
Machine Asynchrone

1. Présentation :

Un champ magnétique tournant produit la rotation d'un disque métallique tournant à une fréquence de rotation inférieure à celle du champ : sa rotation est asynchrone.

1.1 Le stator

Il est constitué de trois enroulements alimentés par des tensions triphasées de fréquence, f , qui produisent ainsi un champ magnétique tournant \vec{B} à la fréquence de rotation, n_s , appelée :

fréquence de synchronisme : $n_s = \frac{f}{p}$

n_s La fréquence de rotation du champ \vec{B} en tours par seconde [tr.s^{-1}]

f La fréquence des tensions d'alimentation en Hertz [Hz]

p Le nombre de paires de pôles du rotor

Une autre relation se déduit de la précédente : $\Omega_s = 2\pi.n_s = 2\pi.\frac{f}{p}$

Ω_s La vitesse angulaire du champ \vec{B} , en radians par seconde [rad.s^{-1}]

1.2 Le rotor

La fréquence de rotation du rotor est appelée n , il tourne moins vite que le champ tournant du stator, l'enroulement rotorique n'est relié à aucune source extérieure. Les seuls courants qui le traversent sont les courants de Foucault induits par la rotation du champ statorique.

- Rotor à cage d'écureuil :

Il est constitué de barres métalliques identiques dont les extrémités sont réunies entre elles par des couronnes métalliques peu résistives. L'ensemble présente une résistance électrique très faible, on dit que le rotor est en court-circuit.

- Rotor bobiné :

Les tôles de ce rotor sont munies d'encoches où sont placés des conducteurs formant un bobinage le plus souvent triphasé, trois bagues et trois balais sont prévus pour accéder à ces enroulements, permettant de modifier certaines des caractéristiques électriques du circuit rotorique.

1.3 Association entre le rotor et le stator

Si la fréquence des tensions d'alimentation est égale à 50 Hz, la relation entre n_s en tours par minute, et p le nombre de paires de pôles peut s'écrire :

$$n_s = \frac{3000}{p}$$

n_s La fréquence de rotation du champ \vec{B} en tours par minute [tr.min^{-1}]

Sachant que " n ", la fréquence du rotor donc du moteur, est très légèrement inférieure à celle du champ tournant " n_s " la relation ci-dessus permet de donner très rapidement le nombre de paires de pôles ainsi

que la fréquence de synchronisme lorsque la fréquence de rotation du moteur est connue, en complétant le tableau suivant.

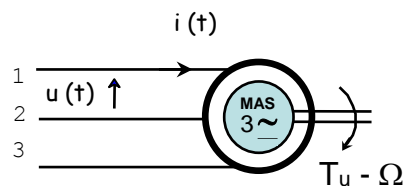
La fréquence de rotation du moteur est de 980 tr.min⁻¹, la fréquence du réseau est de 50 Hz, ainsi :

p	1	2	3	4...
n_s [tr.min ⁻¹]	3000	1500	1000	750

Dans l'exemple proposé, la fréquence : $n_s = \frac{f}{p} = 1000 \text{ tr.min}^{-1}$ et le nombre de pôles est de 6.

Un tableau du même genre peut être adapté avec une quelconque fréquence du réseau.

1.4 Le Symbole



1.5 Le glissement

Le rotor tourne à la fréquence de rotation n , il tourne moins vite que le champ tournant qui lui tourne à la fréquence de rotation n_s . La différence Δn entre ces deux fréquences de rotation est donnée par la relation :

$$\Delta n = n_s - n$$

Δn La fréquence de rotation du glissement en tours par seconde [tr.s⁻¹]

n_s La fréquence de rotation du champ \vec{B} en tours par seconde [tr.s⁻¹]

n La fréquence de rotation du rotor en tours par seconde [tr.s⁻¹]

On appelle glissement d'un moteur asynchrone le rapport de la fréquence de glissement à la fréquence de synchronisme :

$$g = \frac{n_s - n}{n_s}$$

g Le glissement du moteur asynchrone en pourcentage [sans unités]

1.6 La plaque signalétique – Le couplage

Sur la plaque signalétique d'un moteur asynchrone, deux tensions sont indiquées, par exemple 230 V et 400 V. Seule la plus petite des deux tensions est à prendre en considération pour le couplage, elle doit être appliquée aux bornes d'un enroulement.

Pour vérifier que cette tension est bien appliquée sur un enroulement, le réseau doit être connu et représenté ainsi que les couplages possibles. Un seul sera retenu.

C'est donc à partir des deux informations suivantes que le couplage peut être déterminé :

- La plus petite des deux tensions, elle figure sur la plaque signalétique du moteur.
- La nature du réseau, valeur de la tension simple, et celle de la tension composée.

Pour le réseau :

- Si deux tensions sont mentionnées, il s'agit des valeurs efficaces V de la tension simple $v(t)$ et U de la tension composée $u(t)$.

