

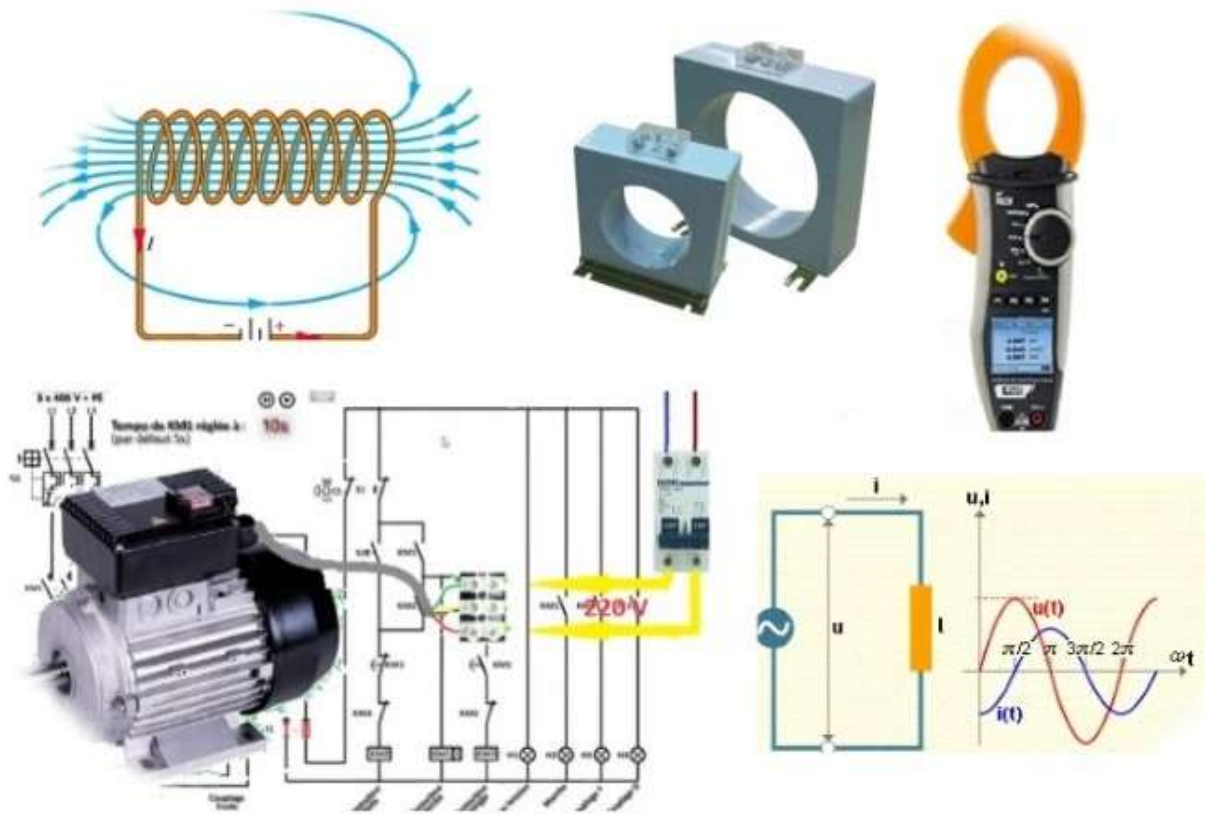


Faculté : Sciences et Technologie
Département : tronc commun
Spécialité : Construction mécanique

Année universitaire : 2019/2020
Semestre : 4

Cours

UED 2.2 : Electricité industrielle



Chapitre 1
Les circuits électriques

1.1 Relation de base de l'électricité :

1.1.1 Loi de d'ohm:

$$V = R \times I$$

V (tension): Volt (V). I (courant): Ampère (A). R (résistance): Ohm (Ω).

1.1.2 Puissance :

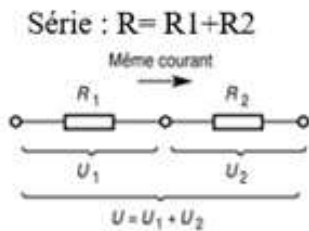
$$P = V \times I = I^2 \times R = V^2/R, \text{ se mesure en watt (W).}$$

1.1.3 Loi de Kirchoff :

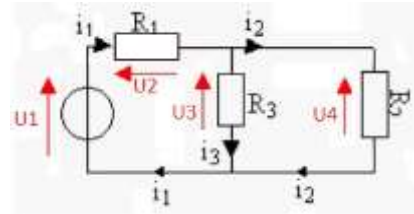
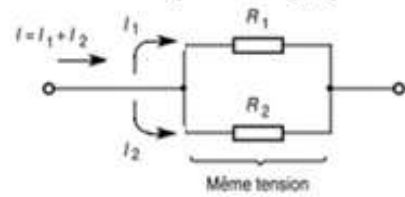
$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$V_1 - V_2 - V_3 = 0, \quad V_3 - V_4 = 0, \quad V_1 - V_2 - V_4 = 0$$

1.1.4 Résistances équivalent :



$$\text{Parallèle : } R = (R_1 \times R_2)/(R_1 + R_2)$$



1.1.5 Diviseur de courant :

$$I_1 = R_2/(R_1 + R_2) I_s$$

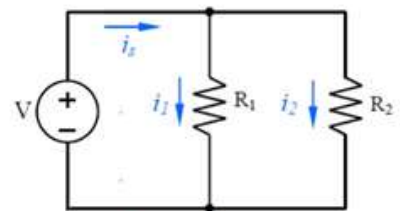
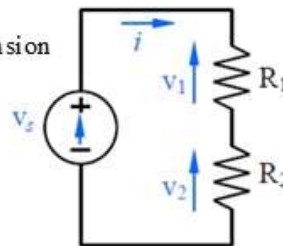
$$I_2 = R_1/(R_1 + R_2) I_s$$

1.1.6 Diviseur de tension :

$$V_1 = R_1/(R_1 + R_2) V_s$$

$$V_2 = R_2/(R_1 + R_2) V_s$$

Diviseur de tension



Diviseur de courant

1.2 Circuits monophasé :

Le courant monophasé est le plus utilisé en habitation domestique avec une tension de 230 volts. Le monophasé se compose de deux fils: un conducteur de phase et un neutre.

1.2.1 Grandeurs de signal monophasé :

$$V = V_m \cos(\omega t),$$

V_m : Amplitude (V)

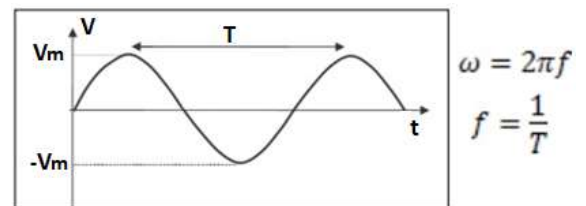
ω : Pulsation (rad.s^{-1})

1.2.2 valeur moyen (V_{moy}) :

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt. \text{ Cette valeur est nulle.}$$

1.2.3 valeur efficace (V_{eff}) :

$$V = \frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt. \quad V = V_{\text{max}}/\sqrt{2}$$



Remarque : Le courant alternatif a la même forme que la tension alternative mais avec un déphasage exprimé en φ (rad) dans la formule. Les valeurs efficace et moyen sont les mêmes.

