

CHAPITRE 4 MACHINES SYNCHRONES

La machine synchrone est le plus souvent utilisée en générateur, on l'appelle alors alternateur



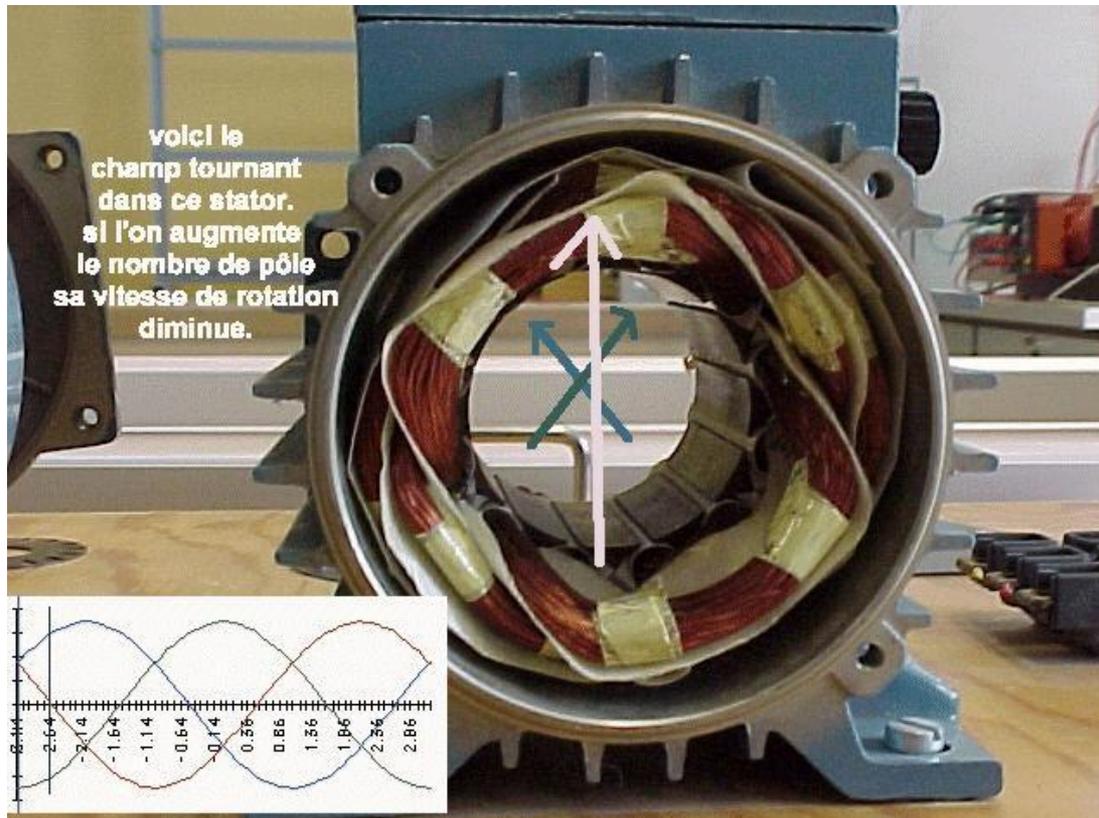
La machine synchrone est réversible et peut également fonctionner en moteur synchrone



STRUCTURE

L'induit ou stator

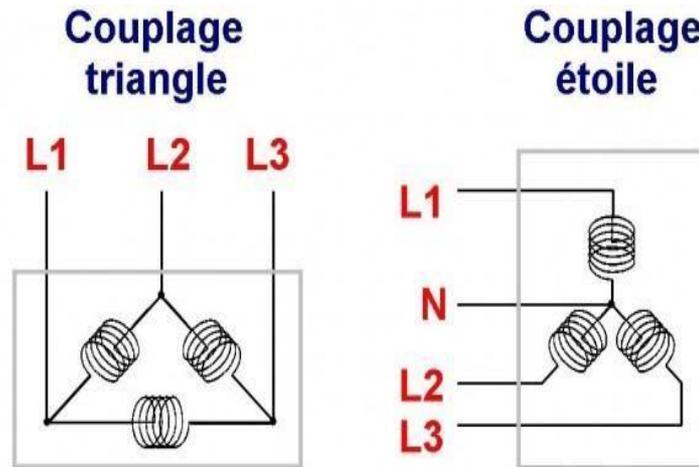
Le circuit d'induit ou stator: il est constitué des trois bobinages triphasés, de constitution symétrique, pratiqué sur le stator de façon répartie, et par lesquels transite la puissance électrique de la machine.



L'induit ou stator

Deux couplages sont possibles :

Etoile (Y) qui impose une tension simple à chaque enroulement ou triangle (D) qui impose une tension composée à chaque enroulement

