

Introduction

Le moteur asynchrone est actuellement le moteur électrique dont l'usage est le plus répandu dans l'industrie. Son principal avantage réside dans l'absence de contacts électrique glissants ce qui conduit à une structure simple robuste facile à construire. Son domaine de puissance va de quelques watts à plusieurs mégawatts, relie directement au réseau industriel à tension et fréquence constantes.

Le terme asynchrone provient de fait que la vitesse du rotor et la vitesse du champ magnétique tournant ne sont pas égales, le moteur asynchrone est dit à induction puisque l'énergie transférée du stator au rotor ou du rotor au stator se fait par induction électromagnétique. Ces machines couvrent l'essentiel des besoins de la transformation énergie électrique en énergie mécanique.

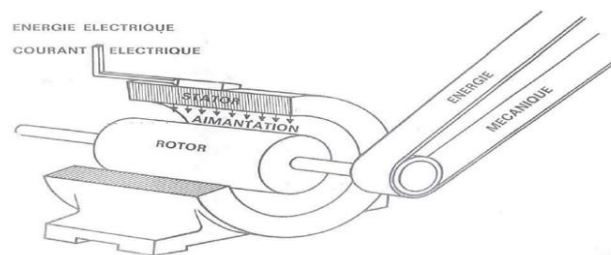
I. Généralités

I.1. Rôle

Dans les machines électriques peuvent être trouvées deux catégories :

- Générateurs : qui transforment l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Moteurs : qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique.

Le moteur asynchrone est une machine transformant l'énergie électrique apportée par le courant alternatif monophasé ou triphasé en énergie mécanique. C'est un convertisseur d'énergie ; Il est caractérisé par des grandeurs d'entrées qui sont électriques et des grandeurs de sorties qui sont mécaniques, [2].

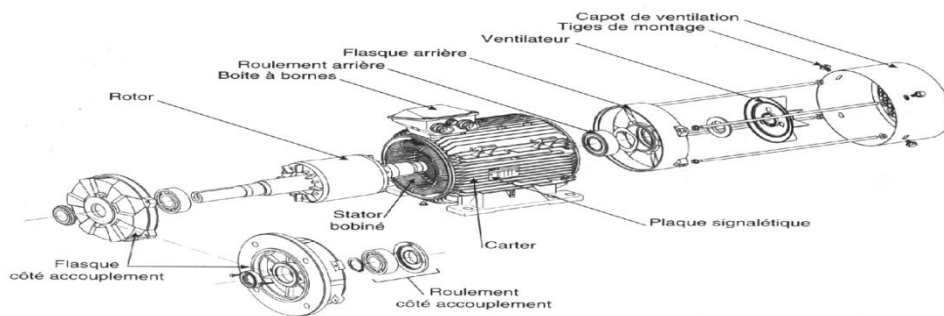


Rôle de la machine asynchrone

I.2. Constitution de la machine asynchrone

La machine à induction comprend un stator et un rotor constitués de tôles d'acier au Silicium et comportant des encoches dans lesquelles on place les enroulements. Le stator

est fixe; on y trouve les enroulements reliés à la source. Le rotor est monté sur un axe de rotation sur lequel sont placés les enroulements qui seront accessibles de l'extérieur, [3].



Les différent élément d'un moteur asynchrone

On classe les différentes pièces rencontrées dans toutes machines tournantes selon les trois grandes fonctions réalisées.

I.2.1. Rôles des organes

1. Organes électriques

- a) produire le flux électromagnétique (champ tournant);
- b) assurer la continuité de l'énergie entre le réseau et la machine;

2. Organes magnétiques

- a) canaliser le flux électromagnétique avec un minimum de pertes

3. Organes mécaniques

- a) D'assurer la transmission de l'énergie mécanique;
- b) D'assurer le support et le guidage des masses tournantes;
- c) D'assurer la protection des parties actives;
- d) D'assurer la fixation de la machine.

Ces différents organes peuvent être regroupés en 2 parties :

- ✓ La partie fixe : Le stator
- ✓ La partie mobile : le rotor

I.2.2. Stator

Le stator de la machine asynchrone est constitué de tôles d'acier dans lesquelles sont placés les bobinages statoriques. Ces tôles sont pour les petites machines, découpées en une seule pièce alors qu'elles sont pour les machines de puissance plus importante, découpées par sections. Elles sont habituellement recouvertes de vernis pour limiter l'effet des courants de Foucault. Au final, elles sont assemblées les unes aux autres à l'aide de boulons ou de soudures pour former le circuit magnétique statorique. Une fois cette étape d'assemblage

terminée, les enroulements statoriques sont placés dans les encoches prévues à cet effet. Ces enroulements peuvent être insérés de manière imbriqués, ondulés ou encore concentriques. L'enroulement concentrique est très souvent utilisé lorsque le bobinage de la machine asynchrone est effectué mécaniquement. Pour les grosses machines, les enroulements sont faits de méplats de cuivre de différentes sections insérés directement dans les encoches. L'isolation entre les enroulements électriques et les tôles d'acier s'effectue à l'aide de matériaux isolants qui peuvent être de différents types suivant l'utilisation de la machine asynchrone. Le stator d'une machine asynchrone est aussi pourvu d'une boîte à bornes à laquelle est reliée l'alimentation électrique

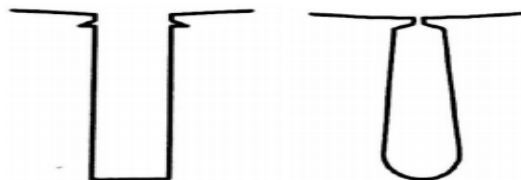


Figure I.1 Photo du stator d'une machine asynchrone

Le choix du type d'encoches pour une machine dépend de la tension de service de la puissance et du type de bobinage, [4].

Le stator des petites et moyennes machines, à basse tension, est exécuté avec des encoches Trapézoïdales semi-ouvertes. Ce type d'encoches est d'assurer une meilleure insertion des conducteurs et obtenir un meilleur coefficient de remplissage de l'encoche. Les bobine sont formés sur gabarit.

Les encoches de type ouvert sont généralement utilise pour les machines de grande puissance ou l'enroulement sont constitués de barres de couvres,[5].



