Université Sultan Moulay Slimane
Faculté des Sciences et Techniques

ELECTROTECHNIQUE
GE_GM

Chapitre 2
Réseau triphasé équilibré

Prof Ali NEJMI

Réseau triphasé équilibré

I - Principe de production des courants triphasés

1- Principe de production d'une f.e.m. alternative

2- Principe de production de f.e.m.s. triphasées

3- Courants triphasés équilibrés

II - Distribution en courant triphasé

1 - Installation triphasée

2 - Montage étoile (Y)

3 - Montage triangle (Δ ou D)

4 - Equivalence étoile – triangle

Réseau triphasé équilibré

III – Puissances dans les systèmes triphasés équilibrés

1 - Couplage Y
2 - Couplage Δ

3 - Mesure des puissances

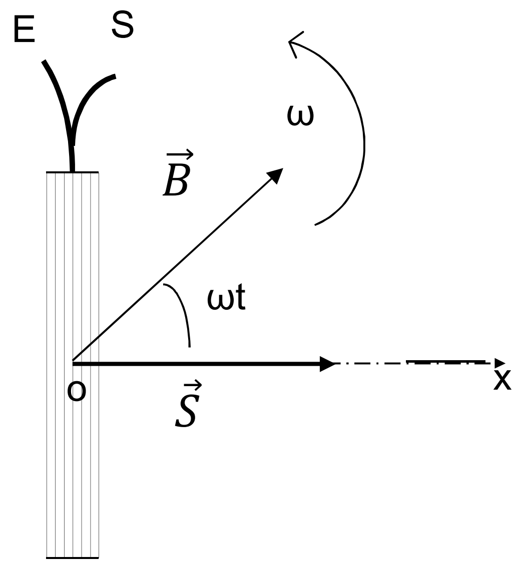
- Principe du Wattmètre
- Application à la mesure de puissances en triphasé

IV – Intérêt des systèmes triphasés

Principe de production des courants triphasés

1- Principe de production d'une f.e.m. alternative :

Considérons une bobine plate de N spires placée dans un champ d'induction magnétique $\vec{B}$ tournant à la vitesse ω (ce champ peut être obtenu par la rotation d'un aimant ou d'un électroaimant)



Le flux à travers la bobine à l'instant t est $\phi = N\,\vec{B}.\vec{S} = NB.S\,\cos(\omega t)$

Principe de production des courants triphasés

La bobine est traversée par un flux variable, elle sera donc le siège d'une f.e.m alternative (apparition entre E et S) :

$$e = -\frac{d\phi}{dt} = E_m \sin(\omega t)$$

avec $E_m = NBS\omega$

c'est la loi de **Lenz-Faraday** ou loi de l'induction électromagnétique .

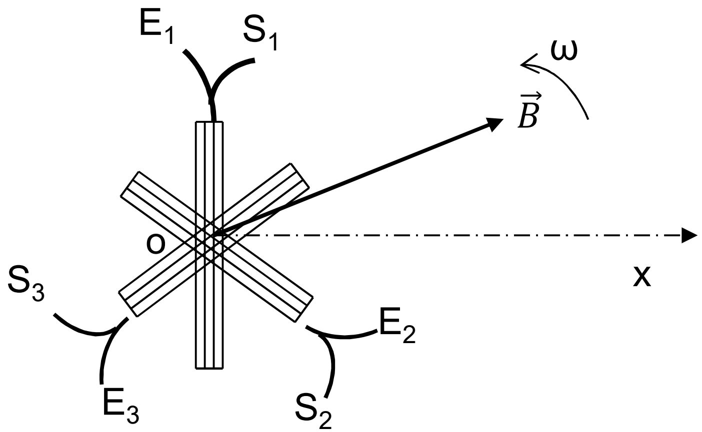
Ce phénomène intervient dans la plus part des dispositifs électriques.

En électrotechnique, on peut citer comme application les générateurs à f.e.m. d'induction (alternateurs, dynamo, transformateurs……)

Principe de production des courants triphasés

2- Principe de production d'une f.e.m. triphasées

Considérons maintenant 3 bobines identiques décalées entre elles de 120° dans l'espace et soumises au même champ tournant.



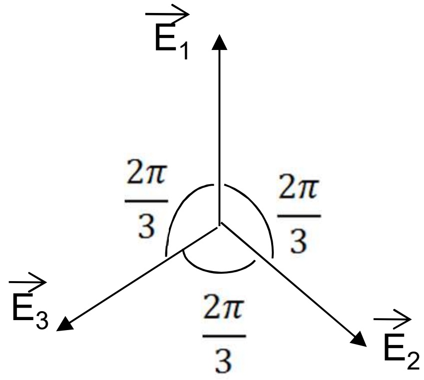
Choisissant l'instant t = 0 au moment où $\vec{B}$ et (Ox) sont colinéaires.

Principe de production des courants triphasés

La f.e.m. induite dans la bobine 1 est donc choisie comme origine des phases : $\mathbf{e_1} = \mathbf{E_m sin(\omega t)}$.

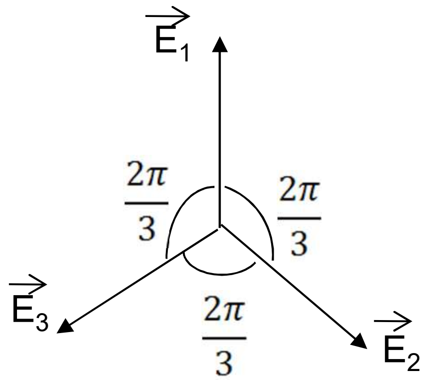
Il est clair que la f.e.m. induite dans la bobine 2 sera déphasée par rapport à celle induite dans la bobine 1 de 120° ou $2\pi/3$. Celle induite dans la bobine 3 de 240° ou $4\pi/3$.

Ce qui donne en choisissant l'axe vertical comme axe des phases.



Principe de production des courants triphasés

$$\begin{cases} \mathbf{e_1 = E_m sin(\omega t)} \\ \mathbf{e_2 = E_m sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})}. \\ \mathbf{e_3 = E_m sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})}. \end{cases}$$



Les 3 f.e.m ainsi obtenues forment un <u>système triphasé équilibré</u>

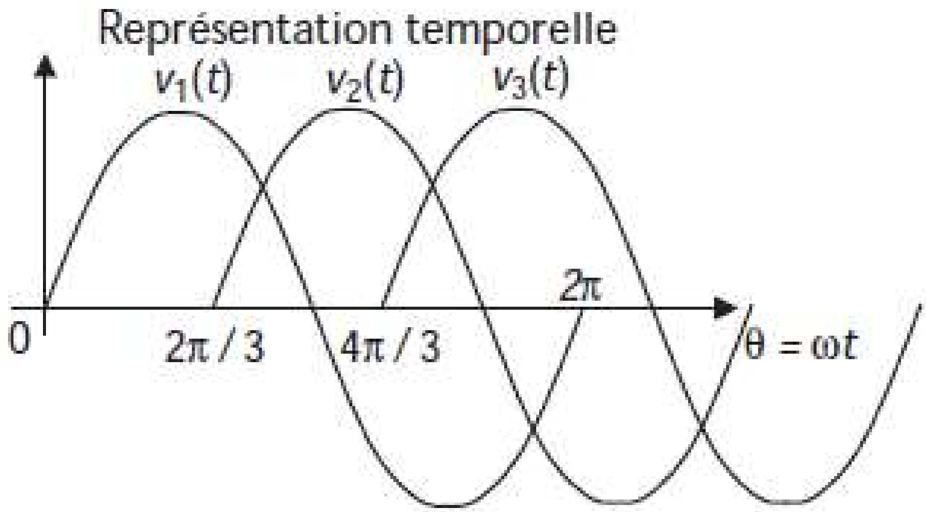
Principe de production des courants triphasés

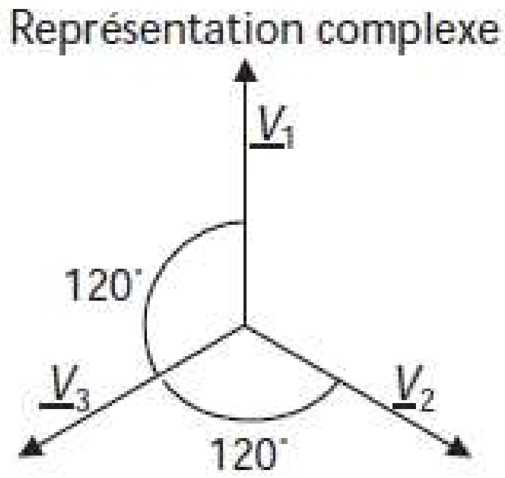
système triphasé équilibré

Un système de tensions triphasées équilibré direct est un ensemble de trois tensions sinusoïdales de même amplitude et déphasées entre elles d'angles valant toujours $\frac{2\pi}{3}$.

