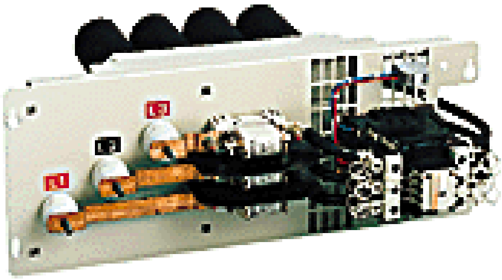
COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASES



CIRCUITS TRIPHASES

MESURES DES PUISSANCES

CIRCUITS TRIPHASES

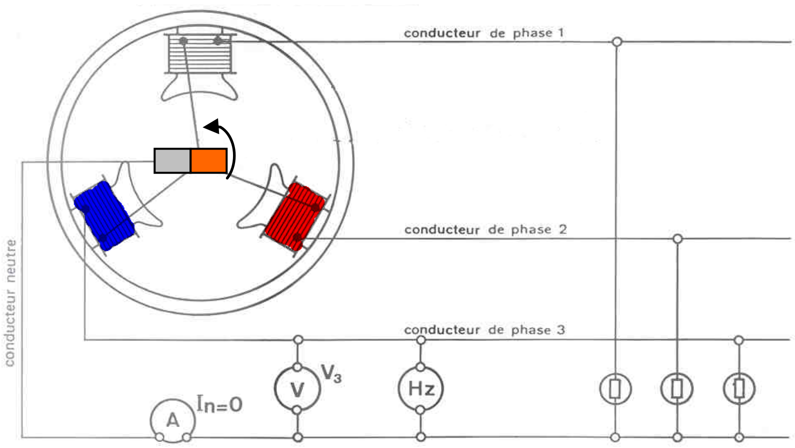
AMELIORATION DU FACTEUR DE PUISSANCE

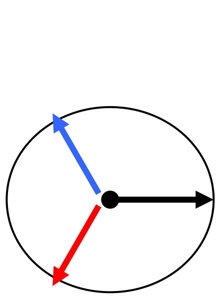
SOMMAIRE

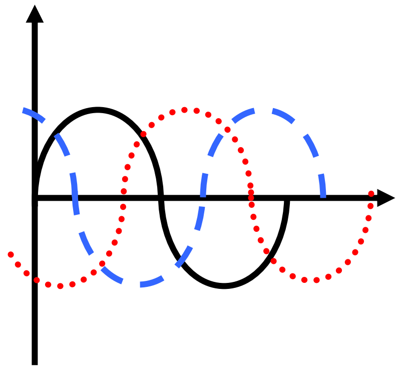
PRODUCTION DU COURANT ALTERNATIF

1) Principe de l'alternateur

Un alternateur triphasé est constitué de trois alternateurs monophasés.
Lorsque l'aimant tourne à une vitesse **w rd/s** ($2\pi f$) en présence des trois bobines identiques, décalées dans l'espace de 120°, celles-ci produisent trois f.e.m, alternatives de même valeur, de même fréquence, mais déphasées entre elles de 1/3 de période.
Trois des bornes des bobines sont réunies pour former le conducteur neutre et les trois autres constituent les phases.







2) Tension simple et tension composée

a) Définition

✷La tension entre chaque phase et le neutre est appelée tension simple :sa valeur efficace est notée **V**

Il y'a donc trois tensions simples : $V_{1n} = V_1$ $\quad V_{2n} = V_2$ $\quad V_{3n} = V_3$

✷La tension entre deux phases quelconques est appelée tension composée : sa valeur efficace est notée **U**

Il y'a *donc trois tensions composées* **:** $U_{12} = U_1$ $\quad U_{23} = U_2$ $\quad U_{31} = U_3$

b) Expressions mathématiques des tensions simples :

$v_1 = V_1\sqrt{2}\sin wt = V\sqrt{2}\sin wt$

$v_2 = V_2\sqrt{2}\sin(wt - 2\pi/3) = V\sqrt{2}\sin(wt - 2\pi/3)$

$v_3 = V_3\sqrt{2}\sin(wt - 4\pi/3) = V\sqrt{2}\sin(wt - 4\pi/3)$

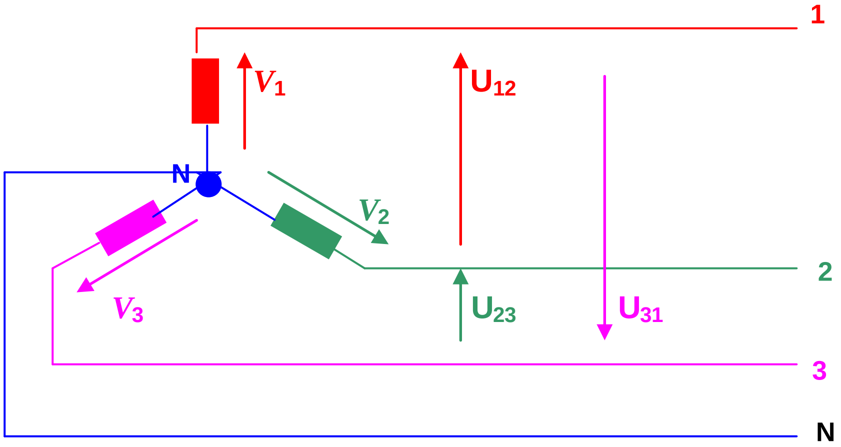
c) Expressions complexes des tensions simples :

Etant en régime sinusoïdal ,on peut associer à chaque tension un nombre complexe :

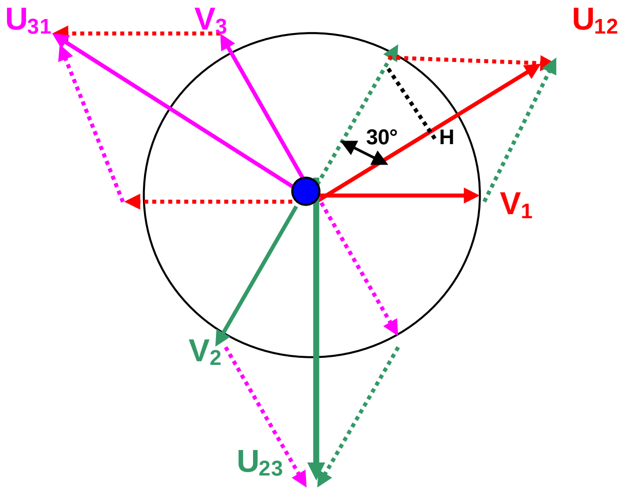
Notation exponentielle	*Forme algébrique*	*Forme polaire*
$\underline{V}_1 = Ve^{j0}$	$\underline{V}_1 = V$	$\underline{V}_1 = V\angle 0$
$\underline{V}_2 = Ve^{-j2\pi/3}$	$\underline{V}_2 = V[\cos 2\pi/3 - j\sin 2\pi/3]$	$\underline{V}_2 = V\angle -2\pi/3$
$\underline{V}_3 = Ve^{-j4\pi/3}$	$\underline{V}_3 = V[\cos 4\pi/3 - j\sin 4\pi/3]$	$\underline{V}_3 = V\angle -4\pi/3$

d) Relations entre tension simple et tension composée

On peut associer à chaque tension un vecteur de Fresnel



Loi des mailles : $\vec{U}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2$ $\vec{U}_{23} = \vec{V}_2 - \vec{V}_3$ $\vec{U}_{31} = \vec{V}_3 - \vec{V}_1$



$U = 2V\cos 30° = 2V\sqrt{3}/2 = \mathbf{V\sqrt{3}}$

$$\mathbf{U = V\sqrt{3}}$$

On remarque que U_{23} est orthogonal à V_1

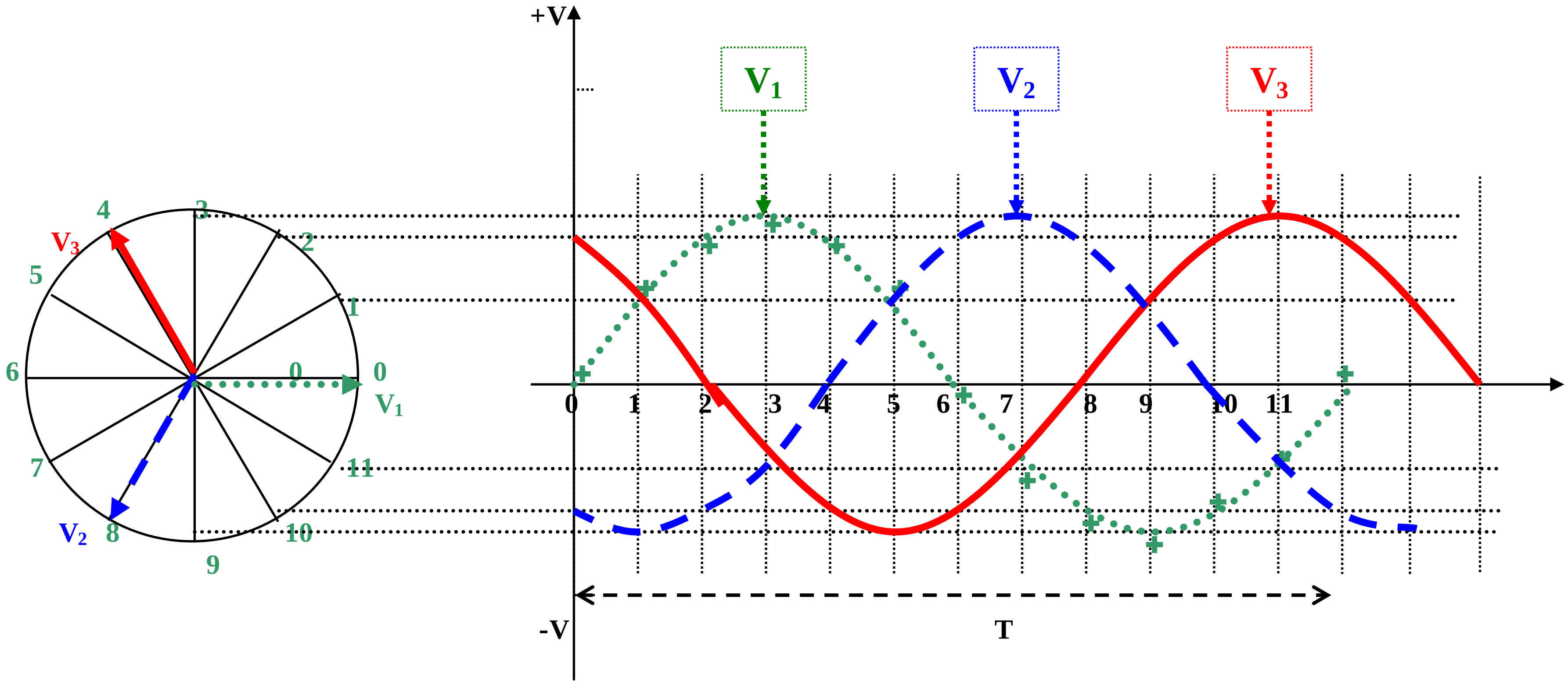
REPRESENTATION D'UN SYSTHEME TRIPHASE

1) Tracer les trois vecteurs $\mathbf{V_1,V_2,V_3}$,déphasés de **120°** sur le cercle trigonométrique
2) Tracer les axes **ox** et **oy** et diviser l'axe ox en 12 parties égales numérotées de **0** à **11**
3) Diviser le cercle en 12 parties égales numérotées de 0 à 11 à partir de l'extrémité de V_1 par exemple
4) Les différents points de la sinusoïde représentant V_1 sont donnés par l'intersection des droites issues des points du cercle et celles issues des points de l'axe ox.

$v_1=V_{max}.\sin wt = V\sqrt{2}.\sin wt$

$v_2=V_{max}.\sin(wt-2\pi/3)= V\sqrt{2}.\sin(wt-2\pi/3)$

$v_3=V_{max}.\sin(wt-4\pi/3)= V\sqrt{2}.\sin(wt-4\pi/3)= V\sqrt{2}.\sin(wt+2\pi/3)$

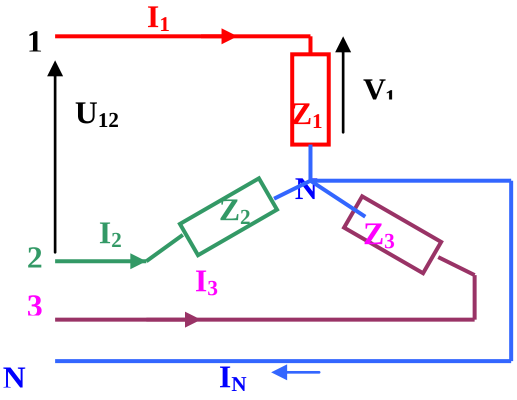


 Bayala Bapio

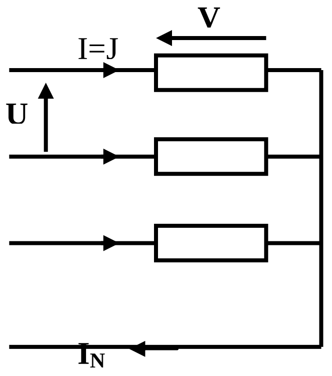
CARACTERISTIQUES DES MONTAGES ETOILE ET TRIANGLE

MONTAGE ETOILE

1) Schémas



OU



2) Montage équilibré avec ou sans le neutre

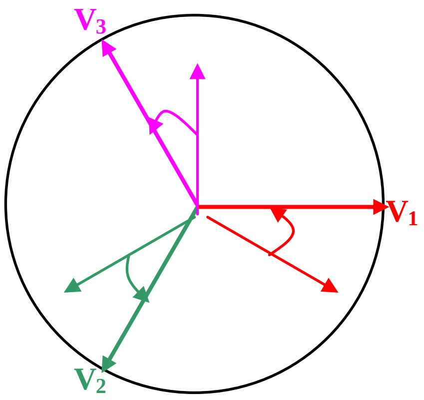
Les tensions composées issues du réseau sont supposées équilibrées $\boxed{U_{12} = U_{23} = U_{31} = U}$