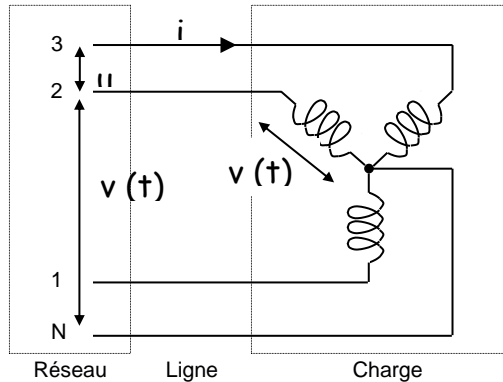
• Si une seule tension est indiquée il s'agit de la valeur efficace U de la tension composée $u(t)$. La valeur efficace V de la tension simple $v(t)$ est mesurée entre une phase et le neutre, la valeur efficace U de la tension composée $u(t)$ est évaluée entre deux phases.

La relation entre les valeurs efficaces de ces deux tensions est : $U = V\sqrt{3}$

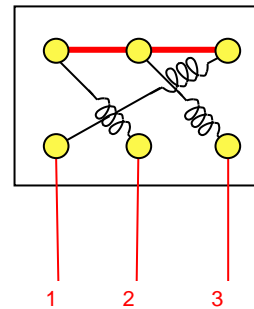
U La valeur efficace de la tension composée $u(t)$ en volts [V]

V La valeur efficace de la tension simple $v(t)$ en volts [V]

a. Le couplage en étoile



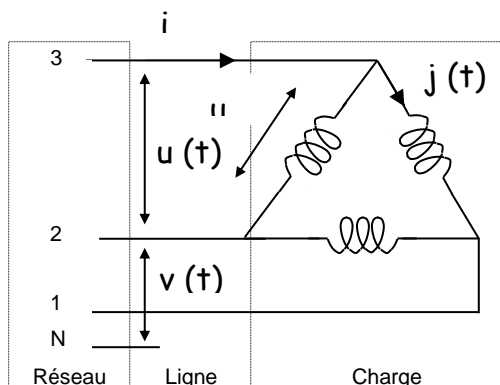
Couplage en étoile



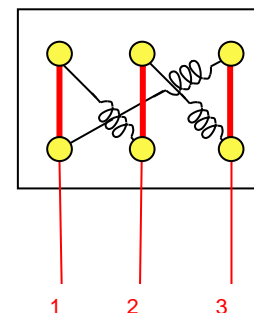
Câblage du stator

Dans un couplage en étoile, chaque enroulement est soumis à la tension simple $v(t)$, tension entre phase et neutre. Chaque enroulement est traversé par le courant de ligne $i(t)$.

b. Le couplage en triangle



Couplage en triangle



Câblage du stator

Dans un couplage en triangle, chaque enroulement est soumis à la tension composée, $u(t)$, tension entre deux phases. Chaque enroulement est traversé par le courant $j(t)$ de valeur efficace J , ce courant n'a de raison d'être que pour ce type de couplage.

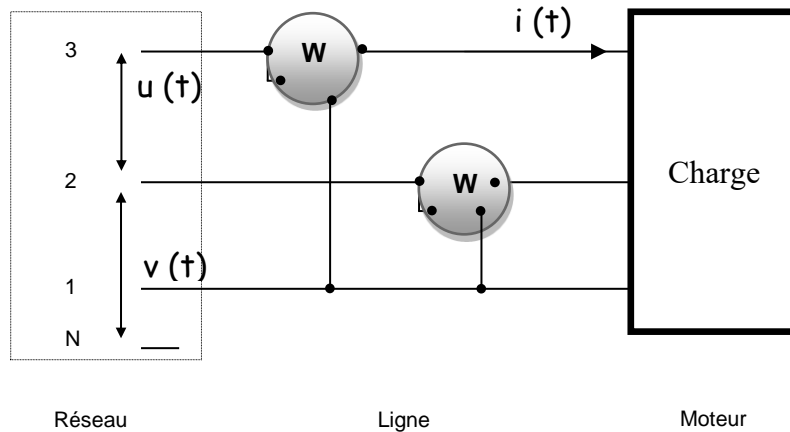
La relation entre les valeurs efficaces de ces deux courants est : $I = J\sqrt{3}$

I La valeur efficace du courant de ligne $i(t)$ en ampères [A]

J La valeur efficace du courant $j(t)$ dans un enroulement à couplage triangle, en ampères [A]

2. La mesure de la puissance absorbée

Cette méthode reste identique que le couplage soit en étoile ou en triangle, il utilise deux wattmètres numériques qui doivent être branchés comme suit :



Pour cette mesure le fil de neutre n'est jamais utilisé.

- Le premier wattmètre W_1 indique une grandeur P_1
- Le second wattmètre W_2 indique une grandeur P_2

2.1 La puissance active

La puissance active P absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des wattmètres, en utilisant la relation suivante : $P = P_1 + P_2$

- P La puissance active absorbée en watts [W]
 P_1 La lecture du premier wattmètre [sans unités]
 P_2 La lecture du second wattmètre [sans unités]

P_1 et P_2 sont les lectures des deux wattmètres, elles sont soit positives soit négatives. Sachant que la puissance absorbée P est une puissance active, elle est nécessairement positive. Il est donc indispensable de donner à P_1 la valeur positive correspondant à la plus grande des deux indications en valeurs absolues. La valeur prise par P_2 sera l'indication de l'autre wattmètre, affublé du signe « plus » si les deux grandeurs étaient de même signe et du signe « moins » dans le cas contraire.