Principe de production des courants triphasés

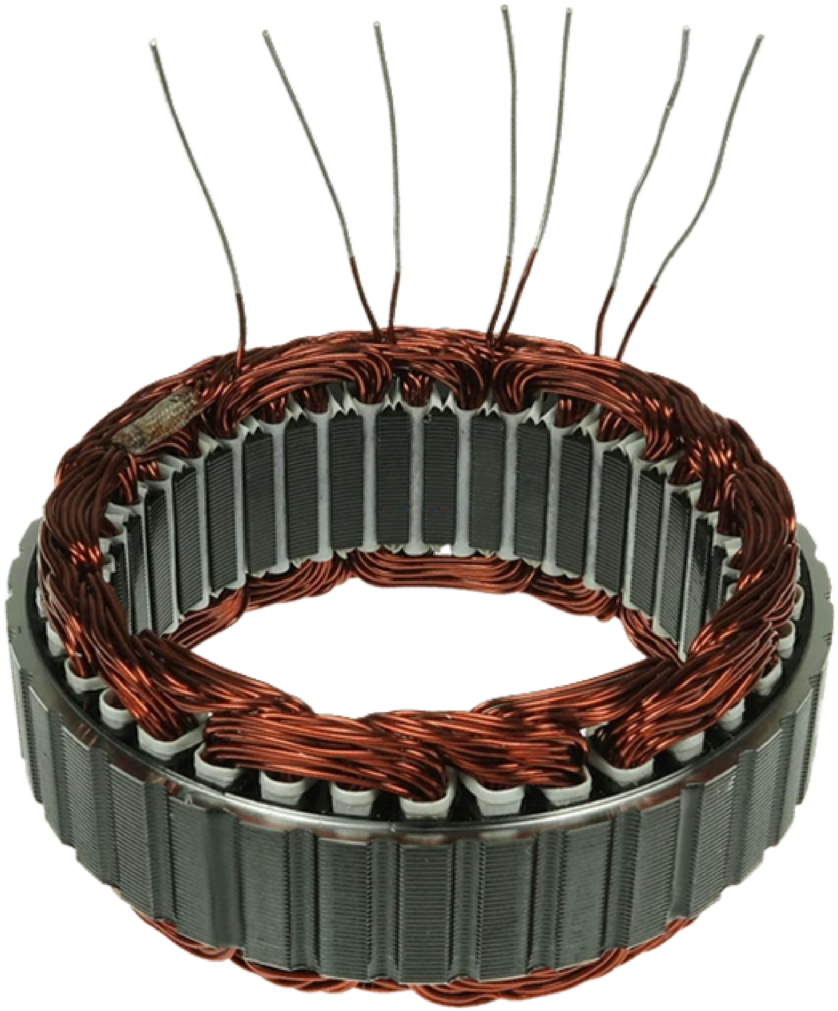
La représentation temporelle de ces trois tensions n'est pas pratique à représenter, aussi il est toujours préférable de lui préférer la représentation complexe qui est caractéristique des systèmes triphasés.

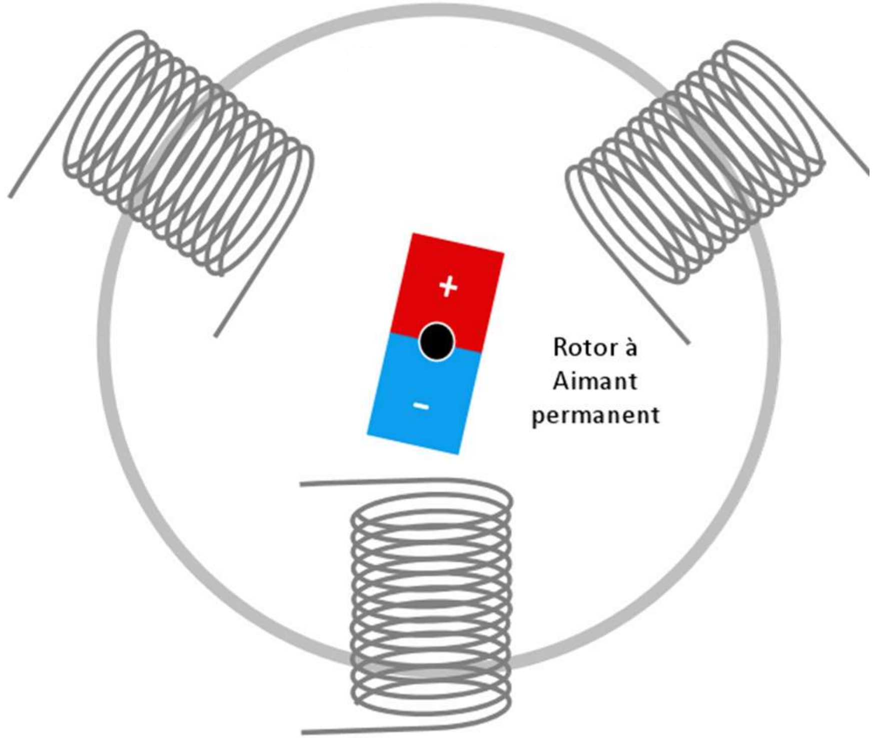




Principe de production des courants triphasés

Exemple: alternateur à aimant permanent

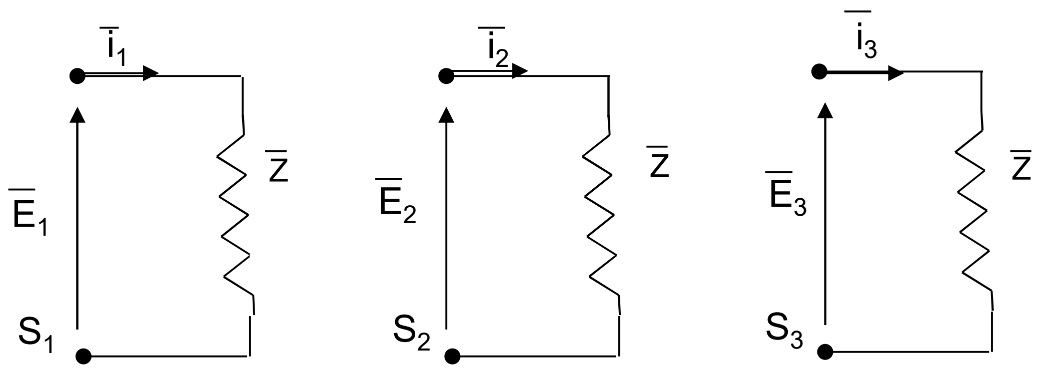




Principe de production des courants triphasés

3- Courants triphasés équilibrés :

Relions les 3 bobines précédentes à 3 récepteurs identiques d'impédance $\bar{Z}$:



Principe de production des courants triphasés

Si φ est le déphasage introduit par l'impédance $\bar{Z}$. L'expression des 3 courants sera :

$$\begin{cases} i_1 = I_m \sin(\omega t - \varphi) \\ i_2 = I_m \sin(\omega t - \varphi - \frac{2\pi}{3}) \\ i_3 = I_m \sin(\omega t - \varphi + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \qquad I_m = \frac{E_m}{Z}$$

Les trois courants ainsi obtenus forment un système triphasé équilibré on établira facilement que :

$$\begin{cases} e_1 + e_2 + e_3 = 0 \\ i_1 + i_2 + i_3 = 0 \end{cases}$$

Distribution en courant triphasé

1- Installation triphasée

Elle comprend un générateur, une ligne de distribution et des récepteurs.

