

CONVERSION D'ENERGIE

1- Mise en situation

Les principales sources d'énergie mises en oeuvre industriellement sont l'énergie électrique et l'énergie mécanique.

Disposant, en général, de l'une ou de l'autre de ces sources, on est amené à réaliser une conversion au moyen de machines électriques. On utilise :

- Un **moteur** pour convertir **l'énergie électrique en énergie mécanique**.
- Une **génératrice** pour convertir **l'énergie mécanique en énergie électrique**.

De par la nature de l'énergie électrique utilisée et par là des principes physiques mis en jeu, on distingue :

- Les machines à **courant continu** qui fonctionnent avec des tensions continues.
- Les machines à **courant alternatifs** qui fonctionnent avec des tensions triphasées et plus rarement avec une tension monophasée.

2- Les machines à courant continu

2-1 : Description simplifiée (voir document annexe)

La constitution d'une machine à courant continu est la même qu'elle fonctionne en générateur ou en moteur. Elle se compose de quatre organes :

- **L'inducteur** : il sert à créer un champ d'induction magnétique qui agit sur
- **L'induit**
- **Le collecteur** : il sert à établir une liaison électrique entre l'induit et l'extérieur de la machine grâce aux
- **Balais**.

2-1-1 : L'inducteur (ou le stator)

Il s'agit de la partie fixe de la machine. Elle peut être formée d'aimants en ferrite ou de bobines, en général disposées autour de noyaux polaires. Sur ces pièces polaires se trouvent des enroulements qui parcourus par un courant continu, créent le champ d'induction magnétique. Elle comprend également la carcasse.

2-1-2 : L'induit (ou le rotor)

Il s'agit de la partie mobile ou tournante de la machine. Elle se compose d'un cylindre feuilleté constitué par un empilement de tôles. A la périphérie de ce cylindre, se trouvent des dentures entre lesquelles il y a des encoches à l'intérieur desquelles se trouvent des conducteurs qui constituent l'enroulement de l'induit et qui sont regroupés par des spires dont les extrémités se referment sur un collecteur. L'induit est donc un circuit électrique obtenu en associant en série des conducteurs logés dans des encoches du rotor.

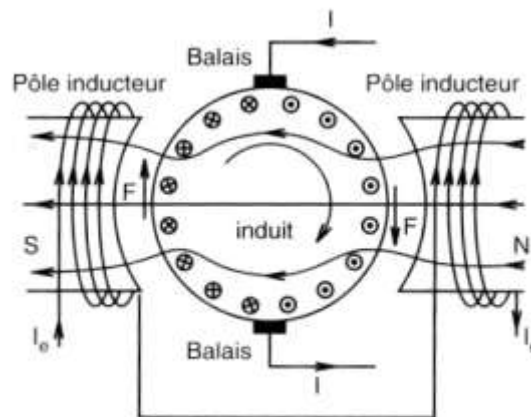
2-1-3 : Le collecteur

Il se compose de lames de cuivre isolées latéralement les unes des autres, disposées de sorte à former un cylindre et reliées aux conducteurs de l'induit en des points régulièrement espacés.

2-1-4 : Les balais

Portés par le stator, ils frottent sur les lames du collecteur : ces contacts glissants entre lames et balais permettent d'établir une liaison électrique entre l'induit qui tourne et l'extérieur de la machine.

2-2 : Principe (création d'une force électromotrice fem)



2-3 : Réversibilité

Si l'on fait passer un courant dans la spire, en présence du flux inducteur, une force agit sur les conducteurs et fait tourner l'induit; on réalise ainsi un moteur.

La machine à courant continu fonctionne aussi bien en générateur quand elle est entraînée qu'en moteur quand elle est alimentée en courant continu.

2-4 : Caractéristiques

2-4-1 : Force électromotrice d'un moteur unipolaire

$$E = kn$$

$k = N\Phi$ avec N (nombre de conducteurs actifs)

