Volume 3

Tirage 4-mai-98

10 SYSTEME TRIPHASE

Le système triphasé fut présenté pour la première fois en 1893.

Le système triphasé offre plusieurs avantages :

C'est le système triphasé qui permet le transport du maximum d'énergie électrique avec le minimum de section des conducteurs de ligne. Pour une puissance transmise, la masse du cuivre des lignes pour le triphasé (3 conducteurs) est de :

50% plus économique comparé au monophasé

Le système triphasé permet d'établir dans les moteurs un **champ magnétique tournant**.

Un système monophasé permet d'obtenir qu'un **champ magnétique alternatif sinusoïdal**.

Dans les montages à redresseurs, le système triphasé a un taux d'ondulation nettement inférieur à celui du monophasé.

Ce système permet de coupler les 3 phases (L_1 L_2 L_3) d'un alternateur ou d'une association de 3 récepteurs de deux façons :

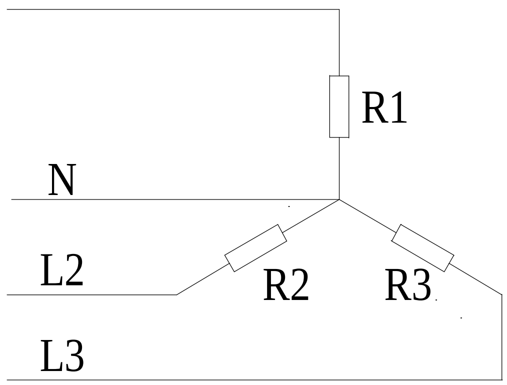


Figure 10.1-1 Couplage étoile

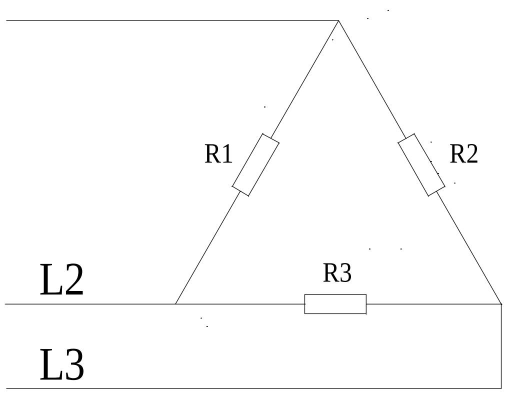
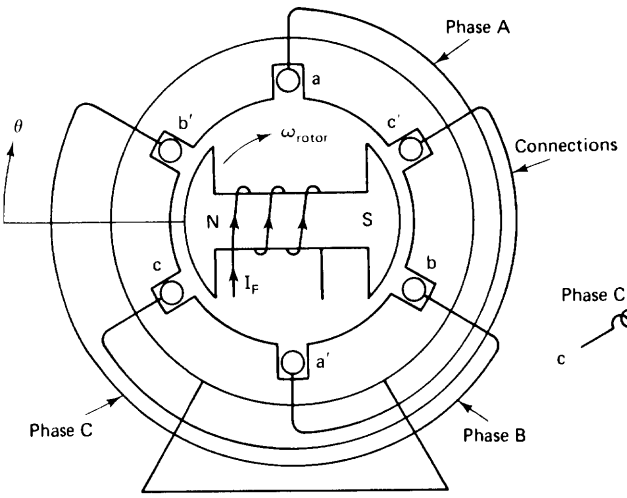
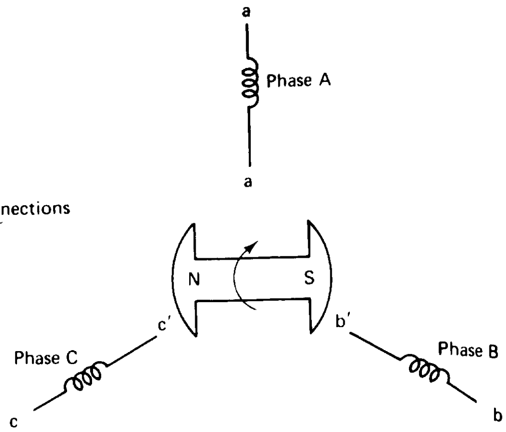


Figure 10.1-2 Couplage triangle

10.1 Caractéristiques d'un système triphasé

On peut constituer un système triphasé avec trois alternateurs monophasés qui seraient montés sur le même axe mais décalés de 120° l'un par rapport à l'autre. Ils fourniraient chacun une tension de fréquence identique mais déphasée entre elles d'un angle de 120°. Les tensions possèdent la même valeur de crête Û. Mais il est plus simple de disposer sur la même machine trois enroulements partiels, décalés géométriquement de 120°.





10.2 Caractéristiques des tensions d'un alternateur triphasé

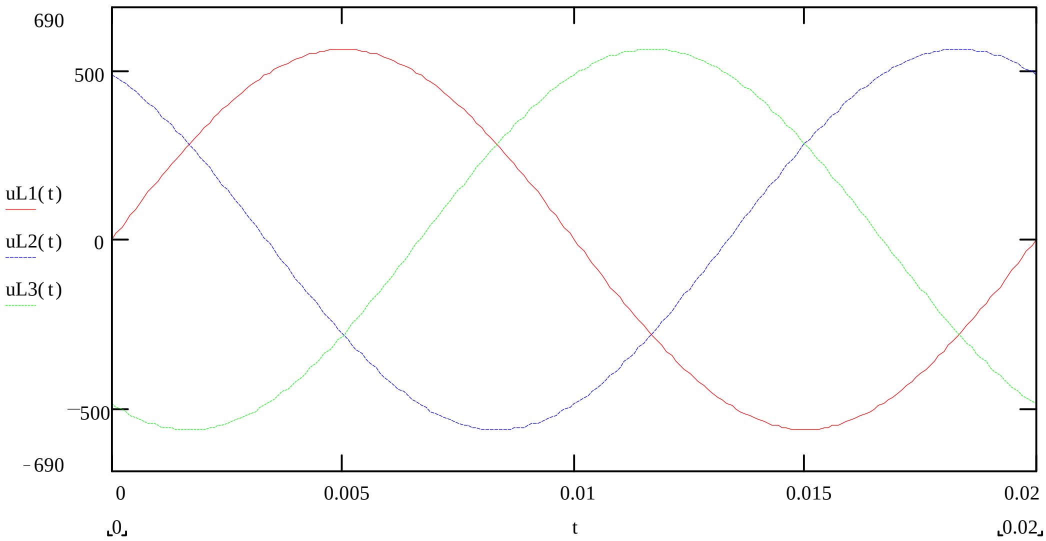
Les tensions d'un système triphasé sont définies par les équations suivantes :

$$uL1(t) := 400\sqrt{2}\cdot\sin(\omega\cdot t + 0)$$

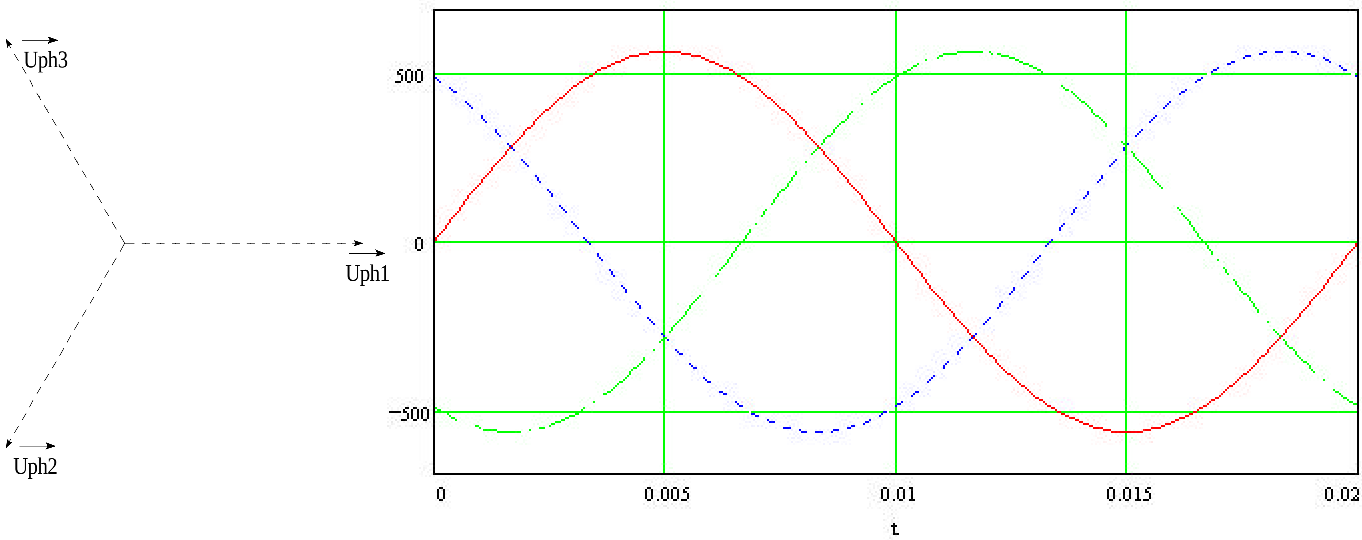
$$uL2(t) := 400\sqrt{2}\cdot\sin(\omega\cdot t + 120\,deg)$$

$$uL3(t) := 400\sqrt{2}\cdot\sin(\omega\cdot t + 240\,deg)$$

Ce qui permet de construire une représentation graphique en fonction du temps.



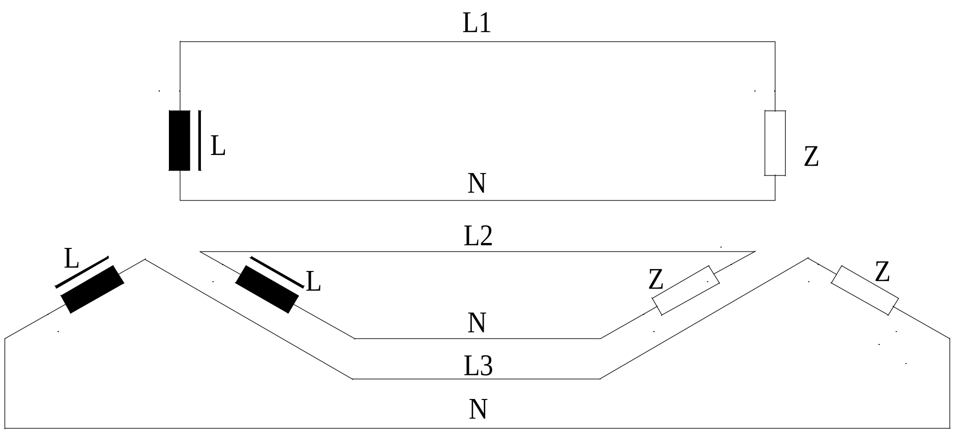
La **somme vectorielle** des trois tensions partielles ou la **somme algébrique** des tensions partielles instantanées, **EST NULLE**.



Les 2 représentations ci-dessus montrent les vecteurs avec leur décalage de 120 degrés entre eux et leur évolution dans le temps lorsque ils tournent dans le sens ω. Pour la construction détaillée, il faut se reporter au cours d'électrotechnique de deuxième année au chapitre « Alternatif monophasé ».

