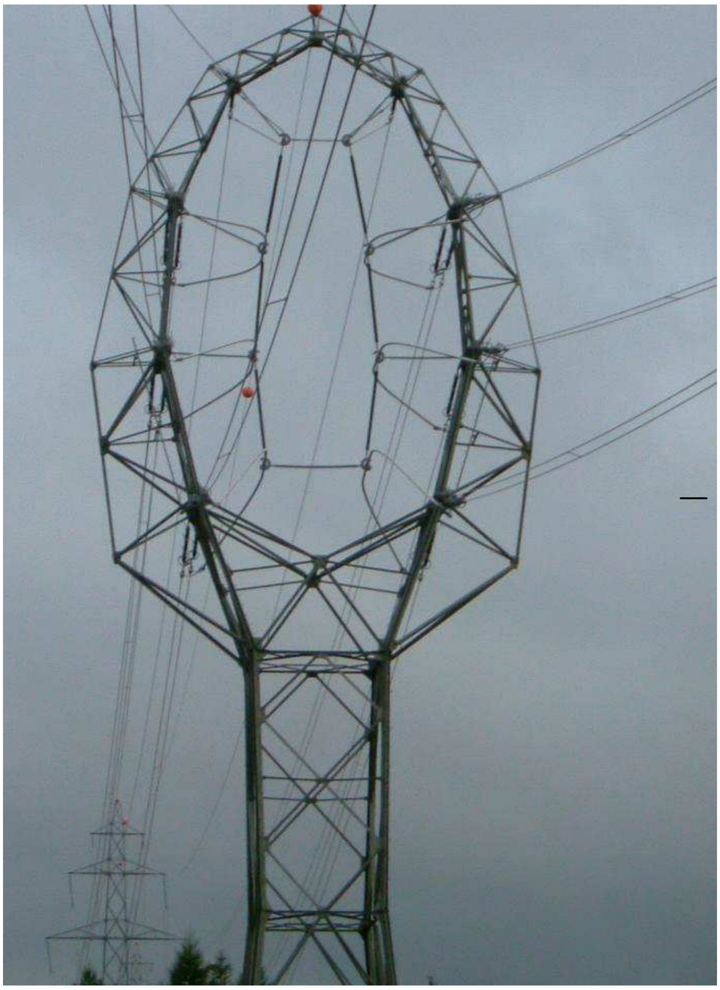
Electrotechnique triphasé

Chapitre 11



CADEV n° 102 679

Table des matières

11.1 Généralités

11.1 1 Définition tensions triphasées

Un système de tension triphasée est un ensemble de trois tensions alternatives, de même valeur efficace, décalées l’une par rapport aux autres de 120°.

11.1.2 Courants triphasés

Dans une installation électrique triphasée, il arrive que les courants eux n’aient ni la même valeur efficace, ni le même décalage, ni même une forme sinusoïdale (comme par exemple un courant à travers une lampe économique). Les formules développées dans ce fascicule ne sont toutefois valables que pour des courants de forme sinusoïdale.

11.1.3 Avantage du système triphasé

Par rapport au système monophasé, le triphasé permet :

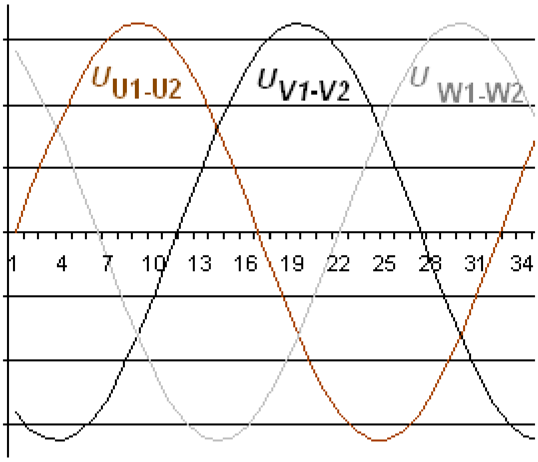
- le transport de puissance avec moins de pertes en ligne.
- une économie de fil conducteur (par exemple : Pour une même masse de cuivre, on peut transporter plus d’énergie en triphasé)
- d’alimentation de moteurs bon marché (moteur à cage d’écureuil) et facile d’entretien
- de créer un champ magnétique tournant
- d’avoir plusieurs tensions à disposition (par exemple : 230 et 400 V)
- d’obtenir un faible taux d’ondulation lors de l’emploi de redresseurs.

11.1.4 Production

Pour produire des tensions alternatives triphasées, il faut un alternateur dont on a disposé les 3 groupes d’enroulements statoriques en les décalant physiquement de 120° les uns par rapport aux autres, le rotor étant une source de flux magnétique.

11.2 Tensions triphasées

Le réseau électrique alimente une majorité d'usagés avec un circuit triphasé. La tension entre chaque conducteur polaire est de 400 V et entre un conducteur polaire et le conducteur neutre une tension de 230 V.



Les conducteurs de protection, de terre ou d'équipotentiel sont au même potentiel que le conducteur neutre. Leur rôle est d'assurer la protection. En service normal, ils ne conduisent aucun courant et n'ont aucune influence dans le circuit du point de vue de la théorie électrotechnique, nous n'en parlons donc pas dans ce manuel.

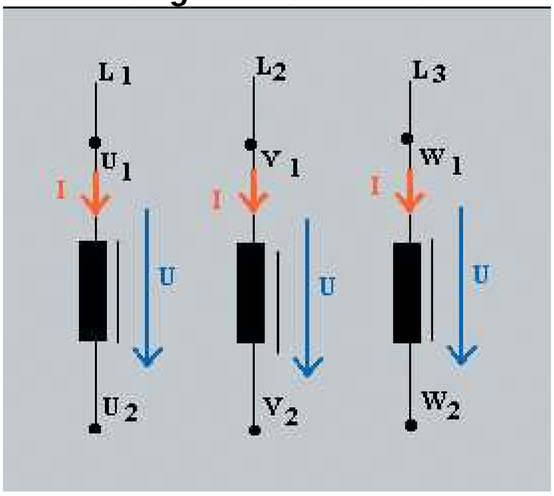
11.2.1 Désignation des bornes

Les extrémités des enroulements de l'alternateur ou des impédances d'un récepteur sont repérées par les lettres suivantes :

U1 - U2 ; V1 - V2; W1 - W2

On admet que la tension la plus élevée est indiquée par l'indice 1. Le courant s'écoulant donc de U1 à U2, de V1 à V2 et de W1 à W2 dans les impédances est donc considéré comme positif.

Désignations actuelles



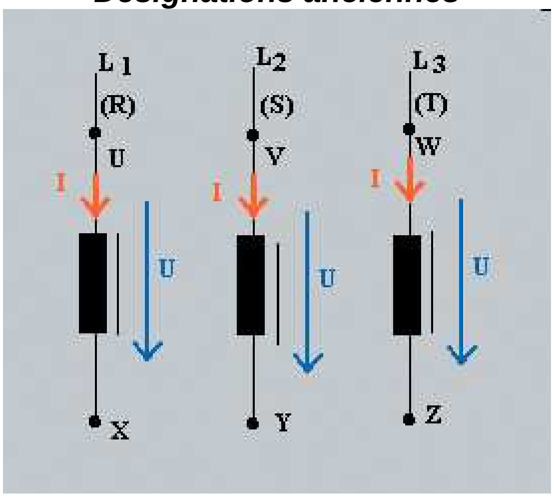
11.2.2 Raccordement de la ligne au récepteur

Le raccordement des conducteurs de ligne aux récepteurs ou aux alternateurs se fait en connectant les conducteurs :

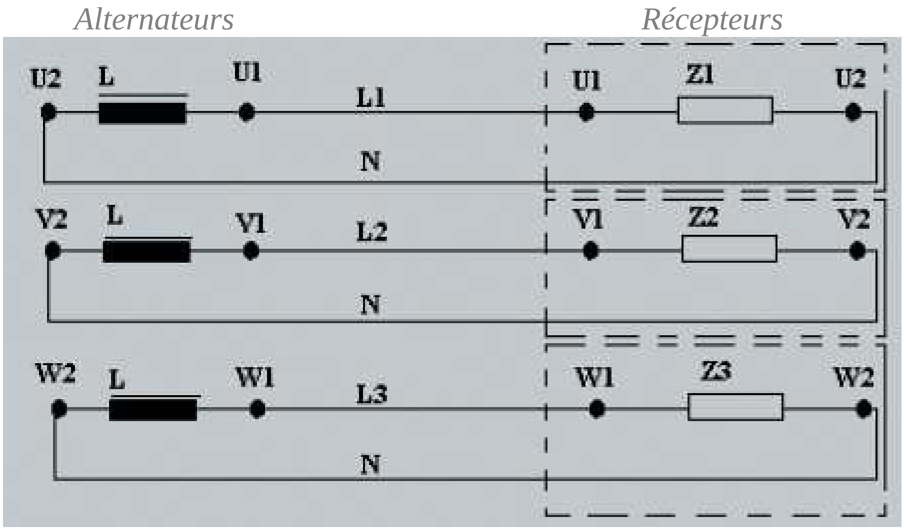
L1 à la borne U1
L2 à la borne V1
L3 à la borne W1

Le raccordement des bornes de sortie dépend du type de couplage : étoile ou triangle.
Anciennement, les conducteurs étaient appelés
R, S, T
et les bornes U - X ; V - Y; W- Z

Désignations anciennes

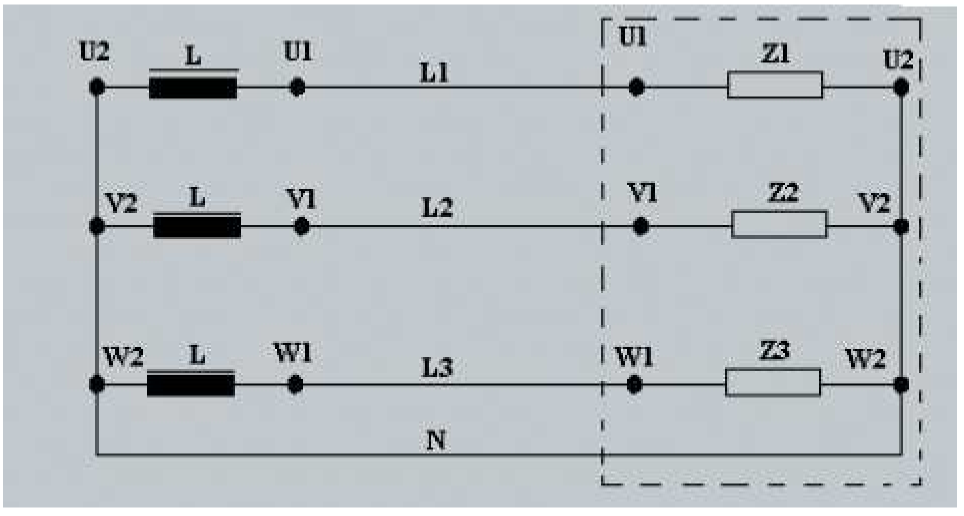


Le générateur est un alternateur triphasé.



Les 3 impédances forment soit un récepteur triphasé unique, soit des récepteurs monophasés placés dans une installation.

Lorsqu'on relie les trois conducteurs de retour des trois circuits monophasés, ce nouveau conducteur est appelé conducteur neutre.

