

1. INTRODUCTION

1.1 Pré Requis :

- Donner l'expression analytique et l'unité de la puissance électrique dans le cas d'un circuit à courant continu :

$$P = U * I$$

- Donner l'expression analytique et l'unité de l'énergie électrique dans le cas d'un circuit à courant continu :

$$W = P * t$$

- Rappeler les trois dipôles élémentaires rencontrés en électrotechnique :

R L C

1.2 ETUDE D'UNE FACTURE D'ELECTRICITE

La facture d'électricité de l'usine AUTOP est différente de celle d'un particulier car l'abonnement souscrit à l'EDF est spécifique aux besoins d'une usine importante avec son lot de machines...

- Quel est l'abonnement souscrit par l'usine :

Tarif vert A5 - Courtes utilisations

- D'après la facture donnée en annexe. Enoncer les deux formes d'énergie facturée par EDF :

Energie active

Energie réactive

- Ces deux formes d'énergie proviennent en fait de deux puissances différentes, lesquelles ? :

Puissance active

Puissance réactive

- Comment intervient le déphasage PHI dans la facture :

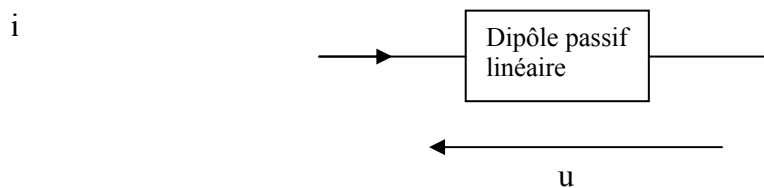
Tan PHI

1.3 PROBLEMATIQUE

Contrairement au courant continu, il existe en alternatif différentes puissances, ce qui nous amène à poser quelques questions :

- Quelles formes de puissance absorbent chaque dipôle élémentaire ?
- Comment la calcule t'on ?
- Pourquoi le déphasage intervient il sur un relevé d'énergie électrique ?

2. PUISSANCE INSTANTANÉE



Lorsque le dipôle linéaire est soumis à une tension u sinusoïdale, le courant i qui le traverse est lui aussi sinusoïdal.

La puissance instantanée qu'il absorbe est égale au produit :

$$p = u.i$$

Cette puissance s'exprime en W.

3. PUISSANCE ACTIVE

En régime sinusoïdal, la puissance électrique absorbée par un dipôle (ou fournie par une alimentation) est donnée par la relation :

$$P = U I \cos \varphi$$

Unité : le watt (W)

U et I : tension (V) et courant (A)

φ : déphasage

« La puissance électrique est aussi appelée puissance active ou puissance réelle ». Elle représente la valeur moyenne de la puissance instantanée.

Exemple : un dipôle inductif d'impédance 50Ω produit un déphasage $\varphi = 70^\circ$.

Lorsqu'il est alimenté par une tension de 220 V.

➤ Par quel courant efficace est il parcouru ?

➤ Quelle est la puissance active absorbée ?

$$I = U/Z = 4,4 \text{ A}$$

$$P = U I \cos \varphi = 331 \text{ W}$$

4. PUISSANCE APPARENTE

On appelle puissance apparente, le produit de la tension efficace U par l'intensité efficace I :

$$S = U \cdot I$$

Unité : le voltampère (VA)

La puissance apparente est une caractéristique de construction des machines électriques. Celles-ci sont prévues pour un fonctionnement sous une tension nominale « U_n » déterminé par l'isolation de la machine, et avec un courant nominal « I_n » déterminé par les possibilités de refroidissement. La puissance apparente nominale est alors :

$$S_n = U_n \cdot I_n$$

Ainsi un transformateur de 300 VA alimenté sous 220 V peut admettre un courant nominal de :

$$I_n = S/U = 300/220 = 1,3 \text{ A}$$

Facteur de puissance

Le facteur de puissance est le rapport entre les puissances active et apparente. Il est égal au cosinus de l'angle de déphasage φ .

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \text{facteur de puissance}$$

5. PUISSANCE REACTIVE

On appelle puissance réactive, le produit de la puissance apparente S par $\sin \varphi$.

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad \text{ou} \quad Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Unité : le voltampère réactif (var)

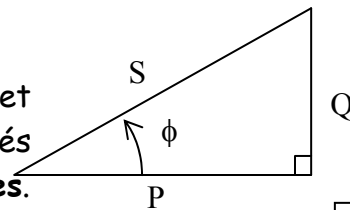
Remarque : Un résistor (résistance) ne consomme pas de puissance réactive, $Q_R = 0$.

