Le triphasé

1 Étude du système

1.1 Présentation

Économiquement, le triphasé est plus intéressant que le monophasé : le transport de l'énergie électrique et les machines tournantes sont plus rentables en triphasé. Transformateurs, machines synchrones et moteurs asynchrones pour des puissances importantes sont donc triphasés, en général.

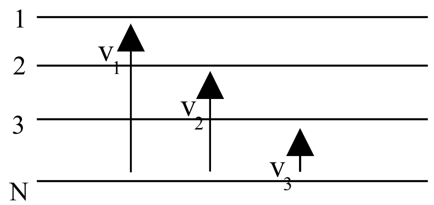
La distribution se fait à partir de quatre bornes :

Trois bornes de **phases** repérées par 1, 2, 3 ou A, B, C ou R, S, T.
Une borne **neutre** N.

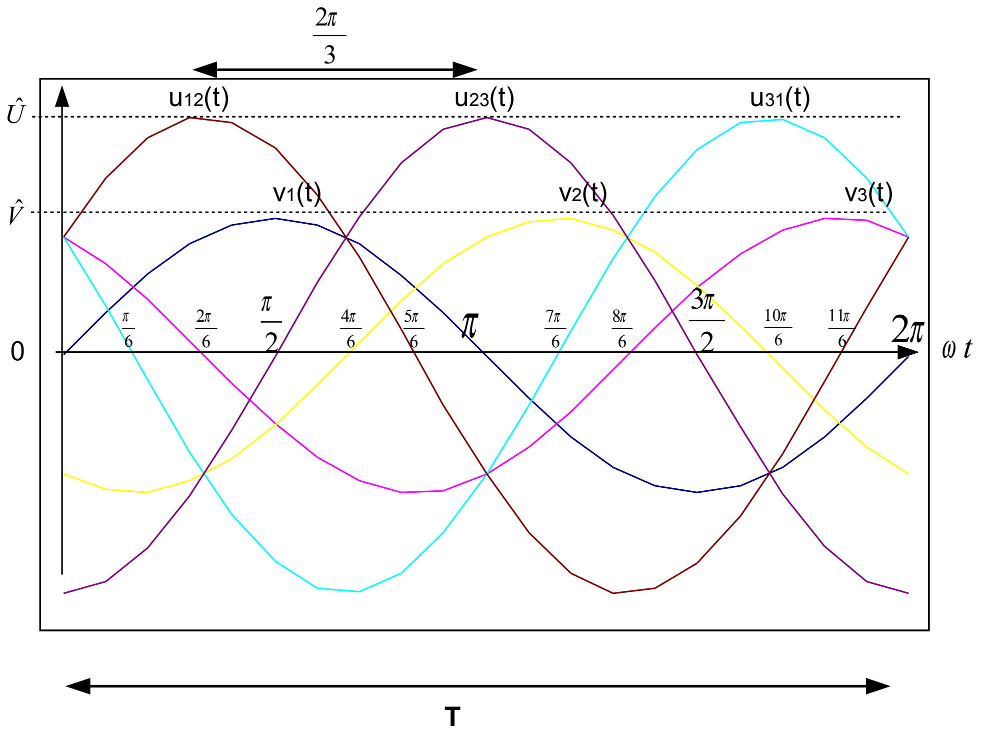
1.2 Étude des tensions simples

1.2.1 Définition

Les tensions simples sont les tensions entre phase et neutre. Leurs valeurs instantanées sont notées v avec en indice le numéro de la phase concernée.



1.2.2 Observation à l'oscilloscope



- Les tensions sont déphasées de l'une par rapport à l'autre.

- Elles ont la même valeur efficace.

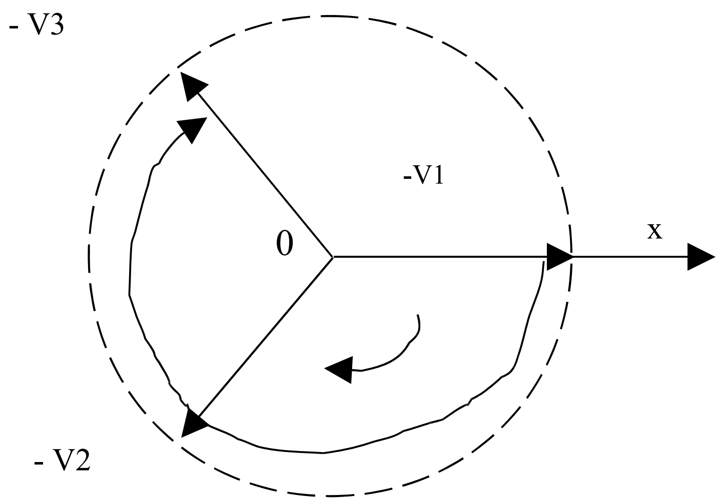
1.2.3 Équations horaires

Ces équations correspondent aux oscillogrammes obtenus.

