

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR - ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA

Année 2018

Faculté des sciences de l'ingénierat

Département d'Electrotechnique

Support du cours

Electricité Industrielle

2ème année Licence

Option : Génie mécanique

Dr ; KAHOUL Nabil

Chapitre 1 : Les Circuits Electriques

1. Courant et tension dans les circuits électriques	1
1.1. Différence de potentiel	1
1.2. Intensité du courant électrique	2
2. Quantité d'électricité	3
3. Tension électrique	3
4. Intensité du courant électrique	4
5. Courant alternatif et courant continu	5
6. Puissance réelle et puissance apparente	6
7. Circuit triphasé	8
7.1. Tensions	8
7.2. Intensités	9

Chapitre 2 : Les Circuits Magnétiques

1. Production d'un champ magnétique	12
2. Flux magnétique	13
3. Induction magnétique B	13
4. Champ magnétique H	14
5. Courants d'aimantation	14
6. Matériaux magnétiques	14
6.1 Caractéristique B(H) d'un matériau magnétique	15
6.2 Pertes magnétiques	16
6.3 Pertes par hystérésis	16
7. Circuits magnétiques	16
7.1 Réductance en série	17
7.3 Réductance en parallèle	17
8. Inductance d'une bobine	18

Chapitre 3: Les Transformateurs

1. Le transformateur	20
1.1 Constitution	20
1.2 Principe	20
2. Fonctionnement du transformateur réel en charge	21
2.1 Pertes dans le transformateur	21
<i>a- Les pertes dans le fer</i>	21

b- <i>La résistance des enroulements</i>	21
c- <i>Les fuites magnétiques</i>	22
2.2 Conclusions	22
2.3 Le rendement d'un transformateur	22
3. Types de transformateurs	23
3.1 L'auto transformatrice	23
3.2 Le transformateur d'isolement	23
3.3 Le transformateur de sécurité	23
3.4 Le transformateur de mesure	24
a. <i>Le transformateur de potentiel (TP) ;</i>	24
b. <i>Le transformateur d'intensité (TI)</i>	24
c. <i>La pince ampérométrique</i>	24
4. Mise en parallèle de deux transformateurs monophasés	25

Chapitre 4 : Machines Electriques

1. Objectifs	26
2. Introduction	26
3. Constitution des machines électriques tournantes	27
4. Machine à courant continu	27
4.1 Généralités	27
4.2 Principe de fonctionnement	28
4.3 Caractéristiques	29
4.4 Machine réversible	29
4.5 Type de moteur à courant continu	29
4.6 L'inducteur	30
4.7 L'induit	31
4.8 Les balais	32
4.9 Relation Vitesse et force contre-électromotrice à flux constant	32
4.10 Relation Couple et flux	33
4.11 Variation de la vitesse	33
4.12 Lecture d'une plaque signalétique	33
4.13 Utilisation des moteurs à courant-continu	34
5. Moteur synchrone	34
5.1 Généralité	34
5.2 Principe de fonctionnement	34

5.3	Caractéristiques	35
5.4	Le stator	35
5.5	Le rotor	36
5.6	Régulation de fréquence	38
5.7	Lecture de la plaque signalétique d'une machine synchrone	38
5.8	Utilisations des moteurs synchrones	39
6.	Moteur asynchrone	39
6.1	Principe de fonctionnement	39
6.2	Le rotor	40
6.3	Glissement, couple et vitesse de rotation	40
a.	Glissement	40
b.	Couple	41
c.	La vitesse de rotation	42
6.4	Pilotage en modifiant le nombre de pôles	43
6.5	Régulation de fréquence	43
7.	Le moteur universel	44
7.1	Le rotor ou induit	44
7.2	Le stator ou inducteur	44
7.3	Raccordement	44
7.4	Caractéristiques	44
7.5	Utilisations	45
7.6	Réglage de la vitesse des moteurs universels	45
7.7	Diagnostic de panne sur des machines équipées d'un moteur universel	46
8.	Moteur pas à pas	46
8.1	Généralités	46
8.2	Moteur à aimant permanent	46
8.3	Moteur à réluctance variable	47
8.4	Moteur hybride ;	47
9.	Branchement des moteurs triphasés	47
9.1	Groupement des enroulements	47
a.	Le couplage triangle	47
b.	Le couplage étoile	47