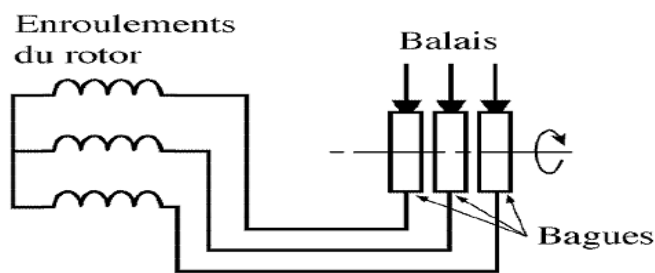
Encoche ouverte (avec l'espace pour la clavette) et semi-ouverte trapézoïdale

I.2.3. Rotor

Le rotor du moteur asynchrone n'est fixé à aucune alimentation électrique. Il est constitué de conducteurs en court-circuit qui sont parcourus par des courants induits : les courants rotoriques. Ces conducteurs peuvent être constitués par un ensemble de bobinages (Rotor bobiné) ou bien une cage d'écureuil, [4].

a. Rotor Bobiné

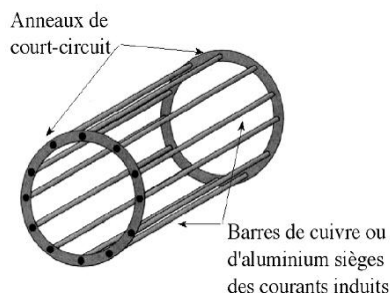
Les enroulements rotoriques sont localisés dans les encoches situées à la périphérie du rotor. Ces enroulements sont bobinés de manière à obtenir un enroulement triphasé à « p » paires de pôle. Les bobinages rotoriques sont toujours couplés en étoile, et les trois bornes accessibles sont reliées à la carcasse du stator à l'aide d'un système constitué de trois bagues tournants et de trois balais fixes, [4].



Rotor bobiné

b. Rotor à cage

La grande majorité des moteurs sont à cages. Dans chaque encoche rotorique est placée une barre. Ces barres sont en cuivre pour les moteurs de forte puissance, et en alliage d'aluminium pour les machines de faible et moyenne puissance. Elles sont réunies à chaque extrémité du rotor par des anneaux réalisant le court-circuit. L'enroulement rotorique ainsi réalisé n'est pas accessible à partir du stator, [4].



Rotor à cage d'écureuil

✓ Classification des moteurs à cage d'écureuil

Selon le critère de la NEMA (www.nema.org), on peut classer les moteurs à cage d'écureuil selon la variation de la résistance et de la réactance des enroulements du rotor. Au démarrage, la réactance d'un conducteur est d'autant plus grande que ce dernier est loin de l'entrefer. La résistance dépend de la longueur du rotor, de la section des conducteurs et du matériau utilisé. Plus cette résistance est grande, plus le courant de démarrage est grand, selon NEMA, on peut classer le moteur asynchrone comme suit, [6]:

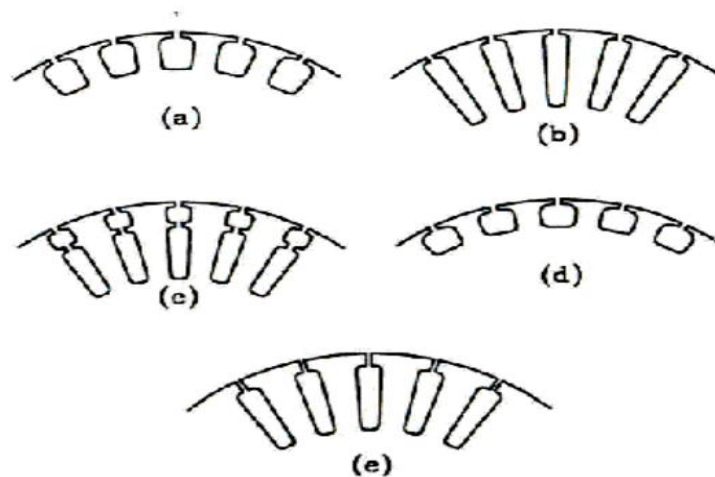
Classe A: Moteurs à couple normal et à courant de démarrage normal;

Classe B: Moteurs à couple normal et à faible courant de démarrage;

Classe C: Moteurs à fort couple et à faible courant de démarrage;

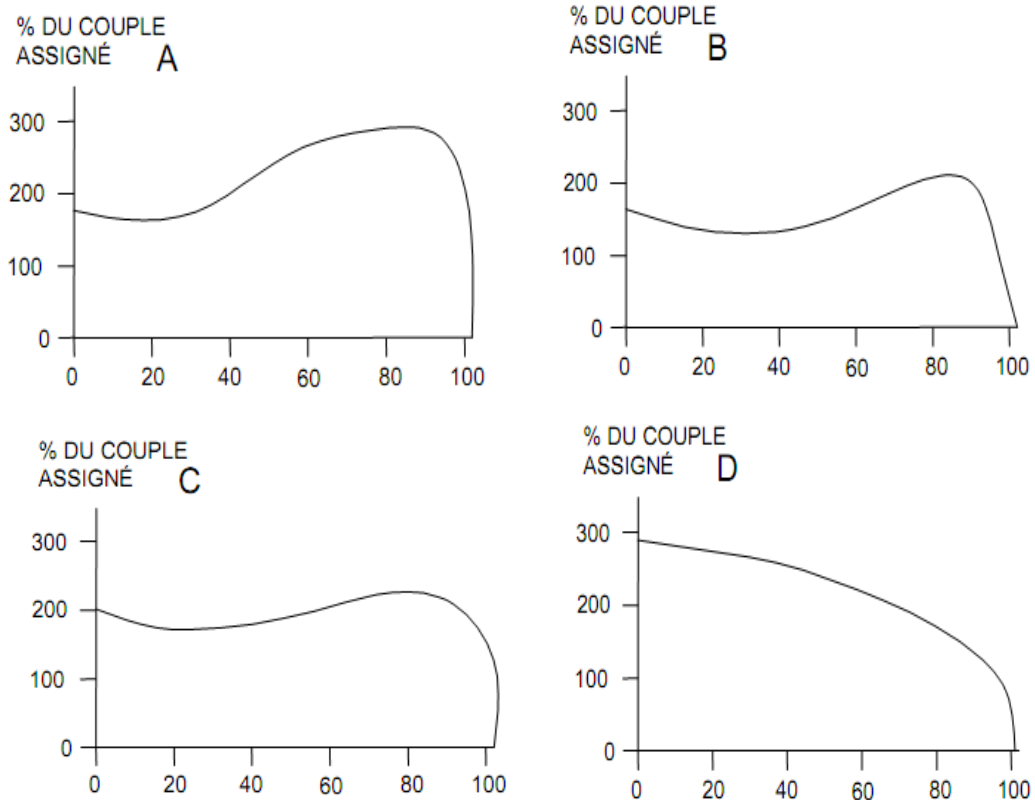
Classe D: Moteurs à fort glissement;

Classe F: Moteurs à faible couple et à faible courant de démarrage.