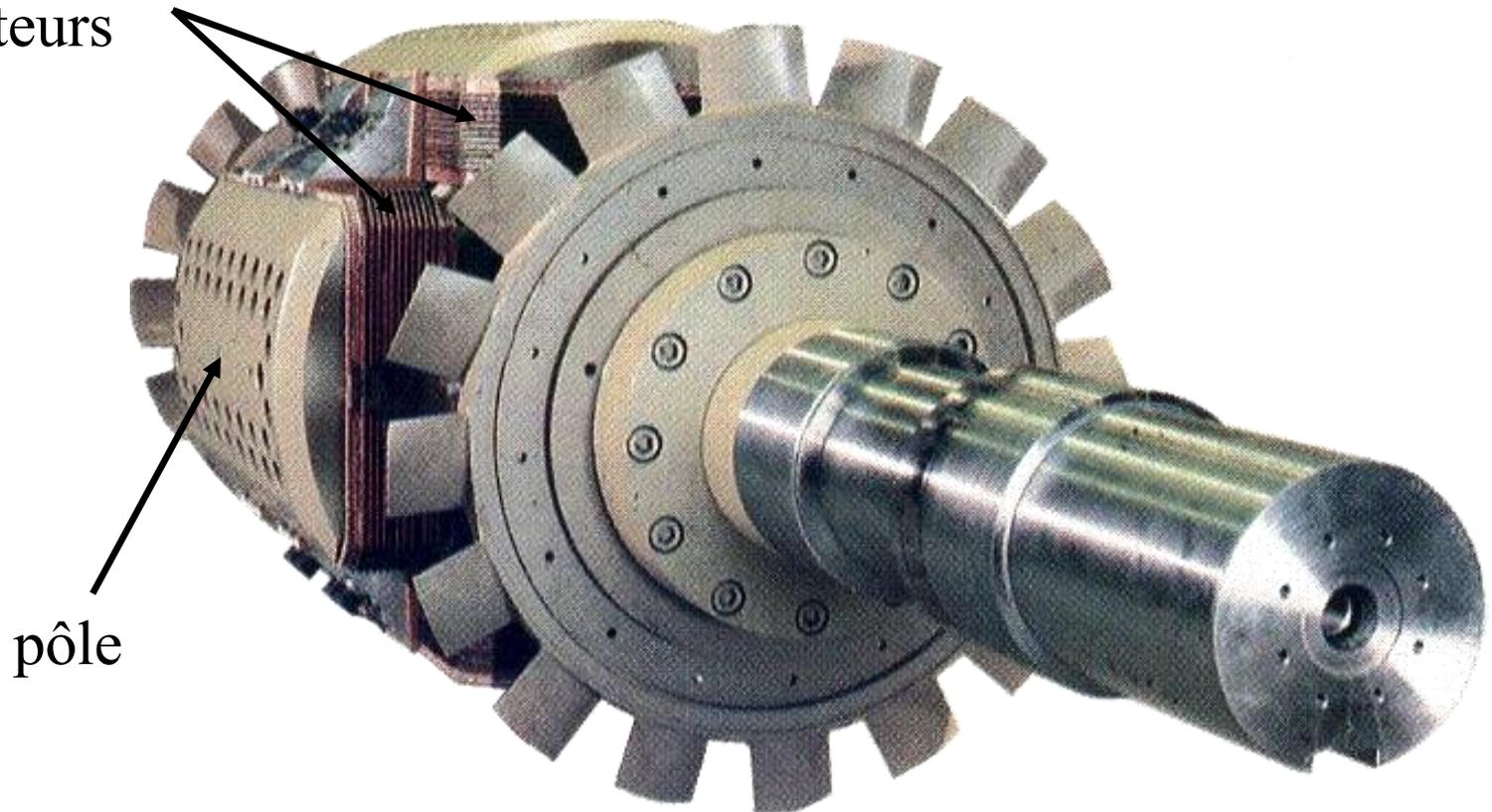


Couplage du stator d'un moteur asynchrone

L'inducteur ou le rotor (roue polaire)

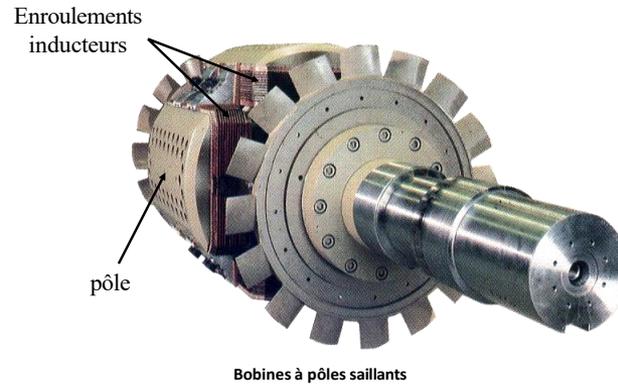
La roue polaire est constitué d'un bobinage enroulé sur le rotor et traversé par le courant continu le « d'excitation ». C'est lui qui permet la création des pôles magnétiques l'instauration d'un flux dans le circuit magnétique

