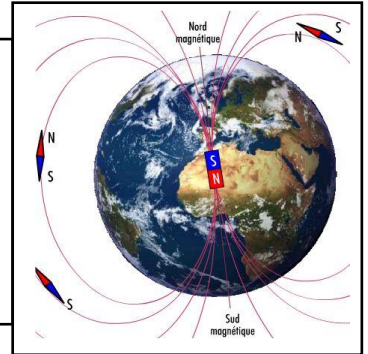
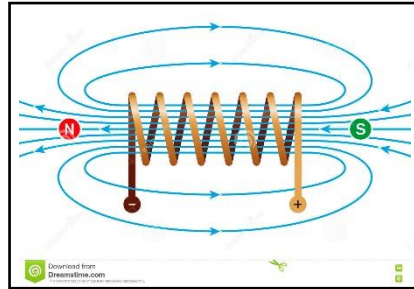


L'objectif de ce cours est de comprendre le fonctionnement des moteurs électriques. Nous verrons les notions de puissance, de pertes et de rendement. Nous étudierons de manière simplifiée comment ces moteurs peuvent être commandé. Une introduction sur le magnétisme et sur le triphasé sont nécessaire pour percevoir le fonctionnement de ses convertisseurs d'énergie. Les moteurs électriques se situent dans la chaîne d'énergie d'un système (**CONVERTIR**)

Introduction sur le magnétisme

Le champ magnétique existe à l'état naturel, c'est le champ magnétique terrestre. Les aimants sont des éléments qui produisent un champ magnétique. Les courants électriques parcourant un conducteur électrique produisent des champs magnétiques.