Les différents types d'encoche rotorique. Classement de la NEMA, [4].

De ce classement on peut déduire que le choix d'une encoche appropriée nous aide à donner au moteur les caractéristiques souhaitées. Il existe cependant des configurations plus complexes que celles que nous venons de voir.[6]



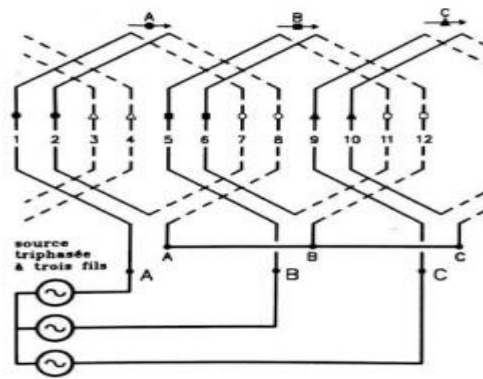
Courbes couple/vitesse en fonction de la classe du moteur, [7].

I.2.4. Bobinage

On peut effectuer le bobinage d'une machine tournante de plusieurs façons, mais on utilise habituellement trois types d'enroulements :

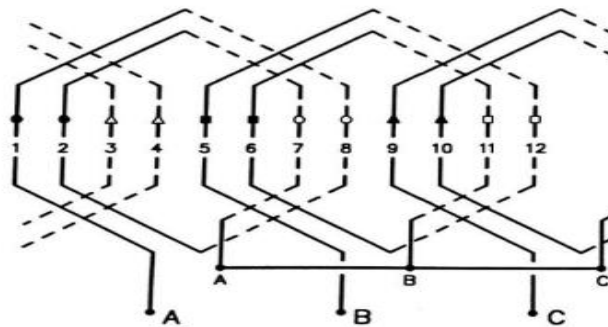
l'enroulement imbriqué, l'enroulement concentrique et l'enroulement ondulé. Chaque type présente des avantages dans certaines applications.

L'enroulement imbriqué s'emploie généralement pour le bobinage des stators de moteurs de quelques dizaines de kilowatts et plus, [6].



Enroulement imbriqué à une couche, une paire de pôles, 12 encoches.

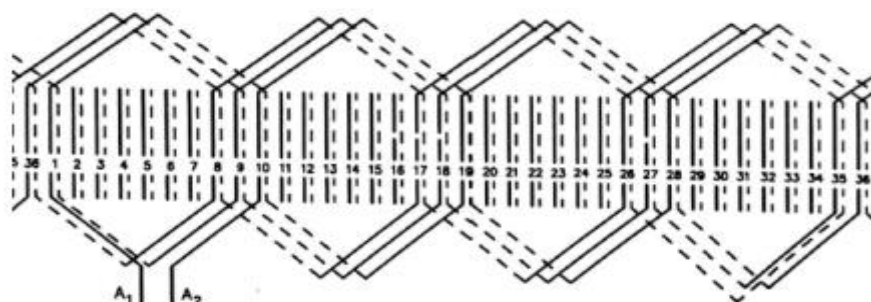
Dans le cas de petits moteurs asynchrones, particulièrement lorsque le bobinage est mécanisé, on utilise généralement l'enroulement concentrique, [6].



Enroulement concentrique pour un moteur à une paire de pôles, 12 encoches.

L'enroulement concentrique est un bobinage obligatoirement à couche unique, de telle sorte que chaque encoche contient un seul côté de bobine.

L'enroulement ondulé est idéal pour les rotors des moteurs asynchrones à bagues. Leur disposition dans les encoches différencie ces différents types d'enroulements, [6].



Enroulement ondulé d'une phase. Moteur à 4 pôles et 36 encoches.

Si tel est le cas, chaque encoche contient deux côtés de bobine et le nombre de conducteurs par encoche doit nécessairement être un nombre pair, [6].

Il est possible de relier en série toutes les bobines de l'enroulement pour une même phase; on obtient alors un moteur qui ne peut opérer que sous une seule tension. Par contre, on peut répartir les bobines en un certain nombre de groupes à l'intérieur desquels elles sont connectées en série.

Les groupes ainsi formés peuvent se relier en série ou en parallèle et permettre d'utiliser le moteur sous plusieurs tensions, [6].

Lorsque les bobines sont faites de fils carrés ou rectangulaires d'assez forte section, elles sont formées sur des gabarits et insérées globalement dans des encoches ouvertes.

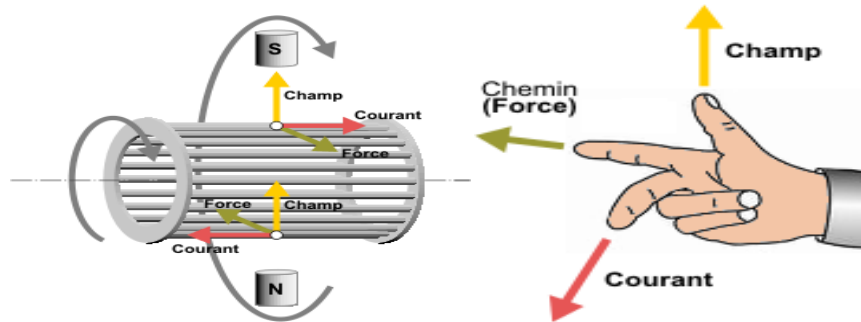
Dans le cas d'encoches de type semi-ouvert, on utilise habituellement plusieurs fils ronds, vernis et de faible section pour former les conducteurs des bobines. Comme les bobines faites de fils carrés, elles sont généralement formées sur des gabarits, mais introduites fil par fil ou quelques fils à la fois dans les encoches, [6].