1.2.4 Puissance :

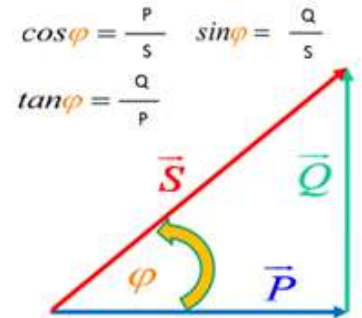
- Puissance active : Absorbée par une charge résistive.

$$P = V \times I \times \cos(\varphi) \text{ (W)}.$$

- Puissance réactive : Absorbée par une charge inductive ou capacitive.

$$Q = V \times I \times \sin(\varphi) \text{ (VAR)}.$$

- Puissance apparente : $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = V \times I$ (VA).



Remarque : le déphasage entre la tension et le courant qui travers la charge est : charge résistive (0), inductive (+90°) et capacitive (-90°).

1.3 Circuits triphasé :

L'installation en triphasé se compose de trois phases et un neutre. En dit que le triphasé est équilibré, si : Ces phases ont la même V_{eff} . Le déphasage entre les trois phases = $2\pi / 3$. Ces phases aient la même ω .

1.3.1 Grandeurs de système triphasé :

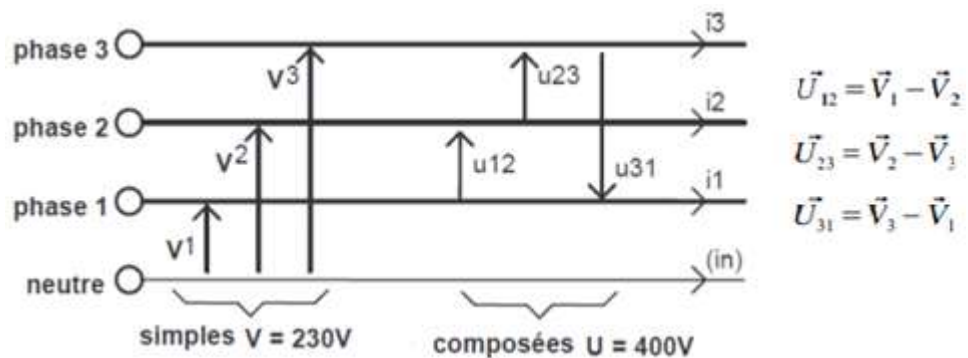
- tensions simples :

$$V_1 = V\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

$$V_2 = V\sqrt{2} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

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

- tensions composés :



La relation entre les tensions simples et composés est come suivant :

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

Sur un réseau triphasé, la tension composée U est toujours mesurable (la tension simple V n'est mesurable que si le neutre est sorti). De même qu'on ne peut mesurer le courant entre phase J que si on a accès aux éléments du récepteur triphasé).

1.3.2 puissance :

En système triphasé on considère les puissances relatives aux trois phases simultanément. Ça veut dire que la puissance est égale à la somme des trois phases par a port au neutre.

- Puissance active : $P = \sqrt{3} U \times I \times \cos(\varphi)$
- Puissance réactive : $Q = \sqrt{3} U \times I \times \sin(\varphi)$
- Puissance apparent : $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} U \times I$

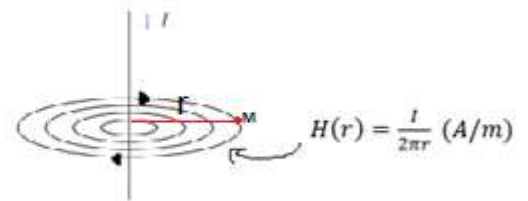
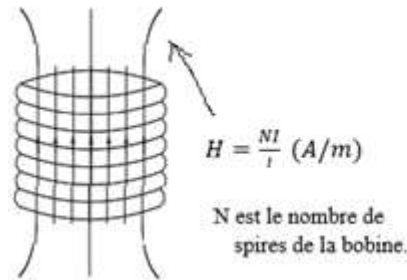
Remarque : Les relations du triangle de puissance vue en section 3.4, sont toujours valides.

Chapitre 2
Les circuits magnétiques

2.1 Magnétisme et électricité et lois fondamentales :

2.1.1 Champ d'excitation magnétique (H) : Si on considère un conducteur dans lequel circule un courant I. Ce courant crée un champ magnétique. L'intensité de ce champ est donnée par la loi d'Ampère :

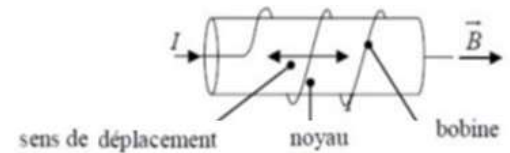
$$\int H \, dl = I$$



2.1.2 Champ d'induction magnétique (B) : On peut définir le champ d'induction magnétique comme la réponse de milieux au champ d'excitation magnétique.

$$\boxed{B = \mu_0 \mu_r H \text{ (T ou Wb/m}^2\text{)}}$$

μ_0 : Perméabilité. μ_r Perméabilité relative.



2.1.3 Flux magnétique :

Le flux du vecteur d'induction magnétique B à travers une surface fermée (S) est définie par :

$$\Phi = \iint_{(S)} \vec{B} \cdot \vec{dS} \text{ (wb)} \Rightarrow \boxed{\Phi = B \cdot S} \text{ (S est la section).}$$

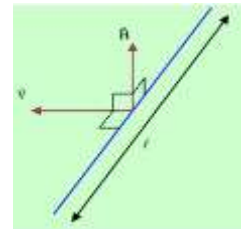
Dans le cas d'une bobine de N spire : $\boxed{\Phi = B \cdot S \cdot N}$

2.1.4 F.e.m induit :

Quand une tige de conducteur de longueur (l) entraînée à la vitesse v dans un champ magnétique uniforme : il apparaît une tension électrique entre ces deux extrémités.

$$|e| = B l v. \text{ (C'est une force électromotrice induite).}$$

*Application : génératrice DC, microphone électrodynamique.



2.1.5 Force de Lorentz :

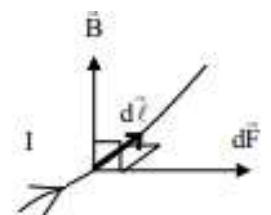
Quand une particule chargée q se déplace dans une région où il y a un champ électrique et magnétique, La particule est alors soumise à une force électromagnétique:

$$F = \underbrace{q\vec{E}}_{\text{force électrostatique}} + \underbrace{q\vec{v} \wedge \vec{B}}_{\text{force magnétique}}$$

2.1.6 Force de Laplace :

Si un conducteur parcouru par un courant d'intensité I placé dans un champ d'induction magnétique : une portion de circuit de longueur dl est soumise à une force magnétique. $d\vec{F} = I \, dl \wedge \vec{B}$.

