

Les moteurs asynchrones triphasés

1. Problématique

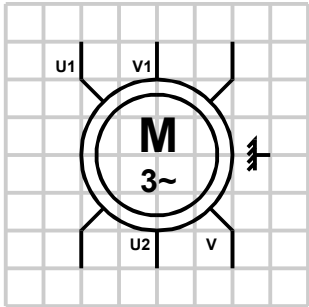
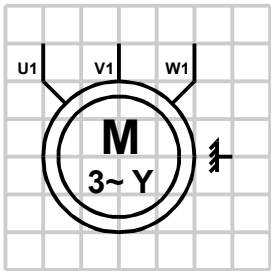
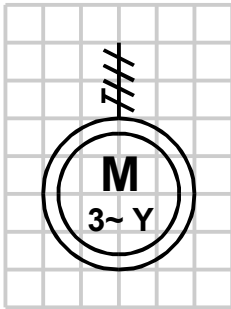
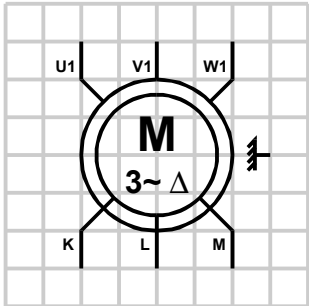
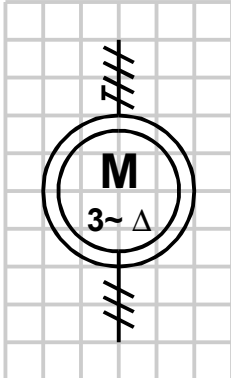
La fabrication de produits cosmétiques nécessite le mélange de plusieurs ingrédients à une température donnée dans un malaxeur. Le malaxage est réalisé par un « bras » entraîné en rotation par un moteur asynchrone triphasé. Ce type de moteur est couramment utilisé dans l'industrie en raison de sa robustesse, de sa fiabilité et de son faible coût.

2. Fonction – symboles

La fonction d'un moteur électrique est la suivante :

Le moteur électrique est un convertisseur qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique sous la forme d'une rotation de l'arbre moteur.

Complétez le tableau suivant avec les symboles demandés.

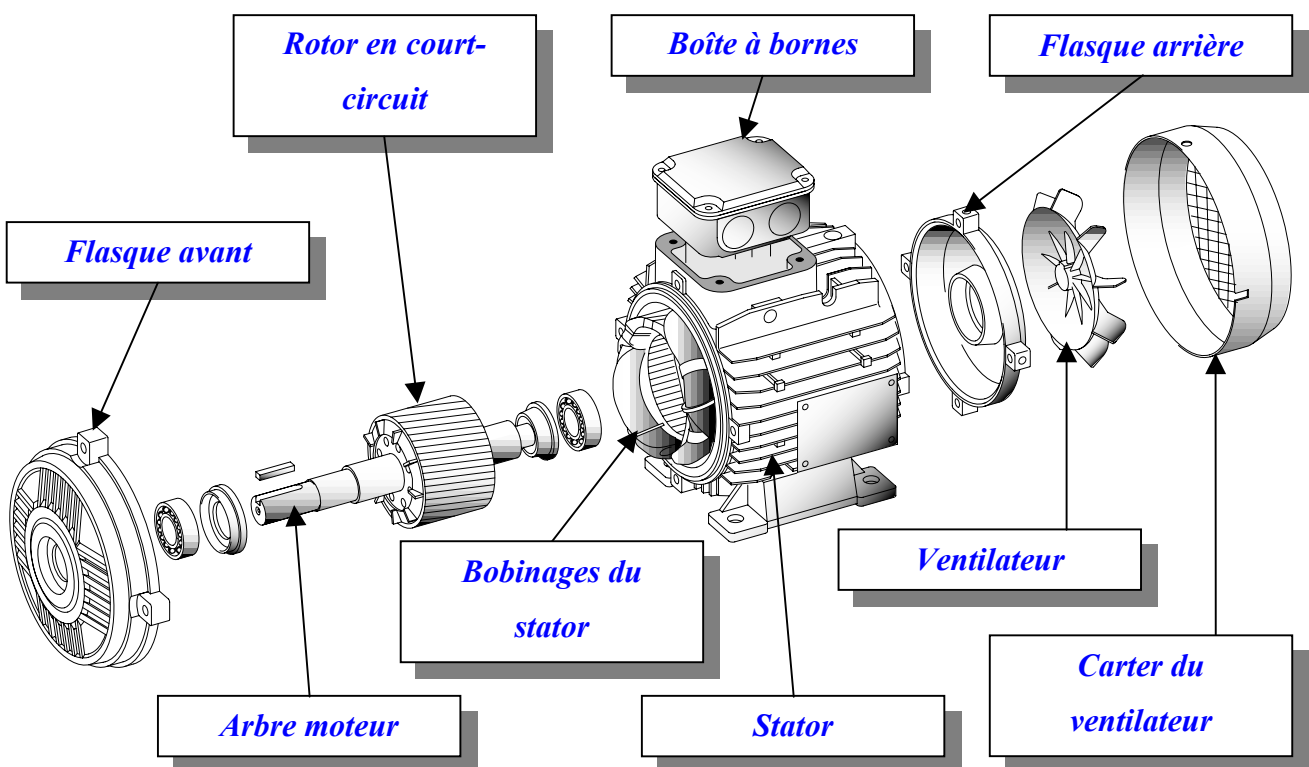
	Schéma multifilaire	Schéma unifilaire
Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit représenté non couplé		Les moteurs ne sont habituellement pas représentés non couplés sur les schémas unifilaires.
Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit couplé en étoile		
Moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné (stator couplé en triangle)		