I.3. Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant créé par le courant triphasé fourni à l'enroulement statorique par le réseau, et des courants induits dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont coupés par le champ tournant.

De cette façon le fonctionnement d'une machine asynchrone est analogue à celui d'un transformateur : le stator étant comparable à l'enroulement primaire et le rotor à l'enroulement secondaire qui, dans le cas général, peut tourner à la vitesse de rotation donnée par le rapport suivant, [3]:

$$\omega = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (I.1)$$



L'interaction électromagnétique

La règle de la main droite

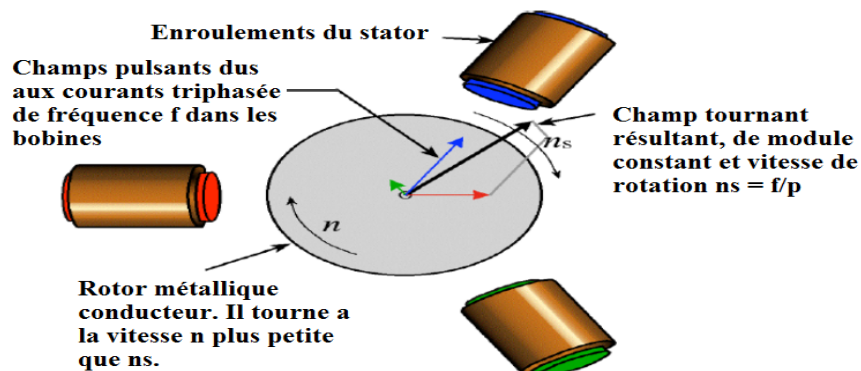
du champ tournant créé par le courant

L'interaction électromagnétique des deux parties d'une machine asynchrone (sans collecteur) n'est possible que lorsque la vitesse du champ tournant (n_s) diffère de celle du rotor (n), c'est-à-dire, lorsque $n \neq n_s$, car dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque $n = n_s$, le champ serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique.

Le rapport :

$$g = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (I.2)$$

Est appelé glissement d'une machine asynchrone[4]



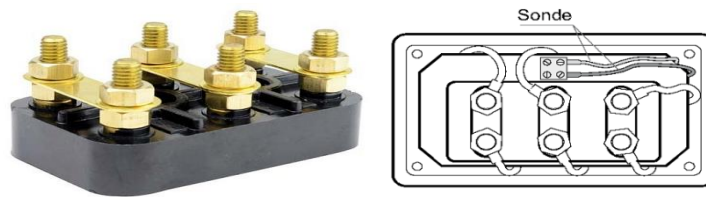
Interaction rotor stator.

I.4. Présentation physique du MAS

I.4.1. Plaque à bornes

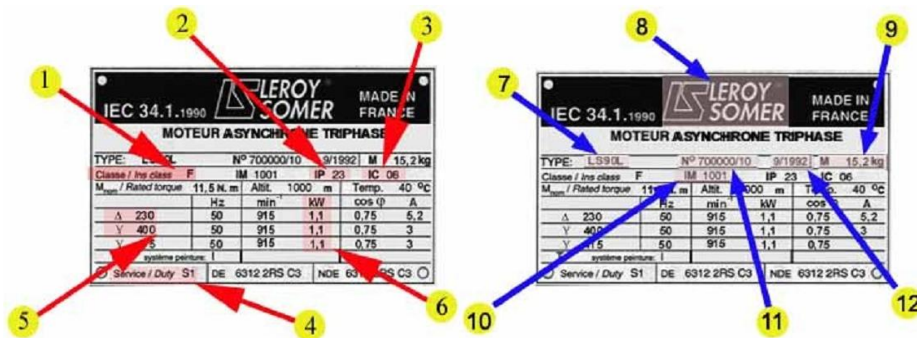
C'est le dispositif permettant de raccorder le moteur à son alimentation. On n'y retrouve chacune des deux extrémités de chacun des trois enroulements.

Lorsque le moteur comporte des accessoires (protection thermique ou résistance de réchauffage), ceux-ci sont raccordés sur des dominos à vis ou des planchettes par des fils repérés, [8].



Plaque à bornes, [8].

I.4.2. Plaque signalétique ou plaque d'identification



Plaque signalétique ou plaque d'identification, [8].

C'est la carte d'identité du moteur, on y retrouve fréquemment :

- ① La classe de température ou classe d'isolant. Elle est repérée par une lettre (ex : B, E ou F) et contient deux renseignements ;
 - ✓ la température maximum du moteur : θ_{MAX}
 - ✓ l'échauffement maximum du moteur : $\Delta\theta_{MAX}$
 - ✓ Si on note θ_A la température ambiante, on peut écrire $\theta_{MAX} = \Delta\theta_{MAX} + \theta_A$
 - ✓ L'échauffement $\Delta\theta$ est dû aux pertes joules, donc au courant, un déclassement du moteur Permettra de diminuer l'échauffement en limitant la puissance utile, qui est alors inférieure à sa Valeur nominale.
- ② L'indice de protection IP sur deux chiffres ;
 - ✓ 1er chiffre : protection contre la pénétration des corps solides

✓ 2ème chiffre : protection contre la pénétration des corps liquides

- ③ Le mode de refroidissement;
- ④ Le type de service (ex : S1, le service continu) pour lequel les valeurs inscrites sont « données nominales »
- ⑤ Les caractéristiques d'alimentation électrique (ex : 230/400V 9/5.2A 50Hz). Le MAS accepte en général une variation de plus ou moins 10% au tour de ces valeurs nominales. Les conséquences de ces variations sont illustrées ci-dessous :

	Variation de la tension en %				
	U _N -10%	U _N -10%	U _N -10%	U _N -10%	U _N -10%
Courbe de couple	0.81	0.90	1	1.10	1.21
Glissement	1.28	1.11	1	0.91	0.83
Courant nominal	1.10	1.05	1	0.98	0.98
Rendement nominal	0.97	0.98	1	1.00	0.98
Cos φ nominal	1.03	1.02	1	0.97	0.94
Courant de démarrage	0.90	0.95	1	1.05	1.10
Echauffement nominal	1.18	1.05	1	1	1.10
P(Watt) à vide	0.85	0.92	1	1.12	1.25
Q (var) à vide	0.81	0.9	1	1.1	1.21

Le supplément d'échauffement selon la norme CEI 60034-1 ne doit pas excéder 10k aux limites $\pm 5\%$ de U_N, [8].

