer une courbe de champ sinusoïdale de la forme $A \cos 2p \omega t$; modulée par une « onde de modulation » à $2(p - q)$ pôles de la forme $\cos 2(p - q)\omega t$, elle donne deux courbes de champ dans l'entrefer ; une a $2q$ pôles qui est celle que nous cherchons et l'autre a $2(2p - q)$ pôles qui sera étouffée par la disposition du bobinage.

3. FONCTIONNEMENT DU MOTEUR P.A.M.

Il ne faut pas oublier que l'on passe pratiquement de la polarité « modulée » à la polarité « non modulée » en inversant seulement le sens de circulation du courant dans une moitié du bobinage, mais la théorie de l'onde de modulation permet de déterminer les bobines qui doivent figurer dans chaque moitié de chaque phase.

Avec les méthodes P.A.M. on peut pour à peu près n'importe quel rapport de polarités prévoir le bobinage qui permettra d'avoir deux polarités voulues avec une teneur minimum en harmoniques de distribution. Il existe pratiquement toujours plusieurs solutions possibles pour un nombre d'encoches donné et les teneurs en harmoniques auxquelles on arrive sont du même ordre de grandeur et parfois inférieures à ce que l'on obtient avec un bobinage normal à une seule vitesse. Il résulte qu'aussi bien au point de vue creux dans la courbe de couple pouvant conduire au rampage, que bruit on se trouve au pire dans les mêmes conditions qu'un moteur normal à une seule vitesse.

Le choix entre les différentes solutions possibles se fait en tenant compte des rapports souhaitables des coefficients de bobinage sur les deux polarités pour obtenir avec de bonnes caractéristiques les puissances demandées à chacune des deux vitesses, tout en considérant les teneurs en harmoniques qui sont calculées à l'aide d'un calculateur électronique pour chacun des schémas possibles.

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

Le fait que la distribution des conducteurs à laquelle on arrive est différente de la distribution que l'on rencontre sur un moteur normal à une vitesse (voir figures 7 et 8) conduit à un coefficient de bobinage plus petit que celui de la machine mono vitesse, cette minoration pouvant varier environ entre 3 et 25% ; ceci conduit à diminuer à peu près dans le même rapport les puissances, mais on peut s'arranger pour avoir le plus grand coefficient de bobinage sur la polarité qui détermine la dimension de la machine ainsi la minoration de puissance où, à puissance égale, le surdimensionnement sera finalement de l'ordre de 3 à 10%

Prenons l'exemple d'un moteur

1000 kW	1500 tr /mn
300 kW	1000 tr/mn

Pour les moteurs à une seule vitesse, c'est le 1000 kW, 1500 tr/mn qui serait le plus gros que le 300 kW à 1000 tr/mn, c'est donc lui qui dimensionne la machine et si on doit à cause du coefficient de bobinage sur cette polarité surdimensionner par exemple, de 10%, il faudra prendre dans le catalogue un moteur de 1100 kW à 1500 tr/mn pour avoir un dimensionnement du moteur à deux vitesses demandé.

Une difficulté existe pour les moteurs de faible puissance à 5500 V. En effet, pour ne pas avoir un nombre trop important de bornes (8,9 ou 12) et en rester à 6, il faut sur une des deux polarités avoir deux circuits en parallèle ; ce qui revient à doubler le nombre de conducteurs par encoche et à avoir des conducteurs plus petits, donc plus de place prise par l'isolement et un surdimensionnement pour les plus petites puissances, chaque fois que cela est possible, de passer à une tension plus basse.

Les deux polarités étant obtenues par une distribution particulière des bobines de chaque phase sous chaque pôle, ce sont donc seulement les connexions entre bobines qui présentent une particularité par rapport à un moteur à une seule vitesse, les bobines étant tout à fait semblables à celles d'une machine normale et en particulier toutes identiques sur une même machine ; par conséquent, les possibilités de réparation en cas d'incident sur le bobinage restent les mêmes que sur un moteur à une seule vitesse, qu'il s'agisse du remplacement de tout le bobinage, seul le schéma des connexions est particulier mais peut toujours être relevé en cours de débobinage partiel ou total.