10.3 Montage en étoile :

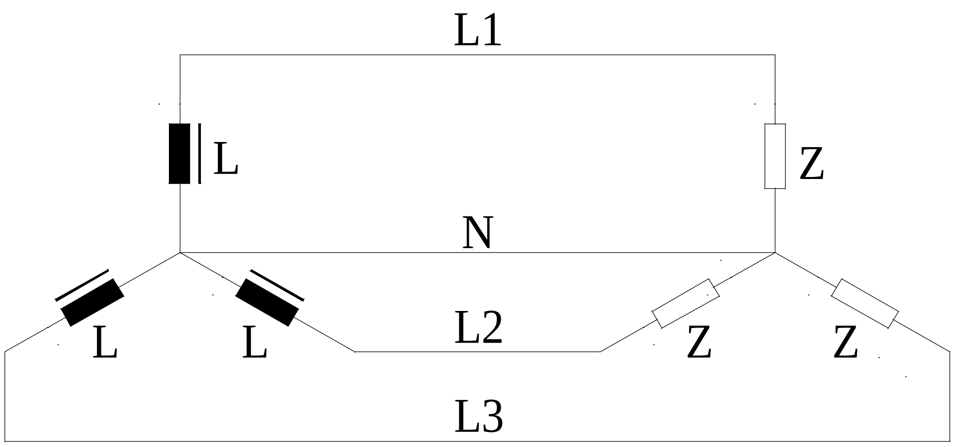
Générateur Récepteur



Si l'on relie entre eux les trois conducteurs de retour des trois circuits monophasés, le nouveau conducteur ainsi formé est appelé "**CONDUCTEUR DE NEUTRE OU D'EQUILIBRE**".

Le nombre de conducteurs est ramené de 6 à 4.

Générateur Récepteur



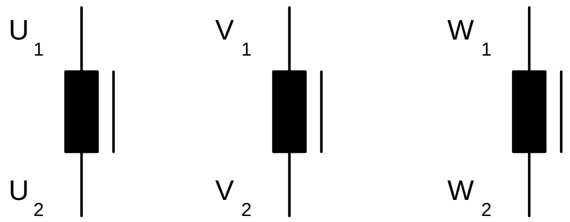
Ce mode de groupement des enroulements de l'alternateur ou des récepteurs est appelé montage en étoile ou "**COUPLAGE ETOILE**", indiqué ⅄ ou Y.
Le point commun aux trois enroulements de l'alternateur ou des trois récepteurs est appelé "**POINT ETOILE**". Ce point portera le nom de point NEUTRE lorsqu'un conducteur y est connecté.
Les trois autres conducteurs reliant le groupe récepteur au générateur sont appelés conducteur "**DE LIGNE ou CONDUCTEURS POLAIRES**".
On les repère par les trois lettres suivantes :

L_1 ; L_2; L_3; N pour le conducteur de neutre

10.3.1 Désignation des bornes

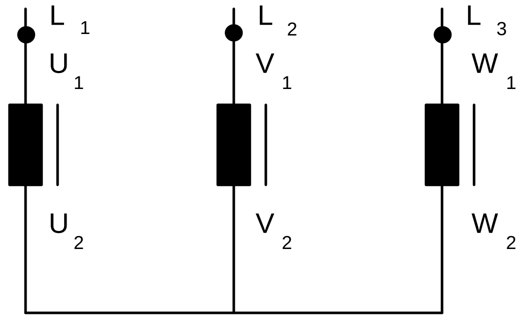
Les extrémités des enroulements de l'alternateur ou celles des récepteurs sont repérées par les lettres suivantes :

U_1 - U_2; V_1 - V_2; W_1 - W_2



10.3.2 Connexions des conducteurs de ligne soit aux bornes de l'alternateur, soit aux bornes des récepteurs

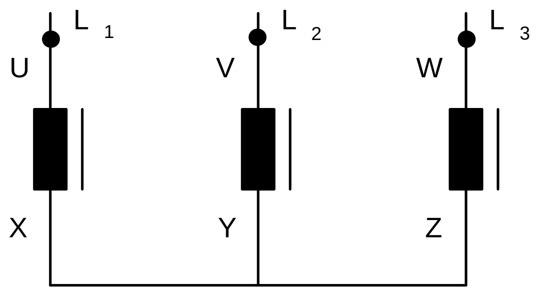
L_1 sur U_1; L_2 sur V_1; L_3 sur W_1; N sur le point étoile qui consiste à relier entre elles les bornes U_2 - V_2 - W_2.



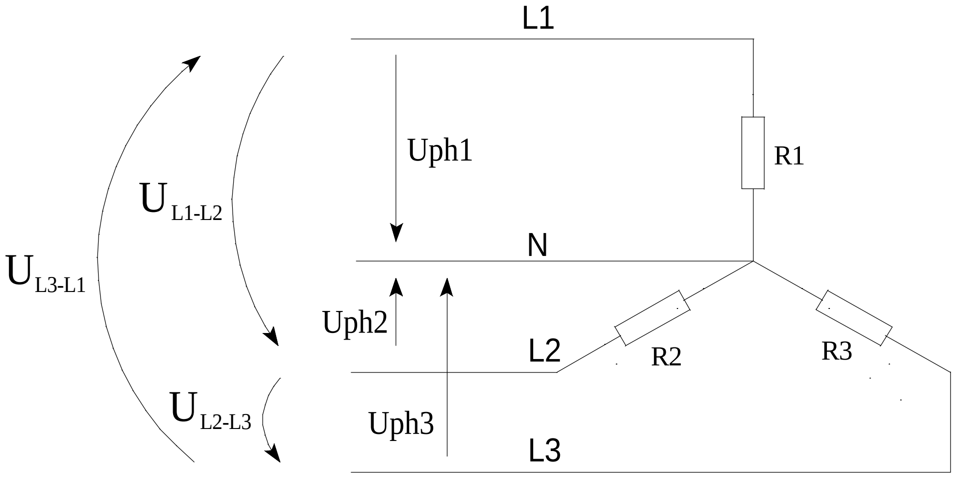
Document (historique)

On peut connecter un ancien moteur de la manière suivante :

L_1 (R) sur X; L_2 (S) sur Y; L_3 (T) sur Z; RST ancien L1 ;L2 ; L3 nouveau
N sur le point étoile qui consiste à relier entre elles les bornes X Y Z

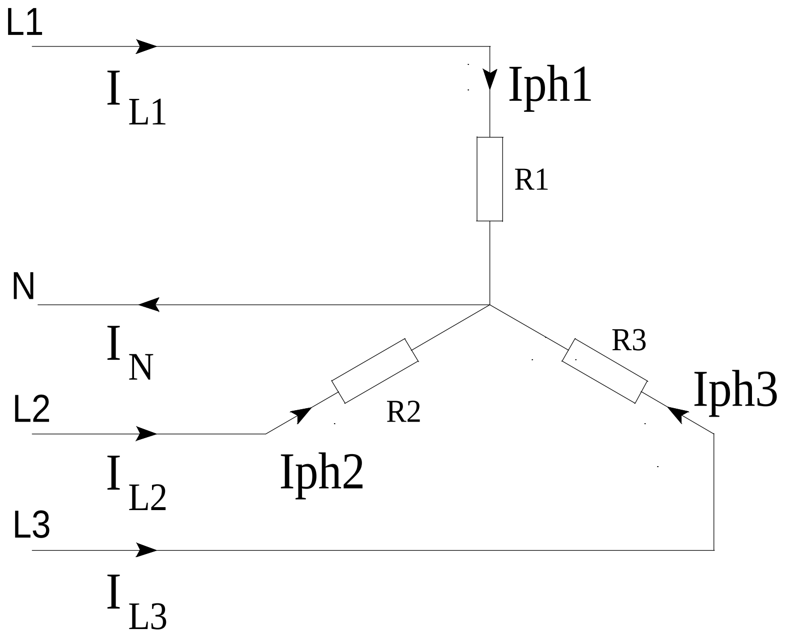


10.4 Désignation des différentes tensions et différents courants en triphasé



La tension U_{ph1} ou U_{ph2} ou U_{ph3} aux bornes de chaque récepteur ou aux bornes de chaque enroulement de l'alternateur est appelée "**TENSION SIMPLE ou DE PHASE**".

La tension U_{L1-L2} ou U_{L2-L3} ou U_{L3-L1} (Notées aussi U_{12} U_{23} U_{31}) aux bornes de deux quelconques conducteurs de ligne est appelée "**TENSION COMPOSEE, DE LIGNE ou POLAIRE**".

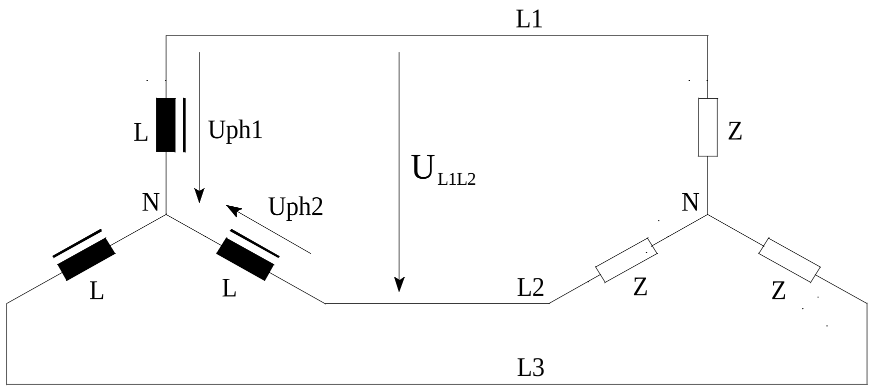


Le courant I_{ph1} ou I_{ph2} ou I_{ph3} parcourant chaque récepteur ou chaque enroulement de l'alternateur est appelé "**COURANT SIMPLE ou DE PHASE**".

Le courant I_{L1} ou I_{L2} ou I_{L3} parcourant chaque conducteur de ligne et appelé "**COURANT DE LIGNE ou POLAIRE**".

Le courant I_N parcourant le conducteur de neutre est appelé "**COURANT DE NEUTRE ou D'EQUILIBRE**".

10.5 Rapport entre tensions de ligne et de phase :



Par la loi des mailles de Kirchhoff, on peut écrire :

Equation 10.5-1 Loi de Kirchhoff en triphasé

$$\vec{U}_{L1L2} + \vec{U}_{ph2} - \vec{U}_{ph1} = 0 \;\Rightarrow \vec{U}_{L1L2} = \vec{U}_{ph1} - \vec{U}_{ph2}$$

Pour les autres tensions de lignes :

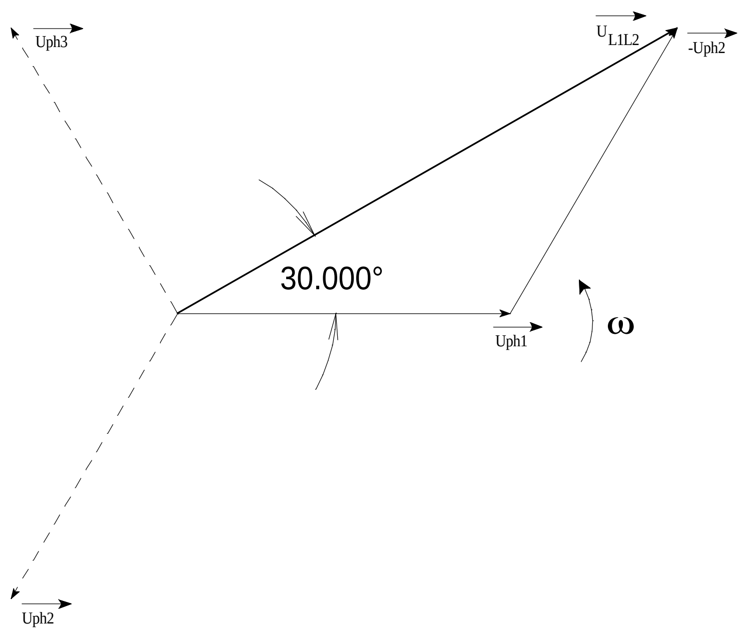
$$\vec{U}_{L2L3} + \vec{U}_{ph3} - \vec{U}_{ph2} = 0 \;\Rightarrow \vec{U}_{L2L3} = \vec{U}_{ph2} - \vec{U}_{ph3}$$

$$\vec{U}_{L1L3} + \vec{U}_{ph3} - \vec{U}_{ph1} = 0 \;\Rightarrow \vec{U}_{L1L3} = \vec{U}_{ph1} - \vec{U}_{ph3}$$

$$U_{L1L2} = U_{L2L3} = U_{L1L3}$$
$$U_{ph1} = U_{ph2} = U_{ph3}$$

Vectoriellement cette somme est la suivante, on voit que le vecteur résultant U_{12} est en avance de 30^{o} sur le vecteur $\vec{U}_{ph1}$est sa valeur est donnée par :

$$U_{12} = 2 \cdot (U_{ph1} \cdot \cos 30^{o}) = \sqrt{3} \cdot U_{ph1}$$
$$\text{car } \sqrt{3} = 2\cos(30°)$$



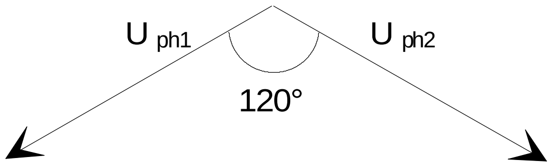
La tension de ligne U est égale à **la différence géométrique ou algébrique** des valeurs instantanées, de deux tensions de phase U_{ph}.