Les trois impédances sont identiques (mêmes modules et déphasages)

$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z$ **et** $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$ **d'où** $I_1 = I_2 = I_3 = I$

$\boxed{V_1 = V_2 = V_3 = V}$

$\vec{V_1} + \vec{V_2} + \vec{V_3} = 0$



Loi des nœuds au point N:

$\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3} = \vec{I_N} = \vec{0}$

3) Montage déséquilibré avec neutre

Les tensions composées issues du réseau sont supposées équilibrées : $\boxed{U_{12} = U_{23} = U_{31} = U}$

Les tensions simples restent équilibrées : $\boxed{V_1 = V_2 = V_3 = V}$

Les trois impédances sont différentes *(modules et déphasages différents)* : $\boxed{Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3 ; \varphi_1 \neq \varphi_2 \neq \varphi_3}$

Les courants en ligne sont différents : $\boxed{I_1 \neq I_2 \neq I_3}$

Expressions des valeurs efficaces des courants : $I_1 = V/Z_1$ $I_2 = V/Z_2$ $I_3 = V/Z_3$

Courant dans le neutre

Méthode algébrique

Expressions des valeurs complexes :

$\underline{I_1} = \underline{V_1}/\underline{Z_1} = V\,(0°)/Z_1(\varphi_1) \quad = V/\,Z_1\,[-\varphi_1] \quad = V/\,Z_1\,[\cos(\varphi_1) - j\sin(\varphi_1)\,]$

$\underline{I_2} = \underline{V_2}/\underline{Z_2} = V\,(-120°)/Z_2(\varphi_2) \quad = V/\,Z_2\,[-120°-\varphi_2] \;=\; V/\,Z_2\,[\cos(-120° - \varphi_2) + j\sin(-120°-\varphi_2)\,] =$

$\underline{I_3} = \underline{V_3}/\underline{Z_3} = V\,(-240°)/Z_3(\varphi_3) \quad = V/\,Z_3\,[-240°-\varphi_3] \;=\; V/\,Z_3\,[\cos(-240° - \varphi_3) + j\sin(-240°-\varphi_3)\,]$

Notations exponentielles :

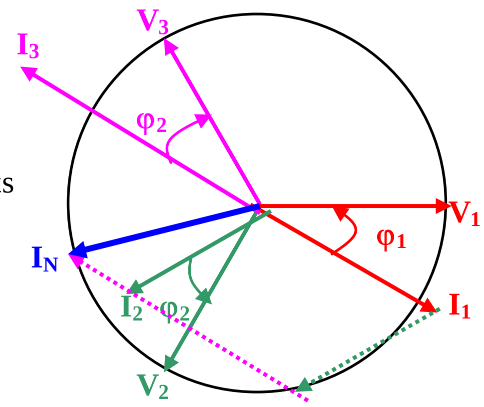
$\underline{I_1} = V/Z_1\,[e^{-j\varphi_1}]$; $\quad \underline{I_2} = V/Z_2\,[e^{(-j2\pi/3\,-\,\varphi_2)}]$; $\quad \underline{I_3} = V/Z_3\,[e^{(-j4\pi/3\,-\,\varphi_3)}]$

Nombres complexes : $\underline{I_1} + \underline{I_2} + \underline{I_3} = \underline{I_N}$

$$\underline{I_N} = V/\,Z_3\,[\underbrace{(\cos(\varphi_1) + \cos(-120° - \varphi_2) + \cos(-240° - \varphi_3))}_{} + j\underbrace{(\sin(-\varphi_1) + \sin(-120°-\varphi_2) + \sin(-240°-\varphi_3))}_{}]$$

Détermination graphique

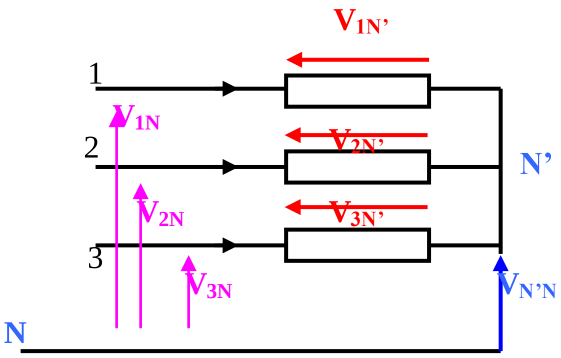
- Choisir une échelle pour les courants
- Positionner à l'échelle chaque courant avec son déphasage par rapport à la tension simple correspondante
- Faire la somme vectorielle des trois courants



$\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3} = \vec{I_N} \neq 0$

Les courants ne forment plus un système triphasé équilibré car les impédances sont différentes

4) Montage déséquilibré sans neutre



a) caractéristiques

Les tensions composées issues du réseau sont supposées équilibrées : $\boxed{U_{12} = U_{23} = U_{31} = U}$

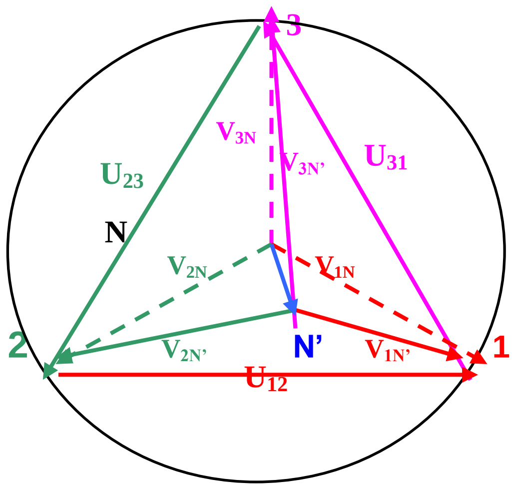
Les trois impédances sont différentes (modules et déphasages différents) :
$\boxed{Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3 \quad \varphi_1 \neq \varphi_2 \neq \varphi_3}$

Les courants en ligne sont différents et ne constituent pas un système triphasé équilibré : $\boxed{I_1 \neq I_2 \neq I_3}$
Mais en l'absence du neutre on a toujours $\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$

Les tensions simples sont déséquilibrées et ne sont plus déphasées de 120° : $\boxed{V_1 \neq V_2 \neq V_3}$

Il apparaît une tension entre le neutre du réseau et le point commun des récepteurs

$\underline{V}_{1N'} = \underline{Z}_1\,\underline{I}_1$	$\underline{V}_{1N'} = \underline{V}_{1N} + \underline{V}_{NN'}$
$\underline{V}_{2N'} = \underline{Z}_2\,\underline{I}_2$	$\underline{V}_{2N'} = \underline{V}_{2N} + \underline{V}_{NN'}$
$\underline{V}_{3N'} = \underline{Z}_3\,\underline{I}_3$	$\underline{V}_{3N'} = \underline{V}_{3N} + \underline{V}_{NN'}$



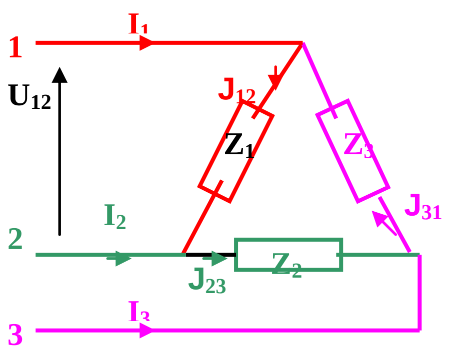
$\underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = 0$ et $\underline{V}_{NN'} = -\,\underline{V}_{N'N}$

$$\boxed{\frac{\underline{V}_{1N} - \underline{V}_{N'N}}{\underline{Z}_1} + \frac{\underline{V}_{2N} - \underline{V}_{N'N}}{\underline{Z}_2} + \frac{\underline{V}_{3N} - \underline{V}_{N'N}}{\underline{Z}_3} = 0}$$

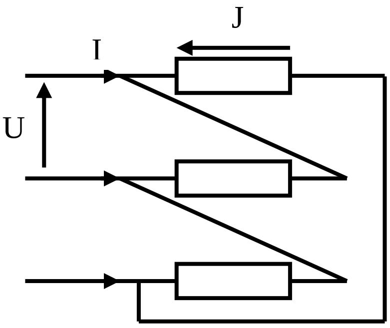
$$\boxed{\frac{\underline{V}_{1N}/\underline{Z}_1 + \underline{V}_{2N}/\underline{Z}_2\ \underline{V}_{3N}/\underline{Z}_3}{1/\underline{Z}_1 + 1/\underline{Z}_2 + 1/\underline{Z}_3} = \underline{V}_{N'N}}$$

MONTAGE TRIANGLE

1) Schémas



OU



2) Montage triangle équilibré

a) Caractéristiques

Les tensions composées issues du réseau sont supposées équilibrées : $\boxed{U_{12} = U_{23} = U_{31} = U}$

La tension entre phases est égale à la tension aux bornes des récepteurs : $\boxed{U = V}$

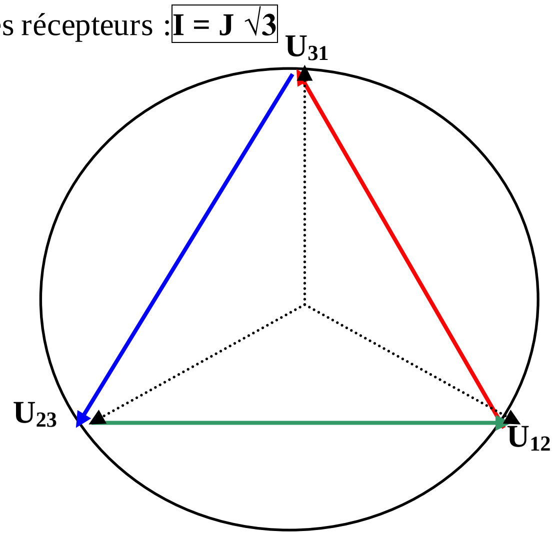
Les trois impédances sont identiques (mêmes modules et déphasages)

Les courants en ligne ont les mêmes valeurs efficaces $\boxed{I_1 = I_2 = I_3 = I}$

Les courants dans les impédances ont mêmes valeurs efficaces $\boxed{J_1 = J_2 = J_3 = J}$

Les courants en ligne sont différents des courants dans les récepteurs : $\boxed{I = J\sqrt{3}}$

b) Relations vectorielles



$\vec{I_1} = \vec{J_1} - \vec{J_3}$

$\vec{I_2} = \vec{J_2} - \vec{J_1}$

$\vec{I_3} = \vec{J_3} - \vec{J_2}$

L'addition membre à membre donne :

$\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3} = \vec{0}$

3) Montage triangle déséquilibré

a) Caractéristiques

Les tensions composées issues du réseau sont supposées équilibrées : $\boxed{U_{12} = U_{23} = U_{31} = U}$

La tension entre phases est égale à la tension aux bornes des récepteurs : $\boxed{U = V}$

Les trois impédances sont différents (modules et déphasages différents)

Les courants dans les impédances ont des valeurs efficaces différentes $\boxed{J_1 \neq J_2 \neq J_3}$

Les courants en ligne ont des valeurs efficaces différentes $\boxed{I_1 \neq I_2 \neq I_3}$

b) Relations vectorielles

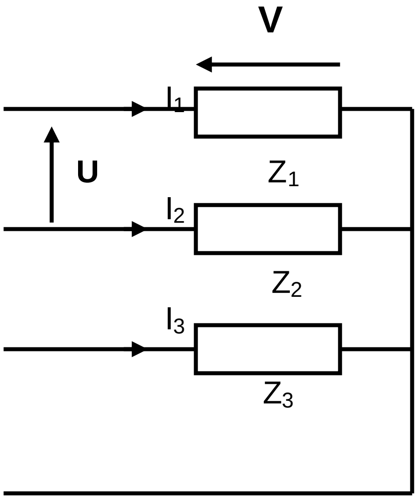
$\vec{I_1} = \vec{J_1} - \vec{J_3}$ $\quad$ $\vec{I_2} = \vec{J_2} - \vec{J_1}$ $\quad$ $\vec{I_3} = \vec{J_3} - \vec{J_2}$

$\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3} = \vec{0}$ $\quad$ **et** $\quad$ $\vec{J_1} + \vec{J_2} + \vec{J_3} = \vec{0}$

NB: la relation $I = \sqrt{3}\,J$ *n'est plus valable lorsque le circuit est déséquilibré*

PUISSANCES EN COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASES

MONTAGE ETOILE (Y)



$P_1 = VI_1\cos\varphi_1$; $P_2 = VI_2\cos\varphi_2$; $P_3 = VI_3\text{co}\varphi_3$

$P = P_1 + P_2 + P_3$

Cas particulier du régime équilibré

$P_1 = P_2 = P_3 = P$; $I_1 = I_2 = I_3 = I$; $= J$ $\qquad \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$

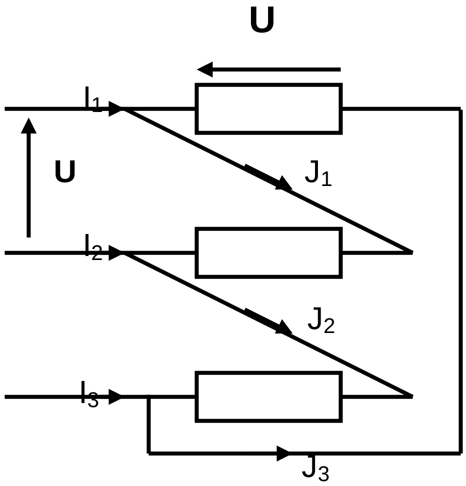
$P = \sum P = 3\ VI\cos\varphi$ avec $V = U / \sqrt{3}$