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

Les bobines étant normales, il est bien évident que toutes les isolations normalement employées peuvent être utilisées ici, en particulier l'imprégnation globale époxy mise en œuvre par Jeumont-Schneider et dont on connaît les performances de tenues mécaniques et aux différentes agressions physiques et chimiques auxquelles un bobinage peut être soumis.

4. EMPLOI DES MOTEURS P.A.M.

Les licenciés anglais du N.R.D.C. qui construisent des moteurs P.A.M. depuis plusieurs années ont déjà livré plus de 300 moteurs à cage et une vingtaine de moteurs à bagues, on peut citer, à titre d'exemple, parmi les unités construites :

Moteur de ventilateur	336 HP à 1000 tr/mn
	148 HP à 750 tr/mn
Moteur de ventilateur	840 HP à 750 tr/mn
	450 HP à 600 tr/mn
Moteur de ventilateur	2830 HP à 600 tr/mn
	1720 HP à 500 tr/mn
Moteur de série à billettes	35 HP à 1500 tr/mn
	8,75 HP à 375 tr/mn

En résumé, avec un moteur P.A.M. on a deux vitesses avec seulement un léger surdimensionnement par rapport au moteur à une seule vitesse le plus gros des deux si on employait deux moteurs à une vitesse.

On a un seul bobinage avec des bobines de construction normale, donc même facilités de réparation qu'avec un moteur à une vitesse, alors qu'avec un moteur à deux bobinages, la réparation peut être très onéreuse quand elle se rapporte au bobinage de fond d'encoche.

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

Les caractéristiques de rendement et $\cos \varnothing$ sont presque identiques à celles du moteur à une seule vitesse correspondante et cela pour les deux polarités.

Dans la plupart des cas, on a seulement six bornes de sortie.

Les problèmes de bruit ne sont pas différents de ceux d'un moteur à une seule vitesse.

Les moteurs peuvent être construits pour à peu près n'importe quel rapport de vitesses et de puissances, certains rapports étant plus faciles à réaliser que d'autres. Par exemple, il est plus facile de faire 4/22 pôles que 4/20 pôles.

Comme pour tout moteur à deux vitesses, lors du changement de polarité, une temporisation de l'ordre de la seconde est généralement nécessaire entre l'ouverture d'une polarité et la fermeture de l'autre.

Ce genre de moteur peut être employé toutes les fois que l'on a besoin de deux vitesses de fonctionnement ; il faut réexaminer en particulier, les solutions où un moteur à deux vitesses à deux bobinages n'était pas intéressant économiquement, cette solution pouvant devenir très intéressante étant donné le prix, l'encombrement et le poids plus faible du moteur P.A.M. par rapport au moteur de deux bobinages.

En particulier pour une pompe ou un ventilateur, chaque fois que l'on a besoin de deux fonctionnements différents en débit ou pression, l'emploi d'un tel moteur est intéressant. Ces moteurs peuvent également être employés pour tout ce qui est levage ou extraction, ainsi que pour les commandes des différentes machines : machines – outils, scies, cisailles, mélangeurs à caoutchouc, malaxeurs, où deux vitesses sont nécessaires suivant le produit travaillé.

D'une façon générale, partout où deux régimes de marche sont nécessaires, le moteur P.A.M. apportera une solution économique.

On peut être certain que cette invention, la plus importante depuis longtemps dans le domaine des moteurs asynchrones, a devant elle un très grand champ d'application.

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

5. BIBLIOGRAPHIE

	→ 1.209.691
	→ 1.233.769
<u>Brevets français numéros :</u>	→ 1.300.368
	→ 1.421.221
	→ 1.360.886

- Proceedings of I.E.E. volume 112 n°10 – October 1965 : Two speed inducting motors using fractionnal – shot winding by Professor G.H. Rawcliffe and Dr W. Fong.
- Proceedings of I.E.E. volume 112 n°7 – July 1965 – Wide ratio two speed single winding induction motors by Dr Fong.

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

Figure 1	Figure 2
Figure 3	Figure 4
Figure 5	Figure 6

MOTEURS ASYNCHRONES A DEUX VITESSES

A BOBINAGES P.A.M.

Les sens des courants sont représentés au moment où le courant est nul dans la phase bleue et où ils sont égaux en grandeur et de sens opposés dans la phase blanche et dans la phase rouge.

Les points représentent la pointe des flèches et les croix l'arrière des flèches.