Application : Moteur DC, haut-parleur électrodynamique, galvanomètre.

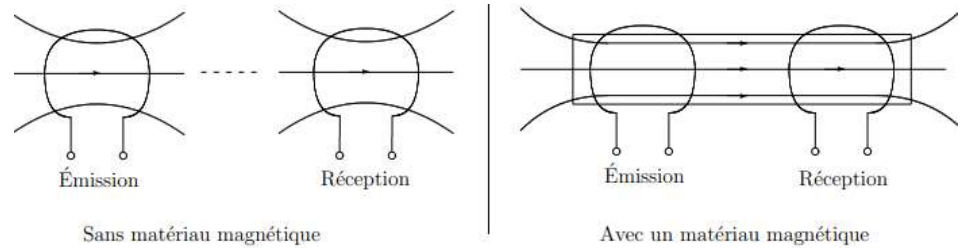


2.2 Matériaux magnétiques :

Un matériau magnétique est un matériau de haute perméabilité magnétique relative ($\mu_r \gg 1$). Le rôle est de canaliser efficacement les lignes de champ magnétique. Ceci permet de réduire les fuites.

Matériaux paramagnétiques : μ_r est environ 1. (Air, verre, cuivre, aluminium...)

Matériaux ferromagnétiques : μ_r est très élevé (100 à 100000). (Fer, acier, cobalt,...)



2.2.1 Réluctance (\mathfrak{R}) :

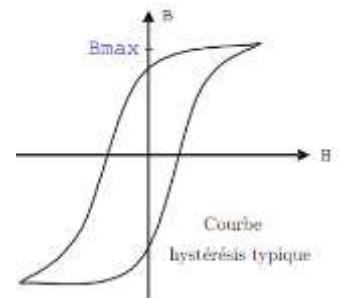
La réluctance \mathfrak{R} exprime l'opposition faite au passage des charges électriques dans un circuit magnétique constitué par la matière. Nous parlons parfois de résistance magnétique. $\mathfrak{R} = 1 l / (\mu S) \text{ (H}^{-1}\text{)}$.

Les réluctances en série et en parallèle se comporte de la même façon que des résistances en série et en parallèle respectivement.

*Comme elle montré dans l'équation de la réluctance ci-dessus, elle dépendre de la perméabilité, la longueur et la surface du matériau magnétique. Donc, chaque région dans le matériau magnétique montre une variation dans l'un des paramètres précédent est une nouveau réluctance.

2.2.2 Pertes magnétiques :

- Pertes par hystérésis : le matériau magnétique fait un cycle d'hystérésis et crée ainsi des pertes d'énergie dans le noyau sous forme de chaleur.
- Pertes par courants de Foucault : Le champ magnétique alternatif induit dans le noyau crée un courant induit dans le matériau. Ce qui crée des pertes RI^2 (la résistivité des matériaux magnétiques $\neq 0$). Ces pertes sont dissipées sous forme de chaleur.



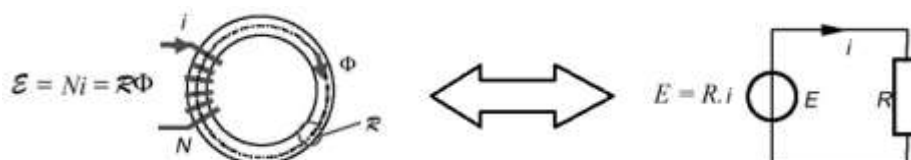
2.3 Circuit magnétiques :

Ils sont basés sur l'utilisation de matériaux ferromagnétiques avec comme but d'obtenir un champ d'induction B dans une zone précise (entrefer). Tout en supposant qu'il n'y a pas d'hystérésis.

2.3.1 Lois de Hopkinson :

En combinant la force magnétomotrice à la réluctance, on obtient alors la relation :

$\mathfrak{S} = NI = \mathfrak{R}\Phi$, Si typiquement l'analogie de la loi d'Ohm.



A tout circuit magnétique, on peut affecter une représentation électrique permettant d'étudier le comportement du circuit à l'aide de relation électrique

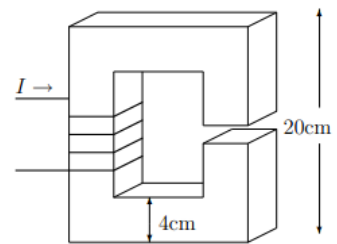
circuit électrique		circuit magnétique	
e	D d p ou tension (V)	$\tilde{\mathcal{F}} = ni$	force magnétomotrice (At)
i	courant (A)	ϕ	flux (Wb)
$R = \frac{l}{\sigma S}$	résistance (Ω) σ conductivité	$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu S}$	réductance ($A \cdot W \cdot b^{-1}$) μ perméabilité
$j = \sigma E$	densité de courant ($A \cdot m^{-2}$)	$B = \mu H$	induction magnétique (T)
E	champ électrique ($V \cdot m^{-1}$)	H	champ magnétique ($A \cdot m^{-1}$)

Circuit avec entrefer

Circuit avec deux tronçons

Application :

Soit le circuit magnétique suivant. Le courant $I=2A$, $\mu_r= 2500$, $N= 250$ et une profondeur de 4cm. L'entrefer a une épaisseur de 0.5cm.



La longueur moyenne du circuit est : $l = 2 \cdot (11 + 16) = 0.54m$

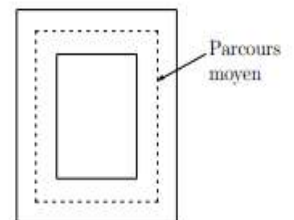
La section du circuit est : $A = (4 \times 4)cm^2 = 0.0016m^2$

La réductance du fer est : $\mathcal{R}_{Fe} = \frac{l}{\mu A} = \frac{0.54}{2500(4\pi \times 10^{-7})0.0016} = 107430 \text{ At/Wb}$

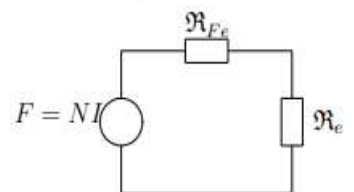
La réductance de l'entrefer est : $\mathcal{R}_e = \frac{l_e}{\mu_0 A_e} = \frac{0.005}{(4\pi \times 10^{-7})0.0016} = 248680 \text{ At/Wb}$

Le flux magnétique est : $\varphi = \frac{NI}{\mathcal{R}_{eq}} = \frac{NI}{\mathcal{R}_{Fe} + \mathcal{R}_e} = \frac{250 \times 2}{107430 + 248680} = 1.404 \times 10^{-3} \text{ Wb}$