$\boxed{P = \sqrt{3}\ UI\cos\varphi = 3\ VI\cos\varphi}$

On démontre de même que :

$\boxed{Q = \sqrt{3}\ UI\sin\varphi = 3\ VI\sin\varphi}$

MONTAGE TRIANGLE (Λ ou D)



$P_1 = UJ_1\cos\varphi_1$; $P_2 = UJ_2\cos\varphi_2$; $P_3 = UJ_3\text{co}\varphi_3$

$P = P_1 + P_2 + P_3$

Cas particulier du régime équilibré

$P_1 = P_2 = P_3 = P$; $I_1 = I_2 = I_3 = I$; $J_1 = J_2 = J_3$

$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$

$P = \sum P = 3\ UJ\cos\varphi$ avec $J = J / \sqrt{3}$

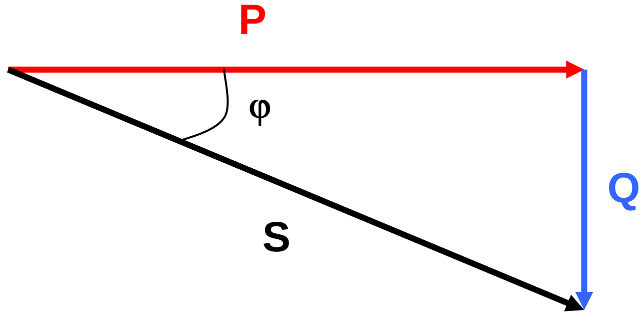
$\boxed{P = \sqrt{3}\ UI\cos\varphi = 3\ UJ\cos\varphi}$

$\boxed{Q = \sqrt{3}\ UI\sin\varphi = 3\ UJ\sin\varphi}$

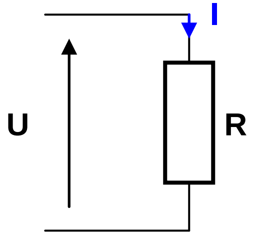
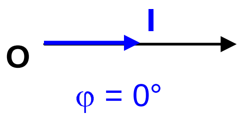
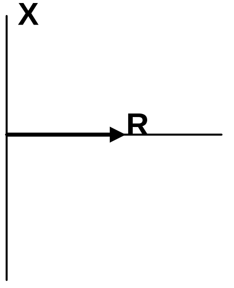
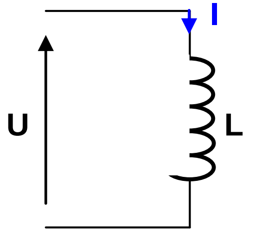
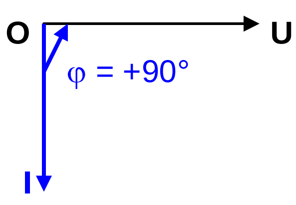
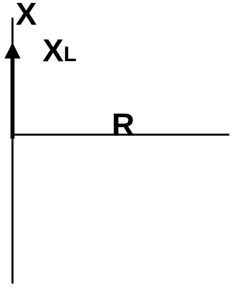
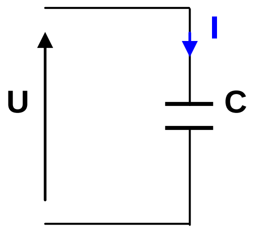
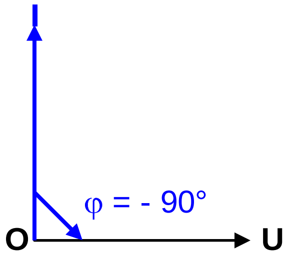
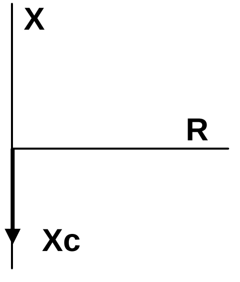
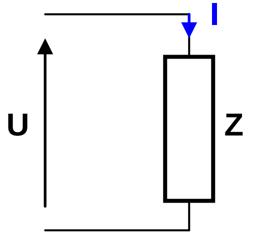
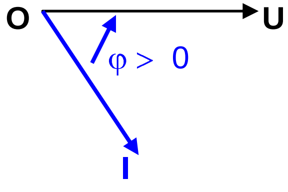
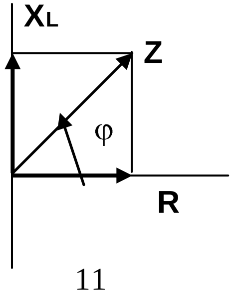
Dans tous les cas on retrouve les mêmes formules ;la puissance apparente est :

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = \sqrt{(\sqrt{3}\ UI\cos\varphi)^2 + (\sqrt{3}\ UI\sin\varphi)^2} = \sqrt{(\sqrt{3}UI)^2(\cos^2\varphi + \sin^2\varphi)} = \sqrt{3}UI$$

$\boxed{S = \sqrt{3}\ UI}$



RAPPELS SUR LES CIRCUITS R-L-C

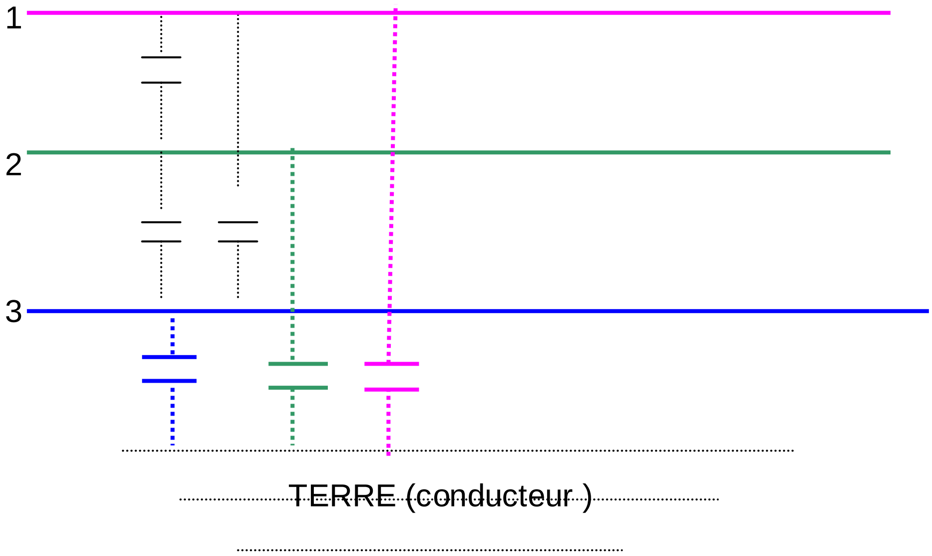
Circuit électrique	Diagramme	Impédance	Diagramme d'impédance	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	Remarque
		$\underline{Z}$ = R		***P = UI*** ***P = U²/R*** ***P = RI²***	Q = 0	S = P	Ne consomme que de la puissance active
		$\underline{Z}$ = jLw		P = 0	***Q = UI*** ***Q = U²/Lw*** ***Q = LwI²***	S = Q	Ne consomme que de la puissance réactive Q > 0
		$\underline{Z}$ = -j/Cw		P = 0	***Q = -UI*** ***Q = -U²Cw*** ***Q = -I²/Cw***	S= -Q	Ne fournit que de la puissance réactive Q < 0
	cas de récepteur inductif 	$\underline{Z}$ =R + jLw		**P=UIcosφ**	**Q=UIsinφ**	***S=UI*** ***S=U²/Z*** ***S=ZI²*** ***S²= P²+Q²*** ***$\underline{S}$ = P + jQ***	Si Q > 0 ,consomme puissance active P et réactive Q Si Q < 0, Consomme puissance active P et fournit Q

QUELQUES APPLICATIONS DES CIRCUITS R,L,C

1) LIGNE DE TRANSPORT D'ENERGIE ELECTRIQUE

Une ligne de transport possède une résistance (R) et une réactance inductive (X_L) dépendant des caractéristiques du conducteur *(résistivité, longueur, section)* ;

Etant donné que deux conducteurs séparés par un isolant constitue un condensateur, une ligne de transport possède donc une réactance capacitive (Xc) ;une ligne capacitive entraîne des surtensions dans le réseau .

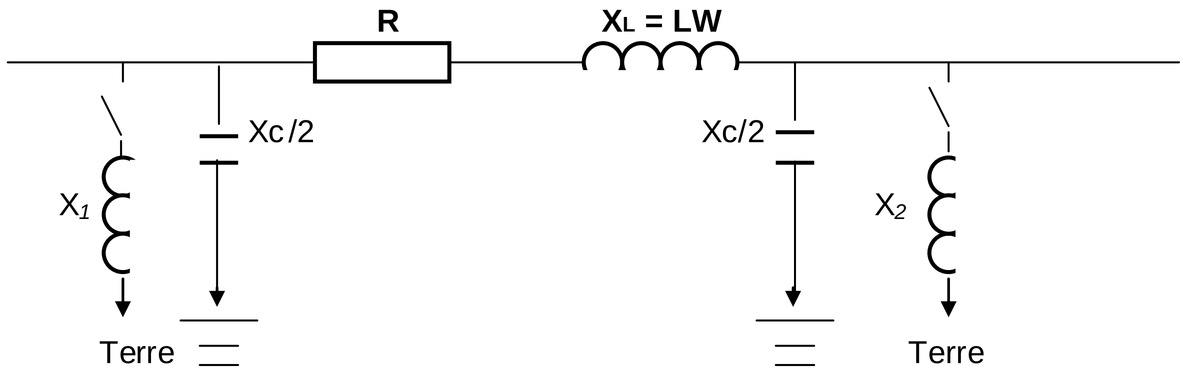


2) SCHEMAS EQUIVALENT D'UNE LIGNE DE TRANSPORT

Il existe deux types de représentation :en **T** ou en $\prod$;l'inductance shunt a pour rôle d'éliminer ou de diminuer les effets capacitifs de la ligne afin d'éviter les surtensions sur le réseau.

COMPENSATION PARALLELE

Schémas équivalent en $\prod$ d'une phase avec inductances de compensation



Bayala Bapio

COMPENSATION SERIE

Lorsqu'une ligne de transport très longue est trop inductive, on peut la « raccourcir » en intercalant des capacités en série sur la ligne ;la réactance équivalente ($X_L - X_c$) diminue et on peut alors transporter plus d'énergie.

3) CIRCUITS RESONANTS

CIRCUIT RESONANT SERIE :

$X_c = X_L$, d'où **$Z = R$** *(Z minimum)* et **$I = U / Z$** (I maximum) ;il y'a des risques de surtensions dangereuses pour les personnes et le matériel ;

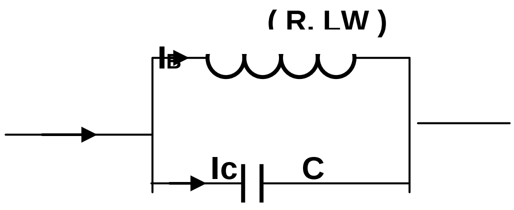
La condition de résonance est $X_c = X_L$, d'où $1 / CW_o = Lw_o$ ou $LCW^2_o = 1$ ou

$$\boxed{f_{o\ (Hz)} = 1 / 2\pi\sqrt{LC}}$$

Cette formule donne, pour un circuit, la fréquence du courant pour lequel le circuit entrera en résonance :cette propriété sera mise à profit dans la réalisation des filtres électriques destinés à bloquer certaines fréquences et en laisser passer d'autres :par exemple les fréquences de réception radio.

CIRCUIT RESONANT PARALLELE **(circuit bouchon)**

Il est formé par une bobine de résistance R et d'inductance L en parallèle sur un condensateur de capacité C.



Impédance **$Z = L / RC$** très élevée à la résonance **$R << LW$**
d'où I_B et I_c en opposition de phase et $I_B \approx I_c$ avec
$I = I_B + I_c \approx 0$ très faible et en phase avec la tension

Ce circuit constitue une coupure pour les courants à la fréquence de résonance fo, d'où son nom de circuit bouchon ;on l'utilise dans les CPL *(Courants Porteurs Ligne)* :transmission de données par les lignes de transport d'électricité.

4) NOTIONS DE CALCULS DE LIGNES ELECTRIQUES

Le calcul électrique d'un réseau permet de déterminer la section des conducteurs en se basant sur la chute de tension ou dans de rares cas sur l'intensité admissible. La chute de tension à ne pas dépasser est de :

- **BT :10%**
- **HT aérien :5%**
- **HT souterrain :3%** (à cause du renforcement difficile)

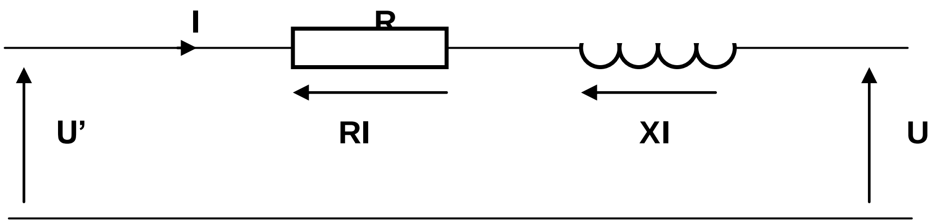
EXERCICE D'APPLICATION

Ligne monophasée de 5 Km de longueur ; r = 0,072 Ω /Km ; x = 0,1Ω /Km ; tension à l'arrivée U = 400V ; intensité en ligne = 50A ; cos φ =0,8 ; déterminer la tension au départ du poste MT/BT.