Le signe de la puissance réactive est fonction de l'angle de déphasage produit par le récepteur considéré :

- Pour un récepteur inductif ($\varphi > 0$) la puissance réactive est positive.
- Pour un récepteur capacitif ($\varphi < 0$) la puissance réactive est négative.

6. TRIANGLE DES PUISSANCES

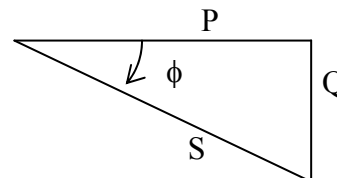
D'après leur expression, les puissances P, Q et S peuvent correspondre aux longueurs des trois côtés d'un triangle rectangle appelé **triangle des puissances**.



$$\Phi = \varphi$$

Les relations entre les trois puissances peuvent s'écrire :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$



Application : un moteur à une puissance utile de 1 kW avec un rendement η de 0,8.

Alimenté par une tension de valeur efficace 220 V, il consomme un courant de 8 A. Soit à déterminer les puissances active, apparente et réactive qu'il consomme ainsi que le facteur de puissance.

La puissance active $P = P_u / \eta = 1000 / 0,8 = 1250 \text{ W}$

La puissance apparente $S = U \cdot I = 220 \cdot 8 = 1760 \text{ VA}$

La puissance réactive $Q^2 = S^2 - P^2$ $Q = 1239 \text{ var}$

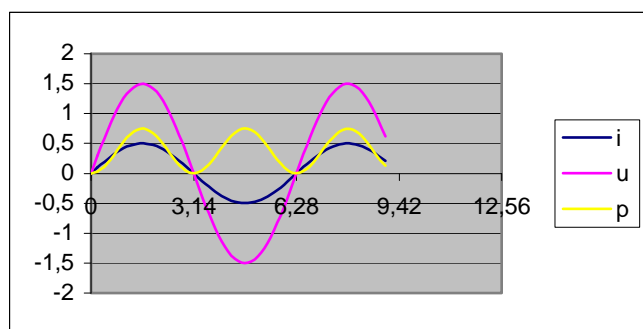
Cette puissance réactive est positive puisque le moteur est récepteur inductif.

Facteur de puissance. : $\cos \varphi = P / s = 1250 / 1760 = 0,71$

7. PUISSANCES CONSOMMEES PAR LES DIPOLES ELEMENTAIRES

7.1. Résistance pure

Pour une résistance pure, le courant i et la tension u sont en phase.



Le facteur de puissance est égal à l'unité :

- $\varphi = 0$ d'ou $\cos \varphi = 1$ d'ou $\sin \varphi = 0$.

- La puissance active est égale à la puissance apparente : $P = S = UI$

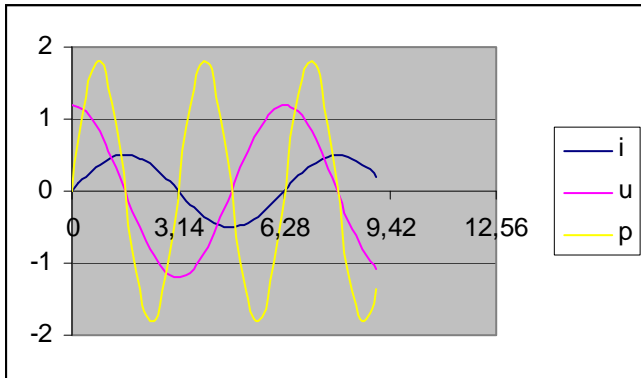
- La puissance réactive est nulle : $Q = 0$

- Une résistance consomme en permanence de l'énergie active, la puissance consommée est égale à :

$$P = R I^2 = \frac{U^2}{R}$$

7.2. Inductance pure

Dans une inductance pure, la tension u est en avance de 90° sur le courant i .



Le facteur de puissance est nul :

- $\varphi = \pi/2$ d'où : $\cos \varphi = 0$ d'où $\sin \varphi = 1$.

