

Support de Cours

Electricité industrielle (Master 1 Electrotechnique Industrielle)

Contenu de la matière :

I. Les récepteurs

Nature du récepteur ; Caractéristiques des récepteurs (courant, tension, facteur de puissance, régimes de fonctionnement).

II. Sources d'alimentation

L'alimentation par les RDP ; Les alternateurs (générateurs synchrones), les génératrices asynchrones, Avantages et inconvénients ; Les alimentations sans interruption (ASI),

III. Les interactions sources-récepteurs

Les perturbations dans les réseaux industriels (fonctionnement déséquilibré, surcharges, surtensions, les harmoniques, ...etc.) Les remèdes ;

IV. Méthodologie et dimensionnement des installations électriques

Bilan de puissance ;

- Détermination des sections de conducteurs ;
- Choix des dispositifs de protection et régimes du neutre en basse tension ;
- Calcul de l'éclairage intérieur ;
- Calcul de l'éclairage extérieur ;

V. Compensation de l'énergie réactive

Intérêts de la compensation d'ER, Techniques de compensation de l'ER.

VI. Tarification de l'énergie électrique

1-Rappel sur les circuits à courant alternatif

1.1-Circuits monophasés en régime sinusoïdal

1.1.1- Les caractéristiques d'une grandeur sinusoïdale.

En électricité industrielle, la tension fournie par le réseau :

$$u(t) = U\sqrt{2}\sin(\omega t + \theta_u) \text{ sous notation complexe on peut l'écrire } \bar{U} = Ue^{+j\theta_u}$$

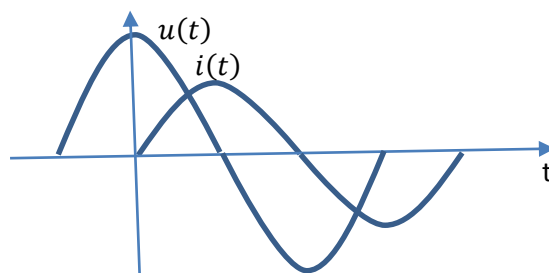
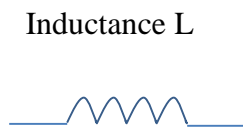
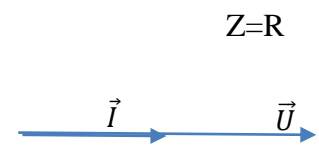
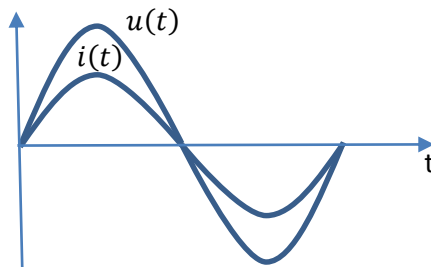
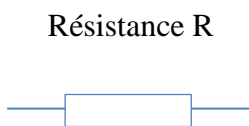
Le courant a pour expression :

$$i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t + \theta_i) \text{ sous notation complexe on peut l'écrire } \bar{I} = Ie^{+j\theta_i}$$

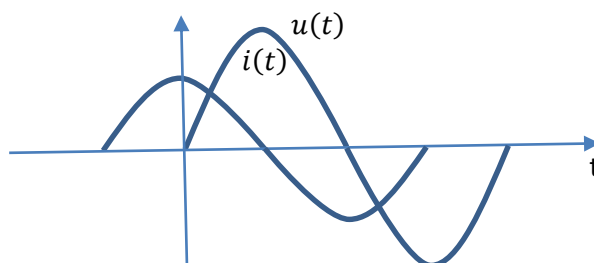
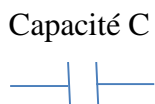
φ est la différence de phase entre u et i ou le **déphasage** de i par rapport à u : $\varphi = \theta_u - \theta_i$.

1.1.2. Impédance complexe.

$$\bar{Z} = \frac{Ue^{j\theta_u}}{Ie^{j\theta_i}} = \frac{U}{I} e^{j(\theta_u - \theta_i)} = Ze^{j\varphi}$$



$Z=j\omega L$



$Z=1/jC\omega$



1.1.3. Puissances

La puissance instantanée absorbée par le récepteur transmise par le générateur est: $p(t)=v(t).i(t)$

Les grandeurs sont sinusoïdales : $u(t) = U\sqrt{2}\sin \omega t$ si la tension est choisie pour référence des phases. $i(t) = I\sqrt{2}\sin(\omega t - \varphi)$ On obtient : $p(t) = U I \cos \varphi - UI \cos (2\omega t - \varphi)$.