SCHEMAS

U' :tension au départ de la ligne
U :tension à l'arrivée
R,X :résistance et réactance totales de la ligne

R = rL = 0,072Ω /Km *10 Km =0,72 Ω ;X = xL = 0,1Ω /Km *10Km = 1Ω



METHODE GRAPHIQUE

Loi des mailles : $\vec{U'} = \vec{RI} + \vec{XI} + \vec{U}$

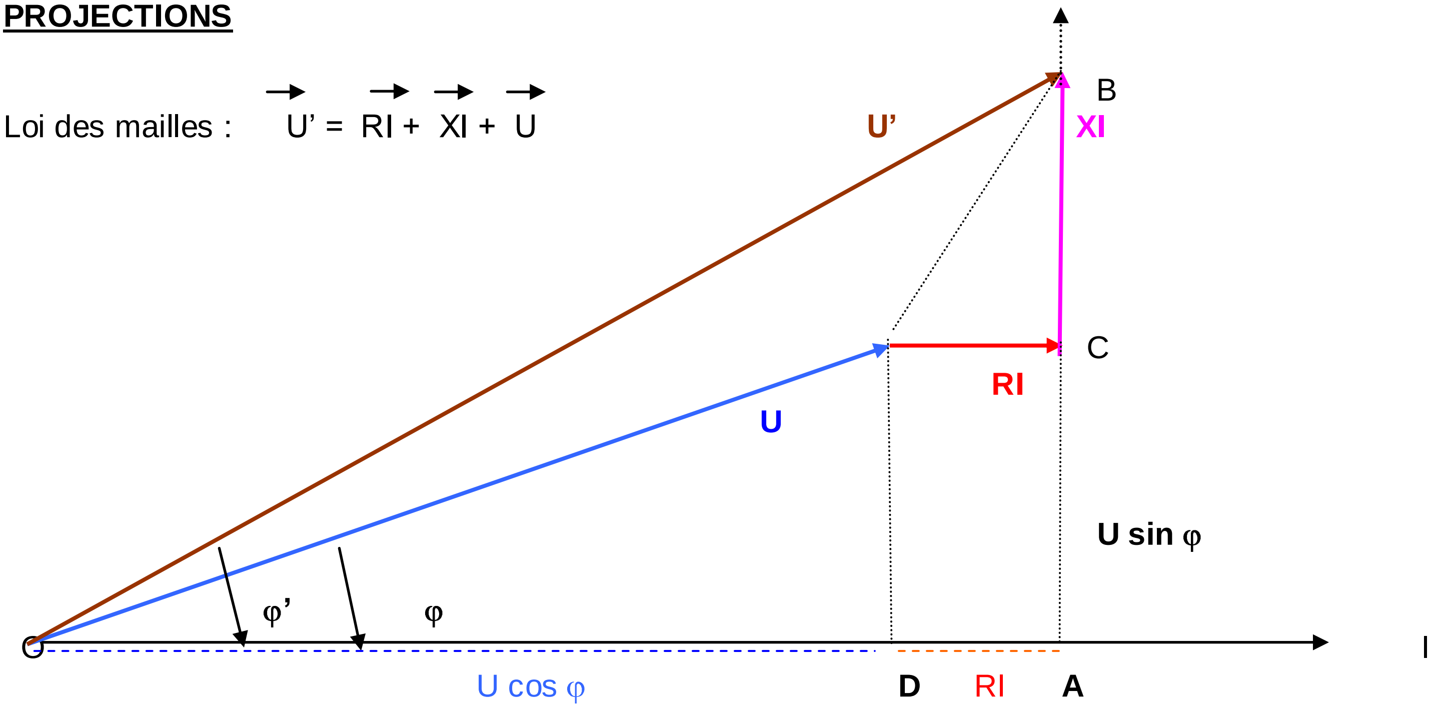
Echelle :1cm ≡ 20 V ⇒ U = 400V = 20 cm ;RI =0,72*50 =36V =1,8cm ;
XI =1*50 = 50V =2,5cm ;φ=37°

Le tracé ci-dessous n'est pas fait à l'échelle ;

Remarque : les vecteurs U' et U étant très longs par rapport aux vecteurs RI et XI, sont en pratique considérés comme confondus (φ = φ')

PROJECTIONS

Loi des mailles : $\vec{U'} = \vec{RI} + \vec{XI} + \vec{U}$



Considérons le triangle (OAB) rectangle en A : *OB² = OA² + AB²*

OA = U cos φ + RI

AB = AC + CB avec AC = U sin φ et CB = XI

AB = AC + CB = U sin φ + XI OB = U'

$$\boxed{U'^2 = (U\cos\varphi + RI)^2 + (U\sin\varphi + XI)^2}$$

Application numérique

$$U' = \sqrt{(400*0{,}8 + 0{,}72*50)^2 + (400 * 0{,}6 + 1*50)^2} = \sqrt{(356)^2 + (290)^2} = \mathbf{459\ V}$$

METHODES ALGEBRIQUES

1- Formule approchée (On considère U et U' en phase d'ou φ = φ') : **U' = U + ΔU**

Chute de tension (par phase ou monophasée) $\boxed{\Delta U = RI\cos\varphi + XI\sin\varphi}$

2 –Nombres Complexes

$\underline{U'} = \underline{U} + \underline{RI} + jXI = U(\cos\varphi + j\sin\varphi) + RI + jXI$

$\underline{U'} = U\cos\varphi + RI + jU\sin\varphi + jXI$

$$\boxed{\underline{U'} = (U\cos\varphi + RI) + j(U\sin\varphi + XI)}$$

Application numérique

$\underline{U'} = 400*0{,}8 + 0{,}72*50 + j(400*0{,}6 + 1*50) = 356 + 290j$

$$U' = \sqrt{(356)^2 + (290)^2} = \mathbf{459\ V}$$

METHODE DE BOUCHEROT

Puissance active totale de la ligne = puissance active de la charge + pertes actives en ligne

$$\boxed{\mathbf{P = UI \cos \varphi + RI^2}}$$

Puissance réactive totale de la ligne = puissance réactive de la charge + pertes réactives en ligne

$$\boxed{\mathbf{Q = UI \sin \varphi + XI^2}}$$

Puissance apparente de la ligne

$$\boxed{\mathbf{S = \sqrt{P^2 + Q^2}}}$$

Tension au départ de la ligne

$$\boxed{\mathbf{U' = S / I}}$$

Application numérique

Puissance active totale : $P=400*50*0,8 + 0,72*50^2 = 17\,800W$;
Puissance réactive totale : $Q = 400*50*0,6 + 1*50^2 = 14\,500\ VAR$;
Puissance apparente : $S = \sqrt{(17800^2 + 14\,500^2)} = 22\,958\ VA$
Tension de départ : $U' = S / I = 22958 / 50 =$ ***459 V***
%chute de tension $\Delta U\% = (459-400)*100/459=$**12,85%**

Reprendre l'exercice avec une tension de 15 000V à l'arrivée

AUTRES METHODES DE CALCUL

Exemple de lignes triphasées

Soit R, X, les résistance et réactance totales de la ligne ;la chute de tension ,par rapport à la tension de référence ou de service est donnée par la formule approchée (en considérant $\varphi = \varphi'$) :

$\Delta U = \sqrt{3}\,(RI \cos\varphi + XI \sin\varphi) = I\sqrt{3}\,(R \cos\varphi + X \sin\varphi)$ avec $I = P / \sqrt{3}\, U \cos\varphi$, on obtient :

$$\Delta U = \frac{P}{\cancel{\sqrt{3}}\, U \cos\varphi}\ \cancel{\sqrt{3}}\,(R \cos\varphi + X \sin\varphi) = \frac{P}{U}\ R\ \frac{\cancel{\cos}\,\varphi}{\cancel{\cos}\,\varphi} + X\frac{\sin\varphi}{\cos\varphi}\ )$$

$$\Delta U = \frac{P}{U}\ (R + X \operatorname{tg}\varphi)$$

Chute de tension relative $\boldsymbol{\Delta U\% = (\Delta U/U)\% = \frac{100\, P}{U^2} (R + X \operatorname{tg}\varphi)}$ avec **P** en W et **U** en V

Si P en KW et U en KV alors $\Delta U\% = (\Delta U/U)\% = \frac{100.10^3.\ P}{10^6\, U^2} (R + X \operatorname{tg}\varphi)$ en simplifiant :

$$\Delta U\% = \frac{P}{10U^2}\ (R + X \operatorname{tg}\varphi)$$

$$\boxed{\Delta U\% = \frac{P}{10.U^2}\ (R + X.\operatorname{tg}\varphi)}$$

Si r , x, résistance et réactance linéiques en Ω/Km et L la longueur du conducteur en Km alors

$$\Delta U\% = \frac{P}{10U^2}(rL + xL \operatorname{tg}\varphi) \quad \text{ou} \quad \boxed{\Delta U\% = \frac{PL}{10.U^2}\ (r + x.\operatorname{tg}\varphi)}$$

PL est appelé moment électrique de la charge P (KW) située à une distance L (Km) de la source.

Autre expression de ΔU% =.f (P,Q) ;en posant Q = P tgφ ,l'expression précédente devient :

$\Delta U\% =.L/ 10U^2 (Pr + Px \operatorname{tg}\varphi)$ ou

$$\boxed{\Delta U\% = \frac{L}{10.U^2}\ (P.r + Q.x)}$$

EXEMPLE D'APPLICATION

Ligne triphasée de 10Km ; r = 0,072Ω/Km ; x = 0,1Ω/Km ; P=4MW ;
cos φ = 0,8 ;tension au départ dans le poste HT/MT est U = 15 000V ;
déterminer la chute de tension ou la tension à l'arrivée.

METHODE ALGEBRIQUE

Calcul de l'intensité en ligne :(on admettra que $\varphi = \varphi'$)

$P = Pt - 3 R I^2 = \sqrt{3} U I \cos \varphi - 3 R I^2$ ou $\sqrt{3} U I \cos \varphi - 3 R I^2 - P = 0$
$- 3.0,072.10.I^2 + \sqrt{3} . 15.10^3.0,8.I - 4.10^6 = 0$ ou $\boldsymbol{-2,16 I^2 + 20785 I - 4.10^6 = 0}$

$\Delta = b^2 - 4 a c = 3,974.10^8$ ou $\sqrt{\Delta} = 19936,3$
$I = (- b + \sqrt{\Delta}) / 2a =$ **196,5 A**

Ou : $\boldsymbol{\Delta V = RI \cos \varphi + XI \sin \varphi}$ = 0,72.196,5.0,8 + 1.196,5.0,6 = 231 V d'où

$\Delta U = \sqrt{3}.\Delta V \approx$ **400 V** et U = 15000 – 400 = **14 600 V**

(ΔU/U)% = 400.100/15000=2,7%

Ou :

$\Delta U = P/U (R + X \operatorname{tg} \varphi) = 4.10^6 /15.10^3 (0,72 +0,75) =$ **392 V**

(ΔU/U)% = 392.100/15000=2,6%

COUPLAGE DES RECEPTEURS SUR RESEAU TRIPHASE

1 – DEFINITIONS

- ***Tension nominale*** :C'est la tension à appliquer au récepteur pour un fonctionnement normale de celui-ci ;une tension trop élevée ou trop faible par rapport à cette tension nominale entraîne la destruction ou un mauvais fonctionnement suivant les cas et les types de récepteurs.

- ***Tension simple*** :C'est la tension mesurée entre une phase et le neutre du réseau ou des récepteurs.

- ***Tension composée*** :C'est la tension mesurée entre deux phases quelconques du réseau ou des récepteurs. Une tension donnée sans autre précision est toujours la tension composée (ex : 15000 V, 380 V ,etc.) .

- ***Couplage étoile (Y)*** :Un moteur est couplé en étoile quand chacun de ses trois enroulements est soumis à la *tension simple* du réseau.

- ***Couplage triangle (Λ)*** : Un moteur est couplé en triangle quand chacun de ses trois enroulements est soumis à la *tension composée* du réseau.

2 – COUPLAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

- ***Choix du couplage des moteurs asynchrones triphasés***

Il est choisi en fonction de la *tension nominale de l'enroulement* et de *la tension du réseau* d'alimentation ;un mauvais choix du couplage entraîne la suralimentation ou la sous-alimention du moteur donc sa destruction ou son dysfonctionnement suivant les cas.

- ***Plaque signalétique*** :C'est une plaque sur laquelle sont inscrites les caractéristiques du moteur en fonctionnement normal (couplage, tension ,puissance, intensité etc.) ;généralement deux tensions sont inscrites dessus :la petite tension correspond à la tension nominale de l'enroulement ou la tension entre phases dans le cas d'un couplage triangle (Λ) ;la plus grande tension correspond à la tension entre phases dans le cas d'un couplage étoile (Y).