- **Le générateur** comporte 3 bornes accessibles (éventuellement 4 si le neutre est sorti) entre lesquelles existent des tensions de même fréquence.

Pour un système triphasé équilibré, ces tensions ont la même valeur efficace et sont déphasées l'une par rapport à l'autre de $2\pi/3$. Si l'une de ces 2 conditions n'est pas remplie ; le système est dit **déséquilibré**.

- **La ligne** de distribution est un ensemble de 3 fils conducteurs de même section pour un montage sans neutre.

On peut adjoindre un fil neutre de section généralement plus faible si la borne neutre est sortie côté générateur et côté récepteur.

- **Le récepteur**, lorsqu'il est équilibré, est formé par l'association de 3 impédances identiques.

Distribution en courant triphasé

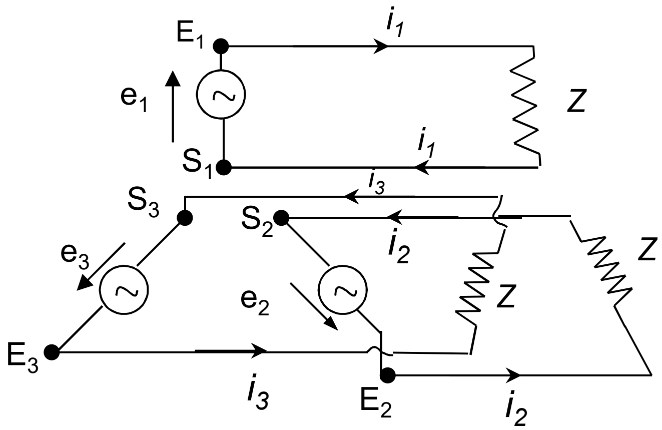
2- Montage étoile (Y)

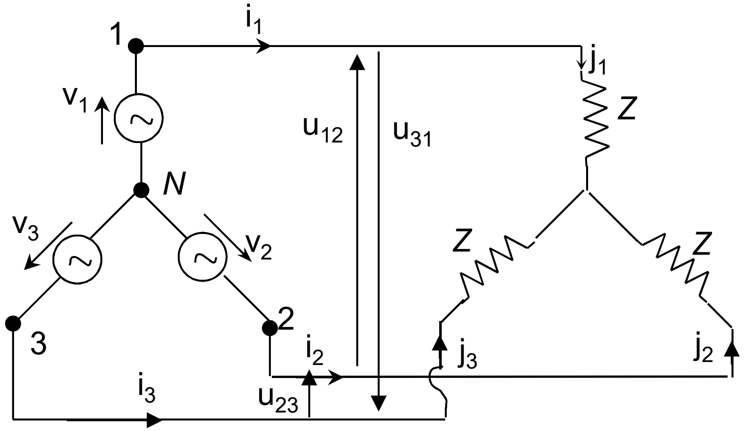
Reprenons les trois circuits précédents ainsi:

Si on réunit les trois fils de retour, on obtient un fil unique parcouru par la somme des trois courants.

Ici $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ (système équilibré).

Le courant qui y passe est nul et on peut donc supprimer ce fil. **D'où le montage étoile équilibré** :



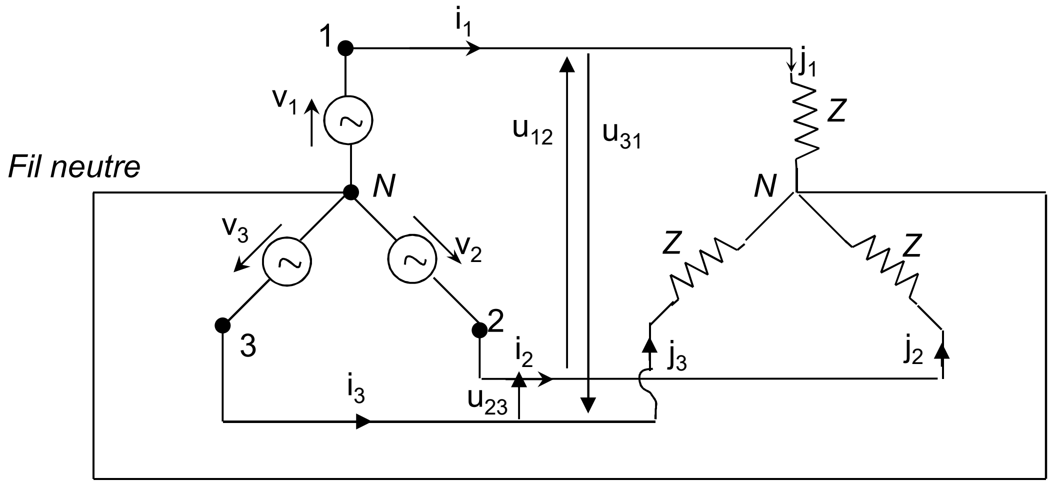


Distribution en courant triphasé

Notons que si les récepteurs ne sont pas identiques, il y aura un courant dans le fil commun que l'on ne pourra supprimer.

La distribution sera faite alors avec 4 fils. Les 3 fils principaux sont appelés <u>fils de phase ou phases</u>, le quatrième fil est appelé <u>fil neutre ou neutre</u>.

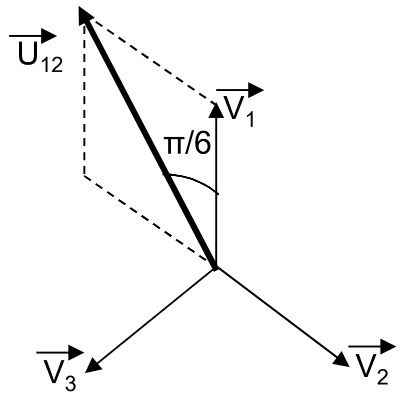
Les tensions v_1, v_2 et v_3 entre phases et neutre sont appelées <u>tensions simple ou tension de phases</u>.



Distribution en courant triphasé

On définit les tensions composées ou tension entre phases par :

u_{12} tension entre la phase 1 et la phase 2.
u_{23} tension entre la phase 2 et la phase 3.
u_{31} tension entre la phase 3 et la phase 1.



A tout instant on peut écrire :

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

soit vectoriellement:

$$\vec{u}_{12} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$$

$\vec{U}_{12}$ est en avance de $\pi/6$ / à $\vec{V}_1$.