La tension de ligne U a pour valeur :

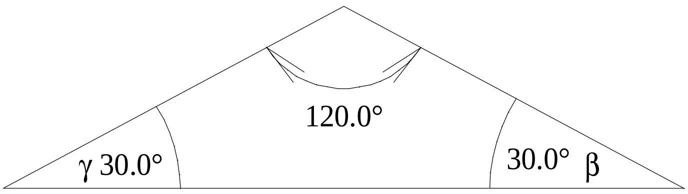
$$\boxed{U = U_{ph}\sqrt{3} \quad [V]}$$

10.5.1 Développement du facteur $\sqrt{3}$

On a constaté que la tension composée est $\sqrt{3}$ plus grande que la tension simple. Les vecteurs tension de phase sont déphasés de 120° électriques.



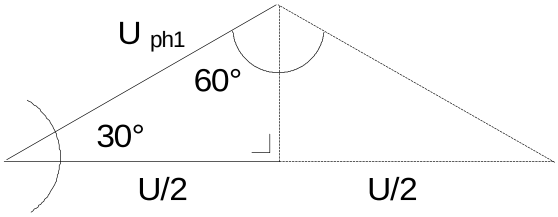
La résultante de ces 2 vecteurs représente la tension composée U.



On est en présence d'un triangle isocèle, dont la somme des angles est de 180°. La valeur des angles γ et β est de :

$$\gamma=\beta=\frac{(180°-120°)}{2}=30°$$

En traçant une bissectrice à l'angle de 120°, nous obtenons un triangle rectangle.



On peut appliquer les relations trigonométriques vues au chapitre 6.
U_{ph} constitue l'hypoténuse de notre triangle rectangle. On connaît la valeur de l'angle γ 30°.

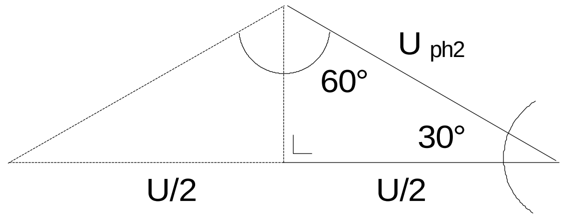
On cherche le côté adjacent par la relation :

$$\boxed{longueur_x = U_{ph} \cdot \cos \gamma°}$$

soit dans notre cas :

$$\frac{U}{2}=U_{ph_1}\cdot\cos 30°$$

On peut voir que nous possédons 2 triangles rectangles.



$$\frac{U}{2} = U_{ph_2} \cdot \cos 30°$$

On sait que $U_{ph_1} = U_{ph_2} = U_{ph}$.

La tension composée est :

$$\frac{U}{2} + \frac{U}{2} = \left(U_{ph_1} \cdot \cos 30°\right) + \left(U_{ph_2} \cdot \cos 30°\right)$$

soit :

$$2\frac{U}{2} = \left(U_{ph} \cdot \cos 30°\right) + \left(U_{ph} \cdot \cos 30°\right)$$

après résolution :

$$U = 2 \cdot U_{ph} \cdot \cos 30°$$

soit :

$$U = U_{ph} \cdot 2 \cos 30°$$

Mathématiquement, la valeur de 2 cos 30° est $\sqrt{3}$.

$$\boxed{U = U_{ph} \cdot \sqrt{3}\ [V]}$$

Exercice 1

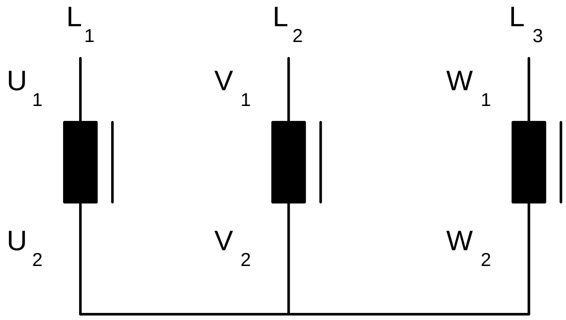
Contrôler à l'aide de votre calculatrice la relation ci-dessous :

$$2 \cos 30° = \sqrt{3}$$

Exercice 2

La tension d'un alternateur couplé en Y est de 20 [kV]. Calculer la tension de phase. Calculer la tension aux bornes W1 . W2 de l'alternateur.

10.5.2 Récepteurs couplés en étoile :



10.5.2.1 Système équilibré

Dans un couplage étoile d'un système équilibré, c'est-à-dire où les trois récepteurs ont les mêmes impédances, avec ou sans conducteur de neutre, la tension de phase U_{ph} aux bornes de chaque récepteur a pour valeur :

$$\boxed{U_{ph} = \frac{U}{\sqrt{3}} \; [V]}$$

10.5.3 Rapport entre courants de ligne et de phase

Dans un couplage étoile d'un système équilibré ou non, le courant de ligne $\mathbf{I}$ est égale au courant de phase $\mathbf{I}_{ph}$.

$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_{ph1}$

$\mathbf{I}_2 = \mathbf{I}_{ph2}$

$\mathbf{I}_3 = \mathbf{I}_{ph3}$

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

10.6 Courant de neutre I_N

Détermination vectorielle du courant de neutre

10.6.1 Récepteurs ohmiques (corps de chauffe)

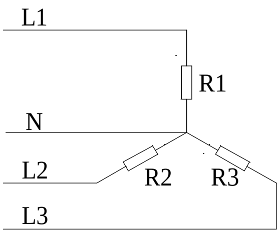


Figure 10.6-1 Récepteurs ohmiques en étoile

3 récepteurs de même valeur ohmique. R1 = R2 = R3

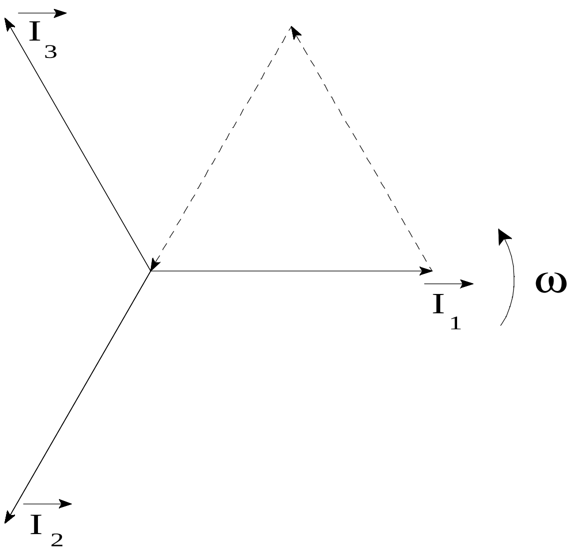


Figure 10.6-2 Représentation vectorielle

Equation 10.6-1 Addition vectorielle

$$-\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$

$$\left|\vec{I}_N\right| = 0\ [A]$$

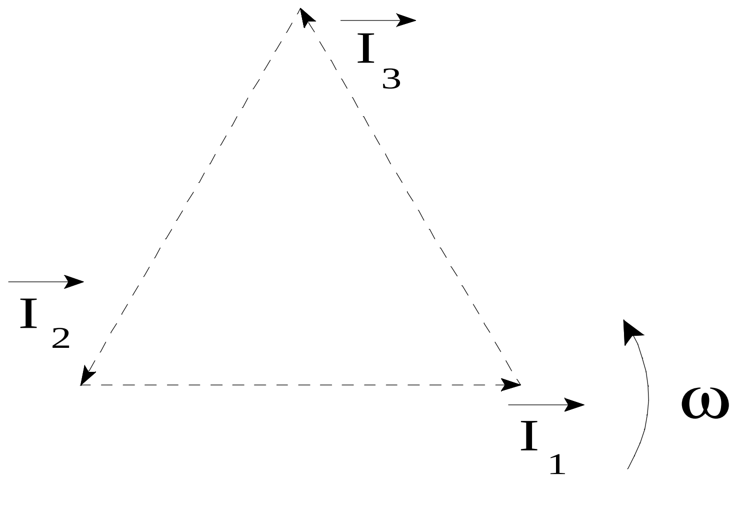
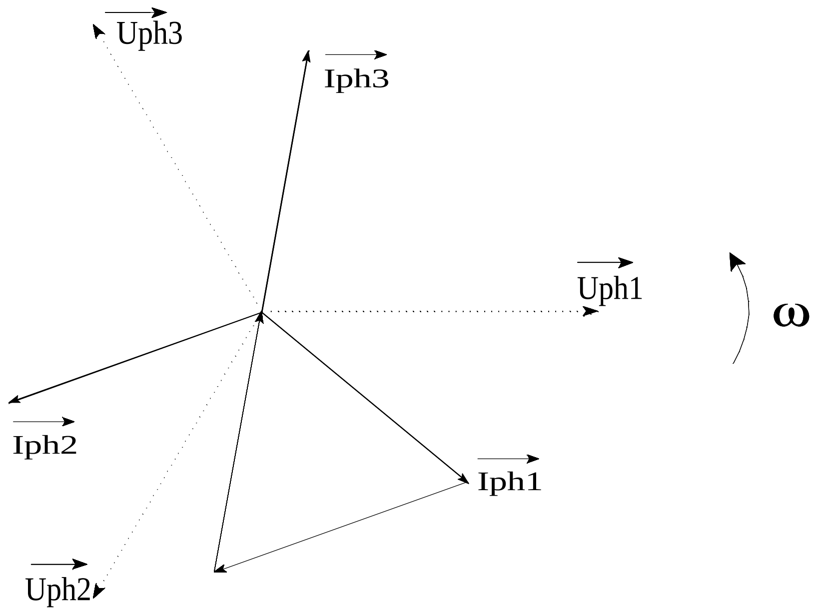


Figure 10.6-3 Addition vectorielle

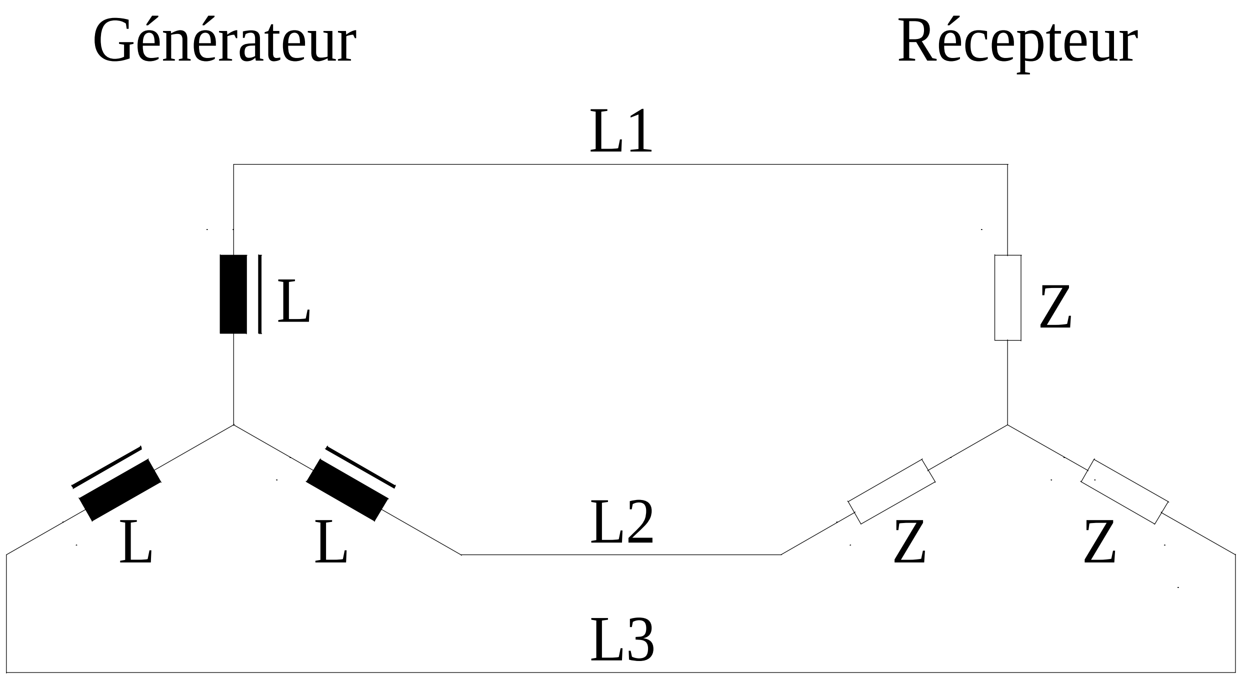
10.6.2 Récepteurs ohmiques-inductifs (enroulements de moteurs)



$$-\vec{I}_N = \vec{I}_{ph1} + \vec{I}_{ph2} + \vec{I}_{ph3}$$

$$\left|\vec{I}_N\right| = 0\ [A]$$

Dans un couplage étoile équilibré, le courant de neutre I_N est égal à la **somme soit géométrique soit des valeurs instantanées** des courants de lignes, **EST NULLE**. On peut dans ce cas supprimer le conducteur de neutre. Le système triphasé est ramené à 3 conducteurs.