Φ (flux sous un pôle en Weber que l'on considérera constant)

n : fréquence de rotation en tr/s

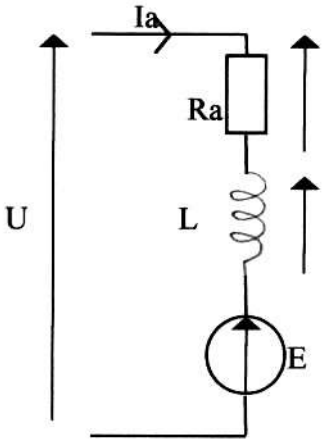
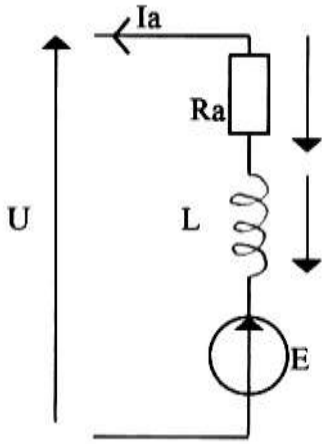
Remarque : pour une machine multipolaire la f_{cem} s'écrit :

$$E = kn$$

$k = (p/a)N\Phi$ avec p (nombre de paire de pôles)

a (nombre de paire de voies d'enroulement)

2-4-2 Schéma équivalent de l'induit

	
<p>FONCTIONNEMENT EN MOTEUR</p>	<p>FONCTIONNEMENT EN GENERATRICE</p>
<p>$U = E + RaIa + LdIa/dt$</p> <p>Or si $Ia = \text{constante} \implies dIa/dt = 0$</p> <p>$U = E + RaIa$</p> <p>(Ici E est une force contre-électromotrice)</p>	<p>$U = E - RaIa - LdIa/dt$</p> <p>Or si $Ia = \text{constante} \implies dIa/dt = 0$</p> <p>$U = E - RaIa$</p> <p>(Ici E est une force électromotrice)</p>

2-4-3 : Vitesse de rotation d'un moteur

Nous avons $E = kn$ et $E = U - RaIa$ d'où : **$n = (U - RaIa)/k$**

*Remarque : pour un moteur la vitesse de rotation est liée à la tension U d'alimentation de l'induit; on utilise ainsi l'alimentation à tension d'induit variable pour faire varier la vitesse de rotation du moteur. De même en jouant sur Φ , on aurait le même effet, mais si Φ venait à s'annuler la vitesse du moteur augmenterait très rapidement en tendant vers l'infini (ce qui serait dangereux).
Par conséquent, il ne faut jamais alimenter l'induit d'un moteur à courant continu sans l'existence d'un courant d'excitation.*

2-5 : Puissance et couple

2-5-1 : Puissance électrique utile

$$P_e = EI = knI$$

2-5-2 : Puissance électrique absorbée (c'est la totalité de la puissance prise au réseau)

$$P = UI$$

2-5-3 : Couple moteur

La puissance mécanique s'exprime par la relation : $P = C\omega$

Avec :

