Chapitre 9

Systèmes multiphasés

Objectifs

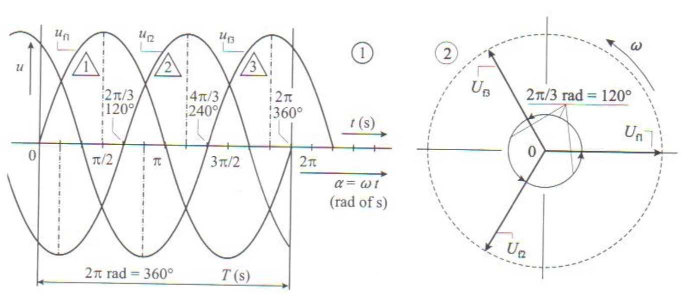
1. Savoir pourquoi on utilise des systèmes multiphasés
2. Savoir les rapports entre les caractéristiques de phase et de ligne
3. Savoir calculer les différent types de systèmes multiphasés.

9.1 Qu'est qu'un systéme multiphasé ?

Un systéme multiphasé correspond à un systéme de plusieurs tensions alternatives, de même fréquence et avec un déphasage entre l'un l'autre.

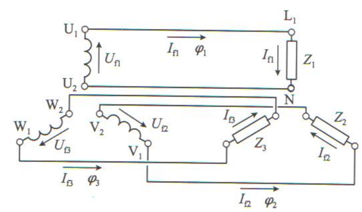
Un systéme multiphasé équilibré est un systéme de plusieurs tensions alternatives avec les mêmes valeurs effectives, les mêmes fréquences et un même déphasage mutuel.

Dans ce cas ci ce sont les systémes triphasés qui seront étudié.

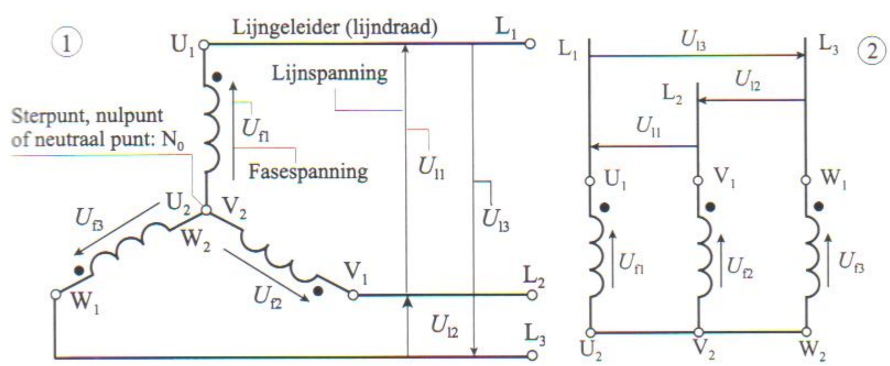


On peut connecter ces systémes de plusieurs façons.En générale on a des systémes comme ci dessous où les circuits sont branchés séparemment. Ce sont en fait des circuits uniphasés et ce n'est pas un vrai circuit triphasé.

Il faut mettre un fil à l'aller et un fil au retour. Si on veut faire un circuit triphasé de ce circuit on a besoin de moins de fils parce que le fil d'aller est aussi utilisé pour le retour.On a un emploi double des fils dans ce circuit. En plus le rendement des systémes multiphasés est plus haut que le rendement des systémes uniphasés. Historiquement le systéme multiphasé a été dévéloppé à partir de la problématique de démarrage des moteurs uniphasés.Ceux ci ne pouvaient pas démarrer d'eux mêmes mais avec les systémes multiphasés ce probléme était résolu.



9.2 Circuit étoile



Si on regarde bien la figure on voit que c'est possible de définir les tensions de maniéres différentes.

Entre les lignes on a des tensions de ligne : $u_{f1} = u_{f2} = u_{f3}$

Entre les phases on a des tensions de phases : $u_{l1} = u_{l2} = u_{l3}$

C'est clair que ces types de tensions ne correspondent pas.