2.2 La puissance réactive

La puissance réactive Q absorbée par le moteur se calcule à partir des informations des wattmètres, en utilisant la relation suivante : $Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2)$

- Q La puissance réactive absorbée en V.A.R [vars] V.A.R : Volts ampères réactifs

2.3 La puissance apparente

La puissance apparente du moteur peut se déduire des deux calculs précédents par la relation :

- $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ S La puissance apparente du moteur en V.A [VA]

2.4 Le facteur de puissance

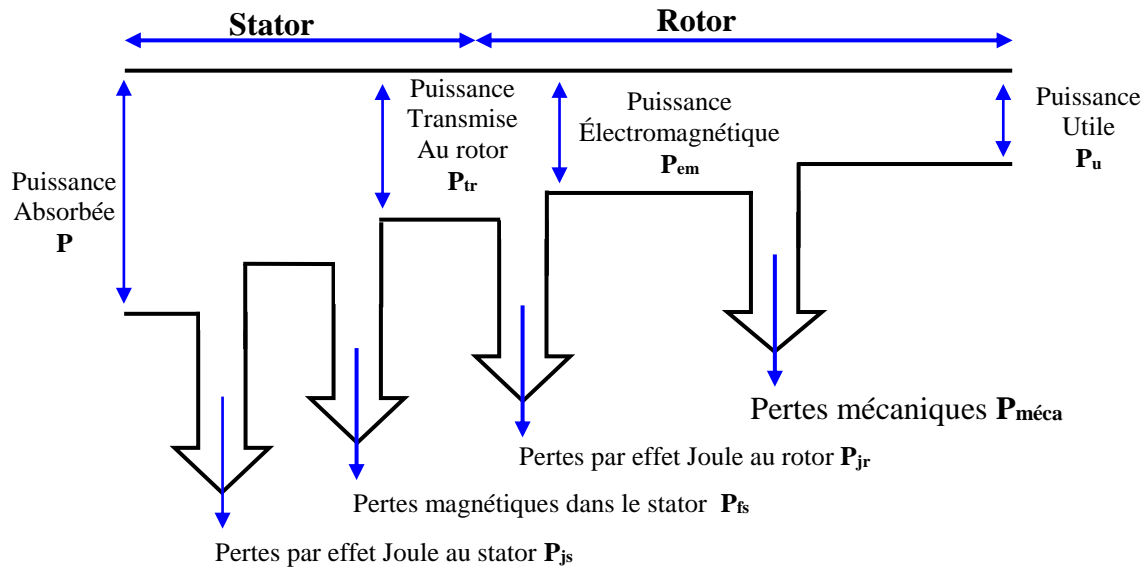
Le facteur de puissance peut se déduire des deux calculs précédents par la relation :

- $\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$ φ L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés [°]

3. Le bilan des puissances :

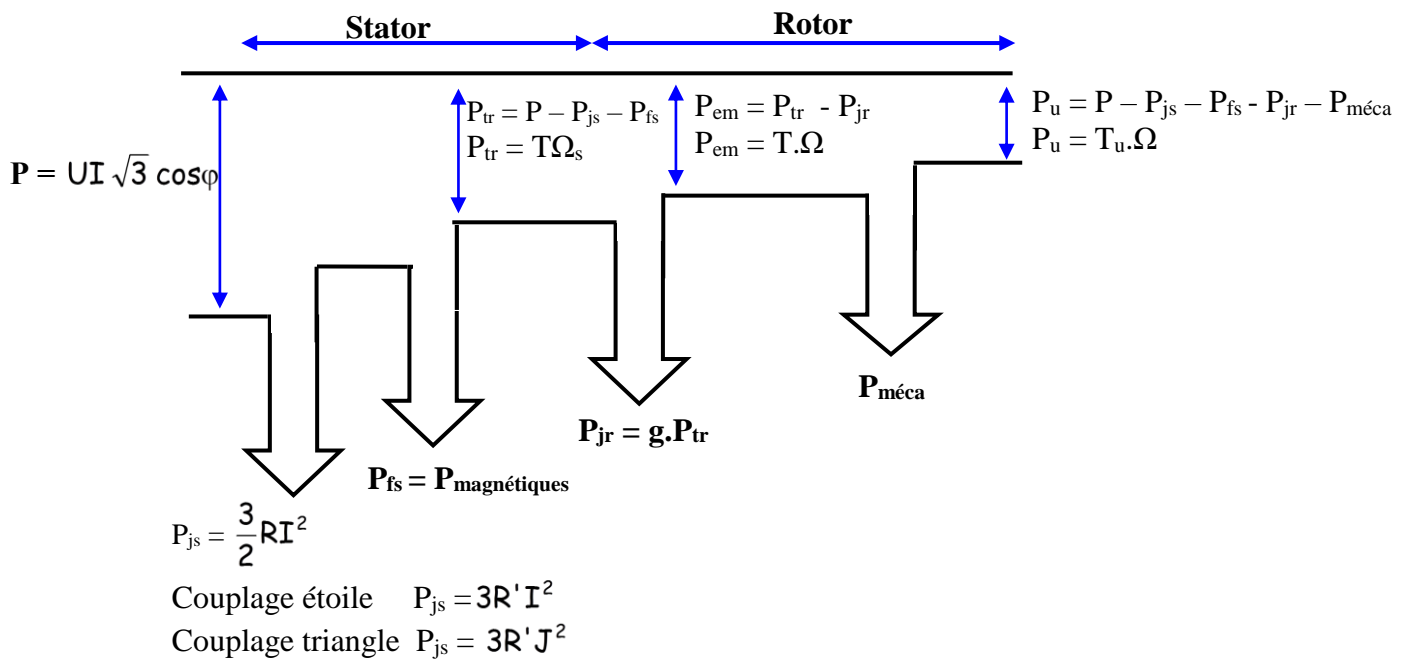
Le bilan des puissances décline toutes les puissances, depuis la puissance absorbée d'origine électrique jusqu'à la puissance utile de nature mécanique.

