

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en
Electrotechnique

Option : Machines Electriques

Thème:

**Etude de la protection électrique des moteurs
asynchrones triphasés**

Proposé par

M^R : M . Chihaoui
(O N A)

dirigé par:

M^r : C. Birouche

Etudié et réalisé par:

M^r : Benfeda Rachid
M^r : Amrane boussad
M^r : Chaouche Aziz

Promotion : 2011/2012.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I: Généralités sur les moteurs asynchrones triphasés	
I-1 Introduction:.....	2
I-2 Constitution	3
I-2- 1 Stator	3
I-2-2 Rotor	3
I-2-2-1 Rotor à cage:.....	4
I-2-2-2 Rotor à double cages :	4
I-2-2-3 Rotor bobiné (à bagues):.....	5
I-3 Principe de fonctionnement :	5
I-3-1 Le glissement :	6
I-3-2-Les fréquences des courant rotorique :	7
I-3-3- Schéma equivalent d'un moteur asynchrone :	7
I-3-4 Plaque signalétique :	8
I-4- Mode de couplage :	8
I-4-1- couplage étoile	8
I-4-2- Couplage triangle	9
I-5- Le bilan de puissances	9
I-6 -Le rendement d'un moteur asynchrone triphasé :	10
I-7-Couple électromagnétique :	10
I-8- conclusion :	12
Chapitre-II	
II-1-Introduction :	13
II-2-Les défaillances	13
II-2-1- les court- circuits :	13
II-2-11-Les effets du court- circuit	14
a -Les effets électrodynamiques.....	14
b- Les effets thermiques :	14
II-2-2-L'échauffement :	14
II-2-21Définition des différentes pertes :	14
a)Les pertes Joule	14
b)Les pertes fer	14
c) les pertes mécanique.....	14
II-2-3 les surcharges :	14
a- les effets de surcharge :	14
II-2-4 les courants de démarrage :	14
II-2-5 La marche en manque de phase :	15

II-3-Protection	15
II-3-1- Les dispositifs de protection contre le court-circuit	15
II-3-11- Les coupes- circuit fusible	16
a) Définition	16
b) Structure	17
c) Différentes classes de fusibles	17
d) Caractéristiques d'un fusible	17
II-3-12- Les disjoncteurs	20
a) Les disjoncteurs magnétiques	20
b) Les "disjoncteurs moteurs" (disjoncteurs magnétothermiques)	21
b-1 Symbole d'un disjoncteur magnétothermique	22
b-2 Principe	22
b-3- Les caractéristiques des disjoncteurs	23
a- Tension nominale	23
b- Courant nominal	23
c- Pouvoir de coupure	23
d- Pouvoir de fermeture	23
e- Autoprotection	24
f- Pouvoir de limitation	25
II-3-2- Les dispositifs de protection contre les surcharges	27
II-3-2-1 Les relais thermiques de surcharge à bilames	27
a- les relais thermique tripolaire	27
b- les relais compensés	27
c) les relais sensible a une perte de phase	27
e) le relais à sonde à thermistances PTC	28
f) le relais à maximum de courant	28
g) le relais temporisateur thermiques	28
II-3-3- la sélectivité	28
a) Définition	28
b) la Sélectivité total	29
c) la sélectivité partielle	29
II-3-4- les dispositifs de protection contre la marche en phase	29
a) Définition des contacteurs	29
b) symbole d'un contacteur	29
c) Choix d'un contacteur	29
II-3-5- Les dispositifs de protection multiples	30
II-3-5-1- fusible -contacteur	30
II-3-5-2- Fusible – relais thermique- contacteur	30
II-3-5-3 Relais thermique contacteur	30
-Conclusion	32

Chapitre-III

-Introduction	33
III-1- démarrage des moteurs asynchrones triphasés	33
III-2-les problèmes de démarrage	33
III-2-1- courant de décollage	33
III-2-2- couple de démarrage	33
III-2-3- durée de démarrage	33
III-3- types de démarrages	34
III-3-1- démarrage direct	34
a- Les avantages	34
b- Les inconvénients	35
III-3-2- démarrage des moteurs asynchrones triphasés sous tension réduite	35
III-3-2-1- démarrage étoile triangle	36
a- Les avantages	36
b- Les inconvénients	37
III-3-2-2-Démarrage statorique à résistances	38
a- les avantages	39
b- Les inconvénients	39
III-3-2-3-Démarrage par insertion des résistances rotorique	40
a- Cas d'utilisation	40
b-Circuit de puissance et Circuit de commande	40
III-3-2-3-Démarrage par autotransformateur	41
a- Les avantages	42
b- Les inconvénients	42
III-3-2-4- Démarrage électronique (soft starter)	43
a- les avantages	44
b- les inconvénients	44
III-3-3-Démarrage par convertisseur de fréquence	45
III-3-4-Démarrage des moteurs asynchrones triphasés à doubles cages	45
a- Les avantages	45
b- Les inconvénients	45
5-le freinage des moteurs asynchrones triphasés	47
III-5-1-Freinage électromécanique des moteurs asynchrone	47
a)Frein à manque de courant	47
b) Frein à présence de courant	48
III-5-2-Freinage électrique des moteurs asynchrones	48
III-5-2-1-Freinage par contre courant	48
a)-moteur à cage	48
-Les inconvénients	49

b)-Moteur à bagues.....	49
-Les inconvénients ;.....	50
III-5-2-2-Freinage par injection de courant redressé ;.....	50
a- Les avantages ;.....	51
b- Les inconvénients ;.....	51
III-5-3-Freinage par fonctionnement en hyper synchrone	51
a- Les avantages ;.....	52
b- Les inconvénients ;.....	52
III-5-4-Freinage électronique	52
III-6-Conclusion ;.....	53
-Chapitre IV ;.....	54...
-Conclusion générale	78...
Bibliographie	79

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Les moteurs électriques triphasés à courant alternatif sont classés en deux grandes familles : les moteurs synchrones et les moteurs asynchrones.

Les moteurs asynchrones triphasés sont les plus employés vu les différents avantages qu'ils présentent à savoir:

- Simplicité de construction
- Facilité de mise en œuvre
- Fiabilité et robustesse
- Bon rendement

Pour ces raisons, les moteurs asynchrones triphasés sont devenus les principaux actionneurs électriques en industrie.

Ces sont soumis à plusieurs contraintes dues essentiellement aux durées de fonctionnement et aux milieux d'utilisation, comme :

- Les courts-circuits
- Le manque de phases
- Les surcharges
- L'échauffement
- Défauts d'isolation

Un bon fonctionnement de ces moteurs nécessite une conception appropriée, une exploitation professionnelle et une bonne protection.

Cette protection est le thème de notre travail, nous allons prendre un exemple qui consiste à protéger un moteur asynchrone triphasé utilisé au sein de l'office national d'assainissement (ONA – Station de traitement des eaux usées sise à Boghni). Ce moteur sert à entraîner surpresseur d'injection de l'oxygène.

Notre travail est réparti en quatre chapitres :

- **Chapitre 1** : Généralités sur des moteurs asynchrones triphasés
- **Chapitre 2** : Défauts et dispositions de protections
- **Chapitre 3** : Différents modes de démarrage et de freinage des moteurs asynchrones triphasés.
- **Chapitre 4** : Application qui consiste à protéger un moteur asynchrone triphasé utilisé au sein de l'office national d'assainissement (ONA)

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

CHAPITR I

GENERALITES SUR LES

MOTEURS ASYNCHRONES

TRIPHASES

I -1 Introduction :

Les moteurs asynchrone triphasés sont très utilisés dans l'industrie, car ils sont : simples à construire, robustes et ils ne sont pas couteux.

Le moteur asynchrone est un moteur qui se caractérise par le fait qu'il est constitué d'un stator (inducteur) alimenté en courant alternatif et d'un rotor (induit) soit en court-circuit, soit bobiné aboutissant à des bagues dans lesquelles le courant est créé par induction. Ces moteurs ont la particularité de fonctionner grâce à un champ tournant. Le terme asynchrone indique que la vitesse de rotation de ce moteur(n) n'atteint jamais la vitesse de synchronisme (n_s) [$n < n_s$]

La vitesse de synchronisme n_s est la vitesse avec laquelle tourne le champ tournant à l'intérieur du moteur, cette vitesse est proportionnelle à la fréquence du réseau(f) et inversement proportionnelle au nombre de paires de pôles (p) du moteur :

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

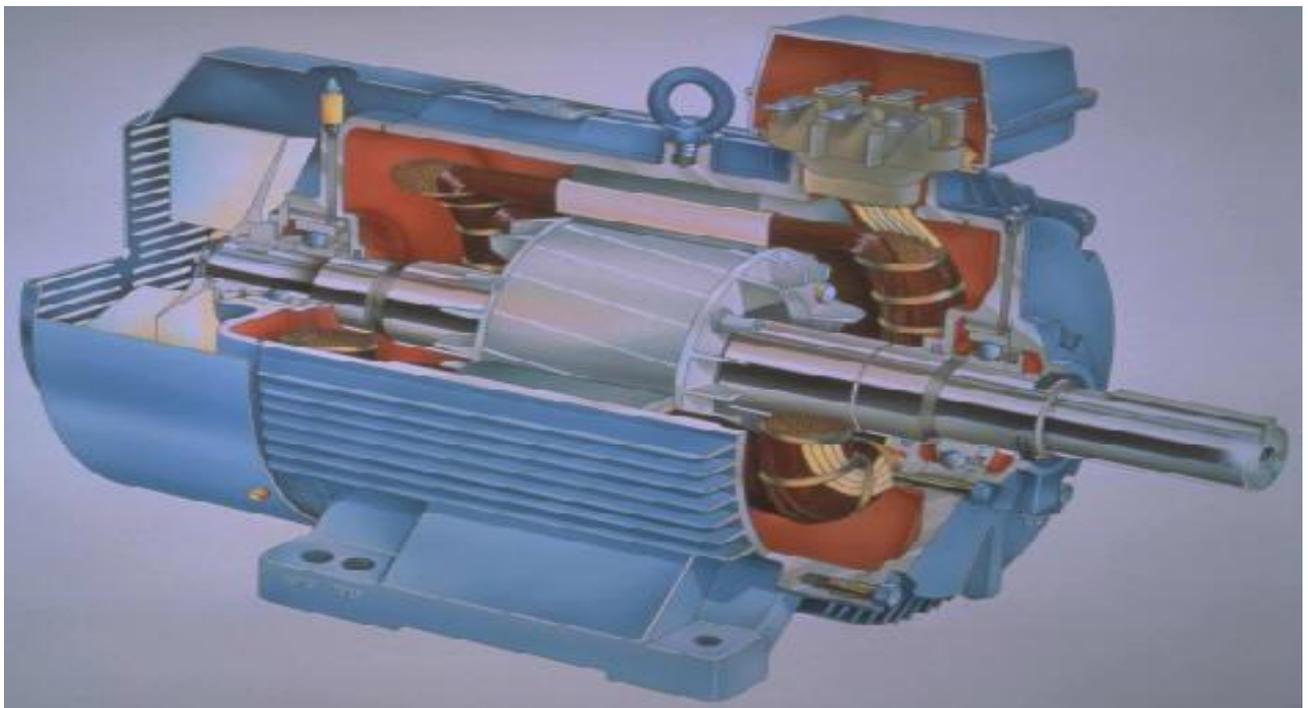


Figure I-1: Coupe d'un moteur asynchrone triphasé

I -2 Constitution:

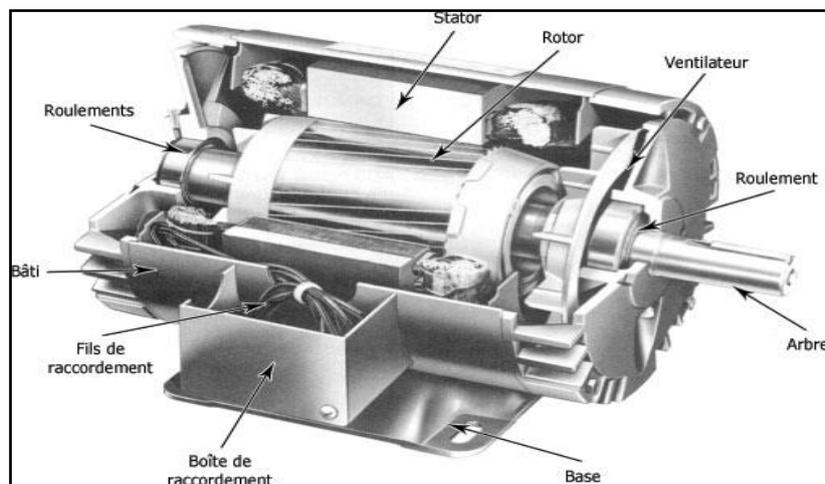


Figure I-2 : la constitution d'un moteur asynchrone triphasé

Le moteur asynchrone triphasé, qui est un récepteur de puissance des installations industrielles, est formé d'un :

I -2- 1 Stator : est la partie fixe du moteur. Il comporte trois bobinages (ou enroulements) qui peuvent être couplés en étoile Y ou en triangle Δ selon le réseau d'alimentation.

I-2-2 Rotor : est la partie tournante du moteur. Cylindrique, il porte soit un bobinage (d'ordinaire triphasé comme le stator) accessible par trois bagues et trois balais (figure I-5), soit une cage d'écurie non accessible, à base de barres conductrices en aluminium figures (I-3 et I-4).

Dans les deux cas, le circuit rotorique est mis en court-circuit (par des anneaux ou un rhéostat)

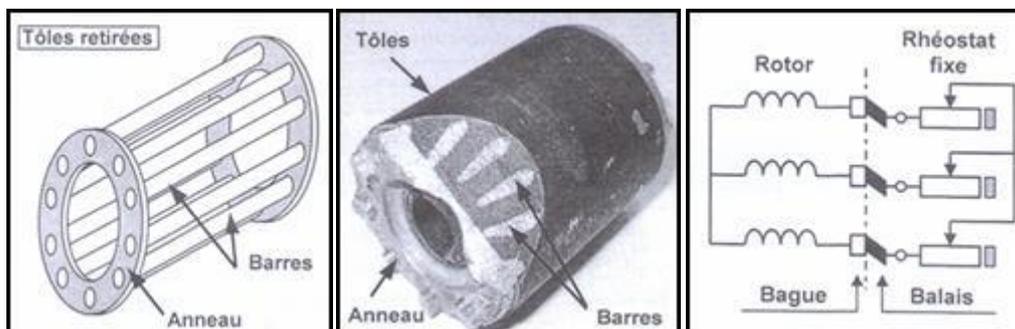


Figure I-3

figure I-4

figure I-5

On distingue plusieurs types de rotor selon le mode de sa réalisation :

I-2-2-1 Rotor à cage:

Dans le moteur à cage, l'enroulement rotorique est constitué de barres en cuivre identiques parallèles à l'axe de rotation de chaque côté, les extrémités de ces barres sont réunies entre elle par des couronnes en cuivre, ces constitutions sont réservées aux moteurs de grande puissance. Les autres moteurs ont des cages en aluminium.

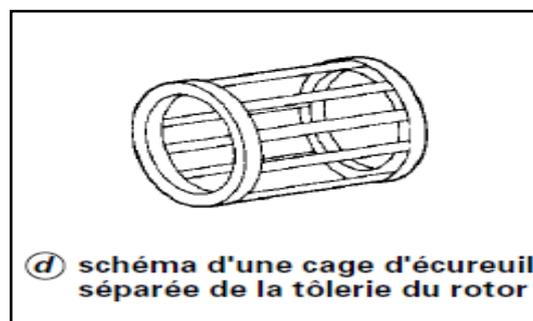


Figure I-6 : Schéma d'une cage d'écureuil

I-2-2-2 Rotor à double cages :

Il comporte deux cages : la première externe réalisée en bronze et a une résistance élevée et une inductance faible, elle est placée près de l'entrefer .

La deuxième est réalisée en cuivre qui a une résistance faible et une inductance élevée, elle est noyée dans le fer.

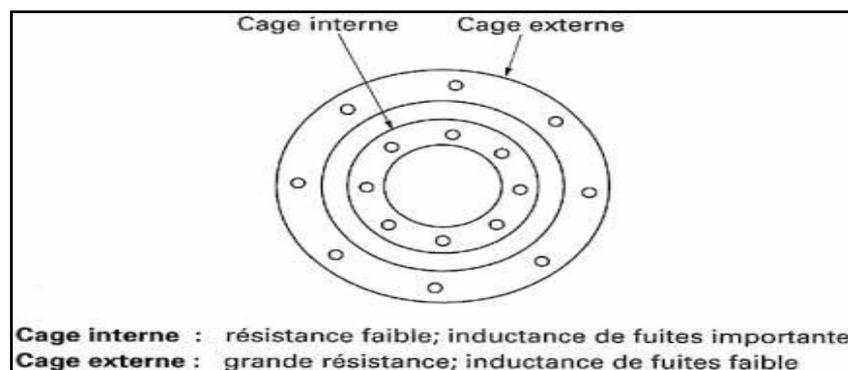


Figure I-7 : Rotor à double cages

I-2-2-3 Rotor bobiné (à bagues) :

Il comporte un enroulement exécuté comme un enroulement triphasé statorique (les enroulements sont branchés en étoile et leurs extrémités réunies à trois bagues).

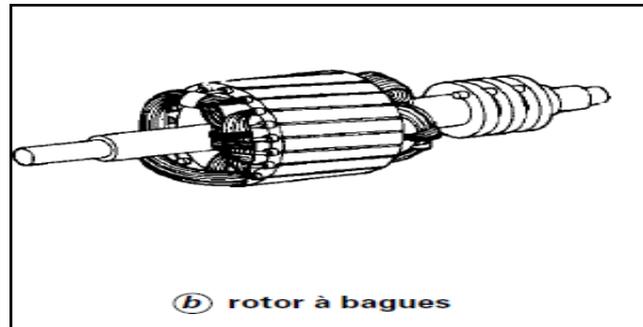


Figure I-8: Rotor à bagues

I-3 Principe de fonctionnement :

Les courants statoriques créent un champ magnétique tournant dans le stator. La fréquence de rotation de ce champ est imposée par la fréquence des courants statoriques, c'est-à-dire que sa vitesse de rotation est proportionnelle à la fréquence de l'alimentation électrique. La vitesse de ce champ tournant est appelée vitesse de synchronisme.

L'enroulement au rotor est donc soumis à des variations de flux (du champ magnétique). Une force électromotrice induite apparaît qui crée des courants rotoriques. Ces courants sont responsables de l'apparition d'un couple qui tend à mettre le rotor en mouvement afin de s'opposer à la variation de flux :(Loi de Lenz). Le rotor se met donc à tourner pour tenter de suivre le champ statorique.