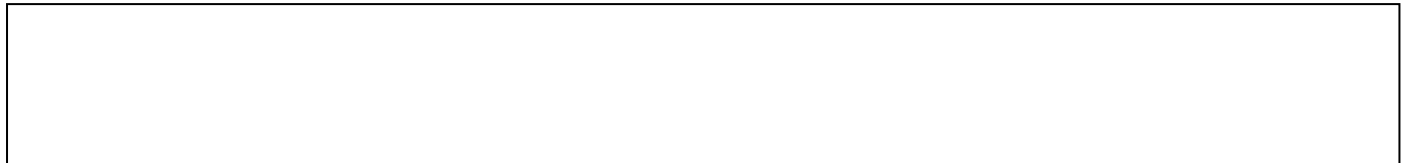


Force induite



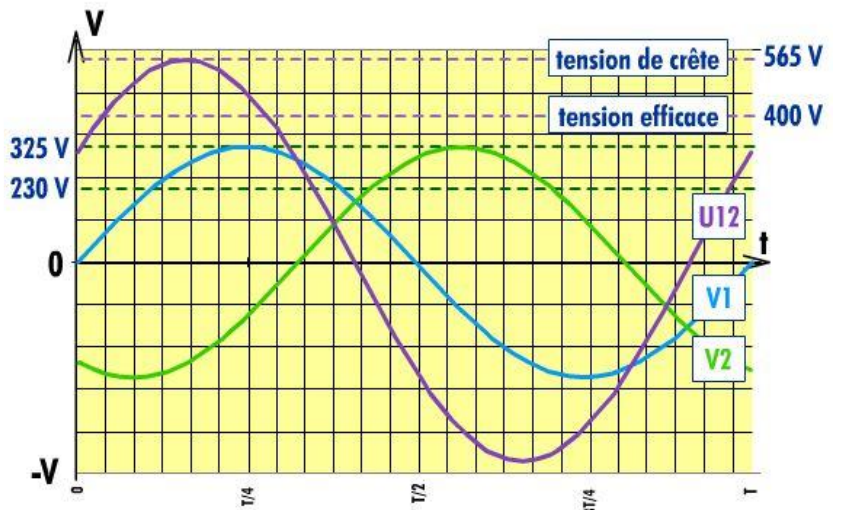
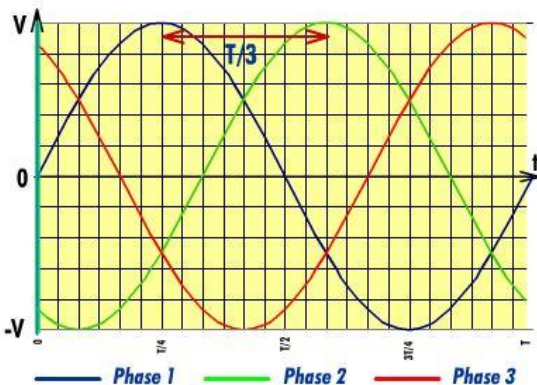
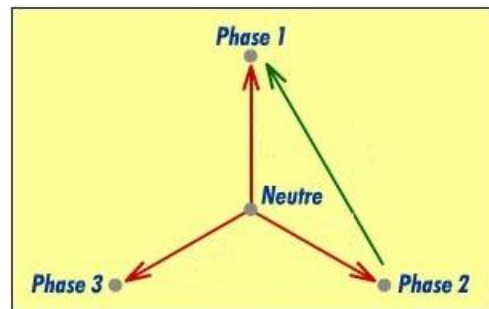
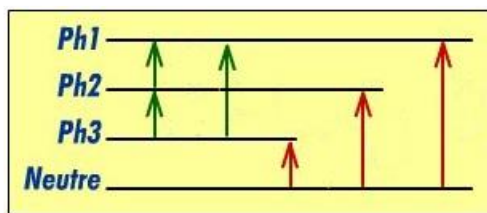
Introduction sur le triphasé

Le transport de l'énergie en triphasé permet de véhiculer beaucoup plus de puissance. Le triphasé permet également de créer des champs magnétiques tournants qui sont à la base du fonctionnement des moteurs asynchrones triphasés. Ce sont les moteurs les plus utilisés dans l'industrie.



Une directive européenne datant de 1988 impose un réseau 230V / 400 V à ± 10%.

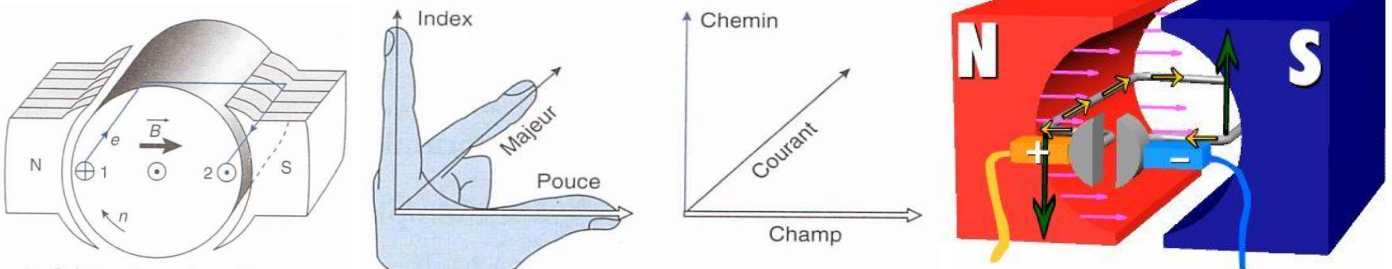
Placer les différentes tension sur les vecteurs.



Moteur à courant continu (CC)

Ce moteur est utilisé plutôt pour les petites puissances. Ce moteur est facile à piloter en variation de vitesse. Son principe de fonctionnement repose sur la force de Laplace.