Exercice 3

Un radiateur triphasé, purement ohmique, est alimenté par un réseau U = 400 [V] avec trois conducteurs polaires et un conducteur neutre. Ce radiateur est couplé en Y. La résistance de chaque corps de chauffe est de 140 [Ω]. Calculer le courant de phase.

10.6.3 Système non équilibré

Neutre établi

La tension de phase U_{ph}, est imposée aux récepteurs par l'intermédiaire du conducteur de neutre.

Important :

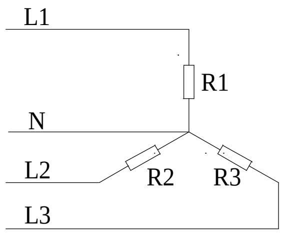
Grâce au conducteur de neutre, la tension aux bornes de chaque récepteur différent les uns des autres, est maintenue à :

$$U_{ph} = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad [V]$$

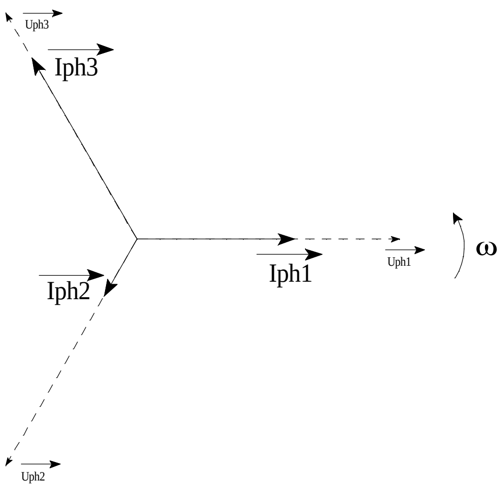
Courant de neutre I_N

Détermination vectorielle du courant de neutre

10.6.4 Récepteurs ohmiques



3 récepteurs de valeur ohmique différente. R1 ≠ R2 ≠ R3



Equation 10.6-2 Somme vectorielle

$$-\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$

$$\left|\vec{I}_N\right| \neq 0\ [A]$$

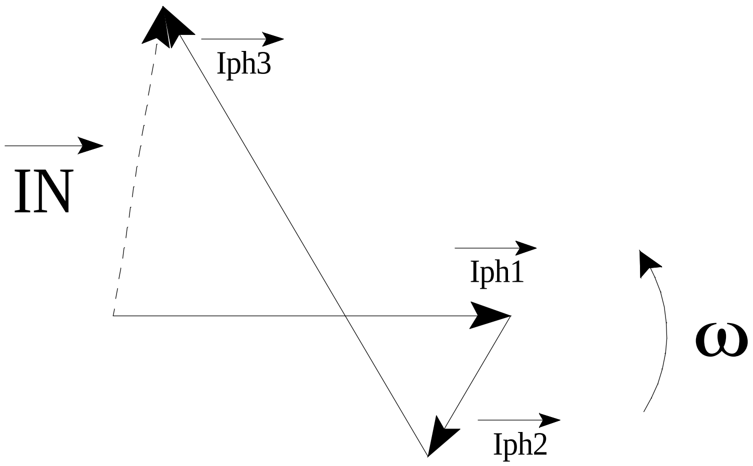
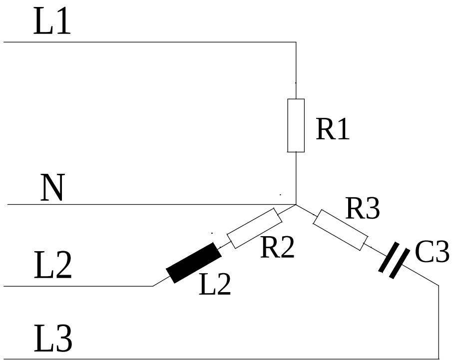
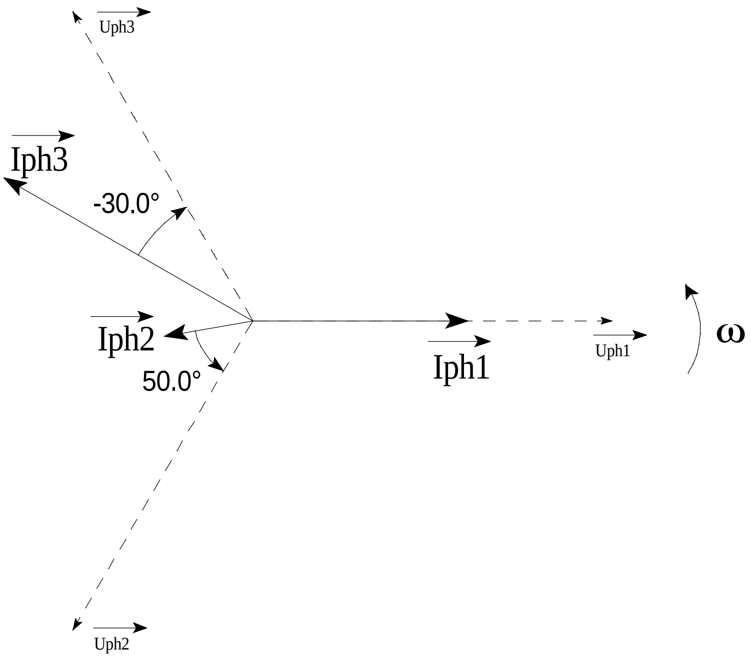


Figure 10.6-1 Addition vectorielle

10.6.5 Récepteurs ohmique, ohmique-inductif, ohmique-capacitif





$$-\vec{I}_N = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$$

$$\left|\vec{I}_N\right| \neq 0\,[A]$$

Figure 10.6-1 Dispostion vectorielle

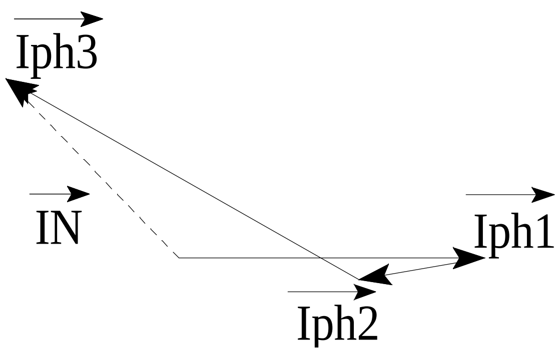
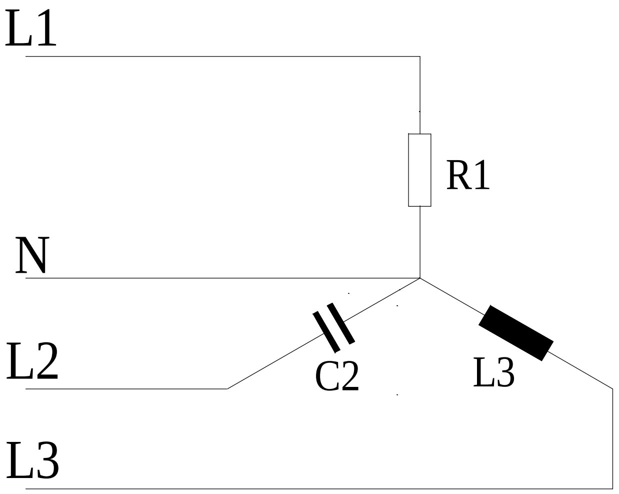


Figure 10.6-2 Addition vectorielle

comme dans un système équilibré, couplage étoile trois fils, dans un couplage étoile quatre fils, la **somme vectorielle ou algébrique** des valeurs instantanées, des courants de ligne et de neutre, **EST NULLE**.

10.6.6 Exemple :

Calculer le courant dans le conducteur neutre du montage suivant :



$U_{Ph} = 230\,[V]$

$f = 50\,[Hz]$

$R1 = 100\,[\Omega]\langle 0^{o}$

$C2 = 50\,[\mu F]\langle -90^{o}$

$L3 = 100\,[mH]\langle +90^{o}$

Cherchons le courant de phase I_{Ph1} :

$$I_{Ph1} = \frac{U_{Ph}}{R1}\ [A]$$

Le courant I_{Ph1} est en phase avec la tension U_{ph1}

Cherchons le courant de phase I_{ph_2} :

$$I_{ph_2} = \frac{U}{Z} = \frac{U}{X_C}\ [A]$$

Le courant I_{ph_2} est déphasé de 90° en avance par rapport à la tension U_{ph_2}

Cherchons le courant de phase I_{ph_3}

$$I_{ph_3} = \frac{U}{Z} = \frac{U}{X_L}\ [A]$$

Le courant I_{ph_3} est déphasé de 90° en retard par rapport à la tension U_{ph_3}

Application numérique :

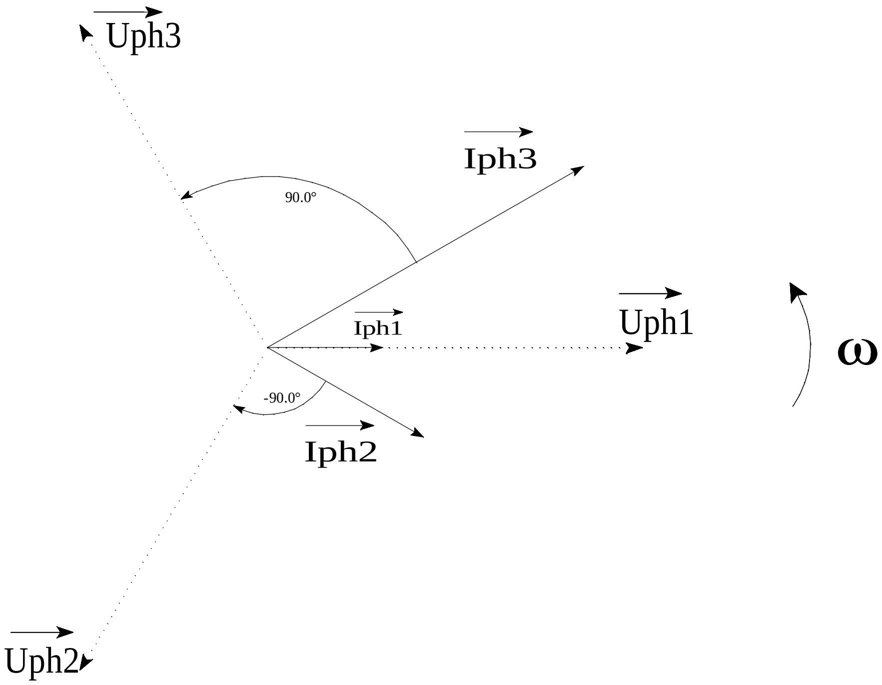
$R = 100\ [\Omega]$ $I_{Ph1} = 2{,}3\ [A]$