Chapitre 5 : Mesures Electriques

1. Mesure en physique :	49
2. Incertitudes dans les mesures	50
2.1 Incertitude sur une mesure directe	50
<i>a. Incertitude absolue</i>	50
<i>b. Incertitude relative (taux d'incertitude)</i>	50
2.2 Incertitude sur une grandeur calculée	50
3. Présentation des résultats	51
4. Les appareils de mesure et leur emploi	52
4.1 Les appareils de mesure	52
4.2 Mesurer les valeurs	52
<i>a. La mesure d'une tension</i>	52
<i>b. La mesure d'une intensité</i>	53
1. Schéma de câblage d'une installation électrique	55
5.1 Quelques conseils pratiques	55
5.2 Calcul de section filaire	55
<i>a. Les câbles</i>	55
<i>b. Les couleurs</i>	56
<i>c. Section des conducteurs</i>	57

BIBLIOGRAPHIE

Liste des figures

Figure	Page
Fig.1.1. Analogie entre l'électricité et un montage hydraulique	1
Fig. 2.1 Champ magnétique crée par un courant circulant dans un fil	12
Fig. 2.2 Le champ magnétique dans une bobine	12
Fig. 2.3 Cylindre uniformément aimanté le long de son axe	13
Fig.2.4 Sans matériau magnétique	15
Fig. .2.5 Avec un matériau magnétique	15
Fig. 2.6 Relation B(H) du vide.	15
Fig. 2.7 Courbe hystérésis typique	16
Fig. 3.1 Schéma de principe	20
Fig 3.2 Circuit équivalent de principe	22
Fig. 4.1 Inducteur.	30
Fig. 4.2 Induit.	31
Fig. 4.3 Composition de l'induit.	31
Fig. 4.4 L'ensemble balais, porte-balais et collecteur.	32
Fig. 4.5 Stator.	35
Fig. 4.6 Variation de la vitesse en fonction du nombre de paires de pôles.	36
Fig. 4.7 Le pilotage de la vitesse de rotation	37
Fig. 4.8 Variation de la vitesse à couple constant (moteur synchrone).	38
Fig. 4.9 Caractéristiques d'un moteur asynchrone classique.	41
Fig. 4.10 Fonction en moteur ou en générateur suivant le couple résistant.	42
Fig. 4.11 Pilotage en fréquence et en tension.	43
Fig. 4.12 Vue éclatée d'un moteur universel	44

Chapitre 1 : Les Circuits Electriques

1. Courant et tension dans les circuits électriques

Dans cette première partie, nous aborderons les unités de mesure de l'électricité et les différents types d'électricité existant.

Nous comprenons aisément que l'eau qui descend par gravité constitue un circuit comparable au circuit électrique :

- Réservoir A d'eau correspond au générateur,
- la canalisation d'eau correspond aux conducteurs électriques,
- Réservoir B est assimilée au récepteur.

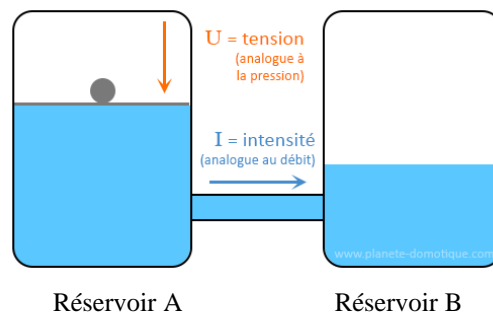


Fig.1.1. Analogie entre l'électricité et un montage hydraulique

La tension correspond à la pression d'eau présente dans le tuyau, tandis que l'intensité correspond au débit.

La circulation d'eau dépend de deux facteurs :

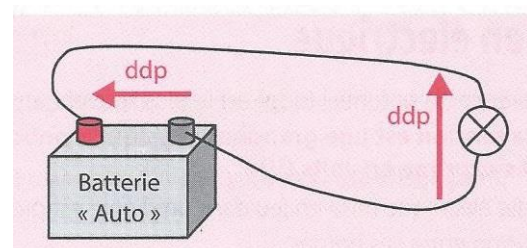
- la différence d'altitude sans laquelle l'eau ne peut pas circuler (par gravité) de la réserve d'eau vers la baignoire,
- le débit d'eau, c'est-à-dire le volume d'eau circulant par seconde dans la canalisation.

1.1. Différence de potentiel

Comme pour l'eau, un courant électrique ne peut circuler que s'il existe une différence dite de potentiel (ddp) entre les deux bornes du générateur. Sans différence de potentiel, le courant électrique ne peut pas circuler

De même tout dipôle récepteur ne peut être traversé par un courant que s'il existe entre ses bornes une différence de potentiel.

