

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

**MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE
A CAGE D'ECUREUIL**

**MOD.X040 et MOD.X040-4
(Machines à 2 et à 4 pôles)**

**MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE
A BAGUES**

**MOD.X050 et MOD.X050-4
(machines à 2 et à 4 pôles)**

MANUEL AVEC NOTICES TECHNIQUES



**COMPANY
WITH QUALITY SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
=ISO 9001/2000=**

italtec srl - Technical Training Systems

Via privata Liguria 3

20090 FIZZONASCO - MILANO - ITALY

Tel +39 02 90 721 606 Fax +39 02 90 720 227.

e-mail italtec@italtec.it <http://www.italtec.it>

COPYRIGHT NOTICE

Tout droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, photocopiée ou archivée dans des systèmes d'écriture ou transmise sous toute forme et par tout moyen électronique, mécanique ou enregistré par d'autre moyen, sans notre préalable autorisation écrite

FRX040MN-07

Rev.1 <> 20-02-2007

Made in Italy

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

**LES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES
A CAGE ET A BAGUES**

Moteur à cage: données techniques - bornes - généralités
Moteur à bagues: données techniques - bornes- généralités
Observation des Bagues.

Couplages triangle et étoile - fonctionnement

Détermination du sens de rotation

MESURE DE LA RESISTANCE DES ENROULEMENTS

MESURE DU RAPPORT DE TRANSFORMATION

MESURE DE L'ECOULEMENT

Méthode de mesure de la vitesse

Méthode de mesure de la fréquence rotorique

Méthode stroboscopique

ESSAI DIRECT

Circuit et opération de mesure

Caractéristiques

ESSAI A VIDE

Circuit et opérations de mesure

Caractéristiques

Séparation des pertes dans le fer et pertes mécaniques

ESSAI EN COURT CIRCUIT

Circuit et opérations de mesure

Caractéristiques

Pertes additionnelles

DETERMINATION DES ELEMENTS POUR LE DIAGRAMME, CIRCULAIRE

Report des grandeurs A 75°C

Evaluation des courants

LE DIAGRAMME CIRCULAIRE

Traçage du diagramme

Lecture du diagramme et lignes fondamentales

Caractéristiques

DETERMINATION DU RENDEMENT CONVENTIONNEL

**MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES**

**RECOMMANDATIONS POUR UN FONCTIONNEMENT
SUR ET EFFICACE**

Pour opérer en toute sécurité et obtenir de bons résultats il faut rappeler:

**ATTENTION - HAUTE TENSION
PRESENTE AUX BORNES**

**MANIEZ LES MACHINES AVEC ATTENTION ET
PRUDENCE**

- 1) Tous les exercices doivent prévoir une connexion à la terre
- 2) Toutes les connexions doivent être exécutées avant d'alimenter le circuit
- 3) Après avoir terminé les connexions aucun câble ne doit être laissé avec une extrémité libre; dans ce cas vous êtes sûrement en présence d'un mauvais branchement et il faut contrôler le circuit.
- 4) Aucune connexion ne doit être débranchée pendant l'essai
- 5) L'éventuelle observation des balais des machines en CC ou des bagues se fera là machine arrêtée et déconnectée.
- 6) L'accouplement de deux machines se fera à l'arrêt des machines
- 7) Suivre toujours la procédure conseillée pour chaque expérience
- 8) Ne pas effectuer de modifications pendant les expériences sans demander l'approbation du professeur

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL

Données Techniques - Bornes - Généralités

Données techniques

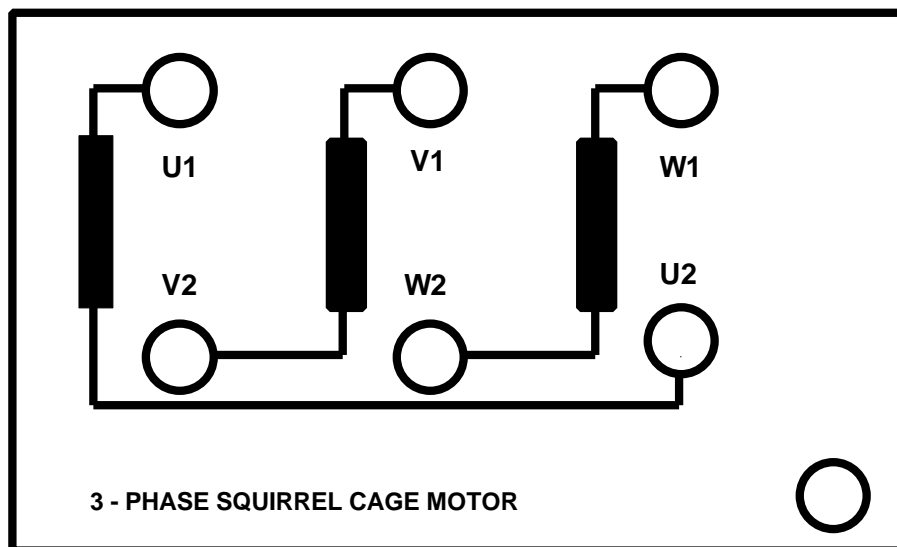
Reporter les données de la plaquette montée sur la machine

Puissance:	_____kW	Vitesse:	_____tr/min
Tension:	_____V	Courant:	_____A

BORNES

Chaque phase du stator est à connexion indépendante - ce qui permet le couplage étoile et triangle

U1-U2, V1-V2, W1-W2; sont les extrémités des enroulements statoriques



Borne répétitive du moteur asynchrone triphasé à cage

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

GENERALITES

Le moteur asynchrone à cage est le type de moteur le plus utilisé. Il est aussi connu comme étant un moteur à champ tournant dont la vitesse n'est pas rigoureusement constante mais varie avec des valeurs assez contenues.

Par rapport au moteur synchrone les variations doivent être dans l'ordre de 3-10%

Les moteurs synchrones à induction fonctionnent selon le principe du champ tournant; ils sont très simples et, surtout pour les petites puissances, de construction facile. ils sont - donc très courants et assez économiques.

Ils sont constitués par une partie fixe, appelée stator qui est formé d'un nombre de bagues en tôles fines de silicium, empaquetées ensemble, et dans lesquels il y a des encoches où sont logés les enroulements, (un pour chaque phase), le courant d'alimentation circule dans ces enroulements

Les trois courants, déphasés entre eux de 120° électriques créent un champ magnétique dont le module est constant mais dont la direction tourne dans le temps décrivant un angle de 360° électriques pour chaque période.

Si l'enroulement statorique contient seulement trois bobines de phase, le champ tournant, dans une période, effectue un tour de rotation (moteur à deux pôles) au contraire si l'enroulement est subdivisé en deux bobines qui se succèdent le long de la périphérie du stator pour chaque période, le champ magnétique décrit seulement un demi-tour (moteur à 4 pôles) et on peut ainsi avoir des moteurs à 6, 8, 10, 12, 24 pôles.

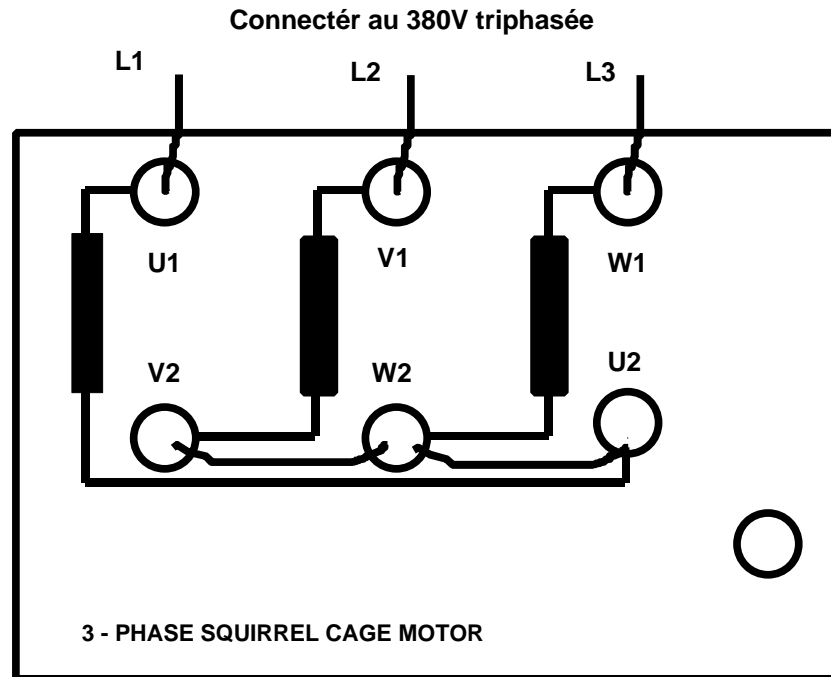
A l'intérieur du stator est placé le rotor qui est la partie tournante. il est constitué par un noyau cylindrique de tôles fines magnétiques à l'extérieur desquelles il y a des rainures où s'insèrent des barres de matériel conducteur comme le cuivre ou l'aluminium qui sont connectées les unes aux autres de façon à former un circuit fermé avec lequel s'enchaîne le champ magnétique.

A la mise en marche, quand le moteur est encore arrêté les spires des enroulements sont parcourues par la variation maximale du flux qui produit une f.e.m. laquelle, selon la loi de Lenz, fait circuler un courant qui fera tourner le rotor dans le même sens que celui du champ tournant.

La vitesse du rotor sera toujours inférieure à celle du synchronisme (ou du champ tournant) à cause de la variation du flux enchaîné.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Les enroulements du stator sont alimentés, directement par le réseau comme sous indiqué. Ce moteur, donne de petite puissance, il peut être mis en marche étant connecté- directement au réseau 380V (couplage étoile) ou au 220V (couplage triangle).



Couplage étoile (380V) du moteur asynchrone à cage

Il peut être mis en marche lentement en l'alimentant avec une tension graduellement croissante

(Par le variateur de tension triphasé prévu dans notre alimentateur)

Il peut être mis en marche par le rhéostat de démarrage statorique pour limiter le courant d'apoint, cette méthode est employée normalement pour les moteurs de grande puissance, (plus de 2 kW)

Pour les plus grandes puissances, (plus de 25 kW) il vaut mieux employer les moteurs à bagues.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

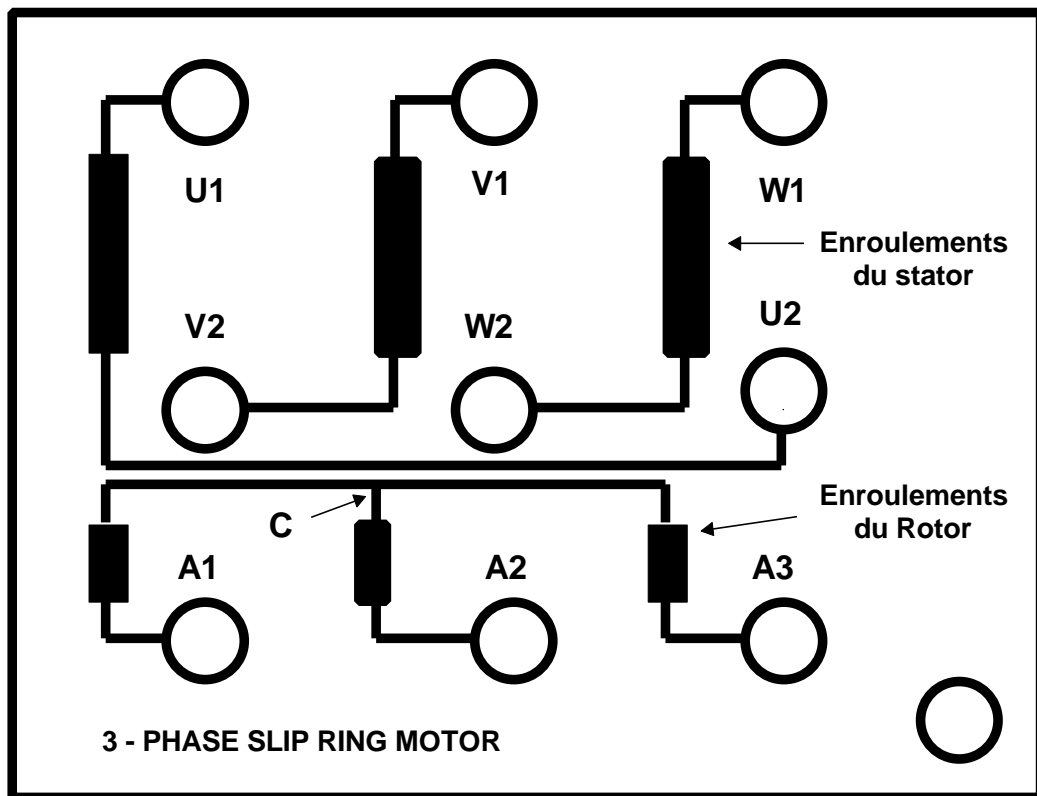
Données techniques - Bornes - Généralisées et observation des bagues

DONNEES TECHNIQUES

Reporter les données de la plaquette montée sur la machine

Puissance:	kW	Vitesse:	tr/min
Tension:	V	Courant:	A

La borne du Mod. x050 se présente comme suit



U1-U2, V1-V2, W1-W2, sont les Enroulements du stator

C-A1, C-A2, C-A3; sont les Enroulements du rotor.

Les enroulements du rotor ne sont identifiés sur la machine par aucune lettre. La raison est que dans les machines industrielles les bagues sont en permanence connectées aux rhéostats de démarrage et dans l'emploi usuelle on n'a pas besoin de les identifier, cependant pour l'emploi didactique on attribue la lettre C pour le commun (centre étoile) et les sigles A1, A2 et A3 pour les trois extrémités correspondantes aux bagues.

Le rotor est de façon permanente connecté en étoile avec l'impossibilité d'accéder au centre (neutre)

**MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES**

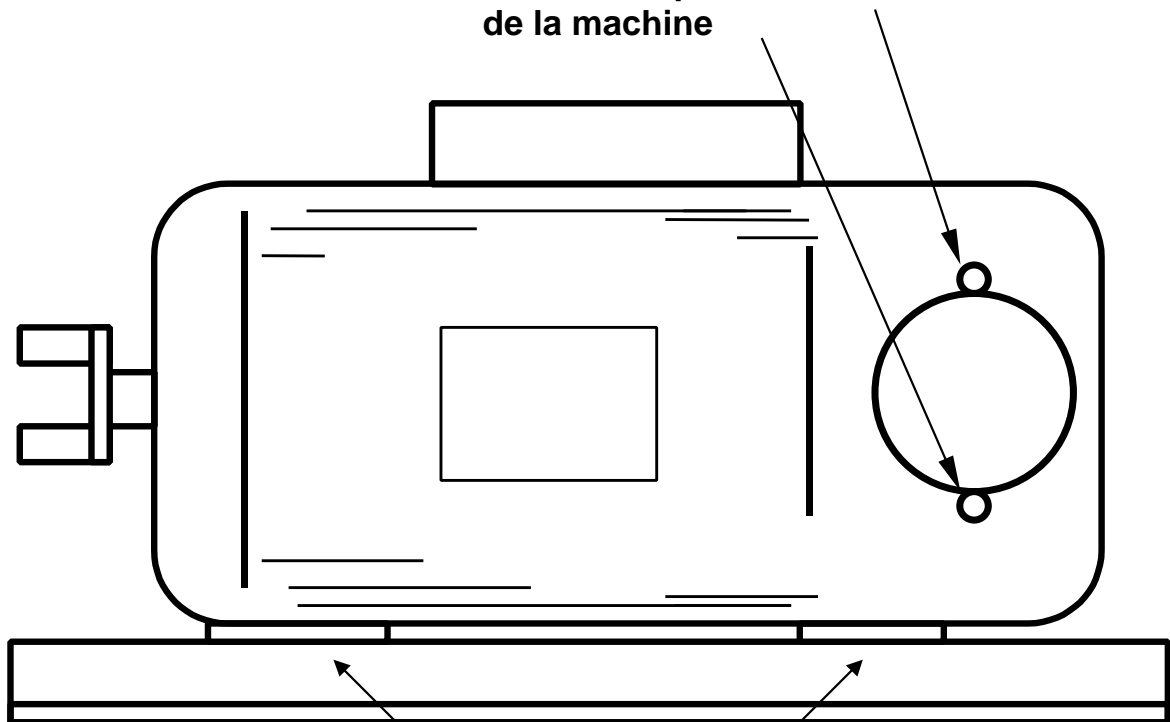
GENERALITEES, EXAMEN DE LA MACHINE ET OBSERVATION DES BAGUES

Par rapport au moteur à cage, la différence est dans la constitution du rotor qui est composé d'un noyau cylindrique en tôles fines magnétiques sur lesquelles il y a des rainures où s'insèrent les enroulements qui sont connectés aux bagues lesquelles sont reliées à des balais en charbon de façon à former un circuit fermé avec lequel s'enchaîne le champ magnétique.

Dans les moteurs de petite puissance, les bagues sont connectées d'habitude en court circuit ; ils peuvent être connectés à un groupe de trois résistances (rhéostat de démarrage rotorique) pour limiter le courant d'appoint et obtenir un démarrage progressif de la machine.

Quand la machine a atteint sa vitesse de fonctionnement le rhéostat est exclu et les bagues sont court-circuitées ! Le moteur fonctionne alors comme un moteur à cage.