$X_C = 63{,}6\ [\Omega]$ $I_{Ph2} = 3{,}6\ [A]$

$X_L = 31{,}4\ [\Omega]$ $I_{Ph3} = 7{,}3\ [A]$

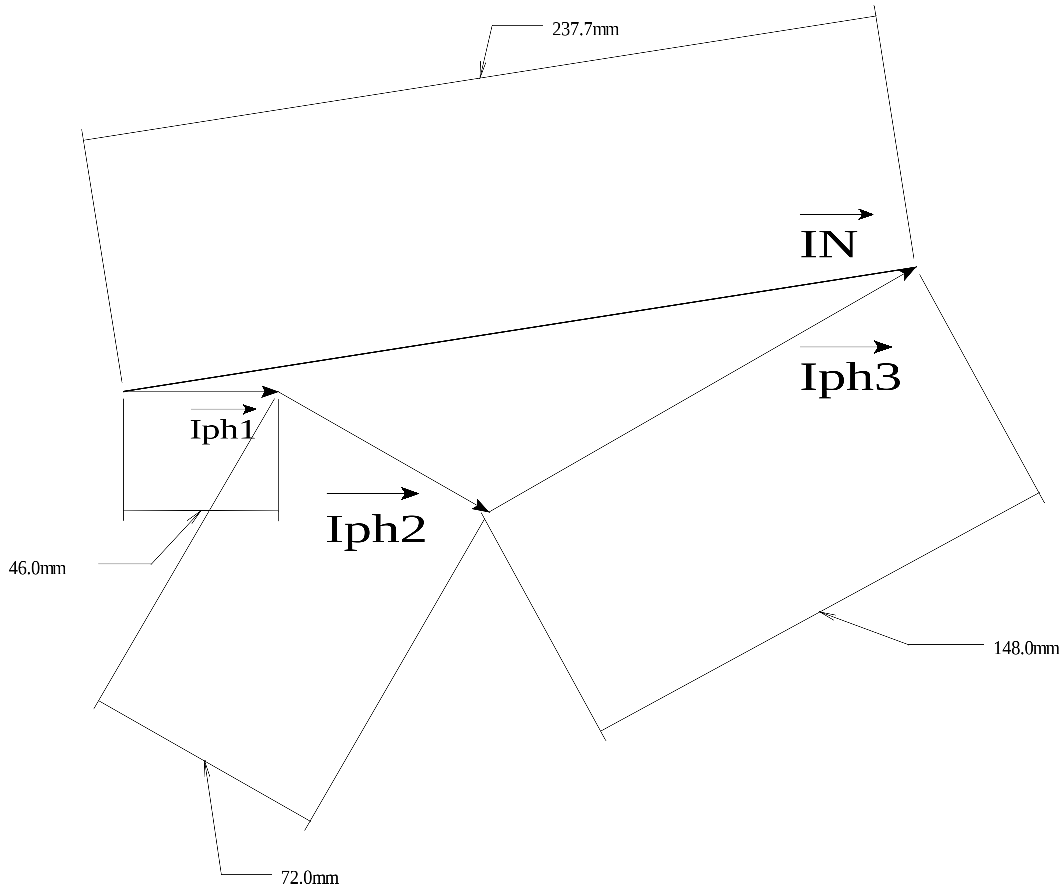
10.6.7 Représentation vectorielle.

Remarque : ci-dessous, elle n'est pas à l'échelle.



Addition vectorielle des courants de phase.

Remarque : Les nombres en [mm] représentent les valeurs des courants de phase à l'échelle suivante $1[A] \equiv 20[mm]$



Pour trouver le courant dans le neutre, il suffit de mesurer la longueur du vecteur $\vec{I}_N$. On mesure à l'aide d'une règle 237,7 [mm] donc après transformation :

I_N = 11,88 [A]

Ce courant résultant I_N est le courant dans le conducteur neutre, par application de la loi de Kirchhoff.

10.6.8 Couplage étoile avec neutre : Cas particuliers.

10.6.8.1 Deux récepteurs sur trois sont en service

Remarque :
Selon le dessin ci-dessous R_1 n'est pas en service. L'interrupteur S_1 coupe son alimentation de R_1.
Les récepteurs peuvent être différents ou non.

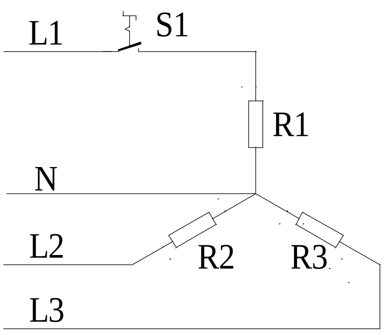


Figure 10.6-1 Etoile avec 2 récepteurs en service

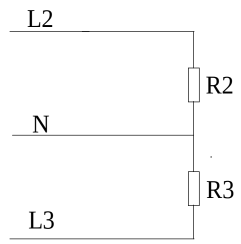


Figure 10.6-2 Schéma simplifié

Pour la représentation vectorielle (ci-dessous) les 2 récepteurs sont de valeur ohmique égale.

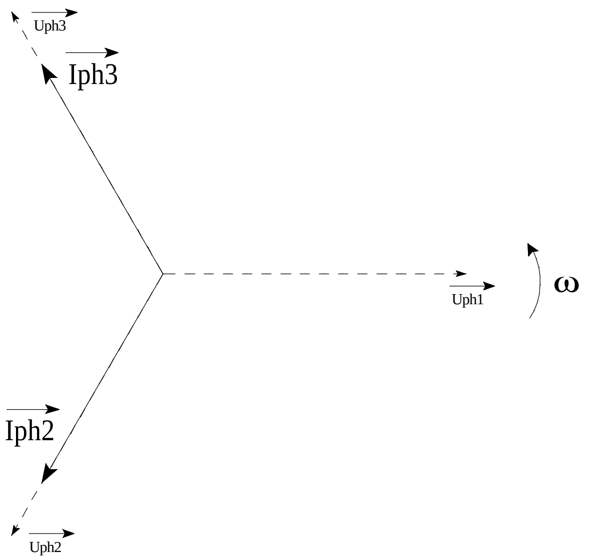


Figure 10.6-3 Représentation vectorielle

Equation 10.6-3 Addition vectorielle

$$-\vec{I}_N = \vec{I}_{Ph2} + \vec{I}_{Ph3}$$

$$\left|\vec{I}_N\right| \neq 0\,[A]$$

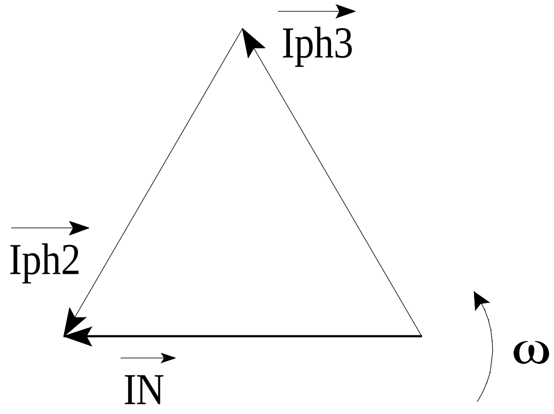


Figure 10.6-4 Addition vectorielle

10.6.9 Couplage étoile sans neutre : Cas particuliers.

10.6.9.1 Deux récepteurs sur trois sont en service.

Avec $U_{L2L3} = U$

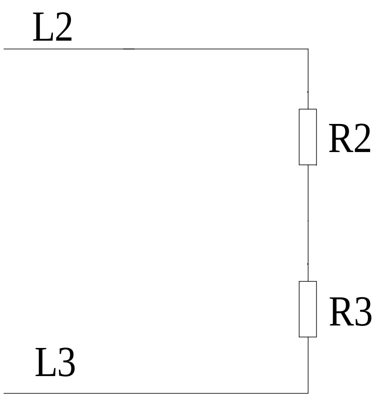


Figure 10.6-1 Etoile sans neutre. 2 récepteurs en service.

Les deux récepteurs se trouvent placés en série sous la tension de ligne U.
Le circuit se résume à un simple diviseur de tension.

10.6.9.2 3 récepteurs (ohmiques) de puissances différentes.

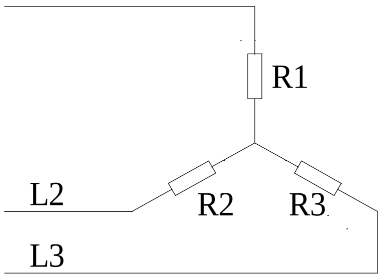


Figure 10.6-1 3 récepteurs de puissances différentes en étoile sans neutre

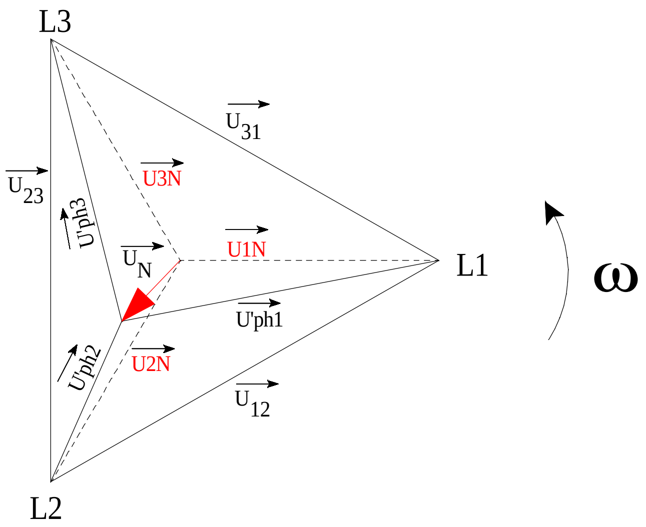
Remarque :
Dans le cas d'une charge asymétrique, neutre coupé, le déphasage entre les trois tensions de phase n'est plus de 120°.

Les tensions de phase ne sont plus égales à $\frac{U}{\sqrt{3}}$ pour un système trois fils, non équilibré.

Les récepteurs à grande résistance (plus faible puissance), sont survoltés alors que ceux à faible résistance (plus grande puissance) ont une tension d'alimentation trop faible.

Vectoriellement :

$$\vec{U'}_{ph1} = \vec{U}_{1N} - \vec{U}_{N}$$
$$\vec{U'}_{ph2} = \vec{U}_{2N} - \vec{U}_{N}$$
$$\vec{U'}_{ph3} = \vec{U}_{3N} - \vec{U}_{N}$$



Il apparaît une tension U_N.
C’est la tension entre le neutre du réseau et neutre du montage ou de l’installation.

Figure 10.6-2 "Déplacement" du point neutre

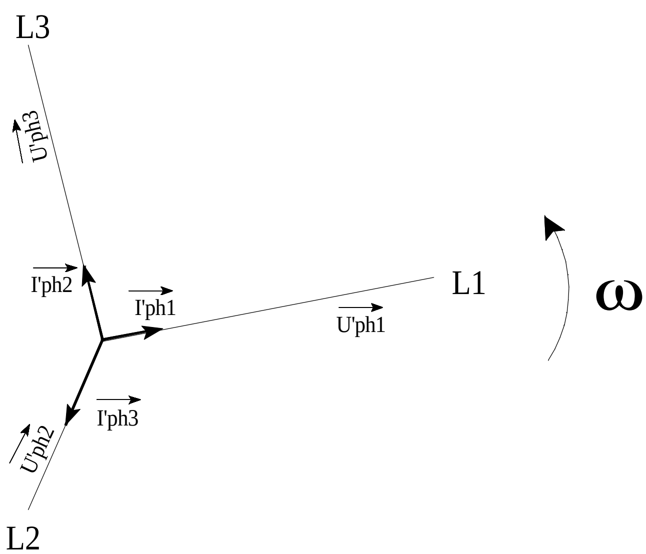


Figure 10.6-3 Représentation vectorielle

Comme dans un système équilibré, couplage étoile trois fils, dans un système non équilibré, couplage étoile trois fils, la **somme algébrique** des valeurs instantanées ou **vectorielles**, des courants de ligne, **EST NULLE**.