Cette puissance est composée de parties :

- La puissance active notée $P = U I \cos \varphi$ qui correspond à l'énergie reçue par le récepteur.
- La puissance fluctuante $pf = UI \cos (2.\omega t - \varphi)$ qui a une pulsation de 2ω et une fréquence double de celle du réseau.

e façon générale, c'est la moyenne de la puissance instantanée : $P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t)dt = UI \cos \varphi$

La puissance active correspond à une énergie : $P = dW/dt$ où W est l'énergie électrique en Joule.

La puissance apparente S

$$\underline{S} = \underline{U}. \underline{I}^* \text{ avec } \underline{U} = U \text{ et } \underline{I} = I e^{j\varphi}$$

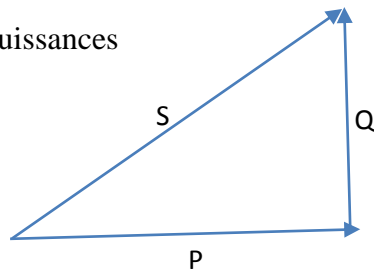
Son expression est $S = U.I$. On définit la puissance apparente complexe

dans le cas où u est la référence de phase.

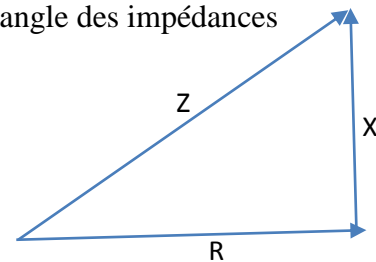
$$\underline{S} = \underline{U} \underline{I} e^{j\varphi} = UI \cos \varphi + jUI \sin \varphi = P + jQ ; S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Q est la puissance réactive

Triangle des puissances



Triangle des impédances



Le facteur de puissance est déterminé par le rapport de la puissance active P sur la puissance apparente S . Il identifie la charge qui consomme l'énergie réactive.

Les puissances absorbées par les charges.

	R	L	C
P	$RI^2=U^2/R$	0	0
Q	0	$L\omega I^2=U^2/L\omega$	$-I^2/C\omega=-U^2C\omega$
S	P	Q	-Q

Pour un ensemble de récepteurs :

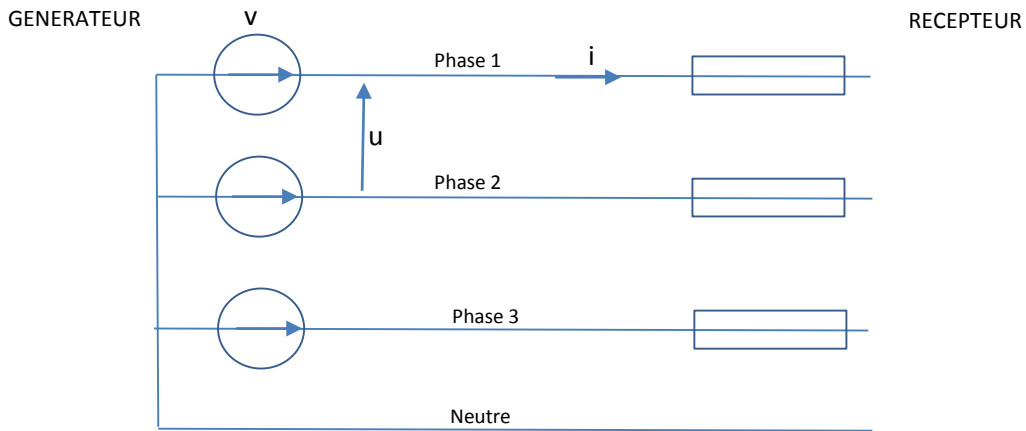
$$\left\{ \begin{array}{l} P_1, Q_1 \\ P_2, Q_2 \\ P_3, Q_3 \\ \dots \dots \dots \end{array} \right\} \begin{cases} P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots \\ Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \end{cases}$$

Les puissances complexes :