4050 En dévissant les ces vis on peut observer l'intérieur de la machine



NOTE IMPORTANTE

Ne desserrer pas les boulons qui fixent la machine à la plaque de base on risque de perdre l'alignement donné par la fabrique.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

COUPLAGE ETOILE ET TRIANGLE - FONCTIONNEMENT

1: Couplage étoile

Effectuer les connexions de la fig.2 et alimenter avec une tension de 380V

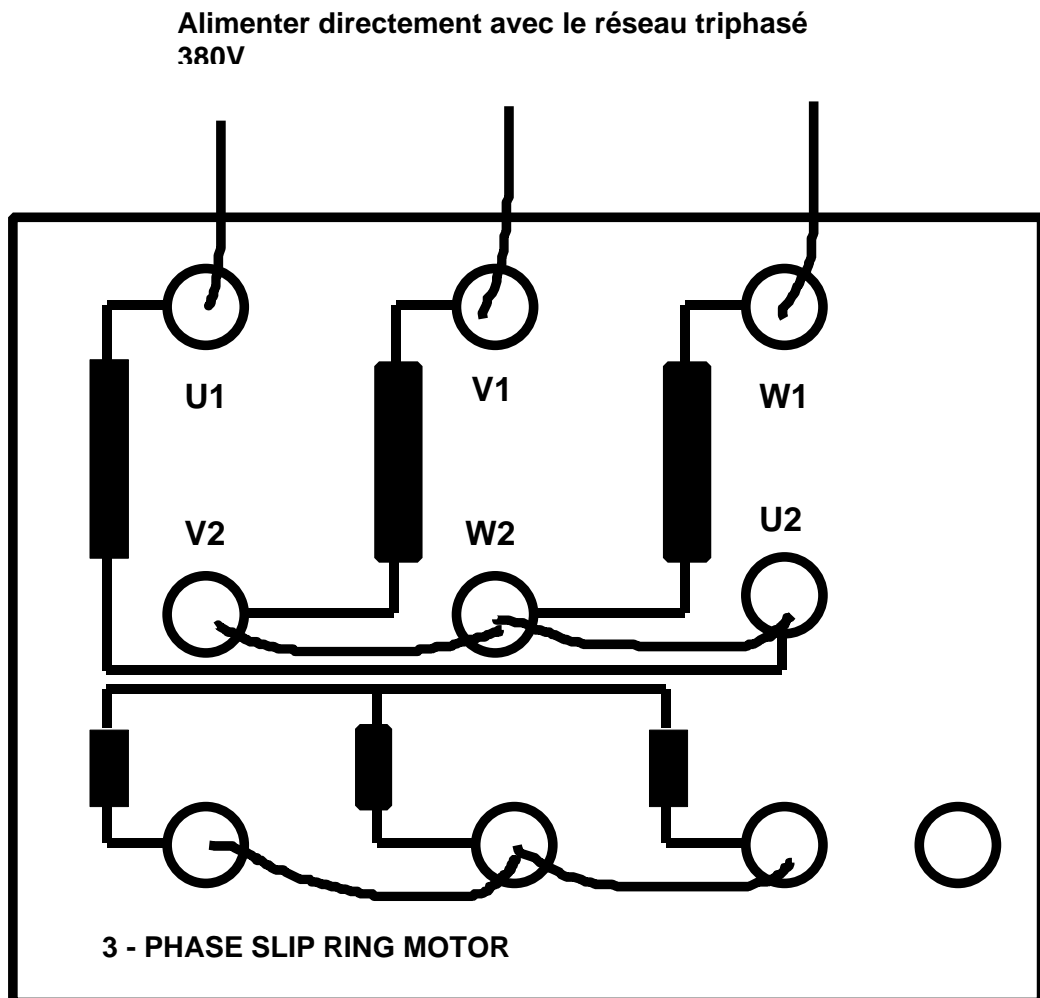


Fig.2 Couplage étoile du moteur asynchrone triphasé à bagues.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

2: Couplage triangle

Effectuer les connexions de la fig.3 et alimenter avec la tension 220V

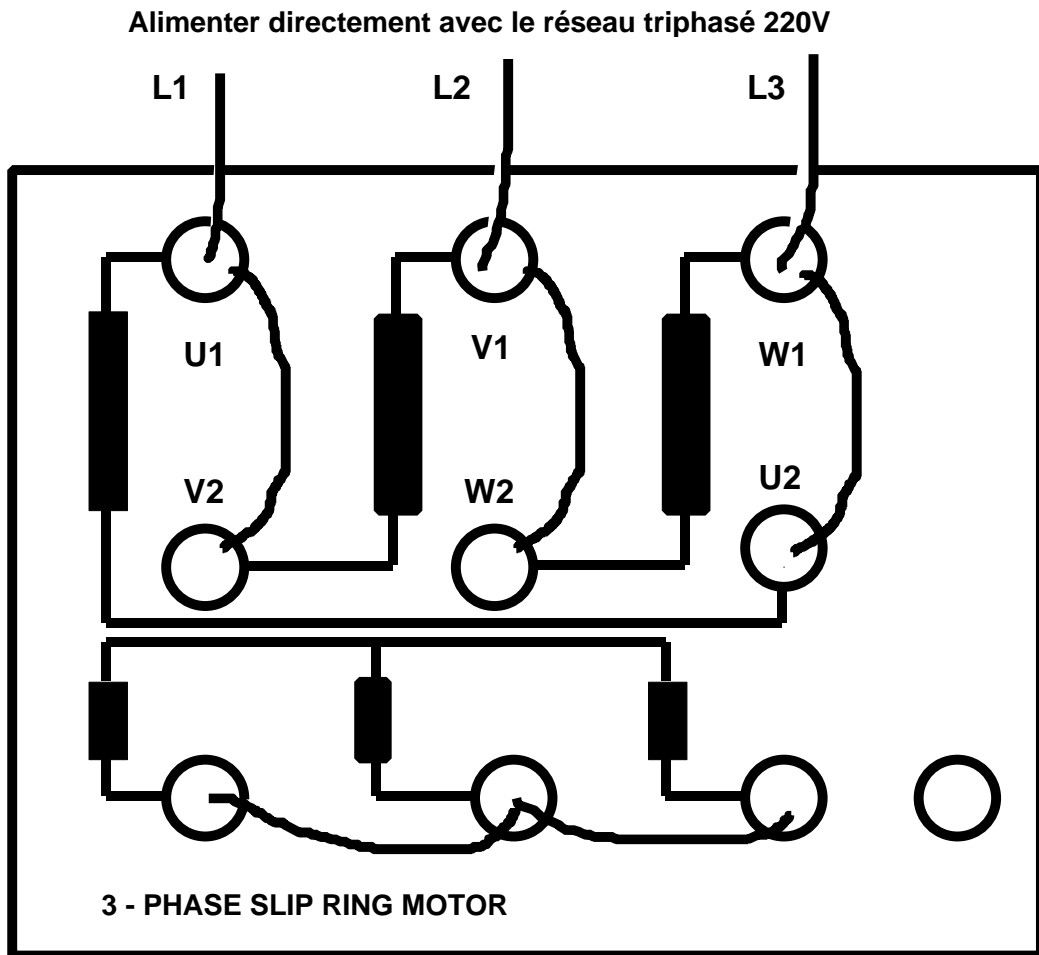
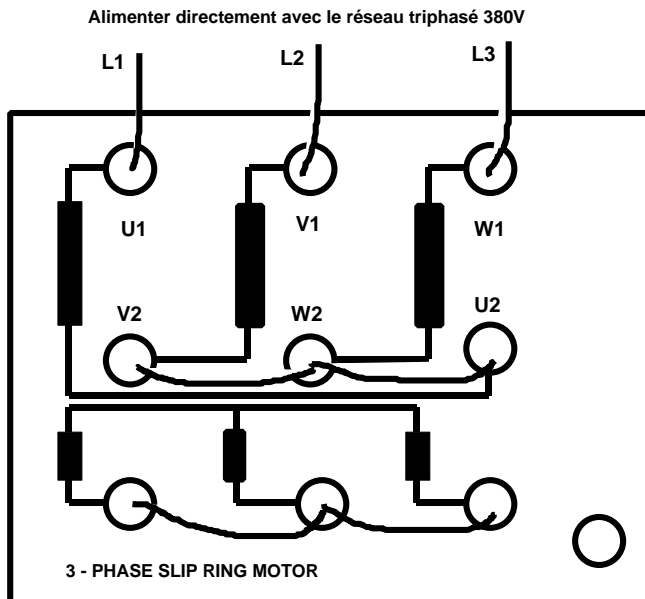


Fig.3 Couplage en triangle du moteur asynchrone triphasé à bagues.

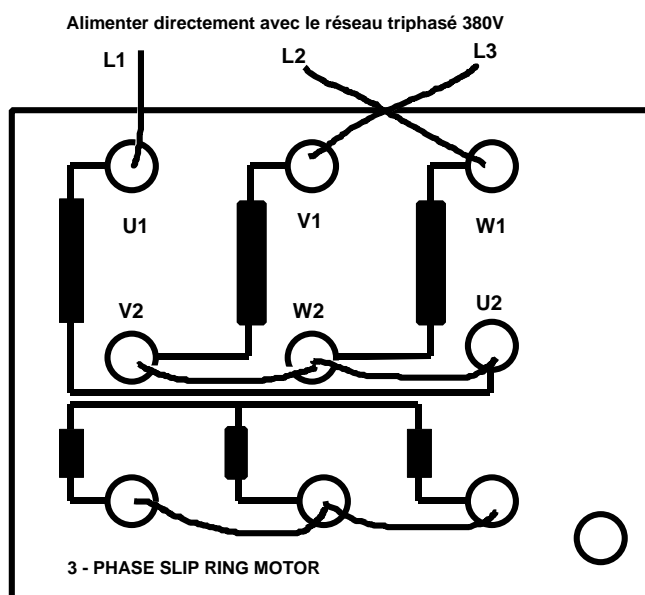
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

DETERMINATION DU SENS DE ROTATION

Réalisez les connexions suivantes et alimentez le moteur, observez maintenant que la rotation est en sens horaire

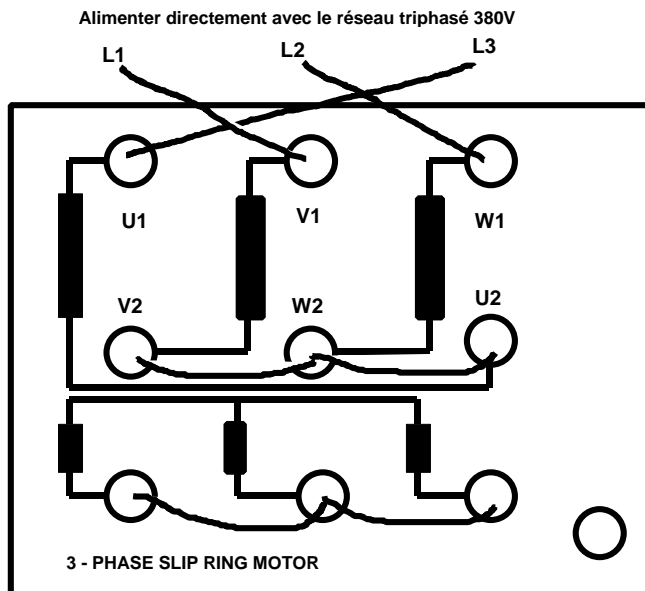


Réalisez les connexions de la figure suivante, alimentez le moteur et observez le sens de rotation notant que la rotation est inverse à celle vue précédemment.



MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Réalisez les connexions de la figure suivante, alimentez le moteur et observez le sens de rotation. Vous remarquerez que la rotation est identique à celle vue dans le premier cas.



CONCLUSIONS

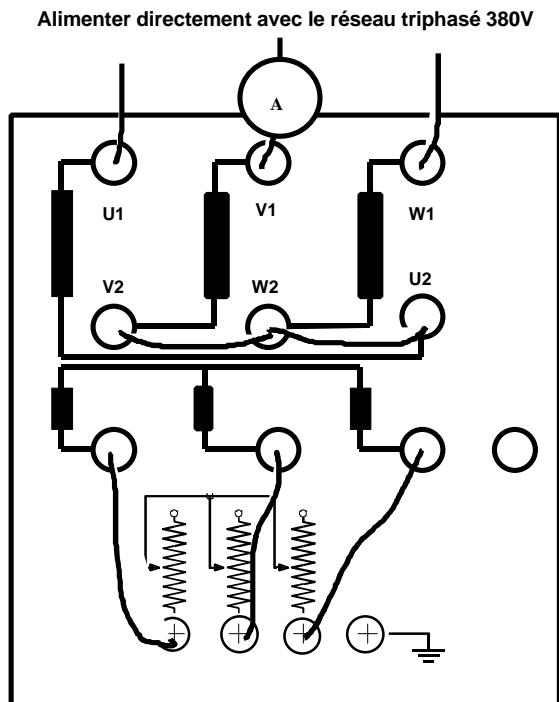
Pour inverser le sens de rotation d'un moteur asynchrone il faut inverser deux phases d'alimentation.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

EXEMPLE DE DEMARRAGE DE MOTEUR AVEC RHEOSTAT DE DEMARRAGE

Comme déjà observé, même les moteurs à bagues de petite puissance peuvent être démarrés, en connectant le moteur directement à l'alimentation avec les bagues en court-circuit. (même procédure utilisée pour les moteurs asynchrones à cage). Dans les moteurs industriels de grande puissance, on emploie un rhéostat de démarrage pour réduire le courant au moment du démarrage.

Après que le moteur est démarré, les bagues sont en court-circuit et le rhéostat de démarrage déconnecté. Pour vérifier l'action du rhéostat de démarrage, connecter le moteur comme illustré plus bas et l'alimenter directement avec tension du réseau 380V et le rhéostat complètement actionné (poignée sur max)



Lisez le pic de courant maximum qu'indiquera l'ampèremètre **A** il sera au moins 10 fois plus grand que le courant nominal.

Modifiez la valeur du rhéostat en excluant lentement le rhéostat. Relevez le courant mesuré par l'ampèremètre **A** et observez qu'en même temps il y a une petite augmentation de la vitesse.

Répétez l'exercice avec le rhéostat de démarrage exclu (bagues en court-circuit) et vérifiez comme le courant maximum relevé par l'ampèremètre **A** est beaucoup plus grand du **I** max obtenu avec le rhéostat inséré.

La procédure décrite au-dessus est indispensable pour les moteurs de grande puissance. Dans tous les exercices contenus dans ce manuel, le moteur démarre avec les bagues en court-circuit et il est alimenté directement par le réseau. Notez que la présence du rhéostat de démarrage permet aussi d'obtenir une certaine variation de vitesse pour ce type de moteur.

Si on désirait un démarrage graduel, et on dispose de la chaire d'alimentation de notre production, conseillée pour la série de machines EMMS, alimenter le moteur avec la sortie triphasée variable prévue pour la chaire conseillée.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

MESURE DE LA RESISTANCE INTERIEURE

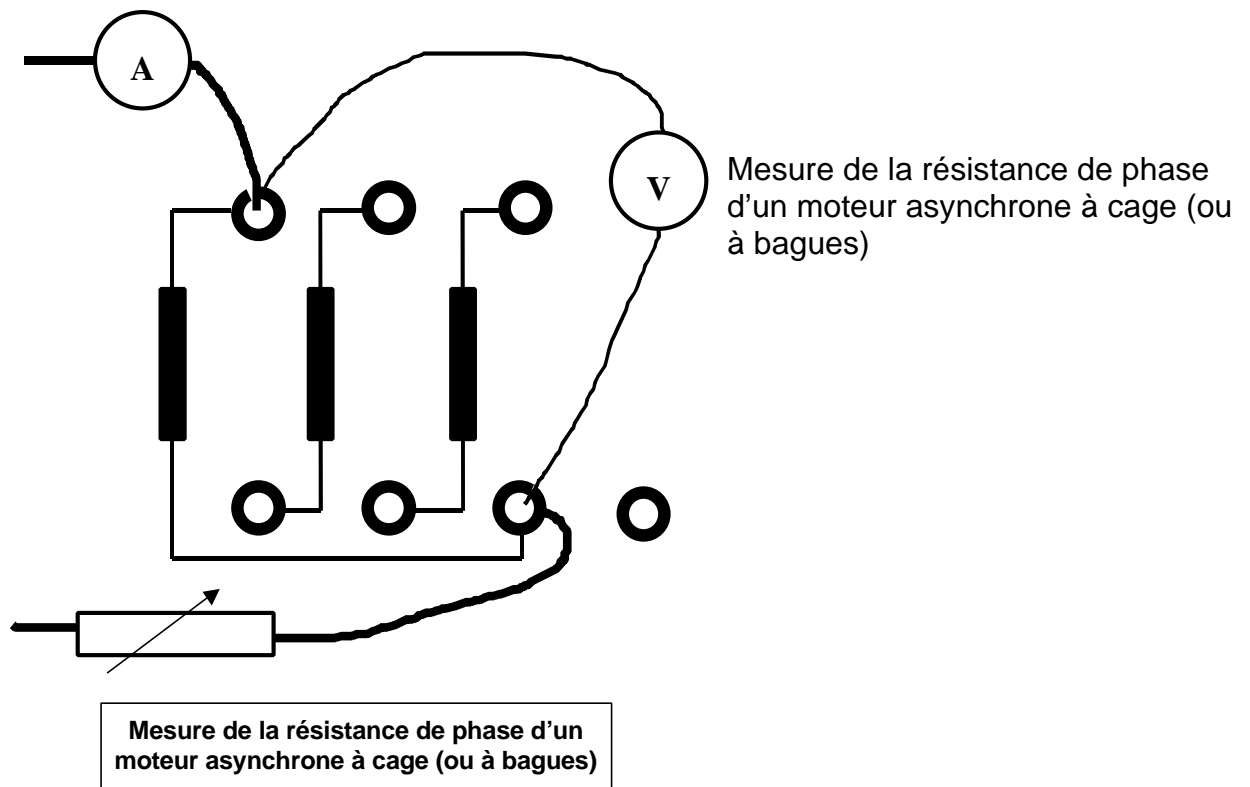
La résistance intérieure d'un moteur asynchrone peut être mesurée grâce à la méthode volt ampèrométrique en courant continu. Il faut prendre les précautions suivantes:

- Connecter le voltmètre en à val de l'ampèremètre et directement aux bornes de la machine;
- Le courant de mesure doit être sensiblement inférieur au nominal pour ne pas réchauffer les enroulements.