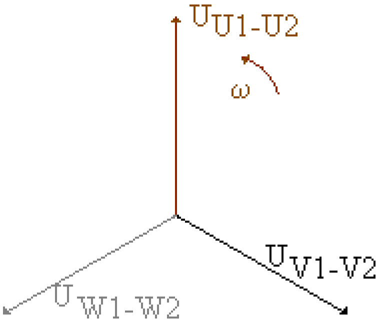


Les bornes U2, V2, et W2 sont reliées aux générateurs et aux récepteurs. Le nombre de conducteurs est ainsi diminué.

Les tensions d'un système triphasé sont définies par les équations suivantes :

$$u_{U1\text{-}U2}(t) = U \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t + 0) \quad [V]$$
$$u_{V1\text{-}V2}(t) = U \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - 2\pi/3) \quad [V]$$
$$u_{W1\text{-}W2}(t) = U \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t - 4\pi/3) \quad [V]$$

Rappel : la pulsation ω s'exprime en radian par seconde donc l'angle est en radian [rad].



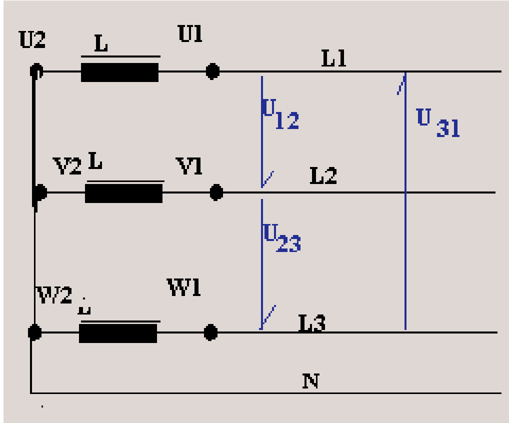
11.3 Désignation des tensions et des courants en triphasé

La tension d'alimentation que l'on mesure entre les conducteurs L1 et L2, entre L2 et L3 et entre L3 et L1 se note ***U*** et s'appelle tension composée, tension de ligne ou tension polaire.

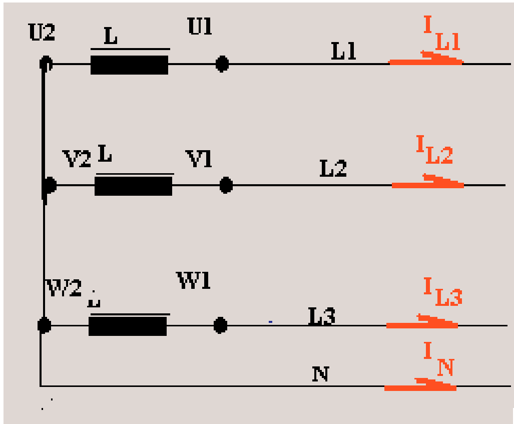
L'usage est que lorsqu'on parle de ***U*** en triphasé, on fait référence à la tension composée.
Cette tension vaut généralement dans le réseau européen 400 V.

$\vec{U}_{L1\text{-}L2} = \vec{U}_{12} = 400$ [V]
$\vec{U}_{L2\text{-}L3} = \vec{U}_{23} = 400$ [V]
$\vec{U}_{L3\text{-}L1} = \vec{U}_{31} = 400$ [V]

U = 3 · 400 [V]



Cette notation est souvent utilisée. Elle signifie qu'il y a à disposition trois tensions (déphasées de 120 °) de 400 V chacune.



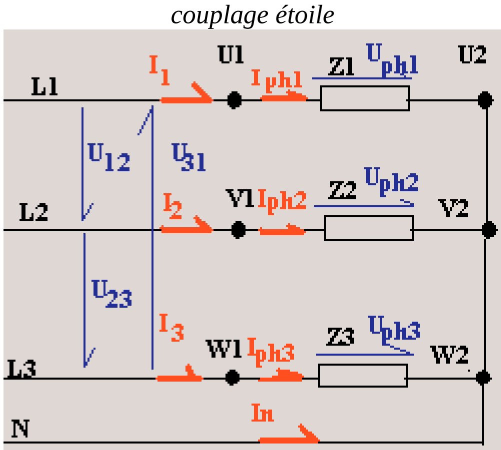
Le courant qui circule dans les conducteurs d'alimentation L1, L2 ou L3 s'appelle courant de ligne ou courant polaire. Il se note ***I*.**

$\vec{I}_1 = \vec{I}_{L1}$ [A]
$\vec{I}_2 = \vec{I}_{L2}$ [A]
$\vec{I}_3 = \vec{I}_{L3}$ [A]

Le courant qui circule dans le conducteur neutre est appelé courant de neutre et noté :

$$\vec{I}_N$$

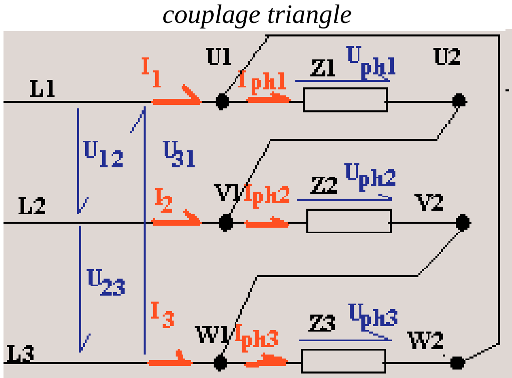
couplage étoile



En triphasé, il existe principalement 2 couplages :

- étoile et
- triangle.

couplage triangle



Dans les 2 cas, la tension aux bornes de chacune des impédances est une tension simple ou tension de phase
notée :

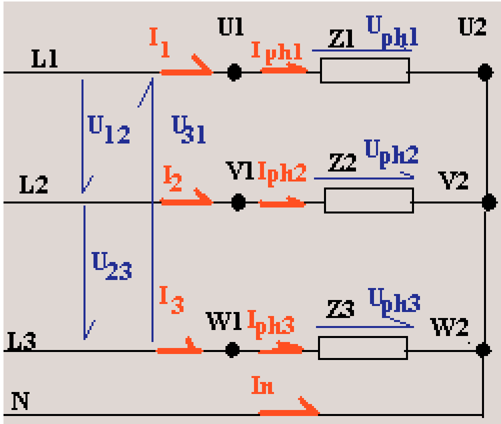
$$\vec{U}_{ph} \text{ [V]}$$

Le courant qui traverse chacune des impédances se nomme courant simple ou courant de phase noté :

$$\vec{I}_{ph} \text{ [A]}$$

11.4 Récepteur triphasé équilibré couplé en étoile

11.4.1 Relation entre courants de ligne et courants de phase

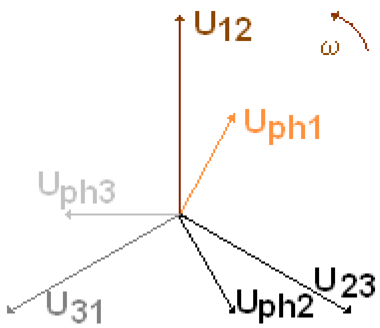


Il n'y a aucun nœud entre la ligne et les impédances du récepteur raccordé en étoile.

Les courants de ligne traversent directement les impédances. Ils ont donc la même valeur et le même déphasage que les courants de phase.

$$\vec{I} = \vec{I}_{ph}$$

11.4.2 Relation entre tensions de ligne et tensions de phase



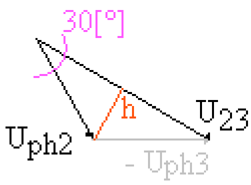
Les tensions de phases $\vec{U}_{ph}$ sont celles mesurées aux bornes des impédances soit la tension mesurée entre le conducteur neutre et chacun des conducteurs polaires.
La tension composée est donc la différence de potentiel entre deux tensions de phase. Les tensions de phase ayant des directions et sens différents, on parle de vecteur tension et il faut faire une soustraction vectorielle.

$$\vec{U}_{12} - \vec{U}_{ph1} + \vec{U}_{ph2} = 0\ [V]$$
$$\vec{U}_{23} - \vec{U}_{ph2} + \vec{U}_{ph3} = 0\ [V]$$
$$\vec{U}_{31} - \vec{U}_{ph3} + \vec{U}_{ph1} = 0\ [V]$$

d'où :

$$\vec{U}_{12} = \vec{U}_{ph1} - \vec{U}_{ph2}$$
$$\vec{U}_{23} = \vec{U}_{ph2} - \vec{U}_{ph3}$$
$$\vec{U}_{31} = \vec{U}_{ph3} - \vec{U}_{ph1}$$

$U_{23} = U_{ph2} - U_{ph3}$



Les 3 vecteurs forment un triangle isocèle. La hauteur h partage la base ***U*** et deux parties égales . l'angle entre $\boldsymbol{U_{ph}}$ et $U/2$ est de 30 degrés.

La longueur de $U/2$ est : $U/2 = U_{ph} \cdot \cos 30°$

comme U est 2 fois plus grand que $U/2$:
$U = 2 \cdot U/2 = 2 \cdot U_{ph} \cdot \cos 30° = U_{ph} \cdot 2 \cdot \cos 30°.$

2 · cos 30° donne un nombre irrationnel qui vaut $\sqrt{3}$.
2 · 0,866… = 1,732… = $\sqrt{3}$
Donc la tension composée vaut : $\boldsymbol{U = U_{ph} \cdot \sqrt{3}}$

11.4.3 Formules pour le couplage en étoile

$\vec{I}$ intensité du courant de ligne [A]
$\vec{I}_{ph}$ intensité du courant de phase [A]
$\vec{U}$ tension réseau [V]
$\vec{U}_{ph}$ tension de phase [V]

$$\vec{I} = \vec{I}_{ph} \quad [A]$$

$$\vec{U} = \vec{U}_{ph} \cdot \sqrt{3} \ [V]$$

11.4.4 Dénominations usuelles

Lorsqu'on désigne un réseau par 3*400 V-50 Hz, cela signifie un réseau à trois conducteurs polaires sans conducteur neutre (système tripolaire).

Lorsqu'on désigne un réseau par 3*400 /230 V–50 Hz, cela signifie un réseau à quatre conducteurs soit 3 conducteurs polaires et un conducteur neutre (système tétrapolaire).
La plus grande des tensions étant la tension du réseau.
Cela indépendamment du conducteur de protection.

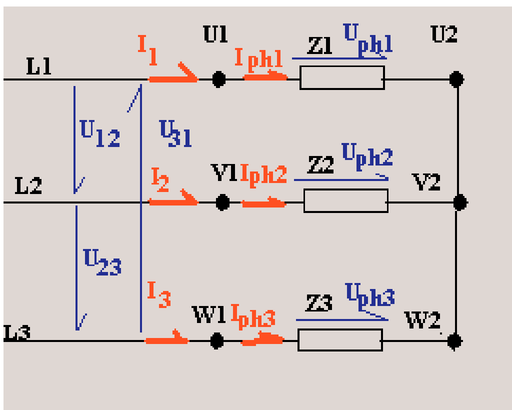
Exemple
La tension réseau est normalisée à 400 V.
Quelles sont les valeurs des tensions de phase ?

$U_{ph} = U / \sqrt{3} = 400 / \sqrt{3} = 231$ [V]
soit 230 [V] normalisé.

Remarque

Comme il s'agit de valeur normalisée, on admet que la tension de phase vaut dans ce cas 230 V.
En pratique les tensions que l'on mesure sont rarement aux valeurs normalisées car elles varient en fonction de la charge du réseau.

11.4.5 Absence du conducteur neutre



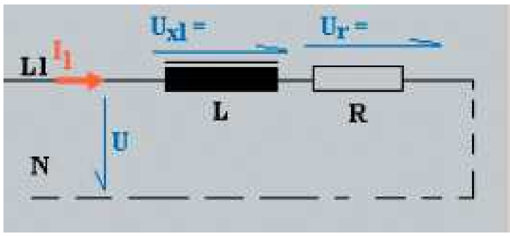
Dans un couplage équilibré les courants de ligne ont la même intensité et le même angle de déphasage avec leur tension de phase. La somme des 3 courants à chaque instant est nul.