On peut construire un rapport entre ces valeurs en utilisant les formules du rectangle.La valeur momentanée est égale á la différence des valeurs momentanées des tensions de phase sur cette ligne.

$$
\begin{aligned}
u_{l1} &= u_{f1} - u_{f2} \\
U_{l1}^2 &= U_{f1}^2 + U_{f2}^2 - 2U_{f1}U_f \cos(120) \\
U_l^2 &= U_f^2(2+1)
\end{aligned}
$$

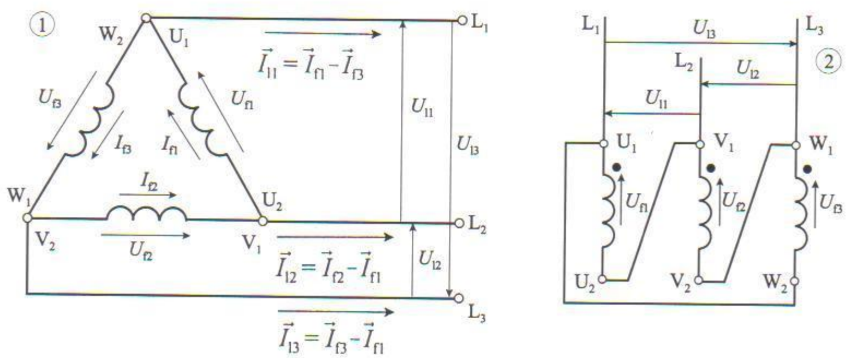
On peut en déduire que le rapport entre la tension de phase et la tension de ligne :

$$U_l = \sqrt{3}U_f$$

Les courants de phase et les courants de ligne sont les mêmes donc

$$I_f = I_l$$

9.3 Circuit triangle



Sur la figure on voit que les tensions de phase et les tensions de ligne sont les mêmes mais les courants sont différents.Ils se divisent dans un noeud du triangle.De la maniére on obtient

$$I_l = \sqrt{3}I_f$$

en

$$U_l = U_f$$

9.4 Puissances dans le systémes triphasées

On peut calculer les puissances par les valeurs de lignes ou de phase. On a toujours

$$P = \sqrt{3}I_f U_f \cos(\varphi)$$

En triangle on obtient

$$P = 3U_l \frac{I_l}{\sqrt{3}} \cos(\varphi) = \sqrt{3}U_l I_l \cos(\varphi)$$

En étoile on obtient

$$P = 3\frac{U_l}{\sqrt{3}} I_l \cos(\varphi)$$

En général on obtient

$$P = \sqrt{3} U I \cos(\varphi)$$

Pour les puissances réactives et apparent on peut utiliser le même raisonement et on a les mêmes principes que pour les circuits uniphasés

$$Q = \sqrt{3} U I \sin(\varphi)$$

$$S = \sqrt{3} U I$$

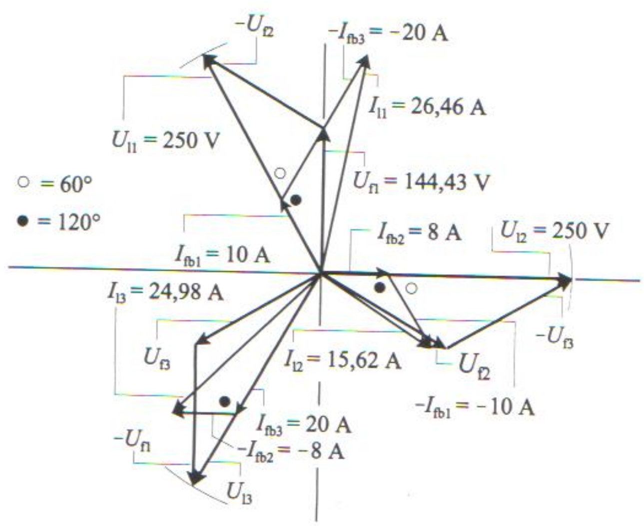
$$S^2 = P^2 + Q^2$$

9.5 Exercises

9.5.1 Circuit étoile-triangle

Les sources sont mis en étoile et les charges en triangle. Les sources ont des tensions de phase de 144,43V. Les trois charges sont des résistances de $R_1 = 25\Omega$,$R_2 = 31,25\Omega$ en $R_3 = 12,5\Omega$. Calculez les courants de lignes et de phase des consommateurs.