- ⑥ La puissance utile (on indique toujours ce type de puissance, sauf dans le cas d'une pompe où la puissance absorbée est indiquée) => puissance mécanique (ex : 2.2kW - 3ch);
- ⑦ Le type et 11 le numéro de série du moteur;
- ⑧ Le nom du constructeur;
- ⑨ La masse du moteur;
- ⑩ La position du montage;

✓ l'indice de résistance aux chocs : IK

✓ le rendement nominal $\eta = P_u / P_a$

P_u : Puissance utile (mécanique)

P_a : Puissance absorbée (électrique)

✓ le facteur de puissance : cos φ (déphasage en sinusoïdal entre V et J). Au démarrage, sa valeur est faible (0,35 environ) puis croît jusque environ 0,8.

✓ La fréquence nominale de rotation en tr.min⁻¹, voire de plus en plus fréquemment en « min⁻¹ » Avec le marquage IE obligatoire depuis juin 2011 (CEI60034-30), voici la nouvelle présentation des plaques signalétiques :

LEROY SOMER		MOT. 3~ FLSES 280 S 4 - B3		CE	
N° 310348511001		2011		503 kg	
DE 6316 C3	33 g	13230 h	IP 55	1000 m	
NDE 6314 C3	26 g	13230 h	IK 08		
40 °C	Ins cl. F S 1	%	d/h	SF	IE2
V	Hz	min ⁻¹	kW	A	cos φ
400 Δ	50	1481	75	140	0.82
690 Δ				81	
460 Δ	60	1781	75	123	0.81
POLYREX EM 103 - TP 111 B					
MOTEURS LEROY-SOMER					
IEC 60034-1 - MADE IN FRANCE					

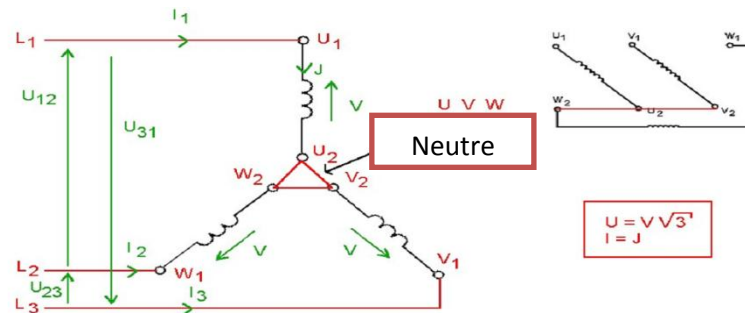
Nouvelle présentation des plaques signalétiques, [8].

I.4.3. Tensions et couplage

-tension entre phases (composée) : U

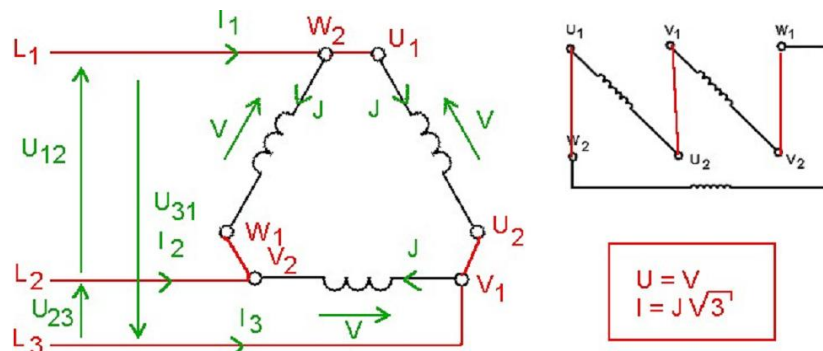
-tension simple : V -courant en ligne : I -courant dans les enroulements : J

a. Etoile



Couplage Etoile

b. Triangle



Couplage Triangle

Donc selon la tension du réseau, chaque enroulement devra être alimenté soit entre deux phases (couplage triangle) soit entre phase et neutre (couplage étoile), sachant que pour le réseau, la tension que l'on précise est systématiquement la tension composée.[8]

Moteur Réseau	127 V/230 V	230 V / 400 V	400 V / 690 V
127 V/230 V	Etoile	Triangle	Aucun
230 V / 400 V	Aucun	Etoile	Triangle
400 V / 690 V	Aucun	Aucun	Etoile

I.5. Les avantages et les inconvénients des machines asynchrones

❖ Avantages

Il y a plusieurs avantages pour le moteur asynchrone :

- Structure simple;
- Robuste et facile à construire;
- Utilisé dans la puissance moyenne et élevés;
- Relié directement aux réseaux industriels à tension et fréquence;
- Il tourne à vitesse variable différente de la vitesse synchrone;
- Il est utilisé pour la réalisation de la quasi-totalité de l'entraînement à vitesse.

❖ Inconvénients

Parmi les inconvénients de la machine asynchrone :

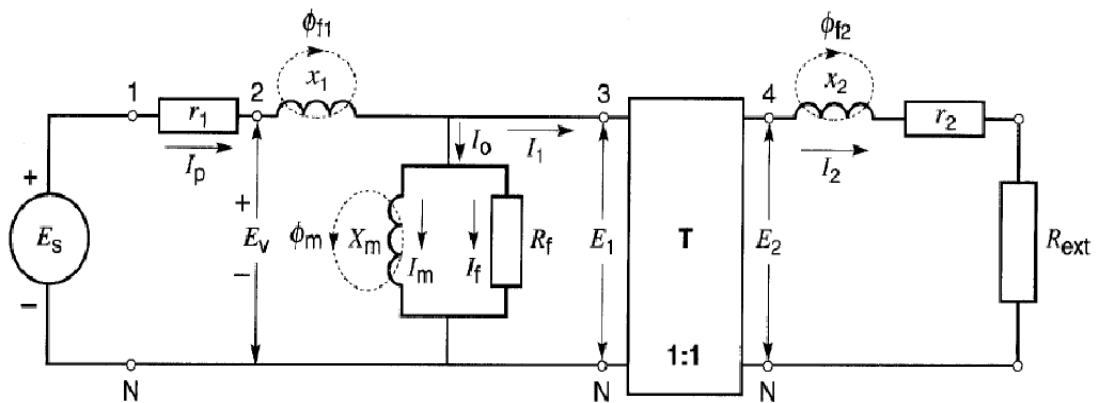
- Le couple de démarrage très élevé que les couples nominales;
- La vitesse dépend de la charge;
- Variation de vitesse (nécessité d'un variateur de vitesse);
- La structure dynamique est fortement non linéaire et l'existence d'un fort couplage, [4].