Par exemple le moteur de la salle de mesure porte les indications suivantes :

Couplage triangle (Λ) :220 V
Couplage étoile (Y) 380 V

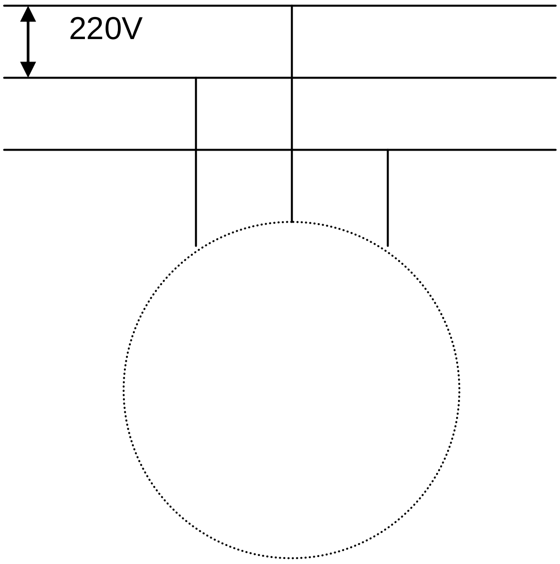
Nous avons deux choix de couplage pour le fonctionnement normal du moteur :

a) *Si nous disposons d'un réseau d'alimentation de* ***220 V*** *,alors le moteur sera couplé obligatoirement en* ***triangle*** car en étoile il sera sous alimenté;

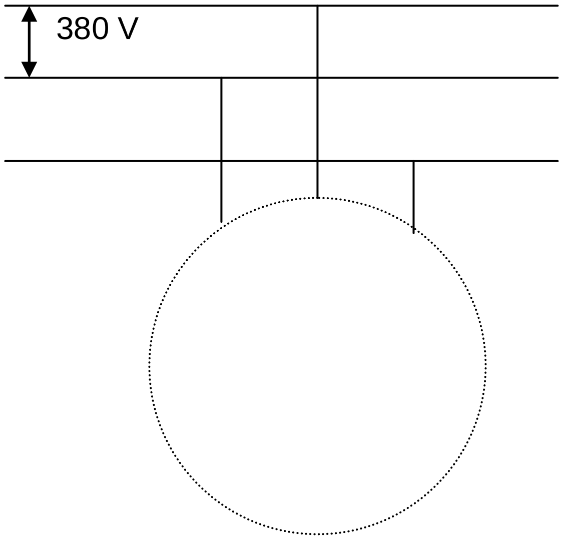
b) *Si nous disposons d'un réseau d'alimentation de* ***380 V*** *,alors le moteur sera couplé obligatoirement en* ***étoile*** car en triangle il sera suralimenté.

c) *Schémas de branchement du moteur* (dans les deux cas ci-dessous chaque enroulement est soumis à 220 V, donc le moteur fonctionne normalement).

Triangle (U = V = 220 V)



Etoile (U = 380 V et V = 220 V)



- ***Exemples***

Compléter le tableau ci-dessous en indiquant le couplage des enroulements du moteur si cela est possible et justifier votre réponse.

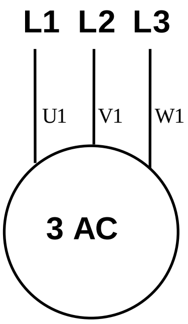
Tensions du moteur (Tensions entre phases)		**Tensions du réseau d'alimentation (tensions entre phases)**		
Λ Triangle	**Y** Etoile	**220**	**380**	**660**
127	**220**			
220	**380**			
380	**660**			

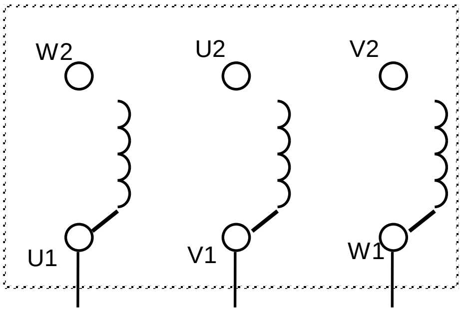
3 – CONCLUSION

- Si la tension composée du réseau **=** tension triangle(Λ) du moteur alors celui-ci sera couplé en triangle ;
- Si la tension composée du réseau **=** tension étoile (Y) du moteur alors celui-ci sera couplé en étoile ;
- Si la tension composée du réseau > tension étoile (Y) du moteur alors aucun couplage n'est possible car le moteur sera suralimenté ;
- Si la tension composée du réseau < tension triangle(Λ) du moteur alors aucun couplage n'est possible car le moteur sera sous-alimenté .

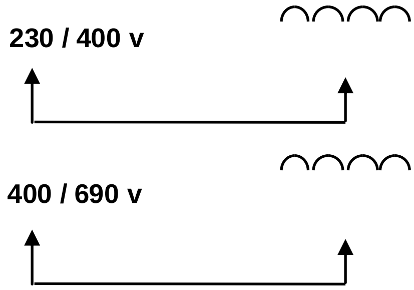
4) EXEMPLES :

La plus petite tension indiquée sur la plaque signalétique du moteur correspond à la tension maximale supportée par un enroulement





Tensions usuelles :



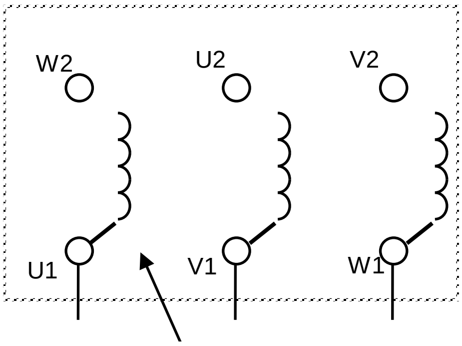
a) ***Règles :***

a) Pour que l'on puisse coupler un moteur sur un réseau il faut que l'une de ses tensions (inscrite sur la plaque signalétique) soit égale à la tension entre phase du réseau*, sinon il y a impossibilité de couplage (suralimentation ou sous alimentation possibles)*

b) Si la condition « a » est vérifiée, et que la tension la plus basse du moteur est égale à la tension entre phases du réseau ,alors couplage Triangle «Δ», sinon couplage Etoile « Y »

b) Exemples de couplages (à compléter):

RÉSEAU Tri **230 v**

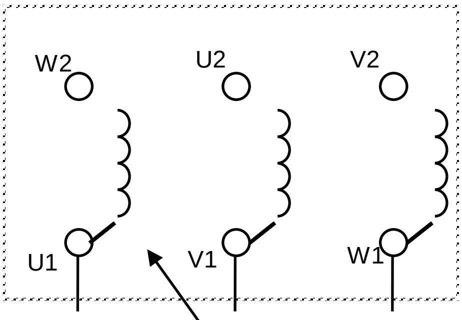


Tension

MOTEUR 230/400 v

COUPLAGE :

RÉSEAU Tri **400 v**

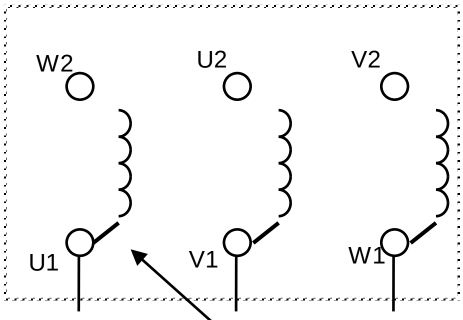


Tension

MOTEUR 230/400 v

COUPLAGE :

RÉSEAU Tri **400 v**



Tension

MOTEUR 400/690 v

COUPLAGE :

Pour inverser le sens de rotation d'un moteur asynchrone triphasé, il suffit de permuter deux phases d'alimentation : L1-L2 ou L2-L3 ou L1-L3

c) Evaluation :

a) Réseau tri 400 v , moteur 230/400 v -----> couplage :

b) Réseau tri 400 v , moteur 400/690 v -----> couplage :

c) Réseau tri 400 v , moteur 130/230 v -----> couplage :

d) Réseau tri 230 v , moteur 230/400 v -----> couplage :

e) Réseau tri 230 v , moteur 400/690 v -----> couplage :

f) Réseau tri 230 v , moteur 130/230 v -----> couplage :

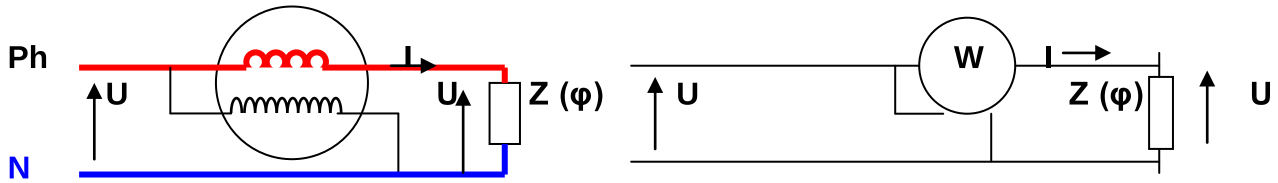
MESURES DE PUISSANCES

1) PRINCIPE DU WATTMETRE

un wattmètre a une déviation proportionnelle au produit scalaire des vecteurs tension et intensité auxquels il est soumis.

Il possède donc deux circuits :

- Un circuit intensité :Bobine gros fil de résistance négligeable traversée par le courant **I** de la charge
- Un circuit tension :Bobine fil fin de grande résistance alimentée par la tension **U** du réseau

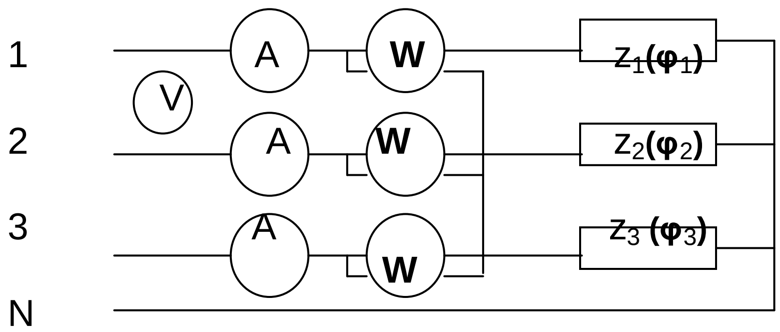


Le wattmètre mesure le produit scalaire $\vec{U} \cdot \vec{I}$ d'où **P= UIcos φ**

2) METHODE DES TROIS WATTMETRES

a) Circuit déséquilibré en courant

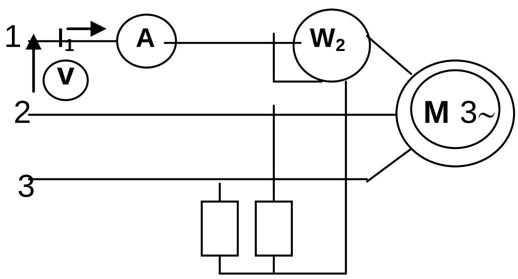
$V_1 = V_2 = V_3 = V$



$P = VI_1\cos\varphi_1 + VI_2\cos\varphi_2 + VI_3\cos\varphi_3$ **où** $P = P_1 + P_2 + P_3$

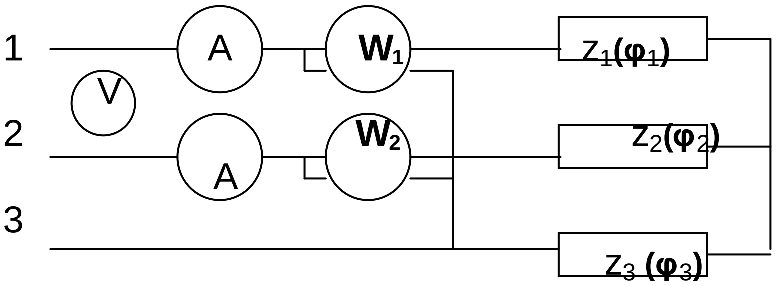
b) Circuit équilibré

$P = 3\,VI\cos\varphi$ **où** **$P = 3\,P_1$** ;par conséquent un seul wattmètre suffit



I(A)	**U**(V)	**$P_W = 3P_1$**	$S_{VA} = \sqrt{3}\,UI$	$\cos\varphi = P/S$	$Q_{VAR} = P\,\mathrm{tg}\varphi$

3) METHODES DES DEUX WATTMETRES



nous pouvons donc considérer une phase comme le retour des deux autres. Soit par exemple la phase 3.

$P=P_1+P_2+P_3$ $P = \vec{V_1}\,\vec{I_1} + \vec{V_2}\,\vec{I_2} + \vec{V_3}\,\vec{I_3}$

Posons : $\vec{V_3}\ (\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3}) = O$ avec *sans fil neutre* $\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3} = \vec{I_N} = O$

$$P = \vec{V_1}\,\vec{I_1} + \vec{V_2}\,\vec{I_2} + \vec{V_3}\,\vec{I_3} - \vec{V_3}\,\underbrace{(\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3})}_{0}$$

$P = (\vec{V_1} - \vec{V_3})\vec{I_1} + (\vec{V_2} - \vec{V_3})\,\vec{I_2}$ d'oû $P = \vec{U_{13}}\,\vec{I_1} + \vec{U_{23}}\,\vec{I_2}$

$P = U_{13}\ I_1 \cos(\vec{U_{13}}, \vec{I_1}) + U_{23}\ I_2 \cos(\vec{U_{23}}, \vec{I_2})$

Le premier wattmètre se branche sur la phase **1** et son circuit tension entre les phases **1** et **3**.
Le deuxième wattmètre se branche sur la phase **2** et son circuit tension entre les phases **2** et **3**.

Cette méthode est valable en *circuit équilibré ou déséquilibré sans neutre*

Les deux wattmètres mesurent :
$P_1 = U_{13}\, I_1 \cos(\pi/6 - \varphi)$
$P_2 = U_{23}\, I_2 \cos(\pi/6 + \varphi)$

W_1 est négative pour $\varphi > -\pi/3$ et W_2 est négative pour $\varphi > +\pi/3$
Pour un circuit selfique W_1 est toujours positive et W_2 est également positive sauf pour $\varphi > \pi/3$

En régime équilibré $U_{13} = U_{23} = U$ et $I_1 = I_2 = I$ et $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$

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

$P_1 + P_2 = 2UI \cos \pi/6 \cos\varphi$ $\boxed{P = P_1 + P_2 = UI\sqrt{3} \cos\varphi}$

$P_1 - P_2 = UI\ 2 \sin \pi/6\ \sin\varphi$

$P_1 - P_2 = UI \sin\varphi$ *(monophasé) d'où en triphasé* $\boxed{Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2) = \sqrt{3}\ UI \sin\varphi}$

$$\boxed{\mathrm{tg}\ \varphi = \frac{\sqrt{3}\,(P_1 - P_2)}{P_1 + P_2}}$$

Conclusion

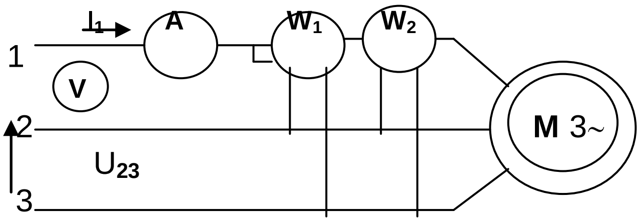
La méthode des 2 wattmètres convient pour la mesure des puissances actives en régime équilibré.