La résistance entre deux bornes **RM** ne doit pas être de phase, pour déduire- laquelle il faut connaître le type de connexion. Dans tous les cas, l'éventuelle puissance perdue peut s'évaluer avec la formule: $P_{cu} = 1,5 \cdot R_m \cdot I^2$

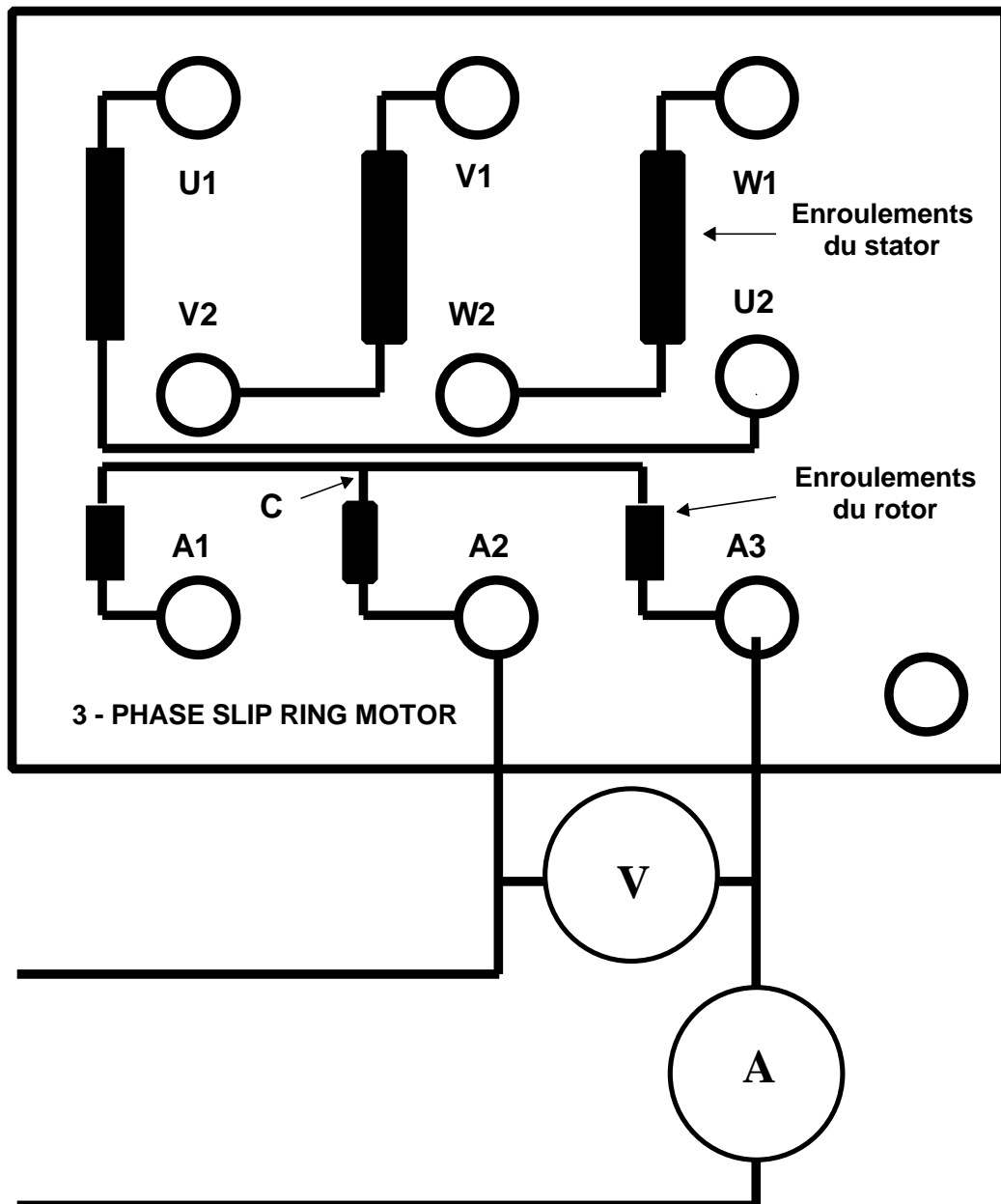
Le moteur asynchrone peut être avec rotor à cage d'écoreuil ou à bagues (à rotor bobiner). Dans le premier cas la mesure de résistance peut s'effectuer sur les phases du stator.

Dans le moteur à rotor bobiner ont peut mesurer aussi la résistance des enroulements du rotor, en maintenant les balais soulevés et en connectant directement aux bagues le circuit de mesure. Remarquer que si on ne soulève pas les balais on obtiendra **Rt=R-bagues+R-balais**.



MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Mesure de la résistance des enroulements rotoriques +résistance de contact des balais dans un moteur asynchrone triphasé à bagues



Rappelez-vous que la valeur de la résistance sera donnée par la lecture des instruments selon la formule: $R = V / 2A$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

MESURE DU RAPPORT DE TRANSFORMATION

Cette mesure s'effectue seulement sur les moteurs asynchrones à rotor bobine. Elle se base sur le principe du transformateur. Le moteur asynchrone est assimilé à un transformateur en bloquant le rotor et en ouvrant le circuit rotorique. Le moteur asynchrone est un mauvais transformateur à cause de la présence d'un entrefer trop considérable. Le rapport de transformation, correspondant au rapport spires ou bien au rapport conducteurs, peut être mesuré de la même façon que celui d'un transformateur.

Les méthodes qu'on peut appliquer sont toutes valables, mais on va en prendre en considération que deux:

- Essai à vide, les bornes rotorique ouvertes, en utilisant deux voltmètres voir fig.3
- Essai en court circuit (circuit rotorique fermé); en bloquant le rotor et en utilisant deux ampèremètres voir fig.4

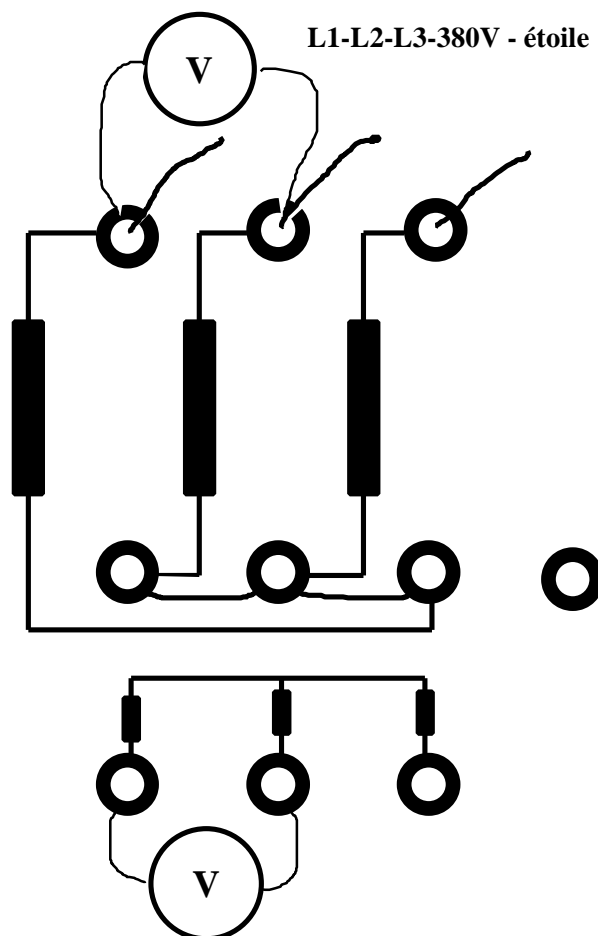


Fig. 3

Mesure du rapport de transformation d'un moteur asynchrone avec deux voltmètres (essai à vide).

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Alimenter avec une tension variable
 jusqu'a faire circuler le courant nominal

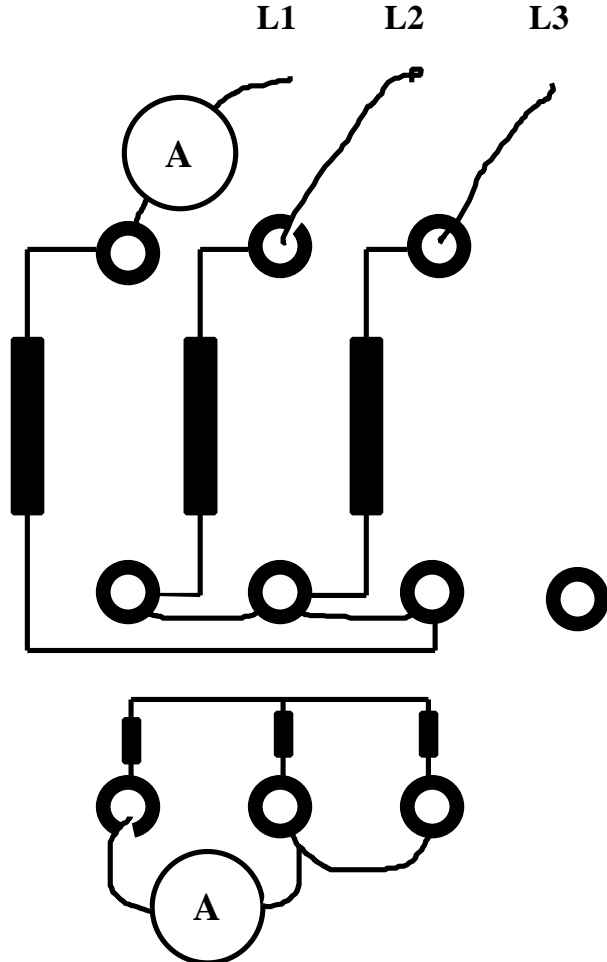


Fig.4

Mesure du rapport de transformation d'un moteur asynchrone avec deux ampèremètres (essai en court circuit).

Pour un moteur asynchrone le rapport de transformation est toujours un numéro plus grand que «un», c'est à dire que la tension induite au secondaire est toujours moins grande que la tension primaire.

Les mesures effectuées sur un moteur asynchrone sont moins précises **que celles qui correspondent dans un transformateur à cause** de la présence d'un entrefer plus faible dans les transformateurs

Comme tout le monde le sait, dans la mesure à vide avec 2 voltmètres, le rapport de transformation dépend du rapport de spires, cela à cause de la chute de tension primaire due à la présence du courant à vide I_0 et surtout de la réactance de dispersion. Le moteur asynchrone présente un courant à vide beaucoup plus grand que celui d'un transformateur à cause de la présence d'un entrefer plus important, et donc le rapport mesuré V_1/V_2 sera sensiblement différent de N_1/N_2 .

Dans la mesure du rapport de transformation en court-circuit avec deux ampèremètres, les rapports courants diffèrent du rapport **spires encore pour l'incidence de la par rapport au courant de court-circuit. Pour le même motif nous avons une valeur** de I_0 qui est certainement plus sensible que celle du transformateur. Pour diminuer les effets de l'erreur par une possible petite différence entre les phases, nous conseillons d'effectuer la mesure sur les trois phases secondaires, et calculer ensuite la moyenne des valeurs.

$$I_0 = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

MESURE DE L'ÉCOULEMENT

Une mesure typique du moteur asynchrone est le relèvement de l'écoulement, qui dépend de la vitesse du moteur. L'écoulement est aussi un indicateur de la fiabilité de la machine. A même puissance rendue, l'écoulement est d'autant plus grand quand les pertes dans le cuivre du rotor sont grandes. Il y a beaucoup de méthodes de mesure, basées sur les différents facteurs desquels dépend l'écoulement. Nous allons analyser ces méthodes.

METHODE DE LA MESURE DE LA VITESSE

C'est le système de mesure le plus simple et il est donné par la relation ci dessous :

n_0 la vitesse synchrone
 n la vitesse du moteur

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

L'écoulement est un nombre pur, puisqu' il est un rapport entre des grandeurs homogènes; il est parfois indiqué en pourcentage. Pour déterminer l'écoulement, il faut connaître la vitesse du rotor. La vitesse synchrone se calcule par la formule $n_0 = 60f/p$ où: f est la fréquence de la tension d'alimentation et p le nombre de couples polaires du moteur. Pour mesurer la fréquence on peut employer un fréquencemètre. La vitesse du rotor n se mesure avec un compte-tours positionné sur l'arbre du moteur.

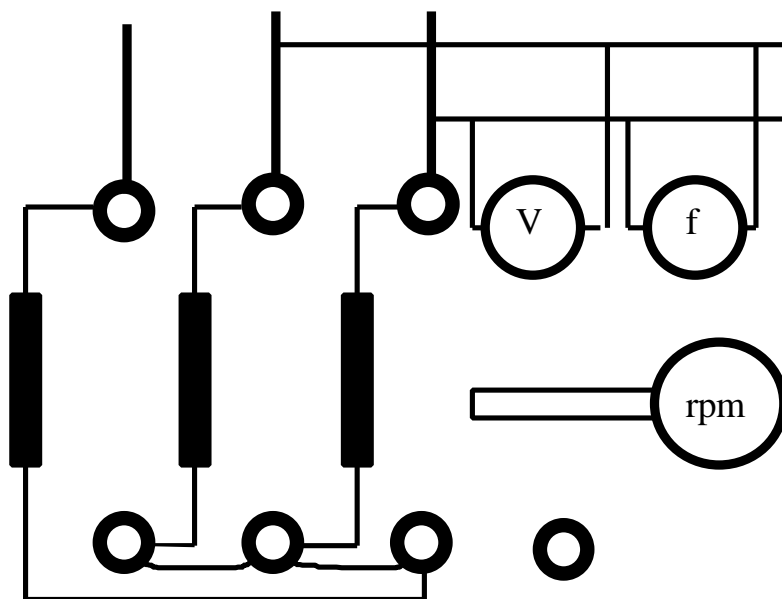


Fig.5 - Mesure de la vitesse d'un moteur asynchrone.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Grâce à ce système, la mesure de l'écoulement est extrêmement simple et théoriquement d'une haute fiabilité.

Mais des fois elle fournit des résultats exagérés et peu fiables. Ceci est dû à la proximité des valeurs des deux vitesses, la vitesse synchrone et celle du rotor, (il y a entre elles une différence de 1% à charge et,, de 2-4% à vide) Pour ce motif, la mesure de la différence de deux nombres du même ordre de grandeur, donnera un résultat avec une erreur relative très grande par rapport à l'erreur obtenue dans la mesure individuelle dans la détermination des deux termes.

En outre, cette méthode n'est pas applicable, parce que la valeur à déterminer est tout bonnement inférieure à l'ordre de grandeur des erreurs des mesures.

METHODE DE MESURE DE LA FREQUENCE ROTORIQUE

Une méthode plus satisfaisante est celle de la détermination de l'écoulement par le rapport entre la fréquence des grandeurs rotoriques et la fréquence du réseau:

$$s = \frac{f_2}{f_1}$$

Le résultat fourni est plus fiable, les seules erreurs existantes et qui sont négligeables peuvent être dans la détermination des deux fréquences

Il est très simple de mesurer la fréquence du réseau, il suffit d'insérer dans le circuit d'alimentation un fréquencemètre.

Pour mesurer la fréquence rotorique il faut prendre en considération que c'est un moteur asynchrone avec rotor bobiné et avec enroulement rotorique accessible. La fréquence à relevé a une valeur très petite, autour de quelques Hertz., Il n'existe pas des fréquencemètres pour ce type de valeur mais le problème peut être résolu en utilisant des instruments indicateurs normaux

Les grandeurs rotoriques qui représentent la fréquence sont la f.e.m, le courant, le flux. Il suffira alors de relever la fréquence de l'un d'eux, par exemple celle du courant.