En module $\mathbf{U_{12} = 2\, V_1 \cos(\pi/6) = V_1\sqrt{3}}$ **D'où** $\overline{\boldsymbol{U}}_{\mathbf{12}} = \mathbf{\sqrt{3}}\, \boldsymbol{V}_{\mathbf{1}}\, \mathbf{e^{j\pi/6}}$

On trouve des relations analogues entre $\overline{\boldsymbol{U}}_{\mathbf{23}}$ et $\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{2}}$, entre $\overline{\boldsymbol{U}}_{\mathbf{31}}$ et $\overline{\boldsymbol{V}}_{\mathbf{3}}$

Distribution en courant triphasé

Donc entre les valeurs efficaces des tensions simples et composées existe la relation **$U = V\sqrt{3}$.**

Si V = 127 V	; U = 220 V	(ancien réseau)
Si V = 220 V	; U = 380 V	(réseau actuel)
Si V = 380 V	; U = 660 V	

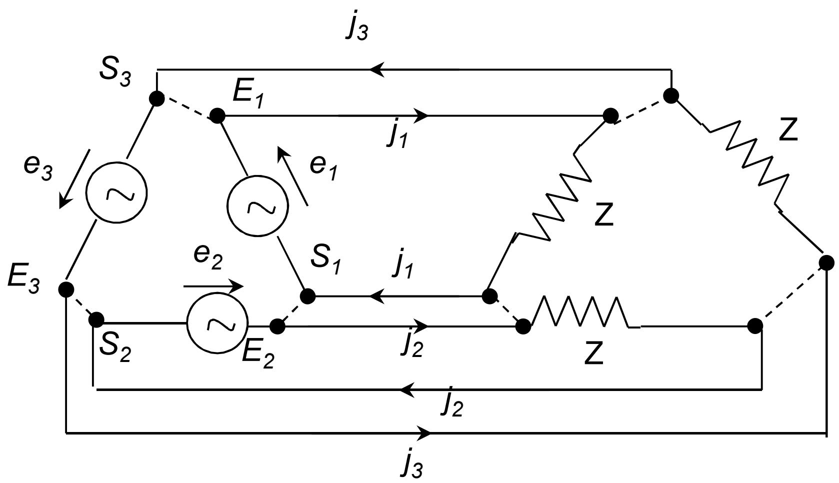
On désigne généralement par **I** la valeur efficace des courants dans les fils de phases ou courants de ligne et par *J* celle des courants dans les phases du récepteur.

Dans le cas du montage étoile I = J ($i_1 = j_1$, $i_2 = j_2$, $i_3 = j_3$,)

3- Montage triangle (Δ ou D)

Reprenons les trois circuits initiaux et représentons les de la manière suivante :

On remarque qu'on modifie rien au fonctionnement de l'ensemble des 3 circuits en reliant E_1 et S_3.

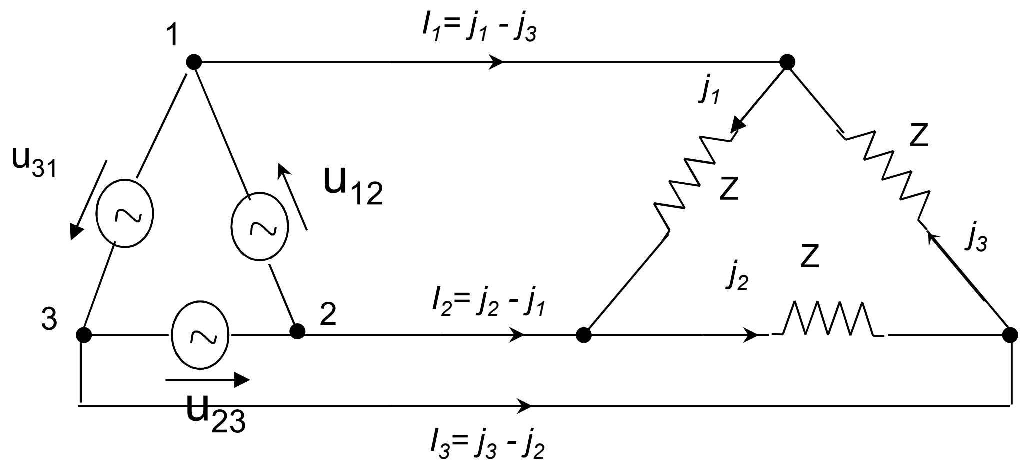


Distribution en courant triphasé

De même, on peut connecter E_2 et S_1.

En fin, comme $e_1 + e_2 + e_3 = 0$; les points E_3 et S_2 sont au même potentiel, on peut donc les relier sans perturbation du fonctionnement du système.

D'où le montage triangle équilibré :

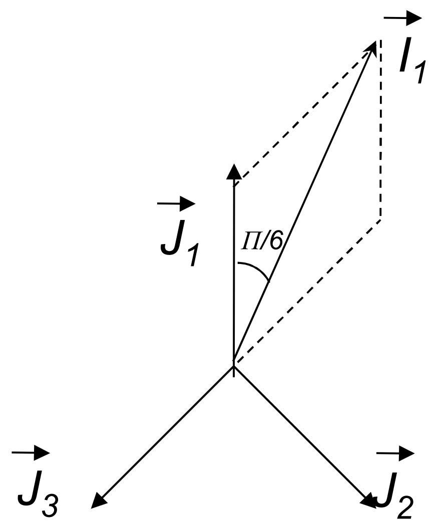


Distribution en courant triphasé

On remarque que chaque phase du récepteur est soumise à la tension composée. Quant aux courant, on a :

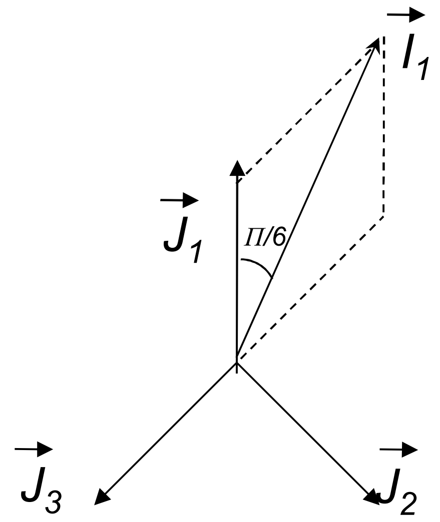
$i_1 = j_1 - j_3$ soit vectoriellement $\vec{I}_1 = \vec{J}_1 - \vec{J}_3$
$i_2 = j_2 - j_1$ soit vectoriellement $\vec{I}_2 = \vec{J}_2 - \vec{J}_1$
$i_3 = j_3 - j_2$ soit vectoriellement $\vec{I}_3 = \vec{J}_3 - \vec{J}_2$

D'où le diagramme vectoriel:



$\vec{I}_1$ est en retard de π/6 par rapport à $\vec{J}_1$.