I.6. Schéma équivalent du moteur asynchrone

La constitution d'un moteur triphasé à rotor bobiné (aussi appelé moteur à bagues) est similaire à un transformateur triphasé. Ainsi, le moteur possède 3 enroulements identiques montés sur le stator, et 3 enroulements sur le rotor, soit un enroulement par phase. A cause

de cette symétrie parfaite, on peut comme pour le transformateur, analyser le comportement du moteur en considérant seulement un enroulement primaire et un enroulement secondaire. Lorsque le rotor ne tourne pas, le moteur fonctionne exactement comme un transformateur conventionnel.

Afin de simplifier les calculs, nous supposons que les enroulements du stator sont branchés en étoile et que le rapport de transformation est de 1 : Le moteur est au repos et les bagues sont raccordées à une résistance extérieure R_{ext} , [9].



Circuit équivalent d'un moteur à rotor bobiné à l'arrêt.
Les bagues sont connectées à une résistance extérieure.

Les paramètres du circuit sont comme suit :

E_s = tension de la source d'alimentation, ligne à neutre [V].

r_1 = résistance du stator [Ω].

r_2 = résistance du rotor [Ω].

x_1 = réactance de fuite du stator [Ω].

x_2 = réactance de fuite du rotor [Ω].

X_m = réactance de magnétisation [Ω].

R_f = résistance représentant les pertes dans le fer et par frottement et aération [Ω].

T = transformateur idéal ayant un rapport de transformation 1 : 1.

f = fréquence de la source [Hz].

n_s = vitesse synchrone du moteur [tr/mn].

Φ_m = flux mutuel dans le rotor [Wb].

Φ_{f1} = flux de fuite du stator [Wb].

T = transformateur idéal ayant un rapport de transformation 1 : 1

f = fréquence de la source [Hz].

n_s = vitesse synchrone du moteur [tr/mn].

ϕ_m = flux mutuel dans le rotor [Wb].

ϕ_{f1} = flux de fuite du stator [Wb].

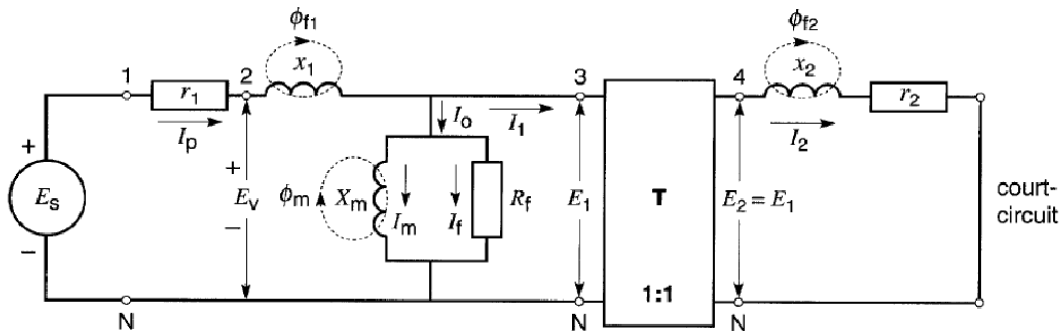
ϕ_{f2} = flux de fuite du rotor [Wb].

$\phi_s = \phi_m + \phi_{f1}$ = flux total accroché par le stator [Wb].

E_1 = tension induite dans le stator par le flux mutuel [V].

E_2 = tension induite dans le rotor par le flux mutuel [V]

E_v = tension induite dans le stator par ϕ_m et ϕ_{f1} [V]



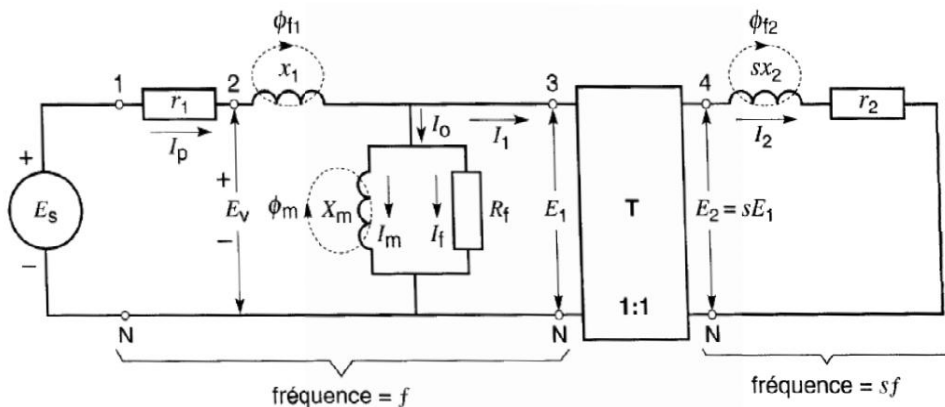
Circuit équivalent d'un moteur à rotor bobiné lorsque le rotor est bloqué.

Les bagues sont en court-circuit.

Supposons que le rotor tourne avec un glissement s de sorte sa vitesse n soit :

$$n = ns (1 - s) \quad (I.3)$$

Si le moteur était au repos, la tension E_2 induite au secondaire du transformateur idéal T serait égale À la tension E_1 au primaire Mais comme le moteur tourne avec un glissement s , la Tension efficace au secondaire est : $E_2 = sE_1$



Circuit équivalent d'un moteur à rotor bobiné pour un glissement s .

La fréquence au primaire est f , mais celle au secondaire est sf .

De plus la fréquence du coté secondaire devient sf , où f est la fréquence de la source, Cela a pour effet de changer la réactance de fuite du rotor de x_2 à sx_2 . La valeur de r_2 n'est évidemment pas affectée par ce changement de fréquence, [9].