La différence de potentiel de la batterie d'accumulateurs est appliquée à la lampe. La lampe est traversée par un courant et éclaire.



1.2. Intensité du courant électrique

Le courant électrique est une circulation organisée d'électrons.

Il correspond au nombre d'électrons qui circulent pendant chaque seconde (débit d'électrons). L'intensité du courant électrique peut être comparée au débit d'eau du circuit hydraulique.

Comme pour un circuit hydraulique, il est important d'adapter la section du conducteur à l'intensité du courant que l'on veut faire passer.

Pour faciliter le déplacement des électrons et éviter l'échauffement des conducteurs, la section des conducteurs doit être suffisante pour assurer la libre circulation des charges électriques.

Étroitement liée à la notion d'intensité, il y a la notion de résistance. La résistance, notée R , s'exprime en Ohms (symbole : Ω) et détermine la capacité d'un circuit ou autre composant à ralentir le passage du courant. Ainsi, sur un circuit très conducteur, la résistance est proche de 0Ω . Deux éléments qui ne sont pas en contact auront une résistance approchant l'infini. La formule indiquant la relation entre la puissance est la Loi d'Ohm : $U = R \times I$ (tension égale au produit de la résistance et de l'intensité).

Lorsqu'un courant traverse le corps humain (composé d'environ 75 % d'eau), celui-ci agit comme une résistance.

La résistance du corps humain, est variable selon :

- les personnes,
- l'humidité de la peau,
- et aussi le circuit qu'emprunte le courant dans le corps.

En moyenne, le corps humain présente une résistance de l'ordre de 3 à 5 k Ω .

D'après la formule ci-dessus, on voit donc qu'avec une tension de 12V, le corps sera traversé par une intensité de 2.5mA (non dangereux). Par contre avec une tension de 230V, on arrive à une intensité de 45mA qui peut être dangereuse.

Le courant qui traverse le corps humain est dangereux suivant son intensité:

- à 0,5 mA : c'est le seuil de perception
- à 10 mA : contractions musculaires, seuil de non lâcher : maximum 3-4 minutes.
- à 30 mA : seuil de la paralysie respiratoire : maximum 20-30 secondes.
- à 75 mA : seuil de fibrillation cardiaque irréversible : maximum 2 à 5 secondes.
- à 1000 mA : arrêt cardiaque : maximum 30 à 100 ms.

Il faut bien noter que dans tous les cas, quel que soit la capacité d'une alimentation elle ne délivrera que le courant nécessaire à la charge qui lui est connectée.

Par exemple, une batterie 12V de voiture de 50A ne sera pas pour autant mortelle pour une personne qui touchera les bornes + et -, puisque le corps humain ne consommera que 2 ou 3mA.

2. Quantité d'électricité

L'énergie mise en jeu dépend du nombre d'électrons qui circulent.

La quantité d'électricité Q transportée par un courant électrique correspond au nombre n d'électrons qui ont circulé.

$$Q = n \times e$$

Q : quantité d'électricité en coulombs (C)

n : nombre d'électrons

e : quantité d'électricité élémentaire en coulombs (C)

La quantité d'électricité élémentaire est celle d'un l'électron, elle est notée e :

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Autre unité de quantité d'électricité : sur les piles et les accumulateurs, la quantité d'électricité est souvent indiquée en ampères-heures (Ah).

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$$

3. Tension électrique

La différence de potentiel (ddp) est le plus souvent appelée « tension ». La tension est symbolisée par la lettre U et s'exprime en volts (V).

L'énergie électrique mise en jeu dans un dipôle est :

$$W = Q \times U$$

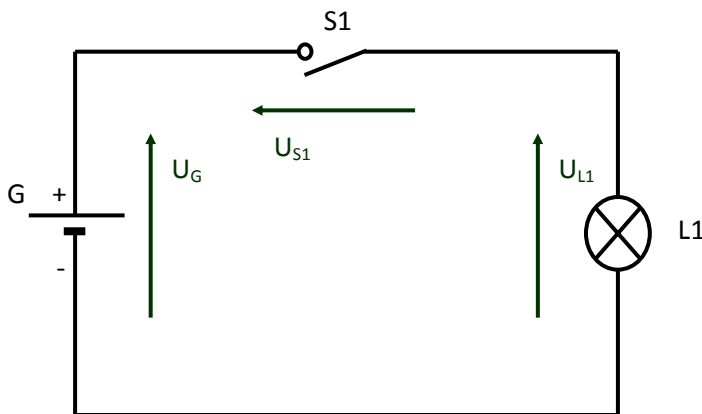
W : énergie en joules (J)

Q : quantité d'électricité en coulombs (C)

U : tension en volts (V)

La tension se représente par une flèche orientée

Exemple :



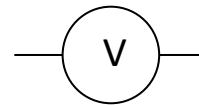
L'appareil qui mesure la tension est le voltmètre.