Enroulements
inducteurs

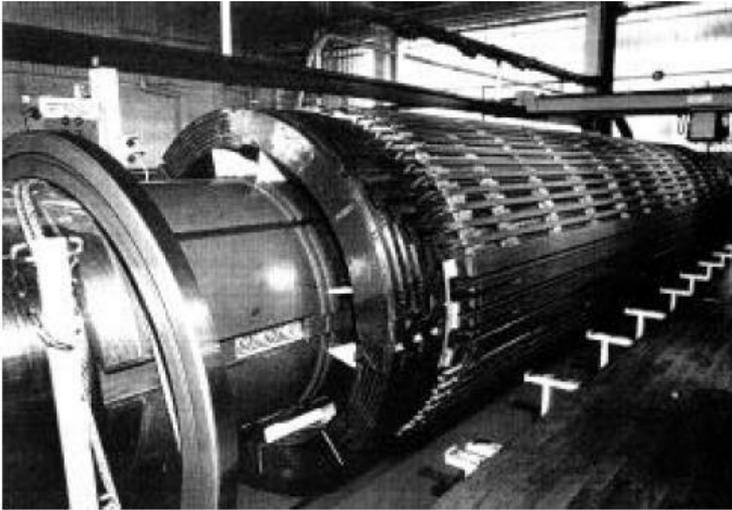


Bobines à pôles saillants

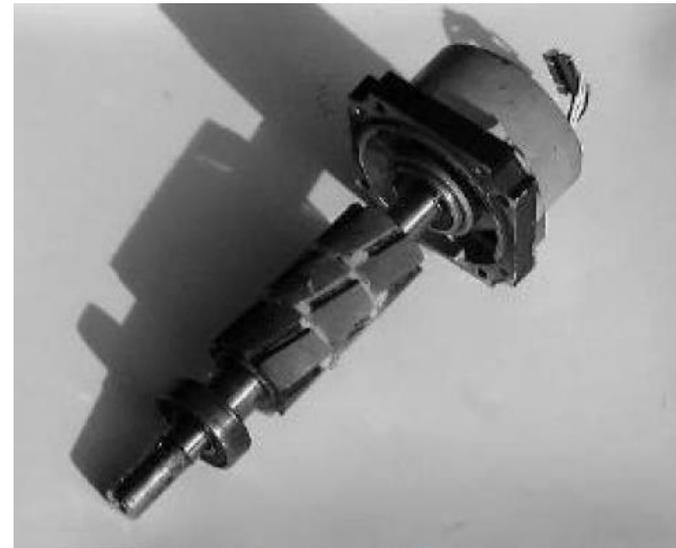
On rencontre trois types de rotor



Bobines à pôles saillants

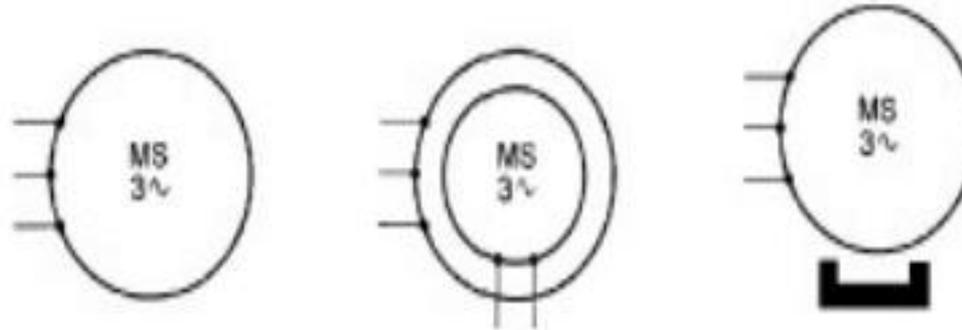


Rotor à pôles lisses



Rotor à aimants

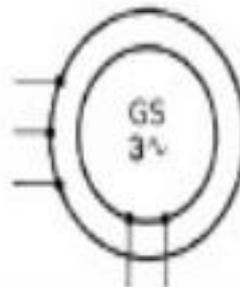
Voici les différents symboles utilisés pour représenter la machine synchrone



(a) Symbole général d'un moteur synchrone.

(b) Symbole d'un moteur synchrone triphasé à rotor bobiné.

(c) Symbole d'un moteur synchrone triphasé à aimants.



(d) Symbole d'un alternateur triphasé à rotor bobiné.

Quel que soit sa constitution et son nombre de pôles, une machine synchrone est constituée de deux circuits indépendants :

PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT EN GÉNÉRATEUR

Pour produire l'énergie électrique, une force extérieure fait tourner le rotor. Les enroulements du rotor alimentés en courant continu créent un champ magnétique

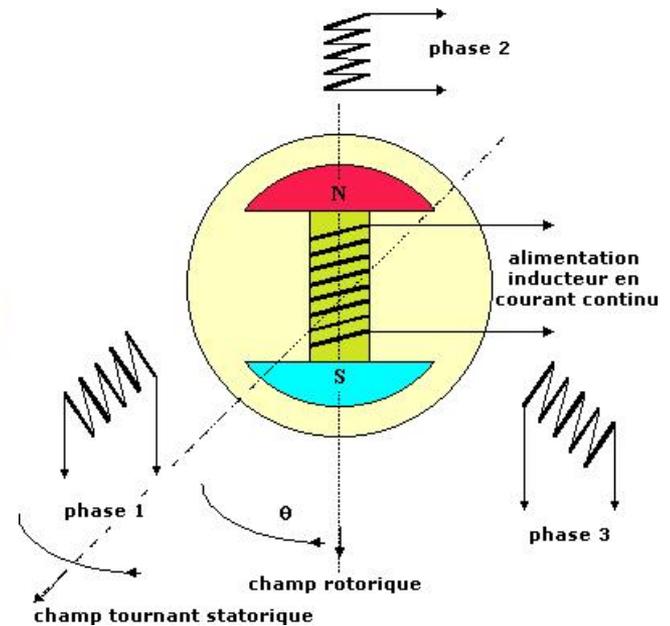
Le champ magnétique en tournant, induit une f.é.m. alternative dans les bobines du stator (induit).

La vitesse de ce champ tournant et donc du rotor est appelée « vitesse de synchronisme » d'où le nom de machine synchrone

$$N_s = \frac{60 \times f_s}{p}$$

VITESSE DU CHAMPS TOURNANT

p (pair de pôle)	1	2	3	4	5
N_s (tr / min)	3000	1500	1000	750	600



Création de la Force électromotrice E

On peut obtenir une force électromotrice en prenant un **induit** (stator) **fixe** et un **inducteur** (rotor) **mobile**. Un enroulement de l'induit (stator) soumis au champ magnétique tournant de l'entrefer est le siège d'une f.é.m. E . Cette tension a pour valeur :

$$e = -k_1 \frac{d\phi}{dt} \quad E = k_1 \times \phi \times \Omega$$

En triphasé le stator comporte trois enroulements ou phases

On obtient trois f.é.m. $e_1(t)$, $e_2(t)$ et $e_3(t)$ de même valeur efficace E et déphasées de $\frac{2\pi}{3}$

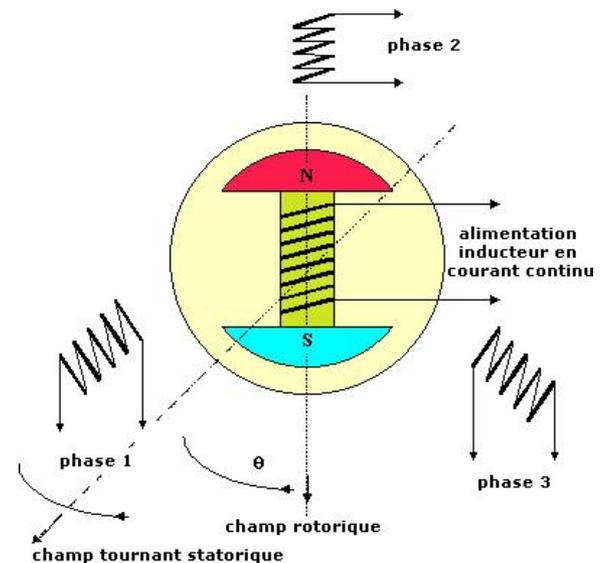
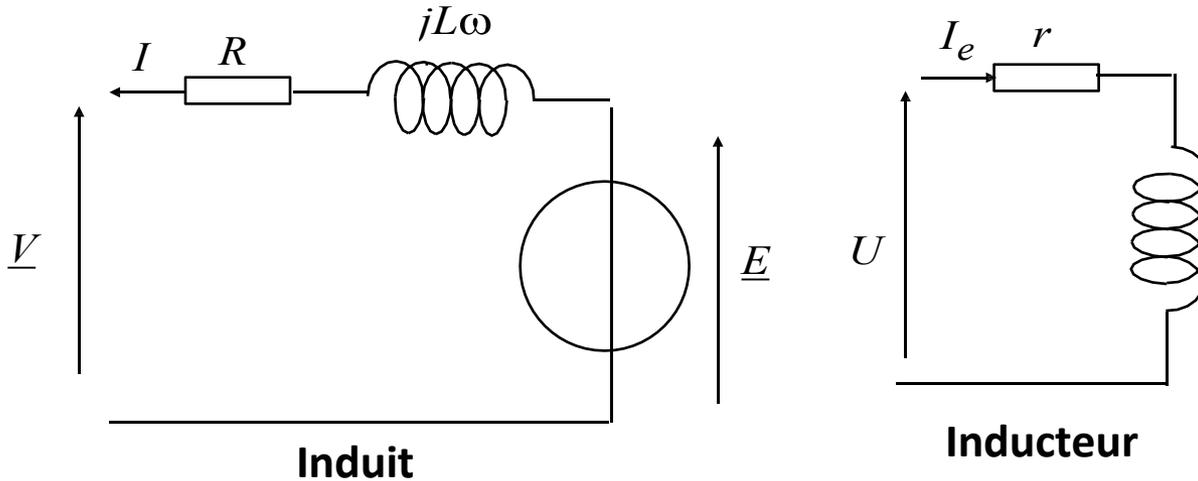