Le conducteur neutre ne conduit, dans ce cas, aucun courant et peut être omis (sauf s'il a un rôle de protection : conducteur PEN).

11.4.6 Puissance d'un récepteur équilibré en triphasé

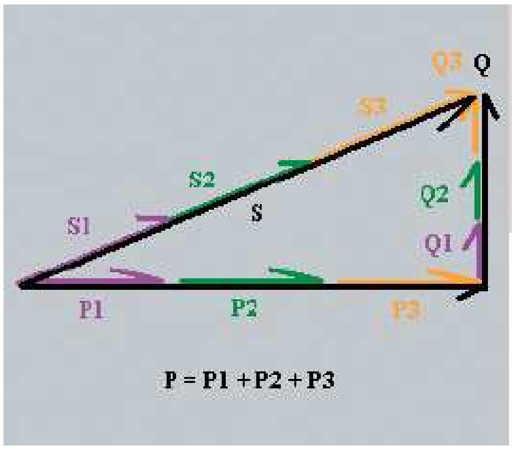
Dans un circuit équilibré (par exemple un moteur, un chauffe-eau), les trois impédances sont identiques, ainsi que leurs tensions aux bornes (*U*ph).
Les courants de phases sont également identiques.
Donc les valeurs des puissances seront égales entre elles.

Rappel du monophasé :



$P = U_R \cdot I_R = U_Z \cdot I_Z \cdot \cos\Phi$ [W]
$Q = U_X \cdot I_X = U_Z \cdot I_Z \cdot \sin\Phi$ [var]
$S = U_Z \cdot I_Z$ [VA]

$\boldsymbol{P = P_{ph1} + P_{ph2} + P_{ph3} = 3 \cdot P_{ph}}$
$\boldsymbol{Q = Q_{ph1} + Q_{ph2} + Q_{ph3} = 3 \cdot Q_{ph}}$
$\boldsymbol{S = \sqrt{P^2 + Q^2}}$



Le calcul des puissances par impédance se fait selon la théorie des circuits monophasés (fascicule 2).
La plupart du temps, il est plus facile de mesurer le courant de ligne et la tension de réseau. Le calcul des puissances devient :

$P = 3 \cdot P_{ph}$
$P = 3 \cdot U_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos\Phi$
$P = 3 \cdot (U/\sqrt{3}) \cdot I \cdot \cos\Phi = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos\Phi / \sqrt{3}$
$\boldsymbol{P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\Phi}$

Sans démonstration et par analogie, nous admettons les relations suivantes :

$\boldsymbol{Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin\Phi}$
$\boldsymbol{S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}}$

$\boxed{P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\Phi \quad [W]}$

$\boxed{Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin\Phi \; [var]}$

$\boxed{S = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad [VA]}$

11.4.6.1 Formules

U	tension réseau	[V]
I	intensité du courant de ligne	[A]
Φ	angle de déphasage	[°]
P	puissance active triphasée	[W]
Q	puissance réactive triphasée	[var]
S	puissance apparente triphasée	[VA]

Remarque

Pour raccorder un récepteur triphasé en étoile, il faut vérifier que sa tension de phase soit de 230 V.

Lorsqu'il y a l'indication de deux tensions comme sur l'exemple à droite, la tension la plus basse est la tension de phase.

P *est la puissance à la sortie du moteur (P_{utile}).*

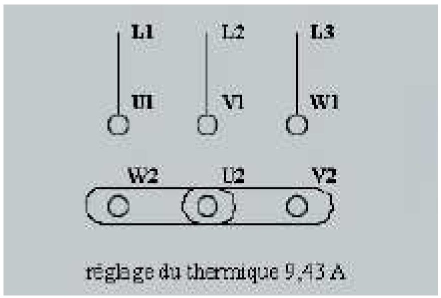
plaquette moteur :

U: 230 / 400 V Δ / Y
I : 5,45 / 9,43 A
P : 5 kW
cos Φ : 0,8

Applications

- enroulements de moteurs ;
- corps de chauffe de radiateurs ;
- corps de chauffe de chauffe-eau ;
- corps de chauffe de fours industriels.

Raccordement de ce moteur en 3 x 400 V



note : tous les exemples sont résolus avec 3 ou 4 chiffres significatifs

Exemple 1

Un moteur triphasé absorbe au réseau une puissance de 2,8 kW sous 3*400 V - 50 Hz, cos Φ = 0,85. Ses enroulements sont couplés en étoile.

Calculez :

a) la tension aux bornes de chaque enroulement ;
b) l'intensité du courant de ligne ;
c) l'intensité du courant dans chaque enroulement ;
d) la puissance réactive.

Solution 1 : formules générales triphasées

a)

$$U_{ph} = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = \mathbf{230\ [V]}$$

b) +c)

$$I = I_{ph} = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi}$$

$$= \frac{2800}{400 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}85} = \mathbf{4{,}76\ [A]}$$

d)

$\sin\varphi = \sin(\arccos 0{,}85) = 0{,}526$

$Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin\varphi$
$= 400 \cdot 4{,}76 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}526 = 1730$ [var]
soit **1,73 [kvar] inductif**

Solution 2 : passage en monophasé

$$P_{ph} = \frac{P}{3} = \frac{2800}{3} = 933\ [W]$$

a)

$$U_{ph} = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = \mathbf{230\ [V]}$$

b) +c)

$$I = I_{ph} = \frac{P_{ph}}{U_{ph} \cdot \cos\varphi}$$

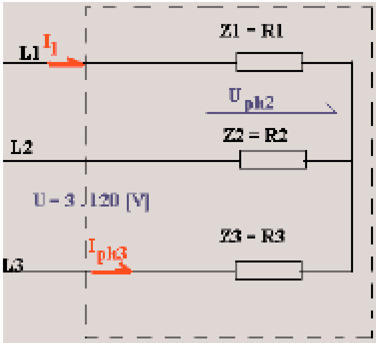
$$= \frac{933}{230 \cdot 0{,}85} = \mathbf{4{,}77\ [A]}$$

d)

$\sin\varphi = \sin(\arccos 0{,}85) = 0{,}526$

$Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin\varphi$
$= 400 \cdot 4{,}77 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}526 = 1740$ [var]
soit **1,74 [kvar] inductif**

Exemple 2



Trois résistances ($R_1 = R_2 = R_3 = 25\ \Omega$) sont couplées en étoile et raccordées sous 3*120 V.
Calculez la tension de phase, l'intensité du courant de ligne et la puissance active.

impédance : Z = (R et $\Phi = 0°$)

tension de phase :
$U_{ph} = U/\sqrt{3} = 120/\sqrt{3} = $ **69,4 [V]**

Intensité de ligne :
$I = I_{ph} = U_{ph}/Z = 69{,}4 / 25 = $ **2,78** [A]

Puissance active :
soit : $P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\Phi =$
$120 \cdot 2{,}78 \cdot 1{,}73 \cdot 1 =$ **577 [W]**
soit : $P = 3 \cdot U_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos\Phi =$
$3 \cdot 69{,}4 \cdot 2{,}78 \cdot 1 =$ **579 [W]**

Exemple 3

La puissance d'un chauffe-eau raccordé en étoile au réseau est de 9 kW. Quelle est la résistance d'un corps de chauffe ?

Solution 1 :

tension aux bornes de chaque corps de chauffe

$$Uph = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230\ [V]$$

intensité de phase et de ligne :

$$I = I_{ph} = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi}$$

$$= \frac{9000}{400 \cdot 1{,}73 \cdot 1} = 13{,}0\ [A]$$

résistance de chaque corps de chauffe :

$$R = Z = \frac{U_{ph}}{I_{ph}} = \frac{230}{13{,}0} = \mathbf{17{,}7\ [\Omega]}$$

Solution 2 :

tension aux bornes de chaque corps de chauffe

$$Uph = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230\ [V]$$

puissance de chaque résistance :

$$P_{ph} = \frac{P}{3} = \frac{9000}{3} = 3000\ [W]$$

intensité de phase et de ligne :

$$I = I_{ph} = \frac{P_{ph}}{U_{ph} \cdot \cos\varphi}$$

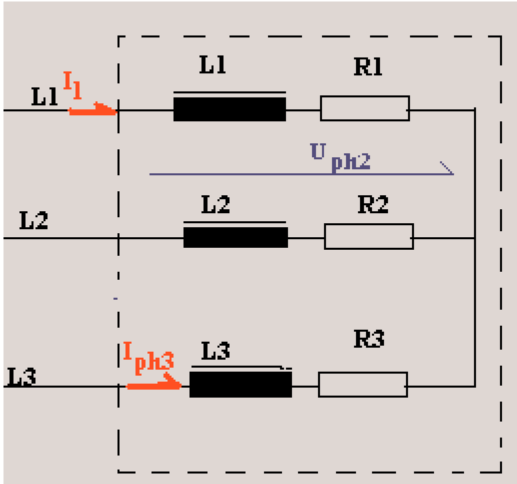
$$= \frac{3000}{230 \cdot 1} = 13{,}0\ [A]$$

résistance de chaque corps de chauffe :

$$R = Z = \frac{U_{ph}}{I_{ph}} = \frac{230}{13{,}0} = \mathbf{17{,}7\ [\Omega]}$$

Exemple 4

Un récepteur raccordé en étoile sur le réseau est composé de 3 bobines dont l'impédance vaut (50 Ω; Φ = 36,9 [°].)



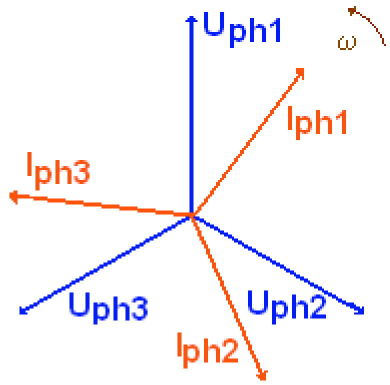
calculez P_{ph}, P, Q, S, U_r, U_{xl}, I !

résistance de chaque impédance
$R = Z \cdot \cos\Phi = 50 \cdot \cos 36{,}9° = 40$ [Ω]

tension de phase :
$U_{ph} = U/\sqrt{3} = 400/\sqrt{3} = 230$ [V]

courant de phase et de ligne :
$I = I_{ph} = U_{ph} / Z = 230/ 50 =$ **4,60 [A]**

déphasé de 36,9 [°] par rapport à U_{ph}

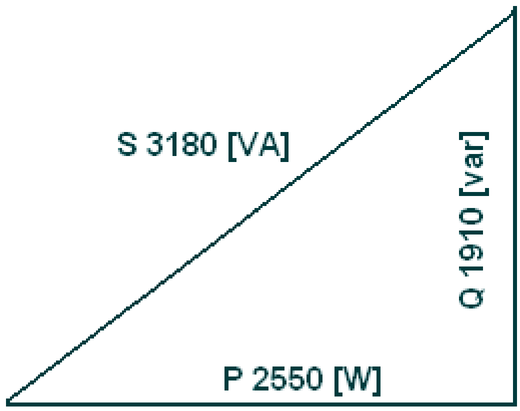


tension aux bornes de chaque résistance :
$U_r = U_{ph} \cdot \cos\Phi = 230 . 0{,}8 =$ **184 [V]**

tension aux bornes de chaque réactance :
soit : $U_{xl} = U_{ph} \cdot \sin\Phi = 230 \cdot 0{,}6 =$ **138 [V]**
soit $U_{xl} = \sqrt{(U_{ph}^2 - U_r^2)} = \sqrt{(230^2 - 184^2)} =$ **138 [V]**

puissance active par impédance :
$P_{ph} = U_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos\Phi = 230 \cdot 4{,}6 \cdot 0{,}8 =$ **846 [W]**
ou $P_r = U_r \cdot I_r = 184 \cdot 4{,}6 =$ **846 [W]**