P : puissance mécanique en Watt

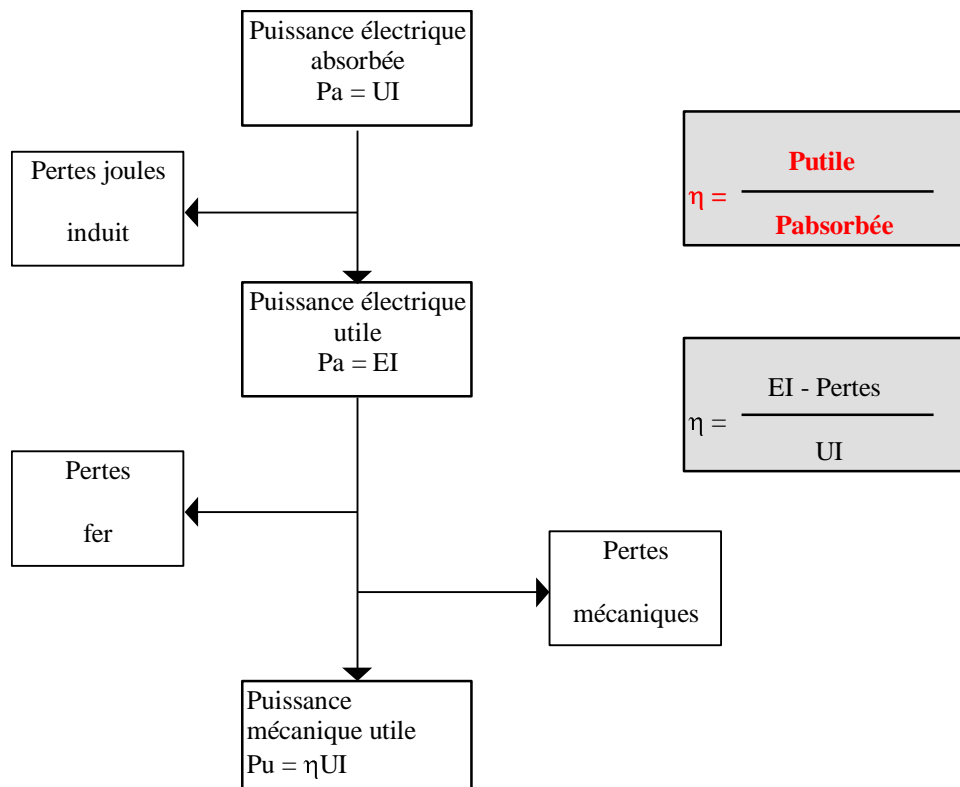
C : couple en N.m

ω : vitesse angulaire en rad/s = $2\pi n$

$$C = Pe/\omega = knI / 2\pi n = k'I \text{ où } k' = k/2\pi$$

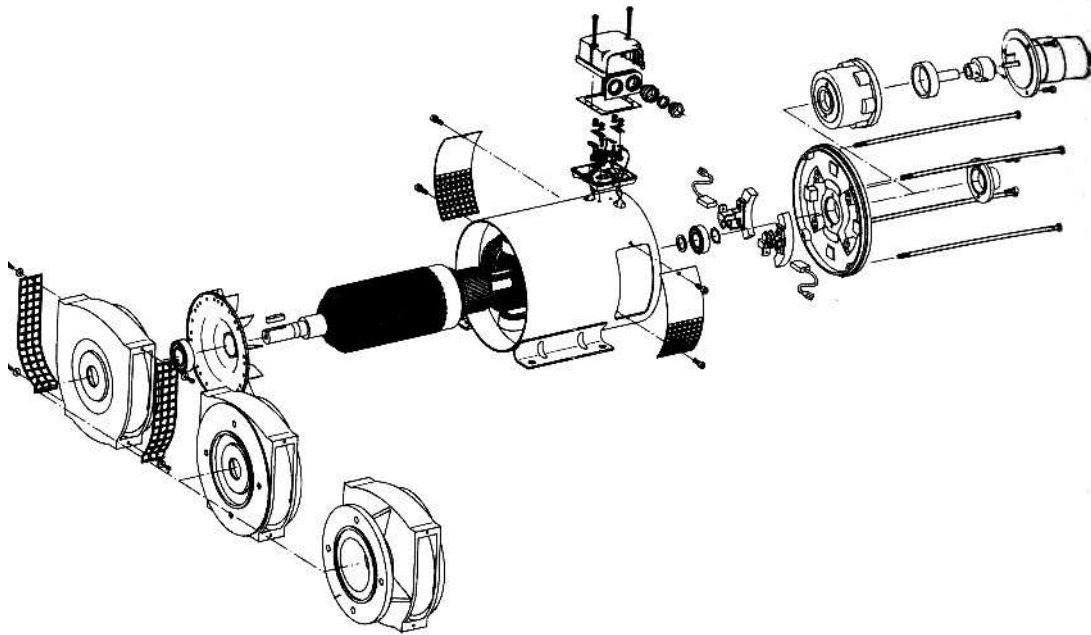
2-5-4 : Rendement

Les pertes comprennent : les pertes joules, les pertes fer et les pertes mécaniques. Le bilan des puissances fait apparaître le rendement du moteur à courant continu :



2-6 : Constitution générale

Le principal problème de la machine à courant continu est de se connecter électriquement au rotor tournant. On utilise pour cela un collecteur sur lequel frotte des balais. C'est cet organe qui représente une des limites d'emploi de ce type de moteur.



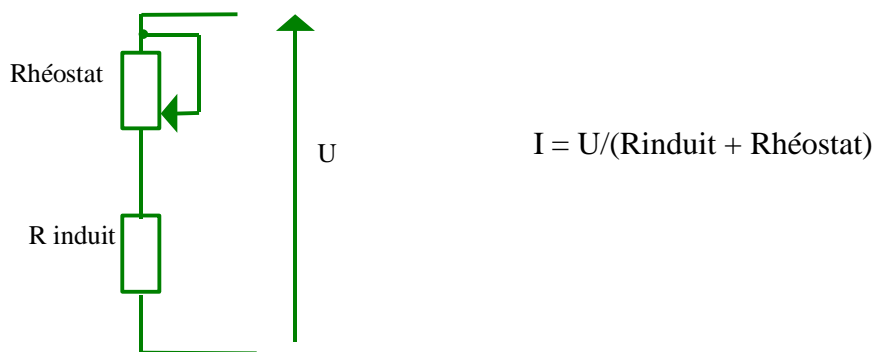
2-7 : Démarrage du moteur

Le courant absorbé par un moteur électrique en rotation est donné par la loi d'Ohm : $U = E + RI$. Le courant absorbé en fonctionnement est : $I = (U - E)/R$.