- *Elle convient aussi pour un régime déséquilibré sans neutre*
- *Les formules $Q = \sqrt{3}\ UI \sin\varphi$ et $P = \sqrt{3}\ UI \cos\varphi$ ne sont valables qu'en régime équilibré.*

I(A)	U(V)	$P_W = P_1 + P_2$	$Q_{VAR} = \sqrt{3}(P_1 - P_2)$	$\mathrm{tg}\varphi = Q/P$	Cos φ

4) WATTMETRE TRIPHASE ET VARMETRE

Cette mesure n'est valable qu'en régime équilibré



Le wattmètre triphasé

Méthode utilisée uniquement en circuit équilibré
Le circuit intensité du wattmètre **W_1** est branché sur la phase ***1*** et ses circuits tensions sur les phases **1** ,***2*** et ***3*** ; grâce à un point neutre interne il mesure la puissance totale : $\boxed{P = UI\sqrt{3}\cos\varphi}$

Le varmètre

Méthode utilisée uniquement en circuit équilibré
Le circuit intensité du wattmètre **W_2** est branché sur la phase ***1*** et son circuit tension sur les phases ***2*** et ***3*** et mesure :

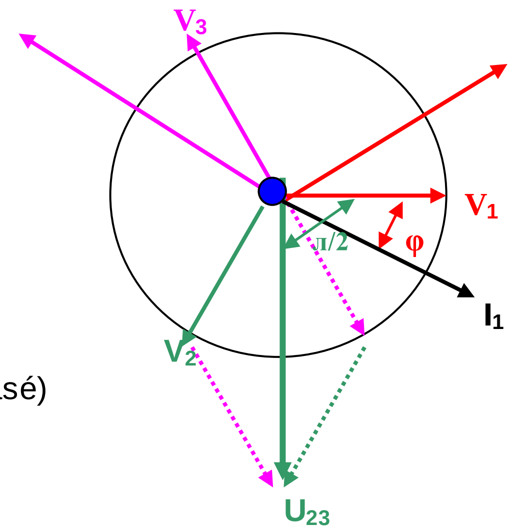
$L = \vec{U}_{23}\ \vec{I}_1 = U_{23} I_1 \cos(\vec{I}_1, \vec{U}_{23})$ avec

$U_{23} = U_{12} = U_{31} = U$ et $I_1 = I_2 = I_3 = I$.

$\cos(\vec{I}_1 \vec{U}_{23}) = \cos(\pi/2 - \varphi) = \sin\varphi$.

D'où $L = UI \sin\varphi$

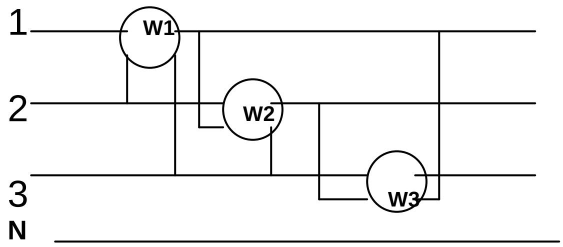
(expression de la puissance réactive en monophasé)
en courant alternatif triphasé. $\boxed{Q = \sqrt{3}\,L}$



I(A)	U(V)	P_W	$Q_{VAR}=\sqrt{3}L$	tgφ = Q/P	Cos φ

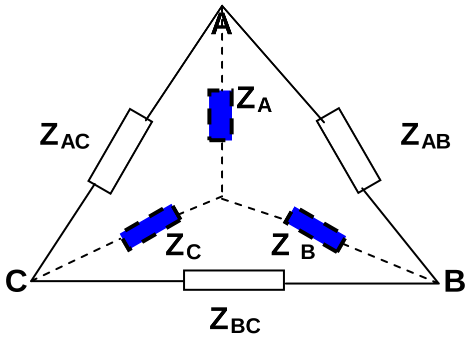
<u>Mesure des puissances réactives en Circuit déséquilibré</u> (méthode des trois varmètres)

Par phase la puissance réactive est :
$Q_1 = V_1 I_1 \sin\varphi_1$; $Q_2 = V_2 I_2 \sin\varphi_2$; $Q_1 = V_3 I_3 \sin\varphi_3$



$W_1 = U_{23} I_1 \sin\varphi_1 = \sqrt{3} Q_1$
$W_2 = U_{13} I_2 \sin\varphi_2 = \sqrt{3} Q_2$
$W_3 = U_{12} I_3 \sin\varphi_3 = \sqrt{3} Q_3$
$\mathbf{Q} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (W_1 + W_2 + W_3)/\sqrt{3}$

THEORËME DE KENNELY



$K_1 = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA}$

$K_2 = Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_C Z_A$

1) TRANSFORMATION TRIANGLE – ETOILE

$Z_A = Z_{AB}\, Z_{AC} / K_1$; $Z_B = Z_{BC}\, Z_{BA} / K_1$; $Z_C = Z_{CA}\, Z_{CB} / K_1$

Z_A = $\dfrac{\text{Produit des deux impédances Δ reliées à A}}{\text{Somme des trois impédances}}$

Z_B = $\dfrac{\text{Produit des deux impédances reliées à B}}{\text{Somme des trois impédances}}$

Z_C = $\dfrac{\text{Produit des deux impédances reliées à C}}{\text{Somme des trois impédances}}$

$Z_A = \dfrac{Z_{AB}\, Z_{AC}}{(Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA})}$
$Z_B = \dfrac{Z_{BA} Z_{BC}}{(Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA})}$
$Z_C = \dfrac{Z_{CA}\, Z_{CB}}{(Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA})}$

2) TRANSFORMATION ETOILE -TRIANGLE

$Z_{AB} = K_2 / Z_c$; $Z_{BC} = K_2 / Z_A$; $Z_{CA} = k_2 / Z_B$

Z_{AB} = $\dfrac{\text{Somme des combinaisons des trois impédances en étoile}}{\text{Impédance de la lettre manquante (ici } Z_C)}$

$Z_{AB} = \dfrac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_C Z_A}{Z_C}$	$Z_{AC} = \dfrac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_C Z_A}{Z_B}$	$Z_{BC} = \dfrac{Z_A Z_B + Z_B Z_C + Z_C Z_A}{Z_A}$

3) APPLICATION AUX CIRCUITS EQUILIBRES

$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_\Delta$ et $K_1 = 3 Z_\Delta$; $Z_A = Z_B = Z_C = Z_Y$ et $K_2 = 3 Z^2_Y$

Passage du couplage triangle au couplage étoile :

a) Tension et puissance inchangées :

L'impédance en triangle est égale à trois fois l'impédance en étoile : $\boxed{Z_\Delta = 3 Z_Y}$

b) Tension et impédances inchangées :

La puissance en triangle est égale à trois fois la puissance en étoile : $\boxed{P_\Delta = 3P_Y}$

c) Puissance et impédances inchangées :

La tension en étoile devient √3 la tension en triangle : $\boxed{U_Y = \sqrt{3}\, U_\Delta}$

4) APPLICATION AUX CALCULS DES CONDENSATEURS

$Z\Delta = 3 Z_Y$ ou $1/C_\Delta W = 3 / C_Y W$ ou $3 C_\Delta W = C_y W$ $\boxed{C_Y = 3 C_\Delta}$

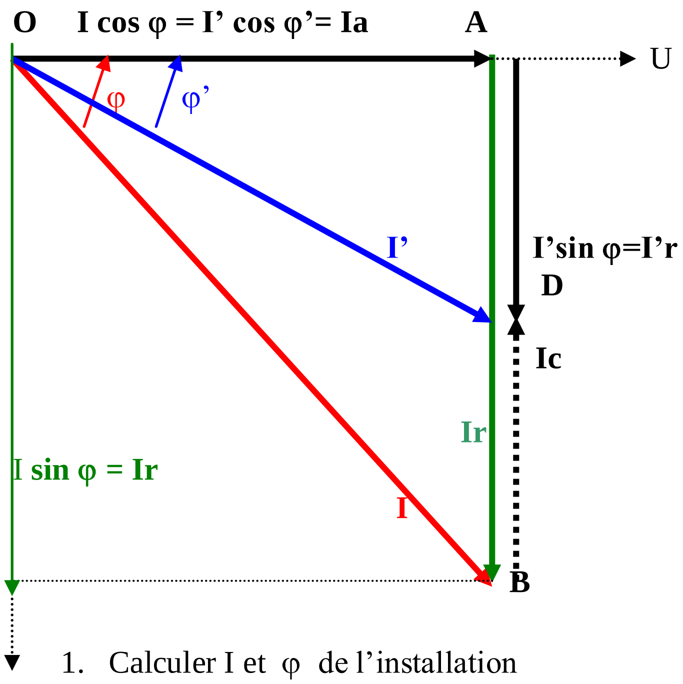
CONCLUSION:La capacité en étoile est égale à trois fois la capacité en triangle

NB :en BT les condensateurs sont généralement couplés en triangle .

AMELIORATION DU FACTEUR DE PUISSANCE

1) METHODE GRAPHIQUE

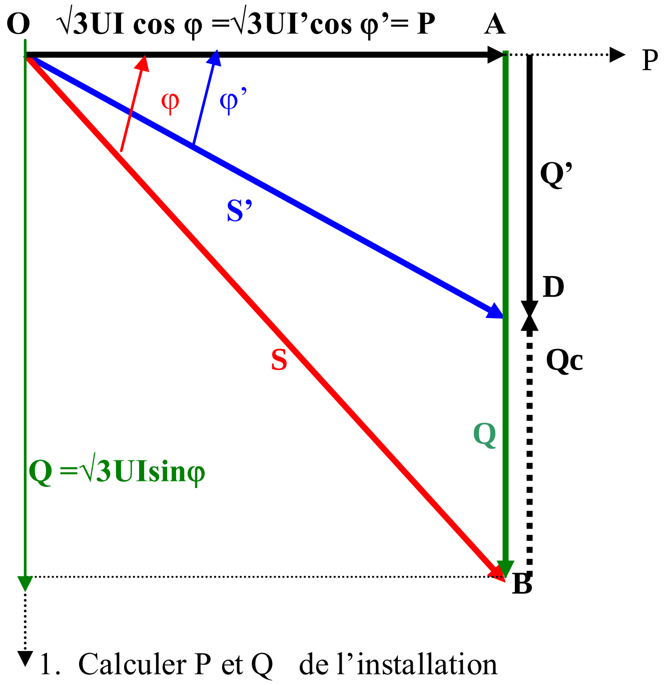
Diagramme des courants (I_a, I_r, I)



1. Calculer I et φ de l'installation
2. Choisir une échelle pour les courants
3. Tracer le triangle OAB ,rectangle en A
4. OA = I cos φ =Ia = courant actif
5. AB = I sin φ =Ia = courant réactif
6. A l'aide du rapporteur, mettre en place φ' désiré
7. Tracer I'=OD faisant un angle φ' par rapport à U et mesurer I'
8. BD = Ic et Jc = Ic/√3
9. Calculer C_Δ=Jc /UW et Qc =3UJc=3U²C_ΔW
10. Calculer C_Y=Ic/VW et Qc=3VIc=3V²C_YW

*Le courant actif **Ia** ne varie pas après la mise en place des condensateurs*

Diagramme des puissances (P, Q, S)



1. Calculer P et Q de l'installation
2. Choisir une échelle pour les puissances
3. Tracer le triangle OAB ,rectangle en A
4. OA =√3UI cos φ = P= puissance active
5. AB =√3UI sinφ =Q= puissance réactive
6. Mettre en place φ' désiré
7. Tracer S'=OD faisant un angle φ'par rapport à P et calculer I'= S'/√3U
8. Mesurer BD = Qc
9. Calculer C_Δ= Qc /3U²W
10. Calculer C_Y= Qc / 3V²W

*La puissance active **P** ne varie pas après la mise en place des condensateurs*

2) METHODE DE BOUCHEROT

La puissance active totale est égale à la somme des puissances actives de tous les récepteurs.

$$\mathbf{P = P_1 + P_2 + \ldots\ldots + P_n}$$

La puissance réactive totale est égale à la somme des puissances réactives de tous les récepteurs.

$$\mathbf{Q = Q_1 + Q_2 + \ldots\ldots + Q_n}$$

La puissance apparente est donnée par la relation

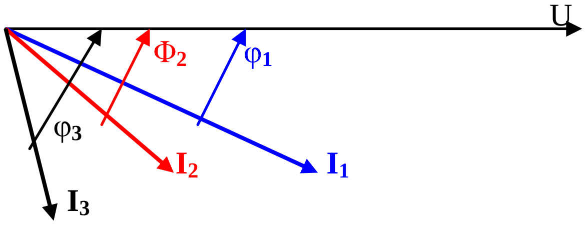
$$\vec{S} = \vec{P} + \vec{Q} \quad \text{ou} \quad \underline{S} = P + jQ \quad \text{ou} \quad S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$$