Distribution en courant triphasé



En module $\boldsymbol{I_1 = 2\,J_1\,cos\,\pi/6 = J_1\,\sqrt{3}}$

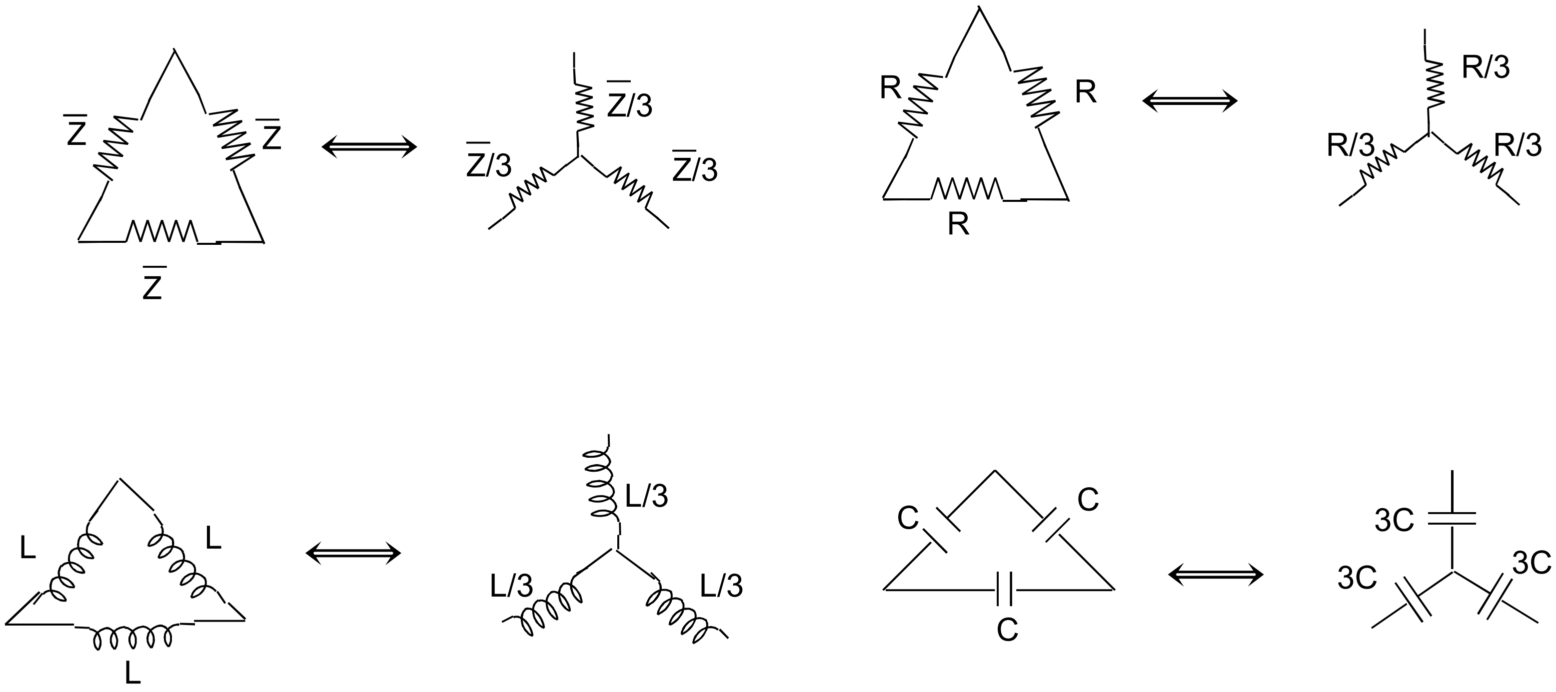
D'où $\boldsymbol{\bar{I}_1 = \sqrt{3}\bar{J}e^{-\frac{\pi}{6}}}$

On trouve des relations analogues entre $\bar{\boldsymbol{I}}_2$ et $\bar{\boldsymbol{J}}_2$, $\bar{\boldsymbol{I}}_3$ et $\bar{\boldsymbol{J}}_3$.

Donc entre les valeurs efficaces des courants de ligne et des courants de phases existe la relation : **I = J √3**

Distribution en courant triphasé

4- Equivalence étoile – triangle



Puissances dans les systèmes triphasés équilibrés

1- Couplage étoile:

La puissance active absorbée par chaque phase du récepteur est:

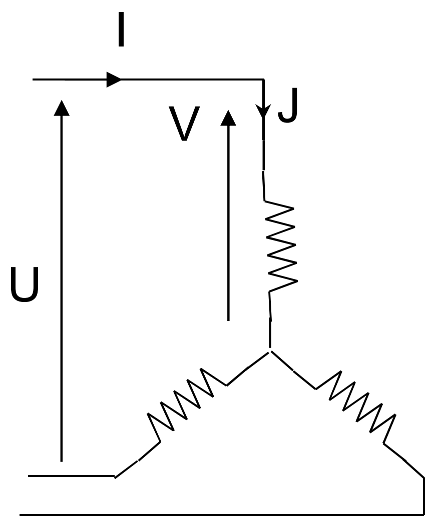
$$VJ\ \cos\varphi$$

La puissance totale absorbée est

$$P\ = 3\ VJ\ \cos\varphi.$$

Or $V\ =\ U/\sqrt{3}$ et $J = I$ donc

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

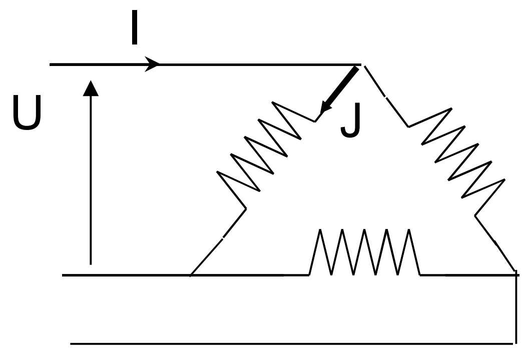


Puissances dans les systèmes triphasés équilibrés

2- Couplage triangle:

La puissance active absorbée par chaque phase du récepteur est:

$$UJ\ \cos\varphi$$



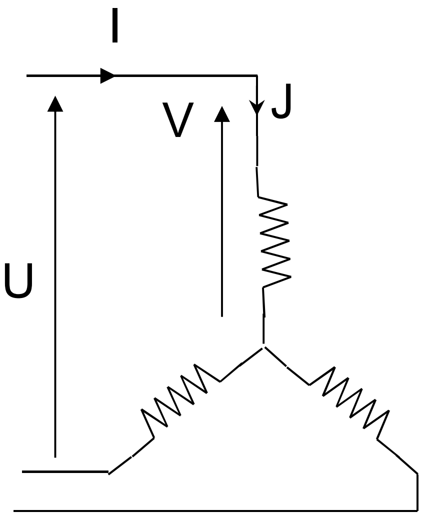
La puissance totale absorbée est $P = 3\ UJ\cos\varphi$.

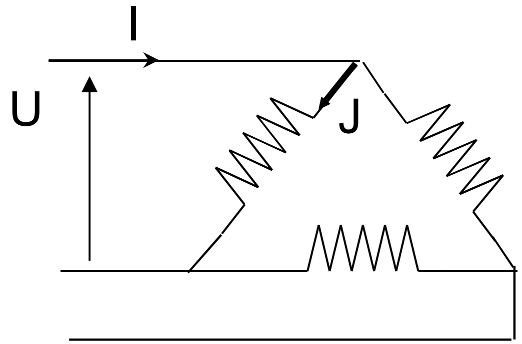
Or $J = \frac{I}{\sqrt{3}}$ et $U = V$

donc

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

Puissances dans les systèmes triphasés équilibrés

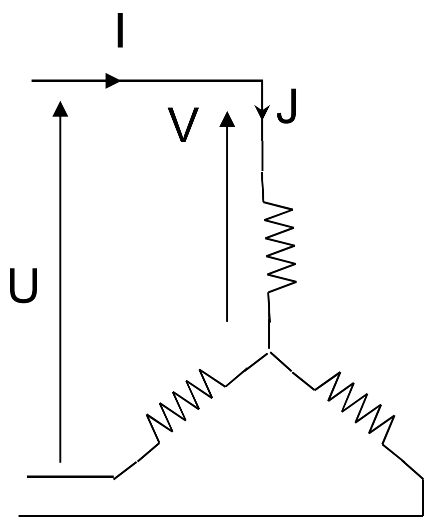


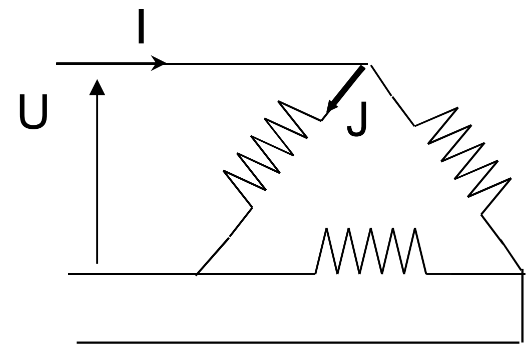


On voit donc qu'en triphasé équilibré l'expression de la puissance active est la même en Y qu'en Δ :

$$\boldsymbol{P = \sqrt{3}.UIcos\varphi}$$

Puissances dans les systèmes triphasés équilibrés





On établit de même l'expression de la puissance réactive:

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

et celle de puissance apparente

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

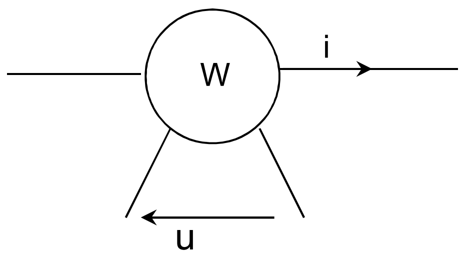
Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

1- Mesure des puissances:

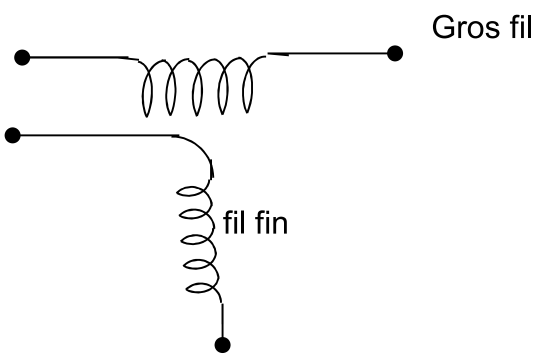
a- Principe du wattmètre:

C’est un appareil qui mesure la valeur moyenne du produit u(t).i(t). Pour cela il faut lui fournir 2 informations : la tension et le courant.

Le wattmètre comporte 2 enroulements : un enroulement qui reçoit le courant et qu’il faut connecter en série avec le récepteur, et un enroulement qui reçoit la tension et qu’il faut connecter en parallèle avec le récepteur.

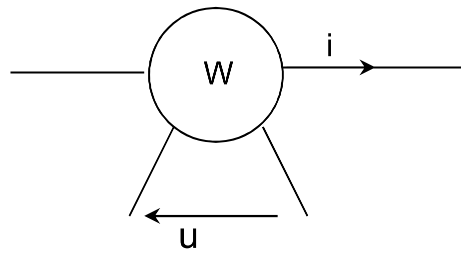


ou

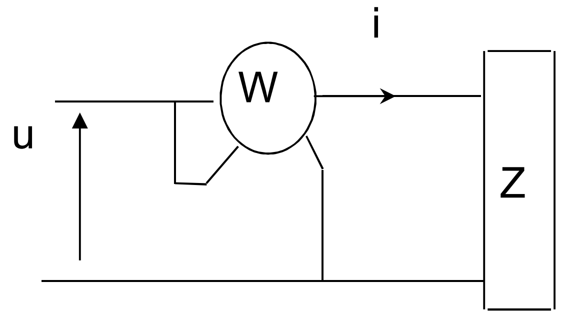


Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés



La mesure de la puissance active absorbée par un récepteur monophasé se fait ainsi :

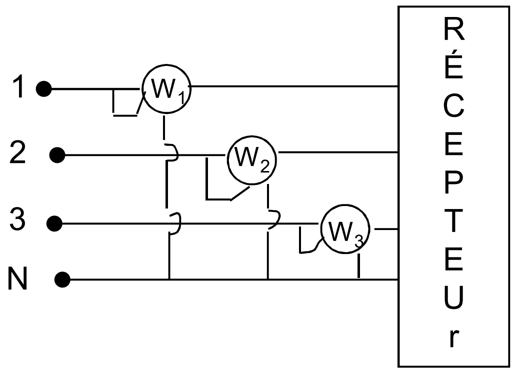


Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

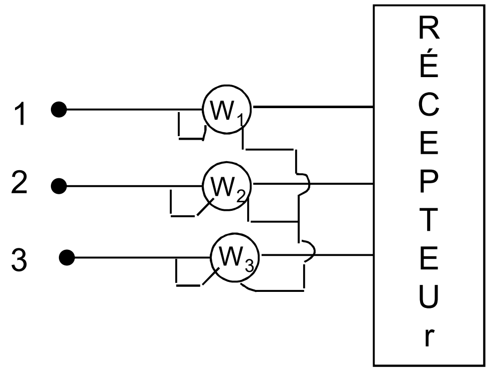
b- Application à la mesure de puissance en triphasé:

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer P et Q. Les plus couramment utilisées sont la méthode des « 3 wattmètres », celle des « 2 wattmètres » et celle de « Boucherot ».

- **Méthode des « 3 wattmètres »:**

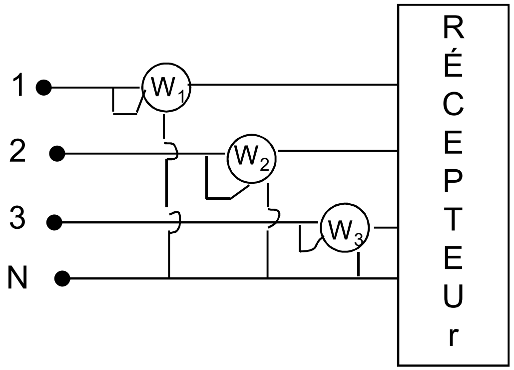


Neutre accessible

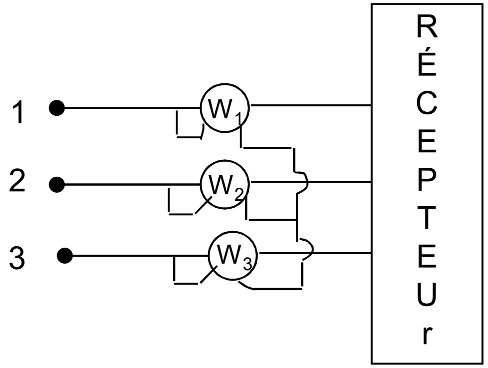


Neutre *artificiel*

Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés



Neutre accessible



Neutre *artificiel*

$$P = W_1 + W_2 + W_3$$

Si le système est équilibré, les trois wattmètres donnent la même indication

$$(W_1 = W_2 = W_3 = W)$$

et il suffit d'un seul pour mesurer la puissance active $P = 3\ W$.

Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

- **Méthode des « 2 Wattmètres » ou « double wattmètre »:**

Pour toute liaisons triphasée équilibrée ou non, la puissance instantanée s'écrit

$$p=v_1\, i_1+v_2\, i_2+ v_3\, i_3$$

Si $i_N = 0$ (système équilibré ou déséquilibré 3 fils)

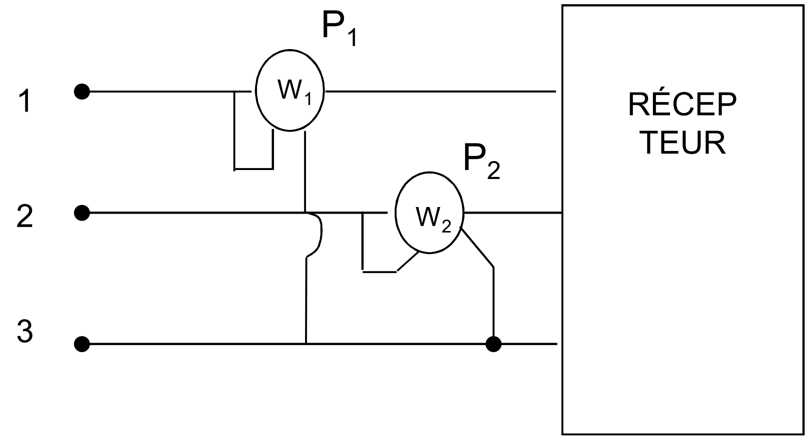
$$p = v_1\, i_1 + v_2\, i_2 + v_3\,(-i_1 \ -i_2) = (v_1 – v_3)i_1 + (v_2 –v_3)i_2$$

donc $\quad P = \langle p \rangle = \langle u_{13} \,.\, i_1 \rangle + \langle u_{23} \,.\, i_2 \rangle$

Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

Si on fait passer i_1 dans le circuit courant d'un wattmètre et si on applique u_{13} à ses bornes, il indique $P_1 = <u_{13} \,.\, i_1>$