Pour cela nous connectons en série un ampèremètre à bobine mobile, et les enroulements du rotor, si cela est possible, en réglant l'ampèremètre à zéro central, **de débit indiqué au courant rotorique.**

La connexion de l'instrument, devra être faite en aval des balais et le rotor en court-circuit

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

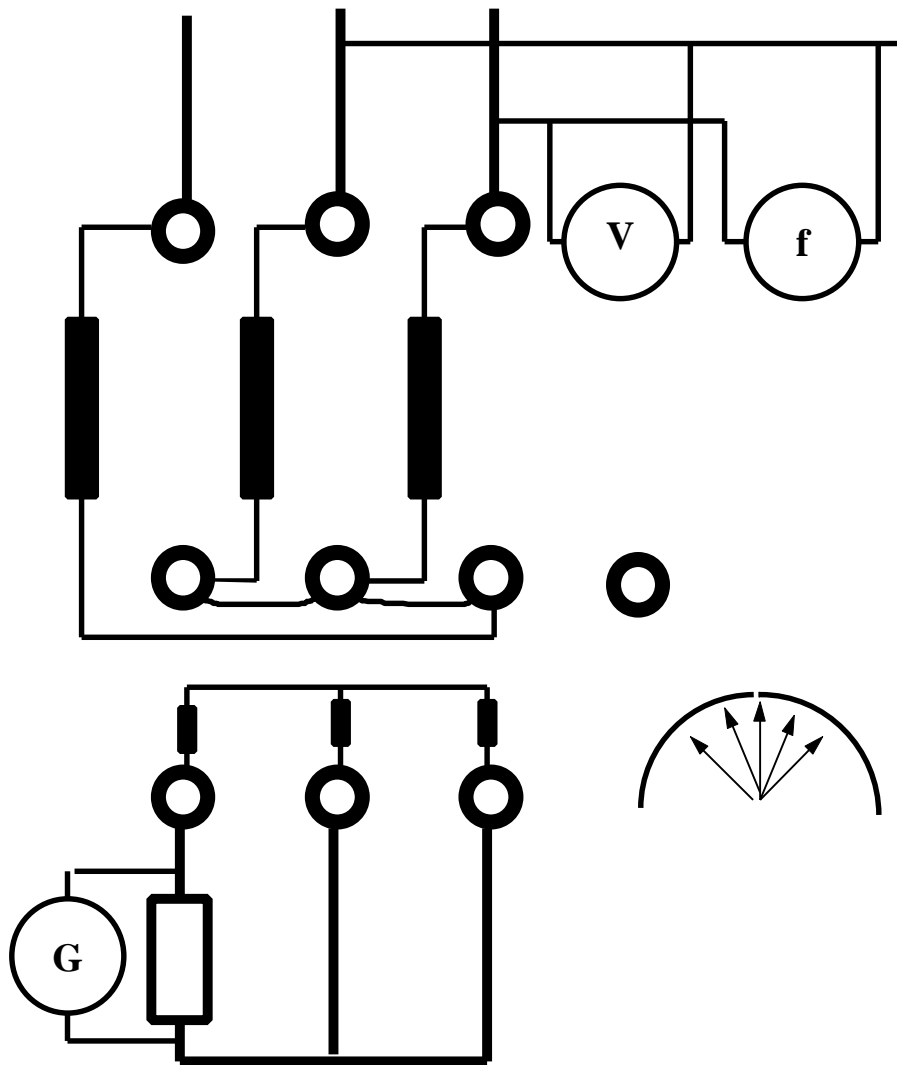


Fig.8

Mesure de la fréquence rotorique d'un moteur asynchrone à bagues.

En mettant en fonction le moteur l'ampèremètre va suivre la variation du courant immédiat oscillant au zéro avec une fréquence égale à la fréquence du courant rotorique.

En effet, pour la demi-onde positive, l'aiguille se déplacera du zéro vers un sens croissant jusqu'à la valeur max, puis elle retournera au point zéro.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

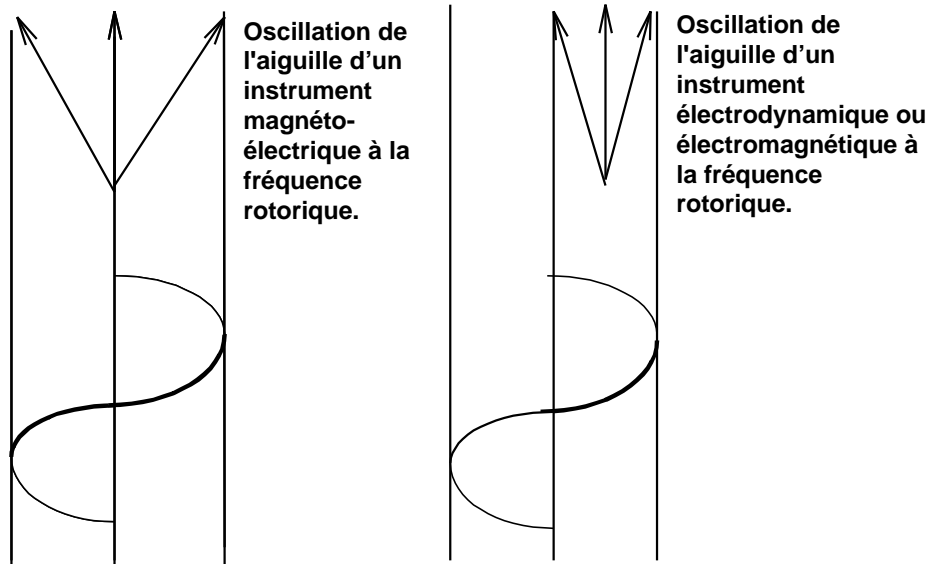


Fig. 9

Fig.10

Concernant la demi-onde négative, l'aiguille se déplacera en sens opposé jusqu'à un maximum, ceci symétriquement à la précédente position. Chaque période du courant crée sur l'instrument une oscillation complète. En comptant donc un certain nombre d'oscillations m et, avec un chronomètre, le temps t en secondes - nécessaire à ce nombre d'oscillations - , on aura la valeur de la fréquence rotorique, grâce au rapport nombre d'oscillation dans un temps

$$f_2 = \frac{m}{t}$$

Si l'instrument était au zéro latéral, la mesure serait encore possible, mais l'aiguille se déplacerait dans ce cas de façon asymétrique, en s'arrêtant à la limite inférieure de l'échelle pour

toute la durée de la demi-onde négative.

Si, à la place d'un instrument magnétoélectrique on emploie un instrument pour courant alterné, de type à fer mobile ou électrodynamique, les demi-ondes, négatives ou positives, entraîneraient un couple moteur unidirectionnel, par conséquent les oscillations de l'aiguille caractériseraient le nombre des demi-ondes et non des ondes entières.

Si on prend m comme étant le nombre des oscillations comptées durant un temps déterminé, les valeurs $m/2$ seront les périodes du courant et donc ont aura:

$$f_2 = \frac{m}{2t}$$

L'emploi d'un instrument pour courant alterné plutôt que celui pour courant continu a le désavantage de présenter des oscillations à fréquence double et donc plus rapides, les

écoulements élevés seront suivis plus difficilement.

Mais pour le relèvement d'écoulements très bas, ce type d'instrument convient parfaitement (par exemple pour les moteurs fonctionnant à vide).

**MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES**

METHODE STROBOSCOPIQUE

La méthode stroboscopique est basée sur un phénomène particulier, appelé phénomène stroboscopique. Pour mieux le comprendre on prend un exemple simple. On suppose d'avoir un moteur asynchrone à deux pôles et d'appliquer à l'arbre un disque divisé en secteurs égaux, alternativement blancs et noirs. Les secteurs doivent être égaux au nombre de pôles de la machine; dans notre cas deux blancs et deux noirs. Voir fig 11

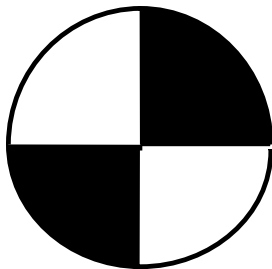
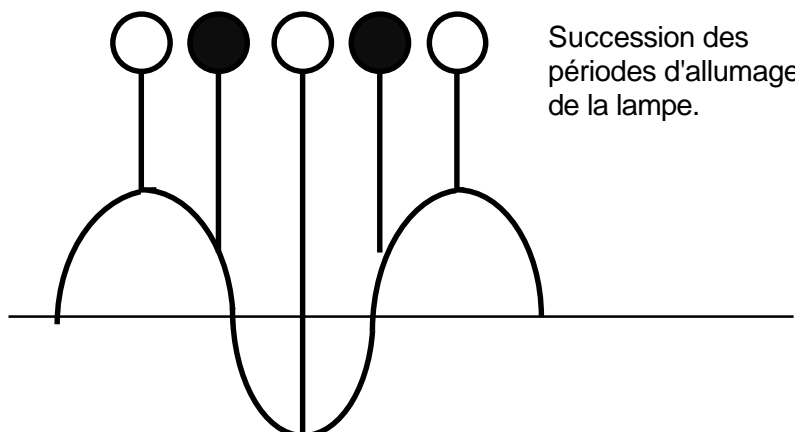


FIG.11

Disque stroboscopique pour moteur à deux pôles

Puis Nous utiliserons une source lumineuse sensible à l'intermittence de la tension d'alimentation du réseau électrique. Il est bon de signaler que toutes les lampes fluorescentes ont cette caractéristique.

En Connectant la lampe au réseau, celle ci s'allumera à chaque demi-onde de tension et s'éteindra à chaque passage par le zéro; le nombre de fois que la lampe s'allume correspond au nombre d'alternances de la tension d'alimentation. Quant à la fréquence de la radiation lumineuse, elle aura une valeur double de la fréquence d'alimentation. Voir fig. 12



Succession des périodes d'allumage de la lampe.

FIG.12

Séquence d'allumage de la lampe

En démarrant le moteur synchrone, le disque en rotation s'allumera de façon intermittente à chaque demi-onde. En admettant que le moteur a une vitesse parfaitement synchrone, on aura, à chaque demi-onde, un demi-tour du disque; chaque secteur se trouvera superposé au secteur suivant de la même couleur, donnant ainsi à l'observateur une image identique à la précédente.

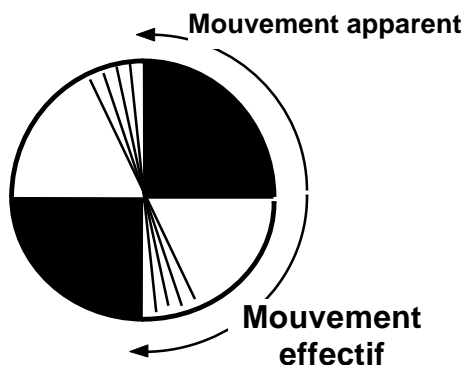
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Au troisième éclair de lumière le disque aura accompli un autre demi-tour et les secteurs seront retournés au point de départ, donnant une image similaire aux précédentes.

A la fréquence d'allumage de 100 Hz- à cause de la persistance des images sur la rétine de l'œil - le phénomène n'apparaîtra pas discontinu à l'observateur, mais la rapide superposition des images donnera l'impression que le disque est arrêté. **En admettons que le moteur, comme cela arrive en réalité, fonctionne à une vitesse inférieure à celle de synchronisme.**

On aura alors un intervalle entre un éclair de lumière et le suivant trop rapide et un secteur n'aura pas le temps de recouvrir l'image de son symétrique, mais sera un peu en arrière par rapport à lui d'un angle correspondant à l'angle de retard entre la rotation synchrone et celle de la machine. En se prolongeant, ce phénomène ferait que tous les secteurs tendraient à tarder et à être en retard par rapport aux précédents.

FIG.13



Mouvement apparent du disque stroboscopique sur un moteur asynchrone

Ce mouvement illusoire est en réalité le mouvement de retard du moteur par rapport au mouvement synchrone, ce qui n'est pas exactement la différence entre les deux vitesses $n' = n_0 - n = N/2t$

Pour effectuer la mesure pratique on fixe une arrive de référence et on compte les secteurs noirs **N** durant un temps déterminé **t** en seconds. On aura la valeur **N/2** qui représentera le nombre de tours de retard et en la divisant par le temps, on aura la vitesse de retard, ou bien la vitesse d'écoulement.

Le rapport entre la vitesse d'écoulement et la vitesse synchrone nous donne

$$\text{l'écoulement: } s = \frac{N}{2 \cdot n_0 \cdot t}$$

Si la machine a plus de pôles, le disque devra posséder plus de secteurs noirs et blancs, et nous pourrons répéter l'opération pour chaque couple polaire.

En considérant le rapport $2p$ entre secteurs et tours, avec p le nombre de couples

polaires donc la vitesse d'écoulement sera, $n' = \frac{N}{2 \cdot p \cdot t}$ et l'écoulement:

$$s = \frac{N}{2 \cdot p \cdot n_0 \cdot t}$$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

ESSAI DIRECT

Pour effectuer l'essai direct d'un moteur asynchrone il faut lui appliquer un dispositif de freinage qui puisse charger le moteur jusqu'à lui faire débiter la puissance nominale. Dans notre gamme de production nous avons des freins électromagnétiques, qui se prêtent pour ce type d'essais qui doivent être courts à cause de la montée de la température. Si nous voulons effectuer des essais de longue durée, il faudra utiliser des dynamo freins à carcasse oscillant ou des alternateurs qui dissiperaient la puissance. Nous offrons aussi ce type de machine dans notre gamme de production

CONNEXIONS

Le but de la mesure est d'évaluer le rendement de la machine et de relever la caractéristique mécanique. Le couple est directement donné par le frein en kgm/rad ou bien par la formule $C = 9,81 \cdot p \cdot b$ en joule/rad avec **p** le poids en kg et **b** la mesure du bras métallique en mètres.

La puissance rendue est calculée en watt grâce à la formule: $P_r = 1,027 \cdot p \cdot b \cdot n$, avec **n** le nombre de tours par minute.

Dans le circuit de la FIG.14 on a inséré:

- - deux wattmètres insérés en Aron
- - un voltmètre
- - un ampèremètre
- - un fréquencemètre

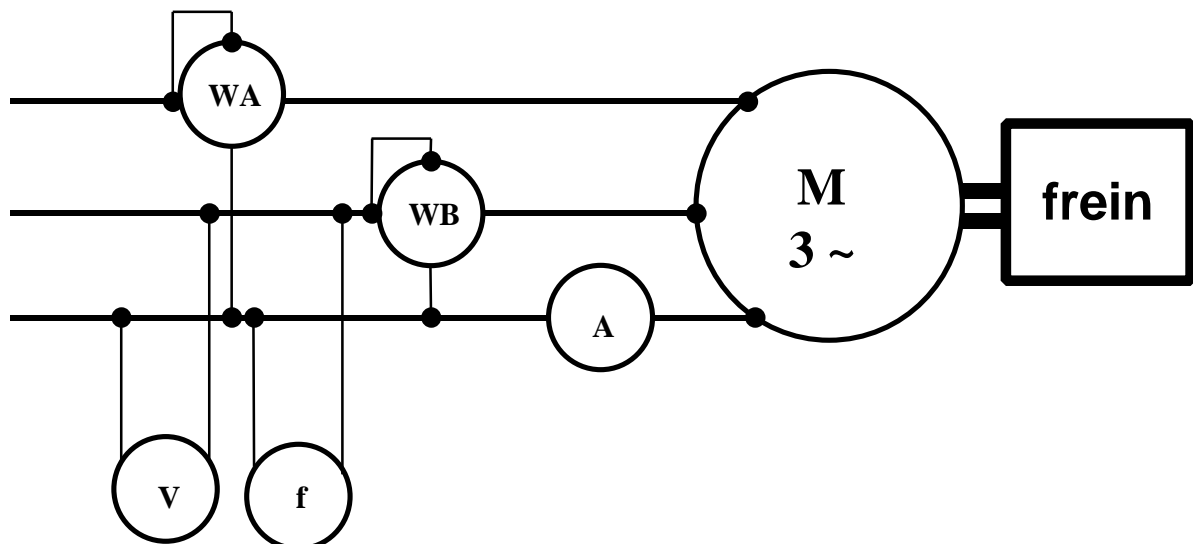


FIG.14 - Circuit pour essai direct du moteur asynchrone

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

OPÉRATION DE MESURE

Il faut d'abord déterminer la longueur du bras métallique pour laquelle on aura le relief de la puissance nominale qui est donnée grâce à la formule: $b_n = \frac{P_n}{1,027 \cdot p \cdot n}$, avec:

- P_n = puissance nominale de la machine en watt
- b_n = longueur du bras métallique en mètres;
- p = poids en kg;
- n = vitesse nominale de la machine en tours par minute

La mesure du bras nous permet de déterminer si nous avons le frein adéquat. On établit d'abord la longueur maximale du bras puis on établira 3 autres positions respectivement au 3/4, 2/4 et 1/4 de la distance maximale, de façon à obtenir en tout 4 points correspondants à 100%, à 75%, à 50% et à 25% de la puissance nominale de la machine. L'essai débute normalement avec la puissance maximale et en suite en faisant diminuer la puissance débitée par la machine pour éviter les problèmes de surchauffe du frein.

PROCEDURE OPÉRATIONNELLE

On met en marche le moteur et on lui fournit une tension nominale.

On porte la charge au maximum grâce au cran adéquat ; on agit ensuite sur l'excitation du frein jusqu'à obtenir un bras en équilibre et après on effectue les lectures des V, A, WA WB et de la vitesse n.

Avec ces données on calcule ensuite toutes les grandeurs qui nous intéressent et donc on aura:

- la puissance absorbée : $P_a = A + B$ en watt
- la puissance débitée: $P_r = 1,027 \cdot p \cdot b \cdot n$; en watt
- le rendement: $h = \frac{P_r}{P_a}$
- le couple: $C = p \cdot b$ en kgm/rad ou bien $C = 9,81 \cdot p \cdot b$ en joule/rad
- le facteur de puissance $\cos \mathbf{j} = \frac{1+x}{2 \cdot \sqrt{1-x+x^2}}$; avec : $x = \frac{B}{A}$
- l'écoulement : $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$; avec $n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Les données obtenues seront insérées dans un tableau semblable a celui ci dessous:

WA (W)	WB (W)	Pa (W)	p (kg)	b (m)	n (')	Pr (W)	η (%)	$\cos\phi$	s

NOTES PRATIQUES

En mettant en marche le moteur directement avec la tension du réseau on aura au moment du point, un courant qui pourrait endommager les ampèremètres, les wattmètres et les voltmètres. Il faut court-circuiter ces instruments avant de mettre en marche le moteur.

Si on met en marche le moteur avec un variateur de tension, on pourra fournir une tension progressive et donc il ne sera pas nécessaire de court-circuiter les wattmètres et les ampèremètres à condition de faire attention à **ne jamais dépasser le courant maximal de l'échelle des instruments**. En utilisant un variateur de tension on peut aussi établir la tension nominale exacte. Si on emploie le variateur il faut faire attention, **pendant la phase de charge du moteur, que la tension d'alimentation reste constante** et s'il y a des variations il faut agir sur le variateur pour rendre la tension exactement égale à la tension nominale.

Il faut vérifier aussi le sens de rotation du moteur (Le sens de rotation correct doit être de telle manière qu'en augmentant l'excitation du frein, le bras avec le poids des mesures doit se soulever et ne pas avoir tendance à aller vers le bas).