solution



Les trois tensions de lignes sont $U_l = \sqrt{3}U_f = \sqrt{3}144.43V = 250V$

Donc les trois courants de phase sont

$$
\begin{aligned}
I_{fb1} &= \frac{U_{l1}}{R_1} = \frac{250}{25} = 10A \\
I_{fb2} &= \frac{U_{l2}}{R_2} = \frac{250}{31,25} = 8A \\
I_{fb3} &= \frac{U_{l3}}{R_3} = \frac{250}{12,5} = 20A
\end{aligned}
$$

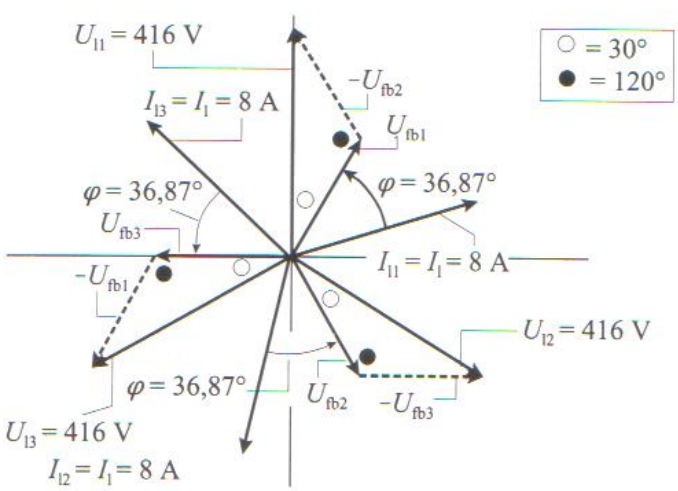
Les trois courants de ligne suivent la somme des vecteurs quand on utilise les formules du triangle arbitraire

$$
\begin{aligned}
I_{l1} &= \sqrt{10^2 + 20^2 + 2.10.20.\cos(60)} = 26,46A \\
I_{l2} &= \sqrt{8^2 + 10^2 + 2.8.10.\cos(60)} = 15,62A \\
I_{l3} &= \sqrt{20^2 + 8^2 + 2.8.20.\cos(60)} = 24,98A
\end{aligned}
$$

9.5.2 Circuit triangle-étoile

Les sources sont mis en triangle et les charges en étoile. Les tensions de ligne sont 416V. La charge symmétrique triphasée est de trois impédances égales : $Z = 24\Omega + j18\Omega$ Calculez les trois courants de ligne.

solution



$$
\begin{aligned}
Z &= \sqrt{24^2 + 18^2} = 30\Omega \\
U_{fb} &= \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \frac{416}{\sqrt{3}} = 240V
\end{aligned}
$$

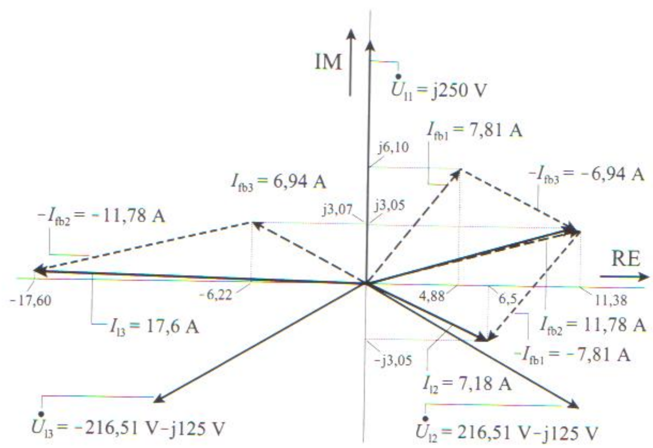
$$I_l = \frac{U_{fb}}{Z} = \frac{240}{30} = 8A$$
$$\varphi = (\frac{18}{24}) = 36,87 degrés$$

9.5.3 Circuit triangle-triangle

Les sources et les charges sont mises en triangle.Les tensions de phase et donc aussi de ligne sont 250V. Les impédances sont les suivantes