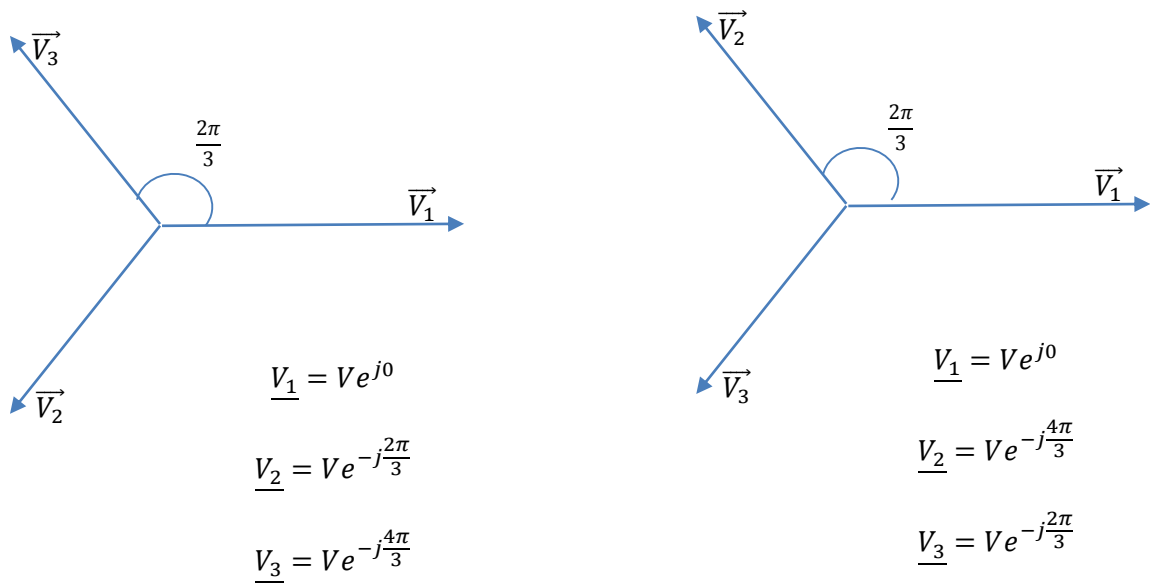
$$\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 + \dots$$

$$S \neq S_1 + S_2 + S_3 + \dots$$

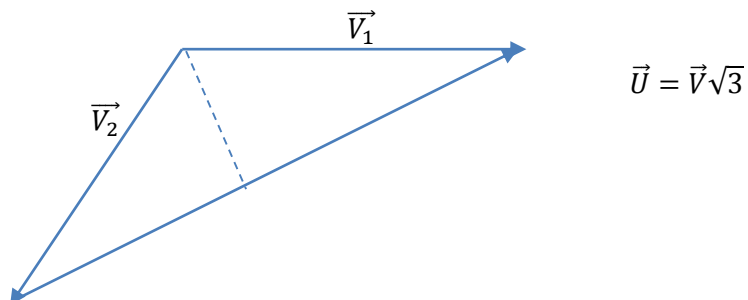
1.2. Les systèmes triphasés



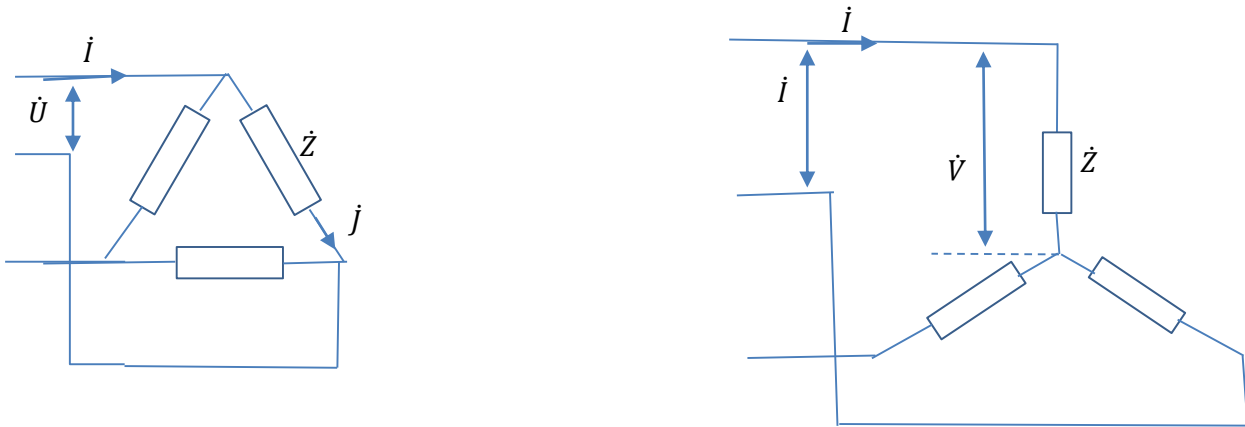
Généralement les générateurs sont couplés en étoile pour accéder au neutre. Selon la disposition des phases on peut avoir la séquence directe ou inverse



La grandeur composée est liée à la grandeur simple par



Les récepteurs peuvent être couplés en étoile ou en triangle.