3. Constitution

3.1. Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit

Les moteurs asynchrones triphasés à rotor en court-circuit (aussi appelés à « cage d'écureuil ») sont constitués d'une partie fixe appelée stator et d'une partie tournante appelée rotor. Le circuit magnétique du stator supporte les bobinages qui vont servir à créer le champ magnétique tournant. Le rotor comporte lui aussi un circuit magnétique ainsi qu'un circuit électrique en court-circuit. Les courants induits au sein du circuit électrique du rotor par le champ magnétique sont à l'origine du couple moteur qui est transmis à l'arbre. Le stator sert aussi à la fixation mécanique du moteur et à son raccordement électrique grâce à la boîte à bornes.

Les moteurs asynchrones triphasés sont extrêmement robustes et peu coûteux, ce qui explique leur utilisation très répandue dans l'industrie.

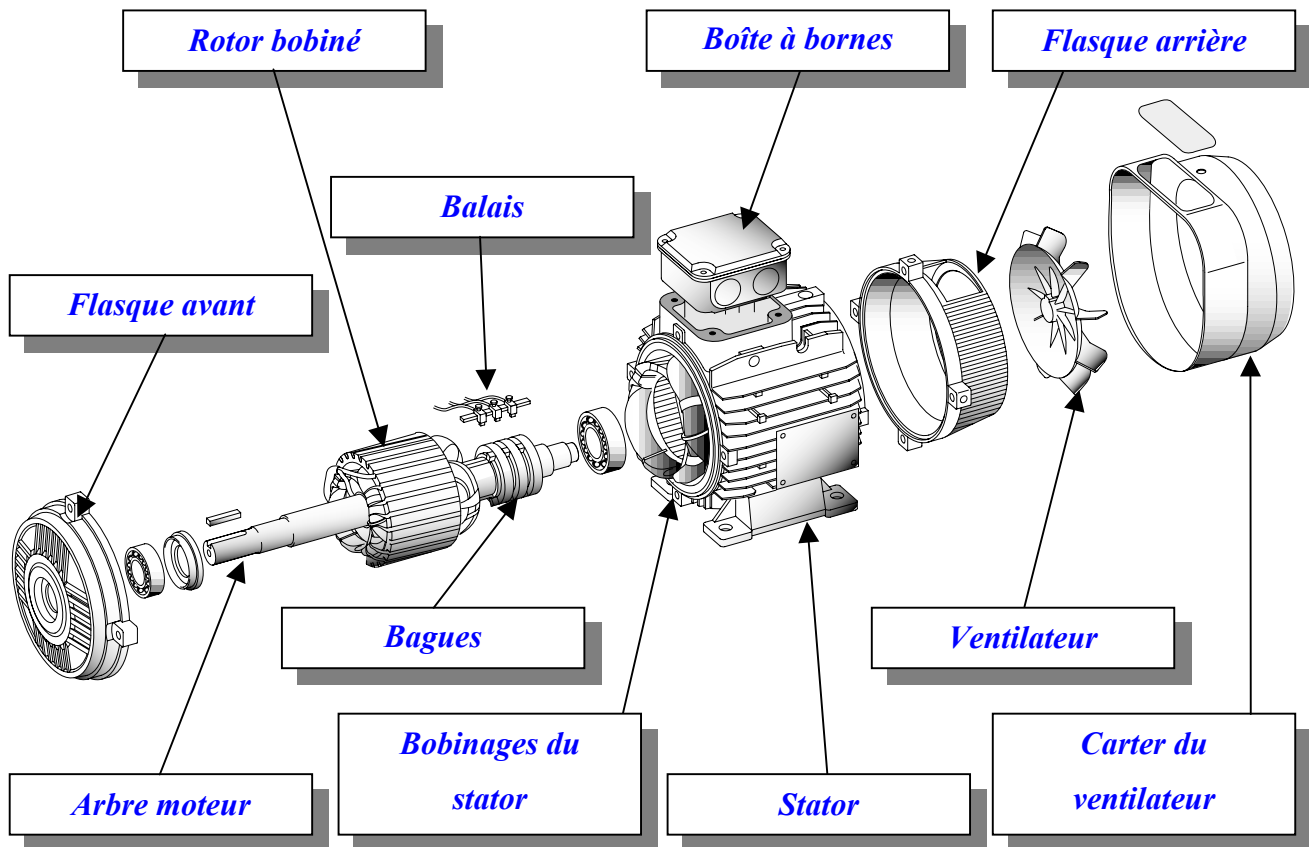


Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit (© Schneider Electric).

3.2. Moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné

Les moteurs asynchrones triphasés à rotor bobiné sont de constitution identique aux modèles à rotor en court-circuit pour ce qui est du stator. Le rotor comporte des bobinages placés sur le circuit magnétique ; ils sont reliés aux bagues qui, à l'aide des « balais » permettent d'établir la liaison électrique entre la partie tournante (rotor) et la partie fixe (stator). Les bobinages du rotor sont ramenés à la boîte à bornes en vue de leur raccordement électrique.