A la mise sous tension la fem est nulle ($E = 0V$), d'où : $I = U/R$.

Or R c'est la résistance de l'induit et elle est très faible. Par conséquent, au démarrage, l'intensité de démarrage est très élevée.

Pour limiter ce courant (valeur qui doit être comprise entre $1.2I_n < I_d < 2I_n$), on monte un rhéostat (au démarrage) en série avec l'induit afin de limiter le courant de démarrage puis on annule cette résistance.



3- Les machines à courants alternatifs

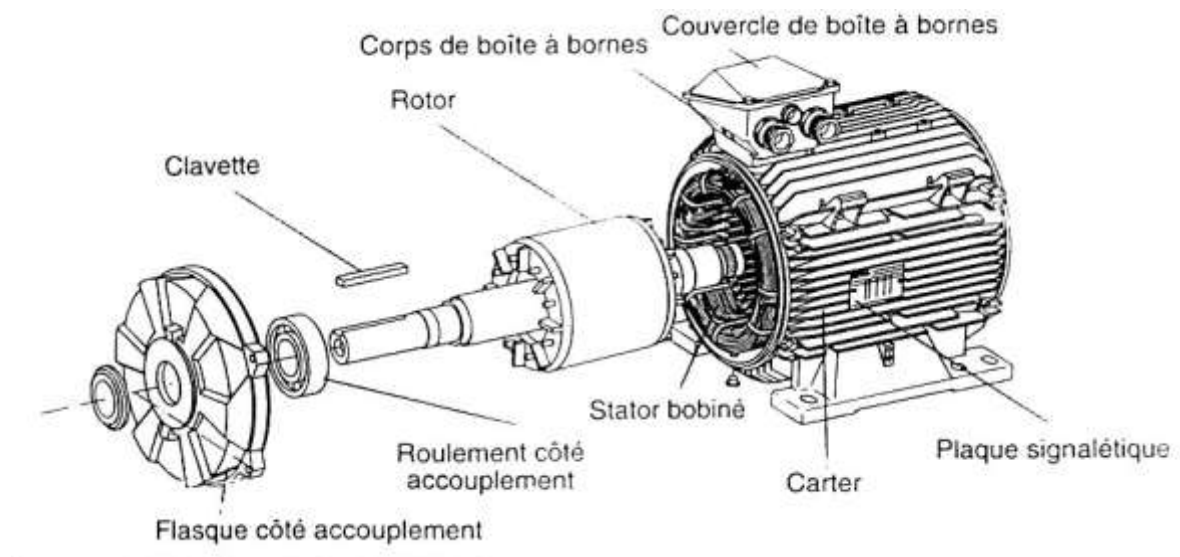
Le principe des machines à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un **champ tournant** produit par des tensions triphasées (cf. cours sur la gestion de l'énergie)

On trouve en fait deux principes de fonctionnement utilisant le champ tournant créé par un réseau triphasé :

- les machines, essentiellement des **moteurs**, travaillant en mode **asynchrone**.
- les machines **synchrones**.

Il est à remarquer que si l'on **inverse deux phases** le champ tournant **change de sens de rotation**.

3-1 : Les moteurs asynchrones



☞ Principe de fonctionnement : voir animation sur l'INTRANET.