Le moteur est dit asynchrone car elle est dans l'impossibilité, sans la présence d'un entraînement extérieure d'atteindre la même vitesse que le champ statorique. En effet, dans ce cas, vu dans le référentiel du rotor, il n'y aurait pas de variation de champ magnétique, les courants s'annuleraient, de même que le couple qu'ils produisent, et le moteur ne serait plus entraîné. La différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique est appelée vitesse de glissement.

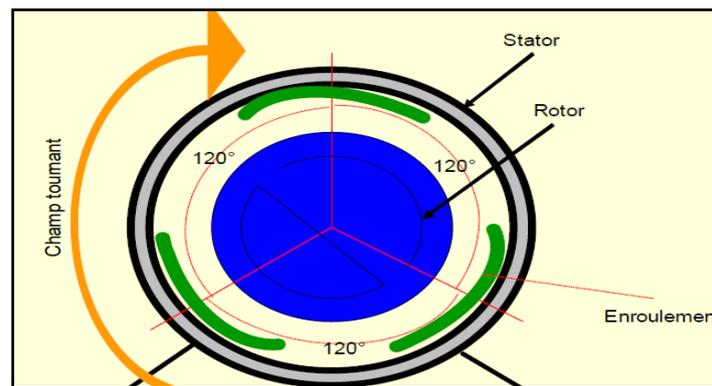


Figure I-9 : Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone

I-3-1 Le glissement :

Le glissement est une grandeur qui rend compte de l'écart de vitesse de rotation d'une machine asynchrone par rapport à la vitesse de rotation de son champ statorique. En effet, il doit y avoir une différence de vitesse pour que ce type de moteur fonctionne, le rotor "suit" le champ statorique mais ne l'atteint jamais, en effet c'est ce champ qui entraîne le rotor.

Le glissement est toujours faible, de l'ordre de quelques pourcents : de 2 % pour les machines les plus puissantes, à 6 ou 7 % pour les machines triphasées de faible puissance, il peut atteindre 10 % pour les machines monophasées de faible puissance. Les pertes par effet joule dans le rotor étant proportionnelles au glissement, une machine de qualité doit fonctionner avec un faible glissement.

- On désigne par n_s la fréquence de rotation du champ statorique dans la machine.
- On désigne par n_r la fréquence de rotation de la machine.

La fréquence de synchronisme est toujours un sous-multiple entier de la fréquence du secteur

- En 50 Hz c'est un sous-multiple de 3 000 tr/min, soit : 3 000 ; 1 500 ; 1 000 ; 750 ; etc.
- En 60 Hz c'est un sous-multiple de 3 600 tr/min, soit : 3 600 ; 1 800 ; 1 200 ; 900 ; etc.

Soit P le nombre de paires de pôles de la machine et f la fréquence de l'alimentation. On a :

$$n_s = \frac{f}{p} \quad \text{En tr/s} \qquad n_s = \frac{60f}{p} \quad \text{En tr/mn}$$

Le *glissement* correspond à la différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique exprimée sous la forme d'un pourcentage de la fréquence de rotation.

$$n_s - n = g \times n_s \quad \text{soit} \quad g = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Le glissement peut aussi être calculé à partir des vitesses angulaires :

$$g = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

Avec :

- ω_s : la vitesse angulaire de synchronisme du champ statorique dans la machine.
- ω : la vitesse angulaire de rotation de la machine.

I-3-2- Les fréquences des courants rotoriques :

La fréquence rotorique des forces électromotrices et des courants induits dans le rotor est égale au produit du glissement et la fréquence

$$f_r = g \times f$$

I-3-3- Schéma équivalent d'un moteur asynchrone :

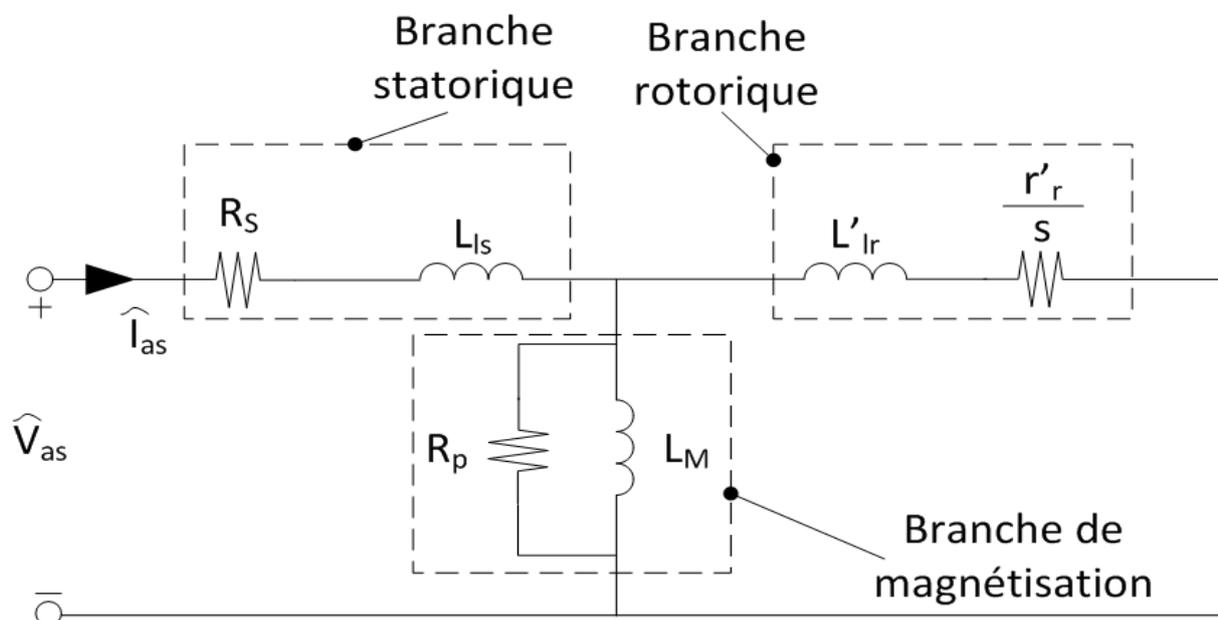


Figure I-10 : Schéma équivalent d'un moteur asynchrone

Avec R_S : la résistance statorique

L_{lS} : l'inductance statorique

R_p : résistance de la branche magnétisante

L_M : l'inductance de la branche magnétisante

L_{lR} : l'inductance rotorique

r'_r : résistance rotorique

I-3-4 Plaque signalétique :

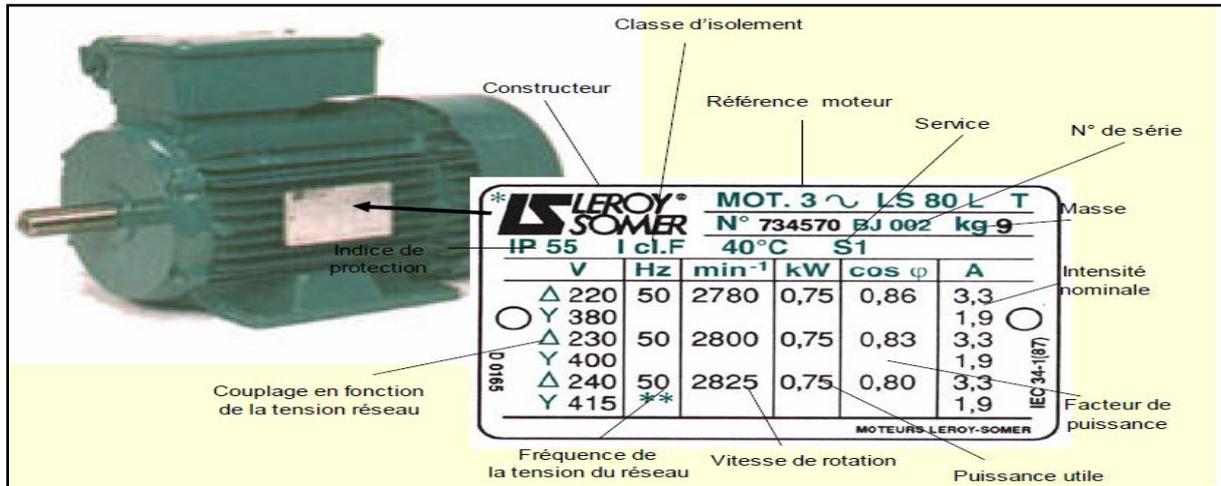


Figure I-11 : Plaque signalétique d'un moteur asynchrone

I-4- **Mode de couplage :** Le couplage des enroulements statorique permet de faire fonctionner les moteurs asynchrones sous deux tensions. Il est fonction de la tension du réseau et de la tension que peuvent supporter les enroulements.

I-4-1- **Couplage étoile :** Dans un couplage en étoile, chaque enroulement est soumis à la tension simple **V** tension entre phase et neutre. Chaque enroulement est traversé par le courant de ligne **I**.

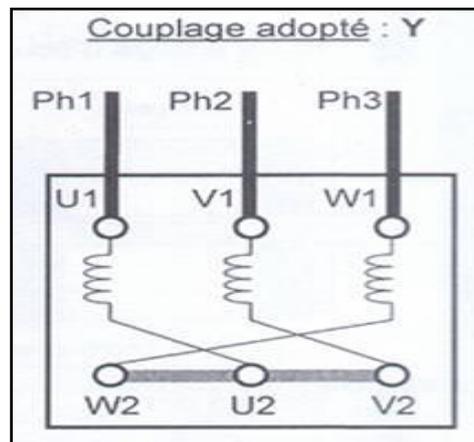


Figure I-12 : Couplage étoile

Si la plus grande tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phases du réseau, on choisit le couplage étoile Y.

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

I-4-2- Couplage triangle : Dans un couplage en triangle, Chaque enroulement est soumis à la tension composée U , tension entre deux phases. Chaque enroulement est traversé par un courant de valeur efficace J .

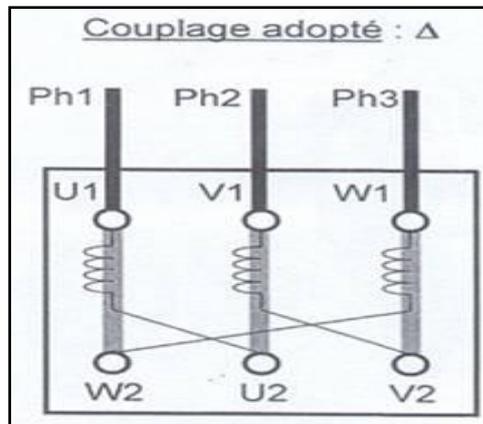


Figure I-13 : Couplage triangle

Si la plus petite tension de la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phases du réseau, on choisit le couplage triangle Δ .

I-5-Le bilan de puissances :

Le moteur asynchrone reçoit une puissance à partir du réseau, une puissance appelée puissance absorbée (P_a). Cette puissance se calcule par la relation suivante :

$$P_a = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \varphi$$

Avec : U : est la tension composée du réseau

I : est le courant en phase

φ : est le déphasage entre le courant et la tension

Après l'absorption de cette puissance, une partie d'elle se perd au stator sous forme de chaleur (pertes Joules) et par hystérésis (pertes fer statorique).

La puissance qui reste après ces pertes sera transmise au stator est ce nome puissance électromagnétique (P_{em}).

L'utilisation de la puissance électromagnétique par le rotor causera des pertes fer rotorique (P_{fr}) et des pertes Joule rotorique (P_{jr}) et produira une puissance mécanique (P_m).

Sur l'arbre du moteur, on trouvera la puissance utile fournie par le rotor (P_u) inférieure à la puissance mécanique à cause des pertes mécaniques.

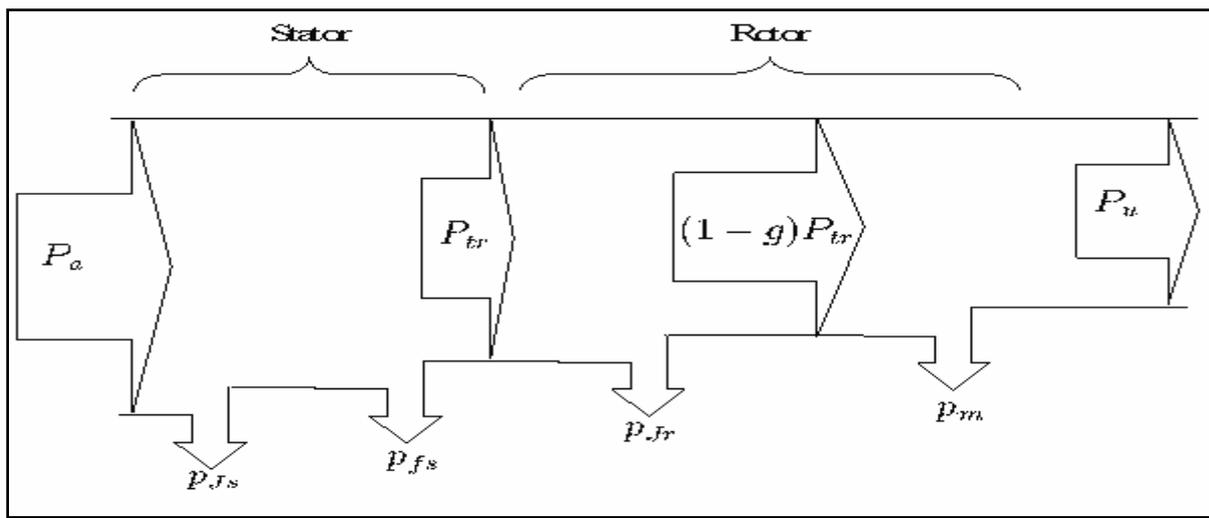


Figure I-14 : Le schéma représentant le bilan des puissances dans un moteur asynchrone

I-6 -Le rendement d'un moteur asynchrone triphasé :

Le rendement d'un moteur asynchrone triphasé (η) est donné par la relation suivante :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

P_u : Puissance fournie par le moteur asynchrone triphasé.

P_a : Puissance absorbée par le moteur asynchrone triphasé.

I-7-Couple électromagnétique :

La puissance électromagnétique du moteur asynchrone triphasé (P_{em}), qui est définie comme suit :

$$P_{em} = 3E_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (I-1)$$

E_2 : Tension rotorique .

I_2 : Courant rotorique .

φ_2 : c'est le déphasage entre E_2 et I_2 , est transmise au rotor à travers l'entrefer par un champ glissant de vitesse par rapport au rotor (n_r).

$$n_r = n_s - n = g \times n_s$$

Le couple électromagnétique exercé par ce champ (C_{em}) est défini par la relation suivante :

$$C_{em} = \frac{P_{em}}{n_r} = \frac{3E_2 I_2 \cos \varphi_2}{n_r} = \frac{3E_2 I_2 \cos \varphi_2}{g n_s} \quad (I-2)$$

$$E_2 = 3gmE_1 ; \text{ Donc : } C_{em} = \frac{3gmE_1 I_2 \cos \varphi_2}{g n_s} \quad (I-3)$$

m : Rapport de transformation.

Si on néglige les chutes de tension primaires on aura : $E_2 = gmV_1$

E_1 : La tension du stator . V_1 : la tension du moteur.

$$\text{Alors: } C_{em} = \frac{3gmV_1 I_2 \cos \varphi_2}{g n_s} \quad (I-4)$$

on a : $E_2 = Z_2 I_2$ (Z_2 le module de l'impédance rotorique).

$$Z_2 = \sqrt{r_2^2 + (L_2 \omega g)^2} \quad (I-5)$$

$$\text{On a : } I_2 = \frac{E_2}{Z_2} \text{ d'où : } I_2 = \frac{m g V_1}{Z_2} \quad (I-6)$$

$$\text{Et } \cos \varphi_2 = \frac{r_2}{Z_2} \quad (I-7)$$

On remplace dans l'équation (I-4) les valeurs de I_2 et $\cos \varphi_2$

$$\text{On aura } C_{em} = \frac{3(gm V_1)^2 r_2}{g n_s Z_2^2} \Rightarrow C_{em} = \frac{3(gm V_1)^2 r_2}{n_s (r_2^2 + (gL_2 \omega)^2)} \quad (\text{I-8})$$

Le couple est proportionnel au carré de la tension d'alimentation

Pour les faibles glissements, $(gL_2 \omega)^2$ peut être négligé devant r_2^2 l'expression du couple devient :

$$C_{em} = \frac{3g(m V_1)^2 r_2}{n_s r_2^2} = \frac{3g(m V_1)^2}{n_s r_2} \quad (\text{I-9})$$

Donc le couple est proportionnel au glissement (g).

Pour les forts les glissements r_2^2 devient négligeable devant $(gL_2 \omega)^2$ alors :

$$C_{em} = \frac{3 g(m V_1)^2}{n_s (gL_2 \omega)^2} \quad (\text{I-10})$$

Le couple est inversement proportionnel au glissement (g) :

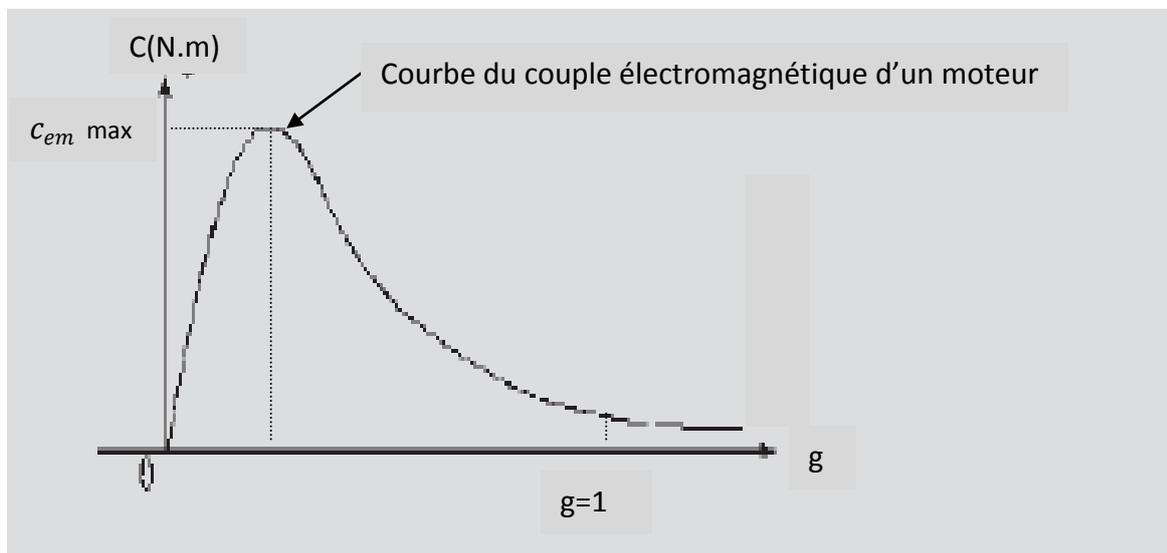


Figure I-15 : Le couple électromagnétique d'un moteur asynchrone triphasé en fonction du glissement [5]

I-8- Conclusion :

Les moteurs asynchrones triphasés sont très employés dans l'industrie pour les différents avantages qu'ils présentent. Le moteur asynchrone triphasé de faible et de moyenne puissance est utilisé dans les ventilateurs et les pompes hydraulique, ainsi que dans les mélangeurs et les centrifugeuses, le moteur de grande puissance est utilisé dans les machines outils, les appareils de lavage et les compresseurs.