Ces moteurs sont de conception plus complexe que leurs homologues à rotor en court-circuit, leur fiabilité est moins bonne en raison du « contact glissant » bagues - balais qui impose une maintenance régulière. Leur utilisation est aujourd'hui de plus en plus rare en raison des progrès de l'électronique de puissance qui fait qu'on leur préfère l'utilisation de moteurs asynchrones triphasés à rotor en court-circuit associés à un démarreur progressif ou un variateur de vitesse. De plus le pilotage par automates est beaucoup plus facile et souple que les démarrages statoriques et rotoriques qui seront étudiés plus tard.



Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné (© Schneider Electric).

4. Critères de choix

Les principaux critères de choix des moteurs asynchrones triphasés sont :

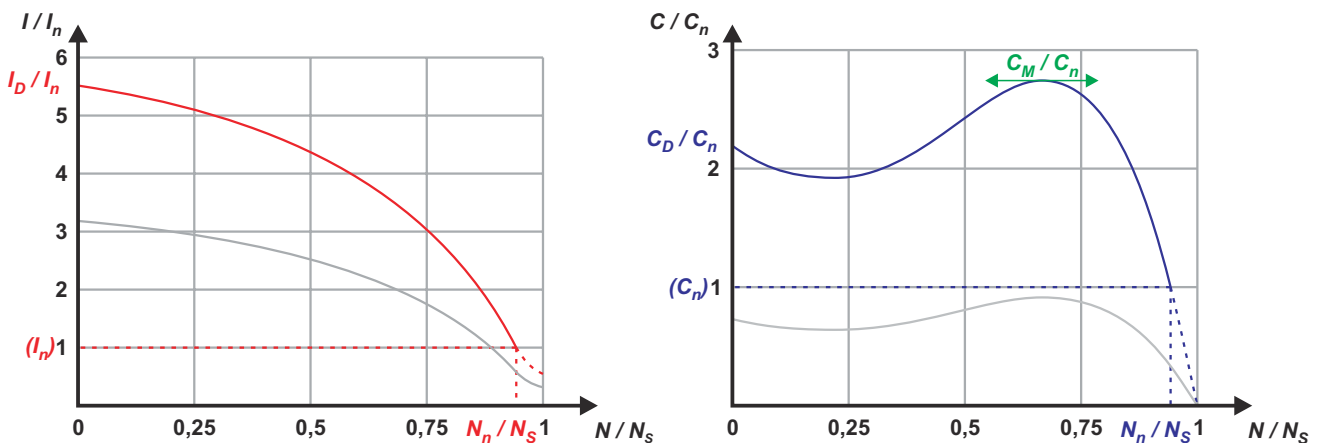
- *La vitesse nominale de rotation n_n (tr / s) ou N_n (tr / min) demandée par la charge,*
- *Le couple moteur nominal C_n (en anglais T_n de Torque, $N \cdot m$) nécessaire pour entraîner la charge ou la puissance mécanique disponible sur l'arbre P_n (W),*
- *La tension nominale d'alimentation U_n (V),*
- *La hauteur d'axe,*
- *Le type de fixation (par pattes, par bride, ...) ainsi que sa position de montage.*