Le bilan, peut être résumé à l'aide schéma suivant :



Bilan des puissances d'un moteur asynchrone

Les puissances mises en jeu dans ce bilan peuvent être calculées à partir des relations qui suivent.



P	La puissance électrique absorbée en watts [W]
P_{js}	Les pertes par effet Joule dans le stator en watts [W]
P_{jr}	Les pertes par effet Joule dans le rotor en watts [W]
P_{tr}	La puissance transmise au rotor en watts [W]
P_{fs}	Les pertes dans le fer du stator en watts [W]
P_{em}	La puissance électromagnétique en watts [W]
P_u	La puissance mécanique utile sur l'arbre du rotor en watts [W]
U	La tension entre deux phases en volts [V]
I	L'intensité du courant de ligne en ampères [A]
J	L'intensité du courant dans un enroulement en ampères [A]
R	La résistance entre deux bornes de phases en ohms [Ω]
R'	La résistance d'un enroulement en ohms [Ω]
T_u	Le moment du couple utile disponible en Newton-mètres [Nm]
T	Le moment du couple transmis au rotor en Newton-mètres [Nm]
Ω_s	La vitesse angulaire du champ \vec{B} en radians par seconde [rad.s^{-1}]
Ω	La vitesse angulaire du rotor en radians par seconde [rad.s^{-1}]
g	Le glissement du moteur asynchrone [sans unités]
η	Rendement du moteur [sans unités]
ϕ	L'angle de déphasage entre courant et tension en degrés [$^\circ$]

- **Les pertes dans le fer du stator en watts [W]:**

Les pertes magnétiques, dans les tôles de l'armature du stator sont pratiquement indépendantes de la charge, elles sont liées à la valeur efficace U et à la fréquence f de la tension composée u (t). Pour un réseau donnée, ces pertes sont considérées comme constantes, elles sont données, ou calculées par un essai à vide.

- **Les pertes dans le fer du rotor en watts [W] : $P_{fr} = 0 \text{ W}$**

Le rotor est également le siège d'un autre type de pertes. Les pertes fer ou magnétiques. Cependant ces pertes seront toujours négligées devant les autres, la fréquence des courants étant très faible

- **Les pertes mécaniques dans le rotor en watts [W] $P_{méca}$**

Ces pertes sont considérées comme constantes, elles sont données, ou calculées par un essai à vide. Très souvent elles sont égales aux pertes dans le fer du stator, la somme de ces deux types de pertes sera communément appelée les pertes constantes.

Le bilan met en évidence le fait que la puissance absorbée est obligatoirement la puissance la plus importante, elle ne cesse de diminuer en progressant vers la puissance utile qui est évidemment la plus faible, ainsi :

- Les pertes magnétiques dues à l'hystérésis et aux courants de Foucault se produisent uniquement dans les tôles du stator.
- Les pertes mécaniques dues aux frottements se situent au niveau des paliers du rotor.

Le rendement est le rapport entre la puissance mécanique utile et la puissance électrique absorbée par, d'où : $\eta = \frac{P_u}{P}$

4. L'essai à vide :

Nous dirons que le moteur fonctionne à vide s'il n'entraîne aucune charge sur son arbre. L'indice «o» caractérise cet essai. Le couple utile $T_{uo} = 0 \text{ Nm}$

La fréquence de rotation du rotor est notée n_o , elle est considérée comme identique à la fréquence de rotation n_s du champ tournant Les fréquences de rotation $n_o = n_s$

n_s La fréquence de rotation du champ \vec{B} en tours par seconde $[\text{tr.s}^{-1}]$

n_o La fréquence de rotation à vide du rotor en tours par seconde $[\text{tr.s}^{-1}]$