CHAPITRE II

DEFAUTS ET DISPOSITIFS DE

PROTECTION

II-1-Introduction :

En fonctionnement normal les moteurs asynchrones triphasés sont soumis à plusieurs contraintes intrinsèques et extrinsèques dues aux durées de fonctionnement aux milieux d'utilisation, comme les courts-circuits, les manques de phases, les surcharges, l'échauffement, les défauts d'isolation et la tropicalisation.

On pourrait admettre que des entraînements correctement conçus, dimensionnés, montés, utilisés et entretenus ne soient pas défectueux. Dans la pratique, cette situation idéale n'existe pratiquement pas. La fréquence des différentes pannes des moteurs est différente selon les conditions spécifiques de fonctionnement.

Les statistiques montrent qu'il faut compter avec un taux de défaillance annuel de 0,5 à 4%. La plupart des défaillances trouvent leur origine dans les surcharges. Les défauts d'isolation, qui entraînent des défauts de terre ou des courts-circuits entre spires et enroulements, sont les conséquences de surtensions ou de contamination par l'humidité, l'huile, la graisse, la poussière ou d'autres produits chimiques.

La répartition approximative des dommages est la suivante

- Surcharge : 30%
- Dommages à l'isolation : 20%
- Défaillance de phase : 14%
- Dommages aux paliers : 13%
- Vieillessement : 10%
- Dommages aux rotors : 5%
- Divers : 8%

II-2-Les défaillances

II-2-1- Les court-circuits :

Un court-circuit est une mise en relation directe entre deux points qui sont soumis à des potentiels électriques différents (liaison entre phases, entre phases et neutre ou entre phases et masse conductrice).

Il est traduit par une augmentation brutale du courant qui peut atteindre en quelques millisecondes une valeur importante égale à plusieurs centaines de fois le courant d'emploi.

II-2-11-Les effets du court-circuit : Le courant de court-circuit provoque des effets électrodynamiques et thermiques pouvant produire des destructions importantes sur le matériel, les câbles et les jeux de barres situés en amont du point de court-circuit.

a- Les effets électrodynamiques : -Casse ou déformation des pièces et des jeux de barres ;

-Répulsion des contacts ;

-Propagation des arcs électriques.

b- Les effets thermiques :

-Fusion des contacts, des enroulements, des bilames et des connexions.

II-2-2-L'échauffement :

C'est l'augmentation anormale de température à l'intérieur du moteur, cette augmentation est causée par différentes pertes (par effet Joule, courants de Foucault, pertes mécaniques) et les surcharges.

-Calcination des matériaux isolants.

II-2-21 Définition des différentes pertes :

a) Les pertes Joule : c'est la puissance perdue dans le moteur sous forme de chaleur sous l'effet des résistances que contient ce dernier et celle du matériel utilisé.

$$P_j = R * I^2 \quad (W)$$

b) Les pertes fer : comprennent les pertes par hystérésis et les pertes par courant de Foucault à cause du courant de fuite.

c) les pertes mécanique : sont les pertes due au frottement dans les paliers.

II-2-3 Les surcharges :

Les surcharges entraînent l'augmentation du courant absorbé par le moteur, ce qui produira des effets thermiques et c'est le défaut le plus fréquent dans les moteurs asynchrones.

-les effets de surcharge :

La surcharge conduit à la diminution de la durée de vie des moteurs par vieillissement des isolants sous l'action de la chaleur élevée.

II-2-4 Les courants de démarrage :

Le démarrage des moteurs asynchrones triphasés provoque des pics de courants qui atteint des valeurs de plusieurs fois le courant nominal, ce qui conduit à une chute de tension sur les

lignes qui alimente le moteur, ce qui trouble les appareils alimentés par ces lignes.

II-2-5 La marche en manque de phase :

La marche en manque de phases est le déséquilibre ou l'absence de courant dans une des phases d'alimentation du moteur.

On résumé le tableau suivant montre les causes de défaillances les plus fréquentes, leurs effets et les dommages que peuvent provoquer :

Cause	effet	Dommages possibles
Surcharges thermiques <ul style="list-style-type: none"> • Condition de démarrage extrême • Rotor bloqué • Surcharge de longue durée • Sous tension • Fonctionnement intermittent inadmissible 	-Sur intensité et donc échauffement inadmissible des enroulements.	-Cage de rotor dessoudée Enroulements stator brûlé
Problèmes de refroidissement <ul style="list-style-type: none"> • Refroidissement perturbé • Température ambiante trop élevée 	-Echauffement inadmissible	-Enroulements stator brûlé
Causes électrique <ul style="list-style-type: none"> • Fonctionnement sur une phase • Asymétrie tension • Défaut de terre • Court-circuit entre spires • Court-circuit entre enroulements 	-Surintensité asymétrique. -Echauffement inadmissible selon la dimension du moteur et de la charge.	-Enroulement ou partie d'enroulement brûlé -Dommages aux paliers
Causes mécanique <ul style="list-style-type: none"> • Mauvais équilibrage • Mauvais alignement de l'entraînement • Entraînement mal monté 	-Détérioration irrégulière des paliers.	-Dommage aux paliers

II-3-Protection :

II-3-1- Les dispositifs de protection contre le court-circuit :

Pour obtenir un fonctionnement fiable d'un entraînement électrique, il faut observer les points suivants :

- Conception appropriée : le bon moteur adapté à l'application en question.

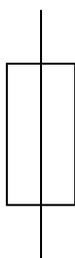
- Exploitation professionnelle : une installation professionnelle et un entretien régulier sont les conditions indispensables d'un fonctionnement fiable.
- Bonne protection du moteur : protection adaptée à l'ensemble des problèmes prévisibles :
 - Aussi longtemps que le moteur n'est pas en danger, l'appareil de protection ne doit pas déclencher.
 - Si le moteur est en danger, l'appareil de protection doit déclencher avant qu'un dommage se produise.
 - Si un dommage ne peut pas être évité, l'appareil de protection doit déclencher aussi vite que possible pour limiter l'étendue des dégâts

Ces dispositifs doivent donc détecter le défaut et couper le circuit très rapidement avant que le courant n'atteigne sa valeur maximale, ils sont des coupes- circuits fusibles et disjoncteurs.

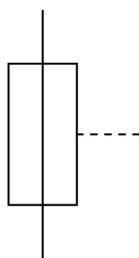
- **II-3-11- Les coupes- circuits fusibles :**

- a) Définition :**

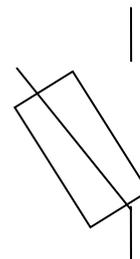
Un fusible est un appareil de connexion dont la fonction est d'ouvrir par fusion d'un ou de plusieurs de ses éléments conçus et calibrés à cet effet, et d'interrompre le courant lorsque celui-ci dépasse pendant un temps suffisant, une valeur précisée. Ils sont symbolisés de la façon suivante :



Fusible



Fusible à percuteur



Sectionneur fusible

b) Structure

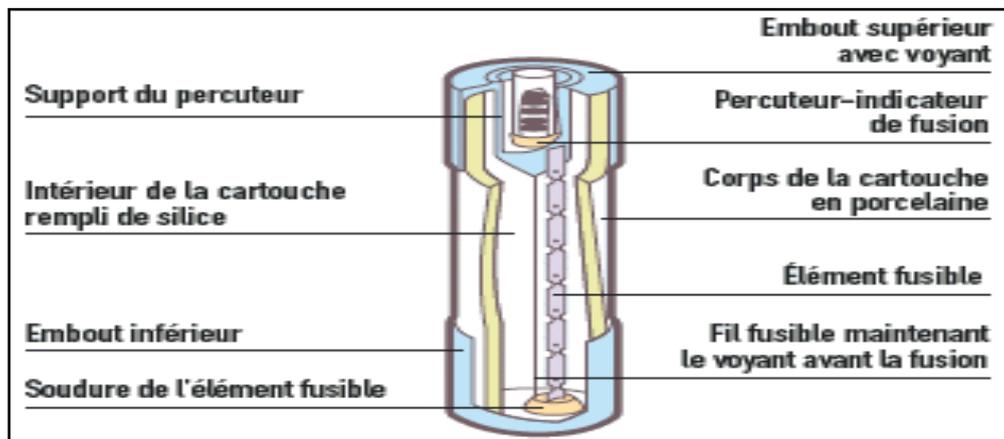


Figure II-1 : La structure d'un fusible [9]

c) **Les classes de fusibles** : Selon l'utilisation, on choisira entre 3 classes d'éléments de fusibles :

- **Classe gI** : fusible d'usage général. Ils protègent contre les surcharges et les courts-circuits. Ce sont les fusibles d'usage général (g).
- **Classe gII** : fusible d'usage général temporisé dont le temps de fusion est retardé.
- **Classe aM** : Accompagnement moteur : ces fusibles sont prévus uniquement pour la protection contre les courts-circuits. Ils sont surtout prévus pour la protection des moteurs à courant alternatif. La protection contre les surcharges doit être assurée par un autre dispositif tel que relais thermique par exemple.

d) **Caractéristiques d'un fusible** :

- **Tension nominale** : 250, 400, 500, 660V.
- **Courant nominal (I_n)** : c'est le calibre du fusible ou de la cartouche de remplacement
- **Courant de non fusion (I_{nf})** : c'est la valeur du courant qui peut être supporté par l'élément fusible pendant un temps conventionnel sans fondre.
- **Courant de fusion (I_f)** : c'est la valeur du courant qui provoque la fusion du fusible avant la fin du temps conventionnel.
- **Durée de coupure** : c'est le temps qui s'écoule entre le moment où commence à circuler un courant suffisant pour provoquer la fusion et la fin de fusion.
- **Pouvoir de coupure** : c'est la plus grande valeur du courant de court-circuit qu'un fusible peut interrompre sous sa tension nominale.
- **Zone de fonctionnement** : C'est l'intervalle du temps entre le début et la fin de la fusion

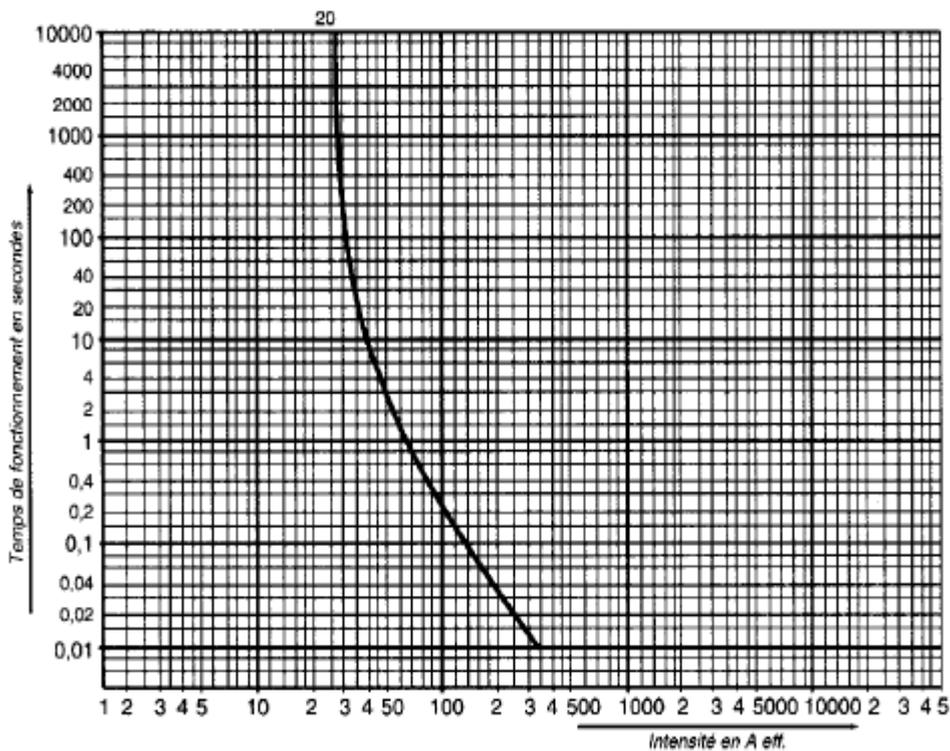


Figure II-2 : Courbe de déclenchement d'un fusible [8]

- **Le pouvoir de limitation** : il est inférieur au courant de court-circuit présumé, ce qui permet au fusible de couper ce courant par sa fusion lorsque ce courant atteint cette limite donc avant d'atteindre sa valeur maximale,

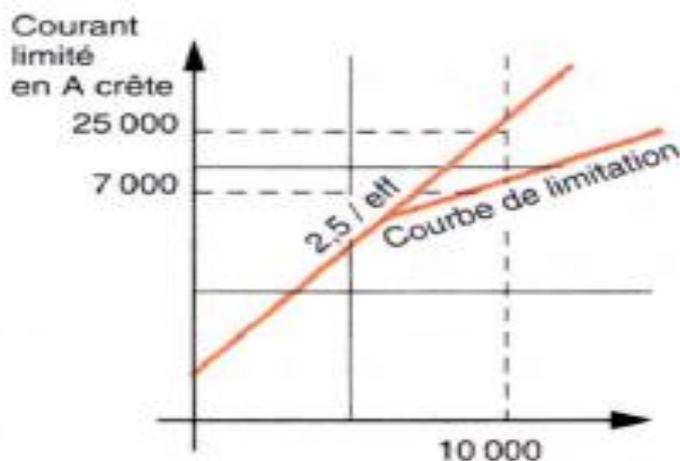


Figure II-3 : Courbe du pouvoir de limitation [2]

- **Choix des fusible** : Le calibre des fusibles est déterminé en fonction de :
 - l'intensité nominale I_n ;
 - le rapport I_d / I_n (I_d = courant de démarrage) ;
- la durée de démarrage est déterminée à l'aide de l'abaque de la figure si dessous. Pour plus de précisions sur le choix du fusible, on peut se reporter au Cahier Technique n° 107. Il fait rappeler que les fusibles protègent le moteur contre les surintensités supérieures à environ cinq fois le courant nominal du moteur, et qu'ils doivent être associés à des protections complémentaires (relais thermiques...)

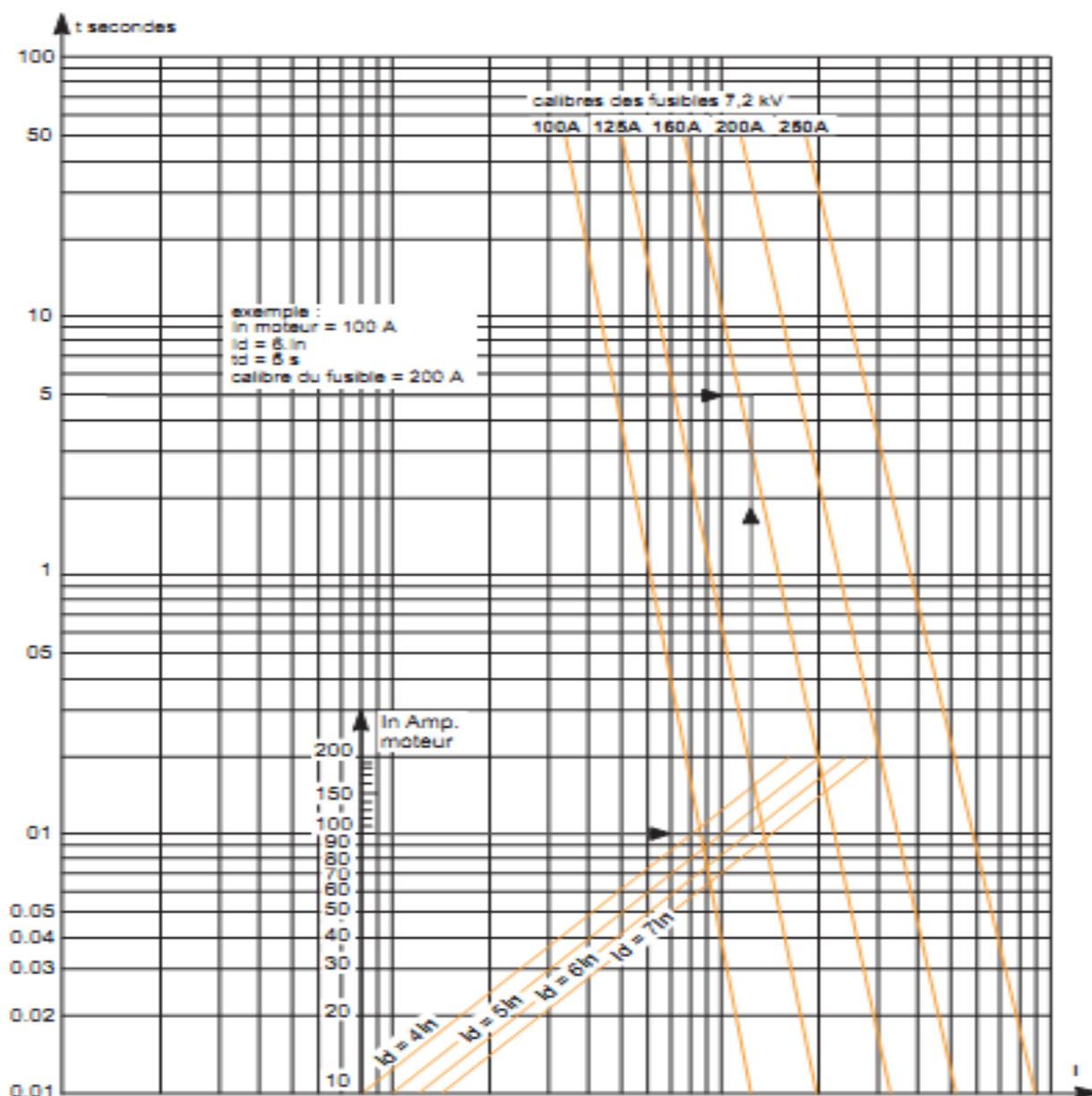


Figure II-4 : Abaque de détermination de fusibles [8]

Le tableau ci-dessous présente le temps de fusion d'un fusible en fonction du courant de non-fusion, du courant de fusion et du calibre.

calibre	Intensité de non fusion (I_{nf})	Intensité de fusion (I_f)	Temps de fusion (t)
$I_n \leq 4$ A	$1.5 I_n$	$2.1 I_n$	1h
5 à 10 A	$1.5 I_n$	$1.9 I_n$	1h
11 à 25 A	$1.4 I_n$	$1.75 I_n$	1h
26 à 63 A	$1.3 I_n$	$1.6 I_n$	1h
64 à 100 A	$1.3 I_n$	$1.6 I_n$	2h
101 à 160 A	$1.2 I_n$	$1.6 I_n$	2h
161 à 400 A	$1.2 I_n$	$1.6 I_n$	3h

Le tableau qui présente le temps de fusion d'un fusible en fonction du courant de non-fusion, du courant de fusion et du calibre. [14]

II-3-12-Les disjoncteurs :

a) Les disjoncteurs magnétiques :

Ces disjoncteurs assurent, dans la limite de leur pouvoir de coupure et par l'intermédiaire de leurs déclencheurs magnétiques (un par phase), la protection des installations contre les courts-circuits

Les disjoncteurs magnétiques réalisent d'origine une coupure omnipolaire : le fonctionnement d'un seul déclencheur magnétique suffit à commander l'ouverture simultanée de tous les pôles. Pour des courants de court-circuit peu élevés, le fonctionnement des disjoncteurs est plus rapide que celui des fusibles.