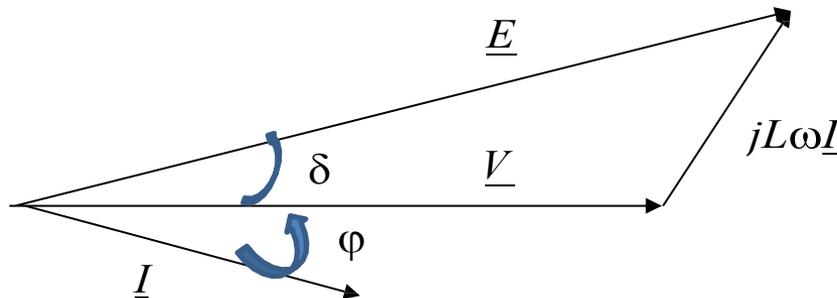
SCHÉMA ÉQUIVALENT MONOPHASÉ D'UNE MACHINE SYNCHROME EN FONCTIONNEMENT ALTERNATEUR

En régime triphasé équilibré, on étudie uniquement les grandeurs relatives à une phase.

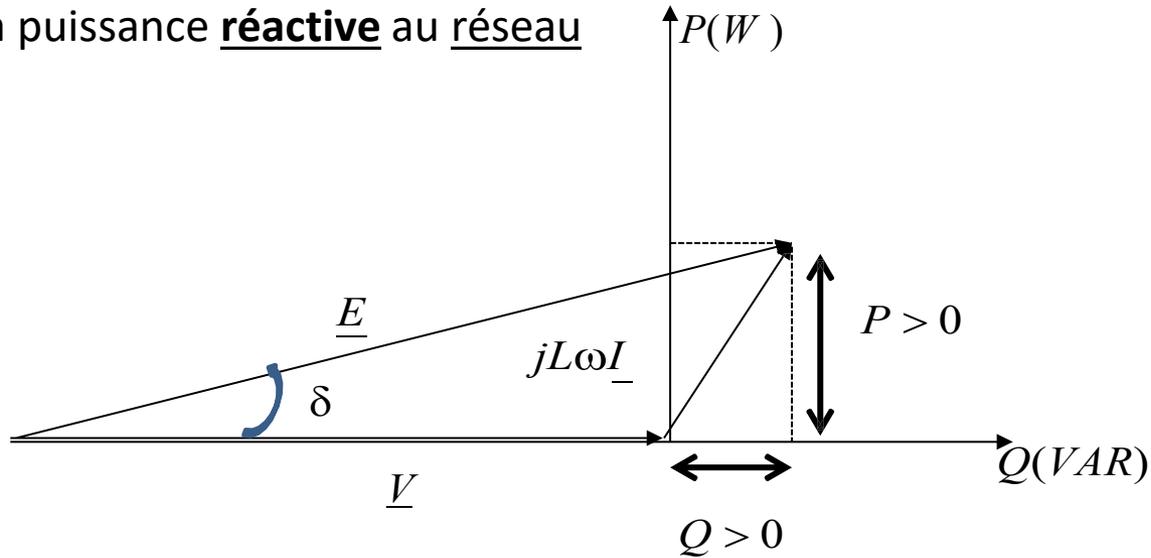


La loi des mailles de l'induit donne : $\underline{E} = \underline{V} + (R + jL\omega) \times \underline{I}$

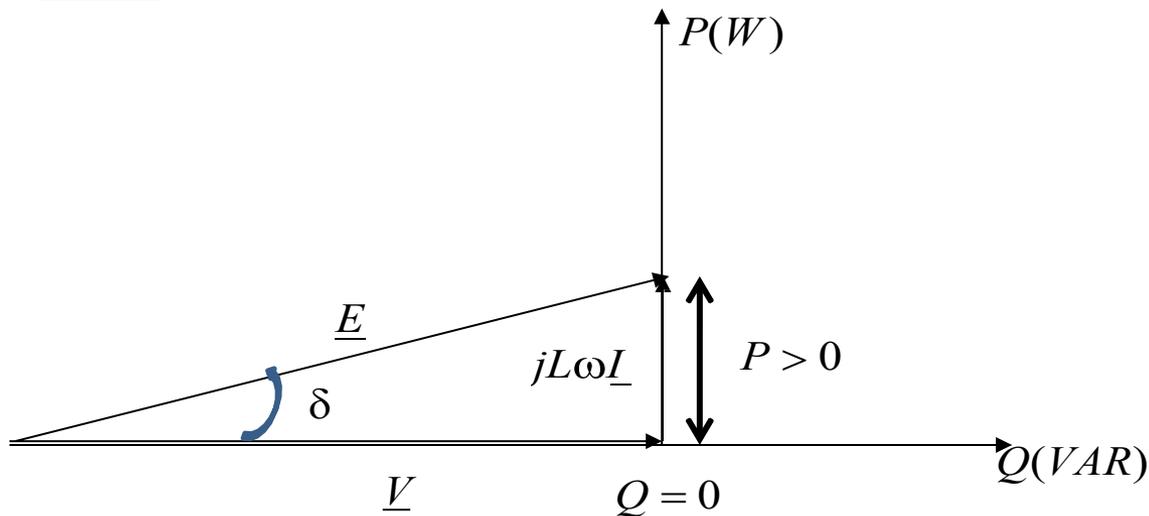
Le diagramme de la machine synchrone en négligeant R donne:



Machine synchrone fonctionnant en **alternateur surexcité** fournissant à la fois de la puissance **active** et de la puissance **réactive** au réseau



Machine synchrone à l'excitation « **normale** » fonctionnant en **alternateur** fournissant que de la puissance **active** au réseau



Machine synchrone fonctionnant en **alternateur sous-excité** fournissant la puissance **active** au réseau et **absorbant** de la puissance **réactive** sur ce même réseau.