Pour avoir un tableau complet du rendement et du comportement de la machine, on trace différentes courbes, déduites des grandeurs précédemment calculées, ces courbes sont pratiquement toutes en fonction de la puissance rendue.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

COURBES

Courant débité $I = f(P_r)$

La courbe est croissante et commence par la valeur du courant à vide I_0

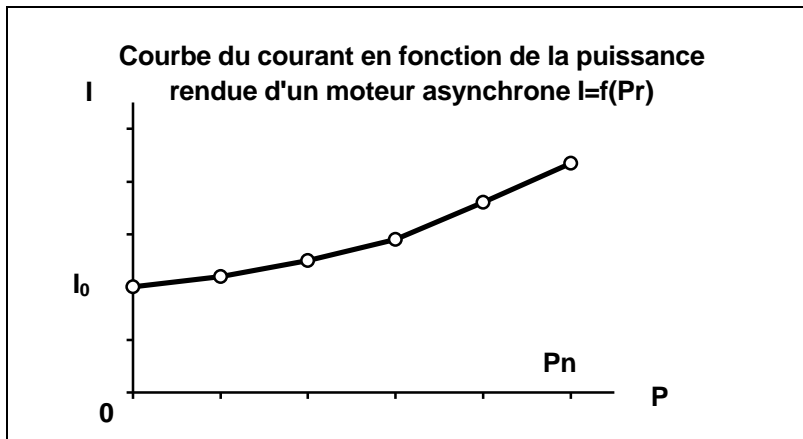


FIG.15

Courbe du courant d'un moteur asynchrone en fonction de la puissance rendue.

FACTEUR DE PUISSANCE $\cos j = f(P_r)$

La courbe est croissante, elle commence par la valeur du courant à vide et augmente jusqu'à un maximum un peu plus élevée que la valeur nominale.

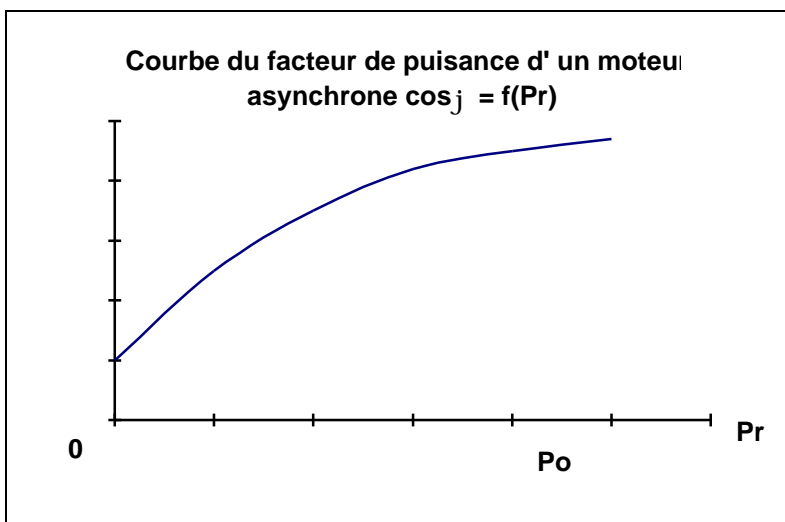


FIG.16

Variation du facteur de puissance d'un moteur asynchrone en fonction de la puissance rendue.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

ECOULEMENT

La courbe est croissante, elle croit avec l'augmentation de la puissance et elle est presque linéaire dans les valeurs initiales

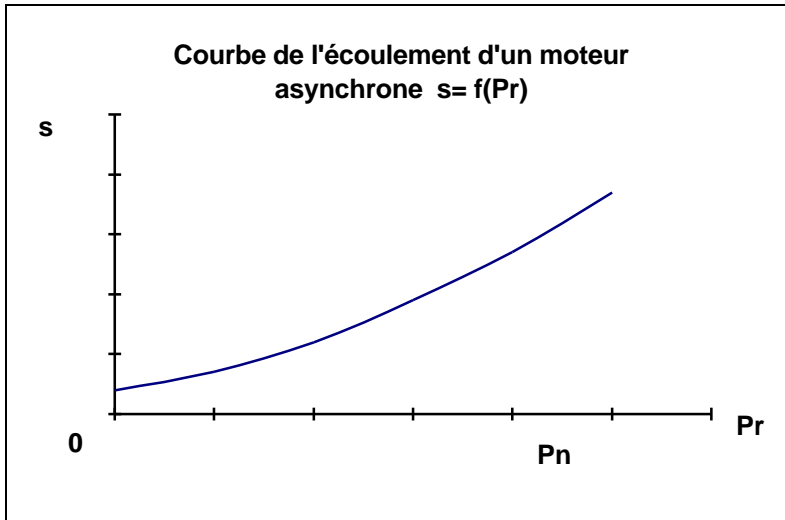


FIG.17 - variation de l'écoulement d'un moteur asynchrone en fonction de la puissance rendue.

RENDEMENT

La courbe atteint une valeur légèrement maximale proche de 75% de la valeur de la charge

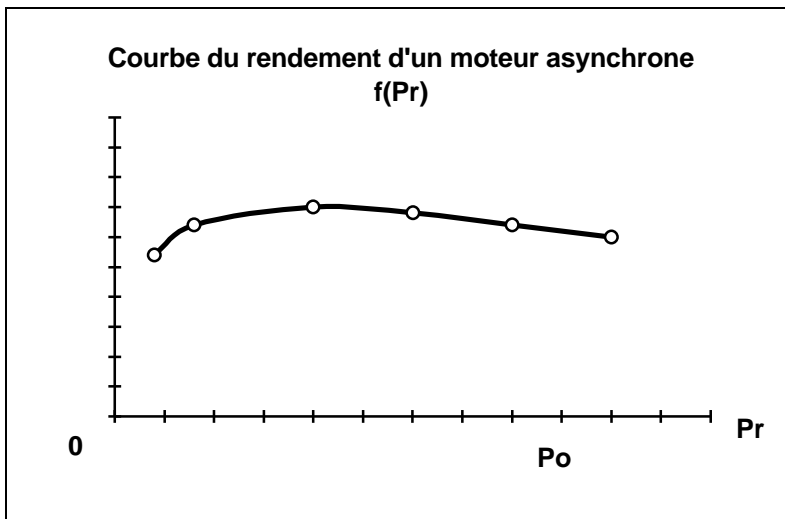


FIG.18
Variation du rendement d'un moteur asynchrone en fonction de la puissance rendue.

**MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES**

Caractéristique mécanique C = f (n)

La courbe est une ligne peu courbure, et peu inclinée par rapport à la verticale. Le point d'intersection avec l'axe des abscisses n_0 coïncide avec la vitesse synchrone:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Cette courbe confirme le fait que le moteur asynchrone soit un moteur à vitesse peu variable.

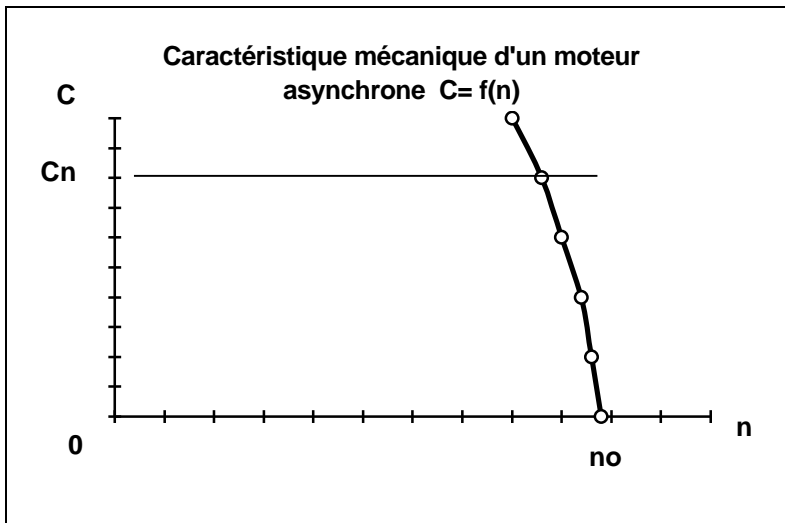
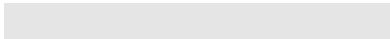


FIG.19 - Caractéristique mécanique d'un moteur asynchrone C=f (n).



MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

ESSAI A VIDE

Dans l'essai à vide d'un moteur asynchrone on alimente le moteur en le laissant tourner, sans aucune charge.

Etant donné que ce type de moteur est, dans certains cas, analogue au transformateur, nous nous référons au transformateur pour faire remarquer les différences.

A vide, en appliquant la tension nominale aux bornes, du moteur ce dernier fera un appel de puissance qui est nécessaire pour gagner les pertes dans le fer et par hystérésis ainsi que les pertes par courants parasites.

Ces pertes, qui dépendent de la fréquence de la tension d'alimentation, se localisent dans le stator rotor quand il fonctionne à basse fréquence. Le moteur asynchrone à vide, par rapport au transformateur, n'est pas réellement à vide.

Pendant que dans le transformateur la puissance au niveau du secondaire est nulle le secondaire étant ouvert, le moteur asynchrone, lui doit débiter une petite puissance nécessaire pour gagner les pertes mécaniques dues au frottement

Ces pertes représentent une charge, qui est toutefois petite, ce qui ne permet pas au rotor de tourner en synchronisme parfait. Le moteur asynchrone idéal, devrait fonctionner à vide en synchronisme parfait. **Cette condition ne peut pas être obtenue, parce que viendrait moins l'action de la roue polaire rotorique et elle n'aurait plus l'effet du traînement.**

Le moteur asynchrone à vide absorbe un courant d'une valeur égal à 25-40% du courant nominal ; il ne peut donc pas être négligé. La puissance dissipée dans le cuivre du stator sera calculée de la même façon que la puissance absorbée.

Les pertes dans le cuivre du rotor sont négligeables, lors de petite valeur de courant. Le moteur asynchrone à vide absorbe de la puissance pour égaliser la somme des pertes dans le fer, des pertes mécaniques et des pertes dans le **cuivre et donc ont** vide:

$$P_o = P_f + P_m + P_{cuo}$$

CIRCUIT DE MESURE

Dans l'essai à vide la tension maximale doit dépasser de 10-20% la valeur nominale. Nous utiliserons donc un alimentateur triphasé variable.

Le circuit de mesure de la Fig. 20 comprend:

- un voltmètre de débit supérieur à la tension nominale
- un fréquencemètre pour le contrôle de la fréquence
- un ampèremètre, pour la mesure du courant à vide laquelle sera à peu près égale à 25-40% de la valeur du courant nominal. (Les pourcentages inférieurs sont valables pour les moteurs de puissance élevée)

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

- deux wattmètres en insertion Aron avec débits ampérométrique et voltométrique analogues à celui des voltmètres et des ampèremètres. Les wattmètres pourront être à bas facteur de puissance, à cause de l'incidence sensible du courant magnétisant.

L'insertion des instruments doit être faite le voltmètre en à mont de l'ampèremètre.

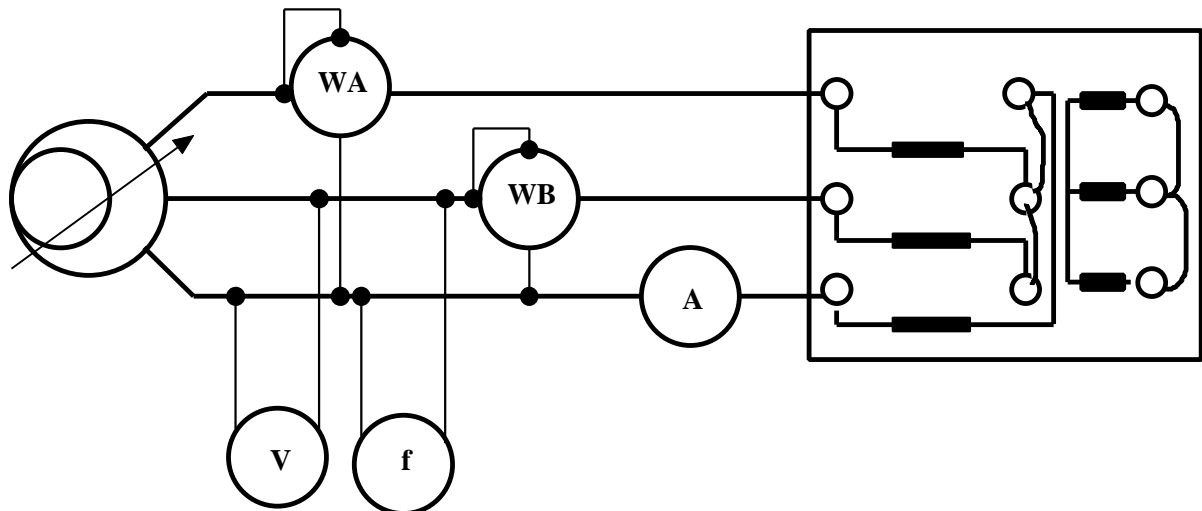


FIG.20 Circuit pour réaliser l'essai à vide

OPPERATION DE MESURE

Le moteur absorbe au démarrage un courant d'une valeur presque 10 fois plus grande a celle du courant à vide.

Pour éviter d'endommager les instruments insérés, on peut démarrer avec une tension réduite et l'augmentée lentement jusqu'à obtenir la valeur demandée, en faisant bien attention que l'ampèremètre n'aille pas hors de son échelle maximale.

On peut aussi isoler l'ampèremètre des wattmètres, et éliminer l'ampèremètre une fois que le moteur a démarré.

Point par point nous relèverons les indications des instruments et plus précisément:

- la tension **V** sur le voltmètre; E courant à vide **I₀** sur l'ampèremètre;
- les puissances **A** et **B** sur les deux wattmètres.

On continuera L'essai jusqu'à arriver à une tension minimale d'une valeur égale à 25% de la valeur de la tension nominale de la machine.

En diminuant la tension d'une manière excessive on provoquera un ralentissement de la machine, et donc on ne pourra plus considérer quelle fonctionne à vide avec un écoulement négligeable. La valeur de la tension minimale est indiquée par le courant absorbé qui, sous certaines valeurs de tension, auras tendance à augmenter plutôt que de diminuer à cause du ralentissement du moteur.

Au-dessous de cette valeur les résultats ne sont plus fiables. En diminuant la tension le moteur s'arrête et le courant aura tendance à avoir une valeur de court-circuit.

Avec les lectures des wattmètres on peut calculer:

MOTEUR ASYNCHROME TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHROME TRIPHASE A BAGUES

La puissance absorbée à vide: $P_0 = A + B$

Le facteur de puissance à vide : $\cos \mathbf{j}_0 = \frac{1+x}{2 \cdot \sqrt{1-x+x^2}}$; avec $x = \frac{B}{A}$

Dans un moteur asynchrone la puissance absorbée à vide comprend:

- les pertes mécaniques: P_m
- les pertes dans le fer: P_f
- les pertes dans le cuivre du stator: P_{cu0}

Les pertes dans le cuivre du stator, pour l'essai doivent être déduites de la puissance absorbée.

Elles se calculent séparément en connaissant la résistance mesurée R_m entre deux bornes du stator, et en utilisant la formule ci dessous:

$$P_{CU0} = 1,5 \cdot r_M \cdot I_0^2$$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Cette formule est valable quel que soit la connexion des phases du stator (étoile ou triangle)

En Déduisant la perte P_{cu0} de la puissance absorbée, on obtiendra une valeur qui comprend les pertes dans le fer et les pertes mécaniques:

$$P_o - P_{cuo} = P_m + P_f$$

CARACTERISTIQUES

Les données obtenues permettent de tracer la courbe à vide du moteur en fonction de la tension.

Courant à vide: $I_o=f(V)$ Le courant à vide a une valeur qui croit avec la tension, elle est d'abord faible et puis plus grande. (voir Fig.21). ceci de manière identique a un transformateur. C'est une variation qui est due à la composante magnétique laquelle, pour les tensions élevées augmente beaucoup à cause de la saturation du fer. Le phénomène est moins raide par rapport au transformateur, à cause de la présence d'un entrefer.

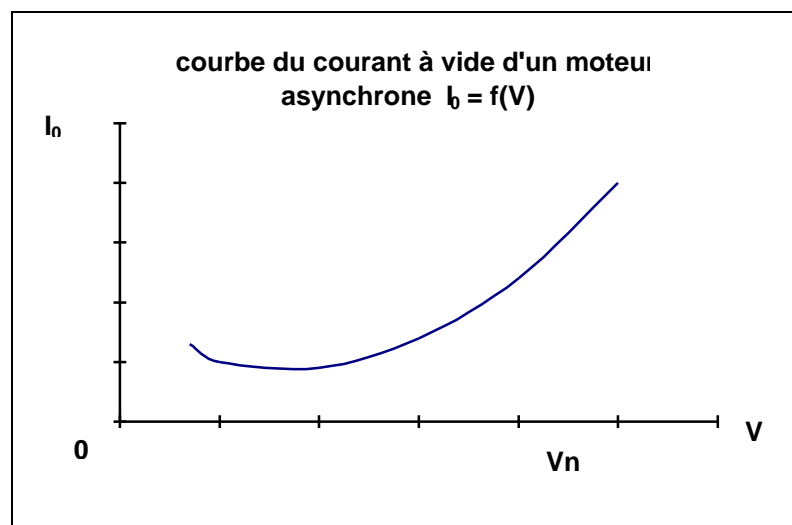


Fig.21

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Puissance à vide $P_m + P_f = f(V)$

La puissance à vide varie avec la tension (voir Fig.22). Elle est la somme d'une partie constante, qui est les pertes mécaniques et d'une partie variable qui est les pertes dans le fer; cette dernière varie avec la tension

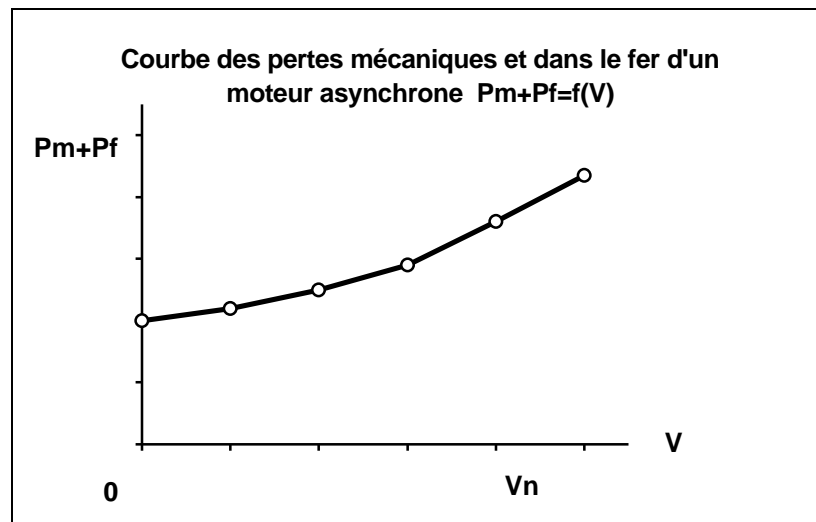


Fig. 22

Facteur de puissance à vide: $\cos \phi_0 = f(V)$

Le facteur de puissance diminue quand la tension augmente car la composante magnétique du courant croît plus rapidement que la composante active due aux pertes.