Voltmètre analogique



Voltmètre numérique



Symbole

Branchement du voltmètre : le voltmètre est raccordé en dérivation entre les deux points du circuit dont on veut déterminer la différence de potentiel.

4. Intensité du courant électrique

L'intensité correspond au nombre de coulombs transportés par seconde par le courant électrique.

L'intensité du courant électrique est symbolisée par la lettre I et s'exprime en ampères (A).

L'intensité est égale à la quantité d'électricité qui circule pendant l'unité de temps.

$$I = Q / t$$

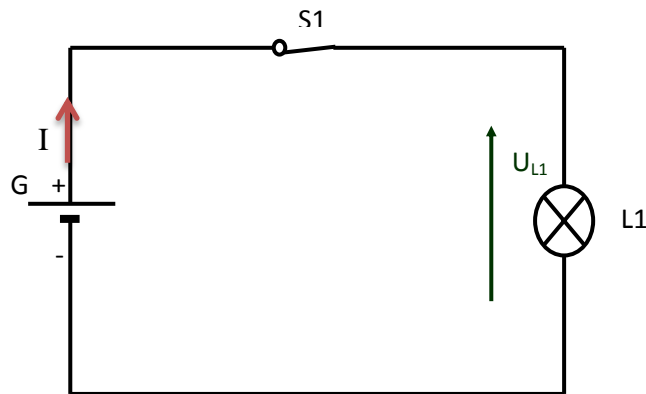
I : intensité du courant en ampères (A)

Q : quantité d'électricité en coulombs (C)

t : temps en secondes (s)

L'intensité d'un courant est symbolisée par une flèche placée sur le schéma électrique et orientée du plus vers le moins.

Exemple :



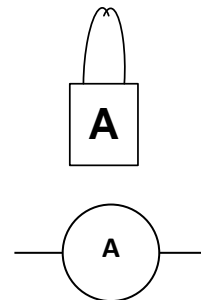
L'appareil qui mesure l'intensité d'un courant électrique est l'ampèremètre.



Ampèremètre analogique



Pince ampèremétrique



Symbole

Branchement de l'ampèremètre : le courant électrique dont on veut mesurer l'intensité doit traverser l'ampèremètre. L'ampèremètre se branche en série dans le circuit électrique.

5. Courant alternatif et courant continu

Cette notion de AC ou DC est généralement indiquée juste après la tension, pour indiquer ce qu'une alimentation délivre ou le type d'alimentation électrique dont un appareil a besoin : il y a par exemple un courant alternatif 230 VAC pour le courant au secteur en sortie d'une prise électrique, et un courant continu de 12 VDC pour une alimentation d'un petit appareil.

Dans un courant continu, les charges électriques ne vont que dans un seul sens, du [-] vers le [+], tandis que dans un courant alternatif, le sens des charges change très régulièrement. Un courant alternatif est donc défini par sa tension mais également par sa fréquence, à savoir le nombre de fois que les charges changent de sens. Cette fréquence est de 50 Hz dans la plupart des pays, y compris l'Algérie, et de 60 Hz aux États-Unis. Vous constaterez sur la plupart des alimentations la mention 50/60 Hz, indiquant qu'elles acceptent les deux fréquences.

Les types de courant

Le courant continu

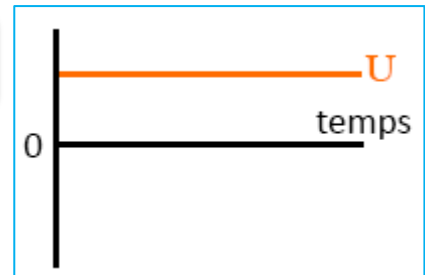
Symbole =

DC en Anglais



Le courant continu est le courant délivré par les piles ou les batteries

Représentation graphique



Le courant Alternatif

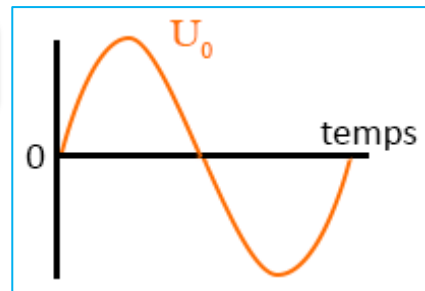
Symbole ≈

AC en Anglais



Le courant alternatif est le courant Distribué dans votre installation

Représentation graphique



6. Puissance réelle et puissance apparente

Une autre notion indispensable est la puissance électrique. La puissance est exprimée en watts (symbole : W) et elle est notée P. C'est le produit de la tension par l'intensité ($P = U \times I$), et comme elle prend en compte la quantité et le mouvement d'électricité, elle permet d'indiquer l'énergie fournie en une seconde par le circuit électrique.