La densité de flux est : $B = \frac{\varphi}{A} = \frac{1.404 \times 10^{-3}}{0.0016} = 0.878 \text{ T}$



Le circuit équivalent est :



2.3.2 Calcul de l'inductance propre d'un circuit :

$$L = N \frac{\phi}{I} = \frac{N^2}{\mathcal{R}} \quad \text{Puisque} \quad \phi = \frac{NI}{\mathcal{R}}$$

Chapitre3
Les transformateurs

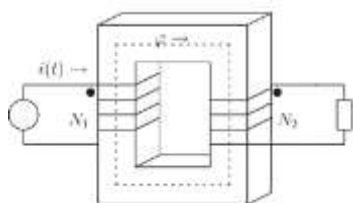
3.1 Rôle :

Le transformateur permet de transférer de l'énergie (sous forme alternative) d'une source à une charge, tout en modifiant la valeur de la tension. La tension peut être soit augmentée ou abaissée selon l'utilisation voulue. Parmi les applications des transformateurs, on note : Alimentation à basse tension. Transformation de la tension pour le transport et la distribution d'électricité. La mesure de courant ou de tension.



3.2 Principe de fonctionnement :

Le transformateur est constitué de deux enroulements (ou plus) couplés sur un noyau magnétique. Le côté de la source est appelé le primaire. Le côté de la charge est appelé le secondaire.



Le courant alternatif qui circule dans l'enroulement primaire génère un flux magnétique variable dans le noyau. Cette variation de flux induit dans le secondaire une tension (f.e.m induit).

Selon le rapport du nombre de tours entre le primaire et le secondaire, le secondaire alimente la charge avec une tension différente de celle de la source.

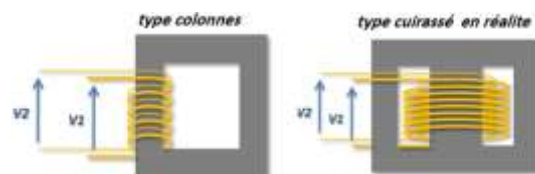
Quand le circuit secondaire est ouvert (transformateur à vide). Il ne débite alors aucun courant.

Quand un récepteur est raccordé à sa sortie (transformateur en charge). Le courant débité par le secondaire crée alors un champ magnétique opposé au champ produit par le primaire (Le flux Φ est le flux mutuel). Il s'ensuit une augmentation du courant dans le primaire et en fin de compte il y a égalité entre la puissance que génère le secondaire et la puissance consommée par l'enroulement primaire.

3.3 Type des transformateurs :

3.3.1 Transformateurs monophasé :

Type cuirassé : on utilise un circuit magnétique à trois branches, et les enroulements sont autour de la branche centrale. Les deux colonnes libres a pour but de minimisation fuites.

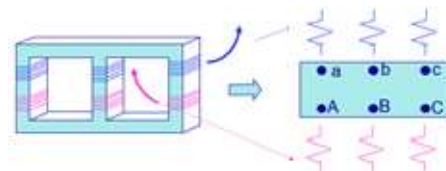


Type à colonnes : un circuit magnétique à deux colonnes est utilisé. Entre les deux bobines il y a une isolation galvanique empêche le transfert du courant est permet le transfert de champ magnétique.

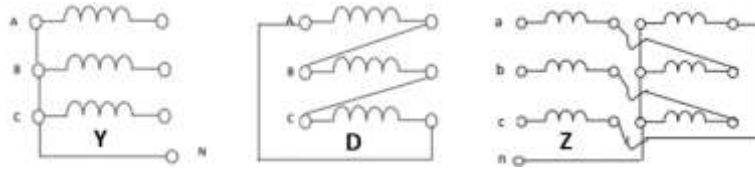
3.3.2 Transformateurs triphasé :

On convient de repérer les bornes comme suit : Enroulements primaires par des lettres majuscules (A. B. C) Enroulements secondaires par des lettres minuscules (a. b. c).

L'association d'un mode de connexion du primaire avec un mode de connexion du secondaire caractérise un couplage du transformateur.



Il existe trois modes de connexion : Y (Etoile), D (Triangle) et Z (Zigzag). Donc six couplages possibles.



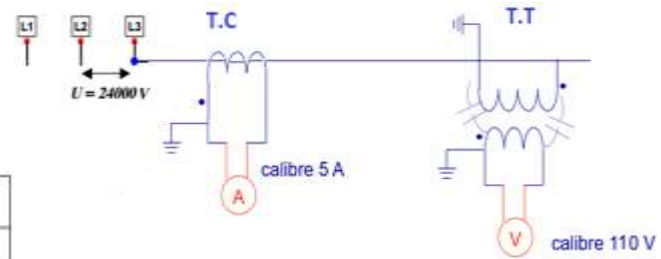
3.3.3 Transformateurs de mesure :

Lorsque l'on veut mesurer avec précision des tensions et des courants de très fortes valeurs en toute sécurité pour le matériel et les utilisateurs on utilise :

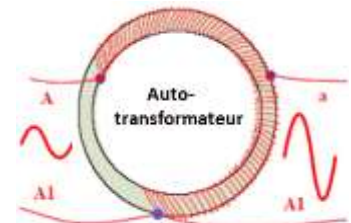
Transformateurs de tension (T.T) : Ils permettent de mesurer une haute tension (H.T) avec une bonne précision et sans intervention sur l'installation H.T, car la tension aux bornes du secondaire est une basse tension (B.T) : 100 à 110V en général. $V_1 = V_2 (N_1/N_2)$.

Transformateurs de courant (T.C) : on utilise les TC en B.T et en H.T lorsque l'on veut mesurer avec précision des courants de très forte valeur. $I_1 = I_2(N_2/N_1)$.

Autotransformateurs : comme le transformateur, permet d'adapter une tension destinée à alimenter un appareil ou un groupe d'appareils. En revanche, il ne possède qu'un seul enroulement, donc pas isolation galvanique.



Autotransformateur	transformateur conventionnelle
Pas d'isolation (moins de sécurité)	Avec isolation
Vs variable	Vs fixe
Plus efficace	Moins efficace
Taille petite	Grand taille
Moins cher	Plus cher
Démarrage d'un moteur synchrone, régulateur de tension, dans les chemins de fer et les laboratoires.	Utilisez pour augmenter et diminué la tension



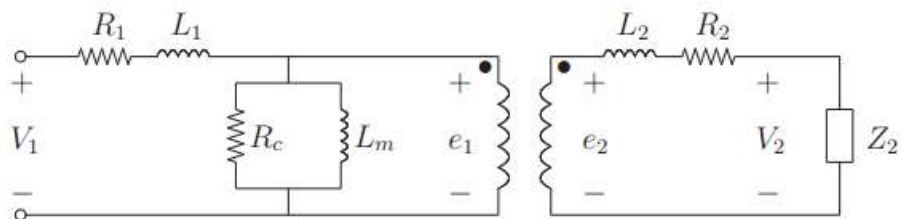
3.4 Circuits équivalent de transformateur :

On peut représenter les pertes dans le transformateur par des éléments dans un circuit équivalent.