Principe de fonctionnement et constitution



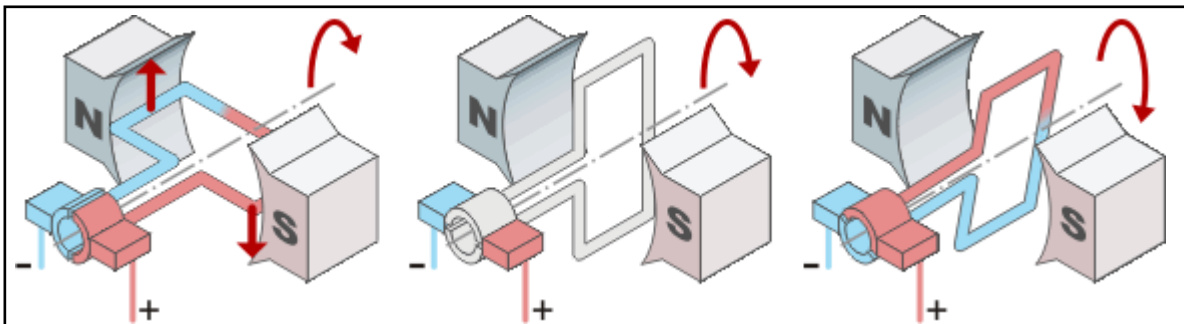
Le moteur à courant continu se compose :

-
-
-

Lorsque le bobinage d'un inducteur de moteur est alimenté par un courant continu (comme la figure ci-dessous), il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction Nord-Sud.

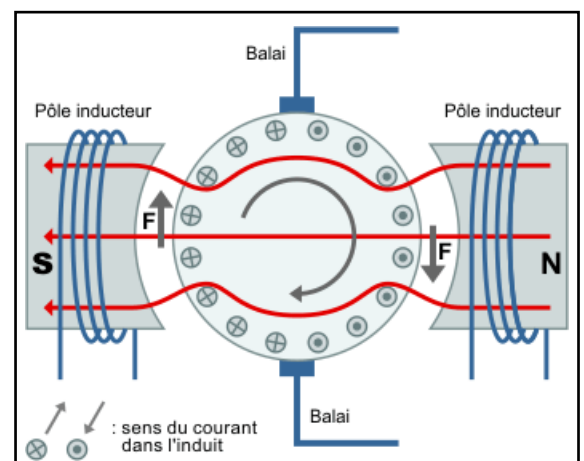
Une spire capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordés électriquement à un demi collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteurs.

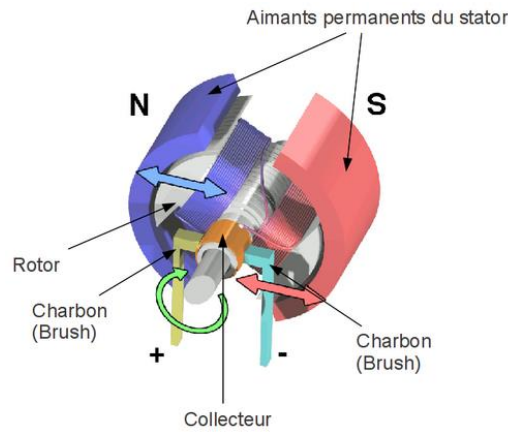
D'après la loi de Laplace (tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force), les conducteurs de l'induit placés de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces F égales mais de sens opposé en créant un couple moteur : l'induit se met à tourner !



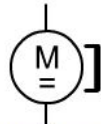
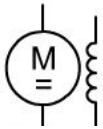
Si le système balais-collecteurs n'était pas présent (simple spire alimentée en courant continu), la spire s'arrêterait de tourner en position verticale sur un axe appelé communément "ligne neutre". Le système balais-collecteurs a pour rôle de faire commuter le sens du courant dans les deux conducteurs au passage de la ligne neutre. Le courant étant inversé, les forces motrices sur les conducteurs le sont aussi permettant ainsi de poursuivre la rotation de la spire.

Dans la pratique, la spire est remplacée par un induit (rotor) de conception très complexe sur lequel sont montés des enroulements (composés d'un grand nombre de spires) raccordés à un collecteur "calé" en bout d'arbre. Dans cette configuration, l'induit peut être considéré comme un seul et même enroulement semblable à une spire unique.