$$v_1 = V \sin \omega t$$
$$v_2 = V \sin (\omega t - 2\Pi/3)$$
$$v_3 = V \sin (\omega t - 4\Pi/3)$$

1.2.4 Représentation de Fresnel

$$v_1 = V \sin \omega t$$
$$v_2 = V \sin (\omega t - 2\Pi/3)$$
$$v_3 = V \sin (\omega t - 4\Pi/3)$$



Remarques :

- Le système est équilibré car $v_1 + v_2 + v_3 = 0$. La représentation de Fresnel permet de voir ce résultat.
- Le système est direct car un observateur immobile verrait les vecteurs défiler devant lui dans l'ordre 1, 2, 3.

1.2.5 Nombre complexe associé

$$v_1 = V \sin \omega t \Leftrightarrow \underline{V_1} = [V ; 0]$$
$$v_2 = V \sin (\omega t - 2\Pi/3) \Leftrightarrow \underline{V_2} = [V ; -2\Pi/3]$$
$$v_3 = V \sin (\omega t - 4\Pi/3) \Leftrightarrow \underline{V_3} = [V ; -4\Pi/3]$$

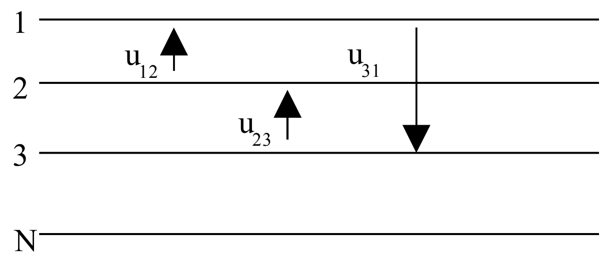
1.3 Étude des tensions composées

1.3.1 Définition

Les tensions composées sont les tensions entre deux phases. Leurs valeurs instantanées sont notées u avec en indice les numéros des phases concernées.

$$u_{12} = v_1 - v_2$$
$$u_{23} = v_2 - v_3$$

$u_{31}=v_3 - v_1$



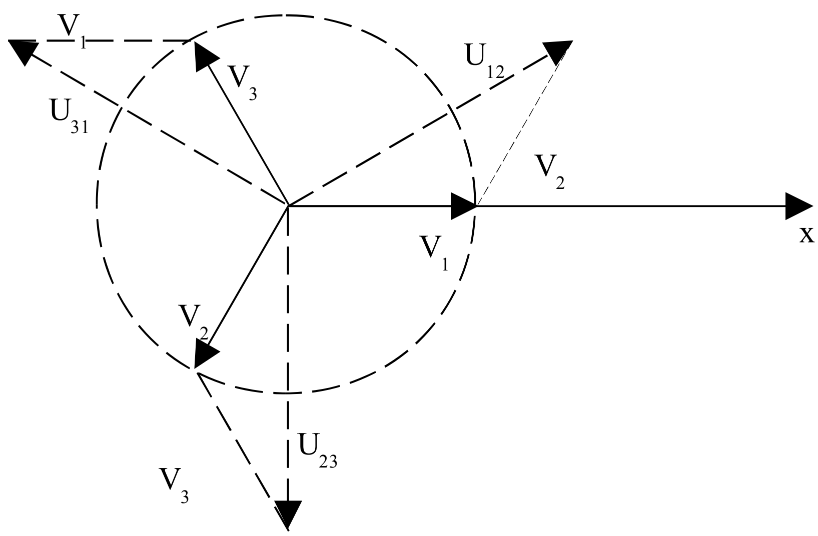
1.3.2 Observation à l'oscilloscope

Voir 1.2.2

1.3.3 Équations horaires

$u_{12} = U \sin(\omega t + \pi/6)$
$u_{23} = U \sin(\omega t - \pi/2)$
$u_{31} = U \sin(\omega t - 7\pi/6)$