I.7. Diagramme du cercle

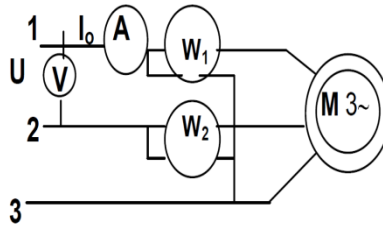
• Intérêt du diagramme du cercle

Pour les moteurs de grande puissance, les essais en charge ne sont pas toujours possibles. Grâce au diagramme de cercle normalisé UTE on peut déduire :

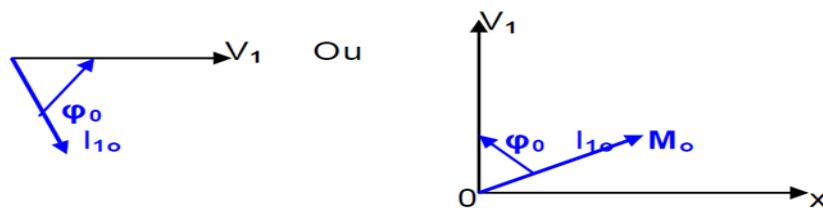
- ✓ La puissance utile, les intensités primaire et secondaire, le facteur de puissance, le rendement, le glissement, le couple transmis;
- ✓ On peut ainsi prédéterminer les paramètres du fonctionnement en charge, [2].

I.7.1. Essai à vide

On fait tourner le moteur à vide alimenté sous sa tension nominale



On mesure ainsi P_0 , I_0 et U ; on peut alors calculer $\cos\phi_0 = P_0 / \sqrt{3}UI_0 = P_0 / \sqrt{3}UI_0$ à une échelle donnée les valeurs I_0 et $\cos\phi_0$ donne un premier point M_0 du cercle correspondant au point de fonctionnement à vide. I_0 [2]



I.7.2. Essai en court-circuit à rotor bloqué

L'alimentation sous tension nominale ne peut se faire à rotor bloqué pour les moteurs très puissants car les intensités seraient très élevées. On alimente le moteur donc sous une tension réduite U_{cc} après avoir court-circuité et bloqué le rotor de telle sorte que le courant de court-circuit ne dépasse pas le courant nominal du moteur. On mesure ainsi sous tension réduite : P'_{cc} , I'_{cc} , U_{cc}

Avec :

P_{tr} : en [W], Ω_S : en [rad/s], T_{em} : en [N.m]

Cette puissance est transmise du stator au rotor. Le rotor est lui aussi soumis au couple T_{em} mais tourne à la vitesse Ω .

c. Pertes par effet Joule P_{jr} et pertes fer P_{fs} au rotor :

Les pertes fer au rotor sont souvent négligeables : $P_{fs} \approx 0$.

On montre alors que les pertes par effet Joule au rotor sont $P_{jr} = g \cdot P_{tr}$.

On ne peut que calculer ces pertes, elles ne sont pas mesurables car le rotor est court-circuité

d. Puissance disponible au rotor P_r :

$$P_r = T_{em} \cdot \Omega \quad \text{et} \quad T_{em} = P_{tr} \cdot \Omega_S$$

d'où

$$P_r = P_{tr} \cdot \Omega_S \cdot \Omega$$

Soit $P_r = (1-g) \cdot P_{tr}$

Le rotor étant constitué de conducteurs qui possèdent une résistance, ils sont le siège de pertes par effet Joule ainsi que de pertes magnétiques.

e. Pertes mécanique P_m et puissance utile P_u .

Le rotor est fixé à l'arbre du moteur par l'intermédiaire de roulements, il y a donc des pertes mécanique

$$P_m \quad \text{et} \quad P_u = P_r - P_m$$

f. Pertes collectives P_c :

Lors d'un essai à vide,

Le moteur absorbe la puissance $P_{a0} = U I_0 \sqrt{3} \cdot \cos \varphi = P_{js} + P_{fs} + P_{jr} + P_{fr} + P_m + P_u$.

Or, à vide : $g \approx 0 \Rightarrow P_{jr} = 0$

$P_u = 0$ et $P_{fr} \approx 0$

$$P_{jr} = \frac{2}{3} R \cdot I_0^2$$

Le bilan des puissances à vide s'écrit : $P_{a0} = \frac{3}{2} R I_0^2 + P_{fs} + P_m$.

On appelle pertes collectives $P_c = P_{fs} + P_m$ et on définit le couple de perte $T_p = \frac{P_c}{\Omega}$ ce couple de perte est considéré comme constante quel que soit la vitesse et la charge du moteur.

Lors de l'essai à vide, les pertes par effet Joule au stator $P_{js} = \frac{2}{3} R \cdot I_0^2$ sont négligeables

I.9. Rendement des moteurs électriques

Dans tout moteur électrique, une partie de la puissance électrique absorbée est dissipée sous forme de chaleur.

Les pertes d'énergie au niveau des moteurs asynchrones sont constituées par :

- Pertes par effet Joule dans les bobinages parcourus par le courant au niveau du stator;
- Pertes par effet Joule dans l'induit au niveau du rotor;
- Pertes mécaniques par frottement au niveau du rotor.

Le rendement d'un moteur électrique est le rapport de la puissance utile, c'est-à-dire la puissance mécanique P_m fournie à l'arbre sur la puissance électrique absorbée P_a par le moteur. La puissance mécanique exprimée en Watt est donnée par la formule, [10].

$$P_m = C.\Omega$$

Avec :

C Le couple développé par l'arbre du moteur en Newton-mètre (N.m);

Ω La vitesse de rotation de l'arbre en radian par seconde ([rad/s]).