De même un second wattmètre parcouru par i_2 est alimenté sous u_{23} indique: $P_2 = < u_{23} \,.\, i_3 >$



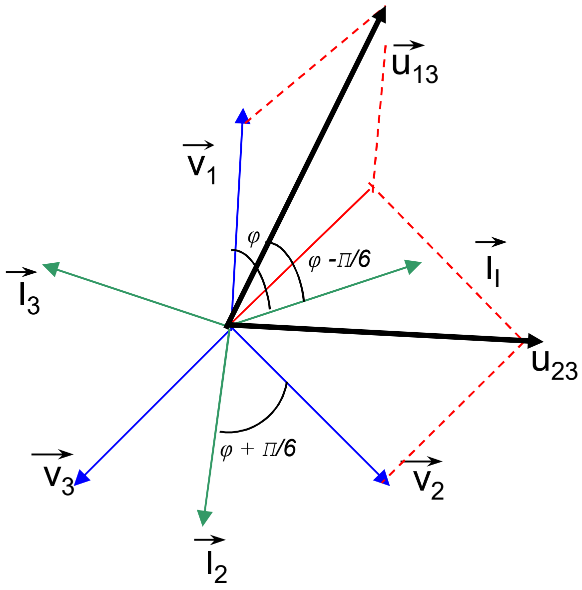
$P=P_1+P_2$

Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

<u>Si les courants et les tensions sont équilibrés et sinusoïdaux</u>

$$\begin{cases} P_1 = U_{13} I_1 \cos\left(\widehat{\overline{U}_{13}, \overline{I}_1}\right) = UI\cos(\varphi - \frac{\pi}{6}) \\ P_2 = U_{23} I_2 \cos\left(\widehat{\overline{U}_{23}, \overline{I}_2}\right) = UI\cos(\varphi + \frac{\pi}{6}) \end{cases}$$

2



$$\begin{cases} P_1 + P_2 = \sqrt{3}\,\mathrm{UI}\cos(\varphi) \\ P_1 - P_2 = \mathrm{UI}\sin(\varphi) \end{cases}$$

$$\Longrightarrow \quad \begin{aligned} P_1 + P_2 &= P \\ P_1 - P_2 &= \frac{Q}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

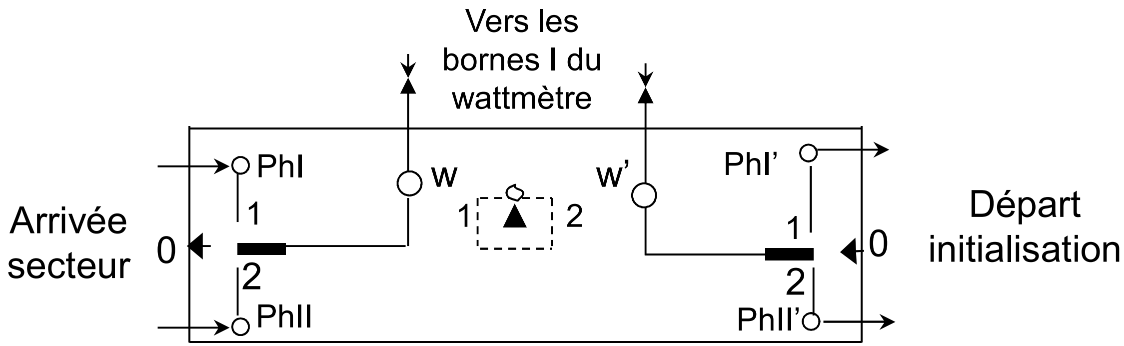
Donc :

$$\begin{cases} P = P_1 + P_2 = \sqrt{3}\,\mathrm{UI}\cos(\varphi) \\ Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2) = \sqrt{3}\mathrm{UI}\sin(\varphi) \end{cases}$$

Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

Expérimentalement, on réalise deux mesures successives avec un seul wattmètre et un commutateur, ce dernier est un interrupteur qui permet d'aiguiller i_1 ou i_2 dans le circuit gros fil du wattmètre.

Le commutateur utilisé est le suivant :



Le passage du circuit courant du wattmètre (W W') de la phase (I) (position 1 du commutateur) à la phase II (position 2) s'effectué instantanément et sans coupure de circuit.

En position O du commutateur, le wattmètre est hors circuit, les bornes I, I', II et II' sont directement reliées entre elles.

Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

Signe de P_1 et P_2 en fonction de φ

	$-\pi/2$		$-\pi/3$		0		$+\pi/3$		$\pi/2$
cosφ			0.5 AR		1		0.5 AV		0
P_1		-	0		+		+		+
P_2		+			+		0		-
	$P_1=-P_2$		$\|P_1\|<\|P_2\|$		$P_1=P_2$	$\|P_1\|>\|P_2\|$			$P_1=-P_2$

Circuit Fortement inductif

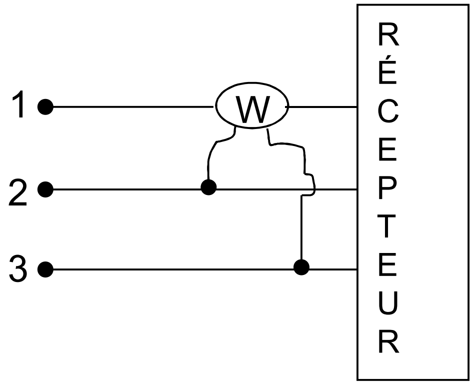
Circuit Fortement capacitif

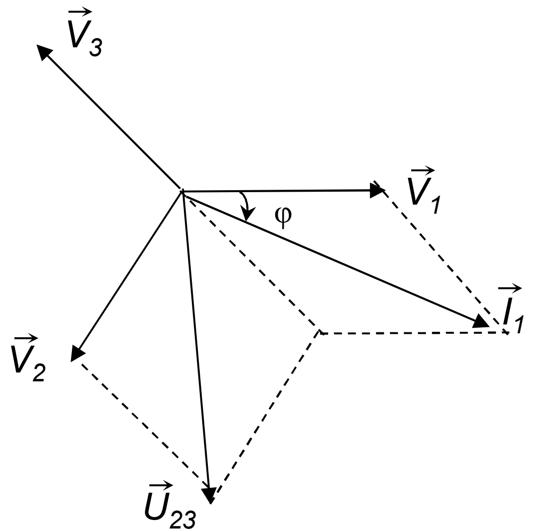
$$P_1 = UI\cos(\varphi - \pi/6)$$
$$P_2 = UI\cos(\varphi + \pi/6)$$

<u>Rq</u> *: On remarque que p_1 et p_2 sont de signes contraire pour des récepteurs fortement inductif ou fortement capacitifs*

Puissances dans les systèmes triphasé équilibrés

- **Mesure de la puissance réactive par la Méthode de Boucherot**





$$W = U_{23} I_1 \cos\left(\widehat{\overline{U}_{23}, \overline{I}_1}\right) = UI \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$$

$$W = UI \sin(\varphi) = \frac{Q}{\sqrt{3}}$$

Donc $Q = \sqrt{3}W$ à condition que le système soit équilibré en tensions et en courant

Intérêt des systèmes triphasés

Les systèmes triphasés s'avèrent plus avantageux que les autres systèmes au niveau de la production, de la distribution et de l'utilisation de l'énergie électrique.

- Au niveau de la production de l'énergie électrique, l'alternateur triphasé présente sur l'alternateur monophasé l'avantage d'une meilleure utilisation du volume.