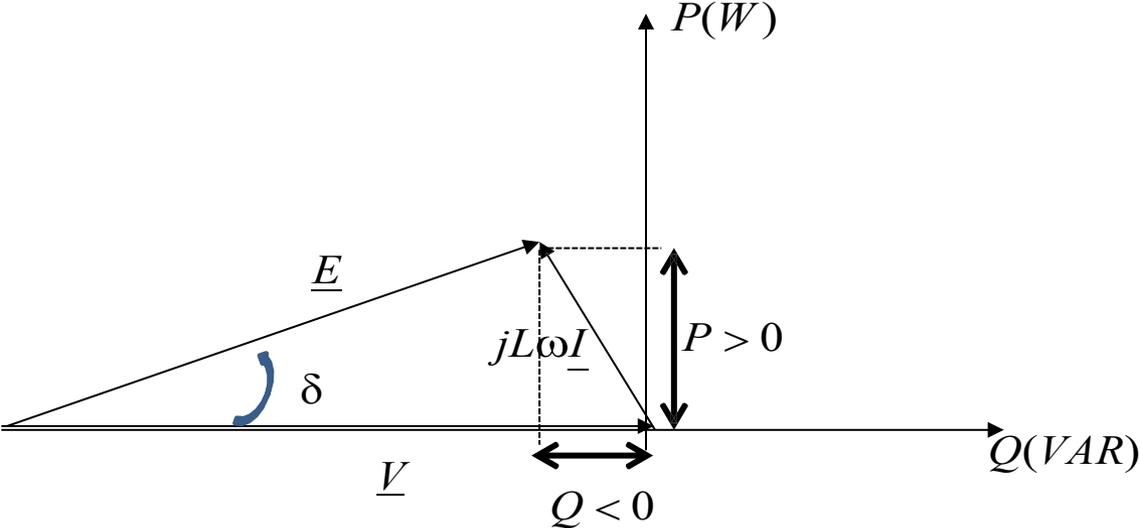
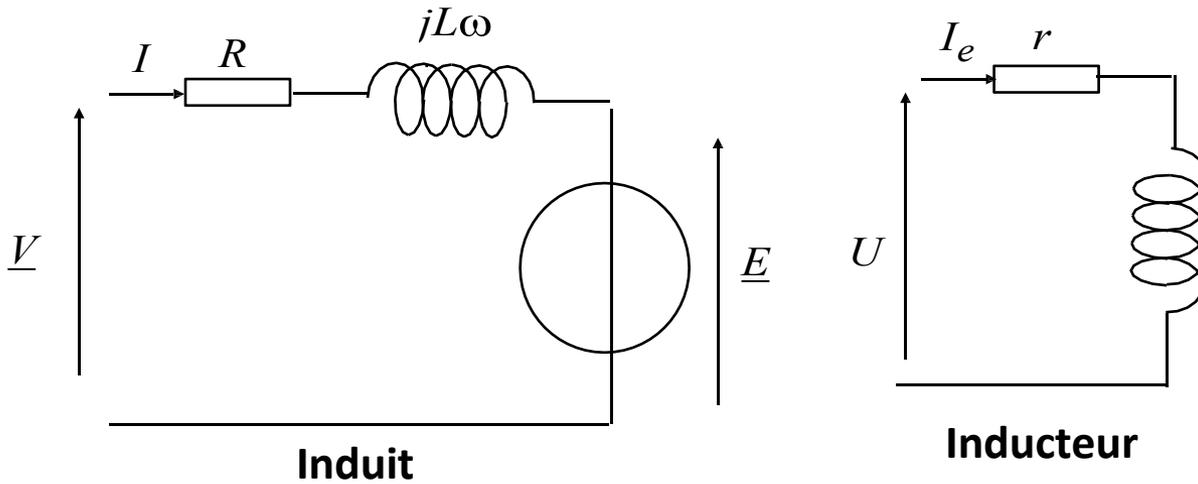
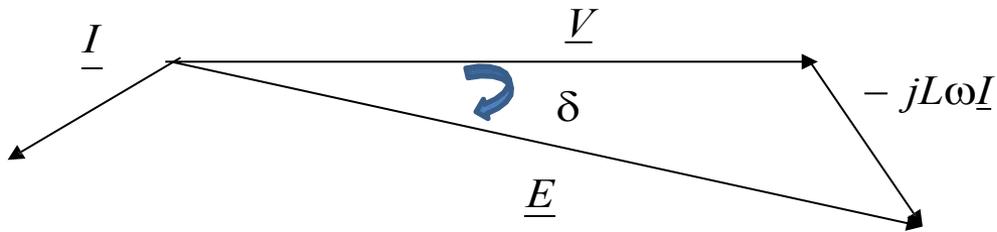