10.6.10 Détermination graphique des tensions de phase aux bornes de récepteurs ohmiques.

Méthode

On raccorde tout d'abord que deux résistances chaque fois en série sous tension de ligne et on détermine la répartition des deux tensions (diviseur de tension). En reliant chacun de ces "points de diviseur de tension" avec le point d'angle opposé du triangle, le point de croisement des trois droites donne la position du point neutre du montage. De ce point on peut déterminer la tension de phase appliquée à chacune des résistances

10.6.11 Importance du conducteur de neutre

Si l'on coupe le conducteur de neutre dans un système **triphasé étoile non équilibré**, les courants de ligne I'_1, I'_2, I'_3 se répartissent de telle manière (en amplitude et en position angulaire), que leur **somme géométrique ou algébrique des valeurs instantanées soit égale à 0**.

Il s'ensuivra une modification de l'angle entre les trois courants de ligne. Cet angle sera différent de 120° dont la conséquence est un changement de la tension de phase aux bornes des récepteurs. Cette dernière est d'autant plus élevée que la résistance des récepteurs est grande.

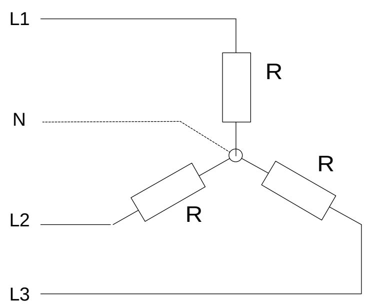
C'est pour cette raison que le conducteur de neutre **NE DOIT JAMAIS ETRE COUPE**, donc ne doit pas comporter de fusible.

Avec neutre	**Sans neutre**
$\boxed{U_{ph} = \frac{U}{\sqrt{3}}}$	$\boxed{U_{ph} \neq \frac{U}{\sqrt{3}}}$

Le conducteur de neutre maintient le même potentiel aux bornes des récepteurs de puissances et de nature différentes, couplés en étoile.

10.6.12 Notation

On note les caractéristiques d'un réseau de la façon suivante :



On dispose de 3 tensions composées :

$U_{12} = U_{23} = U_{31}$

soit :

3 * 400 [V]

On dispose aussi d'un point étroit. La tension de phase est donc $\sqrt{3}$ plus petite que la tension composée.

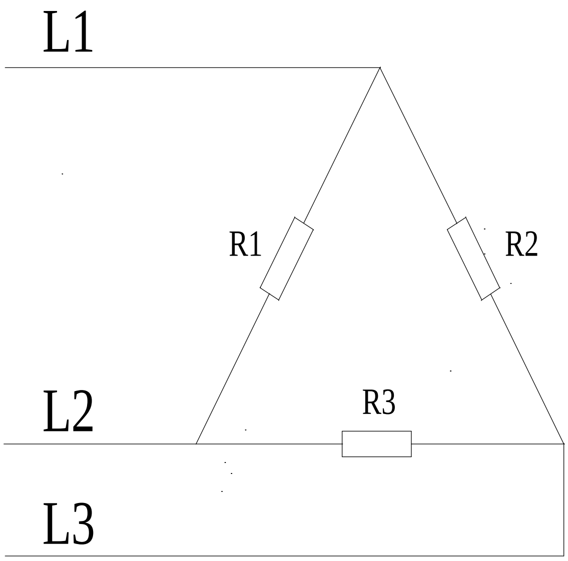
3 * 400/230 [V]

10.7 Couplage triangle

Ce couplage consiste à **relier en série** les trois récepteurs et d'amener un conducteur de ligne à chaque point de liaison intermédiaire des récepteurs.

Remarque :

Il n'y a pas de conducteur de neutre dans un couplage triangle car à aucun moment les trois récepteurs ont un point commun



10.7.1 Tension de ligne et de phase en triangle

Dans un couplage triangle équilibré ou non, la tension de phase U_{ph} est égale à la tension de ligne U.

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

10.7.2 Courants de ligne et de phase en triangle

Vectoriellement :

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

Pour les autres courants de lignes :

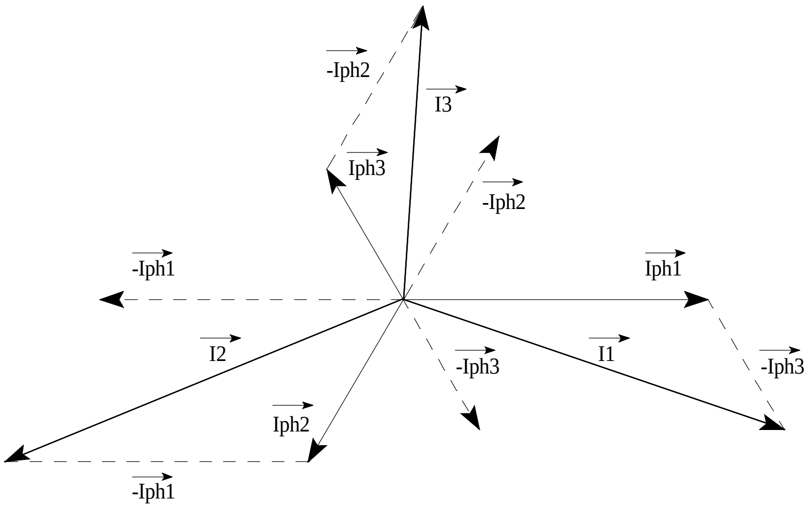
$\vec{I}_2 = \vec{I}_{ph2} - \vec{I}_{ph1}$

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

Avec :

$\vec{I}_{ph1} = \vec{I}_{ph2} = \vec{I}_{ph3} = \vec{I}_{ph}$

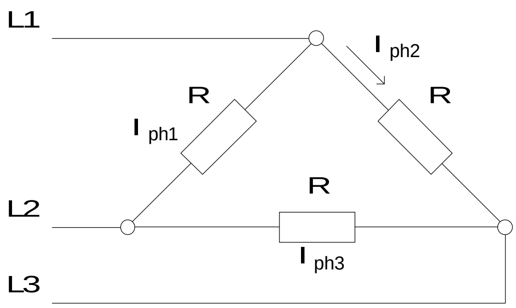
$\vec{I}_1 = \vec{I}_2 = \vec{I}_3 = I$



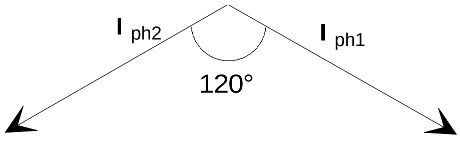
Le courant de ligne $\vec{I}$ est égal à la différence **géométrique ou algébrique** des valeurs instantanées, de deux courants de phase $\vec{I}_{ph}$.

10.7.2.1 Développement du facteur $\sqrt{3}$

On a constaté que la tension de phase U_{ph} est égale à la tension composée U.

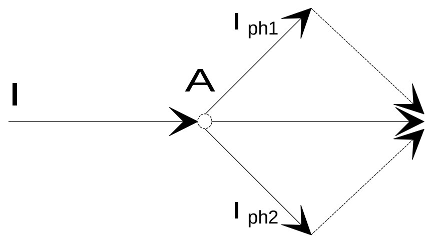


Les vecteurs courant de phase I_{ph} sont déphasés de 120° électriques.

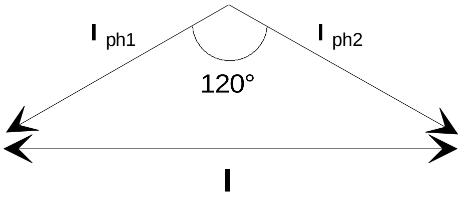


On applique la loi de Kirschoff au noeud A.

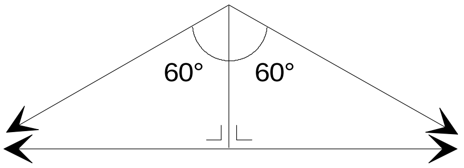
$$\boxed{I_{total} = \Sigma\, I_{sortant}}$$



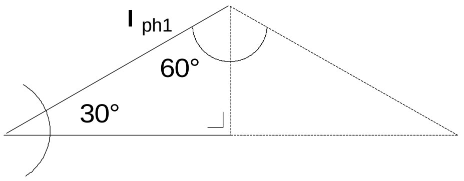
Le courant total I est appelé courant de ligne. On peut dessiner un triangle composé de :



C'est un triangle isocèle. La somme des angles est égale à 180°. On trace une bissectrice à l'angle 120°.



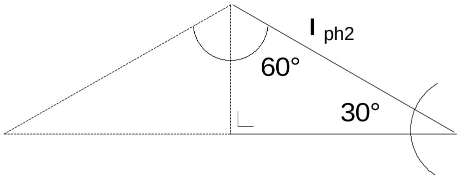
On peut décomposer ce triangle isocèle en 2 triangles rectangles dont l'hypoténuse est le vecteur du courant de phase I_{ph}.



La projection du courant de phase I_{ph}, sur l'axe horizontal donne la moitié du courant de ligne et s'exprime :

$$\frac{I}{2} = I_{ph_1} \cdot \cos 30°$$

Il y a le 2ème triangle



Il s'exprime :

$$\frac{I}{2} = I_{ph_2} \cdot \cos 30°$$

On sait que $I_{ph_1} = I_{ph_2} = I_{ph}$. Le courant de ligne I est égal à la somme des côtés opposés.

$I = I_{ph} \cdot \cos 30° + I_{ph} \cdot \cos 30°.$

$I = 2\, I_{ph} \cdot \cos 30°$

$I = I_{ph} \cdot 2 \cos 30°$

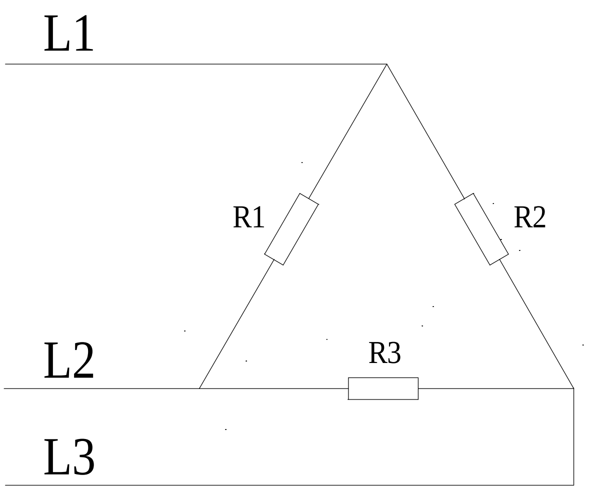
$$\boxed{I = I_{ph} \cdot \sqrt{3}}$$

On constate que le facteur $\sqrt{3}$ exprime, cette fois, le rapport entre le courant de phase I_{ph} et le courant de ligne I.

Exercice 4

Un alternateur possède 4 enroulements décalés de 90°. On est en présence d'un réseau "quaterphasé". Pourriez-vous utiliser le facteur $\sqrt{3}$ pour exprimer le rapport Iph et I ?

10.7.3 Système équilibré



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

$\boxed{I = I_{ph}\sqrt{3}}$ [A]

Figure 10.7-1 Récepteurs de même valeur ohmique.