*Pertes de flux au primaire et au secondaire représenté par L_1 et L_2 (\mathfrak{R} du noyau $\neq 0$).

*Pertes dans le noyau par hystérésis et courant de Foucault sont représentées respectivement par une résistance R_c en parallèle avec l'inductance L_m .

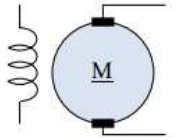
*La résistance des fils de cuivre est représentée par les résistances R_1 et R_2 pour le primaire et le secondaire respectivement.



Chapitre 4
Machines électriques

4.1 Machine à courant continu :

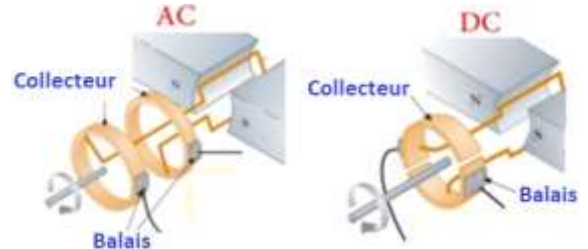
Une machine à courant continu est constituée de trois parties principales : l'inducteur, l'induit et le dispositif collecteur / balais.



L'inducteur (ou circuit d'excitation) : C'est un aimant ou un électroaimant (bobinage parcouru par un courant continu I). Il est situé sur la partie fixe de la machine (le stator). Il sert à créer un champ magnétique (champ "inducteur") dans le rotor.

L'induit (circuit de puissance) : L'induit est situé au rotor (partie tournante de la machine). C'est un bobinage parcouru par un courant continu (courant d'induit).

Le collecteur et les balais : Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre où sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit. Les balais (ou charbons) sont situés au stator et frottent sur le collecteur en rotation



4.1.1 Principe de fonctionnement Comme moteur :

Le champ magnétique B de l'inducteur Plus le courant de l'induit générant la force de Laplace dans les deux côtés de la bobine. Ces deux forces travail comme un couple électromagnétique, ce qui cause la rotation du rotor.

4.1.2 Principe de fonctionnement Comme génératrice :

Le principe physique utilisé est le phénomène d'induction électromagnétique (f.e.m induit) vu dans le

conducteur

$$e = B \cdot \ell \cdot v$$

- E: f.e.m. entre les balais (en Volt)
- k: coefficient Sa valeur dépend de la constitution de la machine.
- $\Omega = 2\pi n$ vitesse angulaire en rad/s.
- n : vitesse de rotation en tours/seconde).
- φ : flux sous un pôle. (en Wb).

induite

$$E = k \cdot \varphi \cdot \Omega$$

précédent chapitre.

4.1.3 Types des moteurs à courant continu :

4.1.3.1 Moteur à excitation séparée :

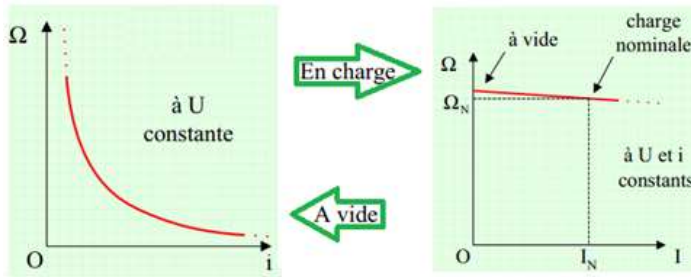
La tension E est le résultat de la force électromotrice (f.e. m) induit entre les balais à cause de la rotation de la bobine du rotor dans le champ magnétique généré par l'inducteur. $E = U - RI \Rightarrow \Omega = (U - RI) / K\Phi$

***A vide, I (de l'induit) $\cong 0 \Rightarrow \Omega = U / K\Phi$. ($\Phi \propto i$) $\Rightarrow \Omega \propto (1/i) \Rightarrow$ Il ne faut jamais couper i (d'excitation ou inducteur) lorsque l'induit est sous tension, car la vitesse augmente très rapidement est le moteur s'emballé.**

***En charge, I $\gg i$:** la vitesse de rotation change légèrement avec la charge :

$$\Omega = (U - RI) / K\Phi$$

12



4.1.3.2 Moteur à excitation série :

Le courant de l'induit est également le courant de l'inducteur (excitation). $E = U - R I - L \frac{dI}{dt}$. En régime permanent : $E = U - R I$.

A vide le courant $\cong 0 \Rightarrow \Omega = U / K\Phi \Rightarrow \Omega \propto (1/i) \Rightarrow \Omega \rightarrow \infty$.

Ce moteur doit toujours avoir une charge car à vide il s'emballe.

4.1.3.3 Moteur à excitation shunt (parallèle) :

I de l'induit + i de l'inducteur = le courant d'alimentation. $E = U - R I$

A vide ce moteur ne s'emballe pas même si on coupe l'alimentation.

4.1.3.4 Moteur à excitation composée :

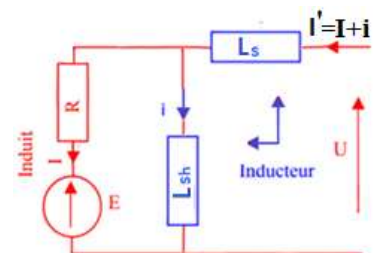
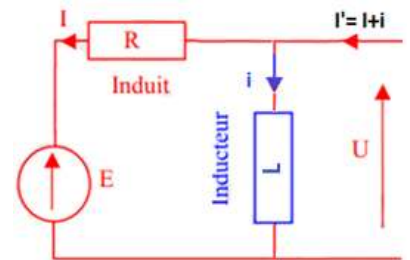
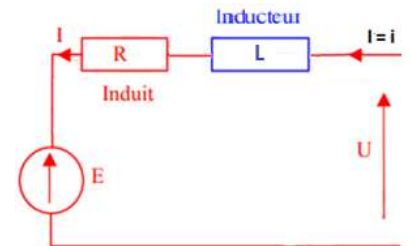
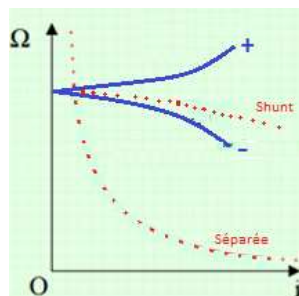
Est un mélange entre le moteur à excitation série et le moteur à excitation shunt. Ce type de moteur comprend deux inducteurs, un bobinage série et un bobinage à shunt.

Branchement : courte dérivation $\rightarrow L_s \oplus (L_{sh} // \text{induit})$.

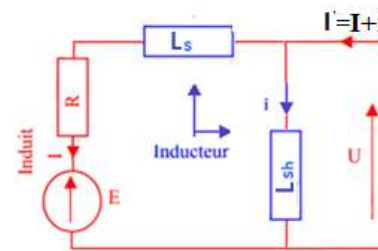
Longue dérivation $\rightarrow L_{sh} // (L_s \oplus \text{induit})$.