1.3.4 Représentation de Fresnel



1.3.5 Nombre complexe associé

$\underline{u}_{12} = \underline{V}_1 - \underline{V}_2 = [V ; \prod/6]$

$\underline{u}_{23} = \underline{V}_2 - \underline{V}_3 = [V ; - \pi/2]$

$\underline{u}_{31} = \underline{V}_3 - \underline{V}_1 = [V ; - 7\prod/6]$

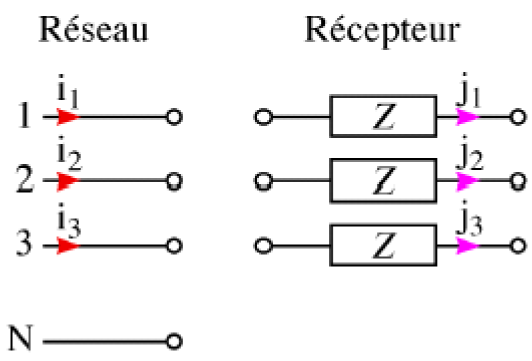
1.4 Relation entre U et V

En mesurant ou en calculant on peut voir que U = V x racine de 3

Exemple : Réseau 220 V/ 380 V ou 230 V/ 400 V

2 Récepteurs triphasés équilibrés

Un récepteur triphasé équilibré est l'ensemble de trois récepteurs monophasés identiques (trois dipôles identiques).
Un récepteur triphasé présente donc 6 bornes.



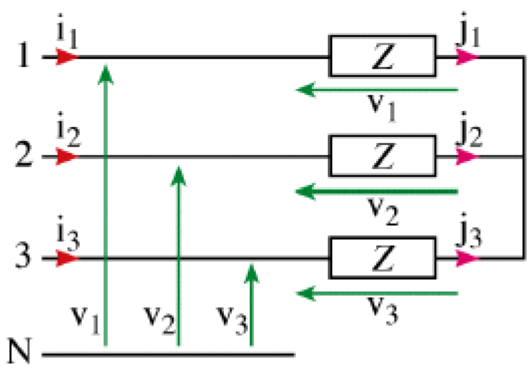
Remarque : On définira 2 courants.

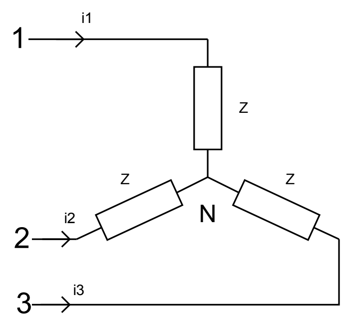
Courants par phase : c'est le courant qui traverse les éléments Z du récepteur triphasé.
Symbole : J

Courants en ligne : c'est le courant dans les fils du réseau triphasé.
Symbole : I

2.1 Couplage étoile

2.1.1 Montage





2.1.2 Relation entre les courants

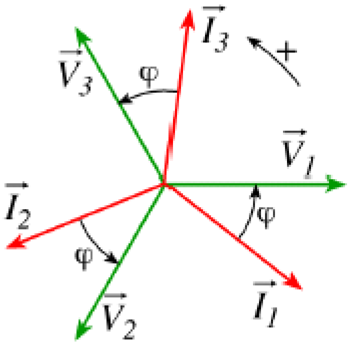
On constate d'après le schéma que $i_1 = j_1$; $i_2 = j_2$; $i_3 = j_3$.

Chaque dipôle est traversé par le même courant d'intensité i que la ligne à laquelle il est connecté.

De plus chaque dipôle est soumis à une tension simple on pourra donc écrire **$\underline{V} = \underline{Z}.\underline{I}$.**

Le récepteur étant équilibré on aura donc **$I_1 = I_2 = I_3 = I = J$.**

On en déduit donc le diagramme de Fresnel suivant dans lequel nous constatons que i_1, i_2 et i_3 forment un système triphasé équilibré d'intensités.

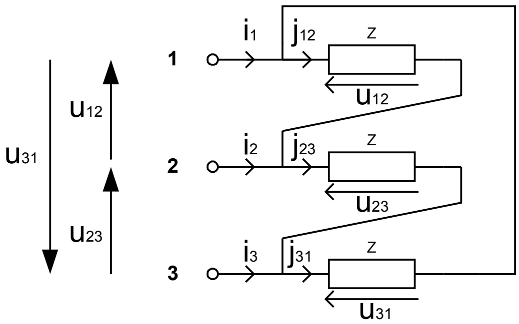


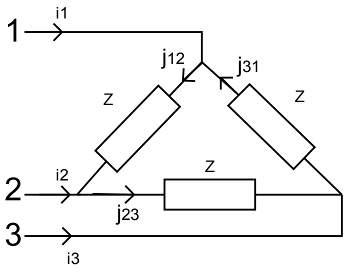
Remarque :

- $i_1 + i_2 + i_3 = i_N = 0$. On peut donc en supprimer le fil de neutre puisqu'il est traversé par aucun courant.