Pour les charges équilibrées, $P_1=P_2=P_3=P$, alors $P_T=3P$

En triangle $P_T = 3UJ\cos\varphi$ et $Q_T = 3UJ\sin\varphi$

En étoile $P_T = 3VI\cos\varphi$ et $Q_T = 3VI\sin\varphi$

A signaler, l'avantage du triphasé par rapport au monophasé demeure dans les pertes joules et la puissance. Pour plus de détails consultez les ouvrages sur les circuits à courant alternatif.

CHAP.I. RECEPTEURS INDUSTRIELS

Parmi les récepteurs industriels les plus utilisés on peut citer :

a- Moteurs asynchrones

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, c'est une machine très fiable et robuste.

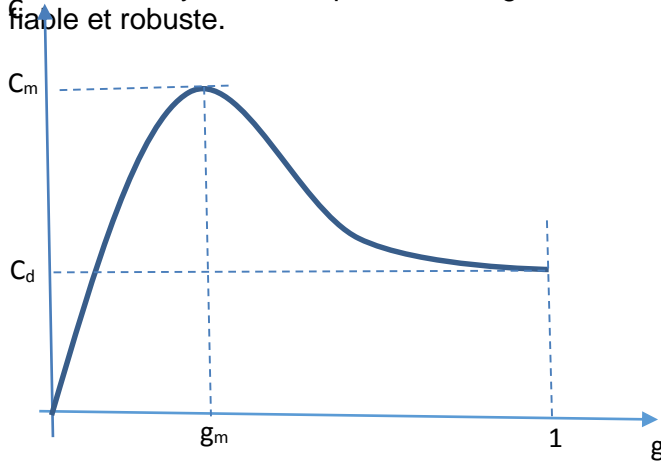


Fig-1- Caractéristique $C=f(g)$

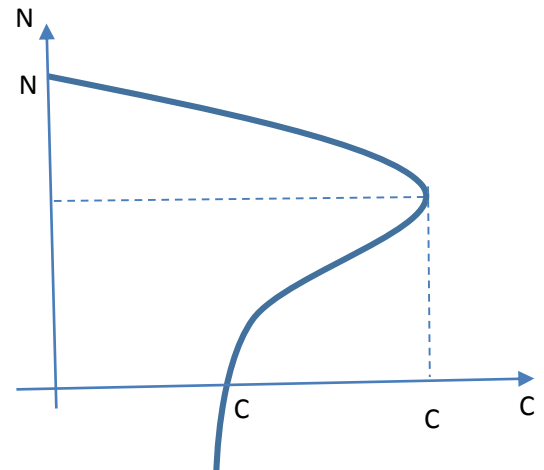


Fig-2- Caractéristique $N=f(C)$

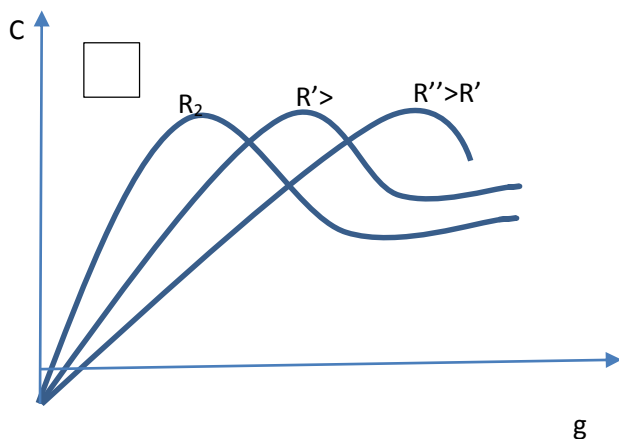


Fig-3- Caractéristique $C=f(g)$ pour différents R

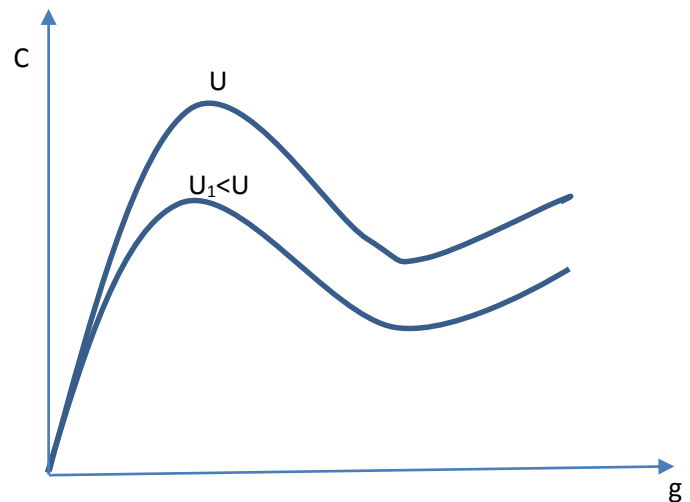


Fig-4- Caractéristique $C=f(g)$ pour différentes tensions

Les caractéristiques 1 2 montrent les points particuliers dans le fonctionnement du moteur asynchrone, qui sont : le couple max déterminé par :