SCHÉMA ÉQUIVALENT MONOPHASÉ D'UNE MACHINE SYNCHROME EN FONCTIONNEMENT MOTEUR

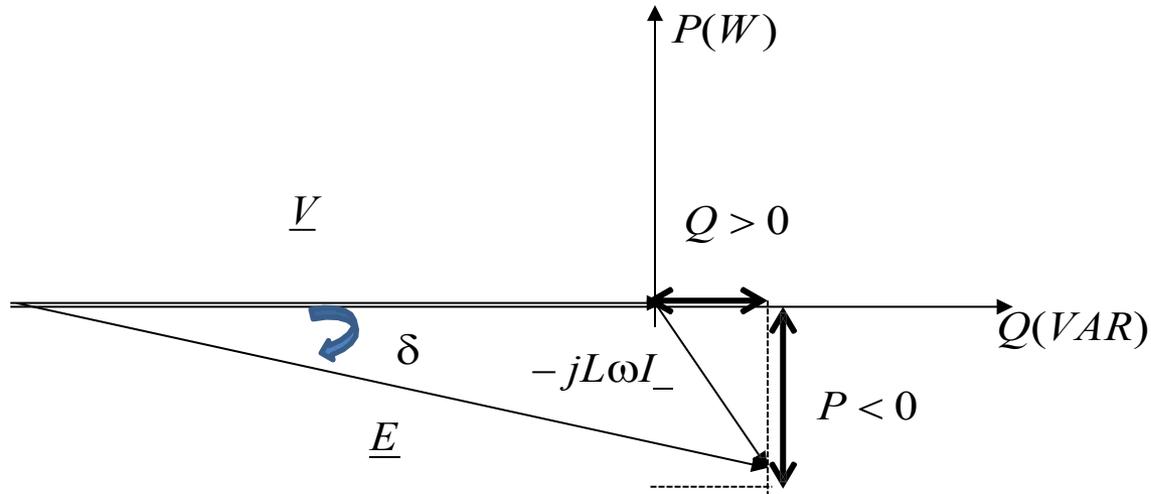


$$\underline{V} = \underline{E} + jL\omega \underline{I}$$

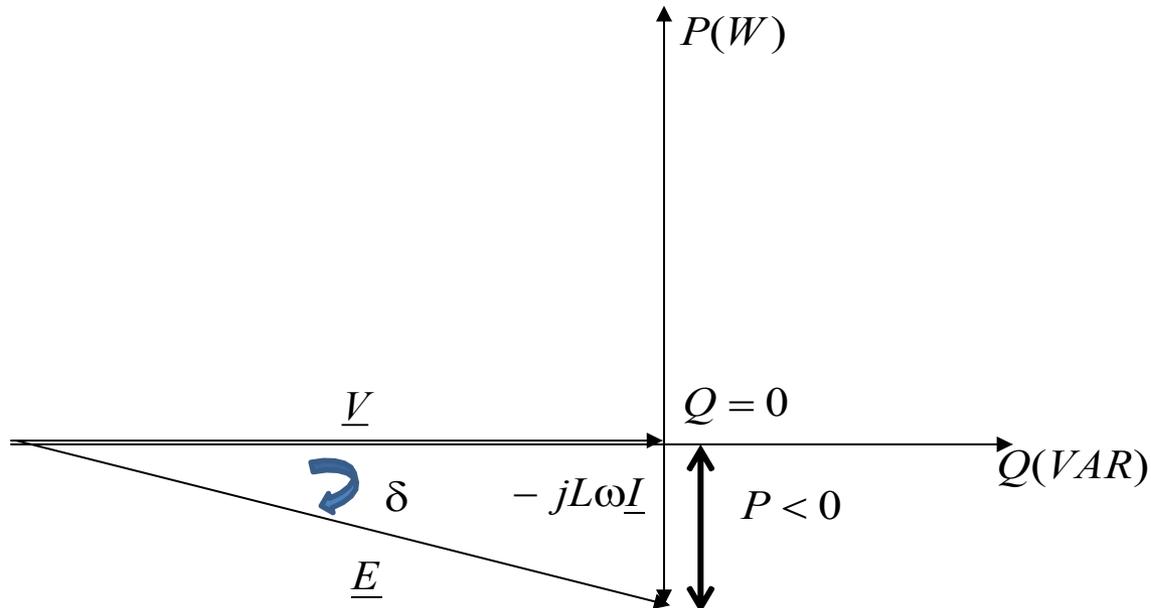
Le diagramme de la machine synchrone en négligeant R donne:



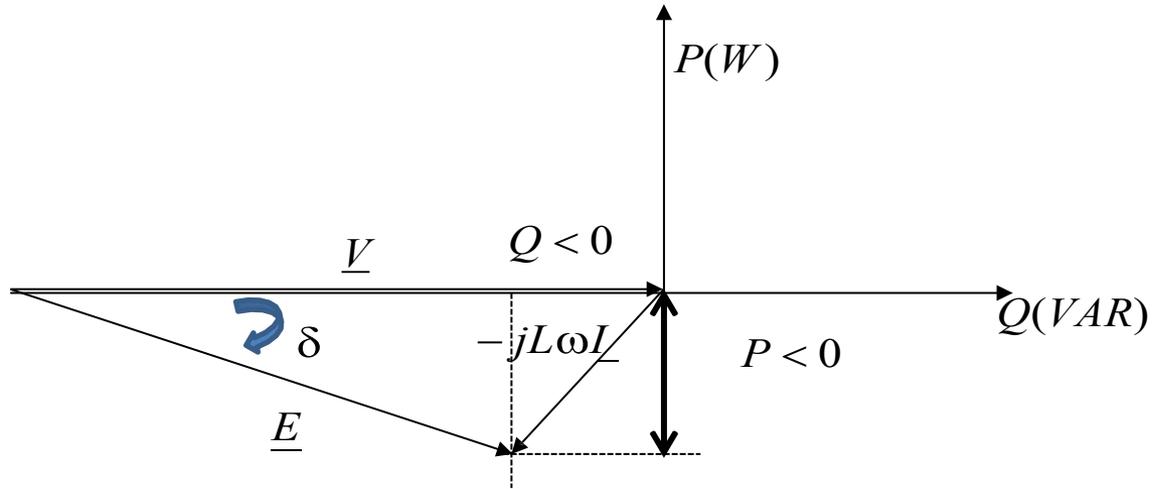
Machine synchrone fonctionnant en **moteur surexcité** absorbant de la puissance **active** sur le réseau tout en lui **fournissant** de la puissance **réactive**.