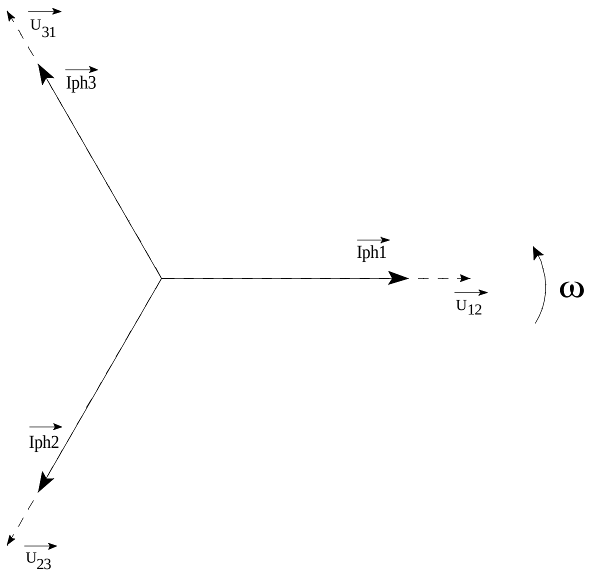


Figure 10.7-2 Dispostion vectorielle

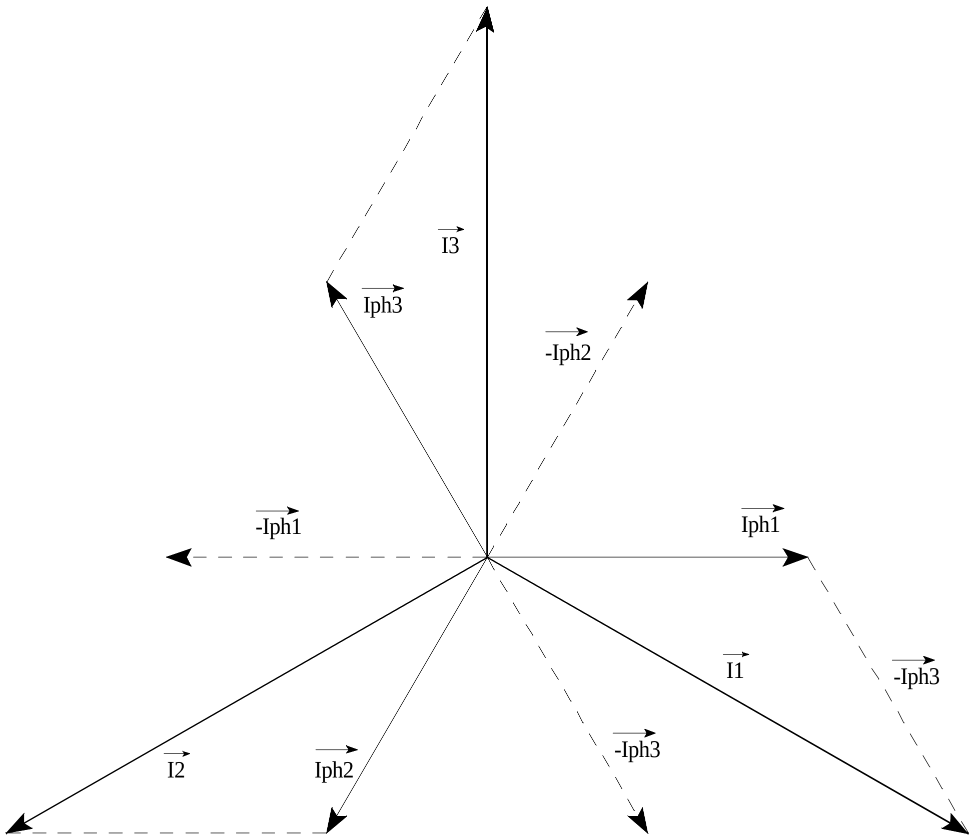
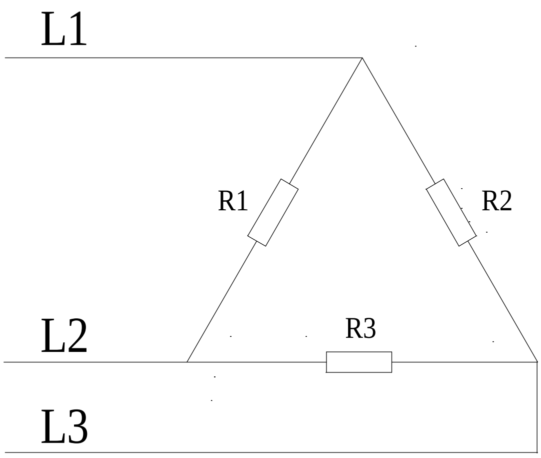


Figure 10.7-3 Différence vectorielle

10.7.4 Système non équilibré

10.7.4.1.1 Récepteurs ohmiques



$$\boxed{U_{ph} = U} \quad [V]$$

Figure 10.7-1 Récepteurs de valeur ohmique différentes

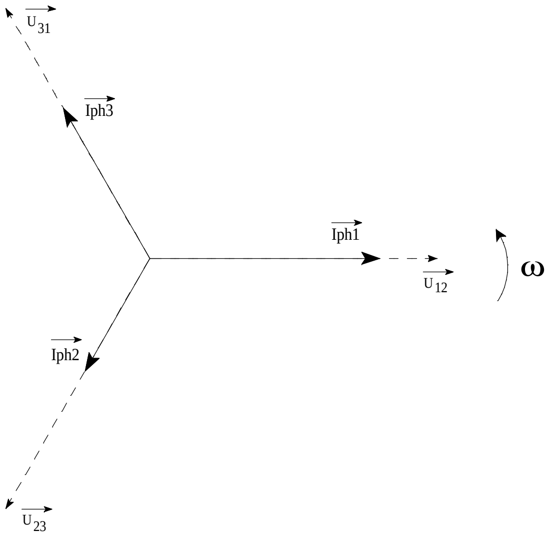


Figure 10.7-2 Disposition vectorielle

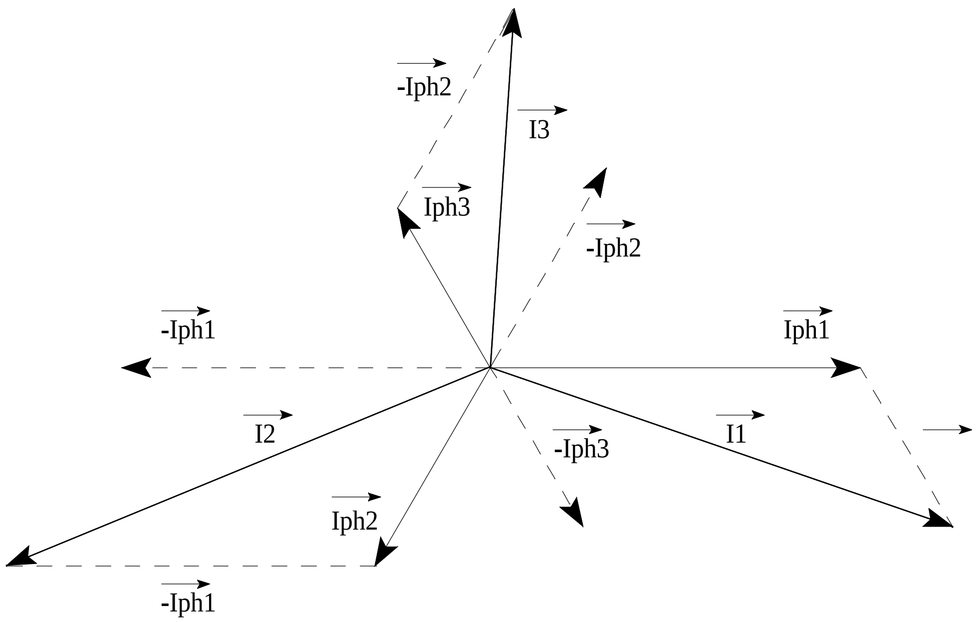


Figure 10.7-3 Différence vectorielle

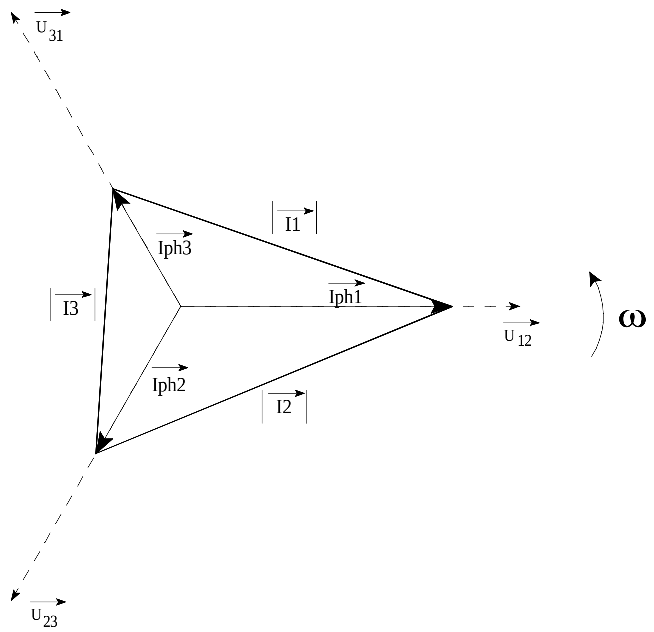


Figure 10.7-4 Différence vectorielle simplifiée

10.7.5 Récepteurs ohmique, ohmique-inductif, ohmique-capacitif

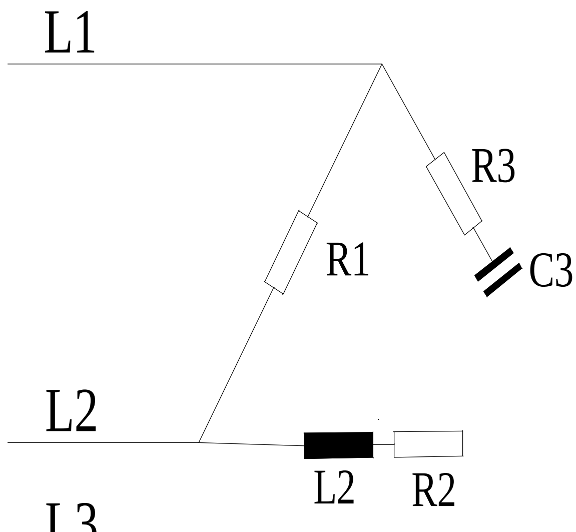


Figure 10.7-2 Triangle non équilibré RLC

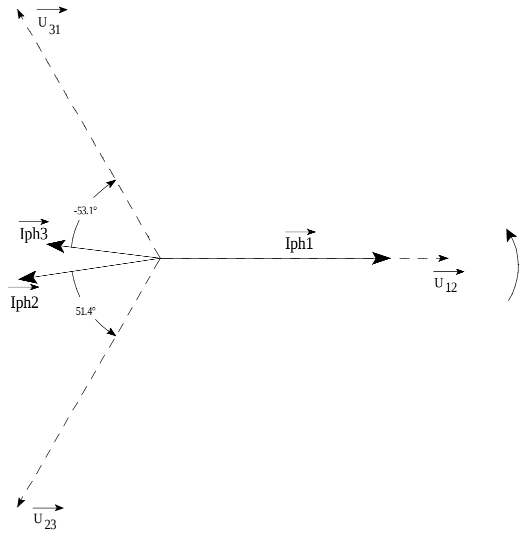


Figure 10.7-1 Disposition vectorielle

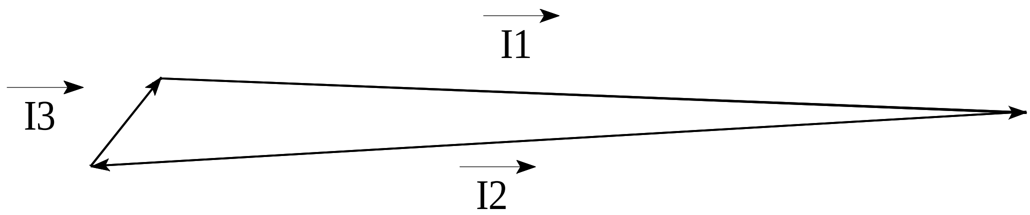


Figure 10.7-3 Somme vect. triangle déséquilibré

Comme dans le couplage étoile équilibré ou non équilibré, la somme **géométrique ou algébrique** des valeurs instantanées, des courants de ligne d'un couplage triangle, équilibré ou non équilibré, **EST NULLE**.