- Les systèmes triphasés permettent de produire des champs magnétiques tournants à partir de dispositifs fixes: propriété extrêmement importante car elle permet de construire des machines simples, robustes et économiques

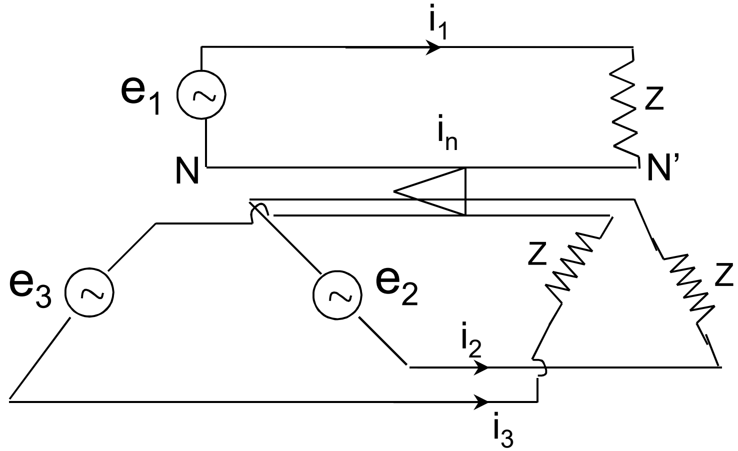
- Les machines triphasées ont une puissance allant de 1,5 à 2 fois celle d'une machine monophasée de même masse donc de même coût. En plus, en régime équilibré, les machines présentent un couple mécanique pratiquement constant, d'ou un fonctionnement plus régulier et un meilleur rendement.

Intérêt des systèmes triphasés

Intérêt en distribution:

Soient trois générateur e_1, e_2, e_3 et trois impédances identiques à alimenter. Comparons en monophasé et en triphasé les quantités de cuivre nécessaires à la construction des lignes.

Les courants i_1 , i_2 , i_3 ont même module,
soit σ la densité de courant.
Soit L la distance entre les récepteurs et les sources.



Intérêt des systèmes triphasés

En monophasé, il faut un volume de cuivre = 3.(2.L I/ σ)

En triphasé tout se passe comme si les trois fils entre N et N' étaient accolés en un seul conducteur que l'on peut supprimer ou qu'il pourra avoir une section plus faible.($i_1 + i_2 + i_3 = i_n = 0$) il faut donc en triphasé un volume de cuivre 3.L I/ σ

Donc en triphasé équilibré, il faut deux fois moins de cuivre pour faire une ligne de distribution, il en résulte aussi une réduction des contraintes sur les pylônes.

Intérêt des systèmes triphasés

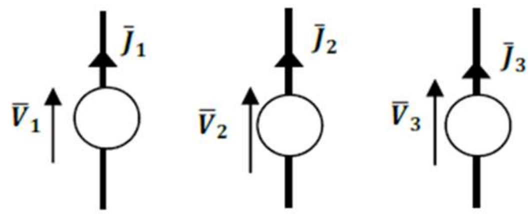
Intérêt du triphasé pour le redressement:

L’ondulation de la tension de sortie d’un pont redresseur triphasé à diode est très faible par rapport à ce que produit un pont redresseur monophasé.

L’inductance de lissage à prévoir dans la charge pour que le courant soit faiblement ondulé est donc nettement plus économique en triphasé.

- Au niveau de l’utilisation, les systèmes triphasés permettent d’avoir 2 tensions : la tension simple et la tension composée.

Systèmes triphasés
Résumé

Système triphasé équilibré direct de tensions	
Définition	$v_1(t) = \sqrt{2}V\sin(\omega t)$ $v_2(t) = \sqrt{2}V\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$ $v_3(t) = \sqrt{2}V\sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$
En notation complexe et Représentation	$\bar{V}_1 = \sqrt{2}Ve^{j\omega t}$ $\bar{V}_2 = \sqrt{2}Ve^{j\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)}$ $\nabla_3 = \bar{V}Ve^{j\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)}$
Grandeurs de phase	
	V : Tension simple ou de phase J : Courant de phase

Systèmes triphasés
Résumé

Couplage étoile	$U = \sqrt{3}V$; $\begin{bmatrix} \bar{U}_{12} \\ \bar{U}_{23} \\ \bar{U}_{31} \end{bmatrix} = \sqrt{3} \cdot e^{j\frac{\pi}{6}} \cdot \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{V}_3 \end{bmatrix}$; $\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{J}_1 \\ \bar{J}_2 \\ \bar{J}_3 \end{bmatrix}$
Couplage triangle	$I = \sqrt{3} \cdot J$; $U = V$ $\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \end{bmatrix} = \sqrt{3} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}} \cdot \begin{bmatrix} \bar{J}_1 \\ \bar{J}_2 \\ \bar{J}_3 \end{bmatrix}$; $\begin{bmatrix} \bar{U}_{12} \\ \bar{U}_{23} \\ \bar{U}_{31} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \bar{V}_3 \end{bmatrix}$

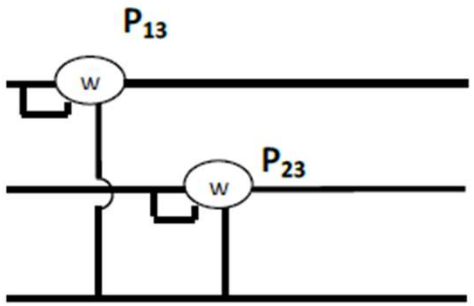
Systèmes triphasés
Résumé

Puissances	
Puissance active en Watt W)	$P = 3 \cdot V \cdot J \cdot \cos\varphi$ $= \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$
Puissance réactive en volt ampère réactif (VAR)	$Q = 3 \cdot V \cdot J \cdot \sin\varphi$ $= \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi$
Puissance apparente en volt ampère (VA)	$S = 3 \cdot V \cdot J = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$ $= \sqrt{P^2 + Q^2}$

Systèmes triphasés
Résumé

Facteur de puissance	
Définition	$FP = \frac{P}{S} = \cos\varphi$
Amélioration du facteur de puissance et Compensation de l'énergie réactive Par 3 condensateurs montés en triangle	$Q_C = -P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$ $= -3 \cdot C \cdot \omega \cdot U^2$ $C = \frac{P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)}{3\omega \cdot U^2}$

Systèmes triphasés
Résumé

Mesure de puissances - Méthode des deux wattmètres	
Montage	
Puissance active en Watt (W)	$P = P_{13} + P_{23}$
Puissance réactive en volt ampère réactif (VAR)	$Q = \sqrt{3}(P_{13} - P_{23})$

Systèmes triphasés
Résumé

Etude d'une installation électrique triphasée	
Total (1) : Avant compensation de l'énergie réactive.	
Puissance active totale en (W)	$P_{T1} = \sum_{i=1}^{n} P_i$
Puissance réactive totale en (VAR)	$Q_{T1} = \sum_{i=1}^{n} Q_i$
Puissance apparente totale en (VA)	$S_{T1} = \sqrt{P_{T1}^2 + Q_{T1}^2}$
Courant total de ligne En ampère (A)	$\boldsymbol{I}_{T1} = \frac{S_{T1}}{\sqrt{3}U}$
facteur de puissance total	$\cos\varphi_{T1} = \frac{P_{T1}}{S_{T1}}$

Systèmes triphasés
Résumé

Amélioration du facteur de puissance Compensation de l'énergie réactive	$Q_C = -P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2) = -3 \cdot C \cdot \omega \cdot U^2$
Puissance active totale en (W)	$P_{T2} = P_{T1}$
Puissance réactive totale en (VAR)	$Q_{T2} = Q_{T1} + Q_C$
Puissance apparente totale en (VA)	$S_{T2} = \sqrt{\boldsymbol{P}_{T1}{}^2 + \boldsymbol{Q}_{T2}{}^2}$
Courant total de ligne En ampère (A)	$\boldsymbol{I}_{T2} = \dfrac{S_{T2}}{\sqrt{3}U}$
facteur de puissance total	$\cos\varphi_{T2} = \dfrac{\boldsymbol{P}_{T1}}{S_{T2}}$