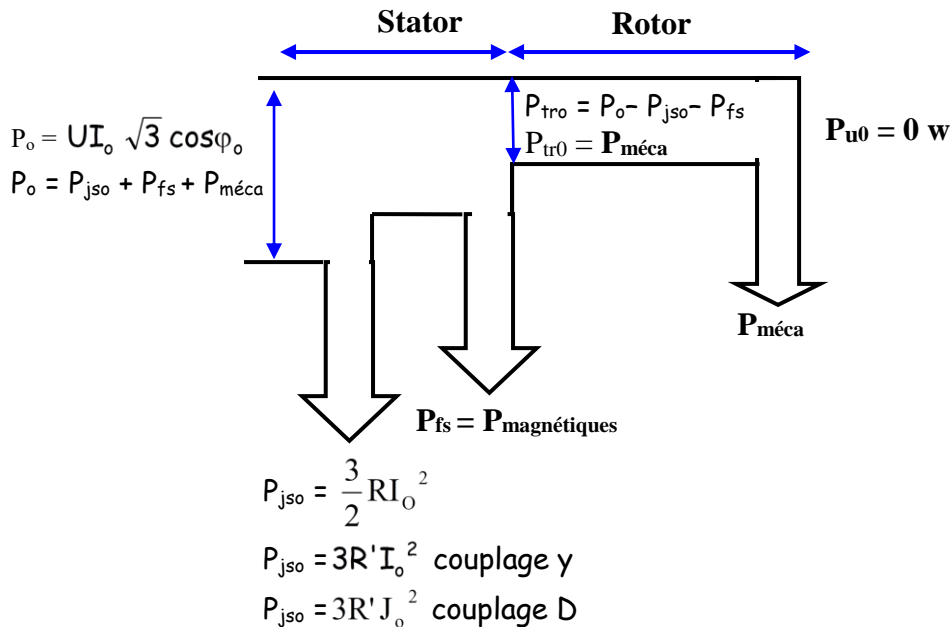
On rappelle que le glissement à vide d'un moteur asynchrone est donné par la relation :

$$g_o = \frac{n_s - n_o}{n_s} \quad g_o \quad \text{Le glissement du moteur à vide en pourcentage [sans unités]}$$

Les deux relations précédentes donnent :

➡	$g_o = 0 \%$	Le glissement du moteur à vide est nul
➡	$P_{jro} = g_o \cdot P_{tro} = 0 \text{ W}$	Les pertes par effet joule à vide dans le rotor sont nulles
➡	$P_{uo} = T_{uo} \cdot \Omega_o = 0 \text{ W}$	La puissance utile à vide est nulle

Toutes les puissances mises en jeu dans le bilan des puissances peuvent être recalculées dans le cas de l'essai à vide en tenant compte des deux relations précédentes.



- **Puissance absorbée à vide à vide**

P_o	La puissance électrique absorbée à vide en watts [W]
P_{jso}	Les pertes par effet Joule à vide dans le stator en watts [W]
P_{fs}	Les pertes dans le fer à vide dans le stator en watts [W] Elles sont constantes donc identiques à vide et en charge
P_{tro}	La puissance transmise à vide au rotor en watts [W]
P_{jro}	Les pertes par effet Joule à vide dans le rotor en watts [W]
$P_{méca}$	Les pertes mécaniques à vide dans le stator en watts [W] Elles sont constantes donc identiques à vide et en charge
P_{uo}	La puissance utile à vide en watts [W]
T_{u0}	Le moment du couple utile à vide en Newton-mètres [Nm]
U	La tension entre deux phases en volts [V]
I_o	L'intensité du courant de ligne à vide en ampères [A]
I_o	L'intensité du courant de ligne à vide en ampères [A]
J_0	L'intensité du courant dans un enroulement à vide en ampères [A]
g_o	Le glissement à vide du moteur asynchrone [sans unités]
Ω_0	La vitesse angulaire du rotor à vide en radians par seconde [rad.s ⁻¹]
ϕ_o	L'angle de déphasage entre courant et tension à vide en degrés [°]

La puissance absorbée à vide se mesure aisément avec la méthode des deux wattmètres, Connaissant la résistance des enroulements du stator, les pertes par effet Joule à vide sont facilement calculables. La différence entre la puissance absorbée et la puissance perdue par effet Joule, donne les deux puissances restantes, c'est-à-dire les pertes magnétiques au niveau du stator et les pertes mécaniques.

- **Plusieurs études sont possibles :**

Soient les pertes magnétiques dans le stator sont données, nous calculons alors la puissance absorbée, les pertes par effet joule dans le stator et nous en déduisons les pertes mécaniques.

Soient les pertes mécaniques sont données, nous calculons la puissance absorbée, les pertes par effet joule dans le stator et nous en déduisons les pertes magnétiques dans le stator.

Soit, le cas le plus fréquent, il est précisé que les pertes mécaniques et les pertes magnétiques dans le stator sont égales, nous calculons alors la puissance absorbée, les pertes par effet joule dans le stator et nous en déduisons les pertes mécaniques ainsi que les pertes magnétiques dans le stator.

5. L'essai en charge

Le point de fonctionnement :

Le moteur est maintenant chargé, c'est-à-dire que l'arbre de ce dernier entraîne une charge résistante qui s'oppose au mouvement du rotor.