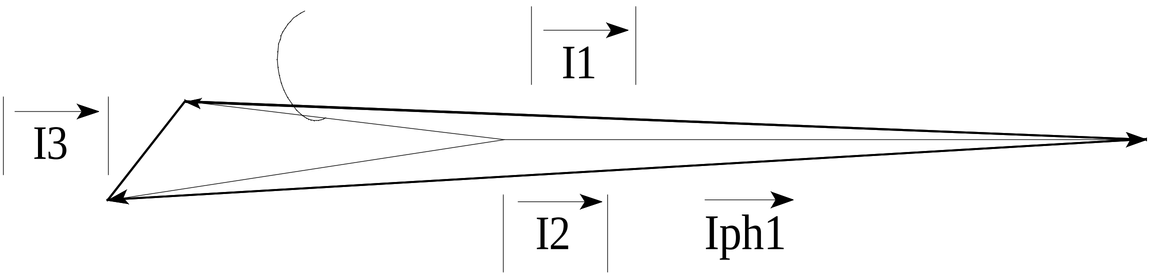


Figure 10.7-4 Différence vectorielle simplifiée

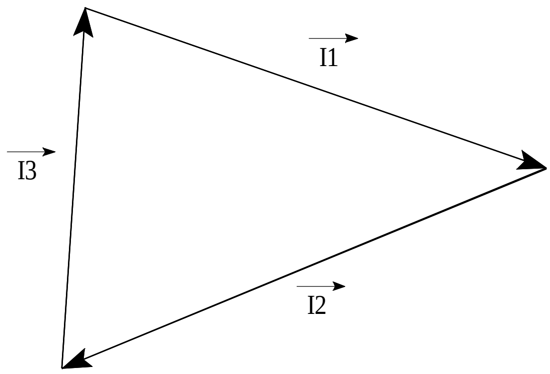
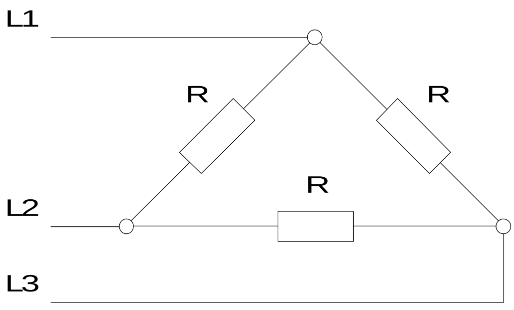


Figure 10.7-5 Somme vect. triangle équilibré

10.7.5.1 Notation

On note les caractéristiques d'un réseau de la façon suivante :



On dispose de 3 tensions composées :

U_{12} - U_{23} - U_{31}

soit :

3 * 400 [V]

On ne possède pas d'autres tensions.

10.8 Puissance en triphasé

La puissance des circuits alimentés en triphasé peut être calculée de la même façon qu'en monophasé.

10.8.1 Couplage étoile

$\mathbf{P}_{monophasé} = \mathbf{U}\ \mathbf{I}\ \cos\ \phi$ [W]

$\mathbf{P}_{triphasé\curlywedge} = 3\ \mathbf{P}_{mono} = 3\ \mathbf{U}_{ph}\ \mathbf{I}_{ph}\ \cos\ \phi$ [W]

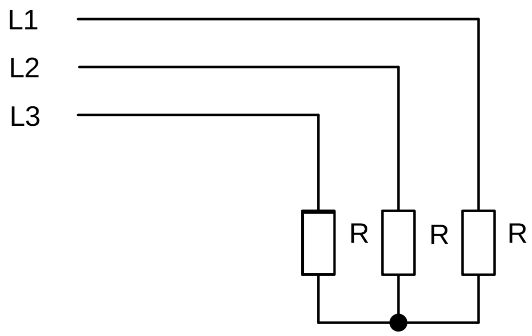
mais $\curlywedge \Rightarrow \mathbf{I}_{ph} = \mathbf{I} \Rightarrow$

mais $\mathbf{U}_{ph} = \dfrac{U}{\sqrt{3}} \Rightarrow \mathbf{P}_{tri\curlywedge} = 3\ \dfrac{U}{\sqrt{3}}\ \mathbf{I}\ \cos\ \phi \Rightarrow \mathbf{P}_{tri\curlywedge} = \sqrt{3}\ \mathbf{U}\ \mathbf{I}\ \cos\phi$ [W]

Exercice :

Calculer la puissance active d'un radiateur constitué de 3 éléments purement résistifs identiques (R = 150 [Ω]) alimenté en triphasé 3 * 400 / 230.

Schéma :



Données :

$U_{ph} = 230$ [V] U = 400 [V]

R = 150 [Ω]

$\cos\ \phi = 1$

Relation :

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \text{ [W]}$$

$$U_{ph} = Z \cdot I_{ph} \text{ [V]}$$

$$R = Z \cdot \cos\phi \text{ [}\Omega\text{]}$$

Analyse :

Cherchons le courant I qui est égal au courant de phase I_{ph} en Y.

$$I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z} = I \text{ [A]}$$

Remplaçons l'impédance Z par R.

$$I = \frac{U_{ph}}{\left(\frac{R}{\cos\phi}\right)} = \frac{U_{ph} \cdot \cos\phi}{R} \text{ [A]}$$

Remplaçons I dans le relation de la puissance P.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot \left(\frac{U_{ph} \cdot \cos\phi}{R}\right) \cdot \cos\phi \text{ [W]}$$

Application numérique :

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot \left(\frac{230 \cdot 1}{150}\right) \cdot 1 = 1062.32 \text{ [W]}$$

Refaites l'exercice par une autre méthode :

10.8.1.1 Système équilibré : 3 ou 4 fils

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

$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_2 = \mathbf{I}_3 = \mathbf{I}$

$\cos \phi_{ph1} = \cos \phi_{ph2} = \cos \phi_{ph3} = \cos \phi_{ph}$

10.8.1.2 Système non équilibré : 4 fils

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

$\mathbf{I}_1 \neq \mathbf{I}_2 \neq \mathbf{I}_3$

$\cos \phi_{ph1} \neq \cos \phi_{ph2} \neq \cos \phi_{ph3}$

10.8.2 Couplage triangle

$\mathbf{P}_{phase} = \mathbf{U}_{ph}\ \mathbf{I}_{ph} \cos \phi$ [W]

$\mathbf{P}_{triphasé\Delta} = 3\ \mathbf{P}_{ph} = 3\ \mathbf{U}_{ph}\ \mathbf{I}_{ph} \cos \phi$ [W]

mais $\Delta \Rightarrow \mathbf{U}_{ph} = \mathbf{U}$

mais $\Delta\ \mathbf{I}_{ph} = \frac{\mathbf{I}}{\sqrt{3}} \Rightarrow \mathbf{P}_{tri\Delta} = 3 \frac{\mathbf{I}}{\sqrt{3}} U \cos \phi \Rightarrow \mathbf{P}_{tri\Delta} = \sqrt{3}\ \mathbf{U}\ \mathbf{I} \cos \phi$ [W]

10.8.2.1 Système équilibré

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

$\mathbf{I}_{ph1} = \mathbf{I}_{ph2} = \mathbf{I}_{ph3} = \mathbf{I}_{ph}$

$\cos \phi_{ph1} = \cos \phi_{ph2} = \cos \phi_{ph3} = \cos \phi_{ph}$

10.8.2.2 Système non équilibré : 4 fils

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

$\mathbf{I}_{ph1} \neq \mathbf{I}_{ph2} \neq \mathbf{I}_{ph3}$

$\cos \phi_{ph1} \neq \cos \phi_{ph2} \neq \cos \phi_{ph3}$

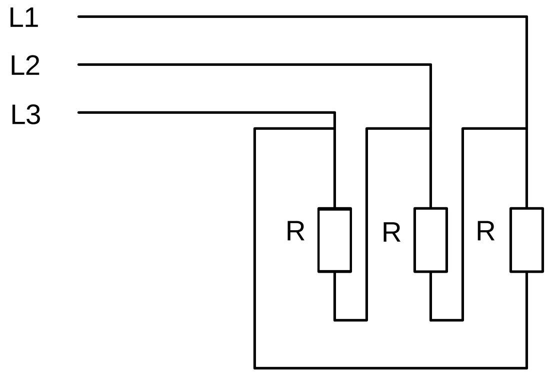
Remarque importante concernant le calcul de la puissance en triphasé d'un **système équilibré** dans les couplages **étoile** et **triangle**.

Parce que la formule $P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\,\phi\,[W]$ convient au montage en étoile et au montage en triangle, il ne faut pas en conclure que les deux couplages sont équivalents.

Exercice :

Calculer la puissance active d'un radiateur constitué de 3 éléments, purement résistif, identiques (R = 150 [Ω]) alimenté en triphasé 3 x 400 [V].

Schéma :



Données :

$U = 400\ [V]$

$\cos\phi = 1$

$R = 150\ [\Omega]$

Relation :

$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi\ [W]$

$U = Z \cdot I\ [V]$

$R = Z \cdot \cos\phi\ [\Omega]$

$I = I_{ph} \cdot \sqrt{3}\ [A]$

Analyse :

Cherchons le courant de phase I_{ph} sachant que la tension de phase U_{ph} est égale à la tension composée U.

$$I_{ph} = \frac{U_{ph}}{Z} = \frac{U}{Z} \text{ [A]}$$

Remplaçons l'impédance Z par R :

$$I_{ph} = \frac{U}{\left(\frac{R}{\cos f}\right)} = \frac{U \cdot \cos f}{R} \text{ [A]}$$

Exprimons cette relation par rapport au courant de ligne I :

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

donc :

$$I = \frac{U \cdot \cos f \cdot \sqrt{3}}{R} [A]$$

Remplaçons I dans la relation de la puissance P :

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot \left(\frac{U \cdot \cos\Phi \sqrt{3}}{R}\right) \cos\Phi \text{ [W]}$$

Application numérique :

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot \left(\frac{400 \cdot 1 \sqrt{3}}{150}\right) \cdot 1 = 3200 \text{ [W]}$$

Refaites l'exercice par une autre méthode.

10.8.3 Puissance apparente

La puissance apparente S d'un système triphasé peut être calculée selon la relation suivante :

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

Le développement est le même que pour la puissance active P.

Exercice :

Calculer la puissance active d'un récepteur triphasé noté U_{ph} = 500 [V]

I_{ph} = 10 [A] cos ϕ 0.8 Y (couplage)

Données :

I_{ph} = 10 [A] U_{ph} = 500 [V] étoile

cos ϕ 0.8

Relation :

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

$$U = U_{Ph} \cdot \sqrt{3} \, [V]$$

$$I_{Ph} = I \, [A]$$

Analyse :

Remplaçons U par U_{ph} dans la relation de la puissance apparente S

$$S = \sqrt{3} \cdot \left(U_{Ph} \cdot \sqrt{3}\right) \cdot I \, [VA]$$

soit :

$$S = 3 \cdot U_{Ph} \cdot I \, [VA]$$

Application numérique :

$$S = 3 \cdot 500 \cdot 10 = 15000 \, [VA]$$

10.8.4 Puissance réactive

La puissance réactive Q d'un système triphasé peut être calculé de la façon suivante :

$$\boxed{Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\phi \text{ [VAr]}}$$

Le développement est le même que pour la puissance active P.

Exercice :

Calculer la puissance réactive Q d'un système triphasé noté

$U_{ph} = 500$ [V] $I = 10$ [A] $\cos\phi = 0.8$ Δ (couplage)

Données :

$U_{ph} = 500$ [V] $I = 10$ [A] cos 0.8 triangle

Relation :

$$Q = \sqrt{3}\ U \cdot I \cdot \sin\phi \text{ [VAr]}$$

$$U_{ph_{\Delta}} = U \text{ [V]}$$

Analyse :

Cherchons l'angle ϕ puis le sinus, puis passons à :

Application numérique :

$$Q = \sqrt{3} \cdot 500 \cdot 10 \cdot 0.6 = \mathbf{5196.2\ [VAr]}$$