- La puissance réactive est égale à la puissance apparente :

$$Q = S = UI$$

- La puissance active est nulle :

$$P = 0$$

- Une inductance consomme en permanence de l'énergie réactive, la puissance consommée est égale à :

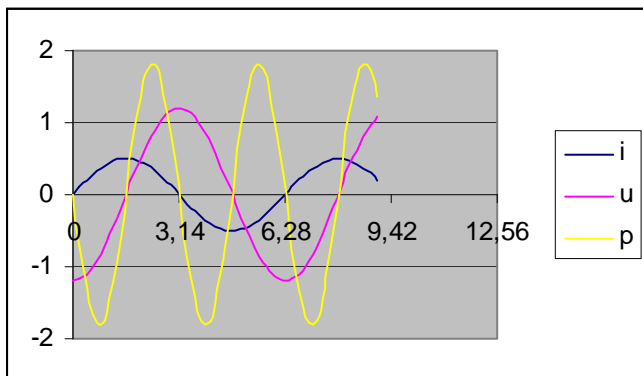
$$Q = L\omega I^2 = \frac{U^2}{L\omega}$$

Interprétation :

- L'inductance emmagasine de l'énergie entre 0 et $T/4$, la puissance p est alors positive.
- Elle restitue cette énergie entre $T/4$ et $T/2$ p est alors négative.
- La valeur moyenne de p est nulle. Une inductance pure ne consomme aucune puissance active.

7.3 Capacité pure

Dans une capacité pure, la tension u est en retard de 90° sur le courant i .



Le facteur de puissance est nul :

- $\varphi = -\pi/2$ d'où : $\cos \varphi = 0$ d'où $\sin \varphi = -1$.

- La puissance réactive est égale à l'opposé de la puissance apparente :

$$Q = -S = -UI$$

- La puissance active est nulle :

$$P = 0$$

Interprétation :

- La capacité emmagasine de l'énergie entre $T/4$ et $T/2$, la puissance p est alors positive.
- Elle restitue cette énergie entre $T/2$ et $3.T/4$ p est alors négative.
- La valeur moyenne de p est nulle. Une capacité pure ne consomme aucune puissance active.

- Une capacité consomme en permanence de l'énergie réactive négative, on peut donc dire qu'elle fournit au réseau une énergie réactive égale à :

$$Q = \frac{I^2}{C\omega} = -U^2 C\omega$$

7.4 Résumé :

DIPOLES	PUISSANCES		
	ACTIVE P	REACTIVE Q	APPARENTE S
R	$U.I$ $R I^2 = \frac{U^2}{R}$	0	$U.I$
L	0	$U.I$ $L\omega I^2 = \frac{U^2}{L\omega}$	$U.I$
C	0	$-U.I$ $-\frac{I^2}{C\omega} = -U^2 C\omega$	$U.I$

7.5 Application :

Un dipôle inductif de résistance R et d'une inductance L, alimenté par une tension de valeur efficace 220 V et de fréquence 50 Hz consomme un courant de 1,5 A.

La puissance qu'il absorbe est de 180 W.

Soit à déterminer les valeurs de L et de R.

$$R = 80 \text{ W.}$$

$$Q = 276 \text{ var.}$$

$$L = 0,39 \text{ H}$$

8. ADDITION DES PUISSANCES : METHODE DE BOUCHEROT

La méthode de Boucherot permet, pour une installation comportant plusieurs appareils, de déterminer :

- la puissance apparente ;
- l'intensité du courant absorbé ;
- le facteur de puissance.

Théorème :

Le théorème de BOUCHEROT énonce la conservation des puissances actives et réactives dans tous les types de circuits, séries ou parallèles. On peut donc écrire :

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad , \quad I = S/U \quad , \quad \cos \phi = P/S$$

Application1 :

Une installation comporte deux moteurs dont les caractéristiques sont les suivantes :

- un moteur M1 : 220 V ; I = 5 A ; $\cos \phi = 0,8$;
- un moteur M2 : 220 V ; I = 10 A ; $\cos \phi = 0,7$;

a) Etablir le bilan des puissances.

b) Déterminer le courant consommé et le facteur de puissance du groupement.

	P(kW)	Q(kvar)	S(VA)
M1	880	660	1100
M2	1540	1570	2200
Installation	2420	2230	3290

Application2 :

Une installation comporte :

- un moteur M1 : 2 kW ; $f_i = 0.8$;
220 V ; $\cos f_i = 0.7$;
- un moteur M2 : 3.5 kW ; $f_i = 0.85$;
220 V ; $\cos f_i = 0.8$;
- 10 lampes : 220 V ; 200 W

a) Calculez les puissances actives et réactives absorbées par chacun des moteurs et par le groupe des lampes.