En régime permanent, ou régime établi, le couple utile T_u délivré par le moteur est égal au couple résistant T_R que lui oppose la charge mécanique :

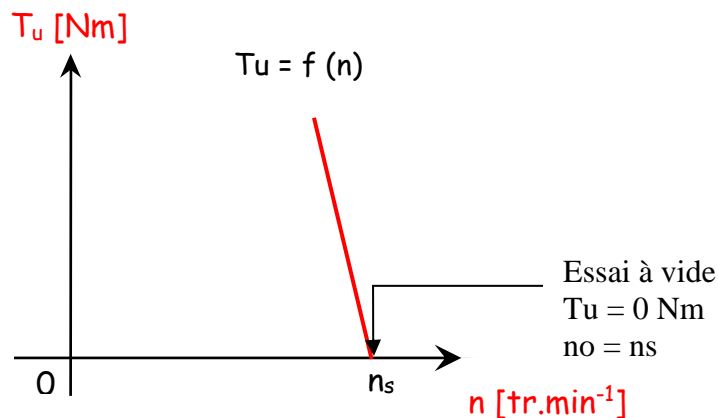
En régime permanent : $T_u = T_R$

T_u Le couple utile délivré par le moteur en newtons mètres [Nm]

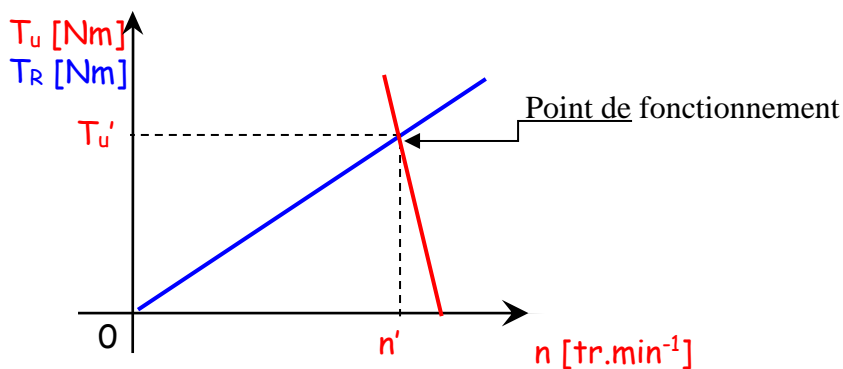
T_R Le couple résistant de la charge mécanique en newtons mètres [Nm]

Sur sa partie utile, la caractéristique mécanique est un segment de droite. Pour la tracer, il suffit de deux points. Le premier est généralement donné par l'étude d'un cas précis, le second se déduit de l'essai à vide. Dans cet essai, le couple utile est nul, il est associé à une fréquence de rotation considérée comme égale celle du synchronisme, $n_o = n_s$.

Le moment du couple utile T_u en fonction de la fréquence de rotation en tours par minute est la suivante



Le point de fonctionnement se trouve sur l'intersection de la caractéristique mécanique du moteur et de la courbe qui caractérise le couple résistant de la charge.

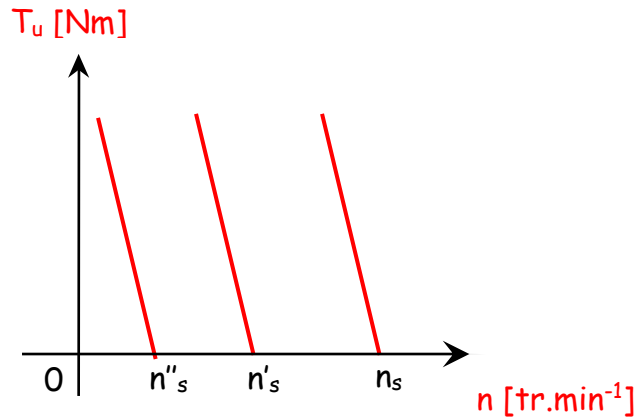


Evaluation graphique du point de fonctionnement

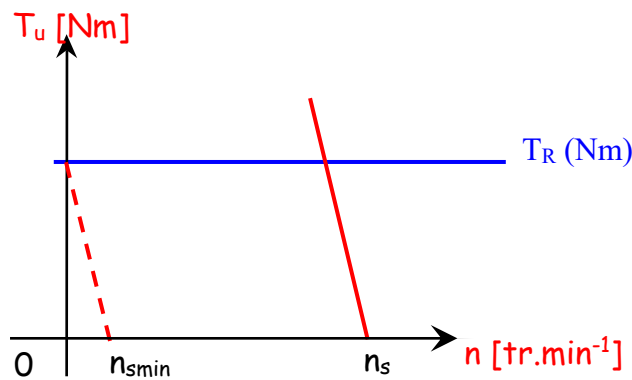
Le point de fonctionnement (T_u' ; n') permet de calculer très facilement le glissement et la puissance utile dans ce cas bien précis.

6. Le fonctionnement à V/f constant :

Si les propriétés électriques de l'alimentation du moteur sont telles que le rapport entre la valeur efficace et la fréquence f de la tension $v(t)$ reste constant $\frac{V}{f} = cte$, le moment du couple magnétique T_{em} ne dépend que de la différence entre les fréquences de rotation n_s et n . Dans ce cas, toutes les caractéristiques mécaniques sont parallèles les unes avec les autres.