Puissance active du récepteur :
soit $P = 3 \cdot P_{ph} = 3 \cdot 846{,}4 =$ **2540 [W]**
soit $P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\Phi =$
$400 \cdot 4{,}6 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}8 =$ **2550 [W]**

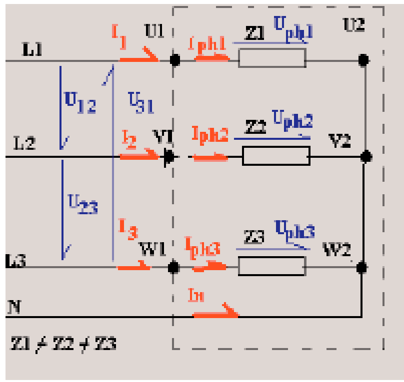


Puissance réactive du récepteur :
soit $Q = 3 \cdot Q_{ph} = 3 \cdot U_{xl} \cdot I_{xl} =$
$3 \cdot 138 \cdot 4{,}6 =$ **1900 [var]**
soit $Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin\Phi =$
$400 \cdot 4{,}6 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}6 =$ **1910 [var]**

Puissance apparente du récepteur **:**
soit $S = 3 \cdot S_{ph} = 3 \cdot U_{ph} \cdot I_{ph} =$
$3 \cdot 230 \cdot 4{,}6 =$ **3170 [VA]**
soit $S = U \cdot I \cdot \sqrt{3} =$
$400 \cdot 4{,}6 \cdot 1{,}73 =$ **3180 [VA]**

11.5 Récepteur triphasé non équilibré couplé en étoile

11.5.1 Avec conducteur neutre



Lorsque les courants de phases n'ont ni la même intensité ni le même angle de déphasage ; le circuit n'est pas équilibré.

Lorsque les courants de phase ont la même intensité, mais des angles de déphasage différents, le circuit n'est pas équilibré.

Lorsque les courants de phase ont le même angle de déphasage, mais des intensités différentes ; le circuit n'est pas équilibré.

Dans ces trois cas, le conducteur neutre fixe le potentiel aux bornes U2, V2 et W2. Les 3 tensions de phase ont donc la même valeur.

$$U_{ph1} = U_{ph2} = U_{ph3}$$

Le point neutre représente un nœud et l'on peut y appliquer la loi de Kirchhoff.

$$i_n + i_{ph1} + i_{ph2} + i_{ph3} = 0 \text{ [A]}$$

Attention, pour pouvoir additionner tous les courants, il faut les représenter sous leur forme vectorielle. On parle de somme sectorielle (ou géométrique).

$$\vec{I}_n + \vec{I}_{ph1} + \vec{I}_{ph2} + \vec{I}_{ph3} = 0 \text{ [A]}$$

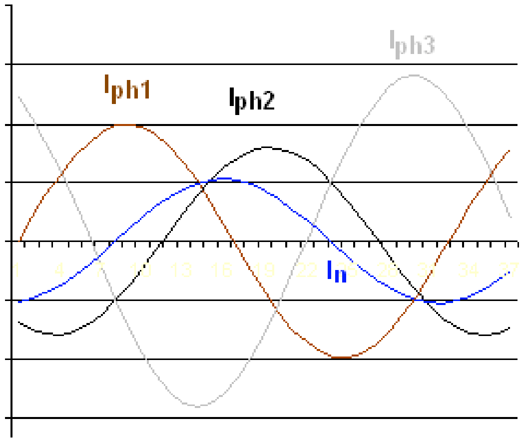
d'où

$$\vec{I}_n = -(\vec{I}_{ph1} + \vec{I}_{ph2} + \vec{I}_{ph3}) \text{ [A]}$$

Pour déterminer le courant dans le neutre à l'aide des vecteurs, on met bout à bout les vecteurs courant (en respectant leur sens, leur direction et leur amplitude).

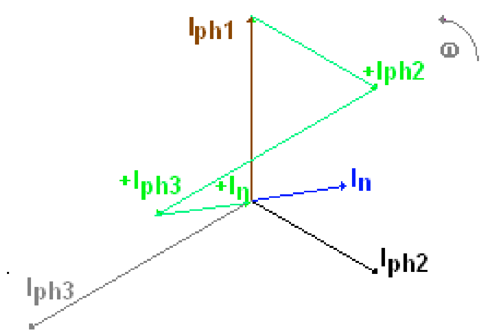
Le vecteur courant dans le conducteur neutre est celui qui relie la somme des trois premiers vecteurs à l'origine.

graphique $I_{ph}=f(t)$ avec $I_{ph1}=10A$, $I_{ph2}=8A$ et $I_{ph3}=14A$ (les 3 en phases avec leur tension)



note : la somme des valeurs instantanées est égale à 0 A

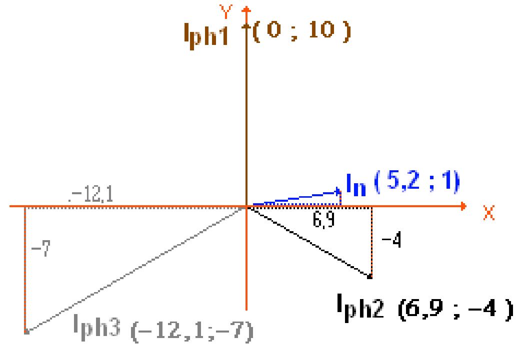
$$\boxed{\vec{I}_n = -(\vec{I}_{ph1} + \vec{I}_{ph2} + \vec{I}_{ph3}) \text{ [A]}}$$



Le calcul du courant dans le neutre peut se faire en décomposant chaque vecteur courant en coordonnées X et Y selon un système d'axe.

En changeant le signe des sommes des projections X et Y on trouve les projections du vecteur courant dans le neutre.

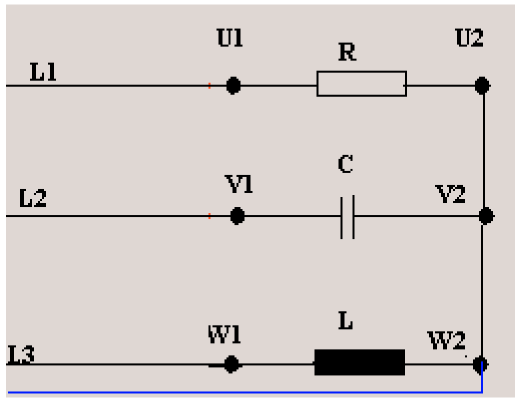
Il est très utile d'utiliser les fonctions de transformation rectangle–polaire et polaire–rectangle des machines à calculer.



I_{nx} = -(0 + 6,9 – 7) = 5,2
I_{ny} = - (10 – 4 – 7) = 1

Exemple:

Aux bornes U1-U2 est raccordée une résistance de 23 Ω, entre V1 et V2 un condensateur de 138,4 uF et entre W1 et W2 une inductance de 73,21 mH. Ce récepteur est couplé en étoile sur le réseau.



calculez
a) le courant dans chaque impédance du récepteur
b) le courant dans le neutre

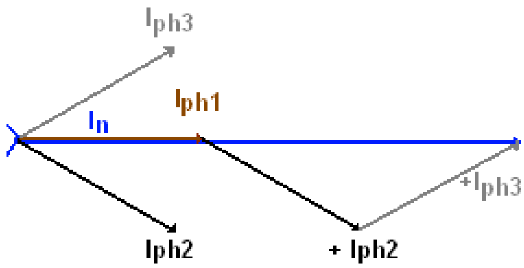
impédance entre L1 et neutre
$Z_1 = R_1 = 23$ [Ω]

impédance entre L2 et le neutre
$Z_2 = X_{c2} = (\omega C)^{-1} = (314{,}2 \cdot 138{,}4 \cdot 10^{6})^{-1} = 23$ [Ω]

impédance entre L3 et le neutre
$Z_3 = X_{l3} = \omega L = 314{,}2 \cdot 0{,}07321 = 23$ [Ω]

courant de phase 1
$I_{ph1} = U_{ph1} / Z_1 = 230 / 23 =$ **10 [A]** **(Φ = 0 [°])**
courant de phase 2
$I_{ph2} = U_{ph2} / Z_2 = 230 / 23 =$ **10 [A]** **(Φ = - 90 [°])**
courant de phase 1
$I_{ph3} = U_{ph3} / Z_3 = 230 / 23 =$ **10 [A]** **(Φ = 90 [°])**

Résolution graphique :



Résolution par calcul :

	I [A]	Φ [°]	α [°]	I_x [A]	I_y [A]
I_{ph1}	10	0	0	10	0
I_{ph2}	10	- 90	-30	8,66	–5
I_{ph3}	10	90	30	8,66	5
I_n	**27,32**	-	0	- 27,32	0

Avec :
l'instant choisi : U_{ph1} superposé à l'abscisse
Φ déphasage courant tension
α angle entre I_{ph}. et l'abscisse
$\alpha_1 = -\Phi_1$
$\alpha_2 = -120° - \Phi_2$
$\alpha_3 = -240° - \Phi_3$ (ou $+120° - \Phi_3$)

il n'y a pas de déphasage pour I_n

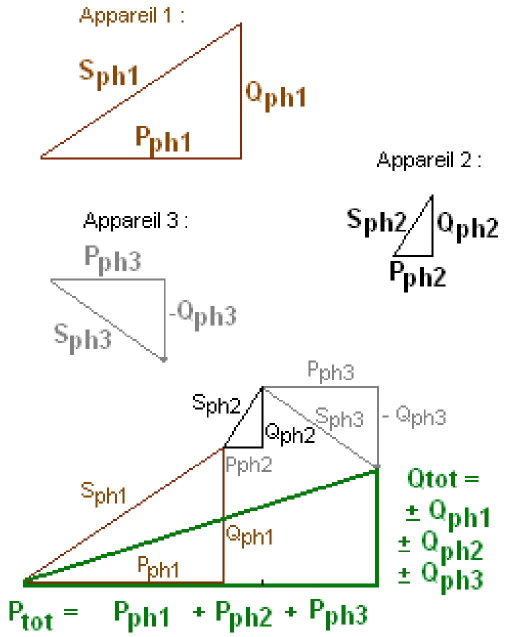
11.5.2 Puissance du récepteur triphasé non équilibré

Dans ce cas, chacune des puissances doit être calculée individuellement.

La puissance active totale est la somme arithmétique des puissances active de chaque phase.

La puissance réactive totale est la somme algébrique des puissances réactive de chaque phase.

La puissance apparente totale est la somme vectorielle des puissances apparente de chaque phase.