qui indique qu'au-delà de cette valeur, il y a risque de décrochage du moteur

$$C_{max} = \frac{3E_2^2}{2X_2\Omega_s}$$

Le couple de démarrage C_d .

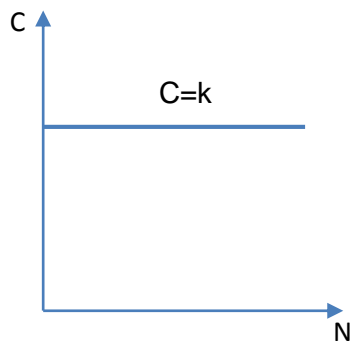
La caractéristique 3 montre l'effet de la variation de la résistance rotorique sur le couple.

La caractéristique 4 montre l'effet de la variation de la tension d'alimentation sur les valeurs du couple. Par conséquent, une valeur minimale de la tension peut faire décrocher le moteur

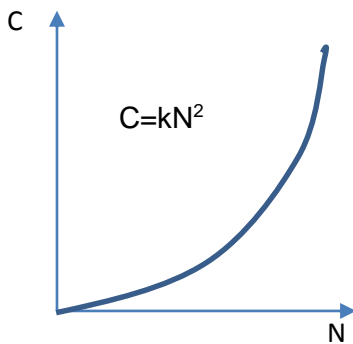
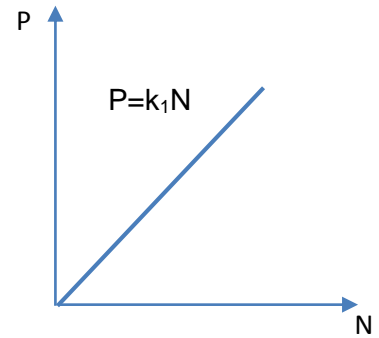
$$\frac{C_{max}}{C_n} = \left(\frac{V_n}{V_{dec}} \right)^2$$

V_{dec} : tension de décrochage.

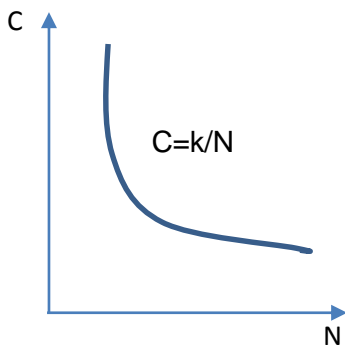
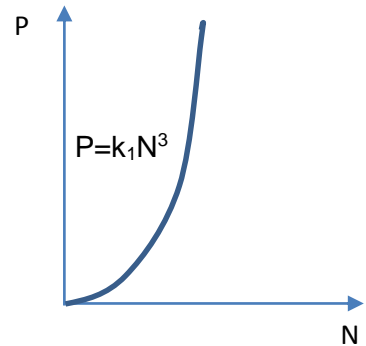
Le moteur asynchrone est utilisé dans l'industrie pour des entrainements dont le couple peut être de la forme :



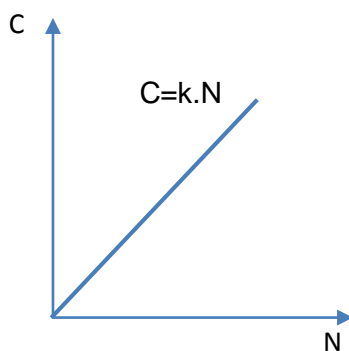
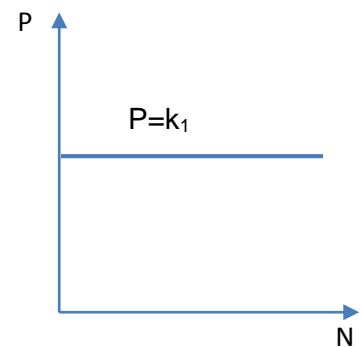
Compresseurs
Pompes
Engins de levage