7. Le fonctionnement à V/f constant et à couple résistant constant



En traçant successivement les différentes caractéristiques toutes parallèles entre elles, il est possible de trouver la fréquence minimale qui permet le démarrage du moteur lorsque le couple résistant qui s'oppose au couple utile du moteur est fixé, en utilisant la relation :

$$f_{min} = n_{smin} \cdot p$$

MOTEUR ASYNCHRONE MONOPHASE

I- Principe :

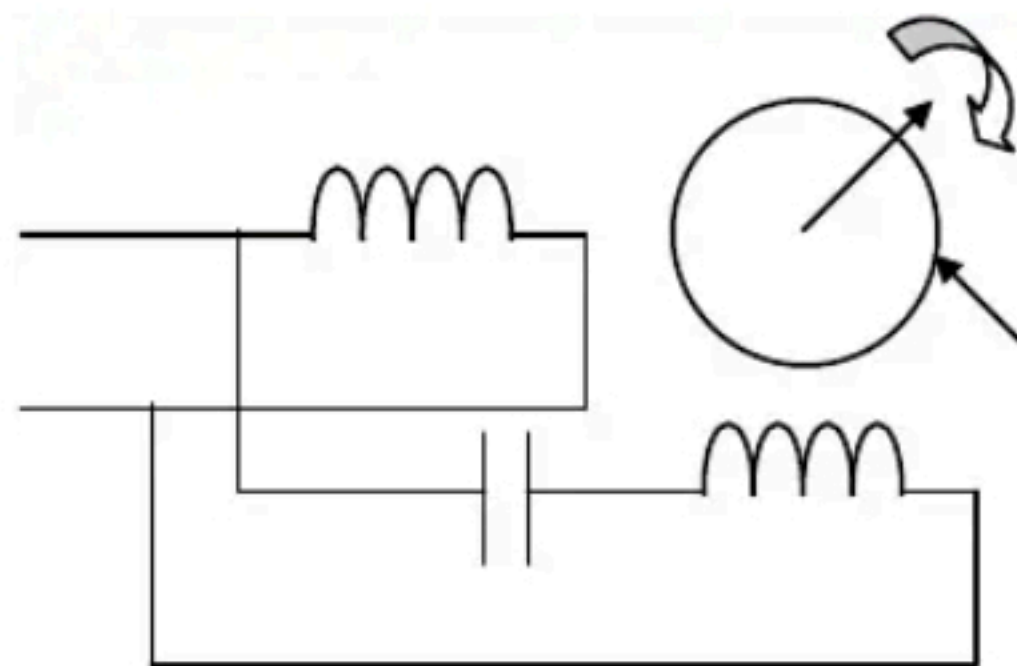
Un champ magnétique B tournant peut être créé à l'aide de 2 enroulements déphasés (de 90°) par un condensateur de capacité C, le disque métallique (rotor) est entraîné par l'action de ce champ tournant

L'inversion du sens de rotation est obtenu par inversion de l'alimentation du circuit constitué par : l'enroulement secondaire 2 et le condensateur C.

1 : Enroulement principal.

2 : Enroulement secondaire de démarrage.

C : capacité de démarrage.



II- Différents types de démarrages :

1- Démarrage par lancement :

Après la mise sous tension du stator, on peut lancer le moteur à la main dans un sens ou dans l'autre.

2- Démarrage par phase auxiliaire :

Un enroulement auxiliaire de démarrage, alimenté par un courant déphasé de 90° par un condensateur de capacité C qui améliore le démarrage. Voir schéma ci-dessus.

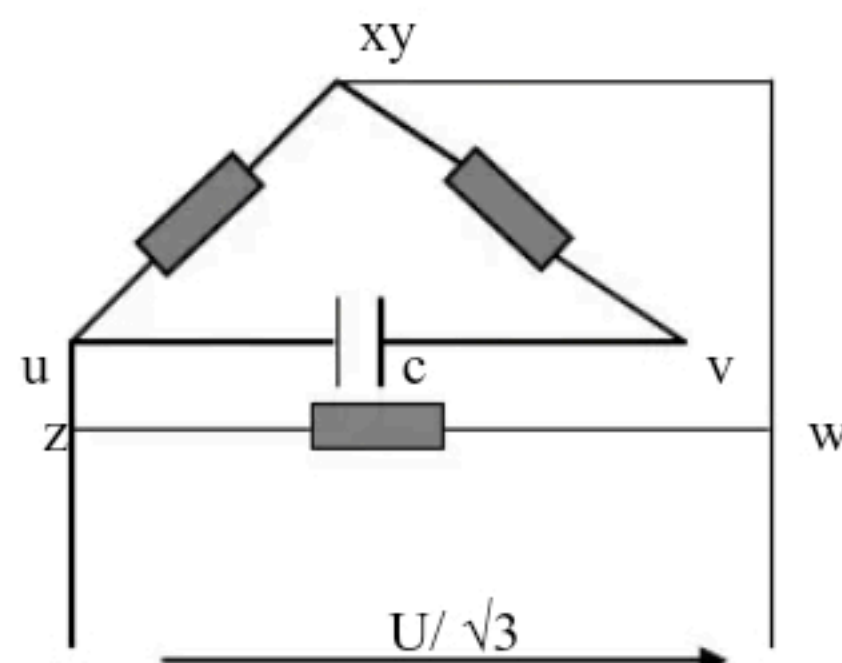
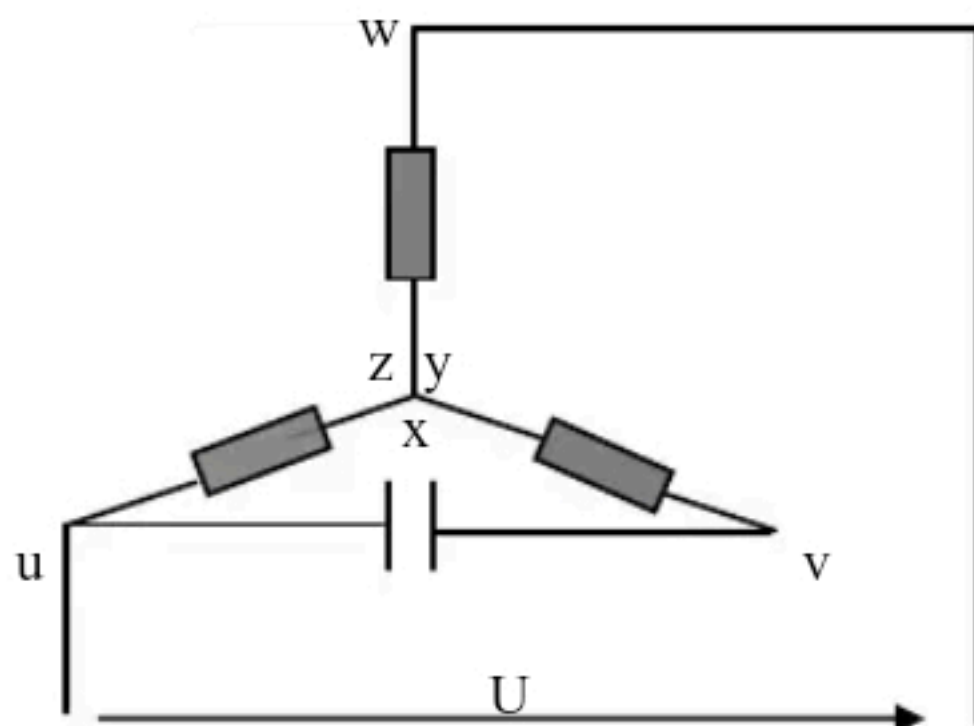
III- Relation :