Les deux modes de branchement, peut être réalisé avec **flux additif** ou **flux soustractif** suivant le sens relatifs des enroulements

série et parallèle : $\phi_{total} = \phi_s \pm \phi_{sh}$.



Courte dérivation



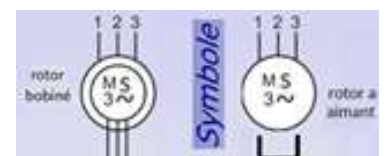
longue dérivation

4.2 Machines Synchrones :

La machine synchrone est le plus souvent utilisée en générateur, on l'appelle alors alternateur.

Une machine synchrone est constituée de deux circuits indépendants :

Le stator: Est constitué d'un bobinage triphasé (3 bobine alimenté avec courant triphasé), découpé en p paire de pôles. Les bobinages sont insérés dans des encoches au sein de culasse en ferrite. Les bobines sont couplées en Y ou D. Y : Tension simple à chaque enroulement. D : Tension composée.



Le rotor : On rencontre deux types de rotor. Rotor bobiné et rotors à aimants permanent. Le rotor bobiné possède la même structure du stator mais avec une alimentation continue. C'est lui qui permet la création des pôles magnétiques (Nord et Sud) dits rotoriques.

4.2.1 Principe de fonctionnement :

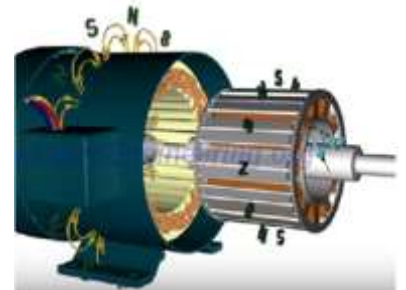
Comme génératrice : Pour produire l'énergie électrique, une force extérieure fait tourner le rotor. Les enroulements du rotor alimentés en courant continu créent une succession de pôles alternativement nord et sud. Son champ magnétique en tournant, induit une f.é.m. alternative dans les bobines du stator (induit). La vitesse de ce champ tournant donc du rotor est appelée vitesse de synchronisme d'où le nom de machine synchrone.

Comme moteur : Les bobines du stator alimentées par un courant triphasé provoquent un champ magnétique. Les pôles de champ de chaque bobine est opposé à celle de la bobine voisine. Selon la variation de la tension les pôles magnétiques Nord et Sud tournent. Celui-ci entraîne la rotation de l'aimant du rotor à cause de l'attraction de ses pôles magnétiques aux pôles opposés du stator.

Remarque :

*démarrage d'un moteur synchrone nécessite un moteur auxiliaire, ou la réduction de la vitesse du champ du stator.

*Si le rotor bobiné est enveloppé avec une cage d'écurieul, le moteur synchrone devient un moteur à démarrage automatique



4.3 Machines Asynchrones :

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie. Il est constitué d'un stator identique à celui d'un moteur synchrone, et un rotor soit de type cage d'écurieul ou bobiné.

Rotor bobiné : possède la même structure d'un stator synchrone. Les trois bobines elles ne sont alimentées et elles sont reliées à trois bagues, qui permettent d'insérer un rhéostat dans le circuit du rotor.

Rotor à cage d'écurieul : le rotor est constitué de barreaux de cuivre ou d'aluminium reliés aux deux extrémités par deux couronnes conductrices. Cette cage est en fait un bobinage à grosse section et très faible résistance.

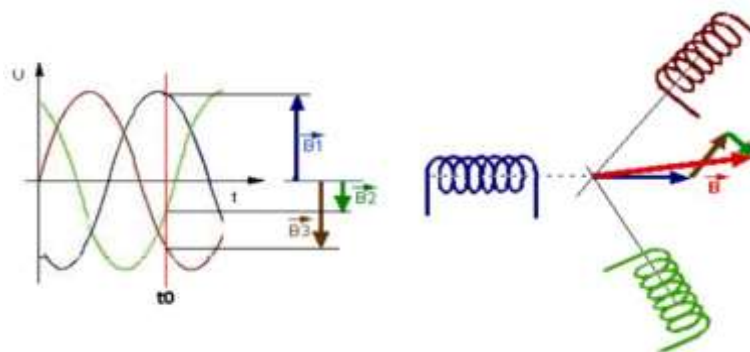


4.3.1 Principe de fonctionnement :

- Les trois enroulements du stator créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. La cage (rotor) est balayée par le champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants de Foucault induits. Des courants circulent dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor. Le

rotor tourne alors dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme de ce dernier.

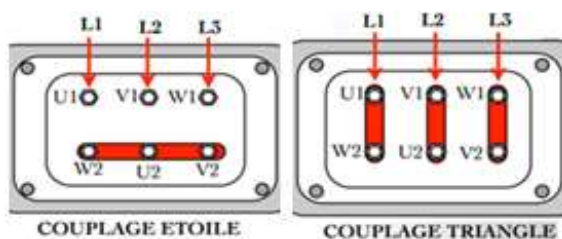
- Le rotor ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ magnétique, sinon le champ de stator devient constant par rapport le rotor et il y aurait disparition des forces de Laplace. Les deux fréquences de rotation ne peuvent donc pas être synchrones d'où le nom de moteur asynchrone.
- En notant que le déphasage entre le courant induit dans la cage et la tension d'alimentation dépende au type de matériau (résistive, inductive...) et à la fréquence. Et comme la cage avais des caractéristique inductive et comme la variation du champ à travers de la cage au démarrage est plus vite, le déphasage et plus grand et donc le courant près de champ est plus faible. Donc le couple de démarrage est faible.
- le moteur avec un rotor bobiné fonctionne avec le même principe expliqué précédemment. La seule différence est que le couple de démarrage est plus fort. A cause de rhéostat qui en série avec le bobinage du rotor.



4.4 Branchement des moteurs triphasés :

Un moteur asynchrone possède un couple important et peut absorber 4 à 8 fois son intensité nominale au démarrage. Ce qui peut provoquer des perturbations sur le réseau. Afin de limiter cet appel de courant important, on doit démarrer le moteur avec le couplage qui se corresponde à la plus faible tension indiquées sur la plaque signalétique de celui-ci.

Si le démarrage du moteur se fait avec un couplage étoile, et après que le moteur avoir atteint une certaine vitesse, le moteur est couplé en triangle (démarrage étoile triangle). Il est maintenant alimenté sous sa tension nominale et fournit donc son couple nominal. La commutation entre le couplage étoile et triangle s'effectue à l'aide d'un temporisateur.