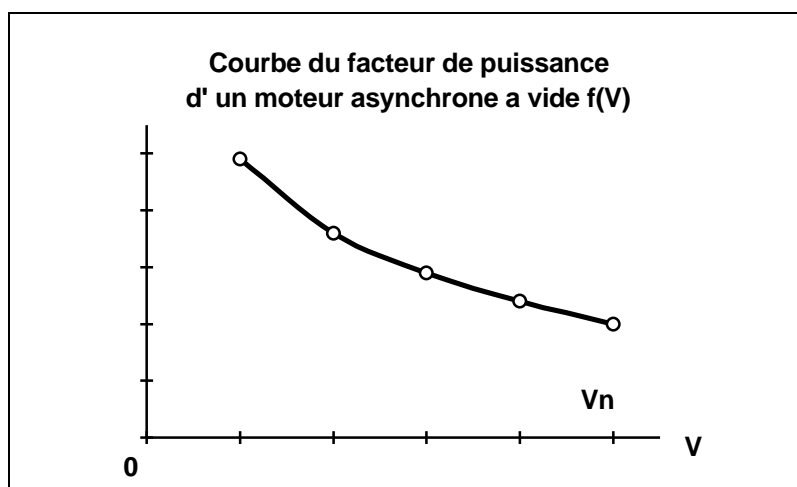


Fig. 23

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

SEPARATION DES PERTES DANS LE FER ET DES PERTES MECANIQUES

Le graphique de la puissance P_m+P_f en fonction de la tension est une courbe parabolique à cause des pertes dans le fer.

En effet les pertes dans le fer sont proportionnelles aux valeurs de la tension

On a $P_f = KV^2$; d'où: $P_m + P_f = P_m + KV^2$; qui pour $V = 0$ donne seulement des pertes mécaniques.

Il est pratiquement impossible d'arriver à la condition tension nulle et ne plus diminuer la tension en dessous de la valeur minimale indiquée, car le moteur ralenti et s'arrête.

Le point $V=0$ peut être obtenu en extrapolant la courbe.

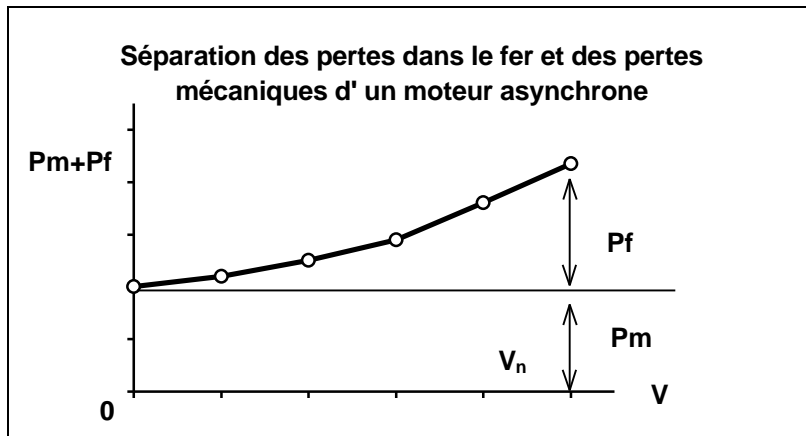


Fig. 24

L'extrapolation de la parabole n'est pas une méthode très précise.

De Meilleurs résultats peuvent être obtenus en rapportant la fonction à une échelle quadratique de la tension; cela est un bon moyen d'arriver avec une bonne précision à un développement rectiligne de la courbe.

Remarque: Le point sur l'axe des ordonnées représente les pertes mécaniques.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

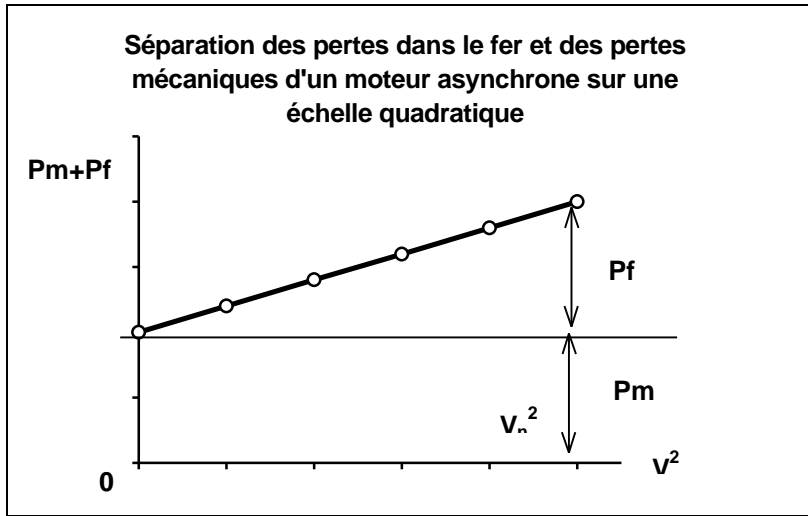


Fig. 25

En Traçant une ligne droite horizontale passant par ce point, le graphe est séparé en deux parties une partie inférieure représentant les pertes mécaniques et une autre supérieure représentant les pertes dans le fer.

Nous avons ainsi réalisé la séparation des deux pertes.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Les cordonnées lues en correspondance de la valeur nominale de la tension donnent chacune les valeurs des pertes dans le fer et des pertes mécaniques.

La détermination des pertes mécaniques et dans le fer peut se faire aussi par voie analytique

En considérant encore que la fonction est parabolique.

Pour deux valeurs distinctes de la tension **V1** et **V2** on lira les puissances correspondantes:

$$\text{On a } (P_m + P_f)_1 = p_1; \text{ et: } (P_m + P_f)_2 = p_2$$

Les expressions sont:

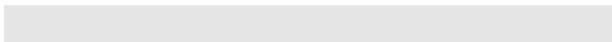
$$p_1 = P_m + K \cdot V_1^2; \quad p_2 = P_m + K \cdot V_2^2$$

En substituant les deux membres on aura:

$$(p_1 - p_2) = K(V_1^2 - V_2^2) \text{ D'où } K = \frac{p_1 - p_2}{V_1^2 - V_2^2}$$

Connaissant le facteur **K** on connaîtra aussi les pertes dans le fer $P_f = K \cdot V^2$

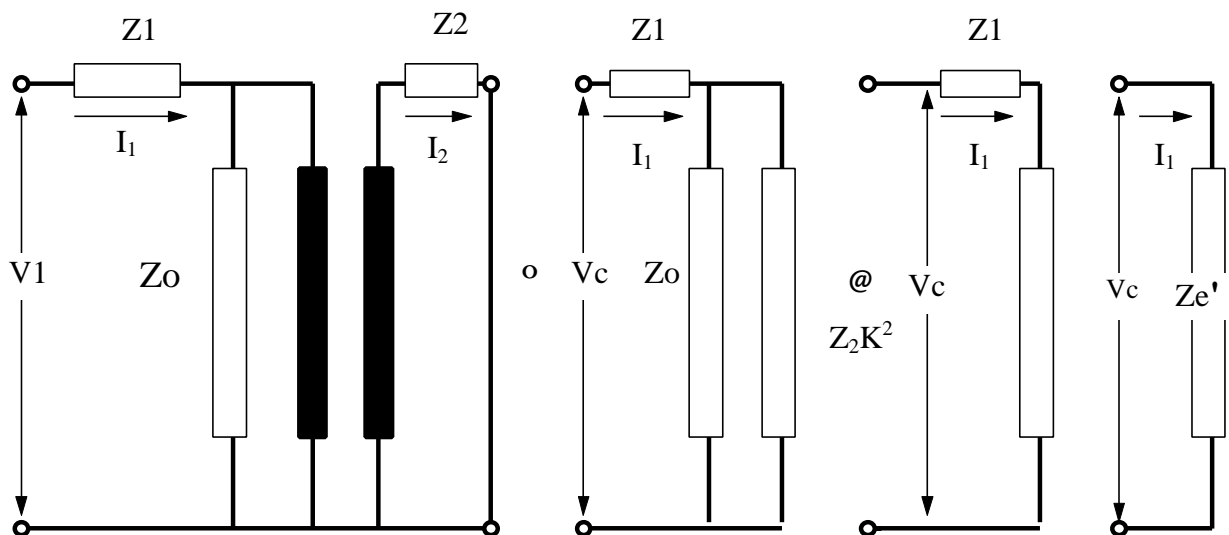
En Remplaçant encore **K** dans l'une des deux expressions on pourra déduire les pertes mécaniques.



MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

ESSAI EN COURT-CIRCUIT

L'essai en court-circuit d'un moteur asynchrone s'effectue le rotor bloqué. Dans ces conditions, le moteur se comporte comme une charge équilibrée à impédance constante et d'une valeur très petite, pratiquement égale à l'impédance équivalente en série. En effet, en se référant au schéma équivalent du moteur, qui est semblable à celui d'un transformateur, nous pourrions constater qu'en confondant l'impédance secondaire sur la primaire, elle se retrouvera en parallèle avec l'impédance dérivée équivalente au fer Z_0 voir la Fig. 26



L'impédance série a des valeurs petites, au contraire de celle parallèle qui a des valeurs élevées; entre les deux nous avons un rapport d'environ 1:100. c'est Pourquoi en parallèle Z_0 pourra être négligée et dans ce cas le moteur se présentera comme équivalent de l'impédance $Z_e' = Z_1 + K^2 \cdot Z_2$

Il en résulte que la puissance absorbée par le moteur en court-circuit est dissipée dans le cuivre.

On obtiendra les mêmes résultats en prenant en considération d'autres facteurs: En effet Les pertes dans le fer d'une machine électrique sont fonction d'un tableau de tension.

En court-circuit la tension appliquée à la machine ne dépasse pas 30% de la tension nominale étant donné que la puissance perdue dans le fer est inférieure à 10% de celle dissipée à vide elle est donc habituellement négligée.

Le moteur ayant le rotor bloqué, on ne peut pas prendre en considération les pertes mécaniques, car la puissance absorbée par la machine en court-circuit a la même valeur que les pertes dans le cuivre: $P_{cc} \cong P_{cu}$

Remarque; L'essai doit être effectué à tension réduite pour ne pas endommager le moteur, il est suffisant de faire passer dans les enroulements un courant égal et pas plus élevé que le courant nominal.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

CIRCUIT DE MESURE

Pour cet essai il faut avoir un alimentateur réglable à sorti triphasé qui fournisse la tension avec une puissance suffisante.

Pour neutraliser en partie le réchauffement des enroulements qui produit des variations Dans la valeur de la résistance faussent ainsi les résultats, on commence par la tension maximale qui correspond au passage du courant nominal pour ensuite la diminuer graduellement.

Remarque: L'essai doit être exécuté le plus rapidement possible.

Dans le circuit d'alimentation de la FIG.27 sont insérés les instruments suivants:

- un fréquencemètre pour le contrôle de la fréquence;
- un ampèremètre de débit d'une valeur de 20% supérieur à la valeur du courant nominal du moteur pour voir les surcharges;
- un voltmètre pour lire la tension de court-circuit, dont la valeur sera environ 30% de la tension nominale du moteur;
- deux wattmètres avec insertion Aron;

Étant donné que l'impédance du moteur en court-circuit est basse, pour réduire les erreurs dues à l'autoconsommation des instruments il faut insérer les voltmètres en aval de l'ampèremètre.

Le moteur, en alimentation réduite, tend à se mettre en mouvement car en lui se développe un couple d'entraînement.

Il faut donc pouvoir maintenir le rotor arrêté grâce à un accessoire approprié

Le circuit magnétique de la machine présente deux positions pour le blocage du rotor, la première et situer quand les dents du rotor et du stator correspondant au maximum et la seconde quand la correspondance est minime.

En correspondant ces deux positions la réactance, en conséquence l'impédance, de la machine bloquée varient, même si de peu, entre les deux positions.

Ce fait peut facilement être vérifié en maintenant la tension d'alimentation constante et bougeant lentement la position du rotor. On verra que le courant absorbé oscille entre deux valeurs, minimale et maximale.

L'essai en court-circuit pourra se faire en mettant le rotor dans une position intermédiaire. Ceci en bloquant le rotor dans la position où l'ampèremètre indiquera une valeur moyenne

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

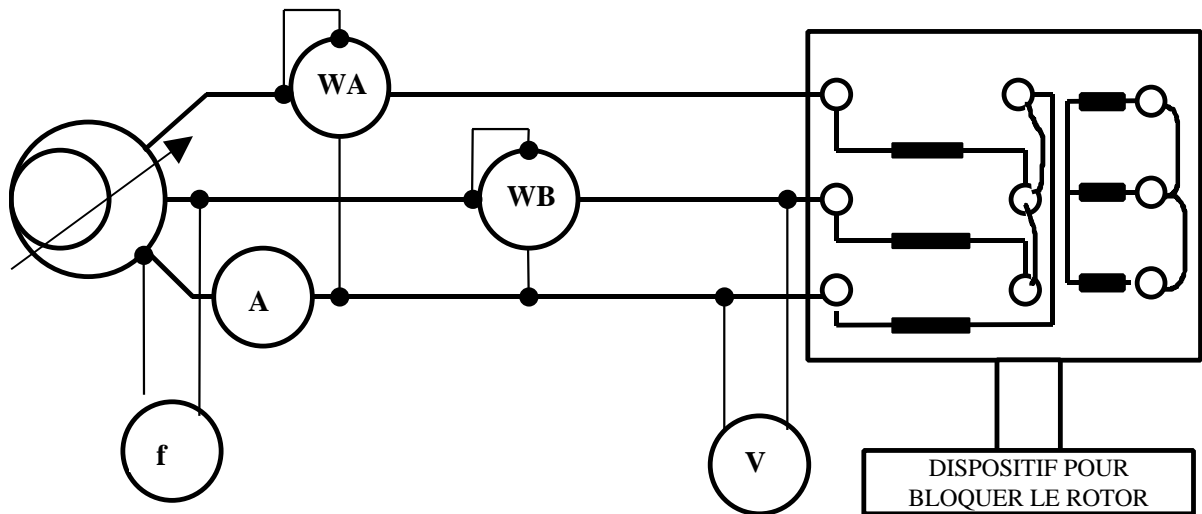


Fig. 27

OPÉRATION DE MESURE

Il faut appliquer une tension au moteur bloqué, on commence par une valeur maximale calculée et qui correspond à 20% de la surcharge, il faut aussi donner au courant des valeurs décroissantes, et remarquer pour les points préétablis les indications suivantes des instruments:

- le courant absorbé I lue sur l'ampèremètre;
- la tension de court-circuit V_{cc} lue sur le voltmètre;
- la puissance A et B lue sur les deux wattmètres.

Les valeurs lues permettent aussi le calcul d'autres grandeurs qui nous intéressent:

- la puissance $P_{cc} = A + B$
- le facteur de puissance $x = B/A$

$$\cos \mathbf{j}_{cc} = \frac{I + x}{2 \cdot \sqrt{1 - x + x^2}}$$

Les valeurs lues et calculées permettent de déduire les paramètres équivalents de la machine exactement comme dans un transformateur:

L'impédance équivalente série: $Z_e = \frac{V_{cc}}{\sqrt{3} \cdot I}$

La résistance équivalente série: $R_e = Z_e \cdot \cos \mathbf{j}_{cc}$

La réactance équivalente série: $X_e = Z_e \cdot \sin \mathbf{j}_{cc}$ ou

La résistance équivalente série $R_e = \frac{P_{cc}}{3 \cdot I^2}$

Et la réactance équivalente série: $X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2}$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

CARACTERISTIQUES

Pour l'examen du comportement de la machine en court-circuit, on doit tracer des courbes en fonction du courant.