Vitesse : $n = f/p$

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

Rendement : $\eta = P_u/P_a$ Avec : $P_a = UI \cdot \cos\phi$.

IV- Transformation d'un moteur asynchrone triphasé en monophasé :



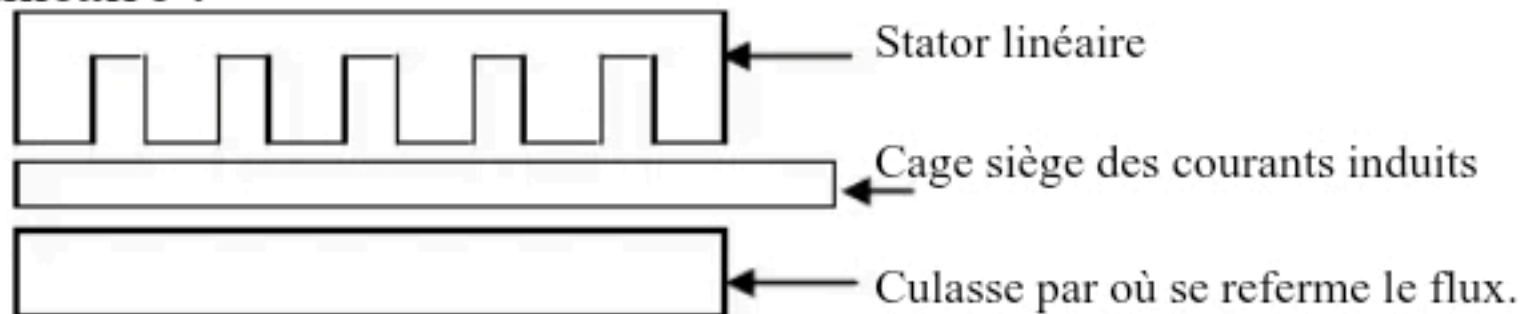
Deux phases montées en séries ou en parallèles selon le couplage. La troisième montée en série avec un condensateur constitue la phase auxiliaire.

V- Moteur asynchrone linéaire :

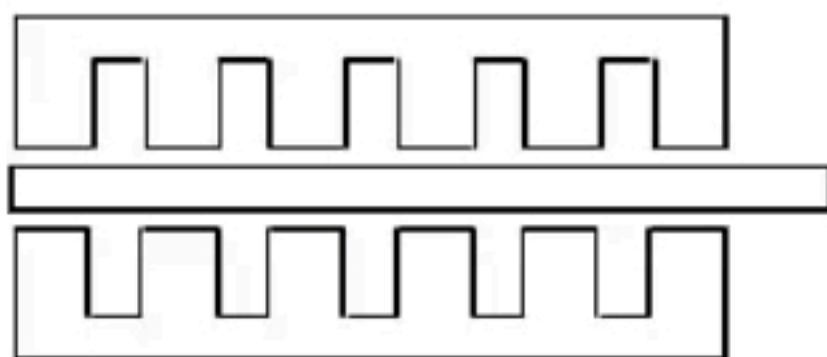
1- Principe : Si l'on développe le stator d'un moteur asynchrone, on obtient un moteur linéaire.

2- Différents types de moteurs linéaires :

a- Moteur à un stator linéaire :



b- Moteur à deux stators linéaires :



Utilisation :

- Traction électrique.
- Entraînement de bandes Transporteuse.
- Vérin à grand déplacement.