$$P = U \times I$$

Puissance	tension	Intensité
en Watts (W)	en volts (V)	en ampère (A)

N.B : c'est la formule correspondant au cas de figure le plus simple, le courant continu où la tension ne varie pas. Dans le cas d'un courant alternatif, des formules plus complexes entrent en jeu, et cette formule permet de calculer la puissance apparente.

Cette notion de puissance apparente explique qu'en courant alternatif, pour avoir une mesure précise de la puissance consommée, il faut avoir une mesure précise de la tension.

Suivant le type de charge, il peut en effet y avoir un décalage entre la tension et l'intensité (charge inductive). La puissance est alors totalement dépendante de la mesure de tension.

Vous n'aurez pas ce problème sur une charge résistive (comme un radiateur), mais vous pouvez l'avoir sur un moteur (machine à laver, ...)

Voici un ordre de grandeur des puissances présentes dans des objets du quotidien :

- Chargeur de téléphone : 5 W
- Appareil électrique (TV, imprimante...) en veille : 5 à 10 W
- Réfrigérateur : 200 W
- Air conditionné : 400 W
- Ordinateur en fonctionnement avec moniteur LCD : 80 W
- Lampe avec ampoule à économie d'énergie : 10 W
- Lave-vaisselle : 1200 W
- Lave-linge : 2500 W
- Four classique : 2000 à 2500 W
- Chauffage électrique : 1000 W à 2000 W

Vous trouverez parfois une puissance exprimée en voltampères (VA) : il s'agit de la puissance apparente. Là où le watt permet de mesurer la puissance réelle (puissance active) et dépend donc de différents facteurs, le voltampère permet d'exprimer la puissance apparente, soit la valeur maximale de puissance pouvant être prise.

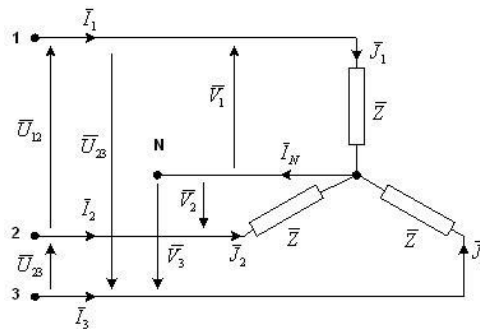
La formule pour la puissance [$P = U \times I$] indiquée ci-dessous est toujours valable pour calculer la puissance apparente, quelles que soient les particularités du circuit mesuré.

Pour un circuit en courant continu (DC), la puissance réelle est égale à la puissance apparente. Le voltampère n'est donc pertinent que pour les circuits en courant alternatif (AC).

7. Circuit triphasé

7.1. Tensions

C'est un système constitué de 3 tensions alternatives sinusoïdales monophasées de même valeur efficace V déphasées de $2\pi/3$ l'une à l'autre et ayant un point commun N appelé point Neutre. C'est donc un système équilibré.



- $V_1 = V\sqrt{2} \sin \omega t$
- $V_2 = V\sqrt{2} \sin \omega t - \frac{2\pi}{3}$
- $V_3 = V\sqrt{2} \sin \omega t - \frac{4\pi}{3}$

$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = \vec{0}$$

V : valeur efficace

Ces tensions sont appelées tensions simples ou entre phase et neutre. On peut également mesurer la tension entre 2 phases, on aura des tensions composées.

$$\begin{cases} U_{12} = V_1 - V_2 \\ U_{23} = V_2 - V_3 \\ U_{31} = V_3 - V_1 \end{cases}$$