Formules

$$P = P_{ph1} + P_{ph2} + P_{ph3}$$

$$Q = \pm Q_{ph1} \pm Q_{ph2} \pm Q_{ph3}$$

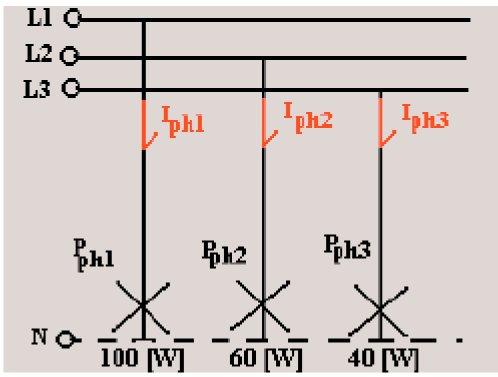
$$S = \sqrt{(P2 + Q2)}$$

P	puissance active du récepteur	[W]
P_{ph}	puissance active d'une impédance	[W]
Q	puissance réactive du récepteur	[var]
Q_{ph}	puissance réactive d'une impédance	[var]
S	puissance apparente du récepteur	[VA]
S_{ph}	puissance app. d'une impédance	[VA]

Rappel : le signe de la puissance réactive est positif si l'impédance à un comportement inductif et un signe négatif pour un comportement capacitif. Toutefois, on peut inverser la convention, cela ne change pas les résultats.

Exemple 1

Trois lampes à incandescence de 100 W, 60 W et 40 W sont raccordées sous 230V, selon le schéma ci-contre.



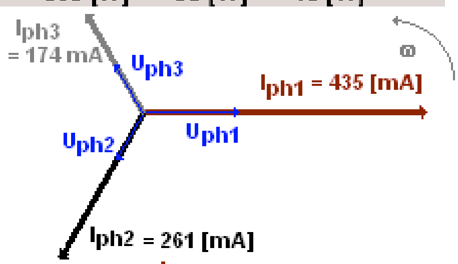
Calculez :
a) l'intensité des courants dans les lampes ;
b) l'intensité du courant dans le conducteur N ;
c) la puissance active totale.

a) intensité des courants

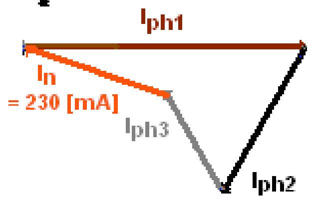
$I_{ph1} = P_{ph1} / (U_{ph1} \cdot \cos \Phi_1) = 100 / (230 \cdot 1) =$ **435[mA]**

$I_{ph2} = P_{ph2} / (U_{ph2} \cdot \cos \Phi_2) = \quad 60 / (230 \cdot 1) =$ **261[mA]**

$I_{ph3} = P_{ph3} / (U_{ph3} \cdot \cos \Phi_3) = \quad 40 / (230 \cdot 1) =$ **174[mA]**



b) I_n **= 0,23 [A]**



c) puissance active totale

$P = P_{ph1} + P_{ph2} + P_{ph3} = 100 + 60 + 40 =$ **200 [W]**

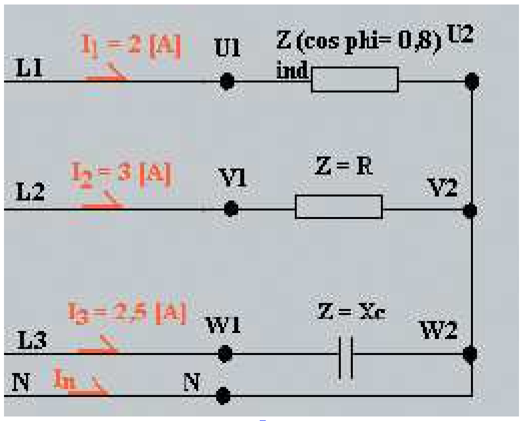
Exemple 2

Calculer pour le couplage ci-contre :

a) L'intensité du courant dans le conducteur neutre

b) la puissance active totale

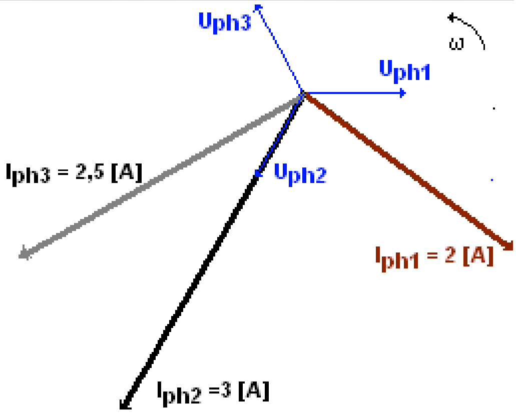
c) la puissance réactive globale

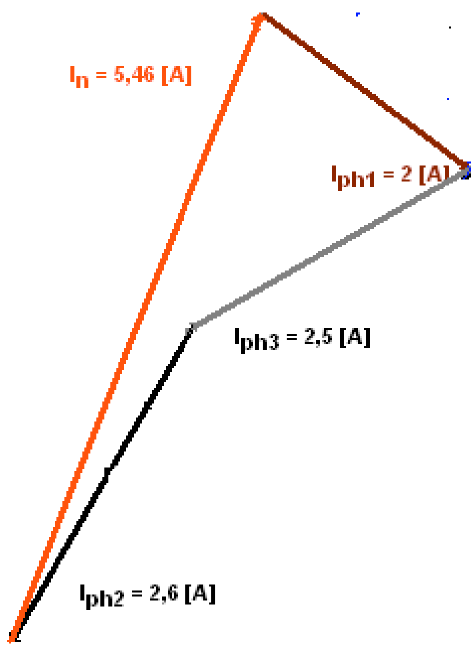


a) l'intensité du courant dans le neutre :
$\cos \Phi_1 = 0{,}8$ (inductif) => $\Phi_1 = 36{,}9$ [°]

par calcul :

	I [A]	Φ [°]	α [°]	I_x [A]	I_y [A]
I_1	2	37	-37	1,6	- 1,2
I_2	3	0	-120	-1,5	-2,6
I_3	2,5	-90	-150	-2,17	-1,25
I_n	**5,46**	-	67,7	2,07	5,05





par dessin : voir graphique ci-contre

b)
$P_{ph1} = U_{ph1} \cdot I_{ph1} \cdot \cos \Phi_1 = 230 \cdot 2 \cdot 0{,}8 = 368$ [W]

$P_{ph2} = U_{ph2} \cdot I_{ph2} \cdot \cos \Phi_2 = 230 \cdot 3 \cdot 1 = 690$ [W]

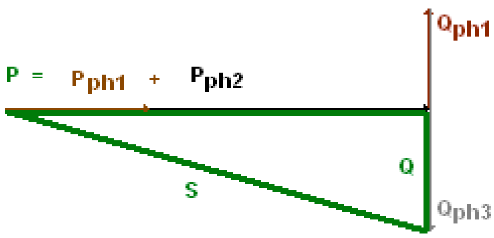
$P_{ph3} = U_{ph3} \cdot I_{ph3} \cdot \cos \Phi_3 = 230 \cdot 2{,}5 \cdot 0 = 0$ [W]

$\boldsymbol{P} = P_{ph1} + P_{ph2} + P_{ph3} = 368 + 690 + 0 =$ **1060 [W]**

c)
$Q_{ph1} = U \cdot I_{ph1} \cdot \sin \Phi_1 = 230 \cdot 2 \cdot 0{,}6 = 276$ [var]

$Q_{ph2} = U_{ph2} \cdot I_{ph2} \cdot \sin \Phi_2 = 230 \cdot 3 \cdot 0 = 0$ [var]

$Q_{ph3} = U_{ph3} \cdot I_{ph3} \cdot \sin \Phi_3 = 230 \cdot 2{,}5 \cdot (-1) = -575$ [var]

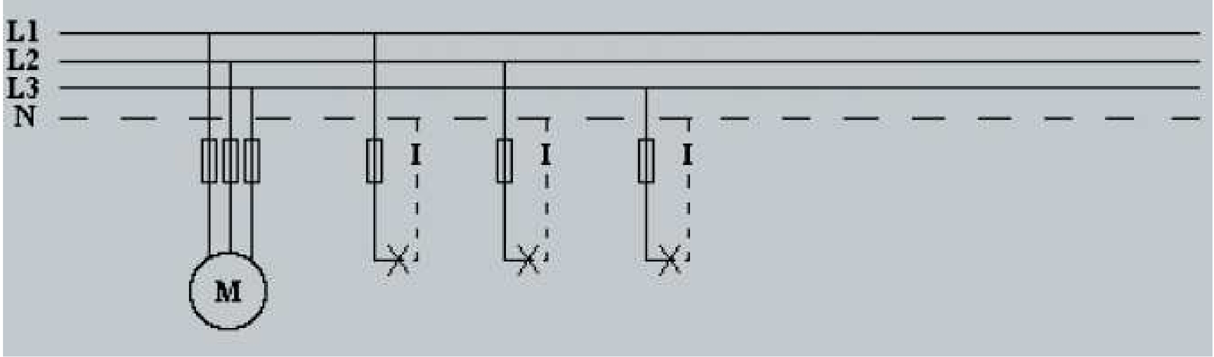


$\boldsymbol{Q} = Q_{ph1} + Q_{ph2} - Q_{ph3} = 276 + 0 - 575 =$ **-299 [var]**

(comportement capacitif)

11.6 Récepteur non équilibré couplé en étoile sans neutre

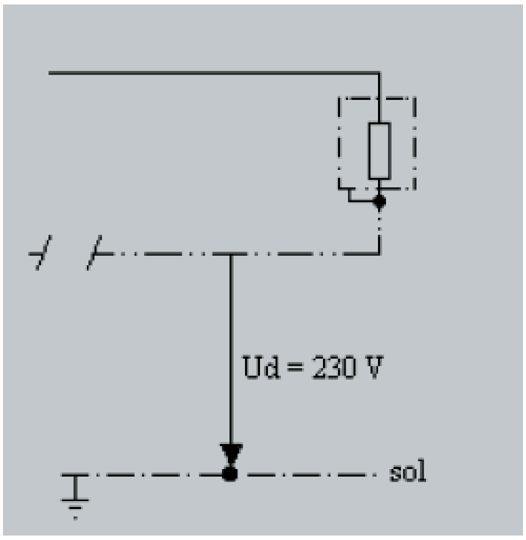
Représentez la distribution étoile de l'installation électrique.



La plupart des récepteurs monophasés sont raccordés au réseau de distribution entre un conducteur polaire et le conducteur neutre. Ils sont construits pour une tension nominale de 230 V.
Lors du raccordement des tableaux de distribution, il faut le plus également possible répartir ces charges afin d'équilibrer au mieux les intensités des courants de ligne et de diminuer celle du conducteur neutre.
Vus du distributeur d'énergie, ces récepteurs ne représentent qu'un couplage étoile d'un ensemble d'impédance.
L'interruption du conducteur neutre sans l'interruption des conducteurs polaires peut entraîner de graves conséquences.

Danger pour les personnes

Lorsqu'une installation est réalisée selon le système TN-C (ancien schéma 3), la rupture du conducteur neutre a pour conséquence la mise sous tension des parties métalliques du récepteur.

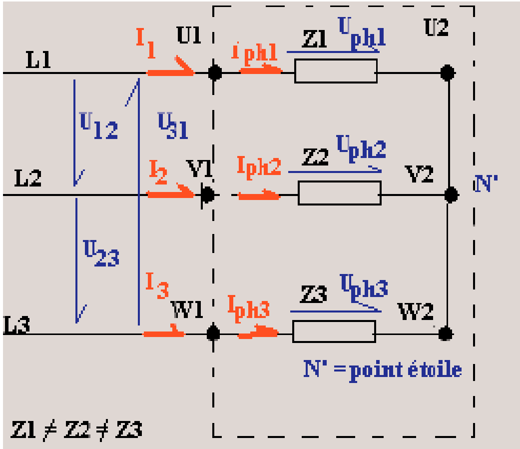


Danger pour les récepteurs

Comme pour un couplage série, la coupure du conducteur neutre à pour effet de répartir les tensions proportionnellement aux valeurs des impédances (un récepteur de grande puissance subit une diminution de sa tension alors qu'un récepteur de faible puissance – impédance élevée – la voit augmenter).