Pour interrompre efficacement un courant de court circuit, trois impératifs doivent être respectés :

- détecter très tôt le courant de défaut,
- séparer très vite les contacts,
- interrompre le courant de court-circuit.

La plupart des disjoncteurs magnétiques destinés à protéger les moteurs sont des limiteurs de courant et contribuent ainsi à la coordination. Leur durée de coupure particulièrement brève leur permet d'interrompre le courant de court-circuit avant qu'il n'atteigne son amplitude maximale. De fait, les effets thermiques et électrodynamiques sont aussi limités, d'où une meilleure protection des câbles et de l'appareillage.

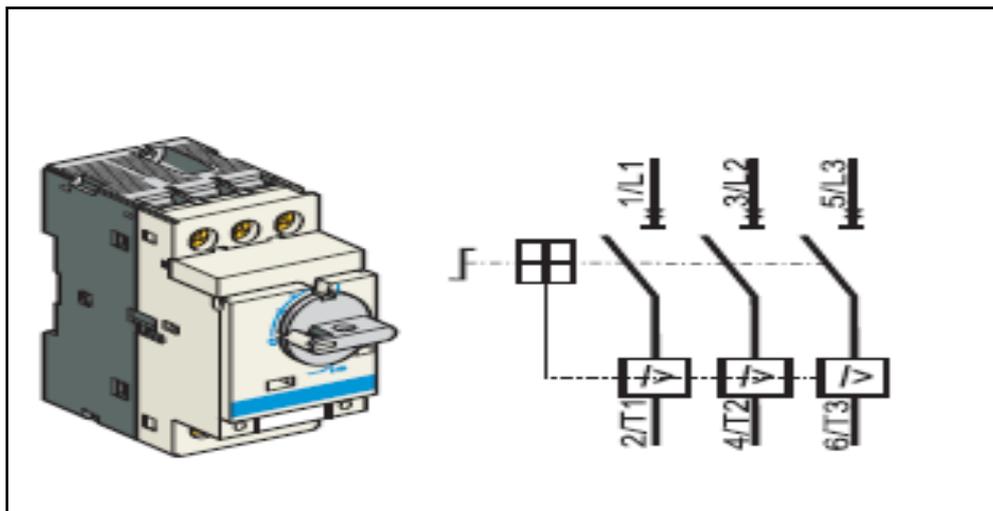


Figure II-5 : Disjoncteur magnétique et son symbole [5]

b) Les “disjoncteurs moteurs” (disjoncteurs magnétothermiques) :

Le “disjoncteur moteur” est un disjoncteur magnétothermique qui réalise à la fois la protection contre les courts-circuits et contre les surcharges par ouverture rapide du circuit en défaut. Il est la combinaison du disjoncteur magnétique et du relais de surcharge.

Dans ces disjoncteurs, les dispositifs magnétiques (protection contre les courts-circuits) ont un seuil de déclenchement non réglable, en général d'environ 10 fois le courant de réglage maximal des déclencheurs thermiques.

Leurs éléments thermiques (protection contre les surcharges) sont compensés contre les variations de la température ambiante. Le seuil de protection thermique est quant à lui réglable.

Sa valeur doit correspondre au courant nominal du moteur à protéger.

Dans tous ces disjoncteurs, la coordination (type II) entre les éléments thermiques et la protection court-circuit est assurée par construction.

De plus, en position d'ouverture, la plupart de ces appareils ont une distance d'isolement suffisante (entre leurs contacts) pour réaliser la fonction de sectionnement.

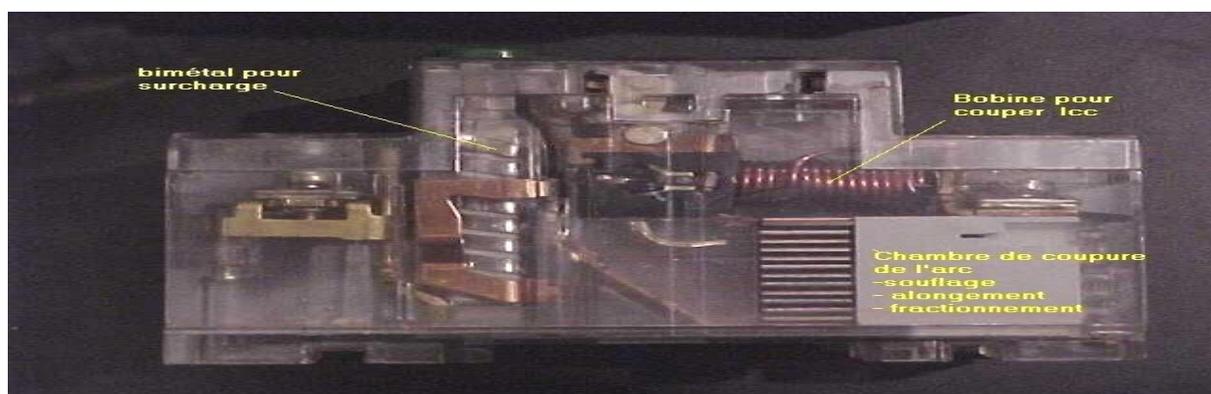
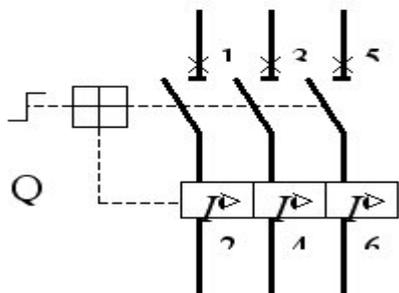


Figure II-6 : Coupe transversale d'un disjoncteur magnétothermique

b-1 Symbole d'un disjoncteur magnétothermique :



b-2-Principe:

Le disjoncteur de moteur fonctionne selon deux principes:

- **thermique** (avec limiteur) :

Ceci offre la possibilité de protéger les enroulements du moteur contre les surcharges imposées mécaniquement au moteur. Une augmentation de la charge sur l'arbre du moteur implique une augmentation du courant, donc une augmentation de la température sur la lame bimétallique.

- **magnétique** : offre la possibilité de fermer ou d'ouvrir le circuit au moyen d'une commande manuelle ou automatique autant de fois qu'on désire.

- **Courbes de déclenchements**

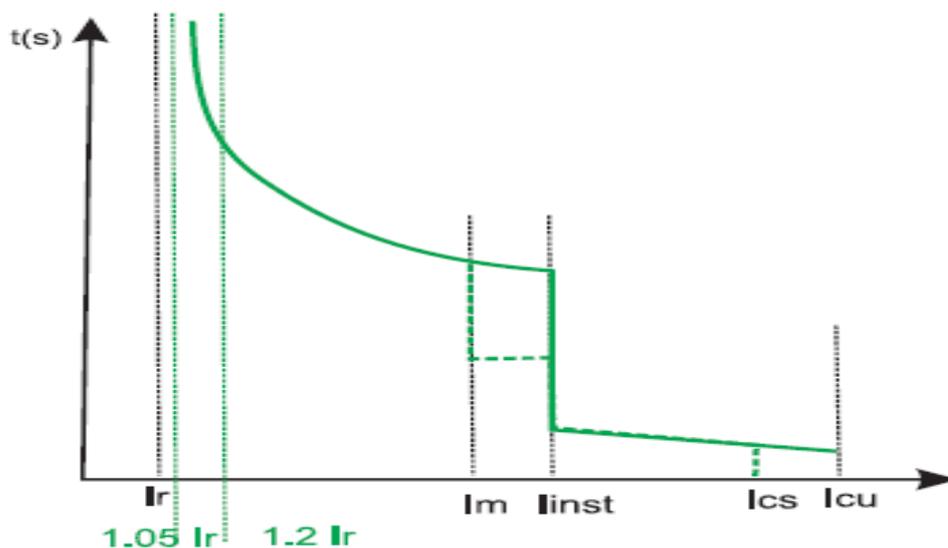


Figure II-7 : Courbes de déclenchements d'un disjoncteur [5]

Un disjoncteur moteur est caractérisé par sa courbe de déclenchement, qui représente les temps de déclenchement du disjoncteur en fonction du courant (multiple d' I_r).

Cette courbe comporte quatre zones:

- la zone de fonctionnement normal : tant que $I < I_r$, il n'y a pas de déclenchement,

- la zone des surcharges thermiques : le déclenchement est assuré par le "thermique"; plus la surcharge est importante, plus le temps de déclenchement est court. Ce mode de déclenchement est ainsi appelé "à temps inverse".

- la zone des courants forts : surveillée par le "magnétique instantané" ou "court-circuit" dont le fonctionnement est instantané (inférieur à 5 ms), et sur certains disjoncteurs (disjoncteurs électroniques), une zone intermédiaire surveillée par un "magnétique temporisé" dont le fonctionnement est retardé (de 0 à 300 ms). Ce mode de déclenchement est appelé "à retard indépendant". Il permet d'éviter des déclenchements intempestifs à l'enclenchement sur les pointes de courants magnétisants des moteurs.

Leurs limites sont :

I_r : courant de réglage de la protection contre les surcharges, il doit correspondre à la valeur du courant nominal (I_n) du moteur à protéger ;

I_m : courant de déclenchement de la protection magnétique temporisée ;

I_{inst} : courant de déclenchement de la protection magnétique instantanée. Il peut varier de 3 à 17 fois I_r mais est en général proche de 10 I_r ;

I_{cs} : pouvoir assigné de coupure de service en court-circuit ;

I_{cu} : pouvoir de coupure ultime (maximum) en court-circuit.

b-3-Les caractéristiques des disjoncteurs :

a- Tension nominale : C'est la tension maximale d'utilisation en courant continu ou alternatif. C'est également la tension à laquelle se rapporte le pouvoir de coupure et de fermeture du disjoncteur.

Un disjoncteur peut avoir plusieurs tensions nominales, chacune d'elle correspondant à un pouvoir de coupure différent.

b- Courant nominal : C'est le courant que le disjoncteur est capable de supporter dans des conditions d'essais spécifiés en service ininterrompu tout en respectant les limites d'échauffement (température ambiante=30°)

Le courant nominal est déterminé en fonction de l'intensité du courant admissible passant dans la section du conducteur à protéger.

c-Pouvoir de coupure : c'est la plus grande valeur du courant présumé de court-circuit, qu'un disjoncteur peut interrompre sous une tension donnée et dans certaines conditions. Il s'exprime K_a .

d-Pouvoir de fermeture : C'est la plus grande valeur du courant, qu'un disjoncteur peut établir sous sa tension nominale dans des conditions spécifiées. En alternatif, il s'exprime par la valeur de crête du courant, elle est égale à k fois le pouvoir de coupure selon le tableau ci-dessous :

Pouvoir de coupure(PdC)	$\cos \varphi$	Pouvoir de fermeture(PdF)
$4,5kA < PdC \leq 6kA$	0,7	1,5 PdC
$6kA < PdC \leq 10kA$	0,5	1,7 PdC
$10kA < PdC \leq 20kA$	0,3	2 PdC
$20kA < PdC \leq 50kA$	0,25	2,1 PdC
$50kA < PdC$	0,2	2,2 PdC

Cosφ :Le facteur de puissance

e-Auto-protection : C'est l'aptitude d'un appareil à limiter le courant de court-circuit à une valeur inférieure à son pouvoir de coupure grâce à son impédance interne

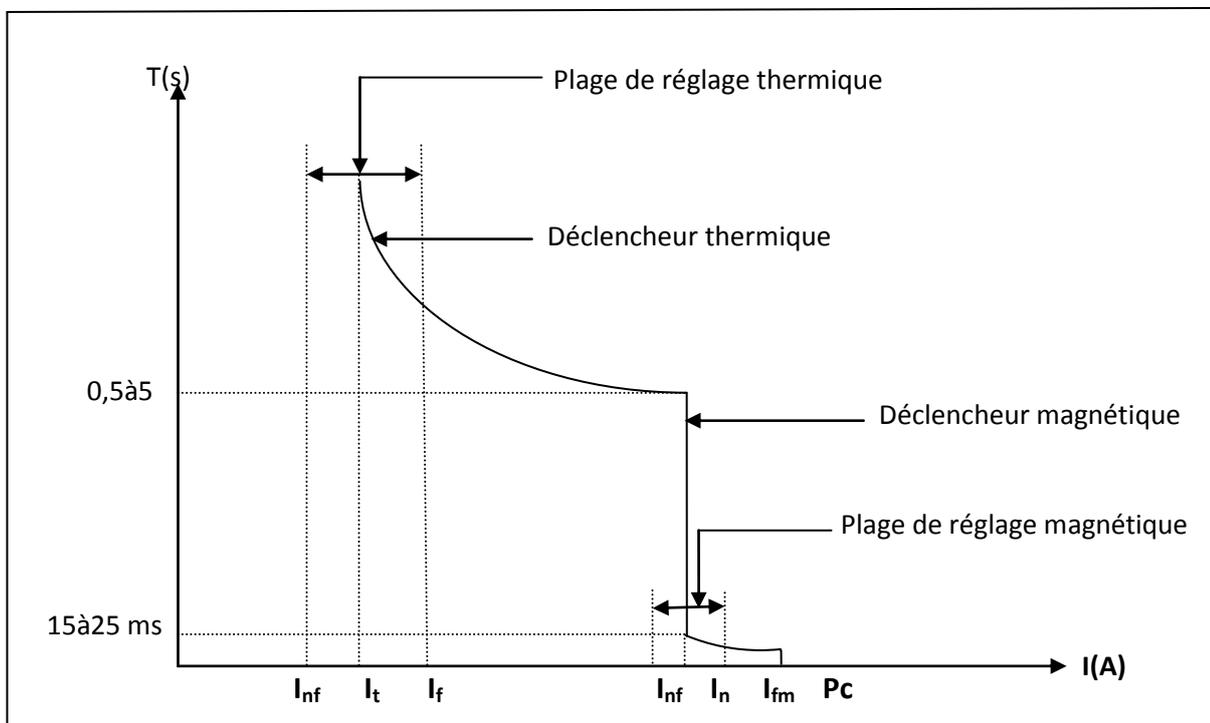


Figure II-8 : Courbe de fonction d'un disjoncteur

- I_n : Courant de fonctionnement ; I_{nf} : Courant de non-fusion ;
- I_f : Courant de fusion. Pc : Pouvoir de coupure ;
- I_t : Courant de réglage ;

f-Pouvoir de limitation : Un disjoncteur est dit limiteur, lorsque le courant réellement interrompu ou coupé en cas de défaut est bien inférieur au courant présumé de court – circuit

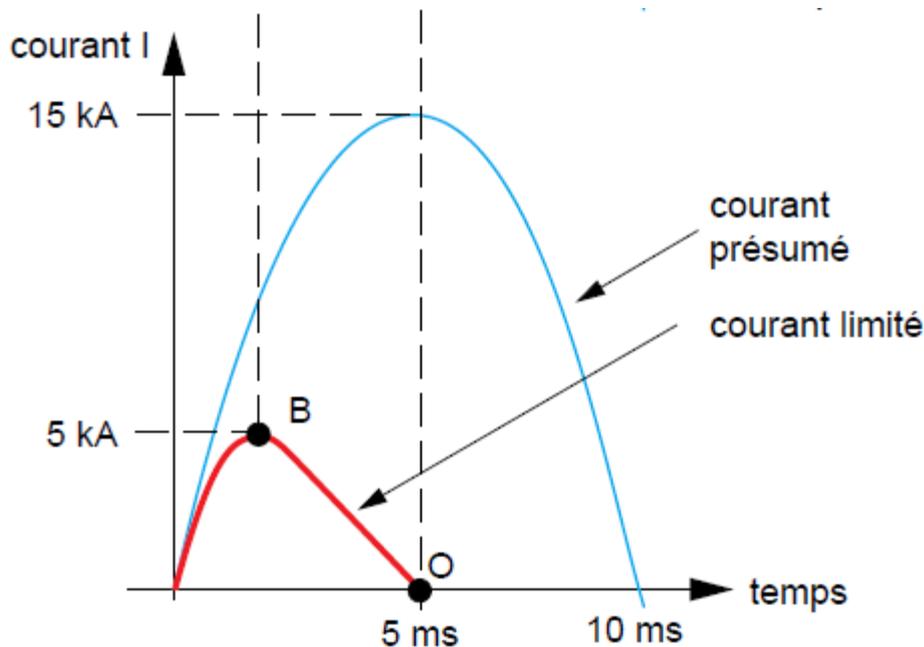


Figure II-9 : Courbe représentant du pouvoir de limitation d'un disjoncteur [15]

Remarque : Pour des courants de court-circuit élevés, le fonctionnement des disjoncteurs est plus rapide que celui des fusibles.

Choix des disjoncteurs :

Le choix d'un disjoncteur s'effectue en fonction :

- de la norme d'installation : ex NF C 15-100,
(Installation domestique - type de récepteur - intensité d'emploi - courbes de fonctionnement)
- des normes produites,
- des caractéristiques du réseau (tension, fréquence),
- de l'environnement (type de local, température, section et nature des câbles en aval),
- des impératifs d'exploitation (sélectivité, auxiliaires de commande,...).

• Pouvoir de coupure

C'est l'intensité maximale du courant de court-circuit que peut couper le dispositif de protection sans se détériorer et sans mettre en danger l'entourage, dans les conditions de tension, de $\cos \phi$ et de court-circuit déterminées par les normes.

Le pouvoir de coupure doit être au moins égal au courant de court-circuit présumé au point d'installation du disjoncteur ($P_{dc} > I_{cc \max}$).

• Courbes de fonctionnement

Les normes "produits" disjoncteur imposent au moins l'existence des courbes B, C et D (figure II-8).