Machine synchrone à l'excitation « **normale** » fonctionnant en **moteur** n'absorbant que de la puissance **active** sur le réseau



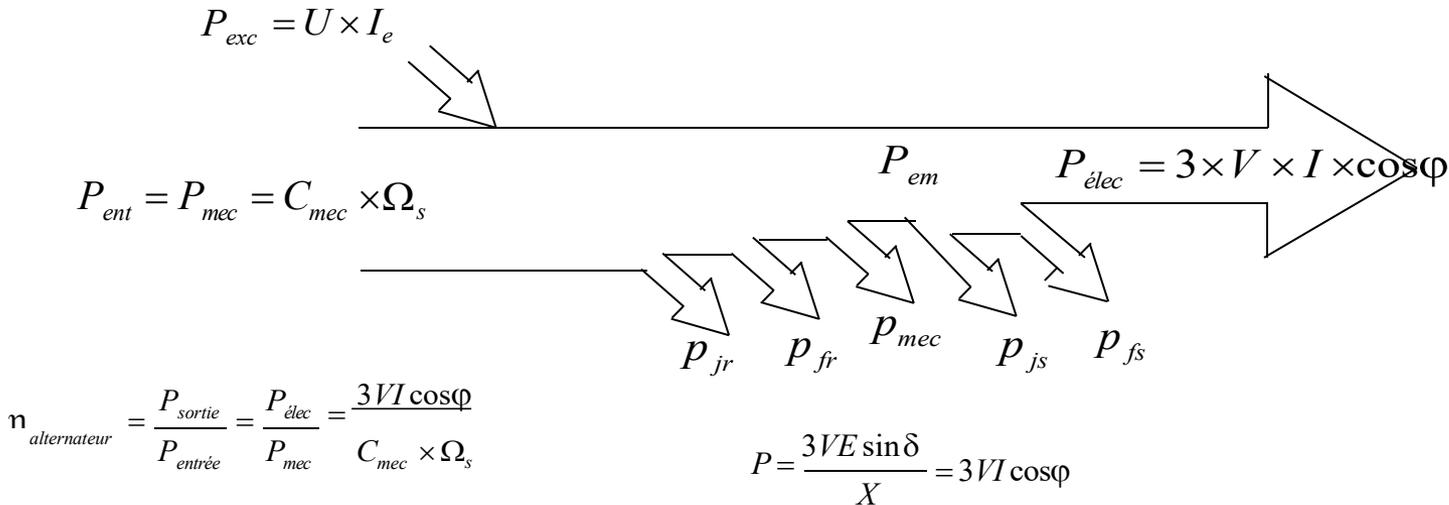
Machine synchrone fonctionnant en **moteur sous-excité absorbant** à la fois de la puissance **active** et de la puissance **réactive** sur le réseau



Bilan des puissances et rendement

Fonctionnement en alternateur

L'alternateur reçoit une puissance mécanique de la turbine qui l'entraîne. Si elle est à excitation indépendante, le circuit inducteur reçoit une puissance de son alimentation continue



P_{ent} : Puissance d'entrée

$P_{j.s}$: Pertes joules au stator

$P_{f.s}$: Pertes fer au stator

P_{em} : Puissance transmise au rotor ou puissance électromagnétique

$P_{j.r}$: Pertes joules au rotor

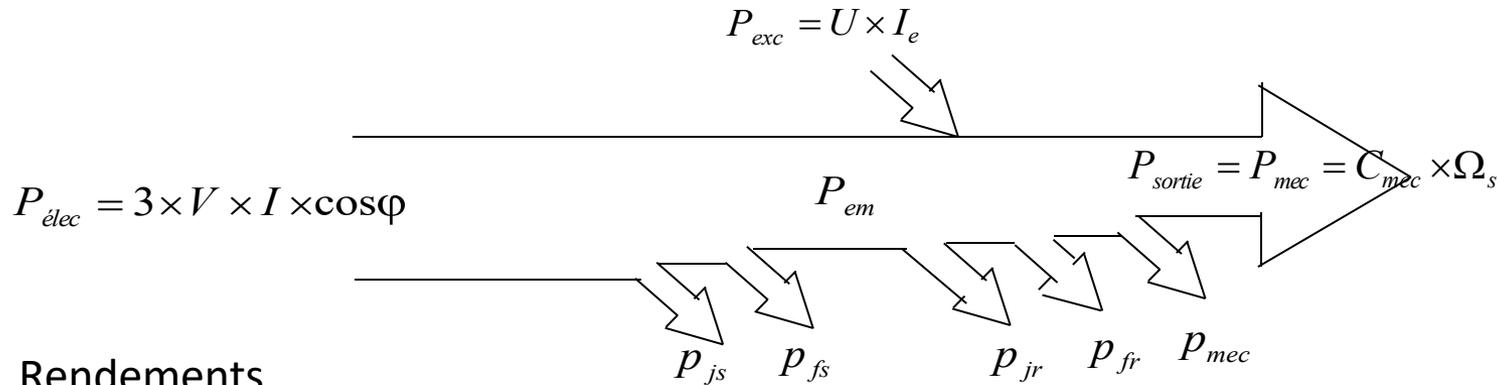
$P_{f.r}$: Pertes fer au rotor

$P_{me.c}$: Pertes mécaniques

$P_{ele.c}$: Puissance électrique

Bilan des puissances et rendement

Fonctionnement en moteur



Rendements

$$\eta_{moteur} = \frac{P_{sortie}}{P_{entree}} = \frac{P_{mec}}{P_{elec}} = \frac{C_{mec} \times \Omega_s}{3VI \cos \varphi}$$