Répartition des tensions de phase

Les trois impédances Z_1, Z_2 et Z_3 ne sont pas identiques. Les courants de phase I_{ph1}, I_{ph2} et I_{ph3} sont différents, leur somme vectorielle vaut toujours zéro et le déphasage entre eux n'est plus de 120 °.



Les tensions aux bornes des trois impédances Z_1, Z_2 et Z_3 ne sont plus identiques entre elles, ni égale à la tension de phase d'un système équilibré et leur déphasage entre elles n'est pas de 120 °.

Le potentiel du point étoile présente une différence par rapport à celui du conducteur neutre. La valeur de cette différence est d'autant plus importante que les valeurs des impédances sont différentes.

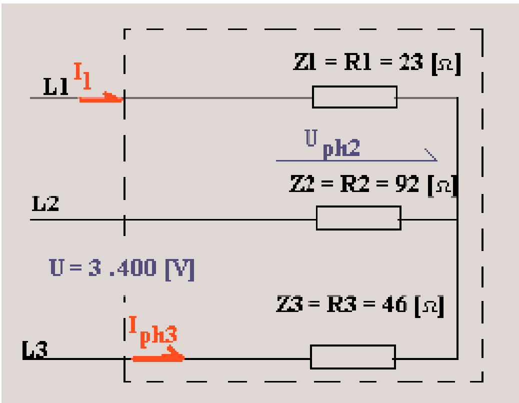
Le système vectoriel permet de déterminer les valeurs des nouvelles tensions de phase (selon l'exemple 1). La méthode décrite n'est utilisable que si les trois impédances provoquent le même angle de déphasage (Φ) courant-tension.

Exemple 1

Lors d'une intervention sur un tableau de distribution, l'électricien omet le raccordement du conducteur neutre d'un récepteur triphasé non équilibré.

a) déterminer les tensions aux bornes de chaque résistance

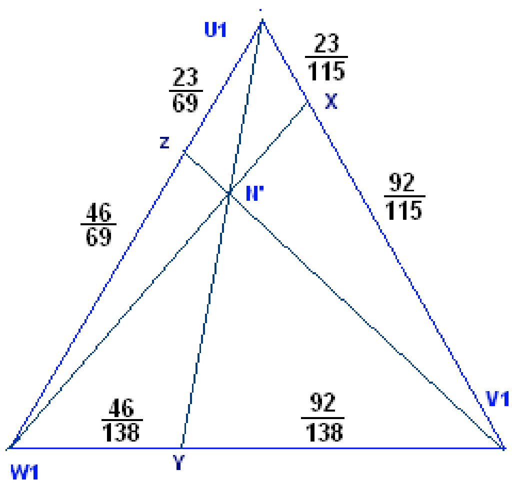
b) calculer l'intensité des courants qui les traverse



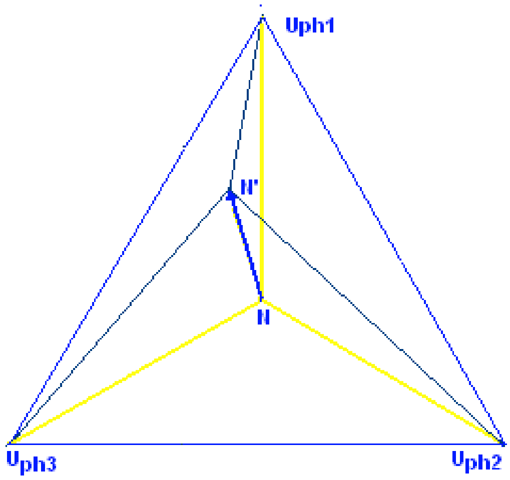
1) tracer le triangle des vecteurs tension de ligne

2) partager U1-V1 proportionnellement aux valeurs des résistances raccordées entre U1 et V1 et noter ce point X ;
partager V1-W1 proportionnellement aux valeurs des résistances raccordées entre V1 et W1 et noter ce point Y;
partager W1-U1proportionnellement aux valeurs des résistances raccordées entre W1 et U1 et noter ce point Z ;

3) relier les points X, Y et Z aux sommets opposés.



L'intersection de ces trois droites détermine la position du point étoile N' (qui n'est plus au même potentiel que le conducteur neutre).
De ce point neutre N' les trois vecteurs tensions aboutissant aux sommets du système triphasé représentent les tensions aux bornes des résistances.



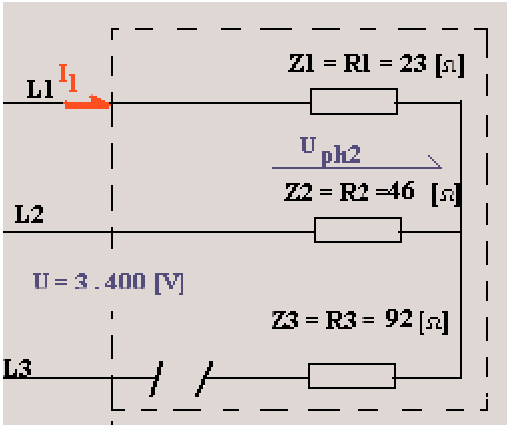
U'_{ph1} = 150 [V]
U'_{ph2} = 300 [V]
U'_{ph3} = 260 [V]

Intensité des courants dans les résistances :

$\vec{I'}_{ph1} = U_{ph1} / Z_1 = 150 / 23 = 6{,}52$ [A]
$\vec{I'}_{ph2} = U_{ph2} / Z_2 = 300 / 92 = 3{,}26$ [A]
$\vec{I'}_{ph3} = U_{ph3} / Z_3 = 260 / 46 = 5{,}65$ [A]

Exemple 2

Dans le montage ci-contre, calculer l'intensité dans les conducteurs L1 et L2 ainsi que la tension aux bornes de R_1 et de R_2.



Solution 1 :

On constate que les deux résistances sont en série sous la tension du réseau le circuit est donc monophasé.

$Z = R_1 + R_2 = 23 + 46 = 69\ [\Omega]$

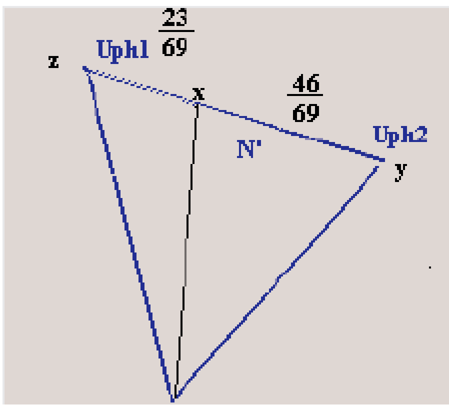
$I_1 = U / Z = 400 / 69 =$ **5,797 [A]**

$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 23 \cdot 5{,}797 =$ **133,3 [V]**

$U_2 = U - U_2 = 400 - 133{,}3 =$ **266,7 [V]**

Solution 2 :

Les points Y et Z sont superposés aux sommets. Les deux droites reliant Y et Z aux sommets opposés sont superposées. Il n'y a donc que le côté U1-V1 qui est partagé en deux.

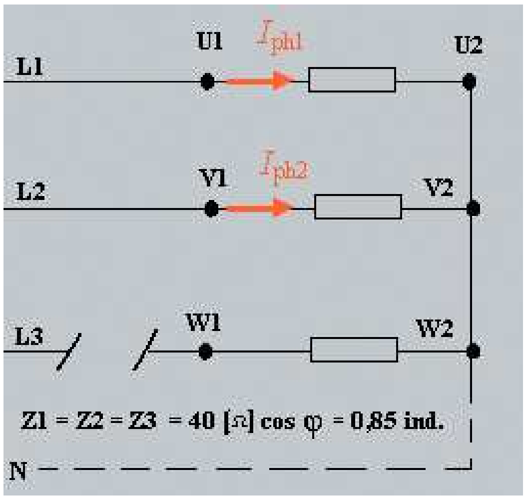


U'_{ph1} = **133 [V]**, U'_{ph2} = **267 [V]**

$I_1 = I_2 = U'_{ph1} / Z_1 = 133 / 23 =$ **5,78[A]**

11.7 Coupure d'un fils d'alimentation (récepteur étoile équilibré)

11.7.1 Avec conducteur neutre :



a) calculer la puissance active totale avant la coupure du conducteur L3

b) calculer la puissance active totale après la coupure du conducteur L3

a) puissance active totale avant la coupure

$I_{ph} = U_{ph} / Z$ = 230 / 40= 5,75 [A]

$P = 3 \cdot U_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos\Phi = 3 \cdot 230 \cdot 5,75 \cdot 0,85 =$ **3,372 [kW]**

b) puissance active totale après la coupure

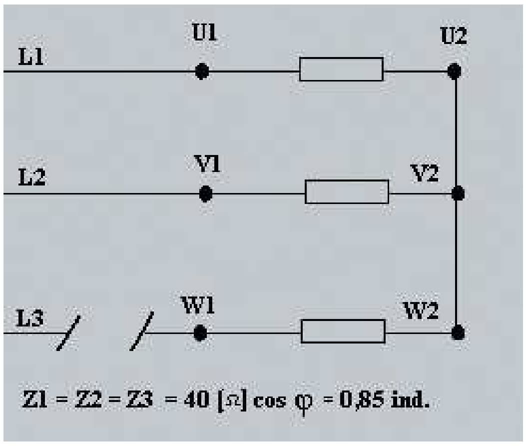
$I_{ph1} = I_{ph2} = = U_{ph} / Z$ = 230 / 40= 5,75 [A]

$P_{ph1}=P_{ph2} = U_{ph1} \cdot I_{ph1} \cdot \cos\Phi_1 = 230 \cdot 5,75 \cdot 0,85=1,124$ [kW]

$P = P_{ph1} + P_{p2} = 1,124 + 1,124 =$ **2,248 [kW]**

soit les 2/3 de $P_{nominal}$

11.7.2 Sans conducteur neutre :



a) calculer la puissance active totale avant la coupure du conducteur L3

b) calculer la puissance active totale après la coupure du conducteur L3

a) puissance active totale avant la coupure
idem qu'avec neutre : P = **3,372 [kW]**

b) puissance active totale après la coupure
c'est un circuit série :

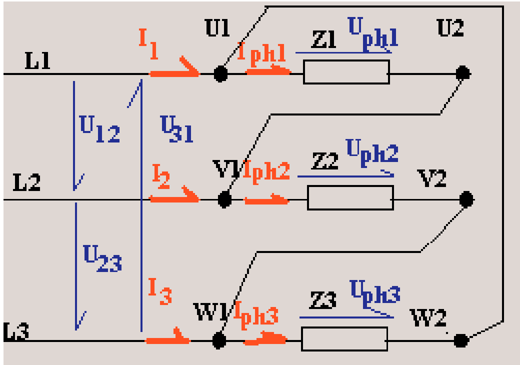
$I = U / (Z_1+Z_2)$= 230 / (40+40) = 5 [A]

$P = U \cdot I \cdot \cos\Phi = 400 \cdot 5 \cdot 0,85 =$ **1700 [W]**

soit la moitié de $P_{nominal}$

11.8 Récepteur triphasé équilibré couplé en triangle

11.8.1 Relation entre tensions de ligne et tensions de phase :



Chacune des impédances du récepteur est raccordée entre deux conducteurs polaires. Les tensions de phase ont donc la même valeur que les tensions de ligne.

$$U_{ph} = U \text{ [V]}$$

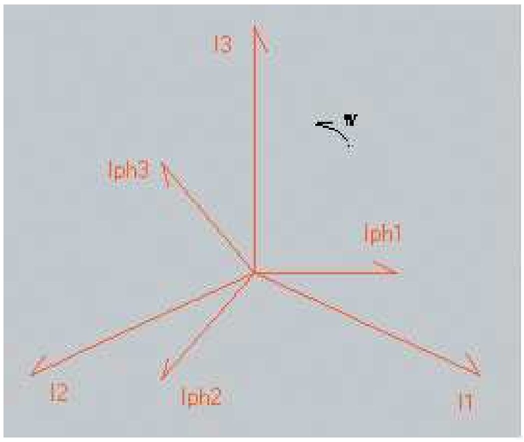
11.8.2 Relation entre courants de ligne et courants de phase:

Les courants de phases $\vec{I}_{ph}$ sont ceux qui traversent les impédances.