D'autres critères sont à prendre en compte :

- Le besoin éventuel d'un surcouple au démarrage,
- Les influences externes (humidité qui peut imposer un préchauffage du moteur afin d'éviter la condensation, atmosphère explosive nécessitant un moteur antidéflagrant, température de fonctionnement élevée impliquant un refroidissement plus important, etc.),
- Les accessoires (sonde PTC permettant une mesure de la température des bobinages, contact centrifuge utilisé pour les démarrages étoile – triangle, etc.),
- Présence d'un frein et type de frein (exemple : frein à manque de courant qui se met en action dès que le moteur n'est plus alimenté, etc.),

- Association du moteur à un réducteur (motoréducteur) : choisir le bon rapport de réduction ou la bonne vitesse de sortie,
- Les services moteur qui indiquent la fréquence des démarrages, le freinage...

Une des caractéristiques des moteurs asynchrones triphasés est le « surcouple » qu'ils peuvent produire au démarrage. Pour certains types de charge, il permet une montée en vitesse d'autant plus rapide que le rapport C_d / C_n (couple de démarrage que divise le couple nominal) est important. Cette caractéristique se traduit par une courbe caractéristique du couple en fonction de la vitesse de la forme de celle représentée sur la figure de droite ci-dessous. Ce surcouple s'accompagne d'un courant de démarrage beaucoup plus important caractérisé par le rapport I_d / I_n (courant de démarrage que divise le courant nominal). La courbe à gauche ci-dessous donne la caractéristique de courant en fonction de la vitesse de rotation du moteur.



On constate sur les courbes précédentes que le couple à la vitesse de synchronisme (lorsque $N / N_s = 1$) est nul (il n'y a plus de force motrice à la vitesse du synchronisme) ce qui justifie le nom de moteur asynchrone.

Sur les courbes ci-dessus, relevez les rapports I_d / I_n et C_d / C_n .

$$\frac{I_d}{I_n} = \frac{42,3}{7,7} \quad \frac{I_d}{I_n} \approx 5,49 \quad \frac{C_d}{C_n} = \frac{34,4}{15,7} \quad \frac{C_d}{C_n} \approx 2,19$$

Le courant de démarrage I_d vaut environ 5,5 fois le courant nominal I_n du moteur. Le couple de démarrage C_d vaut environ 2,2 fois le couple nominal C_n .

5. Application

Le bras du malaxeur objet de notre étude nécessite une rotation n_b à la vitesse d'environ un tour par seconde. Il est situé en sortie d'un réducteur de vitesse de rapport de réduction R de $1 / 25$ (25 tours du moteur électrique sont nécessaires pour que la sortie du réducteur et donc le bras du malaxeur fasse un tour). Calculez la vitesse nominale de rotation n_n du moteur en tours par seconde, puis la vitesse nominale de rotation N_n du moteur en tours par minute.

$$R = \frac{n_b}{n_n} \quad n_n = \frac{n_b}{R} \quad n_n = \frac{1}{1/25} \quad n_n = 25$$

La vitesse nominale de rotation du moteur n_n nécessaire est d'environ 25 tr / s.

$$N_n = 60 \times n_n \quad N_n = 60 \times 25 \quad N_n = 1500$$

La vitesse nominale de rotation du moteur N_n nécessaire est d'environ 1500 tr / min.

