

PUISSANCES EN TRIPHASES

En triphasé comme en monophasé, on peut calculer la puissance active P , la puissance réactive Q et la puissance apparente S consommées par un récepteur.

Ces trois grandeurs ne décrivent pas les mêmes choses :

- La puissance active P décrit la conversion énergétique effectuée par le récepteur. Dans une installation domestique, elle est la seule à être mesurée au compteur et à donner lieu à une facturation.
- La puissance réactive Q n'est absolument pas associée à une conversion énergétique mais plutôt à une notion de stockage en caractérisant les échanges de courant entre le récepteur et la source énergétique. Ainsi, une puissance réactive excessive implique des appels de courants plus importants et engendre indirectement des pertes joule dans le transport. Le distributeur d'électricité cherche donc à rendre aussi petite que possible la proportion de puissance réactive consommée.
- La puissance apparente S n'a pas de sens physique. C'est toutefois une grandeur très utile au dimensionnement des installations électriques, parce qu'elle permet de déterminer l'intensité des courants de ligne appelés par le récepteur.

1. Puissance pour des récepteurs déséquilibrés

Dans le cas où le récepteur est déséquilibré, puisque toutes les phases ne sont pas traversées par le même courant, il n'existe pas de relation simple entre la puissance et les grandeurs de ligne. Les puissances P , Q et S se calculent alors à l'aide du théorème de Boucherot.

Théorème de Boucherot

Soit un réseau électrique composé de n récepteurs, le $i^{\text{ème}}$ récepteur consommant la puissance active P_i et la puissance réactive Q_i .

- la puissance active totale P consommée par le réseau est la somme des puissances actives des différents récepteurs :
$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_{i=1}^n P_i$$
- la puissance réactive totale Q consommée par le réseau est la somme des puissances réactives des différents récepteurs
$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i$$
- en revanche, la puissance apparente S du réseau ne se conserve pas. Par contre S vérifie la relation :
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

2. Puissance pour des récepteurs équilibrés

Un générateur ou un récepteur triphasé peut être considéré comme étant l'association de trois générateurs ou récepteurs monophasés identiques. La puissance active fournie ou reçue par l'ensemble est donc égale à la somme des puissances actives ou reçues par ces trois générateurs ou récepteurs monophasés.

2.1. Avec un couplage en étoile

Chaque élément d'un montage triphasé est soumis à une tension de valeur efficace V (tension simple) et est traversé par un courant d'intensité I (courant composé).

La puissance active d'un montage triphasé est :

$$P = 3 V I \cos\varphi$$

La puissance réactive d'un montage triphasé est :

$$Q = 3 V I \sin\varphi$$

La puissance apparente d'un montage triphasé est :

$$S = 3 V I$$

Comme on sait que $V = U / \sqrt{3}$, les résultats précédent s'écrivent :

$$P = \sqrt{3} UI \cos\varphi$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin\varphi$$

$$S = \sqrt{3} UI$$

2.2. Avec un couplage en triangle

Chaque élément d'un montage triphasé est soumise à une tension de valeur efficace U (tension composé) et est traversé par un courant d'intensité efficace J (courant simple)

La puissance active d'un montage triphasé est :

$$P = 3 U J \cos\varphi$$

La puissance réactive d'un montage triphasé est :

$$Q = 3 U J \sin\varphi$$

La puissance apparente d'un montage triphasé est :

$$S = 3 U J$$

Comme on sait que $J = I / \sqrt{3}$, les résultats précédent s'écrivent :

$$P = \sqrt{3} UI \cos\varphi$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin\varphi$$

$$S = \sqrt{3} UI$$

Remarques :

- Les puissances active et réactive consommées par un récepteur équilibré ne dépend pas du couplage étoile ou triangle.
- La puissance réactive peut être positive dans le cas d'un récepteur inductif ou négative dans le cas d'un récepteur capacitif. On dit dans ce dernier cas que le récepteur capacitif produit de la puissance réactive.

3. Facteur de puissance

Comme en monophasé, le facteur de puissance est plus utilisé que le déphasage lui-même. Il est d'ailleurs défini de la même manière : $\cos\varphi$ est le cosinus du déphasage mesuré aux bornes des éléments. En triphasé, comme en monophasé, φ est toujours compris entre -90° et $+90^\circ$, de sorte que $\cos\varphi$ est toujours positif. Le sens du déphasage doit être précisé par deux lettres indiquant la position du courant par rapport à la tension dans le diagramme de Fresnel :

- AV (avant) lorsque le courant est en avance sur la tension et que le déphasage est négatif
- AR (arrière) lorsque le courant est en retard sur le courant et que le déphasage est positif

Remarquons que, au même titre que le facteur de puissance, la puissance active est toujours positive.

Amélioration du facteur de puissance :

Le facteur de puissance est un paramètre important : pour qu'une installation électrique soit correcte au regard du distributeur, il faut que $\cos\varphi$ soit le plus grand possible.