$Z_1 = 25\Omega + j20\Omega$, $Z_2 = 15\Omega - j15\Omega$, $Z_3 = 20\Omega + j30\Omega$. Calculez les courants de ligne et de phase.

solution



$$
\begin{aligned}
U_{l1} &= j250V \\
U_{l2} &= 250(\cos(-30) + j\sin(-30)) = (216,5 - j125)V \\
U_{l3} &= 250(\cos(-150) + j\sin(-150)) = (-216.5 - j125)V
\end{aligned}
$$

Donc les courants de phase du consommateur sont

$$
\begin{aligned}
I_{fb1} &= \frac{U_{l1}}{Z_1} = \frac{j250}{25 + j20} = \frac{j250(25 - j20)}{25^2 + 20^2} \\
I_{fb2} &= \frac{U_{l2}}{Z_2} = \frac{216,5 - j125}{15 - j15} = \frac{(216,5 - j125)(15 + j15)}{15^2 + 15^2} \\
I_{fb3} &= \frac{-216,5 - j125}{20 + j30} = \frac{(-216,5 - j125)(20 - j30)}{20^2 + 30^2}
\end{aligned}
$$

En notation complexe les courants de phase deviennent

$$
\begin{aligned}
I_{fb1} &= 4,88 + j6,1A \\
I_{fb2} &= 11,38 + j3,05A \\
I_{fb3} &= -6,22 + j3,07A
\end{aligned}
$$

Les valeurs effectives de ces courants de phase sont

$$\begin{aligned} I_{fb1} &= \sqrt{4,88^2 + 6,1^2} = 7,81A \\ I_{fb2} &= \sqrt{11,38^2 + 3,05^2} = 11,78A \\ I_{fb3} &= \sqrt{6,22^2 + 3,07^2} = 6,94A \end{aligned}$$

Les expressions complexe des trois courants de ligne suivent la somme des vecteurs

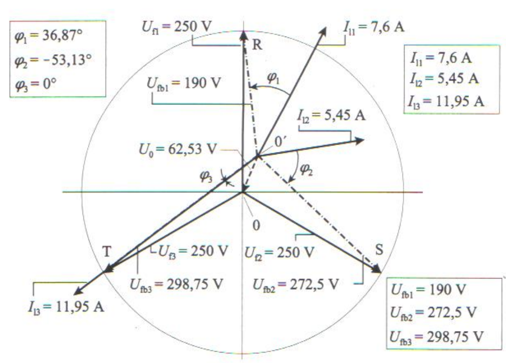
$$\begin{aligned} I_{l1} &= I_{fb1} - I_{fb3} = 4,88 + j6,1 + 6,22 - j3,07 = 11,1 + j3,03A \\ I_{l2} &= I_{fb2} - I_{fb1} = 11,38 + j3,05 - 4,88 - j6,1 = 6,5 + j3,05A \\ I_{l3} &= I_{fb3} - I_{fb2} = -6,22 + j3,07 - 11,38 - j3,05 = -17,6 + j0,02A \end{aligned}$$

Les valeurs effectives deviennent

$$\begin{aligned} I_{l1} &= \sqrt{11,1^2 + 3,03^2} = 11,51A \\ I_{l2} &= \sqrt{6,5^2 + 3,05^2} = 7,18A \\ I_{l3} &= \sqrt{17,6^2 + 0,02^2} = 17,6A \end{aligned}$$

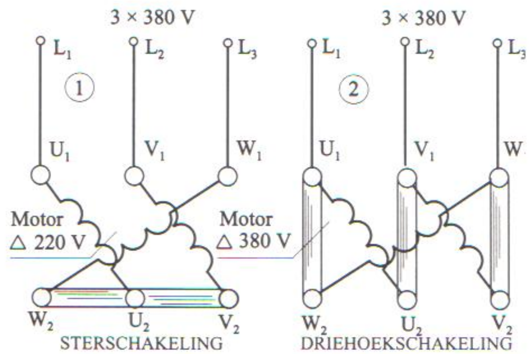
9.5.4 Circuit étoile- étoile

Dans ce cas ci on a deux circuits possibles c'est á dire avec ou sans phase neutre.Dans le cas d'une charge symétrique il n'y a pas de différence mais dans le cas d'une charge asymetrique il y a une différence énorme.Dans ce cas le circuit avec phase neutre prend la différence sur cette phase neutre et le probléme d'asymetrie est arrangé. S'il n'y a pas de phase neutre ce systéme n'est plus en équilibre et il y aura une déviation du zéro du côté des consommateurs.