Méthode de calcul

Caractéristiques électriques avant le branchement des condensateurs					*Caractéristiques électriques après le branchement des condensateurs*			
Récepteurs	**P**(W)	**Q** (VAR)= **P** tg φ	**S** (VA)= $\sqrt{[(\Sigma P)^2+(\Sigma Q)^2]}$	**I** = $\frac{S}{\sqrt{3}U}$	**Qc** = **P**(tgφ – tgφ')	**I'**= $\mathbf{I}\frac{\cos\varphi}{\cos\varphi'}$	***Ic***	***Par condo*** $C_\Delta = \frac{Qc}{3U^2W}$
1	P_1	Q_1						
2	P_2	Q_2						
3	P_3	Q_3						
Total	**ΣP**	**ΣQ**						

3) METHODE ALGEBRIQUE

a) Par les courants



$\underline{I} = \underline{I_1} + \underline{I_2} + \ldots + \underline{In}$

Avec $\underline{I_1} = I_1 \cos\varphi_1 - j\, I_1 \sin\varphi_1$; $\underline{I_2} = I_2 \cos\varphi_2 - j\, I_2 \sin\varphi_2$; $\underline{I_n} = I_n \cos\varphi_n - j\, I_n \sin\varphi_n$

$$\mathbf{I} = \sqrt{\underbrace{(I_1 \cos\varphi_1 + I_2 \cos\varphi_2 + \ldots + I_n \cos\varphi_n)}_{\mathbf{Ia}}{}^2 + \underbrace{(I_1 \sin\varphi_1 + I_2 \sin\varphi_2 + \ldots + I_n \sin\varphi_n)}_{\mathbf{Ir}}{}^2}$$

$\boxed{\mathbf{tg\,\varphi = Ir/\,I\,a}}$

Puissance active $P = \sqrt{3}\, U\, I\, a = \sqrt{3}\, U\, I \cos\varphi$

Puissance réactive $Q = \sqrt{3}\, U\, I\, r = \sqrt{3}\, U\, I \sin\varphi$

Puissance apparente $S = \sqrt{3}\, U\, I = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

Puissance des condensateurs $Qc = Q - Q' = P\,(tg\,\varphi - tg\,\varphi')$

Nouveau courant en ligne $I' = \dfrac{I \cos\varphi}{\cos\varphi'}$

b) Par les puissances

$S_1 = P_1 + jQ_1$; $S_2 = P_2 + jQ_2$; $S_n = P_n + jQ_n$

$\underline{S} = \underline{S_1} + \underline{S_2} + \ldots + \underline{S_n}$

$S^2 = (P_1 + P_2 + \ldots + P_n)^2 + (Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n)^2$

$I = \dfrac{S}{\sqrt{3}\, U}$ et $tg\,\varphi = \Sigma Q / \Sigma P$

$Q' = P\, tg\,\varphi'$; $\underline{S}' = P + j\, P\, tg\,\varphi'$

INSTALLATION DES BATTERIES DE CONDENSATEURS

1- CONSEQUENCES D'UN FAIBLE FACTEUR DE PUISSANCE

PRODUCTION ET TRANSPORT	***DISTRIBUTION***
MT/HT	HT/MT

PRODUCTION ET TRANSPORT	*DISTRIBUTION*
• La capacité de production diminue :**$S^2 = P^2 + Q^2$** Si Q $\nearrow$ alors P $\searrow$ pour S constante • La capacité de transport diminue Si I $\nearrow$ alors les pertes $\nearrow$ et la puissance utile P $\searrow$ • Difficulté de régulation de la tension • Diminution du rendement • Fonctionnement des appareils de protection plus délicate • Surdimensionnement des installations (alternateurs, transformateurs ,lignes ,protections) ***CONCLUSION*** *:exploitation des installations plus coûteuse et délicate et par conséquent ,prix de revient de l'énergie plus élevé.*	• Diminution du rendement car les pertes sont élevées • Augmentation des chutes de tension dans les lignes • Dépense en énergie plus élevée à cause du rendement et du tarif de l'énergie

2- INSTALLATION DES BATTERIES DE CONDENSATEURS

PRODUCTEUR	*CONSOMMATEURS (ABONNES)*
Centrale électrique les batteries de condensateurs permettent de : • relever le niveau général de la tension du réseau ; • améliorer la fourniture de l'énergie réactive et le facteur de puissance ; • soulager les alternateurs et les transformateurs. ***Postes de transport et de distribution*** Les batteries de condensateurs installées dans les postes permettent de : • améliorer le facteur de puissance des différents départs ; • diminuer les chutes de tension dans les lignes ; • compenser le surplus d'énergie réactive produite par les alternateurs.	L'installation des batteries de condensateurs permet d'éviter les pénalités dues à un mauvais facteur de puissance et peut même améliorer la facture d'électricité (bonification) .Celles-ci peuvent être placées de deux manières : • ***avant le comptage*** :l'énergie réactive des condensateurs est déduite de l'énergie enregistrée par le compteur réactif majorée des pertes réactives du transformateur d'alimentation. • ***après le comptage*** :l'énergie réactive des condensateurs est dans ce cas prise en compte directement par le compteur réactif.

3- **SURCOMPENSATION**

Au niveau de l'abonné :surtension au niveau des récepteurs entraînant leur destruction.

Au niveau du réseau de transport et de distribution :surtensions locales ou générales pouvant endommager tous les équipements qui y sont raccordés ;des retours de puissance réactive peuvent provoquer le déclenchement des groupes électrogènes de production.

4- **MODES DE COMPENSATION**

Il existe trois modes de compensation ; le meilleur est celui qui permet de produire l'énergie réactive à l'endroit même où elle est consommée et en quantité adaptée à la demande .Des critères technico-économiques déterminent le choix du mode de compensation.

Compensation globale

Principe :les batteries de compensation sont placées en tête d'installation (après le disjoncteur de coupure générale par exemple) et assure par conséquent la compensation de toute l'installation pendant le fonctionnement normal.

Avantages :moins coûteuse

Inconvénients :risque de surtension aux bornes de l'installation pendant les heures creuses ou aux faibles charges.

Utilisation :installation ayant une charge stable et continue.

Compensation partielle (par secteur ou par groupe)

Principe :les batteries de compensation sont raccordées au tableau de distribution ou de répartition et assurent par conséquent la compensation par atelier ou groupe de récepteurs.

Avantages :possibilité de déconnecter les condensateurs pendant les faibles charges de certains ateliers.

Inconvénients :risque de surtensions locales pendant les heures creuses ;coûteux.

Utilisation :installation très étendue comportant des ateliers dont les régimes de charges sont différents.

Compensation individuelle

Principe :les batteries de condensateurs sont raccordées directement aux bornes de chaque récepteur inductif.

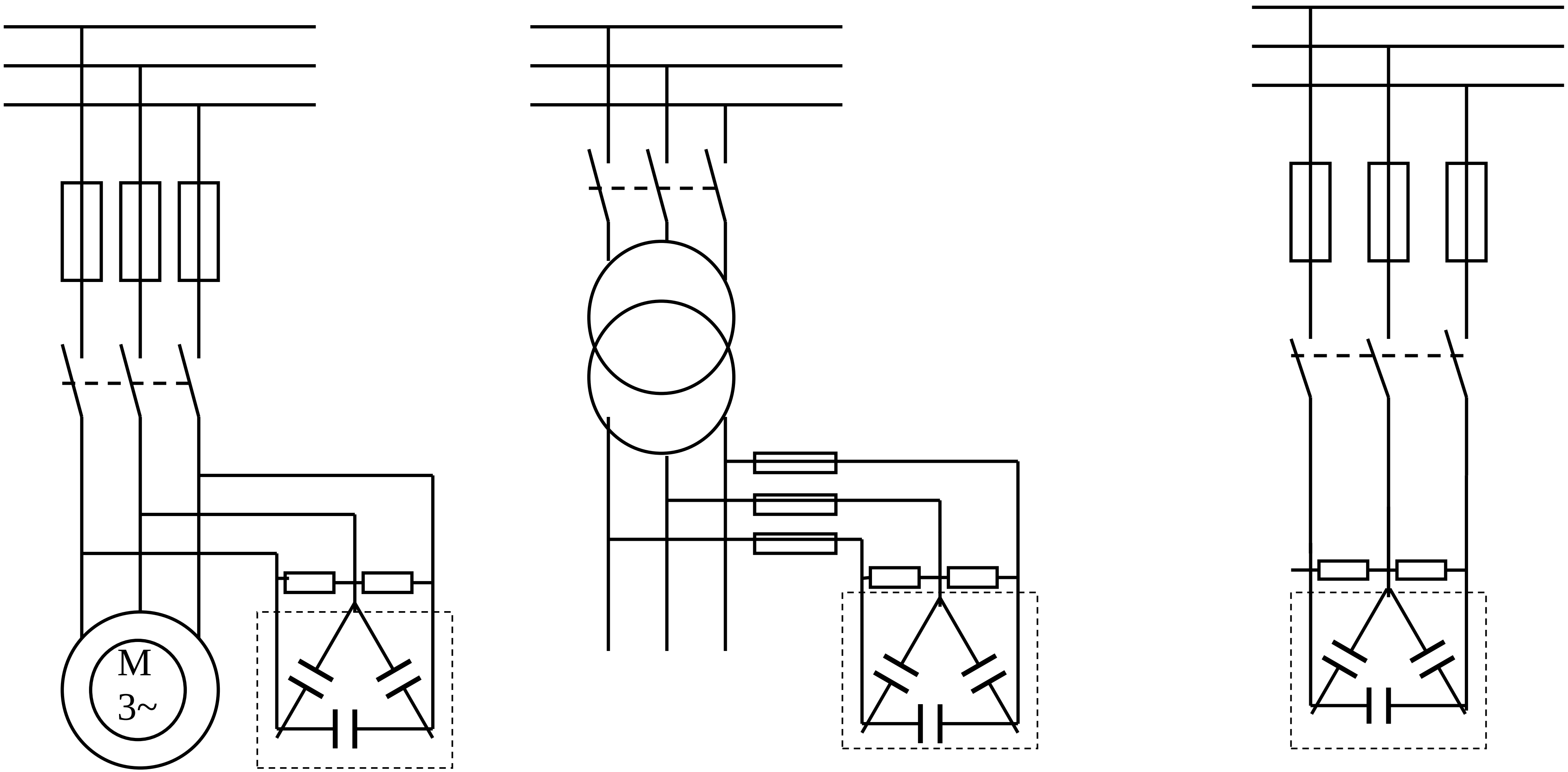
Avantages :pas de risque de surtension ;diminution importante des pertes et des chutes de tension dans les lignes ;pas besoin de dispositifs spéciaux (coupe-circuit ,résistances de décharge)

Inconvénients :plus coûteux car plusieurs condensateurs sont nécessaires et reviennent donc plus chers qu'un seul de même puissance.

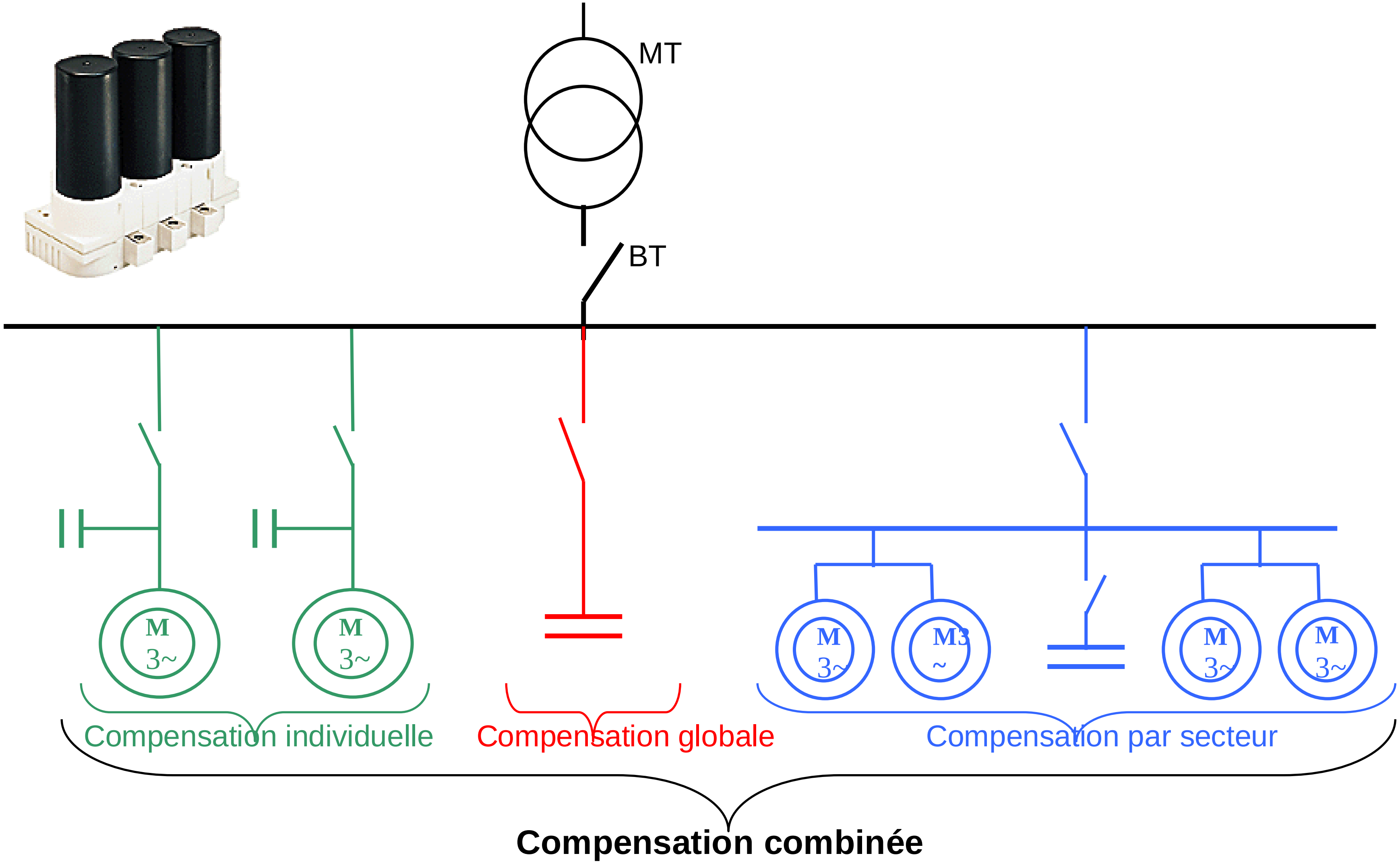
Utilisation :lorsque la puissance de certains récepteurs est importante par rapport à la puissance totale de l'installation.