Le couple C mesuré sur l'arbre en entrée du réducteur est de $6,2 \text{ N} \cdot \text{m}$, il est constant quelle que soit la vitesse de rotation du moteur tant que les ingrédients mélangés sont à la bonne température. Le moteur doit donc pouvoir fournir un couple C_n au moins égal à C . Calculez la puissance mécanique que doit fournir le moteur $P_{\text{méca}}$.

$$P_{\text{méca}} = \frac{C_n \times 2 \times \pi \times N_n}{60} \quad P_{\text{méca}} = \frac{6,2 \times 2 \times \pi \times 1500}{60} \quad P_{\text{méca}} \approx 974$$

Le moteur doit avoir une puissance mécanique minimale $P_{\text{méca}}$ de 974 W.

Donnez la désignation du moteur asynchrone triphasé fermé Leroy Somer à fixation par bride FF (trous lisses) IM 3001 alimenté sous 230 / 400 V adapté à cet usage.

La désignation retenue pour un moteur asynchrone triphasé adapté à l'application est : 4P LSES 90 S 1,1 kW LS2/IE2 IM 3001 230 / 400 V 50 Hz IP 55.

Pour ce moteur, relevez le couple nominal C_n (noté moment nominal dans le catalogue) et la vitesse de rotation nominale N_n , puis calculez la puissance nominale P_n de ce moteur.

Le couple nominal C_n est de $7,5 \text{ N} \cdot \text{m}$, la vitesse nominale N_n est de 1435 tr / min .

$$P_n = \frac{C_n \times 2 \times \pi \times N_n}{60} \quad P_n = \frac{7,5 \times 2 \times \pi \times 1435}{60} \quad P_n \approx 1130$$

La puissance nominale P_n est de 1130 W.

Pour ce moteur, relevez le courant nominal I_n s'il est alimenté sous 400 V.

Le courant nominal du moteur I_n est de $2,4 \text{ A}$ pour une alimentation sous 400 V.

Relevez le rapport I_d / I_n (courant de démarrage / courant nominal) et calculez le courant de démarrage I_d .

Le rapport I_d / I_n est de 5,4.

$$\frac{I_d}{I_n} = 5,4 \quad I_d = 5,4 \times I_n \quad I_d = 5,4 \times 2,4 \quad I_d \approx 13,0$$

Le courant de démarrage I_d est d'environ 13 A.

Relevez le rapport C_d / C_n (couple de démarrage / couple nominal) et calculez le couple de démarrage C_d .

Le rapport C_d / C_n est de 1,9, le couple nominal C_n est de $7,5 \text{ N} \cdot \text{m}$.

$$\frac{C_d}{C_n} = 1,9 \quad C_d = 1,9 \times C_n \quad C_d = 1,9 \times 7,5 \quad C_d \approx 14,3$$

Le couple de démarrage C_d est de $14,3 \text{ N} \cdot \text{m}$.

A l'aide du mémento Schneider et de la documentation du moteur, calculez la vitesse de synchronisme N_s de notre moteur (reprise sous l'appellation « fréquence de rotation à vide »).

Le nombre de pôles du moteur est de 4 (4P LSES 90S) \Rightarrow 2 paires de pôles.

$$N_s = \frac{60 \times f}{p} \quad N_s = \frac{60 \times 50}{2} \quad N_s = 1500$$

La vitesse de synchronisme N_s est de 1500 tr / min.

6. Plaque signalétique

Chaque machine électrique dispose d'une plaque signalétique qui constitue une sorte de carte d'identité du moteur.