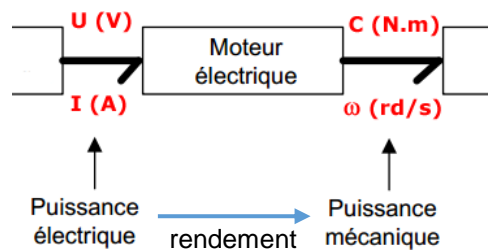




Symbole



Caractéristiques



Caractéristiques d'entrée du moteur

- L'intensité (notée I en A).
- La tension (notée U en V).
- La puissance électrique d'entrée définissant la puissance absorbée par le moteur (notée P_a).

Formule liant les 3 caractéristiques de sorties d'un moteur : $P = U.I$

Caractéristiques de sortie du moteur

- Le couple (noté C en N.m) développé par un moteur à courant continu est proportionnel au courant d'induit et au flux magnétique.
- La vitesse de rotation (notée ω en rad/s) est proportionnelle à la tension d'alimentation et inversement proportionnelle au flux magnétique.

Rappel : pour passer des rad/s en tr/min :

$$N = \frac{\omega \times 60}{2 \times \pi}$$

- Le rendement (noté η) est le rapport entre la puissance développée par le moteur ou puissance utile (puissance mécanique P_m ou P_u) et celle qui lui est appliquée ou puissance absorbée (puissance électrique P_a ou P_{elec}).

Formule liant les 3 caractéristiques de sorties d'un moteur : $P = C.\omega$

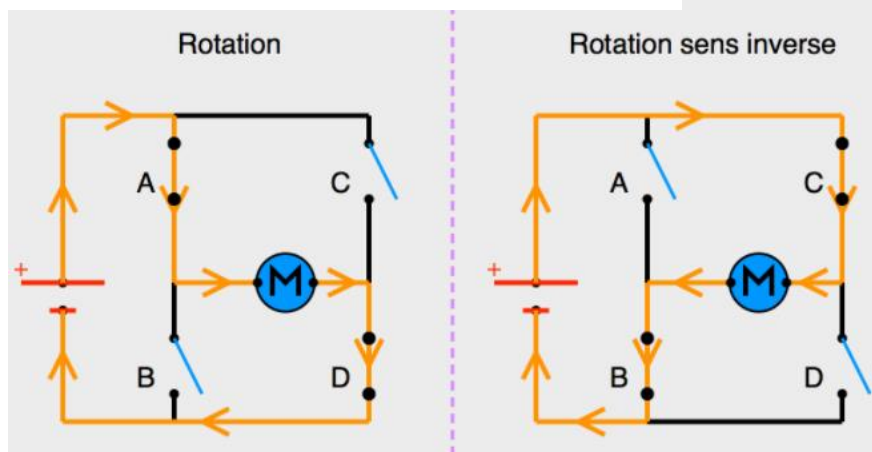
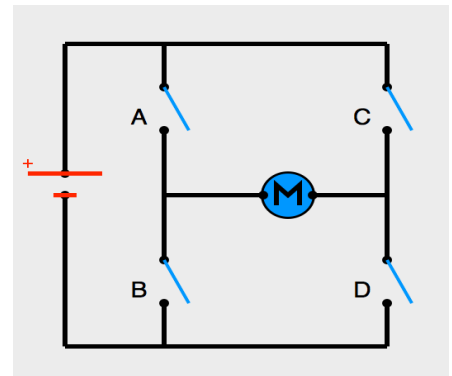
Réversibilité