TENSION DE COURT-CIRCUIT $V_{cc}=f(I)$

Cette fonction est une droite qui passe par le point d'origine (voir FIG.28). Car le moteur ayant le rotor bloqué est équivalent à une impédance constante, pour qui on a:

$$V_{cc} = \sqrt{3}Z_e I$$

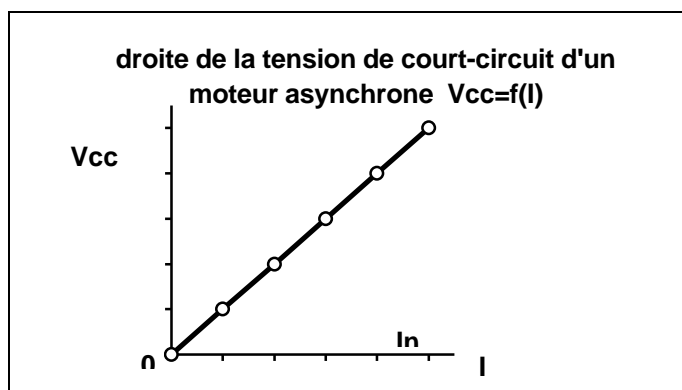


Fig. 28

PUISSANCE DE COURT-CIRCUIT $P_{cc}=f(I)$

Cette fonction présente un développement parabolique (voir FIG.29) car la puissance équivaut pratiquement aux pertes dans le cuivre qui dépendent du tableau des valeurs du courant

$$P_{cu} = 3 R_e I^2$$

Remarque: en traçant la fonction par l'emploi d'une échelle quadratique on obtient une droite:

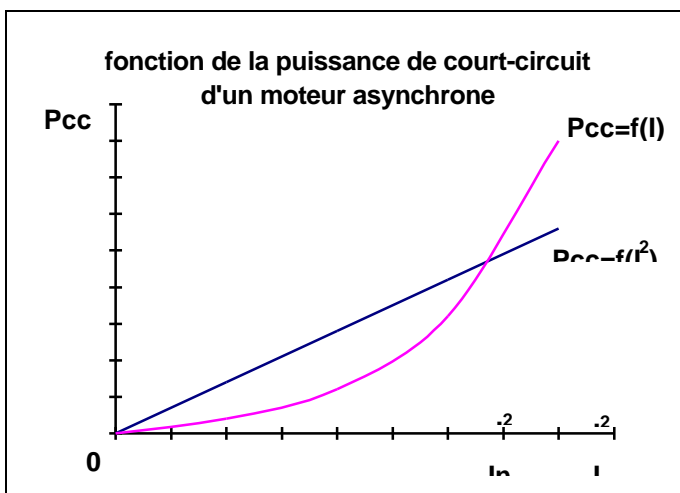


Fig. 29

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

FACTEUR DE PUISSANCE $\cos j_{cc} = f(I)$

La fonction du facteur de puissance se présente comme étant une droite horizontale car ce paramètre est constant (voir FIG.30) il ne dépend que du rapport entre la résistance et l'impédance équivalente du moteur:

$$\cos j_{cc} = \frac{R_e}{Z_e}$$

Ces grandeurs sont constantes pour tout l'essai.

Le moteur asynchrone en court-circuit est donc analogue au transformateur.

A vide on ne relève aucunes différences, mais en court-circuit ces différences n'existent pas et transformateur et moteur se présentent pratiquement égaux.

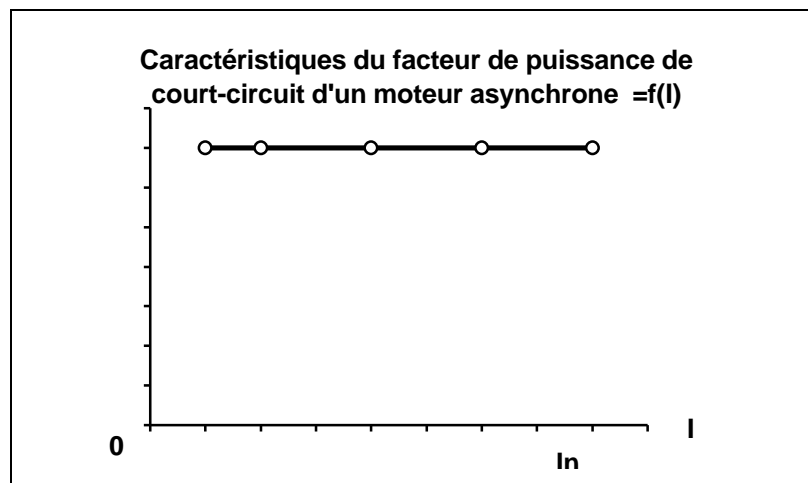


Fig. 30

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

PERTES ADDITIONNELLES

Dans le moteur asynchrone existent des pertes additionnelles qui sont difficilement définissables.

Leur détermination peut s'effectuer de la même manière que celle d'un transformateur. Grâce à la valeur des résistances ohmiques statoriques et rotoriques, et connaissant le rapport de transformation, nous pourrions calculer les pertes ohmiques dans le moteur au courant nominal avec la formule suivante:

:

$$P_{\Omega} = 1,5 \cdot R_m \cdot I^2 \text{ ceci séparément pour le stator et pour le rotor.}$$

Les pertes dans le cuivre, **quand a eux différent** des pertes déterminées pendant l'essai en court-circuit à cause de la présence des pertes additionnelles que nous calculerons par différence de pertes:

$$P_{add} = P_{cc} - P_{\Omega}$$

Dans le moteur asynchrone à bagues, ces calculs ne sont pas parfaitement exactes, car la machine a été réduite à un schéma électrique introduisant ainsi des approximations.

Ce qui a été dit avant, n'est pas valable pour les moteurs à cage car il est impossible d'évaluer les pertes ohmiques du rotor.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

DETERMINATION DES ELEMENTS POUR LE DIAGRAMME CIRCULAIRE

Selon les prescriptions du CEI, qui reflètent en substance les intérêts des utilisateurs et des constructeurs de machines électriques, la détermination des caractéristiques de fonctionnement et de rendement par voie indirecte doit se faire à une température conventionnelle de 75°C.

REPORT DES GRANDEURS A 75°C

Si on varie la température, la valeur de la résistance des enroulements variera selon un coefficient K_t correspondant à cette formule:

:

$$K_t = \frac{309,5}{234,5 + t}$$

t étant la température ambiante.

Puisque les grandeurs obtenues par l'essai de court-circuit dépendent de la résistance, elles varieront donc en fonction de la température.

Passant de la température ambiante à la température de 75°C, la résistance variera selon le coefficient K_t , tandis que la réactance ne changera pas.

On a $R_T = K_t \cdot R_e$; et $X_T = X_e$ d'où la nouvelle valeur d'impédance équivalente:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_e^2}$$

Les valeurs de court-circuit obtenu à 75°C différent de ceux relevées à la température ambiante par conséquent on aura:

- la puissance $P_{ccT} = 3 \cdot R_T \cdot I^2 = 3 \cdot K_t \cdot R_e \cdot I^2 = K_t \cdot P_{cc}$ qui augmente proportionnellement à la résistance;
- la tension $V_{ccT} = \sqrt{3} \cdot Z_T \cdot I$ qui augmente de la même façon que l'impédance, de manière plus grande ou plus petite selon l'incidence de la résistance sur la réactance;
- le facteur de puissance $\cos \phi_{ccT} = \frac{R_T}{Z_T}$ qui augmente quand l'augmentation de la résistance est plus grande par rapport à celle de l'impédance.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

EVALUATION DES COURANTS

Le diagramme circulaire se base sur le fait que tous les points, y inclus les points de court-circuit, se réfèrent à la tension nominale.

Par l'essai à vide on obtient, pour la tension nominale les valeurs I_0 et $\cos j_0$ qui déterminent le premier point du diagramme.

L'essai en court-circuit, même s'il est reporté à 75°C, se réfère à une tension réduite V_T , pour effectuer l'essai avec une telle tension sans endommager la machine. Il faut calculer le courant réel de court-circuit, celui qui circulerait dans le moteur si l'essai se faisait à la tension nominale.

En Tenant compte que le moteur ayant le rotor bloqué correspond à une impédance Z_T constante, nous calculerons le courant de court-circuit effectif grâce à la formule:

$$I_{cc} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_T}$$

Il est possible aussi de procéder, d'une autre façon toujours en se référant à la température de 75°C.

En effet au courant nominal la tension est: $V_{ccT} = \sqrt{3} \cdot Z_T \cdot I_n$

Et la tension nominale est: $V_n = \sqrt{3} \cdot Z_T \cdot I_{cc}$ Lorsqu'on les divisent-on obtient:

$$\frac{V_n}{V_{ccT}} = \frac{I_{cc}}{I_n} \text{ d'où : } I_{cc} = I_n \cdot \frac{V_n}{V_{ccT}}$$

Le facteur de puissance de court-circuit à 75°C, $\cos j_{ccT}$ a déjà été calculé.

Pour tracer le diagramme circulaire à la température ambiante (qui devra être indiquée) on omettra tous les calculs de report des valeurs à la température de 75°C; il sera suffisant de reporter le courant à la valeur effective de court-circuit:

$$I_{cc} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_e}; \text{ ou bien}$$

$$I_{cc} = I_n \cdot \frac{V_n}{V_{cc}}$$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

LE DIAGRAMME CIRCULAIRE

TRACAGE DU DIAGRAMME

On trace deux axes cartésiens où l'ordonnée coïncide avec la tension, l'abscisse avec le flux, et on prend une échelle pour les courants de $1 \text{ cm} = u \text{ A}$ - voir la FIG.31

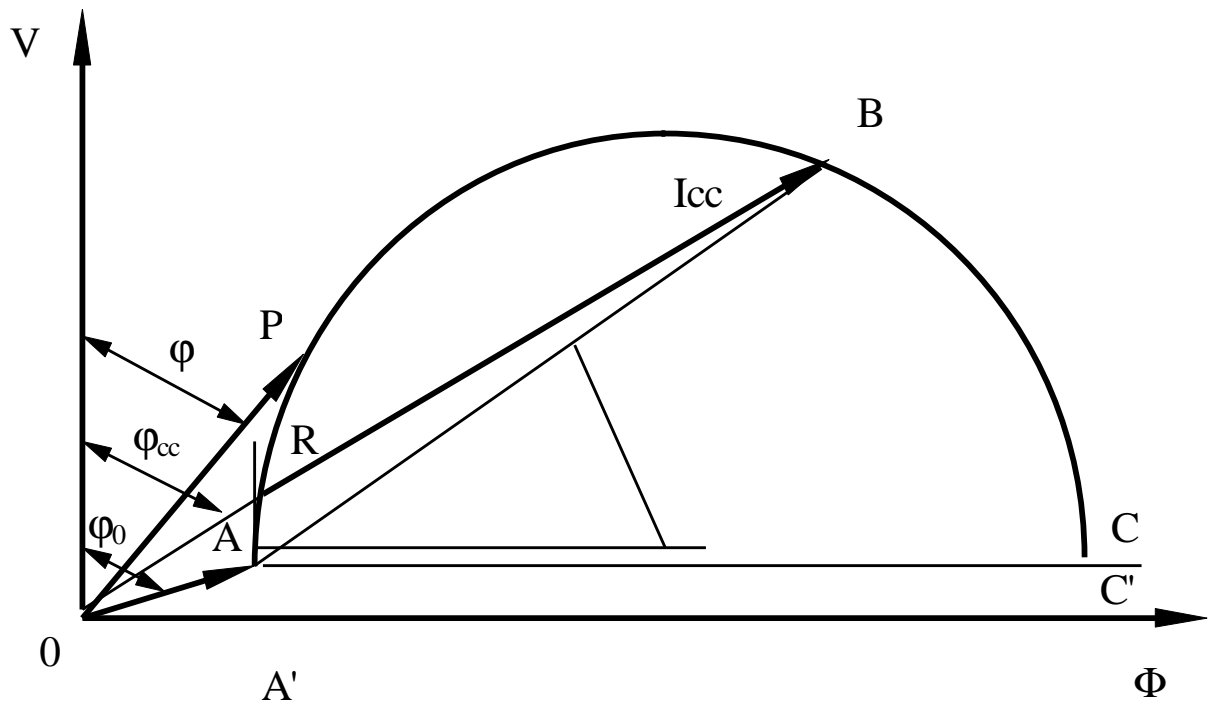


Fig. 31 - Traçage du diagramme circulaire d'un moteur asynchrone.

Dans cette échelle on trace le courant I_0 déphasé de j_0 sur V et le courant I_{cc} déphasé de j_{cc} sur V .

I_{cc} et j_{cc} seront à 75°C ou à la température ambiante en fonction de la température à laquelle on veut tracer le diagramme.

On joint les extrémités **A** et **B** des courants et on trace une verticale de **A** jusqu'à rencontrer I_{cc} en **R**.

Les axes des segments **AR** et **AB** se rencontrent dans un point qui est le centre du cercle. Une horizontale par **A** rencontre la circonférence en **C** et la délimite plus bas.

Les ordonnées passant par **A** et **C** définissent sur l'axe des abscisses le diagramme complet **A' AB CC'**. Toujours en se référant à l'échelle des courants considérés, on reporte sur le diagramme un vecteur I_n , égal au courant nominal du moteur déterminant le point d'interception **P**, correspondant à la charge nominale.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

On peut connaître aussi le facteur de puissance nominal grâce à l'angle j entre les vecteurs I_n et V . on relèvera que le point de travail P tombe habituellement plus bas, mais en proximité du point de tangence.

Observations pour exécuter le graphique

Quelque fois, il peut y'avoir des difficultés pour déterminer l'angle exact avec lequel on va tracer un vecteur et l'emploi du goniomètre est peu précis. Une méthode simple et sûre consiste à tracer un quart de circonférence dans le premier quadrant qui a comme centre l'origine des axes et comme rayon unitaire, par exemple 10 cm

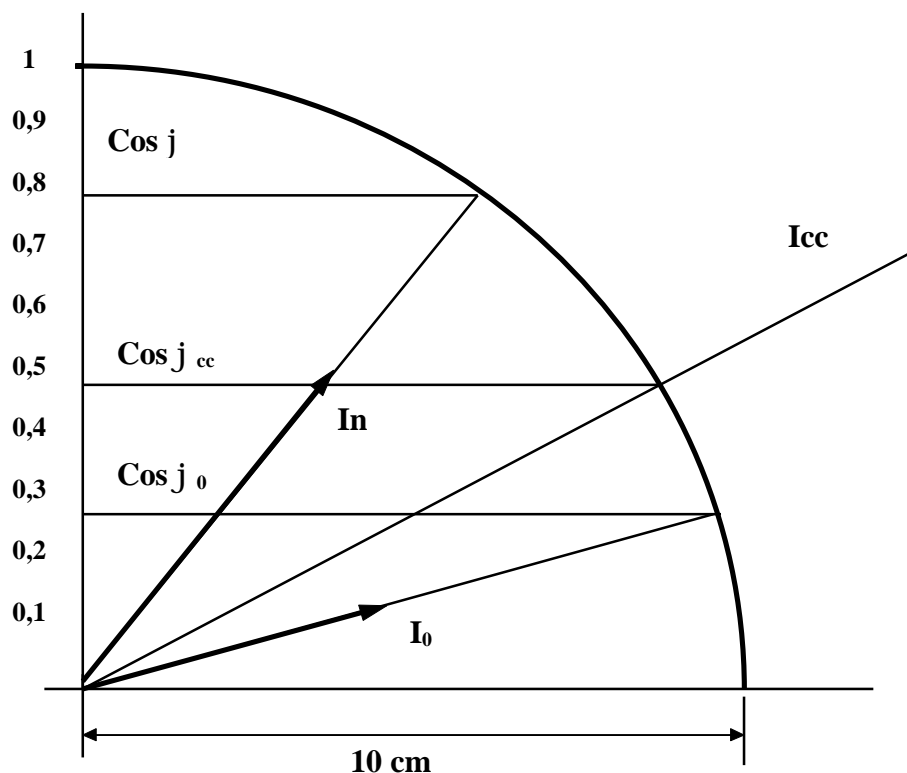


FIG.32 - Procédé graphique pour le traçage des angles.

Il faut subdiviser et graduée les ordonnées en 10 parties égales, 0,1 .0, 2. 0,3...0,9 1, ces graduations sont parfaitement correspondantes au cosinus de l'angle d'un vecteur unitaire par rapport à l'axe vertical.

Si on connaît la direction d'un vecteur et on projette sur l'axe vertical son intersection avec le cercle unitaire, on aura rapidement la valeur du $\text{Cos}\phi$.

Le facteur de puissance des courants à vide et en court-circuit, $\text{Cos}\phi_0$ et $\text{Cos}\phi_{cc}$ étant connue, on détermine les valeurs sur l'axe vertical et on trace de ce point des droites horizontales jusqu'à intercepter le cercle unitaire. On aura ainsi la direction des deux vecteurs en question, I_0 et I_{cc} .

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

PUISSANCES

En admettant la puissance apparente absorbée par le moteur est: $S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$ et, que V est constante, elle sera proportionnelle au courant selon le coefficient $\sqrt{3} \cdot V$.
 Le diagramme des courants peut être considéré comme un diagramme de puissances en lisant les segments de courant avec une échelle modifiée du facteur $\sqrt{3} \cdot V$

Echelle des puissances 1 cm = $\sqrt{3} \cdot V$ u voltampère

En décomposant le vecteur \overline{OP} dans la composante active est $OP'' = I \cdot \cos \mathbf{j}$ et celle réactive $OP' = I \cdot \sin \mathbf{j}$ dans l'échelle des puissances, ces segments représenteront respectivement la puissance active et la puissance réactive.

Dans l'échelle des puissances toujours on peut lire: $\overline{AA'} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_0 \cdot \cos \mathbf{j}_0$; ce qui est environ égale à la somme des pertes dans le fer et mécaniques $P_m + P_f$
 $\overline{BB'} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{cc} \cdot \cos \mathbf{j}_{cc}$; Égal aux pertes de court-circuit.

En Dédruit de $\overline{BB'}$ le segment $\overline{DB'} = P_m + P_f$ le segment restant \overline{BD} représente les pertes dans le cuivre en court circuit P_{cu} (cc).