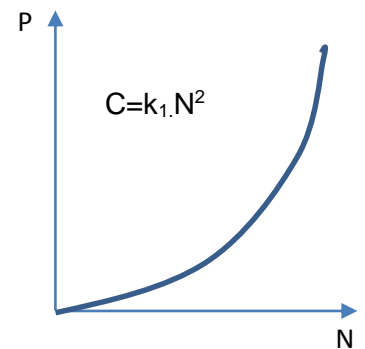
Ventilateurs
Centrifugeuses
Agitateurs



Tours
Bobineuses



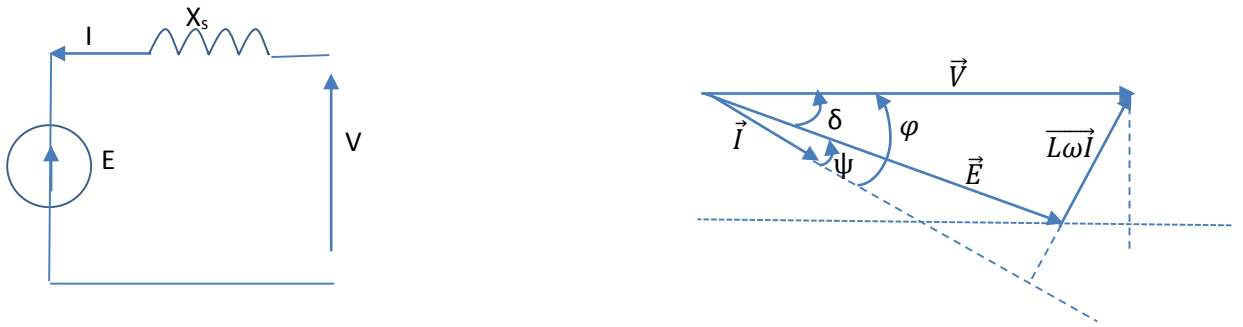
Mélangeurs



b- Moteurs synchrones

Le couple électromagnétique se détermine à partir de la puissance électromagnétique P_e et de la vitesse de synchronisme, on emploie la convention récepteur (moteur).

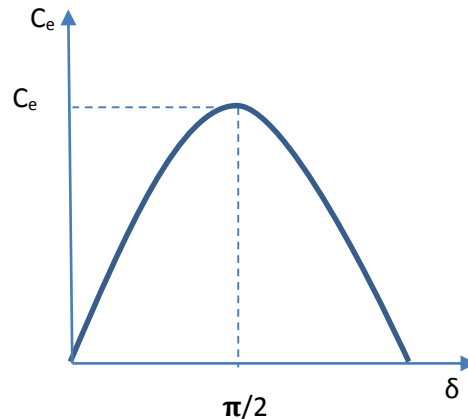
Le diagramme vectoriel correspondant



$$P_e = 3EI \cos \psi \quad \text{donc} \quad C_e = \frac{3EI \cos \psi}{\Omega} \quad \text{si les pertes au stator sont négligées} \quad C_e = \frac{3VI \cos \varphi}{\Omega}$$