A chaque borne d'entrée, le courant de ligne se partage en deux courants de phase déphasée de 120 degrés.

Les courants ayant des directions et des sens différents,

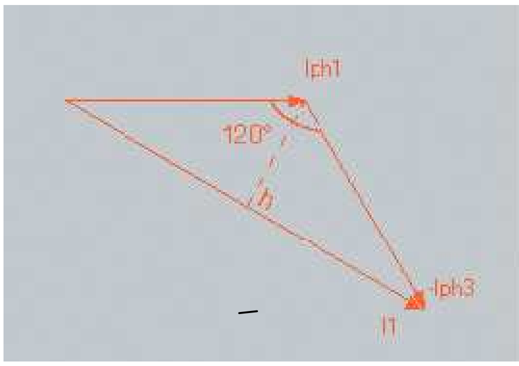
on parle de vecteur courant. Le courant de ligne est la différence entre les deux vecteurs courant de phase



$$\vec{I}_1 - \vec{I}_{ph1} + \vec{I}_{ph3} = 0 \text{ [A]}$$
$$\vec{I}_2 - \vec{I}_{ph2} + \vec{I}_{ph1} = 0 \text{ [A]}$$
$$\vec{I}_3 - \vec{I}_{ph3} + \vec{I}_{ph2} = 0 \text{ [A]}$$

d'où :

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_{ph1} - \vec{I}_{ph3}$$
$$\vec{I}_2 = \vec{I}_{ph2} - \vec{I}_{ph1}$$
$$\vec{I}_3 = \vec{I}_{ph3} - \vec{I}_{ph2}$$



Les 3 vecteurs forment un triangle isocèle. La hauteur h partage la base I et deux parties égales $I/2$. L'angle entre I_{ph} et $I/2$ est de 30 degrés.

La longueur de est :
$I / 2 = I_{ph} \cdot \cos 30$ [°]

comme I est 2 fois plus grand que $I / 2$:

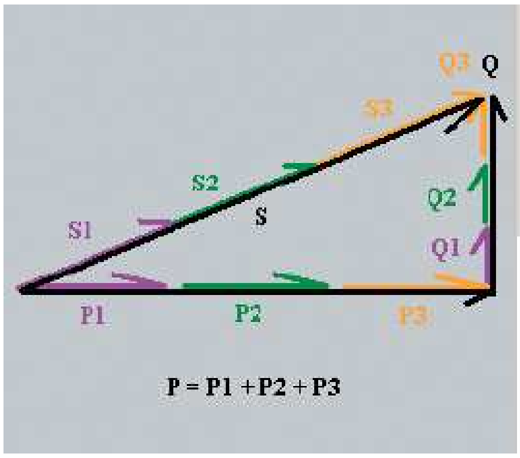
$I = 2 \cdot I/2 = 2 \cdot I_{ph} \cdot \cos 30 \text{ [°]} = I_{ph} \cdot 2 \cdot \cos 30 \text{ [°]} = I_{ph} \cdot 1{,}732$

$2 \cdot \cos 30$ [°] donne un nombre irrationnel qui vaut $\sqrt{3}$.
Donc la tension composée vaut : $\boldsymbol{I = I_{ph} \cdot \sqrt{3}}$

$$I = I_{ph} \cdot \sqrt{3}$$

11.8.3 Puissance d'un récepteur équilibré en triphasé

Dans un circuit équilibré (par exemple un moteur, un chauffe-eau), les trois impédances sont identiques, ainsi que leurs tensions aux bornes (U_{ph}).
Les courants de phases sont également identiques.
Donc les valeurs des puissances seront égales entre elles.



$$\boldsymbol{P = P_{ph1} + P_{ph2} + P_{ph3} = 3 \cdot P_{ph}}$$
$$\boldsymbol{Q = Q_{ph1} + Q_{ph2} + Q_{ph3} = 3 \cdot Q_{ph}}$$
$$\boldsymbol{S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}}$$

Le calcul des puissances par impédance se fait selon la théorie des circuits monophasés (fascicule 2).
La plupart du temps, il est plus facile de mesurer le courant de ligne et la tension de réseau. Le calcul des puissances devient :

$$P = 3 \cdot P_{ph}$$
$$P = 3 \cdot U_{ph} \cdot I_{ph} \cdot \cos \Phi$$
$$P = 3 \cdot U/\sqrt{3} \cdot I \cdot \cos \Phi = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \Phi / \sqrt{3}$$
$$\boldsymbol{P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \Phi}$$

Sans démonstration et par analogie, nous admettons les relations suivantes :

$$\boldsymbol{Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \Phi}$$
$$\boldsymbol{S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}}$$

$$\boxed{P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \Phi \quad [W]}$$

11.8.3.1 Formules

U tension réseau	[V]
I intensité du courant de ligne	[A]
Φ angle de déphasage	[°]
P puissance active triphasée	[W]
Q puissance réactive triphasée	[var]
S puissance apparente triphasée	[VA]

$$\boxed{Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin \Phi \quad [var]}$$

Note : Les formules sont les mêmes pour le couplage étoile
que pour le couplage triangle.

$$\boxed{S = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad [VA]}$$

Remarque

Pour raccorder un récepteur triphasé en triangle, il faut vérifier que sa tension de phase soit de 400V.

Lorsqu'il y a l'indication de deux tensions comme sur l'exemple à droite, la tension la plus basse est la tension de phase.

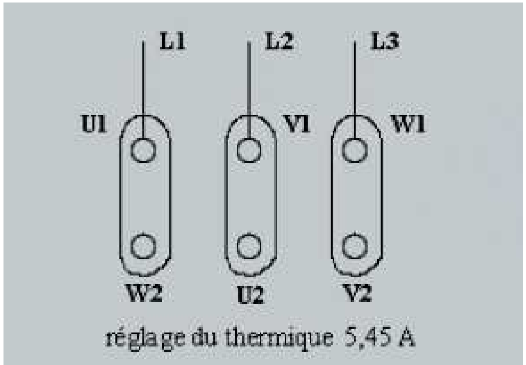
plaquette moteur

U: 400 / 690 V   Δ / Y
I : 5,45 / 9,43 A
P : 5   kW
cos Φ : 0,8

Exemple 1

Un moteur triphasé absorbe au réseau une puissance de 2,8 kW sous 3*400 V - 50 Hz, cos Φ = 0,85. Ses enroulements sont couplés en triangle.

Raccordement de ce moteur en 3 x 400 V



Calculez :
a) la tension aux bornes de chaque enroulement ;
b) l'intensité du courant de ligne ;
c) l'intensité du courant dans chaque enroulement ;
d) la puissance réactive.

Solution 1 : formules générales

a)
$Uph = U =$ **400 [V]**

b)
$$I = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi}$$
$$= \frac{2800}{400 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}85} = \mathbf{4{,}76\ [A]}$$

c)
$$I_{ph} = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{4{,}76}{\sqrt{3}} = \mathbf{2{,}66\ [A]}$$

d)
$\sin\varphi = \sin(\arccos 0{,}85) = 0{,}526$ [ ]

$Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin\varphi$
$= 400 \cdot 4{,}76 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}526 = 1730$ [var]
soit **1,73 [kvar] inductif**

Solution 2 : passage en monophasé

$$P_{ph} = \frac{P}{3} = \frac{2800}{3} = 933\ [W]$$

a)
$U_{ph} = U =$ **400 [V]**

b) + c)
$$I_{ph} = \frac{P_{ph}}{U_{ph} \cdot \cos\varphi} = \frac{933}{400 \cdot 0{,}85} = \mathbf{2{,}74\ [A]}$$

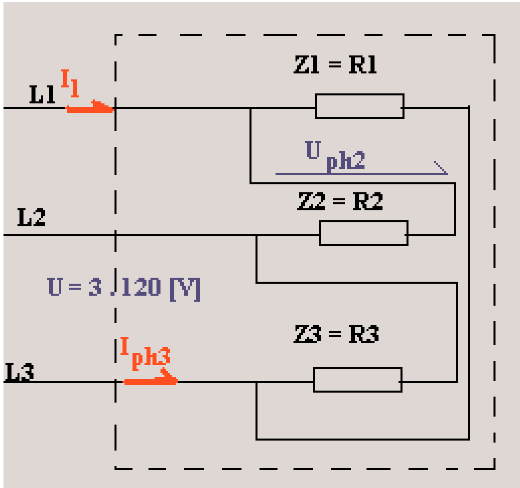
$$I = I_{ph} \cdot \sqrt{3} = 2{,}74 \cdot \sqrt{3} = \mathbf{4{,}75\ [A]}$$

d)
$\sin\varphi = \sin(\arccos 0{,}85) = 0{,}526$ [ ]

$Q = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \sin\varphi$
$= 400 \cdot 4{,}75 \cdot 1{,}73 \cdot 0{,}526 = 1730$ [var]
soit **1,73 [kvar] inductif**

Exemple 2

Trois résistances (R_1 = R_2 = R_3 = 25 Ω) sont couplées en triangle et raccordées sous 3 · 120 V. Calculez la tension de phase, l'intensité du courant de ligne et la puissance active.



impédance : $Z = (R \text{ et } \Phi = 0°)$

tension de phase : $U_{ph} = U = \mathbf{120\ [V]}$

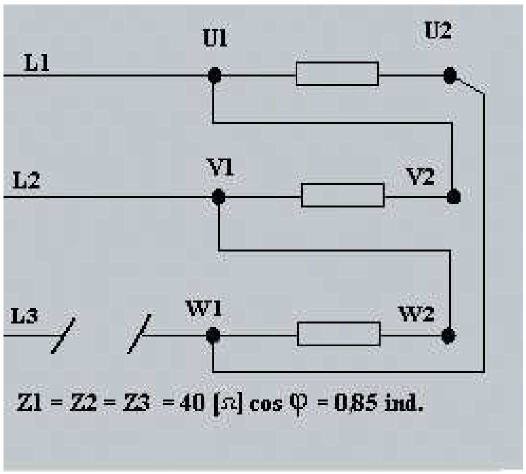
Intensité de ligne :
$I_{ph} = U_{ph} / Z = 120 / 25 = 4{,}8$ [A]
$I = I_{ph} \cdot \sqrt{3} = 4{,}8 \cdot 1{,}73 = \mathbf{8{,}30\ [A]}$

Puissance active :
soit : $P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\Phi = 120 \cdot 8{,}3 \cdot 1{,}73 \cdot 1$
$= \mathbf{1720\ [W]}$
soit : $P = 3 \cdot Uph \cdot Iph \cdot \cos\Phi = 3 \cdot 120 \cdot 4{,}8 \cdot 1$
$= \mathbf{1730\ [W]}$

Remarque

A impédances identiques, le couplage triangle est trois fois plus puissance que le couplage étoile.