The diagram shows a motor nameplate with various technical specifications. Red arrows point from callout boxes to specific data on the nameplate:

- Classe de l'isolation thermique:** Points to 'Ins c L F S1'.
- Température ambiante:** Points to 'Ta 40°C'.
- Indice de protection:** Points to 'IP55'.
- Tensions nominales:** Points to the voltage column (230, 400, 460 V).
- Fréquences de la tension secteur:** Points to the frequency column (50 Hz).
- Service de fonctionnement:** Points to 'LS2'.
- Série et hauteur d'arbre du moteur:** Points to 'LSES90S' and 'C130001'.
- Rendement nominal:** Points to '81.4%'.
- Courants nominaux:** Points to the current column (4.15, 2.40, 2.20 A).
- Facteurs de puissance:** Points to the power factor column (0.83, 0.83, 0.81).
- Puissances mécaniques nominales:** Points to the power column (1.10 kW).
- Vitesses nominales:** Points to the speed column (1435, 1740 min⁻¹).

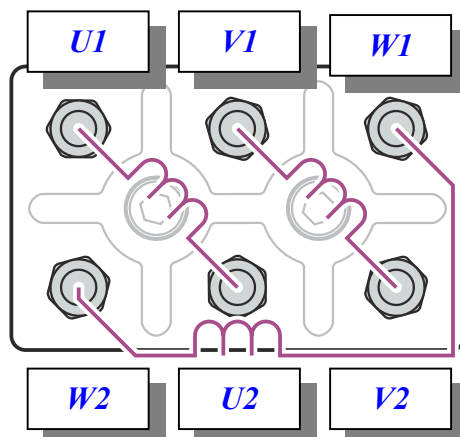
Plaque signalétique apposée sur un moteur (© Leroy Somer)

La classe de l'isolation thermique permet de définir la température maximale d'utilisation du moteur.

Les services de fonctionnement définissent le régime de fonctionnement du moteur (fonctionnement continu, démarrages répétés, etc.).

7. Plaque à bornes

La plaque à bornes sert à ramener les extrémités des bobinages du stator afin de les raccorder au réseau électrique. La position des enroulements est normalisée comme ci-dessous :

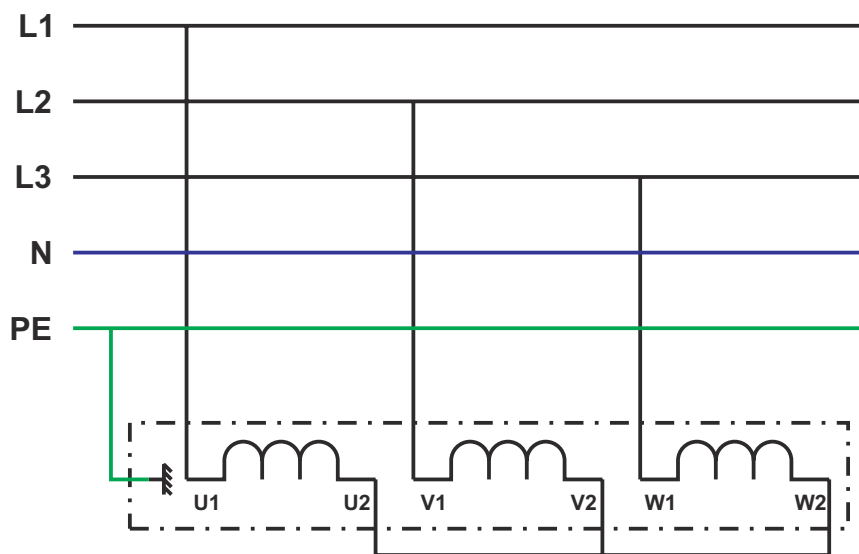


8. Couplage des moteurs asynchrones triphasés

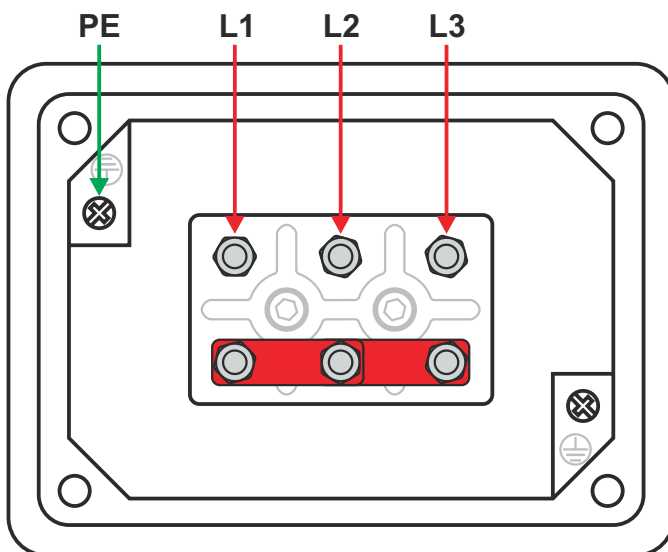
Nous avons vu qu'il y avait sur la plaque signalétique des tensions différentes.