$$P = \frac{3VE \sin \delta}{X} = 3VI \cos \varphi$$

$P_{en:t}$ Puissance d'entrée

$P_{j:s}$ Pertes joules au stator $p_{js} = 3RI^2$

$P_{f:s}$ Pertes fer au stator

P_{em} Puissance transmise au rotor ou puissance électromagnétique

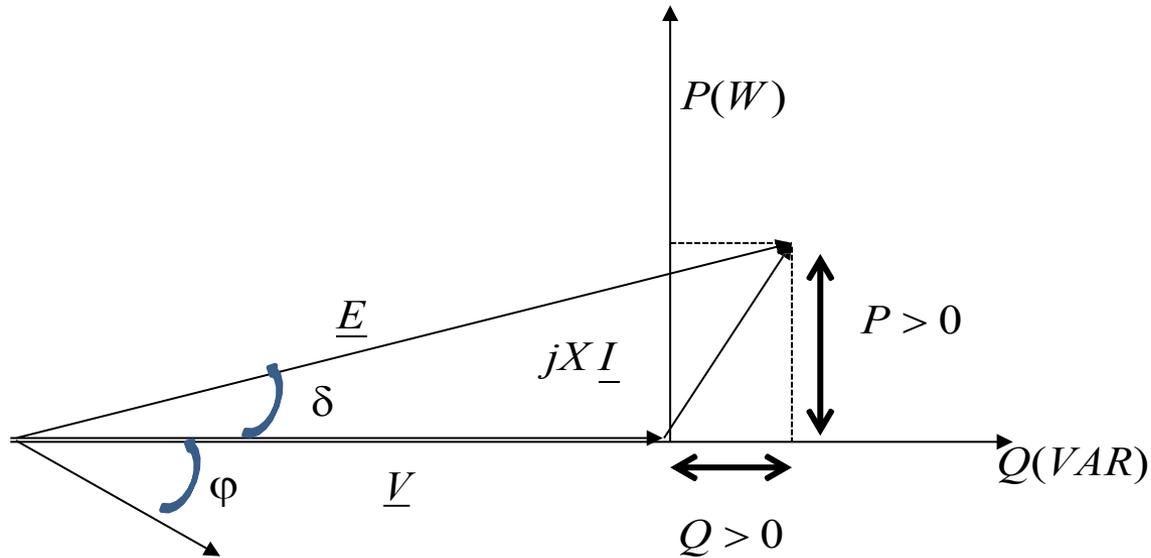
$P_{j:r}$ Pertes joules au rotor

$P_{f:r}$ Pertes fer au rotor

$P_{me:c}$ Pertes mécaniques

$P_{ele:c}$ Puissance électrique

Expression de couple électromagnétique à partir du schéma monophasé équivalent:



$$\left\{ \begin{array}{l} E \cos \delta = V + XI \sin \varphi \\ E \sin \delta = XI \cos \varphi \end{array} \right\}$$

$$\frac{E \sin \delta}{X} = I \cos \varphi$$

$$P = \frac{3VE \sin \delta}{X} = 3VI \cos \varphi$$

La puissance active appelée par la machine $P = \frac{3VE \sin \delta}{X} = 3VI \cos \varphi$

Le couple électromagnétique s'obtient en divisant la puissance active par la vitesse de rotation

$$C_{em} = \frac{P_{en}}{\Omega_s} = \frac{3VE \sin \delta}{X \times \Omega_s}$$

QUESTIONS DE COURS

Q1. Pourquoi un alternateur triphasé a-t-il une puissance massique supérieure à un alternateur monophasé ?

R1. Pour obtenir une f.é.m. maximale avec un bobinage monophasé, on ne peut occuper que le tiers des encoches du stator. Avec un bobinage triphasé, on peut occuper toutes les encoches par les trois phases, chacune de même puissance que le bobinage monophasé. Pour sensiblement la même masse de stator, la puissance est triple.

Q2. Peut-on envisager une machine synchrone tripolaire hexaphasé?

R2. Non, la magnétisation des matériaux implique la présence de deux pôles nord et sud. Une machine ne peut avoir qu'un nombre pair de pôles $2p$.

Q3. En fonctionnement alternateur autonome, quel réglage doit-on faire pour maintenir une fréquence constante

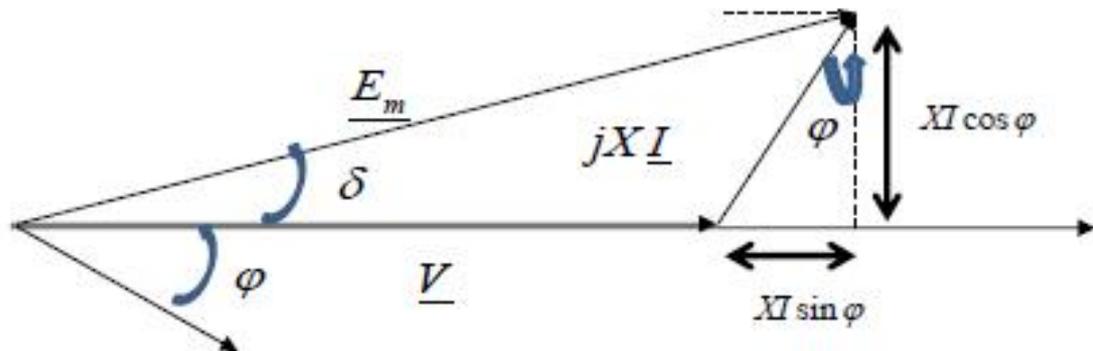
R3. Mettre en place un régulateur de vitesse sur la turbine permettant de diminuer la pression du jet si la vitesse augmente.

Exercice n°1. Un alternateur triphasé non saturé a une réactance synchrone constante de $18,5\Omega$ et une résistance négligeable. Il délivre une puissance active de $600kW$ et $U = 3300V$ à vide, avec la même vitesse d'entraînement et le même courant d'excitation la tension est de $E = 5500V$

Calculer le courant par fil de ligne et le facteur de puissance

Corrigé n°1

Le diagramme de Fresnel de la machine synchrone



On projette :

$$E_m \cos \delta = V + L\omega I \sin \varphi \rightarrow (1)$$

$$E_m \sin \delta = L\omega I \cos \varphi \rightarrow (2)$$

$$P_m = VI \cos \varphi \rightarrow I \cos \varphi = \frac{P_m}{V} \rightarrow (3)$$

A partir de (1) et (3) on obtient :

$$E_m \sin \delta = L\omega \times \frac{P_m}{V} \rightarrow \sin \delta = L\omega \times \frac{P_m}{VE_m} = 18,5 \times \frac{200000}{1905 \times 3175,42} = 0,612 \quad \cos \delta = 0,791$$

A partir de (1) on obtient

$$I \sin \varphi = \frac{E_m \cos \delta - V}{L\omega} = 32,8A$$

A partir de (2) on obtient

$$I \cos \varphi = \frac{E_m \sin \delta - V}{L\omega} = 105A \rightarrow (2)$$

$$\tan \varphi = \frac{I \sin \varphi}{I \cos \varphi} = \frac{32,8}{105} = 0,313$$

Conclusion : $I = 110A, \cos \varphi = 0,954$

FIN