On choisira la courbe de fonctionnement du disjoncteur en fonction du type de récepteurs (résistifs, inductifs) et de la ligne à protéger :

- la courbe B : le disjoncteur a un déclenchement magnétique relativement bas (entre 3 et $5 \times I_n$) et permet d'éliminer les courts-circuits de très faible valeur. Cette courbe est également utilisée pour les circuits ayant des longueurs de câbles importantes.
- la courbe C : ce disjoncteur couvre une très grande majorité des besoins (récepteurs inductifs) et s'utilise notamment dans les installations domestiques. Son déclenchement magnétique se situe entre 5 et $10 \times I_n$.
- la courbe D : cette courbe est utilisée pour la protection des circuits où il existe de très fortes pointes de courant à la mise sous tension (ex: moteurs). Le déclenchement magnétique de ce disjoncteur se situe entre 10 et $20 \times I_n$.

Ces trois courbes sont représentées sur la figure (II-10).

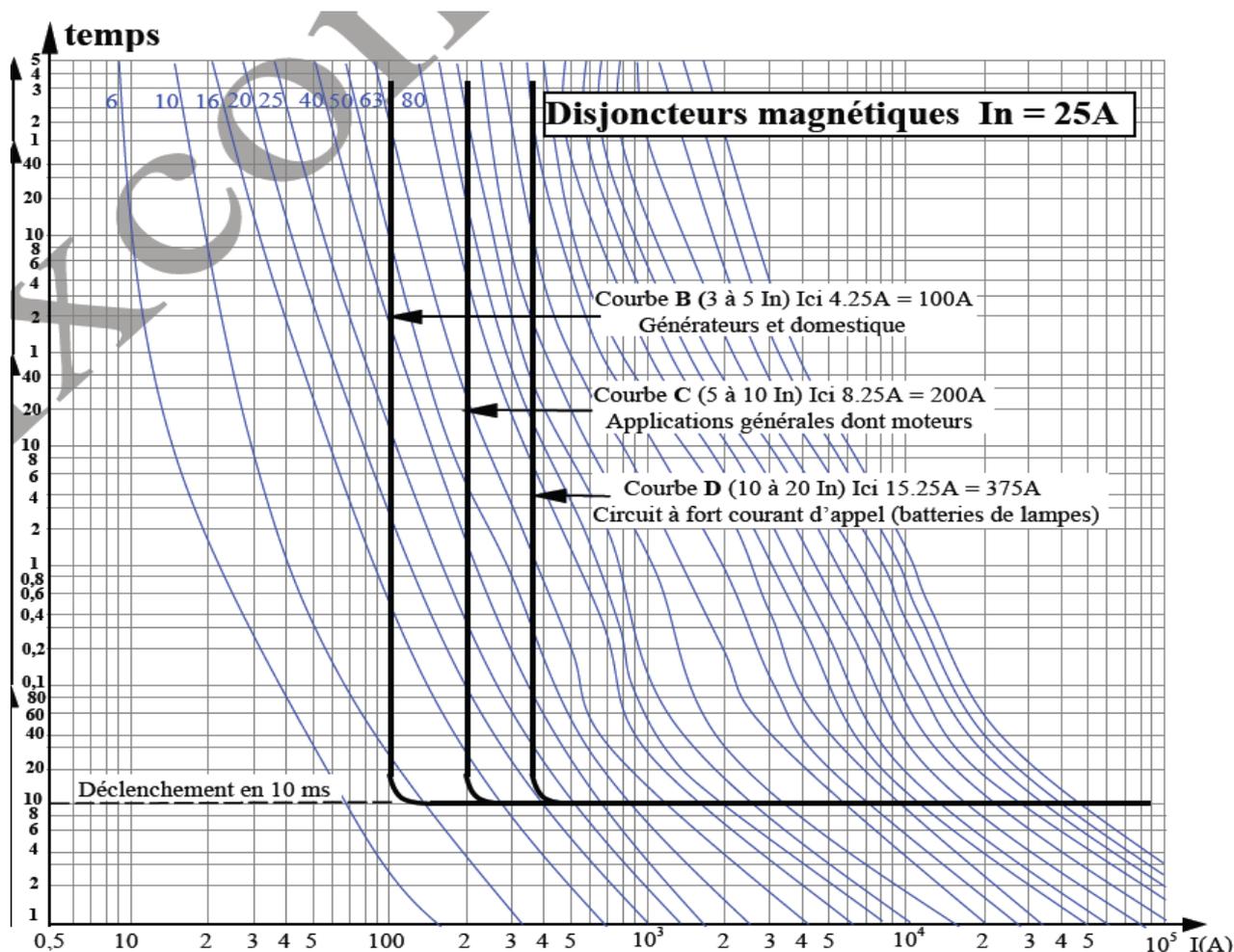


Figure II-10 : Courbes de fonctionnement d'un disjoncteur [4]

II-3-2-Les dispositifs de protection contre les surcharges :

Les surcharges n'impliquent pas nécessairement un arrêt du moteur mais il est important de revenir rapidement au fonctionnement normal. Il est donc important de protéger le moteur contre ce phénomène par des dispositifs spécial qu'on appelle relais.

II-3-2-1 Les relais thermiques de surcharge à bilames

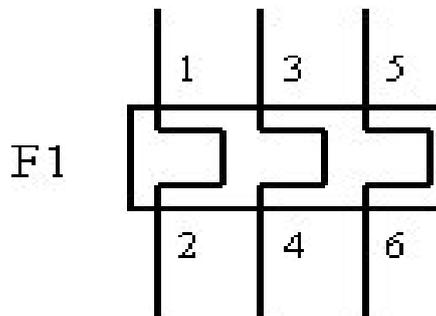
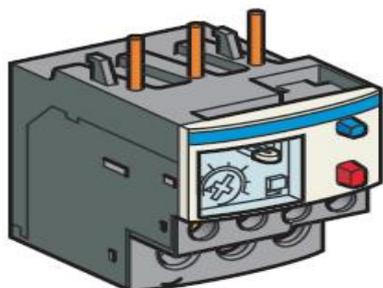


Figure II-9 : Relais thermique de surcharge et son symbole

Ils assurent, par association avec un contacteur, la protection du moteur, de la ligne et de l'appareillage contre les surcharges faibles et prolongées.

Ils sont donc conçus pour autoriser le démarrage normal des moteurs sans déclenchement. Cependant, ils doivent être protégés contre les fortes surintensités par un disjoncteur, ou par des fusibles (voir protection contre les courts-circuits).

Les relais thermiques à bilames sont généralement :

- tripolaires
- compensés
- sensibles à une perte de phases.

a- Les relais thermiques tripolaires :

Ils comportent trois bilames dont le coefficient de dilatation est très différent. Un enroulement échauffant est bobiné autour de chaque bilame, ces enroulements s'échauffent sous l'effet du courant absorbé par le moteur, ce qui provoque une déformation des bilames. En se déformant les bilames commandent le déclenchement du dispositif.

b- Les relais compensés :

Les effets thermiques du courant absorbé par le moteur provoquent la déformation des bilames, pour annuler l'influence de la température ambiante sur ces dernières, un relais de compensation est monté en opposition avec eux.

Ces bilames sont influencés uniquement par les variations de température de l'air ambiant.

La déformation des bilames principaux est compensée par celle des bilames de compensation.

c- Les relais sensible à une perte de phases :

Ils comportent deux réglettes dont le mouvement est solidaire à celui des bilames.

Le bilame correspondant à la phase non alimentée ne se déforme pas et bloque l'une des deux réglettes, ce qui provoque le déclenchement.

d- Les relais à sonde à thermistances PTC :

Ce système contrôle la température réelle de l'élément à protéger, il est constitué :

- D'une ou plusieurs sondes à thermistance à coefficient de température positif (PTC).

Ce sont des composants statiques dont la résistance augmente brutalement, quand la température atteint un seuil appelé température nominale de fonctionnement TNF.

- D'un dispositif électronique qui mesure en permanence les résistances des sondes qui lui sont associées.
- Des circuits à seuil qui commandent les changements d'état des contacts de sortie

e- Les relais à maximum de courant :

Ils sont destinés à la protection du moteur contre les surcharges importantes et ils comportent :

- Un circuit magnétique d'une partie fixe, d'une armature et d'une bobine.
- Un mécanisme de déclenchement actionné par l'armature mobile qui est branché en série dans l'une des phases du récepteur.

f- Les relais temporisateur thermiques :

Ils ont pour but de : -contrôler le courant qui passe par l'intermédiaire d'un contact auxiliaire
-temporiser l'action du relais

II-3-3-La sélectivité :**a)Définition :**

La sélectivité des dispositifs de protection est le choix du réglage de telle sorte à ce que l'appareil dont se produit le défaut réagit seul, les autres appareils restent en fonction.

Il y a sélectivité des protections si un défaut, survenant en un point quelconque du réseau, est éliminé par l'appareil de protection placé immédiatement en amont du défaut et lui seul (sur la figure (II-10) c'est le disjoncteur B).

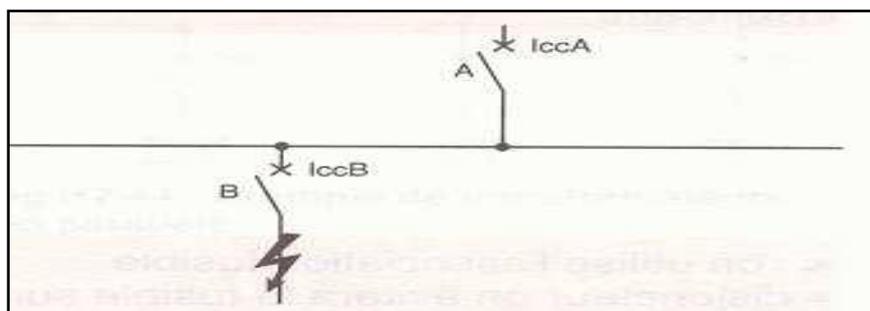


Figure II-10

On peut réaliser la sélectivité en deux degrés :

b) La Sélectivité total : Si le dispositif placé en amont assure la coupure du courant de défaut sans l'intervention de celui en aval (la sélectivité est totale entre A et B si B fonctionne pour toute valeur de I_{cc} au point où il est placé)

c) La sélectivité partielle : on dit que la sélectivité est totale si la protection est assurée par un dispositif jusqu'à une certaine valeur du courant puis les dispositifs réagissent simultanément (la sélectivité est partielle entre A et B si B fonctionne seul jusqu'à une certaine valeur de I_{cc} , puis au delà de cette valeur, A et B fonctionnent tous les deux.)

II-3-4- les dispositifs de protection contre les phases en marche :

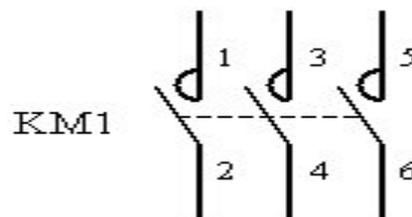
Les contacteurs

a) Définition des contacteurs :

C'est un appareil mécanique de connexion ayant une seule position (au repos), commandé autrement qu'à la main

De par sa conception assez complexe, il est conçu pour résister mieux que tout autre composant à l'arc électrique à chaque ouverture et fermeture.

b) Symbole d'un contacteur :



c) Choix d'un contacteur :

Pour choisir un contacteur, il faut définir les valeurs des éléments suivants :

- courant d'emploi
- tension d'emploi
- catégorie d'emploi : elle fixe la valeur du courant que le contacteur doit établir qui dépend de la nature du récepteur.

II-3-5-Les dispositifs de protection multiples :

Ils sont utilisés pour réaliser la protection contre les courts-circuits et les surcharges par l'association de différents dispositifs :

- fusible-contacteur
- fusible- relais thermique- contacteur
- Relais thermique- contacteur
- Disjoncteur - contacteur

II-3-5-1- fusible -contacteur :

C'est une association de deux dispositifs :

- Un contacteur permettant une facilité de commande
- Un fusible situé en amont du contacteur, assurant la protection contre le court -circuit (c'est une association qui est très économique)

II-3-5-2-Fusible-relais thermique- contacteur :

C'est une association de trois dispositifs qui assurent la protection contre le court-circuit et contre la surcharge (c'est plus facile de commander le moteur par le contacteur).

II-3-5-3 Relais thermique- contacteur :

C'est une association de deux dispositifs, ce qui permet de protéger le moteur contre les surcharges et facilite la commande du moteur

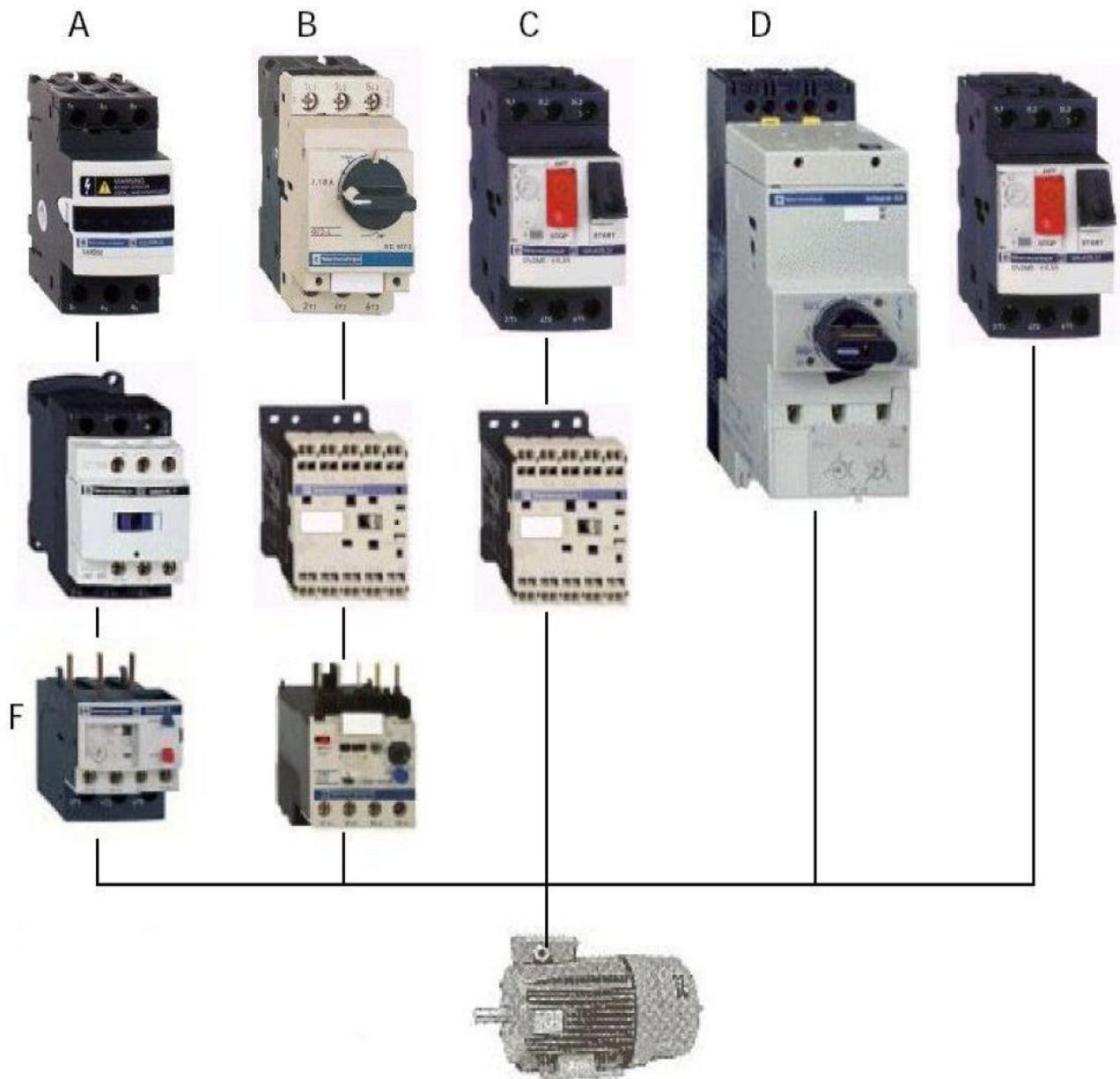


Figure II-11 : les dispositifs de protection multiples [5]

Avec : A : un scionneur porte fusible

B : disjoncteur magnetique

C : disjoncteur magnétothermique

D : démarreur intégral

E : contacteur tripolaire

F : relais de protection thermique

Conclusion

La protection des moteurs est une fonction essentielle pour la continuité du fonctionnement des machines. Le choix du dispositif de protection doit être fait avec rigueur. L'utilisateur aura tout intérêt à sélectionner les dispositifs intégrant une électronique de communication pour anticiper et prévenir les éventuels défauts. La recherche d'anomalies et la rapidité de remise en route seront ainsi grandement améliorées.

CHAPITRE III

**DIFFERENTS MODES DE
DEMARRAGE ET FREINAGE
DES MOTEURS
ASYNCHRONES TRIPHASES**

❖ Introduction :

Actuellement les moteurs électriques triphasés ont vu leur champ d'utilisation devenir de plus en plus large, grâce à l'apport des dispositifs de commande.

La multitude d'applications industrielles est à l'origine des contraintes, sur ces moteurs de point de vue commande, comme : le démarrage, les variations de vitesse, freinage...

III-1- Démarrage des moteurs asynchrones triphasés :

Parmi les contraintes importantes imposées aux moteurs asynchrones triphasés, le démarrage et ses problèmes sont l'une des exigences de l'entraînement industriel.

En fonction de l'application et de la puissance du moteur employé, plusieurs types de démarrages peuvent être utilisés.

III-2- Les problèmes de démarrage :**III-2-1- Courant de décollage :**

Le démarrage des moteurs asynchrones triphasés provoque des pics de courant très élevés, (I_d) atteint plusieurs fois le courant nominal (I_n). Lorsque ce courant est de très courte durée, le moteur peut le supporter sans risque, mais il provoque une brusque chute de tension sur les lignes qui alimentent le moteur, ce qui conduit aux troubles de fonctionnement des appareils branchés sur ces lignes.

Pour chaque type du moteur une limite supérieure au rapport (I_d / I_n) est imposée. Par exemple pour les moteurs de puissances électrique (celle inscrite sur la plaque signalétique) comprise entre 1,5 et 5kW, (I_d / I_n) $\leq 2,5$.

III-2-2- Couple de démarrage :

Le moteur démarre si le couple de démarrage (C_d) est supérieure au couple résistant (C_r), le démarrage est terminé lorsque le couple moteur (C_m) est égale au couple résistant, et le point de fonctionnement c'est l'intersection des caractéristiques mécaniques du moteur et de la machine à entraîner.

III-2-3- Durée de démarrage :

Le démarrage s'effectue sous l'action du couple d'accélération (C_s), avec $C_s = C_m - C_r$.

Pendant le démarrage, on a : $C_m - C_r = J d\Omega / dt$, avec J : moment d'inertie de l'ensemble tournant. Un moment d'inertie élevé allonge la durée de démarrage, ce qui provoque l'échauffement du rotor.

Pour régler ces problèmes et éviter leurs risques, on utilise plusieurs types de démarrages.

III-3- Types de démarrages :

Plusieurs types de démarrages sont utilisés pour les moteurs asynchrones triphasés dans le but d'éliminer les risques liés au courant de démarrage.