Déduisez les puissances active et réactive de l'installation.

b) Calculez pour l'installation, la puissance apparente, le facteur de puissance et l'intensité du courant.

Les puissances active et réactive pourront être consignées dans le tableau ci-dessous.

	P(kW)	Q(kvar)	S(VA)
M1			
M2			
Lampes			
Installation			

Remarque :

Le rendement: $\eta = \text{Puissances utile (Pu)} / \text{Puissances absorbée (Pa)}$

$$\eta = P_u / P_a$$

9. AMELIORATION DU FACTEUR DE PUISSANCE**9.1. Importance du facteur de puissance**

Le courant consommé par une installation électrique sous tension fixe est :

- Proportionnel à la puissance active absorbée p.
- Inversement proportionnel au facteur de puissance.

En effet :

$$I = \frac{P}{U \cos \phi}$$

Montrer par exemple $\cos \phi = 0,5 ; 0,9$

Pour fournir ce courant, la société distributrice de l'énergie électrique doit prévoir des lignes de **section d'autant plus grande** que l'intensité consommée est importante.

Un faible facteur de puissance, par augmentation du courant consommé, oblige le fournisseur à **sur dimensionner**, par rapport à la puissance fournie, les lignes et les éléments qui les alimentent (alternateur transformateur).

Pour obliger les usagers à avoir des installations de facteurs de puissance élevé, EDF fixe :

- Une **réduction** sur le prix du kWh lorsque $\cos \phi > 0,86$ (soit $\tan \phi < 0,6$)
- Une **majoration** lorsque $\cos \phi < 0,86$ (soit $\tan \phi > 0,6$).

Le facteur de puissance moyen d'une installation industrielle est mesuré à partir de deux compteurs :

- L'un mesure l'énergie active W.
- L'autre l'énergie réactive W_R .

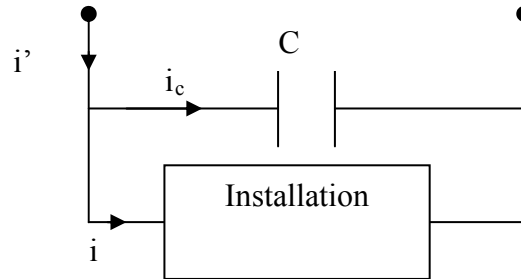
Le facteur de puissance se détermine alors à partir de la relation :

$$\tan \phi = \frac{Q}{P} = \frac{W}{W_R}$$

9.2. Amélioration du facteur de puissance

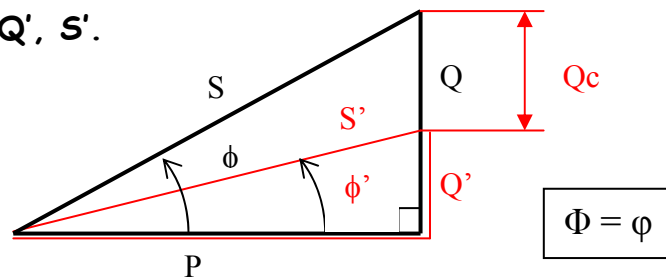
Une installation industrielle a toujours un **caractère inductif** du fait des moteurs qui la composent. La puissance réactive est donc positive. L'installation consomme une énergie réactive d'autant plus grande que son facteur de puissance est faible.

Pour réduire cette consommation, il faut un dispositif produisant de l'énergie réactive. Le moyen le plus simple pour cela est le branchement, en parallèle sur l'installation, de **condensateurs** voir figure.



9.3. Méthode de Boucherot

- Sans condensateur P, Q, S.
- Avec condensateur P', Q', S'.



La puissance active absorbée est constante.

La puissance réactive de l'installation sans condensateur est égale à : $Q = P \tan \varphi$.

Avec condensateur, elle est égale à : $Q' = P \tan \varphi'$.

La différence de puissance réactive est fournie par le condensateur :

$$Q_c = Q - Q' = P \tan \varphi - P \tan \varphi'$$

La puissance fournie par une capacité C étant : $Q_c = U^2 C_w$

$$U^2 C_w = P (\tan \varphi - \tan \varphi')$$

Application : une installation sous 220 V , 50 Hz consomme un courant de 12 A avec un facteur de puissance de 0,6.

Déterminer la capacité du condensateur à placer en parallèle avec elle pour que le facteur de puissance résultant soit de 0,9.

$$C = 88 \text{ microFarad}$$