✓ Expression du rendement approché

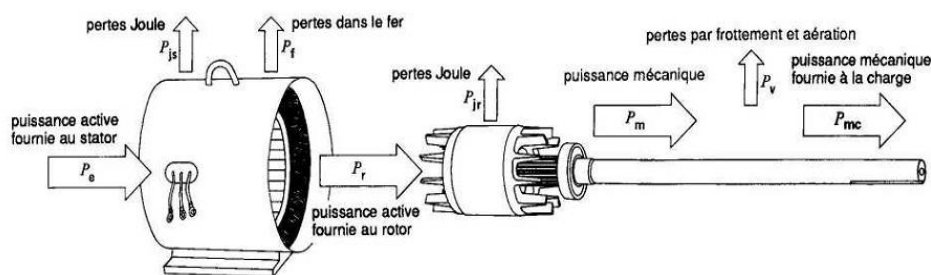
Les pertes fer rotor sont négligées :

$$\eta = \frac{\text{puissance électrique absorbée} - \text{perte mesurables}}{\text{puissance électrique absorbée}}$$

$$P_u = P_{tr} - (P_m + P_{jr})$$

$$P_u = (1 - g)(P_a - (P_{fs} + P_{js})) - P_m$$

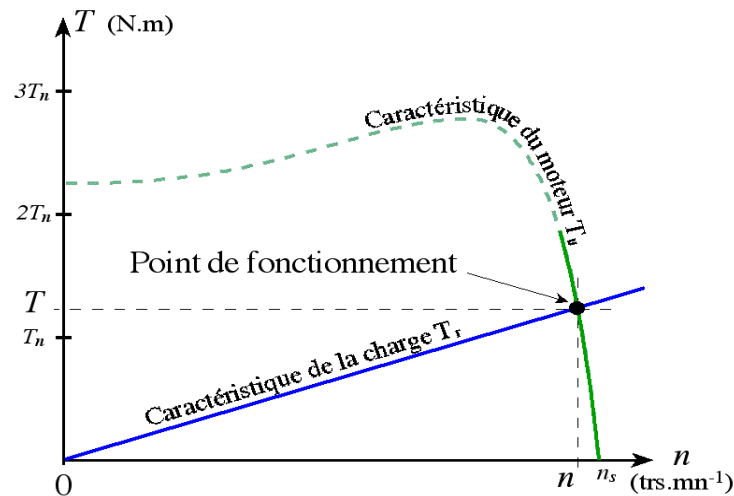
$$\eta = \frac{(1 - g)(P_a - (P_{fs} + P_{js})) - P_m}{P_a}$$



Bilan des puissances

I.10-Point de fonctionnement du moteur en charge :

C'est le point d'intersection des caractéristiques $T = f(n)$ du moteur et de la charge.



Point de fonctionnement du moteur en charge.

T_u Couple utile du moteur .

T_r Couple résistant de la charge dépend de la charge.

-Méthode de résolution graphique :

Tracer à l'échelle sur du papier millimétré les deux caractéristiques et relever les coordonnées du point d'intersection.

-Méthode de résolution par le calcul :

Il faut résoudre : $T_u = T_r$

Exemple : cas d'une charge ayant un couple résistant proportionnel au carré de la vitesse : $T_r = c.n^2$

Le couple utile du moteur est : $T_u = a.n + b$

$$T_u = T_r \Rightarrow a.n + b = c.n^2 \Rightarrow c.n^2 - a.n - b = 0$$

Finalement, il faut résoudre une équation du second degré. Une solution sur les deux trouvées sera la bonne (une des solutions n'aura pas de signification physique).

Autres informations :

Réglage de la vitesse : Comme la vitesse n reste très proche de la vitesse n_s de synchronisme, pour varier la vitesse du moteur il faut en fait varier la fréquence f_s à l'aide d'un onduleur.

$$\frac{V}{f} = \text{constante}$$

Mais pour faire varier la vitesse sans modifier le couple utile, il faut garder le rapport tension / fréquence constant.

V est la tension d'alimentation d'un enroulement. Si on augmente la vitesse, il faut augmenter la fréquence et la tension d'alimentation dans les limites du bon fonctionnement de la machine.

Intérêts et utilisation : Le moteur asynchrone triphasé, d'une puissance de quelques centaines de watts à plusieurs mégawatts est le plus utilisé de tous les moteurs électriques.

Son rapport coût/puissance est le plus faible.

Associés à des onduleurs de tension, les moteurs asynchrones de forte puissance peuvent fonctionner à vitesse variable dans un large domaine (les derniers TGV, le Tram de Strasbourg, ...).

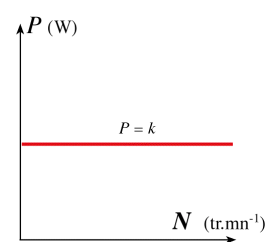
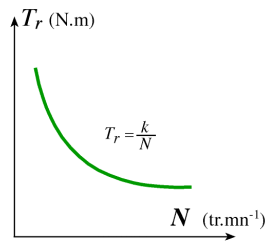
Toutefois l'emploi de ce type de moteur est évité en très forte puissance ($P > 10 \text{ MW}$) car la consommation de puissance réactive est alors un handicap.

Remarques : en électroménager (lave-linge) la vitesse des moteurs asynchrones n'est pas réglée par un onduleur, mais ces moteurs possèdent plusieurs bobinages. Il est alors possible de changer le nombre de paires de pôles et donc la vitesse.

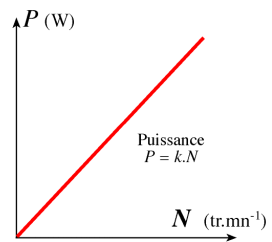
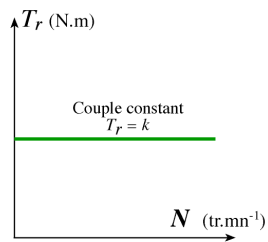
Réversibilité : Toutes les machines électriques tournantes sont réversibles [8, 9 et 11].

Complément : caractéristiques $T_r=f(n)$ de quelques charges :

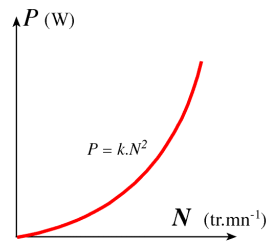
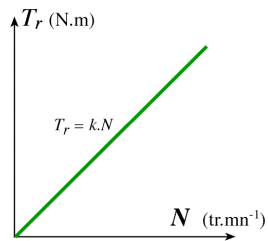
Machine à puissance
constante (enrouleuse,
compresseur, essoreuse)



Machine à couple
constant (levage, pompe)



Machine à couple
proportionnel à la vitesse
(pompe volumétrique,
mélangeur)



Machine à couple
proportionnel au carré de
la vitesse (ventilateur)