Il est bon de rappeler qu'en court-circuit à la tension nominale, les pertes mécaniques sont inexistantes; et les pertes dans le fer quand à elles sont plus grandes que pendant le fonctionnement, ceci à cause du rotor, à cause de cela la déduction du segment $\overline{DB'}$ est tolérable.

On calcule les pertes dans le cuivre du stator en court-circuit: ; $P_{cu1} = 1,5 \cdot R_{1m} \cdot I_{cc}^2$ on les reporte dans l'échelle des puissances, sur le segment \overline{DE} ; on obtient la séparation des pertes dans le cuivre statorique et rotoriques et on délimite ainsi dans la demi-droite \overline{AE} la base des couples.

En prenant pour référence le point P nous pouvons maintenant lire les puissances relatives selon les différents segments déterminés:

- $\overline{PP'}$ = $\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \mathbf{j}$ est la puissance absorbée
- $\overline{NP'}$ représente les pertes dans le fer et les pertes mécaniques
- \overline{LN} représente les pertes dans le cuivre du stator

- \overline{ML} représente les pertes dans le cuivre de rotor
- \overline{PM} représente la puissance rendue
- \overline{PL} représente la puissance transmise

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

COUPLES

Grâce à l'équation de la puissance transmise $P_t = C \cdot \omega_0$ on connaît la relation entre la puissance transmise et le couple moteur, ceci en passant par la vitesse synchrone.

Les deux grandeurs sont linéairement proportionnelles cela suivant le coefficient ω_0
 Et donc on peut obtenir l'échelle des couples en divisant l'échelle des puissances:

On a $\omega_0 = \frac{2 \cdot p \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot p \cdot f}{p}$ où f est la fréquence de la tension d'alimentation et p le

nombre des couples polaires.

L'échelle des couples est donc $1 \text{ cm} = 1 \text{ cm} = \frac{\sqrt{3} \cdot V}{\omega_{0u}}$ joule/rad.

La lecture des couples devra être faite en correspondance des puissances transmises, c'est à dire en prenant comme base la ligne **AE**.

Pour le fonctionnement à charge nominale, le couple sera donné par le segment **PL**.

ÉCOULEMENT

En élève à partir de A une verticale et on détermine sur cette verticale un point H, ensuite on trace à partir de ce point une droite parallèle à la base des couples **AE**. Cette droite va intercepter sur le prolongement de **AB** un second point K, qui délimite le segment des écoulements **HK**.

Pour faciliter la lecture, on divise le segment en 100 parties égales et on obtient ainsi des graduations en pourcentage. Pour cela on conseille de choisir la longueur de HK de telle façon quelle soit facilement divisible.

Prolongeons maintenant le segment AP jusqu'à **Q**, le segment HQ donnera l'écoulement du moteur à pleine charge.

Pour tous ces points on peut lire selon les respectives échelles:

- | | |
|---|-------------------------------|
| - le courant absorbé I | représente par le segment OP |
| - le facteur de puissance cos j | représenté par le segment OP" |
| - le courant rotorique I₂ | représenté par segment AP |
| - la puissance absorbée Pa | représenté par le segment PP" |
| - le couple moteur C | représenté par le segment PL |
| - l'Écoulement s | représente par le segment HQ |

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

CARACTERISTIQUES

A partir du diagramme circulaire on peut déduire quelque caractéristique typique du moteur asynchrone en fonction de la puissance délivrée ou plus simplement des quart de charge. (Voir Fig. 34).

En ce référant à la seul zone de travail du diagramme circulaire dessiné, on indiquera avec P4 le point de fonctionnement a 100% pour laquelle la puissance fournie est donnée par le segment vertical – ce segment se subdivise en quatre parties plus une se prolongeant vers le haut et qui égale est à 125% de la charge

Pour les points indiqués ($\cos\phi_0$;). Nous devons dessiner des droites parallèles à, l'axe puis, des points d'intersection de ces droites. Avec la courbe on trace des droites passant par le point 0 ; les intersections des droites sur le cercle représentent les points de travaille p1; p2; p3; p4; p5

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Courant absorbé $I=f(a)$

Le courant augmente quand la charge augmente, la puissance rendue zéro quand a commence lors de la valeur du courant à vide "F"

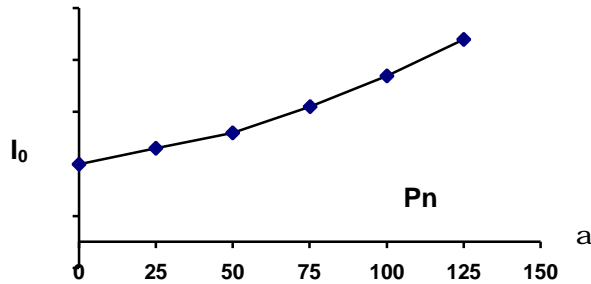


FIG.35 - Courbe du courant d'un moteur asynchrone $I=f(a)$

Facteur de puissance $\cos \varphi = f(a)$

Le facteur de puissance est une fonction qui croît avec la charge. Elle commence par la valeur à vide et va vers un maximum qui peut être obtenu en correspondance des points de tangence au cercle (voir FIG.36). Le maximum correspond à la valeur nominale ou est légèrement supérieur.

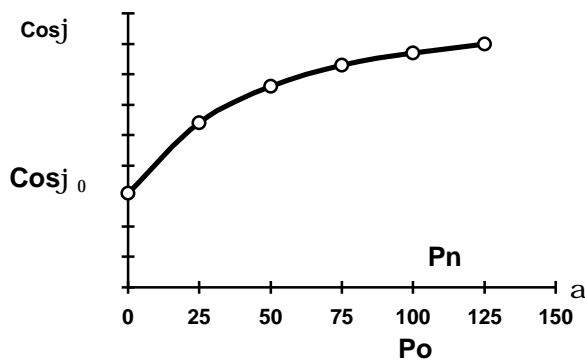


FIG.36

Courbe du facteur de puissance d'un moteur asynchrone $\cos \varphi = f(a)$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

Ecoulement $s = f(a)$

L'écoulement est une fonction croissant avec l'augmentation de la charge elle est presque rectiligne.

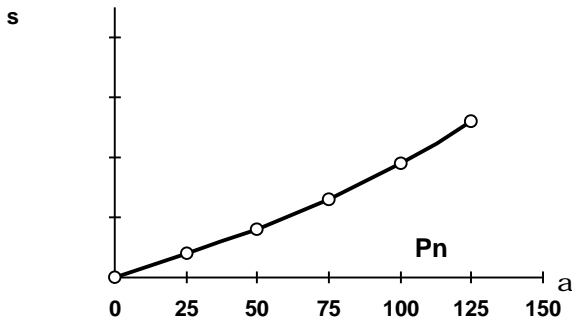


FIG.37 - courbe de l'écoulement d'un moteur asynchrone.

Couple $C = f(a)$

Le couple moteur augmente avec la puissance rendue de façon presque linéaire. La courbe aurait été rectiligne si le moteur avait eu une vitesse constante.

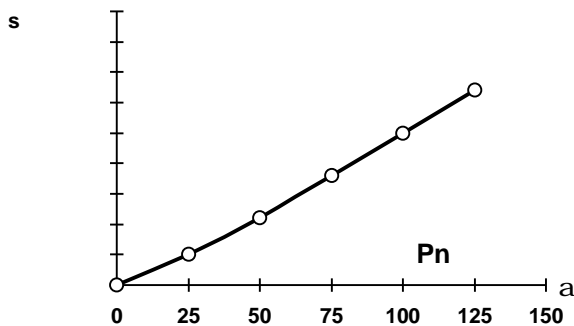


FIG.38 - Courbe du couple d'un moteur asynchrone $C=f(a)$

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

DETERMINATION DU RENDEMENT CONVENTIONNEL

Le rendement conventionnel est donné en pourcentage à partir de $h = 100 \frac{Pr}{Pa}$ ou bien

de: $h = 100 - 100 \cdot \frac{Pp}{Pa}$ Pp étant la somme des pertes:

$$Pp = Pf + Pm + Pcu1 + Pcu2 + Padd$$

On doit donc, au moyen des valeurs lues et calculées, évaluer séparément pour chaque condition de charge de chaque puissance:

- la puissance absorbée Pa lue sur le diagramme au segment PP' ,
- les pertes dans le fer Pf déduites de l'essai à vide,
- les pertes dans le cuivre du stator $Pcu1 = 1,5 \cdot Rm1 \cdot I^2$
- la puissance transmise $Pt = Pa - Pf - Pcu1$
- les pertes dans le cuivre du rotor

$$P_{cu2} = 1,5 R_{m2} I_2^2 \text{ pour les rotors bobine}$$

$$P_{cu2} = s P_t \text{ pour les rotors à cage d'écureuil}$$

- les pertes mécaniques Pm déduites de l'essai à vide;
- la puissance rendue approximative; $P_r' = Pt - Pcu2 - Pm$
- les pertes additionnelles $P_{ad} = 0,005 \cdot P_r'$
- la puissance rendue $P_r = P_r' - P_{ad}$

Les valeurs calculées du rendement représentent un diagramme en fonction de la puissance ; ce dernier a une courbure légèrement prononcée au alentour du 3/4 de la puissance

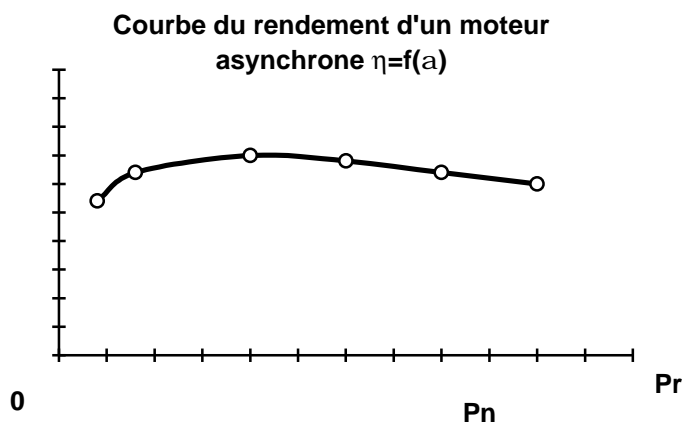


FIG.39- Courbe du rendement d'un moteur asynchrone $\eta=f$ (pr)

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES

OBSERVATIONS

Les résistances ohmiques pour le calcul des pertes dans le cuivre doivent être reportées à la température de 75°C.

Les pertes additionnelles peuvent être calculées de la puissance rendue approximative ou de la puissance rendue effective ; les deux sont pratiquement les mêmes :

$$Pr = Pt - Pcu2 - Pm - 0,005 \cdot Pr ; Pr = \frac{Pt - Pcu2 - Pm}{1,005} ;$$

Le rendement conventionnel, ne peut pas être obtenu du diagramme circulaire, car il ne prend pas en considération le calcul des pertes. Le diagramme circulaire doit être considéré comme base d'orientation, ceci bien qu'il soit assez proche de la réalité.

En outre la lecture des segments relatifs aux pertes dans le cuivre serait incertaine à cause de l'exiguïté de ces derniers.

Pour cela on préfère l'évaluation analytique des pertes qui offre une plus grande garantie de précision.

**MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES**

LA CARACTERISTIQUE MECANIQUE $C = f(s)$

La courbe dépend de l'écoulement plutôt que de la vitesse, car ainsi on peut l'obtenir plus facilement.

Le diagramme circulaire permet aussi de tracer entièrement la caractéristique mécanique qui a un intérêt considérable pour l'étude du moteur

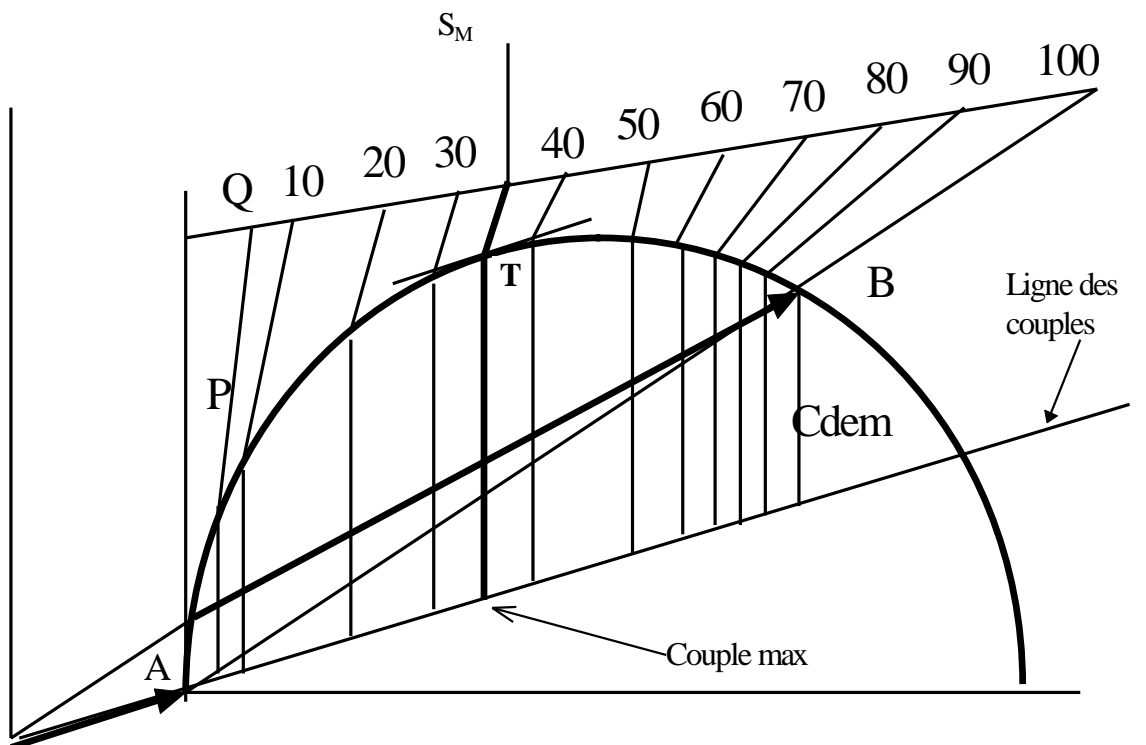


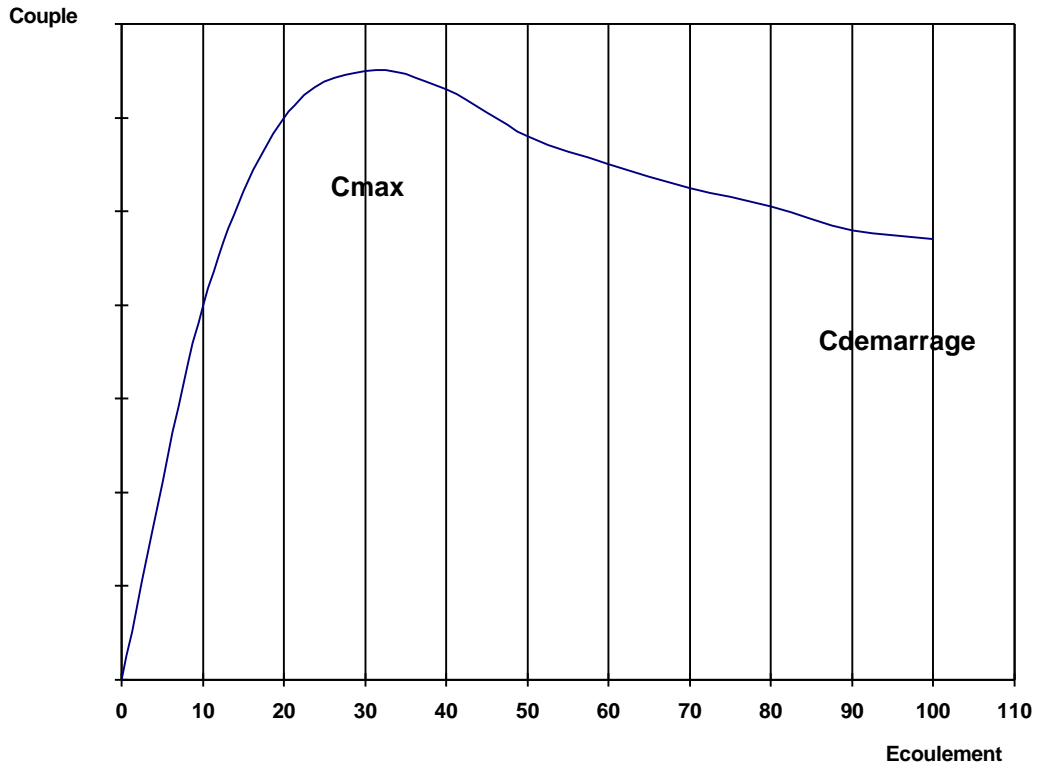
FIG.40 - Diagramme circulaire pour relever les valeurs de la caractéristique mécanique.

En correspondance aux points à écoulement décimal 10%, 20%, 30%.100% on trace les segments comme le segment AQ qui déterminent sur le diagramme le point correspondant P.

Les segments comme PL donneront les valeurs des couples correspondants. Les valeurs lues mises sous forme d'un graphique fournissent une caractéristique mécanique entière.

Les segments comme PL donneront les valeurs des couples correspondants. Les valeurs lues mises dans un graphique fournissent l'entière caractéristique mécanique.

MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A CAGE D'ECUREUIL
MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASE A BAGUES



Grâce à la courbe on obtient rapidement la valeur du couple de démarrage et du couple maximum.

Pour mieux toucher la caractéristique du couple maximum, on trace sur le diagramme circulaire une tangente parallèle à la droite des couples. On détermine ainsi un point **T** auquel correspond justement le couple maximum et l'écoulement **S_M**