☞ Lecture d'une plaque signalétique

LERROY SOMER Mot. 3 ~ LS 80 L T N° 734570 BJ 002 kg 9					
IP 55 I cl. F 40 °C S1					
V	Hz	min ⁻¹	kW	cos φ	A
D 220	50	2 780	0,75	0,86	3,3
Y 380					1,9
D 230	50	2 800	0,75	0,83	1,9
Y 400					3,3
D 240	50	2 825	0,75	0,80	1,9
Y 415	**				

Moteurs Leroy-Somer

3-1-1 : Caractéristiques mécaniques et électriques

fréquence de synchronisme : c'est la fréquence de rotation du champ magnétique tournant.

$$n_s = f / p$$

f : désigne la fréquence (50 Hz)

p : nombre de paires de pôles

le glissement : le rotor ne tourne jamais à cette vitesse mais s'en approche à vide. On définit alors le glissement :

$$g = (n_s - n) / n_s$$

n_s : fréquence de rotation du champ

n : fréquence de rotation du rotor

puissances électriques et mécaniques :

☞ La puissance électrique consommée s'écrit :

$$P = \sqrt{3} U I \cos\varphi$$

φ désigne l'angle de déphasage de I par rapport à U

☞ La puissance mécanique délivrée s'écrit :

$$P = C \omega$$

ω = 2πn = vitesse angulaire

☞ Le rendement du moteur est défini par :

$$\eta = P_u / P_a$$

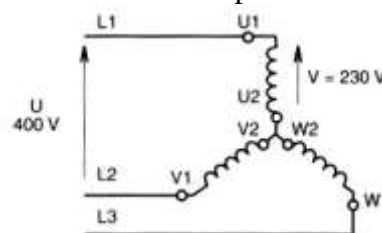
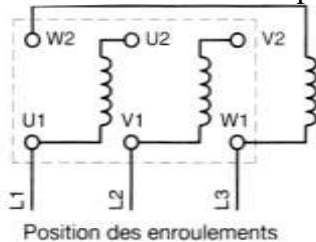
P_u = puissance utile

P_a = puissance absorbée

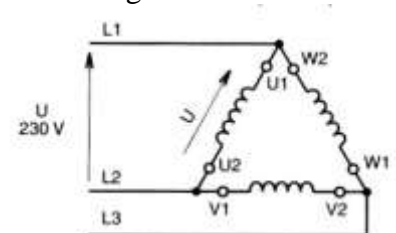
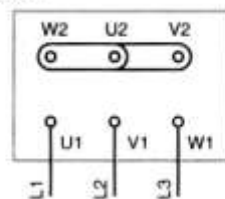
démarrage des moteurs : l'intensité des courants rotoriques et donc statoriques augmente avec la valeur du couple moteur délivré. Un des principaux inconvénients de ce type de moteur est que lors du **démarrage direct**, étant donné que la rotation du moteur ne peut suivre le champ tournant statorique, le **courant absorbé peut atteindre 8 I_n** où I_n désigne l'**intensité nominale**. En général, on limite le courant de démarrage à une valeur de l'ordre de 2.5 I_n. Pour remédier à ce problème, on va utiliser le démarrage Etoile-Triangle.

3-1-2 : Couplage des enroulements

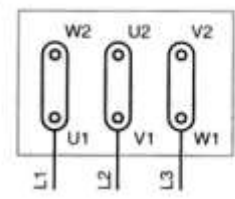
Ci-dessous une plaque à bornes avec les emplacements fictifs des bobinages :



COUPLAGE Y



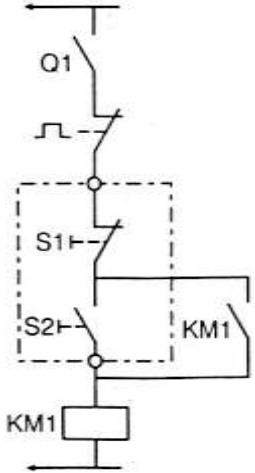
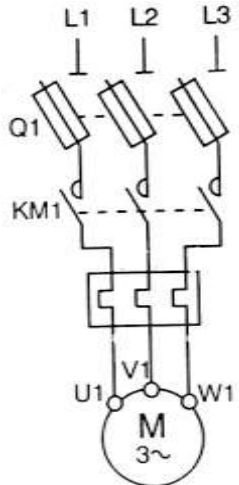
COUPLAGE Δ



Exemple : un moteur 220V/380V sera branché en étoile sur un réseau triphasé 380V entre

phases, chaque enroulement supportant 220V.
 3-1-3 : Circuit de puissance et circuit de commande

Le circuit de puissance est alimenté en triphasé, alors que le circuit de commande est pris entre phase et neutre, ou alimenté par l'intermédiaire d'un transformateur de sécurité.