Chacun des enroulements du moteur est un récepteur monophasé indépendant. La tension nominale pour laquelle il est conçu est la tension la plus faible indiquée sur la plaque signalétique (230 V sur la plaque de l'illustration précédente). Le couplage des récepteurs triphasés consiste à faire en sorte que chacun des récepteurs monophasés qui le compose soit alimenté sous sa tension nominale.

Sur la figure suivante, nous avons un réseau 230 / 400 V. Tracez le raccordement des enroulements d'un moteur 230 / 400 V représenté par ses enroulements.

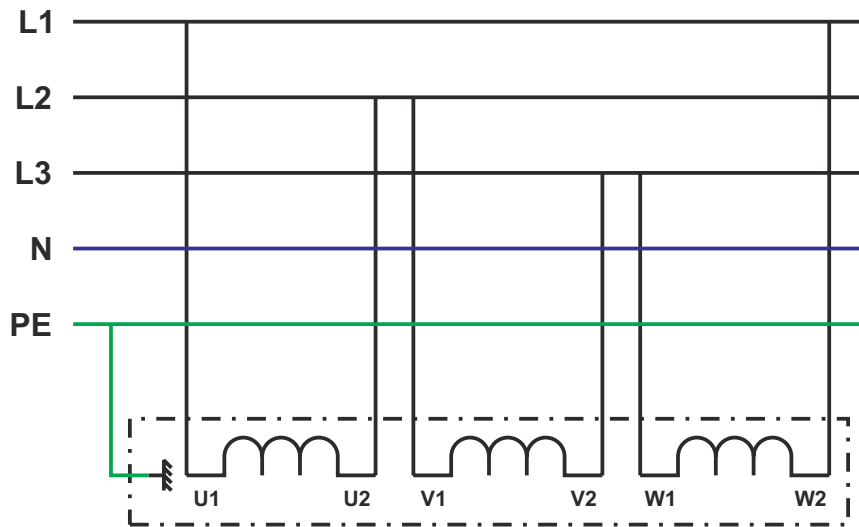


Complétez l'illustration suivante en plaçant les « barrettes de couplage » sur la plaque à bornes du moteur ainsi que le raccordement des conducteurs de phases et de PE.

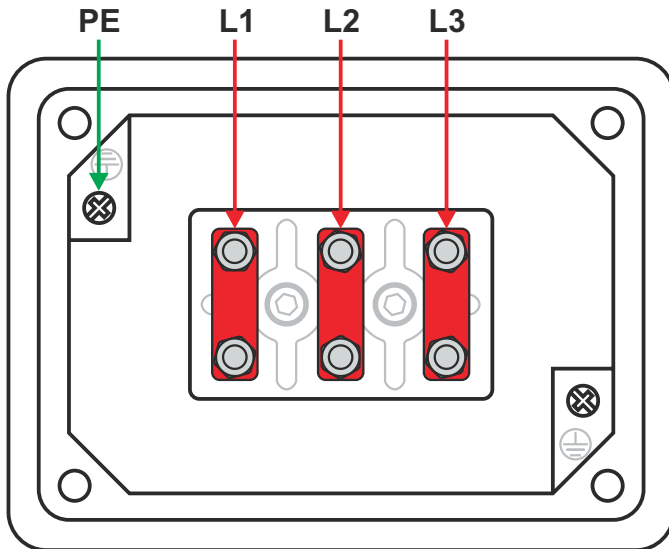


Ce couplage est appelé couplage étoile.

Même question pour un réseau 230 / 400 V et un moteur 400 / 690 V.



Complétez l'illustration suivante en plaçant les « barrettes de couplage » sur la plaque à bornes du moteur ainsi que le raccordement des conducteurs de phases et de PE.