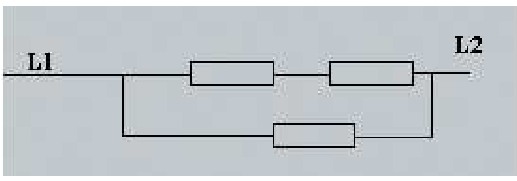
Rupture d'un fil d'alimentation :



a) calculer la puissance active totale avant la coupure du conducteur L3

b) calculer la puissance active totale après la coupure du conducteur L3

a) $P = 3 \cdot U_{ph}^2 / Z \cdot \cos\Phi$
$= 3 \cdot 400^2 / 25 \cdot 0{,}85 = \mathbf{10{,}20\ [kW]}$



b) Il s'agit d'un couplage monophasé :
$Z_{équi} = Z1 + (Z2^{-1} + Z3^{-1})^{-1} = 26{,}67[\Omega]$

$P = U^2 / Z_{équi} \cdot \cos\Phi = 400 / 26{,}67 \cdot 0{,}85 = \mathbf{5100\ [W]}$

soit la moitié de $P_{nominale}$

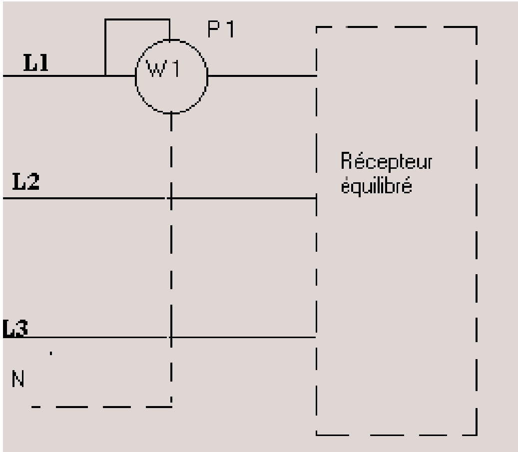
11.9 Mesure de la puissance active en triphasé

11.9.1 Méthode pour récepteurs équilibrés

La puissance *P*, indiquée par le wattmètre est celle d'une phase, pour connaître la puissance totale active, il faut multiplier cette valeur par trois.

$$P = 3 \cdot P_1 \text{ [W]}$$

Si le point neutre n'est pas accessible, il faut le créer à l'aide de trois résistances équivalentes couplées en étoile, l'une d'entre elle étant celle du circuit tension du wattmètre.

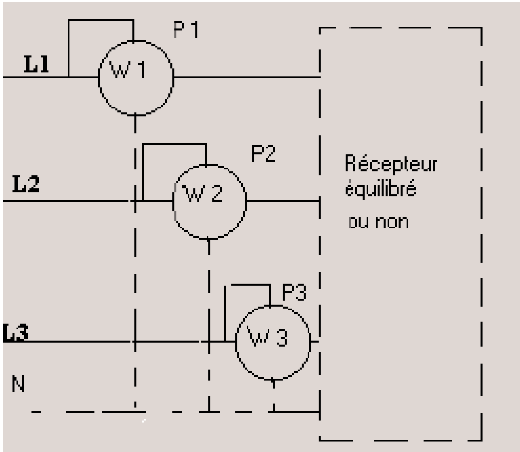


11.9.2 Méthode générale

Chaque wattmètre indique la puissance d'une phase. La puissance triphasée est la somme arithmétique des puissances lues sur chaque wattmètre.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \text{ [W]}$$

Si le point neutre n'est pas accessible, il faut relier en étoile les 3 sorties des circuits tension des wattmètres, ceux-ci devant avoir la même résistance.

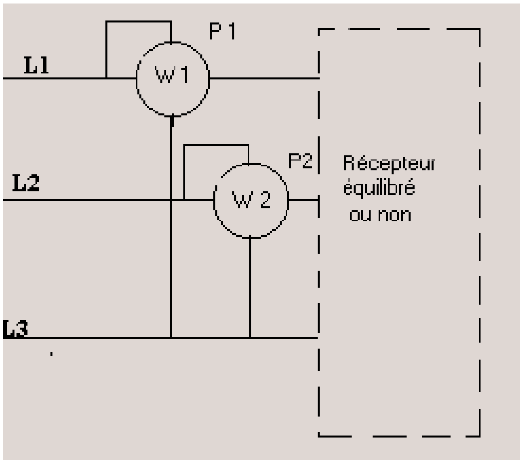


11.9.3 Méthode des 2 wattmètres

Cette méthode permet de mesure la puissance triphasée d'un circuit quelconque avec ou sans neutre.

$$P = P_1 + P_2 \text{ [W]}$$

Remarques : Selon le facteur de puissance du circuit mesuré, il se peut qu'un des wattmètres dévie en sens contraire. Dans ce cas, il faut inverser les connexions du circuit tension et soustraire la valeur lue de celle de l'autre appareil de mesure.

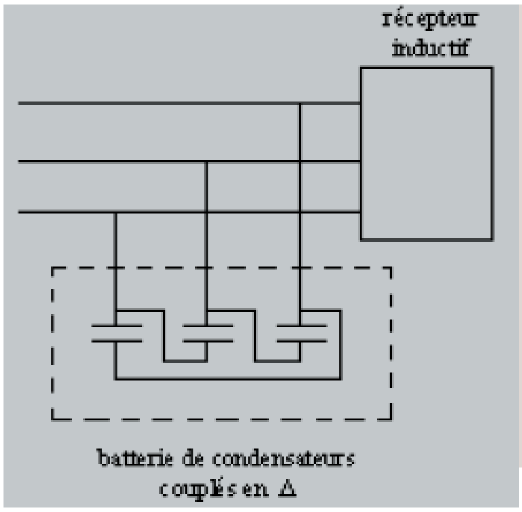


11.10 Amélioration du facteur de puissance

11.10.1 Généralités

Rappel
Le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active et la puissance apparente d'un circuit. Le facteur de puissance est assimilable au cosinus de l'angle φ (déphasage courant-tension) si les courants et les tensions sont de forme sinusoïdale.

En triphasé, l'amélioration du facteur de puissance s'effectue au moyen d'une batterie de condensateurs centralisée (batterie de compensation). La puissance réactive que doit fournir la batterie de compensation est calculée de la même façon qu'en monophasé. La batterie est composée de trois condensateurs fournissant chacun un tiers de la puissance réactive capacitive



Dans le cas particulier de réseau, on peut faire fonctionner un moteur synchrone en surexcitant son rotor pour produire de la puissance réactive.

L'amélioration du facteur de puissance tend idéalement à lui donner une valeur proche de 1. En pratique, on se
contente d'une valeur proche de 0,9 (inductif).

Les batteries de compensations sont munies de régulateurs qui permettent d'adapter les besoins d'énergie réactive capacitive en alimentant de façon successivement les différents échelons de la batterie. Plus le nombre d'échelons est grand, plus le réglage est fin.

11.10.2 Avantages de l'amélioration du facteur de puissance

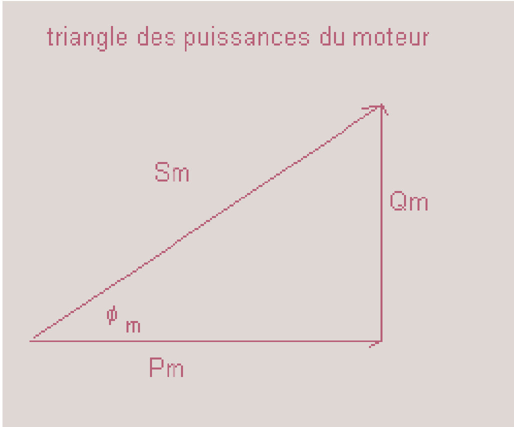
Pour les sources de tension, à puissance apparente égale, la puissance active soutirée peut être plus grande avec un facteur de puissance proche de 1.
Pour un circuit inductif, le courant dans la ligne sera plus petit (donc les pertes en ligne aussi) si on y améliore le facteur de puissance.
Il arrive que les distributeurs facturent l'énergie réactive (usine).

La puissance des transformateurs ou des alternateurs est toujours exprimée en VA

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi}$$

11.10.3 Calcul de la capacité des condensateurs

Pour le calcul de la capacité des condensateurs, il faut d'abord déterminer la puissance réactive à fournir au total, puis par condensateur.



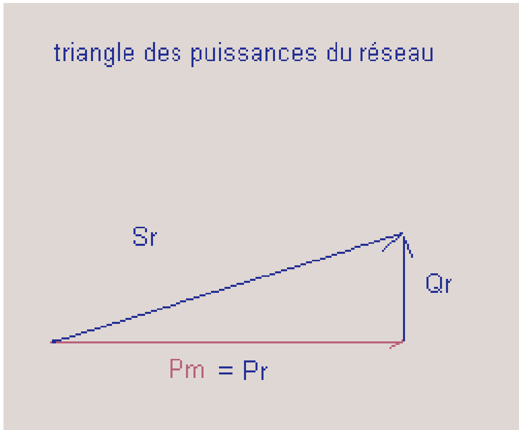
Exemple:
Un moteur triphasé absorbe un courant de 85 A et crée un déphasage de 50 degrés. Calculer la valeur de la capacité des condensateurs à brancher en triangle pour avoir un facteur de puissance de 0,9 au réseau.

Grandeurs utilisées :

P_m puissance active du moteur [W]
S_m puissance apparente du moteur [VA]
Q_m puissance réactive du moteur [var]
Φ_m facteur de puissance du moteur

P_r puissance active du réseau [W] (= P_m)
S_r puissance apparente du réseau [VA]
Q_r puissance réactive du réseau [var]
Φ_r facteur de puissance du réseau

Q_b puissance réactive de la batterie de comp. [var]
Q_c puissance réactive d'un condensateur [var]
X_c réactance de capacité d'un condensateur
C capacité de chaque condensateur



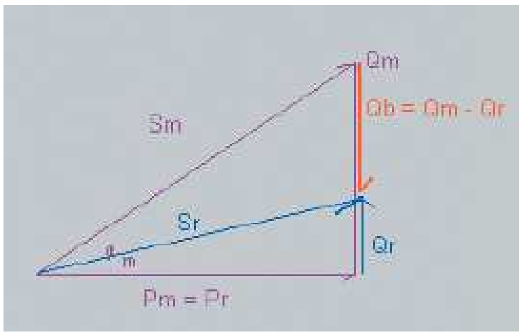
Calculs

$P_m = U \cdot I \cdot \cos\Phi_m \cdot \sqrt{3}$
$= 400 \cdot 85 \cdot 0{,}6428 \cdot 1{,}732 = 37{,}85$ [kW]
$Q_m = P_m \cdot \operatorname{tg}\Phi_m = 37{,}85 \cdot 1{,}192 = 45{,}12$ [kvar]

$P_r = P_m = 37{,}85$ [kW]
$Q_r = P_r \cdot \operatorname{tg}\Phi_r = 37{,}85 \cdot 0{,}4843 = 18{,}33$ [kvar]

$Q_b = Q_m - Q_r = 45{,}12 - 18{,}33 = 26{,}79$ [kvar]
$Q_c = Q_b / 3 = 26{,}79 / 3 = 8{,}930$ [kvar]

$X_c = U_c^2 / Q_c = U_{ph}^2 / Q_c = 400^2 / 8930 = 17{,}92$ [Ω]
$C = (2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c)^{-1} = 10^6 / (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 17{,}92)$
$=$ **177,6 [µF]**



note : $I_{réseau} = 60{,}70$ A