Circuit de commande	Circuit de puissance
	
<p>Q1 : sectionneur S1 : bouton poussoir arrêt S2 : bouton poussoir marche KM1 : contacteur F2 : relais thermique</p>	<p>Q1 : sectionneur porte fusibles KM1 : contacteur F2 : relais thermique</p>

☞ Explication du fonctionnement :

Variation de vitesse par réglage de la fréquence : la fréquence de rotation du champ magnétique est proportionnelle à la fréquence des courants dans les enroulements. Il suffit donc d'**alimenter** les

enroulements du moteur **avec un courant à fréquence variable** pour modifier sa fréquence de rotation.

3-1-4 : Etude d'un documentation technique

■ Caractéristiques des moteurs asynchrones triphasés à cage

• Moteurs asynchrones triphasés - 2 pôles

LEROY-SOMER

Type	Puissance nominale à 50 Hz P_n kW	Vitesse nominale N_n min^{-1}	Intensité nominale $I_n(400\text{ V})$ A	Facteur de puissance $\cos \varphi$	Rendement η	* Courant démarrage/ Courant nominal I_d/I_n	Couple démarrage/ Couple nominal M_d/M_n	Couple maximal/ Couple nominal M_m/M_n	Moment d'inertie J kg · m ²	Masse IM B3 kg
LS 71 L	0,37	2 820	0,95	0,83	71	4,8	3	3,5	0,00035	6,4
LS 71 L	0,55	2 800	1,35	0,85	75	5	2,6	2,8	0,00045	7,3
LS 80 L	0,75	2 800	1,9	0,83	71	5,8	3	3,2	0,0007	9
LS 80 L	1,1	2 825	2,6	0,82	76	6,4	3	3,2	0,0009	10,5
LS 90 S	1,5	2 870	3,3	0,82	79	7,7	3	3,4	0,0014	15
LS 90 L	2,2	2 850	4,4	0,89	82	6,8	2,9	2,9	0,0021	18
LS 100 L	3	2 860	6,3	0,83	80	7,6	3,8	3,9	0,0024	21
LS 112 M	4	2 840	8,2	0,86	81	8,4	4,2	3,5	0,0029	26
LS 132 S	5,5	2 920	10,9	0,88	83	8,6	0,7	2,8	0,0092	37
LS 132 S	7,5	2 920	15,3	0,84	85	8,6	3,3	3,6	0,0126	43
LS 132 M	9	2 945	17,1	0,87	87	8,6	2,5	3,4	0,0236	63
LS 160 M	11	2 915	20,5	0,9	86	6,4	2,6	2,6	0,034	76
LS 160 M	15	2 940	27,5	0,88	89,5	8	3,6	3,3	0,043	90
LS 160 L	18,5	2 940	33,1	0,89	90,6	8,2	3,5	3,2	0,054	105
LS 180 MT	22	2 945	40,2	0,87	90,7	8,7	3,9	3,5	0,062	114
LS 200 LT	30	2 950	50,9	0,92	92,5	9,2	2,8	3,4	0,096	160
LS 200 L	37	2 960	63,5	0,91	92,5	8,4	2,6	3,3	0,133	185
LS 225 MR	45	2 955	76	0,92	92,8	8,5	2,8	3,3	0,155	210
LS 250 MP	55	2 965	92	0,92	93,4	8,5	2,4	3,4	0,4	320
LS 280 SP	75	2 975	125	0,92	94,3	8,3	2,7	3,2	0,71	430
LS 280 MP	90	2 975	149	0,92	94,9	8,6	2,7	3,4	0,87	505
LS 315 MT	132	2 975	225	0,90	94,0	9,3	3,2	3,3	2,23	740