PROTECTION DES BATTERIES DE CONDENSATEURS

Les condensateurs doivent être protégés par des fusibles ou par des disjoncteurs ;les résistances assurent la décharge des condensateurs à la mise hors tension.



MODES DE COMPENSATION



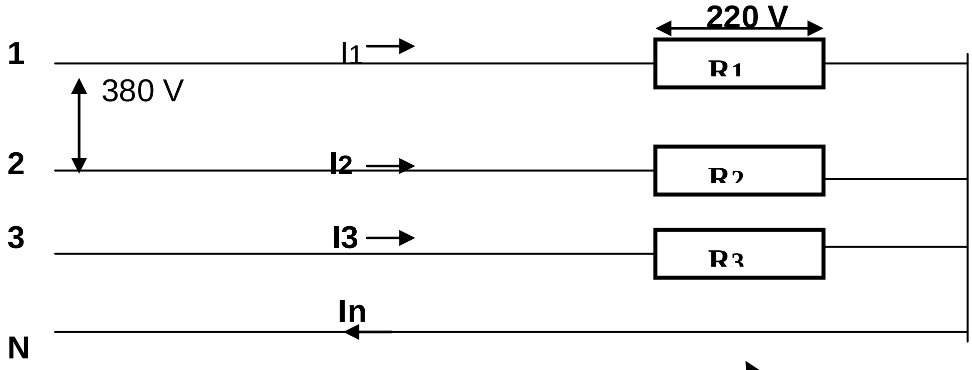
COURANTS ALTERNATIFS TRIPHASES

CIRCUITS EQUILIBRES ET DESEQUILIBRES

EXEMPLE

Soit 3 résistances R1 , R2, R3 montées en étoile ;déterminer graphiquement le courant dans le neutre si :

a) ***R1=R2=R3=55 Ω***
b) ***R1=55 Ω ;R2=40 Ω ;R3=80 Ω***
c) ***Conclure***

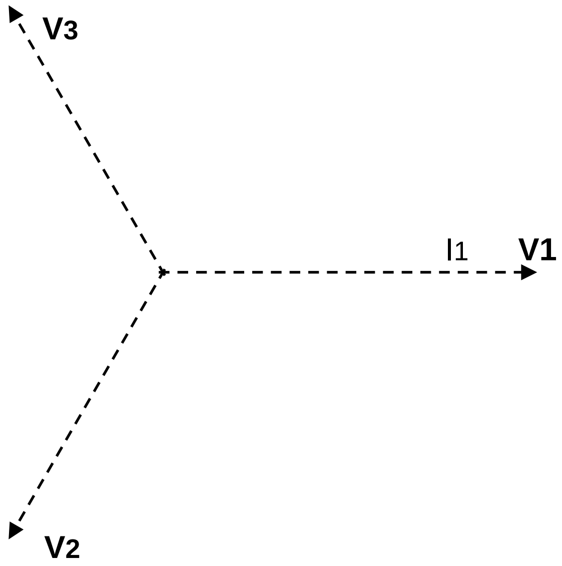


RESOLUTION GRAPHIQUE

a) Circuit équilibré

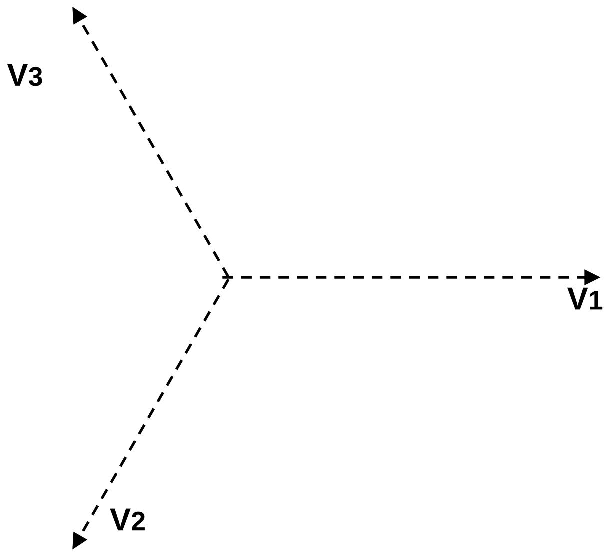
I1 = 220 / 55 = 4 A
I2 = 220 / 55 = 4 A
I3 = 220 / 55 = 4 A
In = ………A

1 A ≡ 1 cm



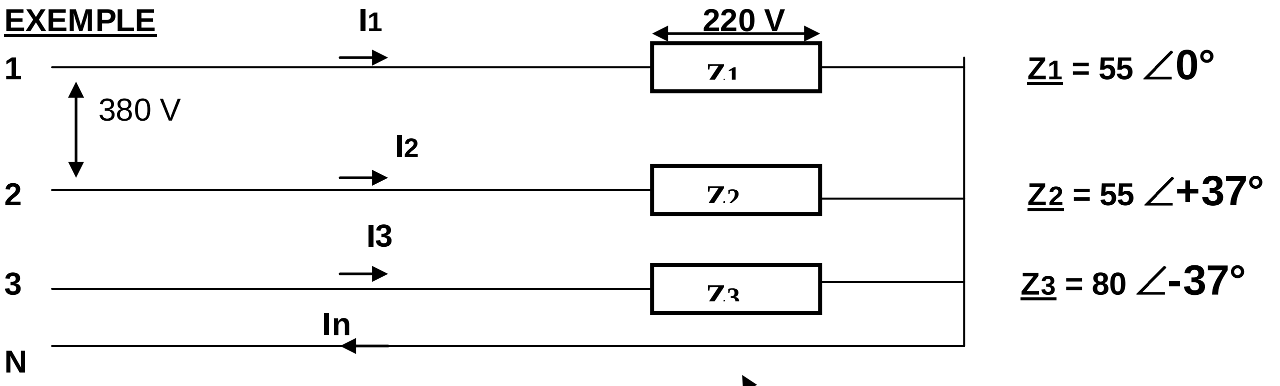
b) Circuit déséquilibré

I1 = 220 / 55 = 4 A
I2 = 220 / 40 = 5,5 A
I3 = 220 / 80 = 2,75 A
In = ……A

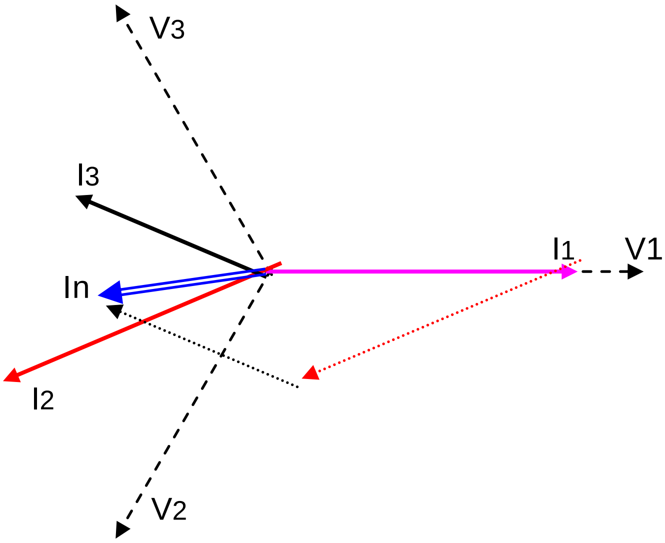


CIRCUITS DESEQUILIBRES

EXEMPLE



1- RESOLUTION GRAPHIQUE



$I_1 = 220 / 55 = 4$ A
$I_2 = 220 / 55 = 4$ A
$I_3 = 220 / 80 = 2{,}75$ A
$\boxed{In = 2{,}22 \text{ A}}$

1 A ≡ 1 cm

2 - PROJECTIONS

Expressions des courants:

$\underline{I_1} = V_1 \angle 0° \,/\, Z_1 \angle \varphi_1 = V_1 \,/\, Z_1 \angle(0° - \varphi_1) = 4 \text{ A} \angle 0°$

$\underline{I_2} = V_2 \angle -120° / Z_2 \angle \varphi_2 = V_2 \,/ Z_2 \angle(-120 - \varphi_2) = 4 \text{ A} \angle -157°$

$\underline{I_3} = V_3 \angle -240° \,/ Z_3 \angle\, \varphi_2 = V_3 \,/ Z_3 \angle(-240 - \varphi_3) = 2{,}75 \text{ A} \angle -203°$

Projection sur :

Ox : $X = V_1 / Z_1 \,[\cos(0° - \varphi_1)] + V_2 / Z_2 \,[\cos(-120° - \varphi_2)] + V_3 / Z_3 \,[\cos(-240° - \varphi_3)]$

Oy : $Y = V_1 / Z_1 \,[\sin(0° - \varphi_1)] + V_2 / Z_2 \,[\sin(-120° - \varphi_2)] + V_3 / Z_3 \,[\sin(-240° - \varphi_3)]$

Application numérique

$X = 4 \cos(0°) + 4 \cos(-157°) + 2{,}75 \cos(-203°) = 4 - 3{,}682 - 2{,}5314 = -2{,}2134$

$Y = 4 \sin(0°) + 4 \sin(-157°) + 2{,}75 \sin(-203°) = 0 - 1{,}563 + 1{,}0745 = -0{,}4885$

$\underline{In} = -2{,}2134 - j\, 0{,}4885$ d'où $\boxed{In = 2{,}26 \text{ A}}$

3 - NOMBRE COMPLEXES

$\underline{I_1} = V_1 / Z_1 \,[\cos(0° - \varphi_1) + j \sin(0° - \varphi_1)]$

$\underline{I_2} = V_2 / Z_2 \,[\cos(-120° - \varphi_2) + j \sin(-120° - \varphi_2)]$

$\underline{I_3} = V_3 / Z_3 \,[\cos(-240° - \varphi_3) + j \sin(-240° - \varphi_3)]$

Application numérique

$\underline{In} = \underline{I_1} + \underline{I_2} + \underline{I_3} = 4 \cos 0° + 4\,(\cos -157° + j \sin -157°) + 2{,}75\,(\cos -203° + j \sin -203°)$

$= 4 + 4\,(-0{,}92 - j\, 0{,}39) + 2{,}75\,(-0{,}92 + j\, 0{,}39)$

$= -2{,}21 - 0{,}4875\, j = \underline{In}$ d'où $\boxed{In = 2{,}26 \text{ A}}$

Bayala Bapio

Exercice 1

Une ligne triphasée de **10 km** de longueur alimente une charge équilibrée de **250 kVA** **cos φ = 0,8**. La tension au départ de la ligne est de **15 ,2KV** *On donne : R = 1 Ω/km X = 0,1Ω/ km.*

1) calculer l'intensité par phase.
2) Calculer le moment électrique **PL** *(Kw.km)* de la ligne.
3) Calculer la tension aux bornes de la charge.
4) Calculer les pertes actives et réactives.
5) Calculer la puissance de la batterie de condensateurs pour que le transformateur de **250 KVA** puisse fournir **250KW** à la charge.

Exercice 2

Un réseau 220/380V ,50Hz alimente une installation triphasée équilibrée comportant :
- 10 moteurs 220/380V, 50 Hz ,**20 CV , η = 0,92 , cos φ = 0,90.**
- 5 moteurs 380 /660 V 50 Hz, **10 CV , η = 0,85 , cos φ = 0,86**
- 90 lampes de **40 W** compensées.

1) indiquer le couplage des enroulements de chaque type de moteurs.
2) Calculer le courant dans l'enroulement de chaque type de moteurs.
3) Calculer l'intensité dans le neutre si deux des phases alimentant les lampes sont coupées.
4) Calculer le facteur de puissance et l'intensité en ligne en régime normal équilibré.
5) La mesure des puissances étant faite par la méthode des deux wattmètres, Calculer les indications P1 et P2.
6) Calculer la puissance et la capacité de la batterie de condensateurs montés en triangle pour relever le **cos φ à 0,98.**En déduire le nouveau courant en ligne et l'indication des deux wattmètres.

EXERCICE 3

Une installation électrique triphasée (**U = 400 V - f = 50 Hz**) comporte :

- **3** résistances montées en étoile, absorbant chacune une puissance de **40 kW** ;
- **3** impédances montées en triangle : **Z = R + jLw** par impédance ,absorbant au total une puissance active de **120 kw** et une puissance réactive de **90 kvar**;
- **3** moteurs triphasés de caractéristiques nominales: **P= 56 kW;Q=75kvar** (par moteur).

1) Calculer **R** et **Lw** .

2) Quel est le facteur de puissance global de l'installation ?

3) Calculer le courant de l'installation lorsque tous les appareils fonctionnent.

4) Calculer l'impédance équivalente par phase de l'installation (circuit R,L série)

5) On mesure les puissance active et réactive par la méthode des deux wattmètres. Quelles seront les indications relevées ?

6) On dispose de trois blocs de condensateurs de puissance unitaire : **200 kvar /440V** pour améliorer le facteur de puissance ;calculer le nouveau facteur de puissance obtenu et le courant en ligne