Le pont en H

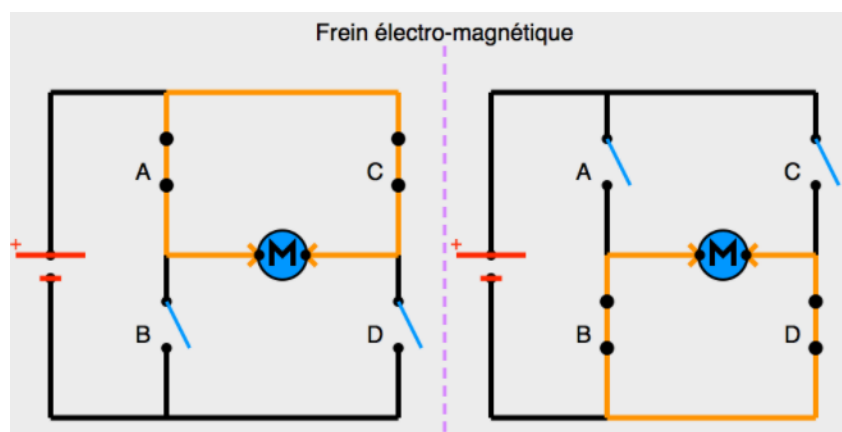
Le moteur à courant continu peut tourner dans un sens comme dans l'autre. L'une des structures qui permet ce fonctionnement est le pont en H réalisé grâce à des contacteurs, des relais ou des transistors.

Les interrupteurs fonctionnent deux par deux. Le A est associé au D et le B est associé au C. Dans le schéma à droite, rien ne se passe car tous les interrupteurs sont ouverts (ils ne laissent pas passer le courant). Le moteur est arrêté.

En actionnant les interrupteurs A et D le moteur tourne dans un sens.
En actionnant les interrupteurs B et C le moteur tourne dans l'autre sens.



On peut aussi associer le A au C et le B au D. Lorsque le moteur est en roue libre (c'est-à-dire qu'il tourne à cause de sa force d'inertie mais pas à cause du courant), il génère un courant (il est en générateur). Ce courant peut être utilisé dans le pont en H comme frein électro-magnétique. Le moteur s'envoie son propre courant à l'envers. Cela permet de contrôler l'arrêt du moteur plutôt que de le laisser en roue libre.



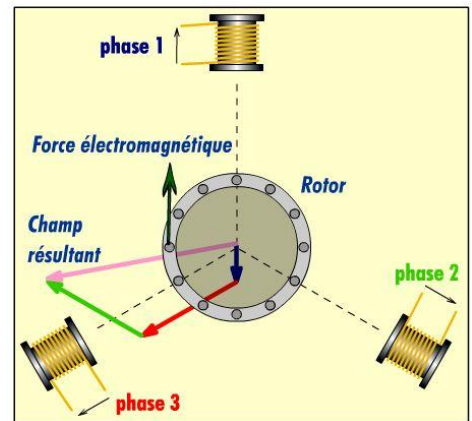
Moteur asynchrone triphasé

Fonctionnement

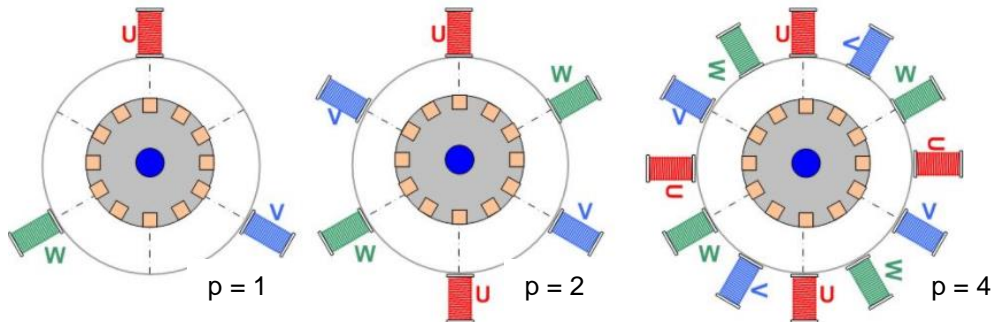
Le **stator bobiné** est composé de trois bobines qui créent 3 champs magnétiques. Chaque bobine est alimentée par le courant d'une des phases du signal triphasé créant ainsi 3 champs magnétiques variables. La composition de ces trois champs magnétiques crée un champ magnétique tournant qui entraîne le rotor en rotation par la création d'une force électromagnétique.