En effet, si l'on regarde la puissance active absorbée par un récepteur donnée par la formule $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$, on s'aperçoit qu'à tension et puissance constantes, plus le facteur de puissance est faible, plus le courant est élevé. De ce fait, une installation ayant un faible facteur de puissance entraîne un appel inutile de courant. Or, si les distributeurs d'électricité facturent généralement la puissance active, les pertes par effet Joule dans les lignes dépendent de l'intensité appelée par les consommateurs et, par conséquent, les professionnels dont les installations ont un facteur de puissance trop faible sont pénalisés économiquement. Pour éviter cela, il suffit d'accroître la valeur du facteur de puissance de l'installation en agissant sur la puissance réactive consommée par celle-ci. En effet, les condensateurs et les bobines absorbent des puissances réactives de signes opposés, ce qui permet la compensation de Q, l'effet des uns étant compensés par les effets des autres.

En France, la valeur minimale exigée pour le facteur de puissance d'une installation est de $\cos\varphi = 0,928$ AR.

4. Pertes joules dans un récepteur triphasé équilibré

La caractérisation d'une machine triphasé passe systématiquement par l'évaluation des pertes Joule ou pertes par échauffement qu'elle subit. En effet, les pertes Joule P_j correspondent à une conversion de puissance électrique en chaleur : elles sont donc associées à une consommation de puissance active et entrent en jeu dans le calcul du rendement. Etablissons les expressions qui permettent de calculer les pertes Joule dans un récepteur triphasé équilibré indépendamment de son montage, de manière à pouvoir les déterminer à partir des seules grandeurs de ligne et d'une mesure de résistance.

4.1. Les pertes joule en couplage triangle

Pour un récepteur couplé en triangle le pertes Joule s'écrivent avec le théorème de Boucherot $P_j = 3rJ^2$

Si la résistance r n'est pas connue, elle peut être mesurée en plaçant un ohmmètre entre deux bornes du récepteur. La résistance mesurée est la résistance rencontrée par le courant lorsqu'il suit tous les chemins possibles pour aller d'une borne de l'ohmmètre à l'autre. Ici, pour effectuer ce déplacement, le courant a deux possibilités : traverser une résistance r ou traverser deux résistances r en série.

Calculer la résistance équivalente :

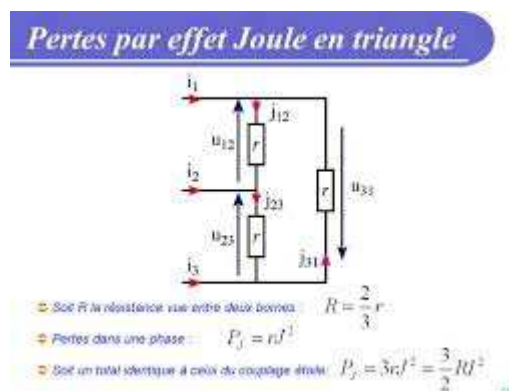
La résistance équivalente vaut donc

$$R =$$

En même temps les valeurs efficaces des courants de ligne et de phase sont liées par $I = J\sqrt{3}$ et donc $J^2 = I^2 / 3$

On en déduit

$$P_j =$$

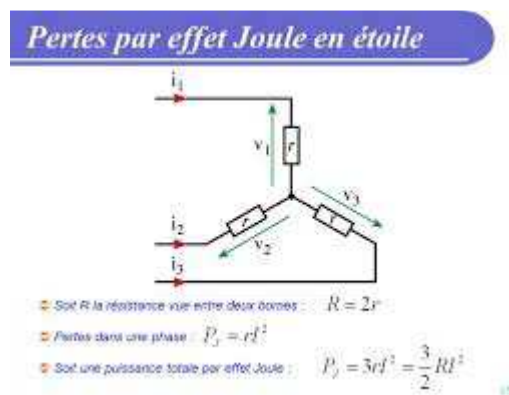


4.2. Les pertes joules en couplage étoile

Pour un récepteur couplé en étoile le pertes Joule s'écrivent avec le théorème de Boucherot $P_J = 3rI^2$

Avec r la résistance d'une phase du récepteur, traversée par le courant de ligne de valeur efficace I . Dans le cas où la résistance r n'est pas connue, et même si le point d'étoile est accessible, on mesure la valeur de la résistance R entre les bornes du récepteur recevant les phases de la ligne, comme on a fait avec le couplage triangle. Sur son chemin, le courant rencontre deux résistances r , de sorte que $R = 2r$. Cela nous donne :

$P_J =$



Dans le cas de récepteur triphasé équilibré, qu'il soit couplé en triangle ou en étoile, les pertes Joule se calculent selon la même relation

$P =$

Avec R la résistance entre les bornes et I le courant de ligne.

Exercice 1

Nous disposons d'un récepteur équilibré composé uniquement de résistances couplé à un réseau triphasé 400V.

- Il est couplé en étoile. Entre chaque bornes la résistance est de 800Ω et le courant consommé de 0,5 A.
Calculer la valeur des pertes Joule
- Il est maintenant couplé en triangle.
Calculer la résistance entre deux bornes du récepteur
Calculer le courant consommé
Calculer la valeur des pertes Joule
- Comparer les deux montages

Exercice 2

Calculer le courant consommé par un récepteur résistif connecté sur une ligne triphasé 400V et dont la résistance entre deux phases est de $1\text{k}\ \Omega$

Calculer la puissance qu'il consomme