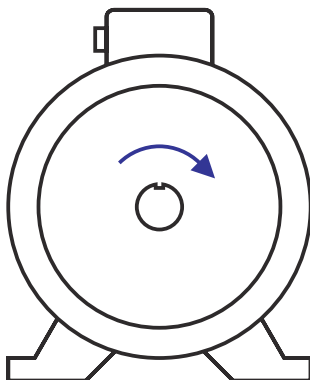


Ce couplage est appelé couplage triangle.

9. Sens de rotation des moteurs asynchrones triphasés

Le sens de rotation des moteurs asynchrones triphasés est normalisé comme suit :

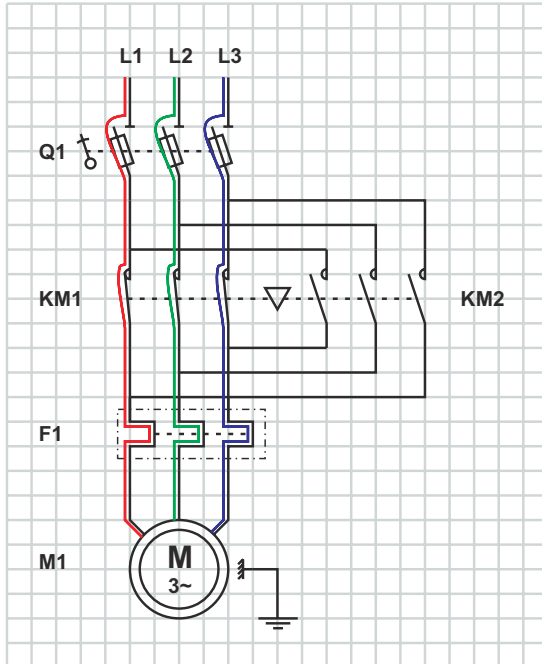
Le sens de rotation d'un moteur est le sens des aiguilles d'une montre lorsqu'il est vu côté bout d'arbre pour un sens des phases direct (L1 sur U1, L2 sur V1 et L3 sur W1).



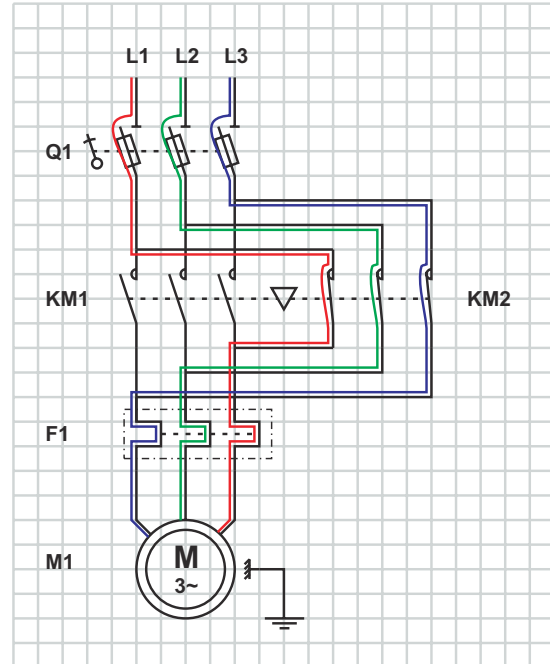
Sens de rotation pour ordre des phases direct.

10. Inversion du sens de rotation des moteurs asynchrones

Sur les extraits de schéma de puissance ci-dessous représentant le circuit de puissance d'un moteur deux sens de rotation, repassez en rouge le courant I_1 entrant par la phase $L1$, en vert le courant I_2 entrant par la phase $L2$ et en bleu le courant I_3 entrant par la phase $L3$. Le schéma de gauche correspond à une rotation dans le sens horaire, celui de droite correspond à une rotation dans le sens anti-horaire (la représentation des contacteurs fermés n'est pas normalisée).



Sens de rotation horaire du moteur



Sens de rotation anti-horaire du moteur.

Que constatez-vous ?

Pour changer le sens de rotation d'un moteur asynchrone triphasé, il suffit d'invertir deux phases (ici L1 et L3).

Pourquoi ne peut-on pas fermer les contacteurs $KM1$ et $KM2$ simultanément ?

Si les deux contacteurs $KM1$ et $KM2$ sont fermés simultanément, on se retrouve en présence d'un court-circuit entre les phases L1 et L3.