• Moteurs asynchrones triphasés - 4 pôles

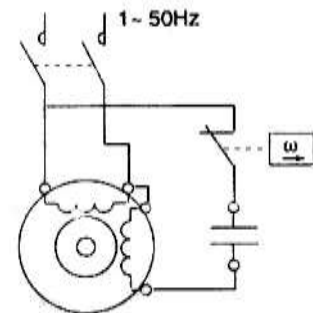
Type	Puissance nominale à 50 Hz P_n kW	Vitesse nominale N_n min^{-1}	Intensité nominale $I_n(400\text{ V})$ A	Facteur de puissance $\cos \varphi$	Rendement η	* Courant démarrage/ Courant nominal I_d/I_n	Couple démarrage/ Couple nominal M_d/M_n	Couple maximal/ Couple nominal M_m/M_n	Moment d'inertie J kg · m ²	Masse IM B3 kg
LS 71 L	0,37	1 425	1,12	0,7	70	4,4	2,3	2,6	0,00085	7,3
LS 71 L	0,55	1 390	1,65	0,75	66	3,7	1,9	2,2	0,0011	8,3
LS 80 L	0,75	1 400	2	0,77	69	4,5	2,4	2,5	0,0018	10,5
LS 80 L	0,9	1 425	2,3	0,73	73	5,7	2,6	3,8	0,0024	11,5
LS 90 S	1,1	1 415	2,7	0,79	75	5,2	2,1	2,6	0,0032	14
LS 90 L	1,5	1 420	3,5	0,79	78	5,9	2,8	3	0,0039	15
LS 90 L	1,8	1 410	4,1	0,82	79	5,7	2,5	2,6	0,0049	17
LS 100 L	2,2	1 430	5,1	0,81	75	5,3	1,9	2,4	0,0039	19,5
LS 100 L	3	1 420	7,2	0,78	77	5,1	2,3	2,5	0,0051	22
LS 112 M	4	1 425	9,1	0,79	80	5,7	2,4	2,6	0,0071	26
LS 132 S	5,5	1 430	11,9	0,82	82	6,3	2,4	2,5	0,0177	39
LS 132 M	7,5	1 450	15,2	0,84	84	7,7	2,7	3,1	0,0334	56
LS 132 M	9	1 450	18,4	0,83	85	7,8	3	3,4	0,0385	62
LS 160 M	11	1 450	21,3	0,85	87,8	5,6	2,1	2,5	0,054	80
LS 160 L	15	1 455	28,6	0,85	89,1	6,5	2,7	2,8	0,073	97
LS 180 L	22	1 460	41,7	0,85	89,7	6,3	2,6	2,7	0,122	135
LS 225 ST	37	1 475	67	0,86	92,7	6,8	2,4	2,6	0,23	205
LS 225 MR	45	1 470	81	0,86	92,8	6,5	2,8	2,6	0,28	235
LS 250 MP	55	1 480	99	0,85	94,1	6,7	2,6	2,5	0,75	340
LS 280 SP	75	1 480	135	0,85	94,1	6,9	2,6	2,7	1,28	445
LS 280 MP	90	1 480	162	0,85	94,6	7,6	2,9	2,9	1,45	490
LS 315 ST	110	1 490	193	0,86	95,5	7,8	2,9	2,8	2,74	720
LS 315 MR	160	1 485	276	0,87	96,1	8,4	3,0	3,3	3,37	855

B2

3

3-2 : Les moteurs monophasés

Pour les installations ne disposant que d'une tension monophasée, on ne peut utiliser que des moteurs particuliers car on ne dispose pas d'un champ tournant. Le stator ne dispose que d'un enroulement mais on lui adjoint un **enroulement auxiliaire** décalé et alimenté à travers un **condensateur**. Dans cet enroulement le courant est déphasé de 90° , donc on se trouve en présence d'un champ biphasé. Ce champ biphasé suffit pour assurer le démarrage du moteur; ensuite le rotor suit le champ statorique et l'enroulement secondaire n'a plus lieu d'agir



3-3 : Les machines synchrones

Pour les machines synchrones, le stator est toujours alimenté par un système triphasé produisant le champ tournant à la vitesse de synchronisme. Le rotor produit lui un flux magnétique constant; flux produit par un bobinage alimenté en continu par un système de bagues et balais. Si le rotor est à l'arrêt ou s'il tourne à une vitesse différente du champ tournant, les conducteurs du rotor sont soumis alternativement à un pôle nord puis à un pôle sud et le couple qui en résulte a une valeur moyenne nulle. Par contre, si le rotor tourne à la vitesse de synchronisme, le couple, qui peut être moteur ou résistant, garde une valeur constante.

On utilise les moteurs synchrones chaque fois que l'on a besoin d'une valeur précise, mais il est à remarquer que ce type de machine n'a aucun couple au démarrage (c'est pourquoi il faut lui adjoindre une cage de démarrage lui permettant de démarrer en asynchrone).

De nos jours, la solution moteur synchrone est souvent remplacée avantageusement par la solution moteur asynchrone complétée par un dispositif de régulation de vitesse.

Les machines synchrones sont surtout utilisées en tant que génératrice encore appelées alternateurs. Un alternateur permet de délivrer une tension ou un système de tensions dont la fréquence est très précise. Dans les centrales électriques, ce type de machine produit l'énergie électrique sous forme de tensions triphasées à 50Hz..