TENSIONS NOMINALES DU MOTEUR	TENSION DU RESEAU DE DISTRIBUTION	
		230 / 400 V
150 / 230 V	IMPOSSIBLE	IMPOSSIBLE
230 / 400 V	ETOILE	IMPOSSIBLE
400 / 690 V	TRIANGLE	ETOILE

Chapitre 5
Mesures électriques

5.1 La mesure en physique :

La mesure physique est l'estimation d'une grandeur ou dimension en relation avec un étalon (unité de mesure). Le résultat d'une mesure s'exprime sous la forme d'un multiple de l'étalon appelé valeur ou mesure et accompagné du symbole de l'étalon concerné.

Les unités de base du système international d'unités

	Longueur	Masse	Durée	Quantité	Température	Intensité électrique	Intensité lumineuse
Unité (symbole)	Mètre (m)	Kilogramme (kg)	seconde(s)	Mole (mol)	Kelvin (K)	Ampère (A)	Candela (Cd)

5.2 La qualité de la mesure :

5.2.1 Fidélité : Un appareil est fidèle lorsqu'il donne toujours le même résultat pour une même mesure.

5.2.2 Sensibilité – Résolution : Est la plus petite variation de mesure qu'il peut détecter.

5.2.3 Justesse : Un appareil est juste si la différence entre la mesure qu'il indique et la valeur exacte (inconnue) ne dépasse pas l'incertitude prévue.

5.2.4 Rapidité, temps de réponse : Est la durée qui s'écoule après une variation brusque (échelon) du mesurande, jusqu'à ce que la mesure ne diffère plus que de 10 % de la valeur finale.

5.2.5 Gamme de mesure : c'est l'ensemble des valeurs du mesurande pour les quelles un instrument de mesure est supposée fournir une mesure correcte.

5.2.6 Etendue de mesure : la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la gamme de mesure.

5.3 Les erreurs de mesure

Toute mesure, pour être complète, doit comporter l'incertitude sur la mesure (à cause des erreurs) :

5.3.1 Incertitude absolue : ΔX Est une estimation de l'erreur, ou est égale à l'écart maximum possible entre la mesure et la valeur exacte.

5.3.2 Incertitude relative : $(\Delta X/X) \times 100$ représente l'importance de l'erreur par rapport à la grandeur mesurée. L'incertitude relative n'a pas d'unités et s'exprime en général en %.

5.3.3 Expression du résultat exacte : $X_e = X \mp \Delta X$ (unité) Ou $X_e = X$ (unité) $\mp \left(\frac{\Delta X}{X}\right) \%$

5.4 Calcule de l'incertitude :

5.4.1 Méthode de déviation directe : la grandeur inconnue est déterminée par lecture directe de la déviation de l'appareil de mesure.

$$\Delta X = (\text{classe} \times \text{calibre})/100 \quad \text{Pour les appareils analogiques.}$$

$$\Delta X = (\text{pourcentage de l'affichage} \times \text{lecture}/100) + n D \quad \text{Pour les appareils numériques.}$$

5.4.2 Méthode de déviation indirecte :

La mesure est appelée indirecte, si la grandeur mesurée X est calculée à partir des résultats des mesures directes de plusieurs grandeurs intermédiaires. Supposons que des mesures ont donné des valeurs x, y et z avec des incertitudes absolues Δx , Δy , Δz . Considérons la fonction $f(x, y, z)$ dont on veut calculer Δf .

$$\Delta f = \left| \frac{df}{dx} \right| \Delta x + \left| \frac{df}{dy} \right| \Delta y + \left| \frac{df}{dz} \right| \Delta z$$

Ci-dessous des quelques règles particulières : Somme de $f(x, y)$: $\Delta f = \Delta x + \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$.

Différence de $f(x, y)$: $\Delta f = \Delta x + \Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$. Produit de $f(x, y)$: $\Delta f = y\Delta x + x\Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{y\Delta x + x\Delta y}{xy}$.

Quotient de $f(x, y)$: $\Delta f = \frac{1}{y}\Delta x + \frac{x}{y^2}\Delta y \Rightarrow \frac{\Delta f}{f} = \frac{y\Delta x + x\Delta y}{xy}$

5.5 Mesures des quelques grandeurs électriques :

5.5.1 Mesure de la tension :

Il faut brancher un fil la borne marquée **V** ou + et le l'autre à la borne **com** ou -. En suit il faut brancher le Voltmètre en parallèle avec le circuit. Il faut sélectionner le calibre correspondant à la valeur et type de tension mesuré **V~** (AC), **V=** (DC). $U = (\text{calibre} \times \text{lecture}) / \text{echelle}$.

Pour un voltmètre numérique, la valeur de la tension mesurée est celle indiquée sur l'afficheur du voltmètre.

5.5.2 Mesure de l'intensité:

Il faut brancher un fil la borne marquée **A** ou **mA** ou + et le l'autre à la borne **com** ou -. En suit il faut brancher l'ampèremètre en sérié avec le circuit. Il faut sélectionner fonction Ampèremètre (**A**) pour le choix du calibre correspondant à la valeur mesuré.

5.5.3 Mesure de la puissance:

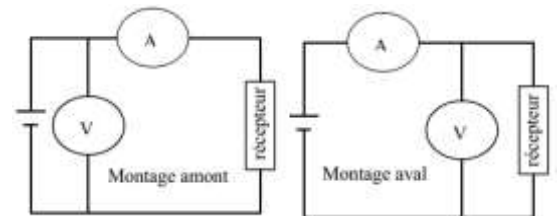
Méthode indirect:

La puissance fournie à un récepteur est exprimée par la relation $U \times I = \text{la puissance}$. **P** (DC) et **S** (AC **monophasé**). Donc pour mesurer cette puissance on utilise un ampèremètre pour mesurer I et un voltmètre pour mesurer U selon deux cas de montages: amont et aval.

Le montage **amont** est utilisé quand le rapport $R_c/R_v > R_a/R_c$.

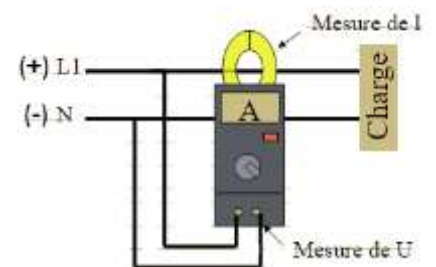
Le montage **aval** est utilisé quand le rapport $R_c/R_v < R_a/R_c$.

R_c, v, a : résistance de : récepteur, voltmètre, ampèremètre.



Méthode direct:

Pour cette méthode on utilise une pince ampèremétrique. Il faut tourner le commutateur rotatif pour sélectionner la fonction Watte (**W**). L'appareil mesure lui-même la tension avec deux bornes fonctionnent comme un voltmètre (**V** et **com**) et le courant avec la pince et effectue le produit et l'affiche sur l'écran.