III-3-1- Démarrage direct :

Ce mode de démarrage consiste à brancher le moteur directement au réseau. Dans ce cas, il démarre sous ses caractéristiques naturelles (tension nominale), ce qui provoque les pics de courant très élevés, courant de démarrage $I_d=5$ à 8 fois le courant nominale (I_n).

Ce type est utilisé pour les moteurs de faible et moyenne puissance, cette valeur est limitée à $P_m \leq 1,5\text{kW}$. Pour réaliser ce démarrage, le montage contacteur associé au disjoncteur magnétothermique est le plus fréquent pour limiter ces pics de courant.

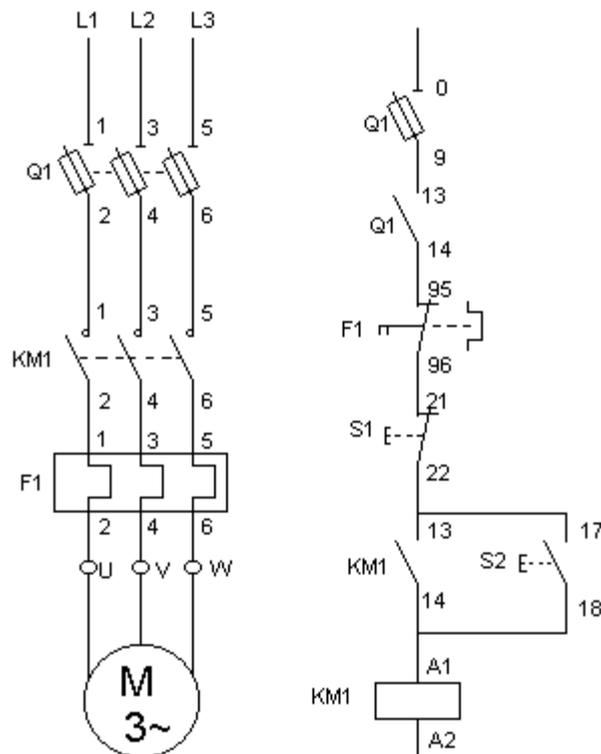


Figure III-1 : Démarrage direct

a- Les avantages :

- L'installation est très simple ;
- Le couple de démarrage (C_d) élevé ($C_d=0,5$ à $1,5$ fois le couple nominale : C_n) ;
- Démarrage rapide ;
- Prix faible.

b- Les inconvénients :

- Le courant de décollage important ;
- L'appel de courant risque de perturber le fonctionnement des appareils branchés sur la même ligne, à cause de la chute de tension qu'il provoque.

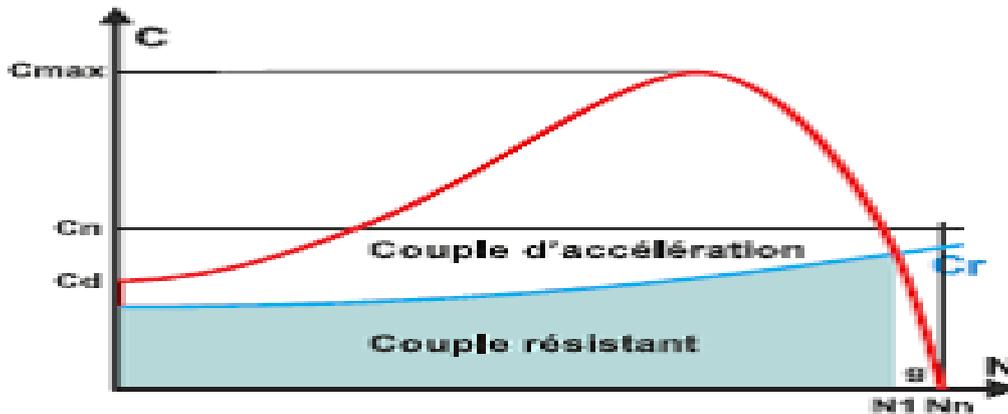


Figure III-2 : Le couple en fonction de la vitesse en démarrage direct [5]

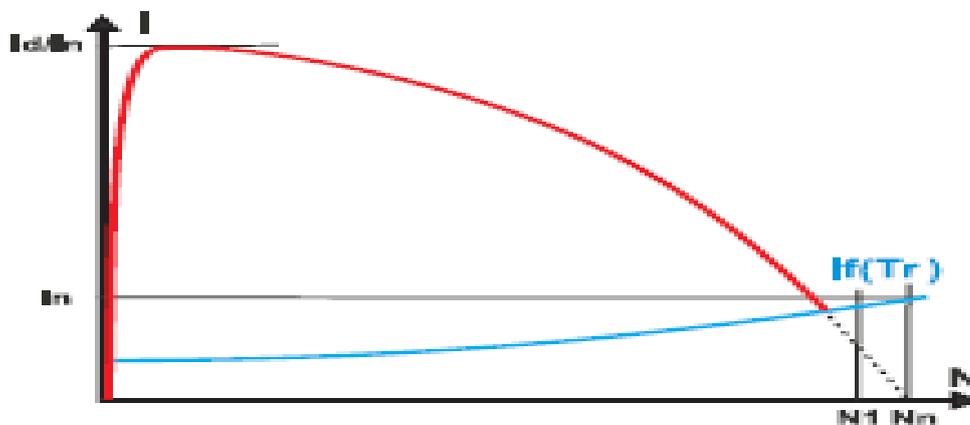


Figure III-3 : Le courant en fonction de la vitesse [5]

III-3-2- Démarrage des moteurs asynchrones triphasés sous tension réduite :

La réduction de la tension d'alimentation diminue l'appel de courant au démarrage, mais réduit aussi le couple qui est proportionnel au carré de la tension d'alimentation

Ce mode de démarrage n'est donc utilisable que pour entrainer des machines ayant un couple résistant (C_r) faible (pompes, ventilateurs, centrifuges,...).

III-3-2-1- Démarrage étoile triangle :

Ce procédé n'est possible que pour les moteurs asynchrones triphasés destinés à fournir leur puissance nominale sous la tension de réseau, lorsque ses enroulements sont couplés en triangle.

Par exemple, pour un réseau de 380V, il faut un moteur bobiné en 380V triangle et 660V en étoile.

Il consiste à démarrer le moteur en couplant ses enroulements en étoile pendant le démarrage, puis à rétablir le couplage en triangle, ce qui revient à diviser la tension nominale du moteur en étoile par $\sqrt{3}$, (pour l'exemple précédent : La tension au démarrage $380V = 660V / \sqrt{3}$)

Le point de courant de démarrage est réduite de 3 fois, $I_d = 1,5 \text{ à } 2,6 I_n$, ainsi que le couple $C_d = 0,2 \text{ à } 0,5 C_n$.

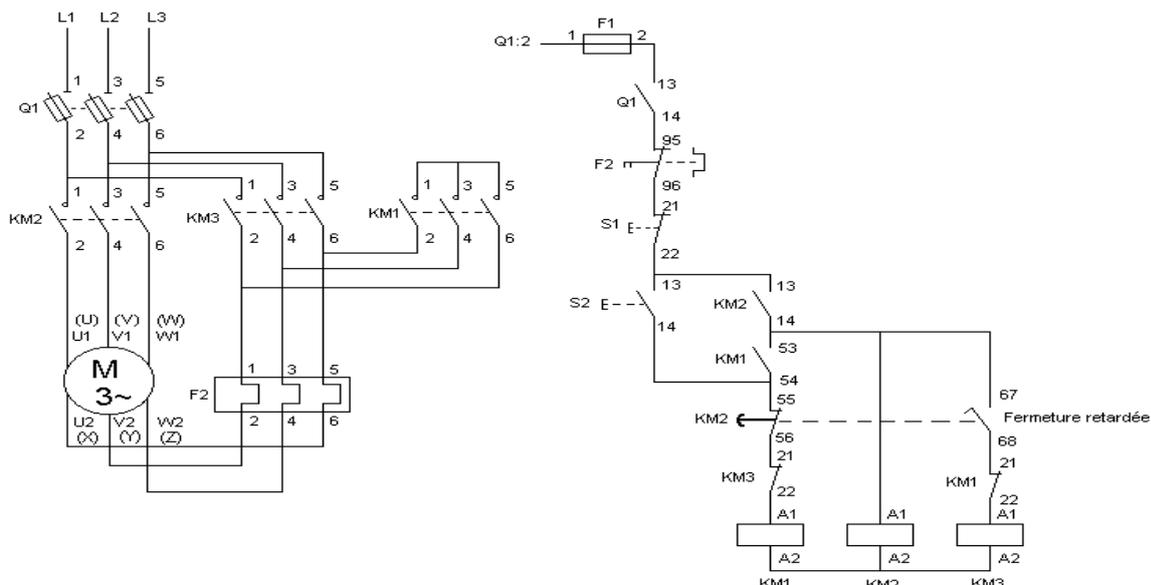


Figure III-4 : Démarrage étoile-triangle

a- Les avantages :

- Réduit le courant au démarrage d'un tiers ;
- Permet une marche sous tension réduite ou faible ce qui améliore le facteur de puissance ($\cos\phi$).

b- Les inconvénients :

- coupure de courant quand, on change le couplage ;
- Deuxième appel de courant qui est important au changement de couplage.

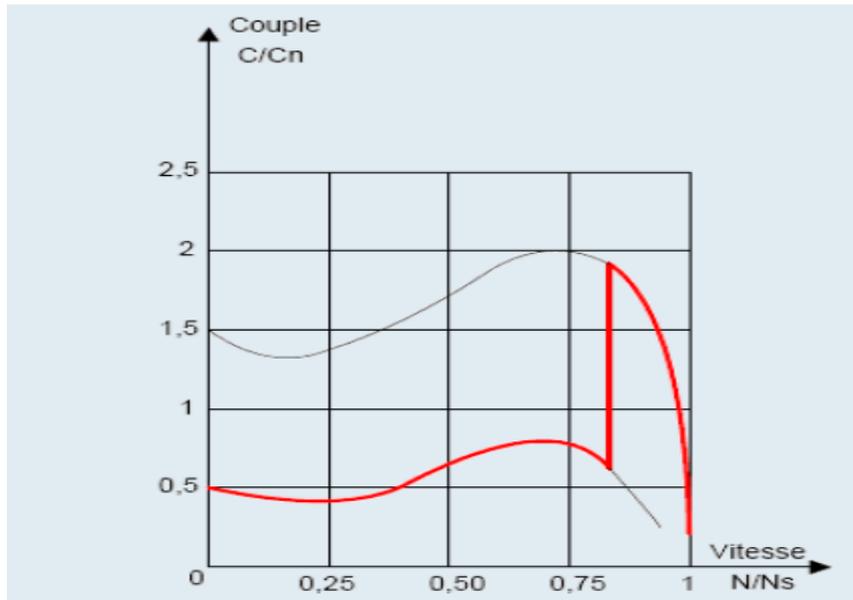


Figure III-5 : Le couple en fonction de la vitesse pour le couplage étoile triangle

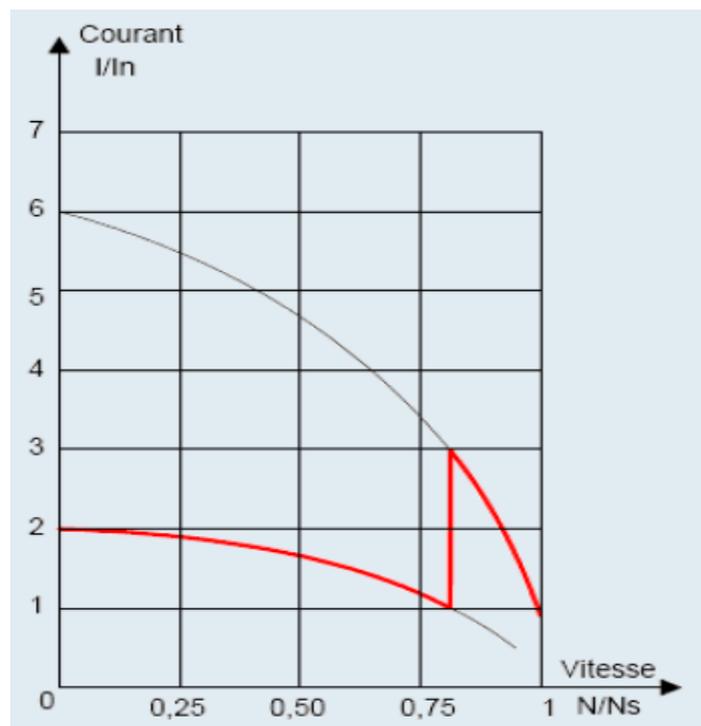


Figure III-6 : Le courant en fonction de la vitesse pour le couplage étoile triangle

III-3-2-2-Démarrage statorique par insertion de résistances :

Le principe consiste à démarrer le moteur sous tension réduite, en insérant des résistances en série avec les enroulements statoriques. Lorsque la vitesse se stabilise, les résistances sont éliminées et le moteur est couplé directement sur le réseau.

Dans ce mode de démarrage, le couplage des enroulements du moteur n'est pas modifié. Il n'est donc pas nécessaire que les deux extrémités de chaque enroulement soient sorties sur la plaque à bornes. La valeur de la résistance est calculée en fonction de la pointe de courant au démarrage à ne pas dépasser, ou de la valeur minimale du couple de démarrage nécessaire compte tenu du couple résistant de la machine entraînée. En général, les valeurs du courant et du couple de démarrage sont :

$$- I_d = 4.5 I_n$$

$$- C_d = 0.75 C_n$$

Pendant la phase d'accélération avec les résistances, la tension appliquée aux bornes du moteur n'est pas constante. Cette tension est égale à la tension du réseau diminuée de la chute de tension dans la résistance de démarrage.

La chute de tension est proportionnelle au courant absorbé par le moteur.

Comme le courant diminue au fur et à mesure de l'accélération du moteur, il en est de même pour la chute de tension dans la résistance. La tension appliquée aux bornes du moteur est donc minimale au moment du démarrage, et elle augmente progressivement.

Le couple étant proportionnel au carré de la tension aux bornes du moteur, il augmente plus rapidement que dans le démarrage étoile-triangle où la tension reste fixe pendant tout le temps du couplage étoile.

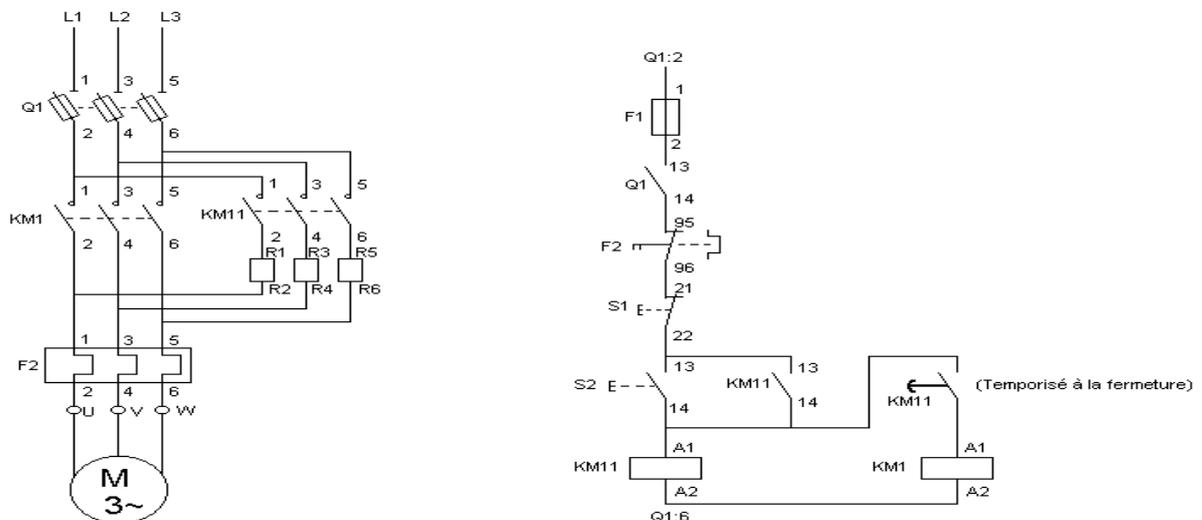


Figure III-7 : Démarrage par insertion de résistances statorique

a- les avantages :

-Il n'y a pas de risque des phénomènes transitoires, car l'élimination des résistances statorique se fait sans l'interruption de l'alimentation.

- Pas de coupure d'alimentation au démarrage.

b- Les inconvénients :

- Pointe de courant importante au démarrage.
- Une chute de tension importante aux bornes du moteur et par conséquent une diminution du couple de démarrage.
- Nécessite des résistances volumineuses.