9.6 Schéma de branchement

La figure ci dessous vous montre comment il faut brancher les bornes dans le cas des systémes étoile ou triangle.

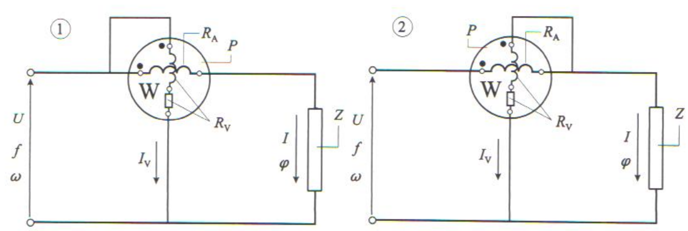


9.7 Mésurement de la puissance

9.7.1 Circuit uniphasé

Pour mésurer la puissance active on utilise un wattmetre. On peut aussi utiliser les volt- et ampéremétres mais c'est un peut plus compliqué.

On sait brancher le wattmétre de deux façons mais il y a toujours une erreur de mesure.



Si on branche la bobine de tension á côté de la source on mesure une puissance active qui est un peu plus grand que la puissance consommée par la charge. C'est parce que la bobine de courant prend aussi un peu de puissance et il faut diminuer la puissance mesurée avec la puissance pris par la bobine de courant. $R_A I_A^2$.

Si nous utilisons le deuxiéme type de branchement nous avons le même probléme parce que maintenant la bobine de tension prend de la puissance non consommée $R_V I_V^2$ par la charge qu' il faut diminuer de la puissance mesurée.

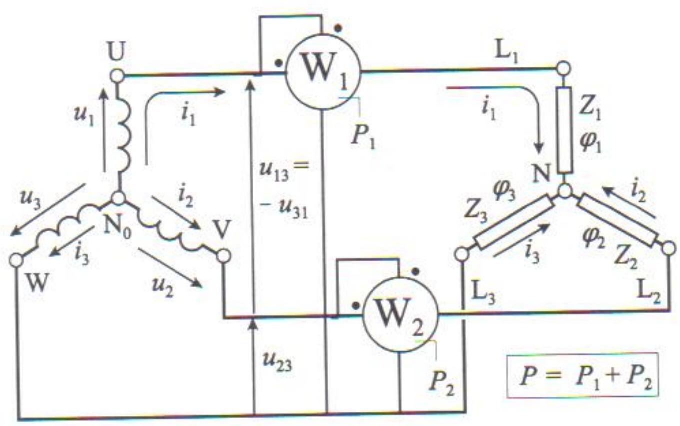
9.7.2 Circuit multiphasé

Quand il faut mesurer un circuit en équilibre il suffit de placer un wattmétre sur une phase et multiplier par trois.

Quand il faut mesurer une systéme non-équilibré il faut mesurer chaque phase et donc brancher sur chaque phase un wattmétre. Dans chaque cas il vous faut une phase neutre ou il faut construire artificiellement une phase neutre.

Une méthode plus élégante et universelle est le méthode des deux wattmétres.

Dans ce cas ci on branche deux wattmétres dans une systéme triphasée et on emploie la phase qui reste comme référence pour les bobines de tension.



La valeur instantanée de la puissance active est

$$p = u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3$$

De la relation

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

suit

$$i_3 = -i_1 - i_2$$

donc

$$p = u_1 i_1 + u_2 i_2 - u_3 i_1 - u_3 i_2 = (u_1 - u_3) i_1 + (u_2 - u_3) i_2$$

ou d'une autre maniére

$$p = -u_{31} i_1 + u_{23} i_2$$

ou

$$p = u_{13}i_1 + u_{23}i_2$$

Le premier wattmètre mesure la premiére puissance et le deuxiéme l'autre, donc on peut mesurer la puissance totale d'un systéme triphasé de cette maniére.