Il existe 2 types de **rotors** pour ces moteurs :

- **rotor en cage d'écureuil** où des bornes métalliques parallèles sont reliées par deux couronnes de faible résistance.
- **rotor bobiné** où les conducteurs sont logés dans des encoches formant des enroulements triphasés ayant le même nombre de paires de pôles que le stator.



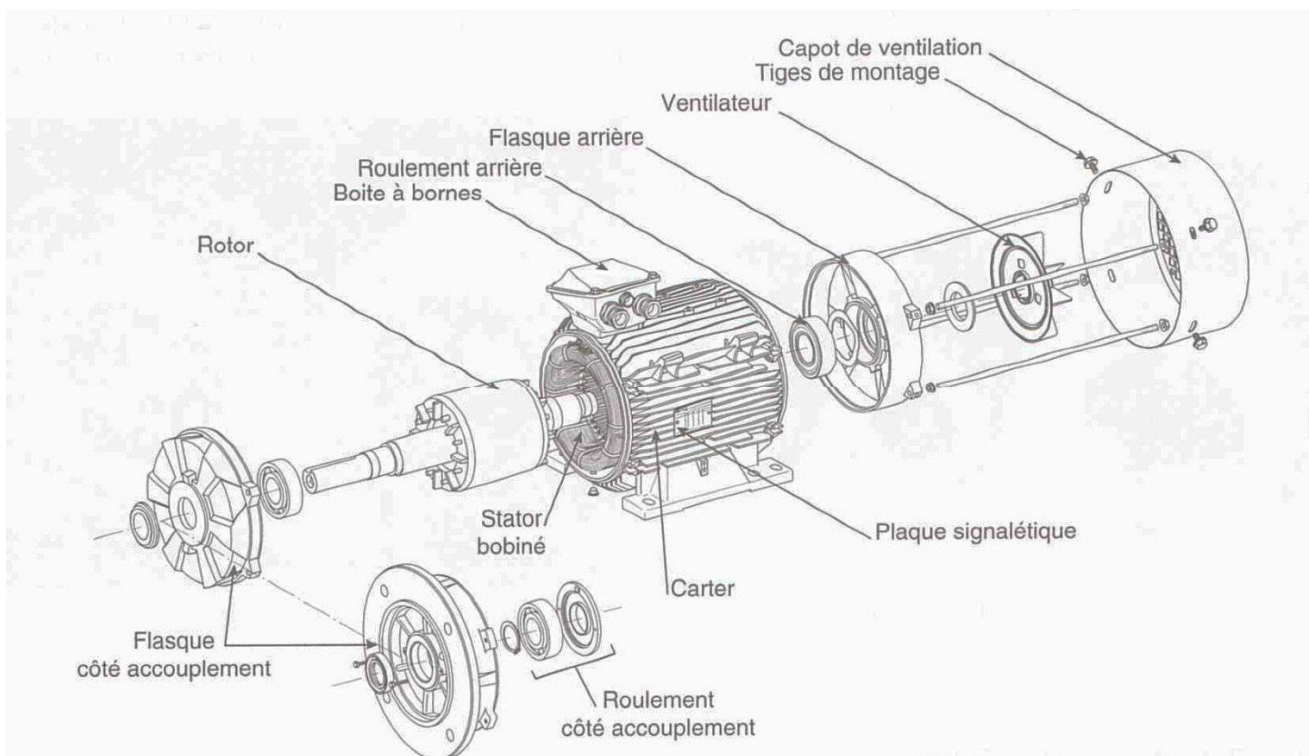
On peut rajouter des bobines par phase sur le stator. Pour une phase, une bobine crée un champ magnétique variable qui dispose d'un pôle nord et d'un pôle sud. S'il y a deux bobines il y a 4 pôles soit 2 **paires de pôles par phases (noté p)**.