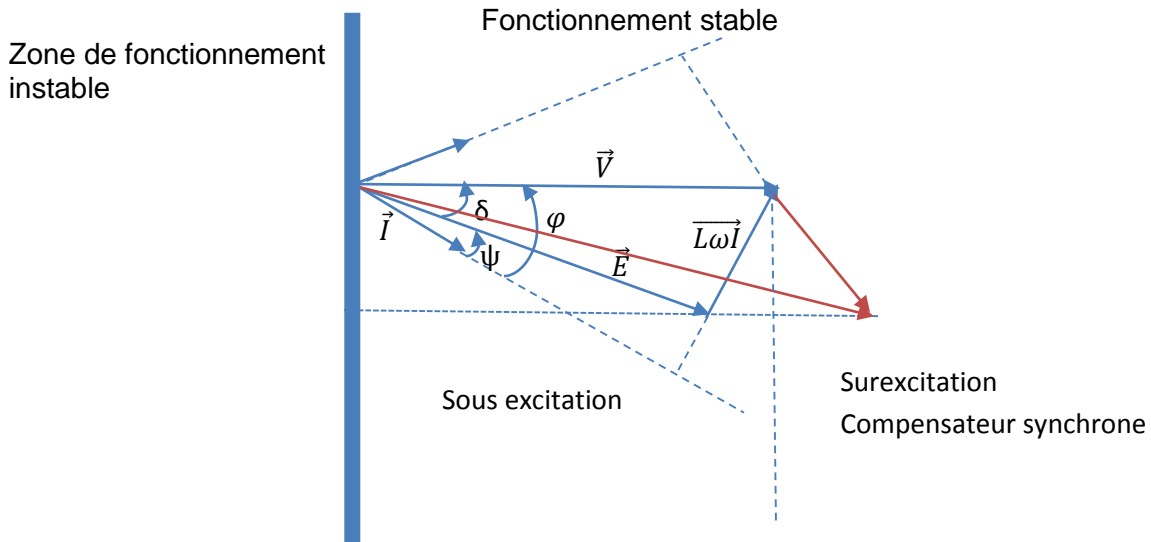
$$L\omega I \cos \varphi = E \sin \delta \quad \rightarrow \quad C_e = \frac{3VE \sin \delta}{L\omega \Omega}$$

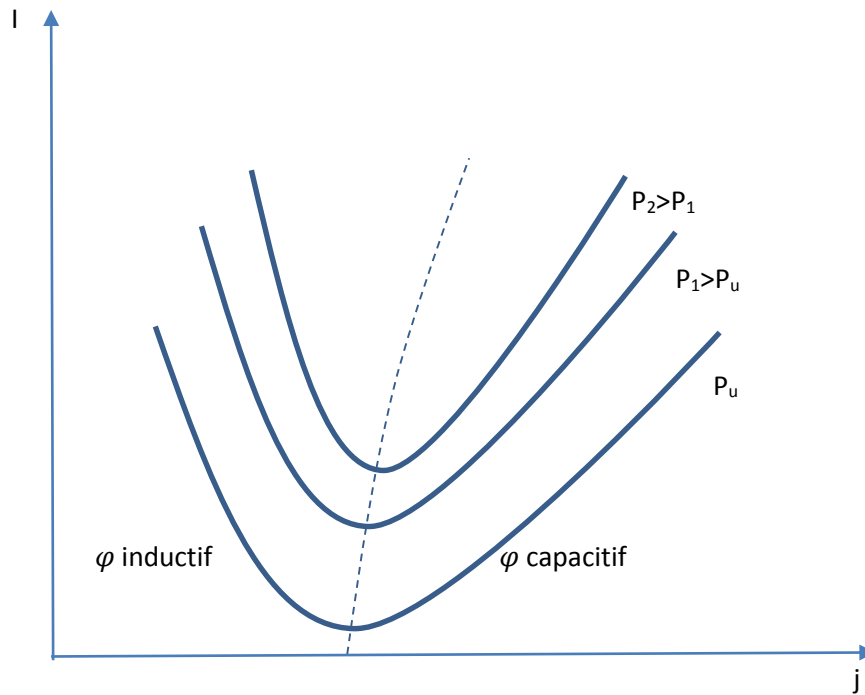
Le maximum du couple est donné par la figure avec E et V constants



Les courbes en V de MORDEY peuvent être déduites du diagramme vectoriel

On peut utiliser le moteur synchrone pour la compensation de la puissance réactive quand il fonctionne en surexcitation pour améliorer le facteur de puissance d'une installation industrielle.





Le démarrage se fait en asynchrone ou à l'aide d'un moteur auxiliaire

c- Fours à arc

Les fours électriques à arc sont utilisés pour produire des aciers au carbone et des alliages en acier, principalement en recyclant des déchets ferreux. Dans un four à arc, la ferraille est fondue et transformée en acier de haute qualité en utilisant des arcs électriques de forte puissance créés par des électrodes. Un courant électrique passe à travers les électrodes pour former un arc. La chaleur générée par cet arc fait fondre la ferraille. L'électricité nécessaire à ce processus est très importante.