2.2 Couplage triangle

2.2.1 Montage





2.2.2 Relation entre les courants

Dans un couplage triangle, chaque dipôle du récepteur triphasé est placé entre 2 phases et est donc soumis à une tension composée u.

Chaque dipôle est traversé par un courant d'une intensité j qui est différente de l'intensité i du courant en ligne.

D'après la loi des nœuds, on aura :

$$i_1(t) = j_{12}(t) - j_{31}(t)$$
$$i_2(t) = j_{23}(t) - j_{12}(t)$$
$$i_3(t) = j_{31}(t) - j_{23}(t)$$

De plus, pour chaque dipôle, nous aurons la relation U = Z.J

On en déduit donc que i_1, i_2, i_3 et j_1, j_2 et j_3 forment des systèmes triphasés équilibrés.

Nous aurons donc **I = J x racine de 3**

Remarque :
Les déphasages pour les deux montages étoile et triangle sont les mêmes. Il s'agit du déphasage provoqué par le dipôle Z du montage.

$$\varphi_{\Delta}(\vec{J},\vec{U}) = \varphi_{\curlywedge}(\vec{I},\vec{V})$$

3 Puissances en triphasé

3.1 Théorème de Boucherot

Énoncé : « Les puissances actives et réactives absorbées par un groupement de dipôles sont respectivement égales à la somme des puissances actives et réactives absorbées par chaque élément du groupement. »

Puissance active : $P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_N$

Puissance réactive : $Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_N$

Puissance apparente : $S_{tot}^2 = P_{tot}^2 + Q^2_{tot}$

Facteur de puissance : $k = \frac{P_{tot}}{S_{tot}}$

3.2 Expressions des puissances

Quelque soit le couplage du récepteur équilibré, on a toujours :

P = .U.I.cos φ

Q = .U.I.sin φ

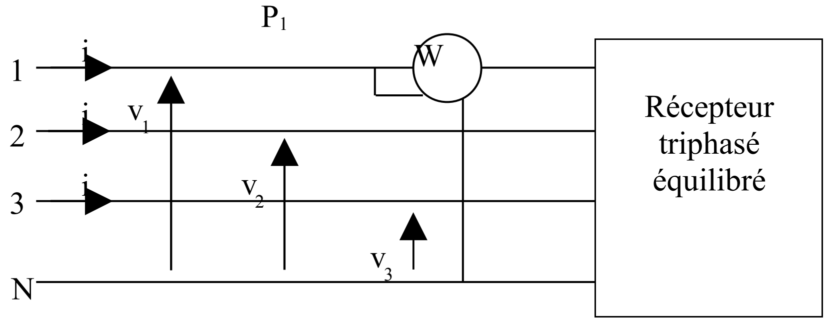
S = (P² +Q²)^1/2 = U.I

Avec U : valeur efficace de la tension composée (ou entre phases) en volts,
I : valeur efficace du courant dans un fil de ligne en ampères,
φ : déphasage en radians de la tension aux bornes de l'impédance par rapport au courant circulant à travers cette impédance.

3.3 Mesure de puissance

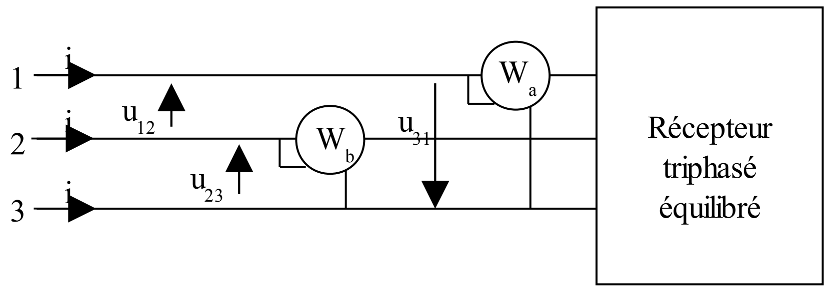
3.3.1 Ligne 4 fils (neutre accessible)

Pour déterminer P il suffit de mesurer la puissance dans un dipôle élémentaire et de multiplier par 3.



$$P = 3.P_1$$

3.3.2 Ligne 3 fils (Méthode des deux wattmètres)



Dans la méthode des 2 wattmètres, la puissance active P consommée par le récepteur triphasé est donnée par la somme des indications des deux wattmètres.

$$P = P_a + P_b$$

La puissance réactive est donnée par l'expression :

$$Q = (P_a - P_b) * \text{racine de } 3$$

Remarque : Les puissances P_a et P_b sont algébriques. Leurs signes dépendent de la nature du dipôle.