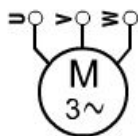
Le champ magnétique tourne avec une vitesse de rotation : $n_s = \frac{f}{p}$

f la fréquence du signal triphasé en Hz (s⁻¹).
p le nombre de paire de pôle.

n_s sera donc en tr/s.



Symbole et couplage



Symbole d'un moteur asynchrone triphasé

Les trois bobines d'un moteur asynchrone doivent être couplées et raccordées au réseau triphasé. Les deux couplages possibles sont **étoile ou triangle**.

- Si la plus petite tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phase du réseau on choisit le couplage triangle Δ .
- Si la plus grande tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phase du réseau on choisit le couplage étoile Y.

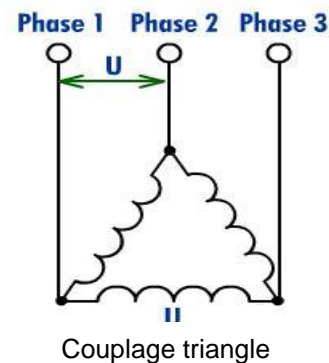
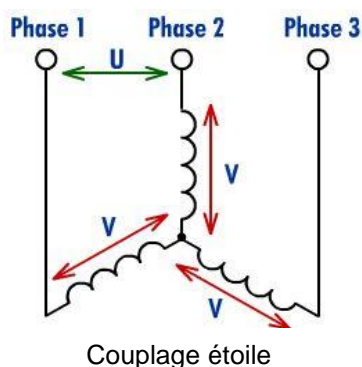
Type		LS 83 L2	
kW	0,37	cos ϕ	0,73
Ch	0,5	rd%	65
tr/min	1390	isol classe	B
Hz	50	ph	3
		S	S1
		IP	IP44
			82

Le tableau ci-dessus est extrait de la plaque signalétique. Les valeurs de tension et de courant sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tension (V)	Courant (A)
230	2,1
400	1,2

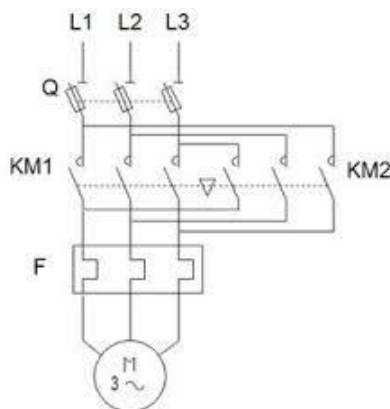
Le moteur ci-contre devra être couplé en triangle si la tension est de 230V entre phase et en étoile si elle est de 400 V entre phase.

Le courant sous 230V sera de 2,1A et celui sous 400V sera de 1,2 A



Distribuer l'énergie : 2 sens de marche

Le moteur asynchrone triphasé peut fonctionner dans un sens comme dans un autre. Il suffit d'inverser deux phases pour changer le sens de rotation.



Distribuer l'énergie : le variateur de vitesse

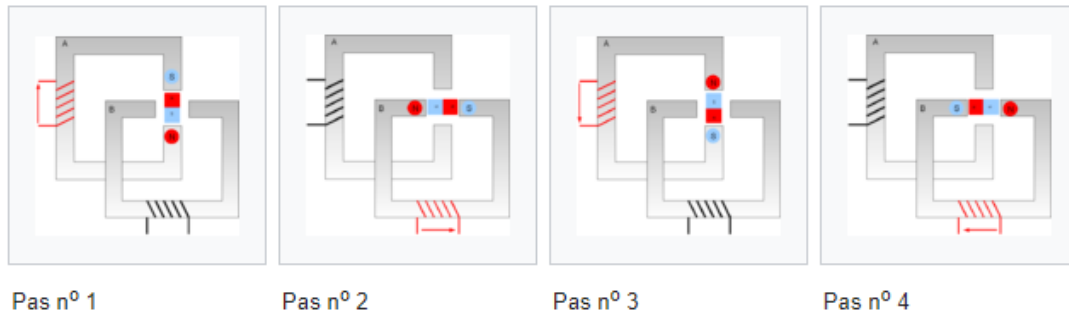
Pour faire varier la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone on peut utiliser un variateur de fréquence à « rapport U/f constant ».