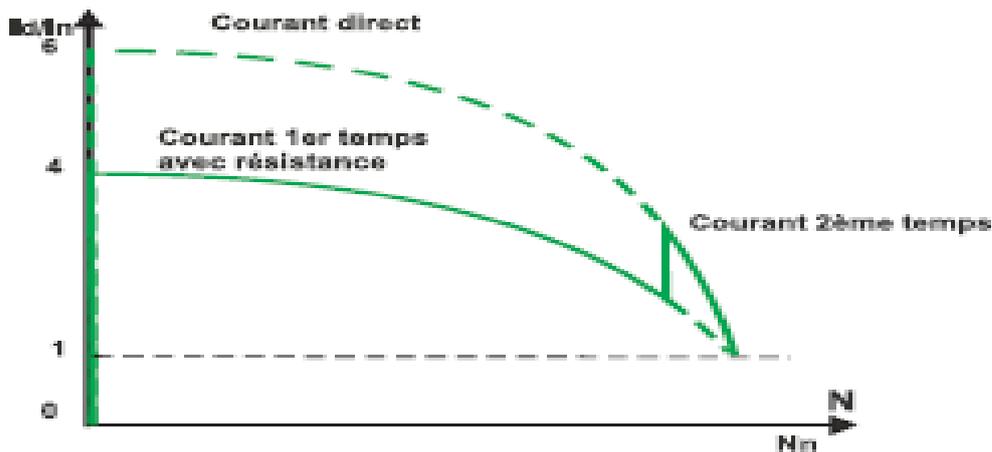


Figure III-8 : Le courant en fonction de la vitesse pour le démarrage par insertion de résistances [5]

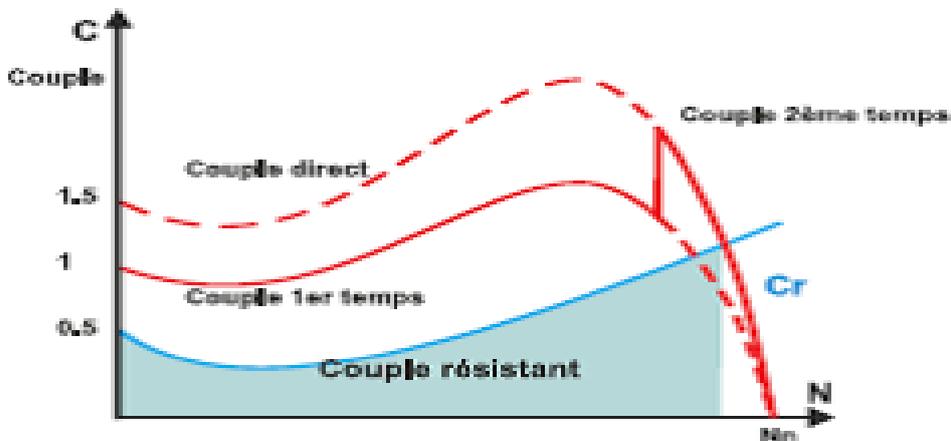


Figure III-9 : Le couple en fonction de la vitesse pour le démarrage par insertion de résistance [5]

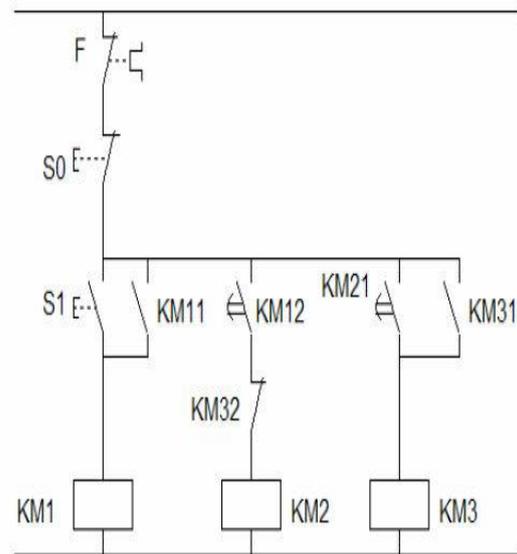
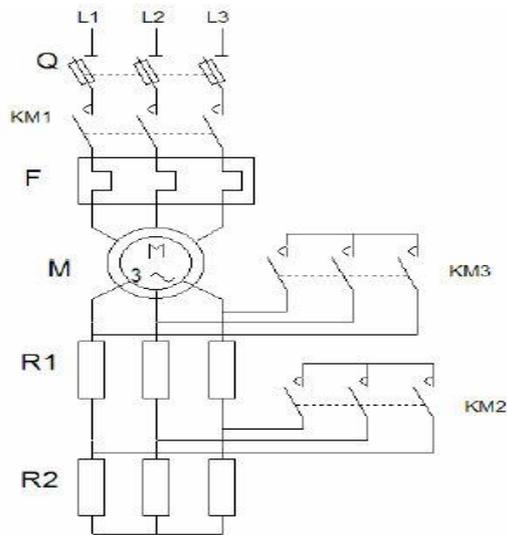
III-3-2-3-Démarrage par insertion des résistances rotorique

Ca car est réservé aux moteurs asynchrones à rotor bobiné, le démarrage peut s'effectuer en insérant des résistances en série avec le bobinage rotorique, tout en alimentant le stator sous la pleine tension réseau. De fait le couple de démarrage augmente alors que le courant dans le stator diminue. [5]

a- Cas d'utilisation : ce mode de démarrage convient aux

- machines à démarrage en charge
- machine à démarrage progressif

b-Circuit de puissance et Circuit de commande



III-10-Circuit de puissance et de commande de démarrage par élimination des résistances rotorique

- **avantages**

- Très bon rapport couple/courant
- Possibilité de réglage des valeurs au démarrage
- Pas de coupure d'alimentation

- **inconvénients**

- Moteur a bagues plus onéreux
- Nécessite des résistances

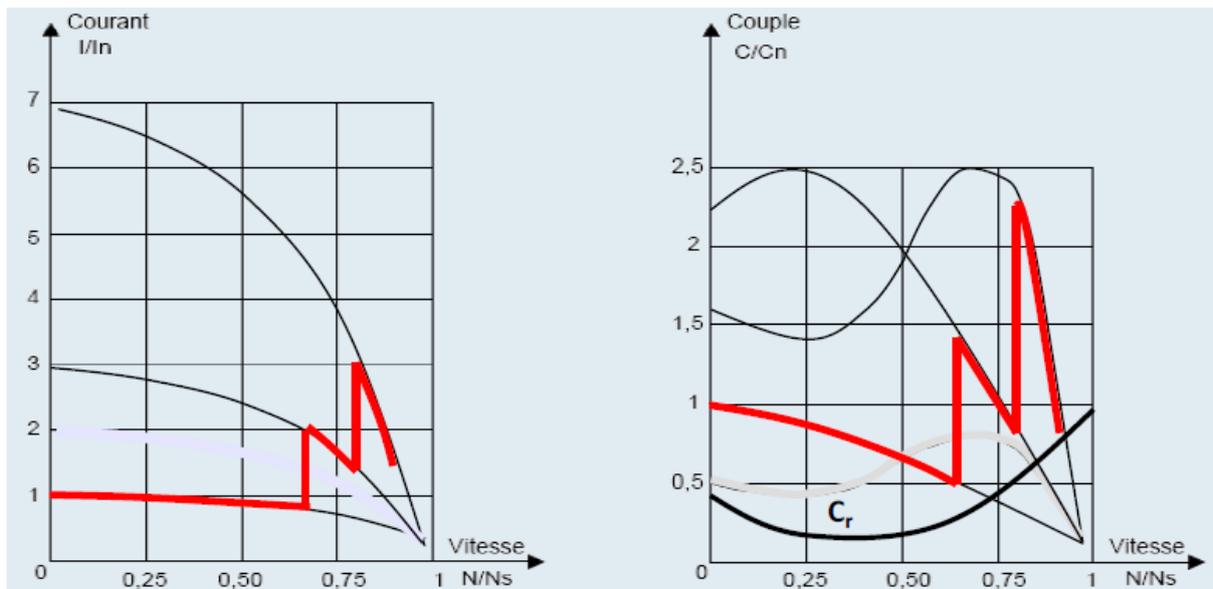


Figure III-11: Le couple et le courant en fonction de la vitesse pour le démarrage par insertion de résistance rotorique [5]

III-3-2-4-Démarrage par autotransformateur :

Le moteur est alimenté sous tension réduite par l'intermédiaire d'un autotransformateur qui est mis hors circuit quand le démarrage est terminé. Le démarrage s'effectue en trois temps :

- au premier temps, l'autotransformateur est d'abord couplé en étoile, puis le moteur est couplé au réseau à travers une partie des enroulements de l'autotransformateur.

Le démarrage s'effectue sous une tension réduite qui est fonction du rapport de transformation.

L'autotransformateur est généralement muni de prises permettant de choisir le rapport de transformation, donc la valeur de la tension réduite la mieux adaptée,

- avant de passer au couplage pleine tension, le couplage étoile est ouvert. La fraction de bobinage raccordée au réseau constitue alors une inductance en série avec le moteur. Cette opération est effectuée lorsque la vitesse d'équilibre est atteinte à la fin du premier temps,

- le couplage pleine tension intervient après le deuxième temps généralement très court (de l'ordre d'une fraction de seconde). La portion de bobinage de l'autotransformateur en série avec le moteur est court-circuitée, puis l'autotransformateur est mis hors circuit.

Le courant et le couple de démarrage varient dans les mêmes proportions.

Le démarrage s'effectue sans qu'il y ait interruption du courant dans le moteur.

De ce fait, les phénomènes transitoires liés à une telle interruption n'existent pas.

En revanche, si certaines précautions ne sont pas prises des phénomènes transitoires de même nature peuvent apparaître lors du couplage sous pleine tension. En effet, la valeur de l'inductance en série avec le moteur, après ouverture du couplage étoile, est grande par rapport à celle du moteur. Il s'ensuit une chute de tension importante qui entraîne une pointe de courant transitoire élevée au moment du couplage sous pleine tension. Pour

éviter cet inconvénient, le circuit magnétique de l'autotransformateur comporte un entrefer dont la présence conduit à une diminution de la valeur de l'inductance. Cette valeur est calculée de telle façon qu'au moment de l'ouverture du couplage étoile au deuxième temps, il n'y ait pas de variation de tension aux bornes du moteur.

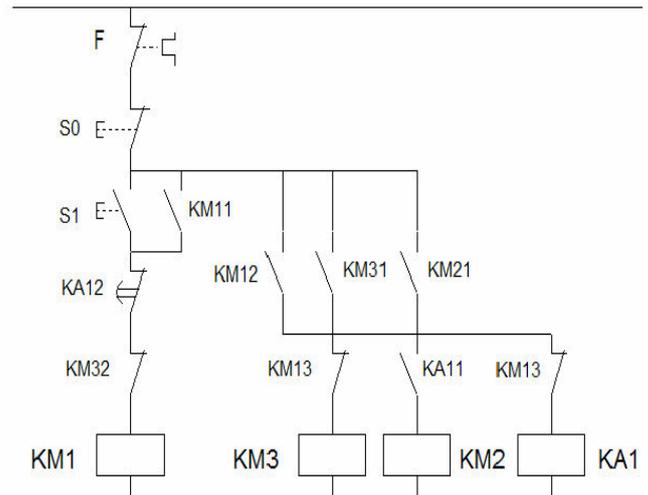
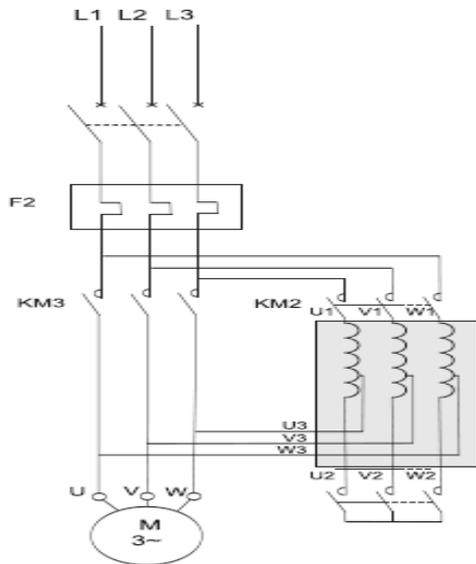


Figure III-12 : Le démarrage par autotransformateur

a- Les avantages :

- Ce démarrage s'effectue sans interruption de courant.
- Permet un démarrage sous tension réduite.
- Réduit les pics de courant au démarrage.

b- Les inconvénients :

- Les phénomènes transitoires peuvent apparaître lors du couplage pleine tension si certaines précautions ne sont pas prises.

Ce mode de démarrage est généralement utilisé en BT pour des moteurs de puissance supérieure à 150 kW. Mais il conduit à des équipements relativement coûteux en raison du prix élevé de l'autotransformateur.

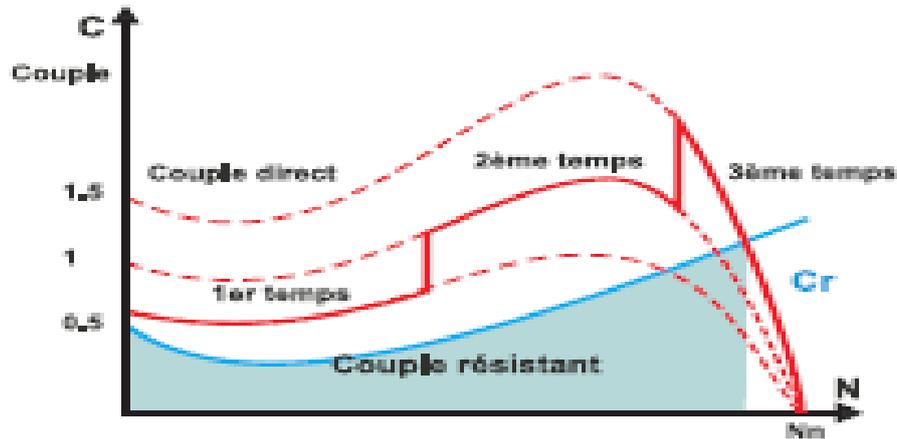


Figure III-13 : Le couple en fonction de la vitesse dans le démarrage par autotransformateur [5]

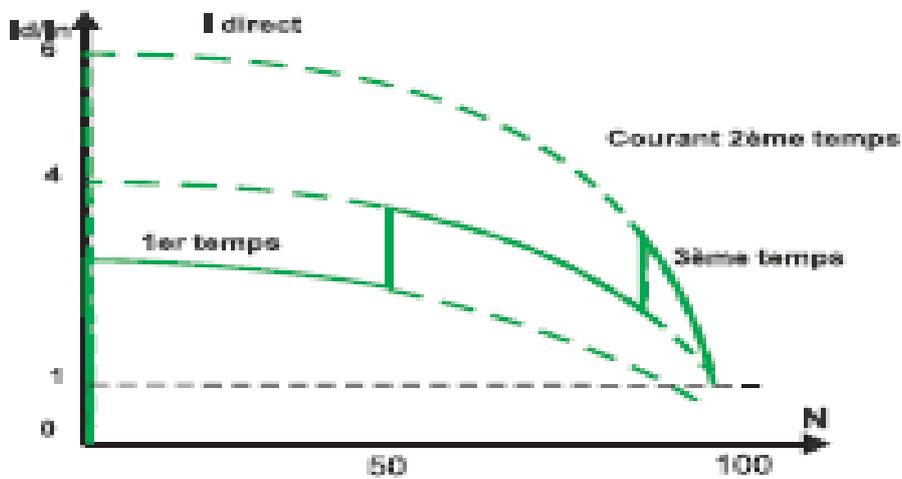


Figure III-14 : Le couple en fonction de la vitesse dans le démarrage par autotransformateur [5]

III-3-2-5- Démarrage électronique (soft starter) :

Le démarrage du moteur asynchrone triphasé se fait par la montée progressive de la tension, ce qui permet la réduction de la pointe de courant.

Ce type de démarrage est réalisé par l'intermédiaire d'un gradateur à thyristors montés tête-bêche deux dans chaque phase du réseau.

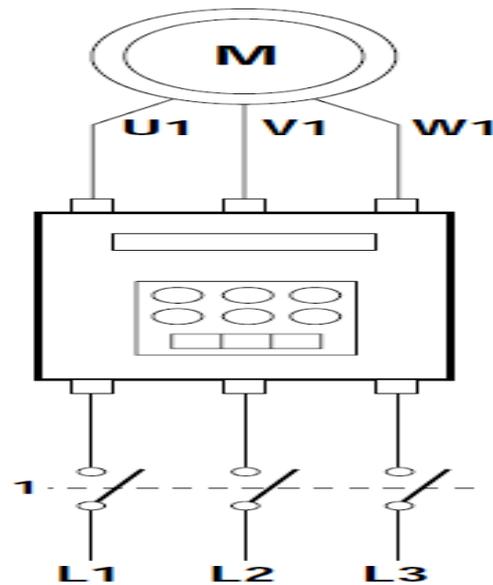


Figure III-15 : Démarrage d'un moteur avec un démarreur électronique

a- les avantages :

- la maîtrise des caractéristiques de fonctionnement.
- la protection thermique du moteur et du démarreur.
- La protection mécanique de la machine entraînée par la réduction de courant du démarrage.
- Il permet une décélération progressive.

b- les inconvénients :

- Générer les perturbations harmoniques.

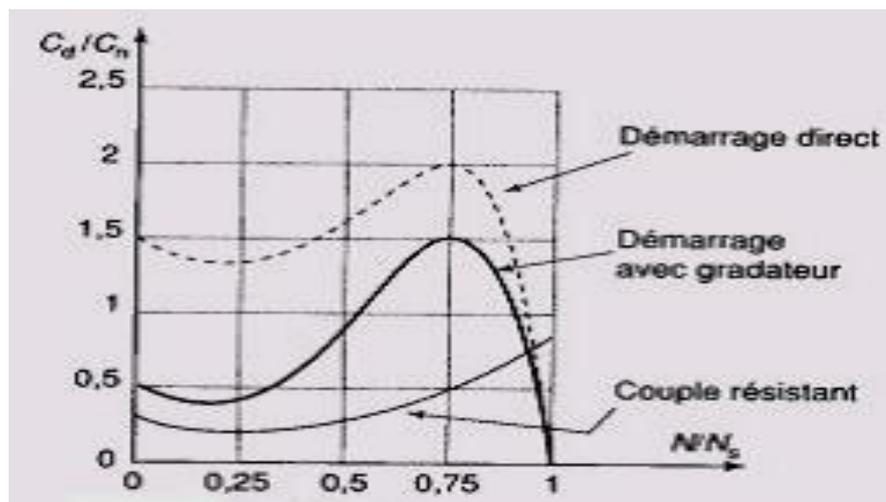


Figure III-16 : Le couple en fonction de la vitesse pour le démarrage électronique

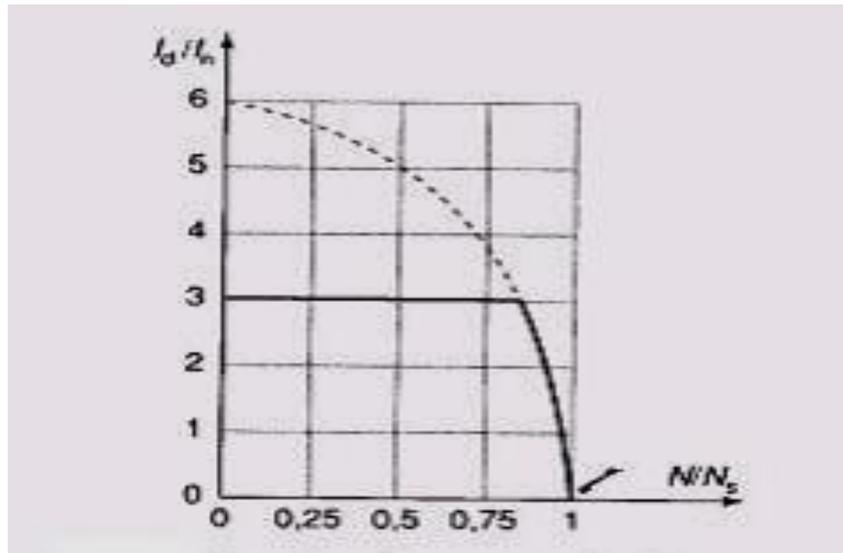


Figure III-17 : Le courant en fonction de la vitesse pour le démarrage électronique

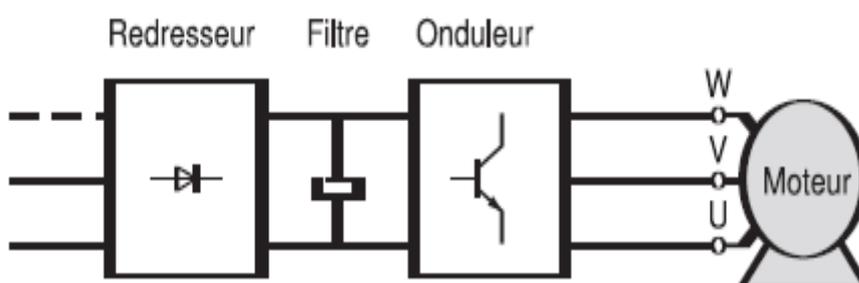
III-3-3-Démarrage par convertisseur de fréquence

C'est un mode de démarrage performant utilisé dès qu'il est nécessaire de contrôler et de faire varier la vitesse ; Il permet entre autre :

- de démarrer des charges de forte inertie,
- de démarrer des charges importantes sur un réseau de faible pouvoir de court-circuit,
- d'optimiser la consommation d'énergie électrique en fonction de la vitesse sur les turbomachines.