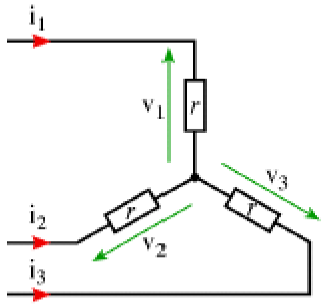
3.4 Pertes par effet Joule

3.4.1 Groupement étoile

Soit r la résistance par phase ou résistance d'un enroulement du récepteur.

On a vu que chaque enroulement est traversé par le courant i donc :

$$P_J = 3.P_1 = 3.r.I^2$$



Soit R la résistance entre phases ou résistance entre deux bornes :

On voit que R = 2r

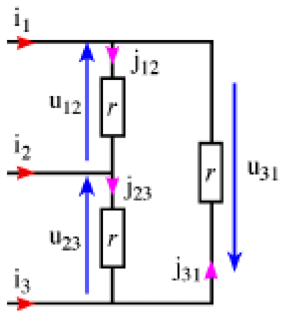
Donc **$P_J = 3r.I^2 = (3/2)\ R.I^2$**

3.4.2 Groupement triangle

Soit r la résistance par phase ou résistance d'un enroulement du récepteur.

On a vu que chaque enroulement est traversé par le courant j donc :

$$P_J = 3.r.J^2$$



Soit R la résistance entre phases ou résistance entre deux bornes :

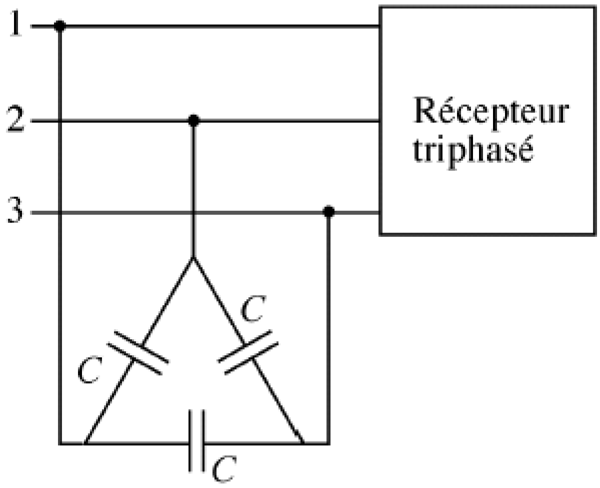
On voit que R = r

Donc **$P_J = 3r.J^2 = 3R(I/\text{racine de }3)^2 = 3.*1/3.I^2.R. = RI^2$**

3.5 Relèvement du facteur de puissance en triphasé

3.5.1 Couplage des condensateurs en triangle

Montage :



Tension aux bornes d'un condensateur : U
Puissance réactive absorbée par un condensateur :

$$Q_{c1} = - C.\omega.U^2$$

Puissance réactive absorbée par les trois condensateurs :

$$Q_C = 3.\ Q_{c1} = - 3.C.\omega.U^2$$

	Puissance active	Puissance réactive	Facteur de puissance
Charge seule	P	$Q = P.tg\varphi$	On a cosφ
les trois condensateurs seuls	0	$Q_C = -3C\omega U^2$	0
Charge + condensateurs	P	$Q' = Q + Q_C = P.tg\varphi'$	On veut cosφ'

On en déduit la capacité du condensateur de la manière suivante :

$$Q_C = - 3.C.\omega.U^2 = Q' – Q = P.\tan \varphi' – P.\tan \varphi$$

Finalement :

$$C = P(\tan \varphi - \tan \varphi') / 3.C.\omega.U^2$$

3.5.2 Couplage des condensateurs en étoile

En utilisant le même raisonnement que précédemment, on montre que la capacité du condensateur ($Q = - 3.C.\omega.V^2$) est donnée par la relation :

$$C = P(\tan \varphi - \tan \varphi') / C.\omega.U^2$$

Conclusion : Le couplage en étoile est donc moins intéressant puisque la capacité des condensateurs nécessaires est trois fois plus grande que pour le couplage en triangle. Plus la capacité est grande, plus le condensateur est volumineux et onéreux.