Le courant électrique issu du réseau est dans un premier temps converti en courant continu. Il est ensuite reconverti en courant alternatif par un onduleur mais avec une fréquence différente. L'onduleur travaille en hacheur, il va moduler les largeurs d'impulsion du signal (MLI ou en anglais PWM : Pulse Width Modulation), le courant résultant est proche d'un sinusoïdale.

Moteur pas à pas

Le moteur pas à pas est un moteur qui tourne en fonction des impulsions électriques reçues dans ses bobinages. L'angle de rotation minimal entre deux modifications des impulsions électriques s'appelle un pas. On caractérise un moteur par le nombre de pas par tour (c'est à dire pour 360°). Les valeurs courantes sont 48, 100 ou 200 pas par tour.

L'intérêt de ce moteur est d'avoir un positionnement angulaire précis. On les retrouve dans les imprimantes 3D, les scanners, les disques durs, ...)



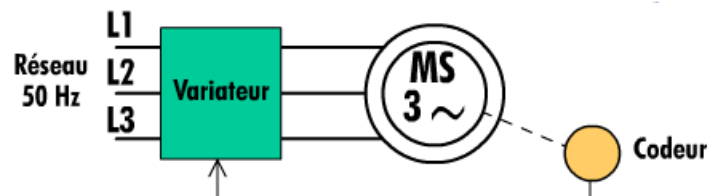
Autres types de moteurs

Synchrone

Une machine synchrone est une machine électrique qui :

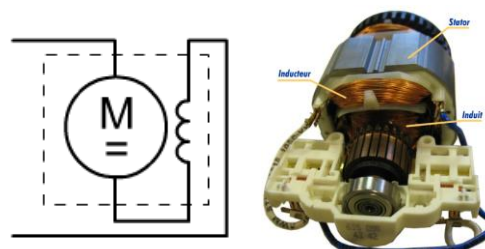
- soit produit un courant électrique dont la fréquence est déterminée par la vitesse de rotation du rotor
- soit absorbe un courant électrique dont la fréquence détermine la vitesse de rotation du rotor

Avec le développement de l'électronique de puissance, le moteur synchrone vient à remplacer de plus en plus fréquemment le moteur à courant continu. Ne possédant pas de dispositif balais-collecteur, dont la fonction est déplacée dans l'électronique de puissance, on élimine une problématique de maintenance d'usure des balais et de vitesse limite.



Universel

Un moteur universel est un moteur à courant continu dont l'inducteur est branché en série avec l'induit. Il est alimenté en courant alternatif 230V ~. Ce moteur est très utilisé dans les jouets et le petit électroménager.



Brushless

Les moteurs Brushless sont de plus en plus fréquemment utilisés en raison de leurs performances nettement supérieures à celles des moteurs à courant continu « classiques ».

Mais contrairement à ces derniers, leur commande est plus complexe, étant donné qu'il s'agit de moteurs synchrones : il faut générer 3 signaux de fréquence proche de la fréquence de rotation, et déphasés de 120°.

Pour contrôler un moteur Brushless, on utilise un ESC (Electronic Speed Control) qui est un circuit électronique dédié au contrôle de moteurs électriques.

Ils possèdent un microcontrôleur (parfois paramétrable), un circuit de puissance (régulation, pont en H, ...) et dans le cas des moteurs Brushless, un dispositif d'acquisition. Ils permettent de gérer :

- la vitesse angulaire
- la direction
- le freinage

Chaîne d'énergie