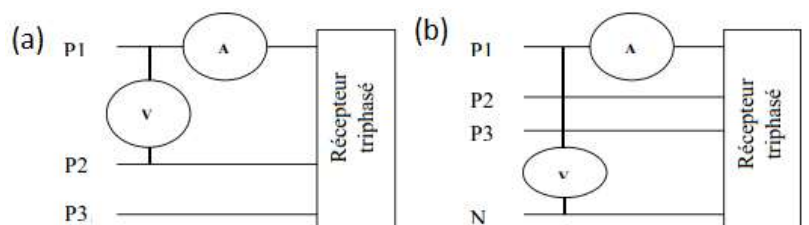


Méthode indirect pour AC triphasé :

Pour mesurer S, il suffit de mesurer la tension simple ou composé et le courant I traversant une ligne d'alimentation.

(a) : $S = \sqrt{3} U \times I$

(b) : $S = 3 U \times I$



Méthode direct pour AC triphasé :

$$P = P_1 + P_2 + P_3.$$

5.6 Calcul d'une section filaire :

D'après la loi de Pouillet, on peut déduire la section d'un fil :

$$s = \rho \times 2 \times l / R.$$

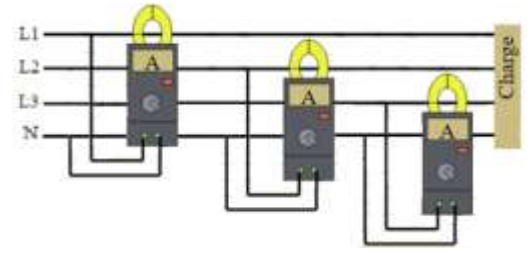
Le numéro **2** été ajouté pour prendre en considération le retour du fil.

La résistance du fil peut-être calculé en fonction de la **chute de tension** (ΔV) sur le fil et le courant qui le traverse. Donc :

$$S = \rho \times 2 \times l \times I / \Delta V$$

Si le fil alimente un : **éclairage** ($\Delta V = 3\%$ de l'alimentation), **moteur** ($\Delta V = 5\%$ de l'alimentation).

Si le courant est inconnu, il peut être calculé en fonction de la puissance (apparente pour le courant alternatif).

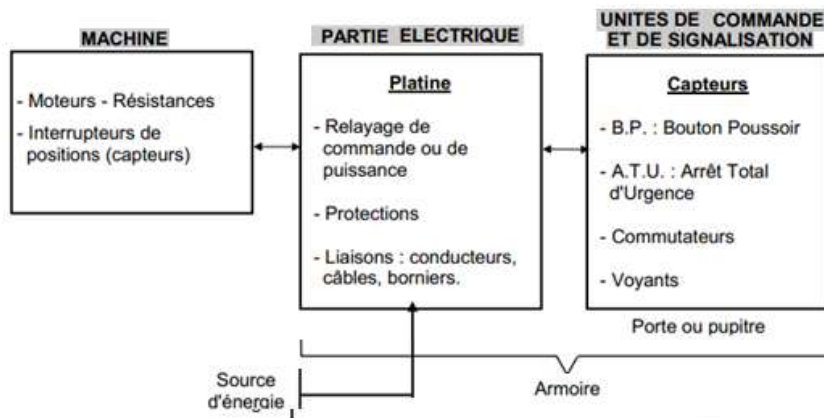


5.7 Schémas de câblage d'une installation électrique :

Une installation électrique industrielle contient de partie :

Circuit de Commande : composé des éléments de protection et de commande d'élément de la partie puissance.

Circuit de Puissance : composé des éléments assurant l'alimentation, la protection et la liaison jusqu'au récepteur.



Structure d'une installation électrique industrielle

5.7.1 Exemple d'un schéma de démarrage direct à un seul sens de marche :

Dans ce procédé de démarrage, le moteur asynchrone est directement branché au réseau d'alimentation le démarrage s'effectue en un seul temps.

On veut démarrer un moteur asynchrone triphasé dans un seul sens de marche. L'arrêt s'effectue en appuyant sur un bouton poussoir **S2** et la mise en marche sur un bouton poussoir **S1**.

Circuit de puissance

L1, L2, L3: Alimentation triphasée

Q1: Sectionneur fusible.

F1: Relais thermique pour la protection contre la surcharge et les coupures de phase.

KM: les contacts principaux du Contacteur. Normalement ouvert et fermés après l'excitation de la bobine A1-A2.

M1: Moteur asynchrone triphasée

Circuit de commande

Q1: Sectionneur.

95-96: Contact auxiliaire du Relais thermique. Normalement fermé. Il s'ouvre avec les lames du Relais thermique, à cause de la surcharge.

S2: Bouton poussoir arrêt.

S1: Bouton poussoir marche.

A1-A2: bobine du Contacteur principale

KM1: Contact auxiliaire du Contacteur principale. Normalement ouvert et fermé après l'excitation de la bobine A1-A2. C'est un contact qui maintenir le courant qui aliment la bobine A1-A2 (contact de maintien).

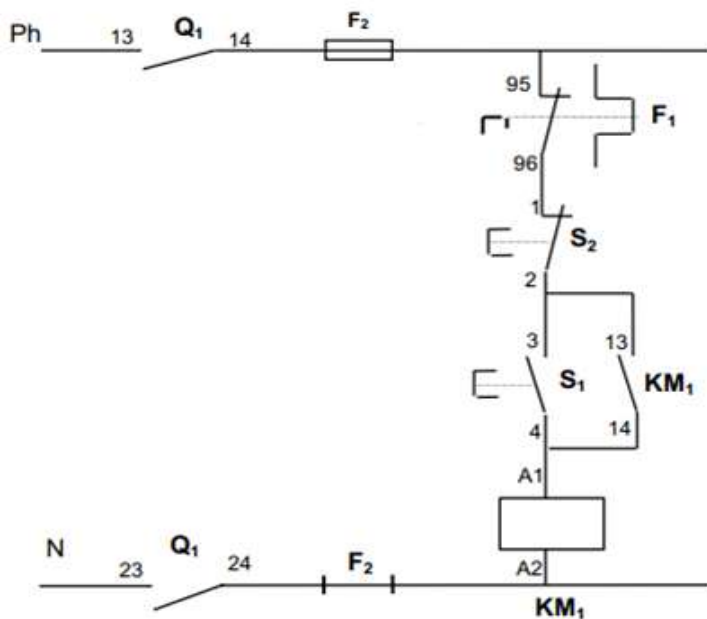


Schéma du circuit de commande

Réseau 230 V 3 ~

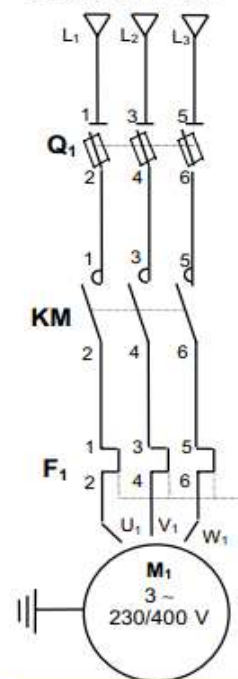


Schéma du circuit de puissance