Le système de tensions composées est équilibré

$$\vec{U}_{12} + \vec{U}_{23} + \vec{U}_{31} = \vec{0}$$

Le système étant équilibré les 3 tensions ont la même valeur efficace V

Relation entre U et V :

$$U_{12}^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2 V_1 V_2 \cos 120$$

$$U_{12}^2 = U = V\sqrt{3}$$

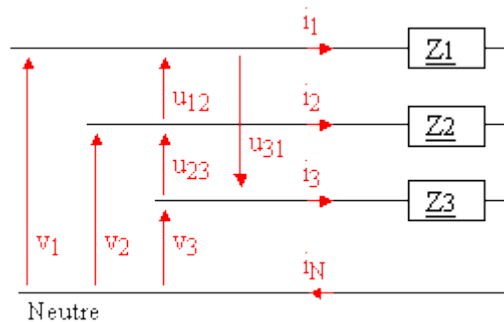
7.2.Intensités

La source triphasée équilibrée alimente les récepteurs triphasés qui peuvent être équilibrés ou déséquilibrés. D'autre part il y a 2 types de couplages possibles pour les récepteurs

Triangle Δ et Etoile Y

La source peut être également en Y et en Δ

1. Couplage étoile équilibré :



Les 3 dipôles doivent être totalement identiques

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z$$

$$\begin{cases} I_1 = V_1/Z_1 \\ I_2 = V_2/Z_2 \\ I_3 = V_3/Z_3 \end{cases} \quad I_1 = I_2 = I_3 = I$$

Selon la nature des dipôles le déphasage entre courant sera plus ou moins important et est identique pour les 3 phases (compris entre $+\pi/2$ et $-\pi/2$).

Bilan énergétique

Puissance active totale consommée :

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3$$

$$\begin{cases} P_1 = V_1 I_1 \cos \phi_1 \\ P_2 = V_2 I_2 \cos \phi_2 \\ P_3 = V_3 I_3 \cos \phi_3 \end{cases} = 3VI \cos \phi$$

$$P_t = 3VI \cos \phi$$

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad \rightarrow \quad P_t = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I \cos \phi = \sqrt{3} UI \cos \phi$$

Puissance réactive totale consommée

$$\begin{cases} Q_1 = V_1 I_1 \sin \phi_1 \\ Q_2 = V_2 I_2 \sin \phi_2 \\ Q_3 = V_3 I_3 \sin \phi_3 \end{cases} = VI \sin \phi$$

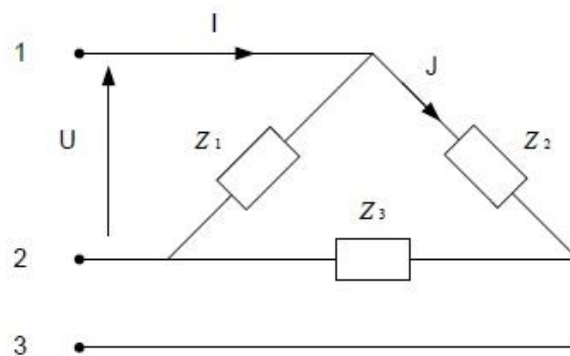
$$Q_t = \sqrt{3} UI \sin \phi$$

Puissance apparente totale consommée

$$S_t = \sqrt{P_t^2 + Q_t^2} = UI\sqrt{3}$$

2. Couplage Triangle équilibré

❖ Il n'y a pas de neutre dans un couplage triangle



Chaque impédance sera soumise à la tension composée U et sera parcourue par le courant

$$J = \frac{I}{\sqrt{3}} \quad (I : \text{courant de ligne, vient de la source} ; J : \text{courant de phase, traverse le récepteur})$$

Si le système est équilibré, les 3 impédances ($Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z$) sont totalement identiques.

Bilan énergétique

Puissance active totale consommée :

$$P_t = P_1 + P_2 + P_3$$

$$\begin{cases} P_1 = U_1 J_1 \cos \phi_1 \\ P_2 = U_2 J_2 \cos \phi_2 \\ P_3 = U_3 J_3 \cos \phi_3 \end{cases} = UJ \cos \phi$$

$$J = \frac{I}{\sqrt{3}} \quad \rightarrow \quad P_t = \sqrt{3}UI \cos \phi$$

Puissance réactive totale consommée

$$\begin{cases} Q_1 = U_1 J_1 \sin \phi_1 \\ Q_2 = U_2 J_2 \sin \phi_2 \\ Q_3 = U_3 J_3 \sin \phi_3 \end{cases} = UJ \sin \phi$$

$$Q_t = \sqrt{3}UI \sin \phi$$

La puissance réactive est plus abstraite que la puissance active, mais le fait qu'elle puisse être compensée peut offrir un voie d'économie d'énergie et donc d'une baisse de la facture d'électricité.