Un four à arc est un four électrique utilisant l'énergie thermique de l'arc pour fondre les métaux. L'arc électrique est établi entre les électrodes et le métal pour obtenir une température suffisante à sa fusion. Il existe deux types de fours à arc :

- Fours à arc à courant alternatif
- Fours à arc à courant continu

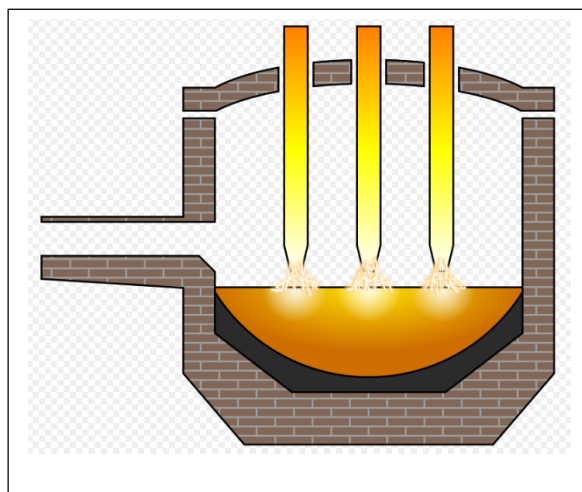
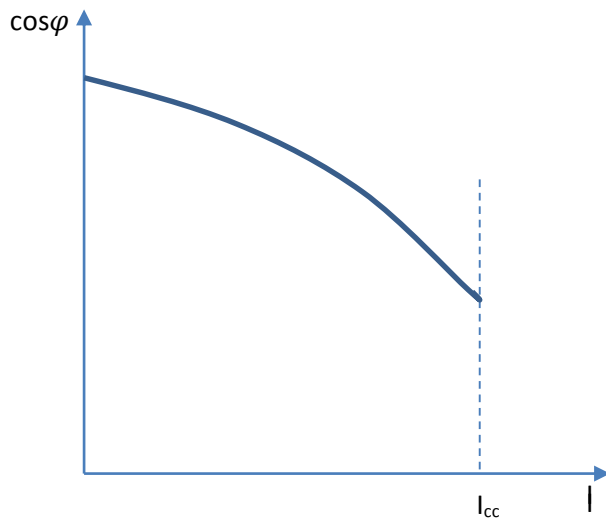
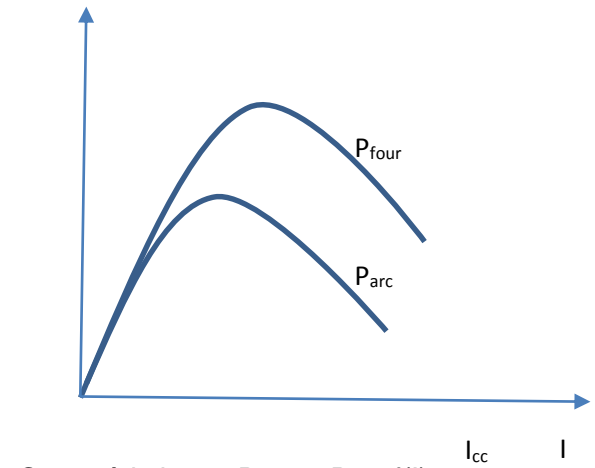


Schéma de principe

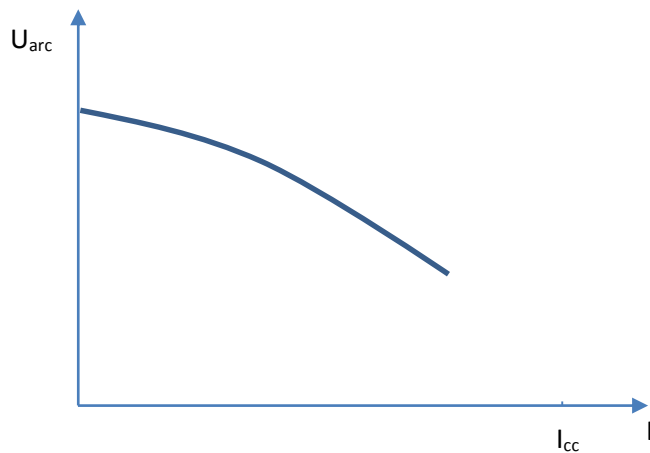
La forme des caractéristiques de fonctionnement sont données par les courbes :



Caractéristique $\cos\varphi=f(I)$



Caractéristiques P_{four} et $P_{arc}=f(I)$



Caractéristique $U=f(I)$

Le fonctionnement du four à arc passe par trois phases qui sont : l'amorçage, la fusion et l'affinage.

Les autres récepteurs industriels présents dans l'industrie comme les machines à souder par résistances et par arcs, les fours à résistances et à induction etc..., seront traités en TD.