Ce type de démarrage s'applique sur tous types de machines.

Cette solution est utilisée pour le réglage de la vitesse du moteur et accessoirement pour le démarrage.



III-3-4-Démarrage des moteurs asynchrones triphasés à doubles cages :

Ce type de moteur comporte un stator normal et un rotor à doubles cages concentriques. Au décollage la fréquence des courants rotoriques est égale à la fréquence du réseau, donc le courant circule dans la cage extérieure qui est plus résistante, mais pendant le démarrage la fréquence de ces courants diminue jusqu'à ce qu'elle devienne faible en marche normale.

La cage extérieure produit le maximum du couple au décollage, alors que le couple nominale se produit par celle de l'intérieur.

a- Les avantages :

- courant de décollage moins important que pour un moteur à simple cage de même puissance ;
- le couple de démarrage beaucoup plus important ;
- le rendement est bon.

b- Les inconvénients :-facteur de puissance est plus faible que celui d'un moteur à simple cage.

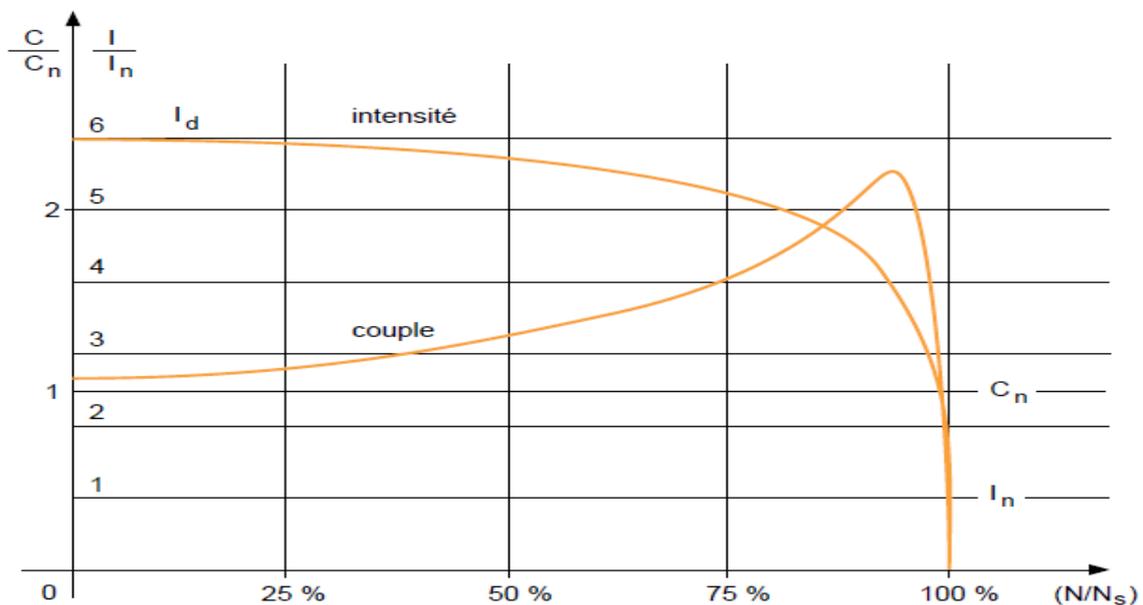


Figure III-18: courbes $C(N)$ et $I(N)$ en fonction de la vitesse d'un moteur asynchrone à double cages [14]

Le tableau suivant résume les différents types de démarrage en fonction : du moteur à qui on l'applique, du coût, du courant de démarrage, des harmoniques de tension et de courant.

	Démarrage direct	Démarrage étoile triangle	Démarrage statorique	Démarrage par auto transformateur	Démarrage rotorique	Démarrage électronique
Courant de démarrage	100%	33%	50%	40/65/80%	70%	150 à 750%
Surcharge en ligne	4 à 8 In	1.3 à 1.6 In	4.5 In	1.7 à 4 In	<2.5 In	
Couple en % de Cd	100%	33%	50%	40/65/80%		10 à 50% (50 à 100% en 100ms)
Couple initiale au démarrage	0.6 à 1.5 C _n	0.2 à 0.5 C _n	0.6 à 0.85 C _n	0.4 à 0.85 C _n	0.4 à 0.85 C _n	<2.5 C _n
avantages	- démarreur simple et économique - couple au démarrage important	- économiques - bon rapport couple/courant	- possibilités de réglages des valeurs au démarrage	- bon rapport couple / courant - possibilités de réglages des valeurs au démarrage	- très bon rapport couple/courant - possibilité de réglage des valeurs au démarrage	- Démarrage sans à coup - montée progressive en vitesse - limitation de l'appel de courant au démarrage
inconvénients	- pointe de courant très importante - démarrage brutal	- couple de démarrage faible - coupure d'alimentation au changement de	- faible réduction de la pointe de courant au démarrage	- nécessite une auto transformatrice onéreuse - présente des	- moteur à bague plus onéreux	- prix

Figure III-19 : Tableau des différents types de démarrage des moteurs asynchrones

III-4-Le freinage des moteurs asynchrones triphasés :

Le fonctionnement d'un système industriel peut nécessiter pour le moteur d'entraînement:

- Un ralentissement
- Un freinage
- Un maintien à l'arrêt

Pour cela, on utilise des systèmes de freinage électromécanique ou électronique.

- Il s'agit d'un frein à disque incorporé au moteur, on appelle l'ensemble moteur frein

III-5-1-Freinage électromécanique des moteurs asynchrones:

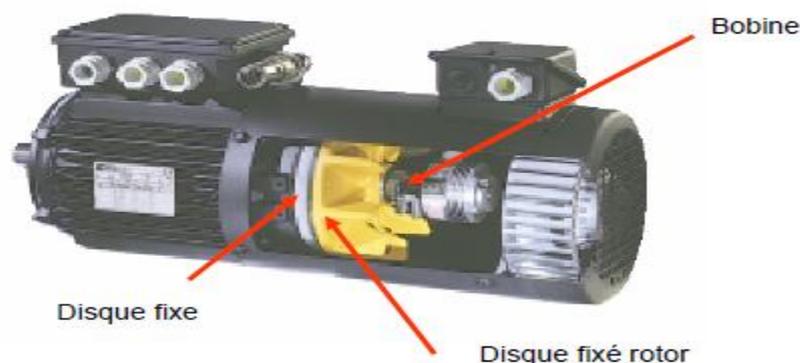


Figure III-20 : freinage électromécanique

Fonctionnement:

- Une bobine commande le déplacement d'un disque bloqué en rotation.
- Ce disque vient en contact avec un disque fixé sur le rotor du moteur.
- Le frottement des deux disques provoque le ralentissement du moteur

Pour cela il existe deux possibilités:

- Frein à manque de courant
- Frein à présence de courant

a) Frein à manque de courant :

Dés que la bobine de commande du frein n'est plus alimentée, le disque n'est plus maintenu et le freinage s'effectue. Ce type de frein est utilisé lorsque le maintien dans une position définie à l'arrêt est demandé.

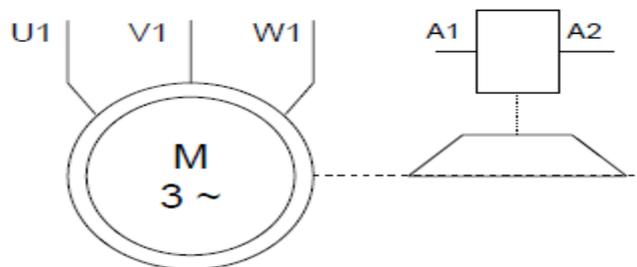


Figure III-21 : freinage à manque de courant

b) Frein à présence de courant:

Le freinage a lieu dès que la bobine de commande du disque est alimentée

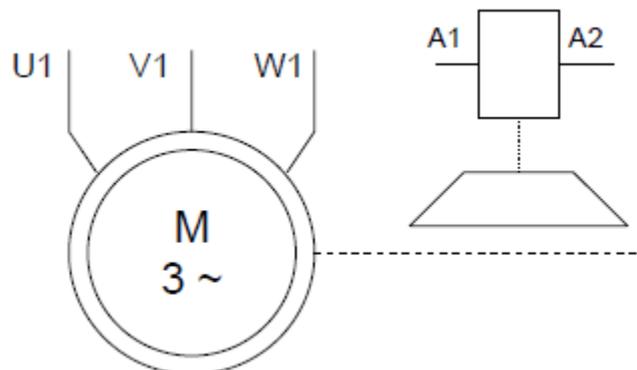


Figure III-22 : freinage à présence de courant

III-5-2-Freinage électrique des moteurs asynchrones :

III-5-2-1-Freinage par contre courant : Le principe consiste, après avoir isolé le moteur du réseau alors qu'il tourne encore, à le reconnecter sur le réseau en sens inverse. C'est un mode de freinage très efficace avec un couple, en général supérieur au couple de démarrage, qui doit être arrêté suffisamment tôt pour éviter que le moteur ne reparte en sens inverse.

Divers dispositifs automatiques sont employés pour commander l'arrêt dès que la vitesse s'approche de zéro :

- détecteurs d'arrêt à friction, détecteurs d'arrêt centrifuges,
- dispositifs chronométriques,
- relais de mesure de la fréquence ou de la tension au rotor (rotor bobiné), etc.

a)-moteur à cage :

Avant d'adopter ce système, il faut absolument s'assurer que le moteur est capable de supporter des freinages en contre-courant avec le service envisagé.

L'énergie correspondant à chaque freinage (énergie de glissement prise au réseau et énergie cinétique) étant dissipées dans la cage. Les sollicitations thermiques, pendant le freinage sont trois fois plus importantes que pour une mise en vitesse.

Au moment du freinage, les pointes de courant et de couple sont nettement supérieures à celles produites lors du démarrage.

Afin d'obtenir un freinage sans brutalité, on insère souvent, lors du couplage en contre-courant, une résistance en série avec chaque phase du stator. Le couple et le courant sont alors réduits comme dans le cas du démarrage statorique.

Les inconvénients du freinage par contre-courant d'un moteur à cage sont tels que, ce procédé n'est utilisé que sur certaines applications avec des moteurs de faible puissance.

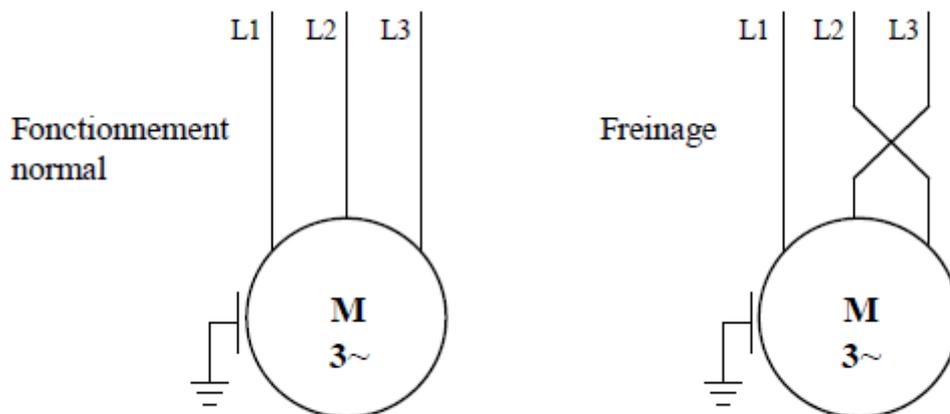


Figure III-23 : Freinage des moteurs à cages par contre courant

Les inconvénients :

- Il impose en plus des contraintes mécaniques, des contraintes thermiques qui sont dissipées dans la cage.
- Il n'est utilisé que sur certaines applications avec des moteurs de faible puissance.

b)-Moteur à bagues

Afin de limiter la pointe de courant et de couple, il est impératif, avant de coupler le stator du moteur en contre-courant, de réinsérer des résistances rotorique ayant servi au démarrage, et souvent même d'ajouter une section supplémentaire dite de freinage .

Le couple de freinage peut être facilement réglé à la valeur désirée en choisissant une résistance rotorique convenable.

Au moment de l'inversion, la tension rotorique est presque le double de la tension rotorique à l'arrêt, ce qui impose quelque fois des précautions particulières d'isolement.

Comme pour les moteurs à cage, une énergie importante est produite dans le circuit rotorique. Elle est dissipée en totalité (aux pertes près) dans les résistances.

La commande automatique de l'arrêt à la vitesse nulle peut être faite par l'un des dispositifs cités plus haut, ou bien par l'action d'un relais de tension ou de fréquence inséré dans le circuit rotorique.

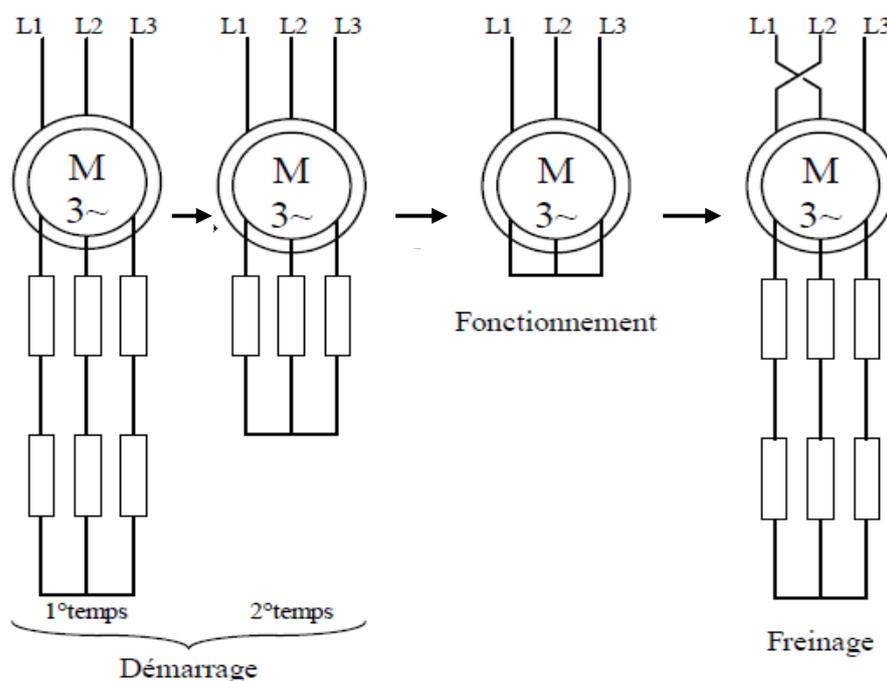


Figure III- 24 : Freinage par contre courant d'un moteur asynchrone

Les inconvénients :

- Au moment de l'inversion, la tension rotorique est presque le double de celle-ci à l'arrêt, ce qui impose quelques fois des précautions particulières d'isolement.

- Une énergie importante est produite dans le circuit rotorique est dissipée en grande partie dans les résistances.

III-5-2-2-Freinage par injection de courant redressé :

Ce mode de freinage est utilisé pour les moteurs à cage et à bagues. Il consiste à envoyer un courant redressé dans le stator préalablement séparé du réseau. Le courant redressé (continu) circulant dans le stator crée un flux fixe dans l'espace. Ce courant doit être environ 1.3 fois le courant nominal, pour que la valeur du flux soit suffisante pour le freinage du moteur. La valeur de ce courant étant fixée par la seule résistance du stator, sa source est généralement constituée des redresseurs ou fournie par des variateurs.

Cette source doit supporter les surintensités transitoires résultantes par la déconnexion des enroulements du réseau alternatif.

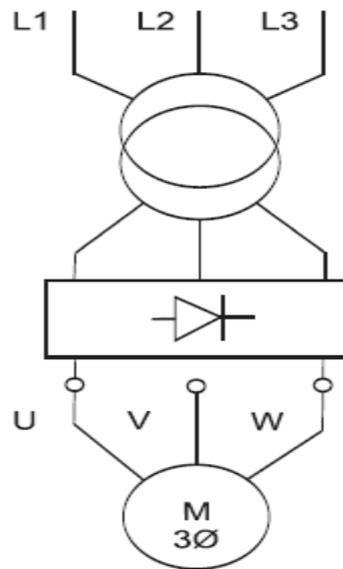


Figure III- 25 : Freinage par injection de courant redressé

a- Les avantages :

- Ce procédé de freinage est réalisé sans supplément de coût.
- L'énergie dissipée dans les résistances rotoriques ou dans la cage est moins importante.
- Dans le cas d'un moteur à cage, il permet de régler facilement le couple de freinage en agissant sur le courant d'excitation.

b- Les inconvénients :

- Si la charge n'est pas entraînée, le moteur ne redémarre pas en sens inverse.

III-5-3-Freinage par fonctionnement en hyper-synchrone :

C'est le cas où le moteur est entraîné par sa charge au-dessus de la vitesse de synchronisme. Il se comporte alors comme une génératrice asynchrone et développe un couple de freinage. Aux pertes près, l'énergie est récupérée par le réseau.

Sur un moteur de levage, la descente de la charge à la vitesse nominale correspond à ce type de fonctionnement. Le couple de freinage équilibre alors exactement le couple dû à la charge et amène non pas un ralentissement, mais une marche à vitesse constante.

S'il s'agit d'un moteur à bagues, il est essentiel de court-circuiter tout ou une partie des résistances rotoriques, pour éviter que le moteur ne soit entraîné très au-delà de sa vitesse nominale, avec les risques mécaniques que cela comporterait.

a- Les avantages :

- la vitesse est stable,
- l'énergie est récupérée et renvoyée au réseau.
- Le freinage en hyper-synchrone est aisément réalisable avec un variateur de vitesse électronique

b- Les inconvénients :

Il ne correspond cependant qu'à une seule vitesse, c'est-à-dire approximativement à la vitesse nominale.

.III-5-4-Freinage électronique

Ce freinage consiste, après avoir déconnecté le moteur de l'alimentation, à injecter un courant continu en TBT (20 à 24V) entre deux bornes du stator. Cela entraîne la production d'un couple résistant qui s'oppose au couple rotor. On appelle ce type de freinage « Freinage à injection de courant continu ».

- Plus que la valeur du courant est importante, plus le moteur est freiné
- Certain de ces modules de freinage sont des options des démarreurs progressifs, d'autres y sont directement incorporé, il s'agit alors de démarreur ralentisseur progressif.



Figure III-26 : Démarreur ralentisseur progressif

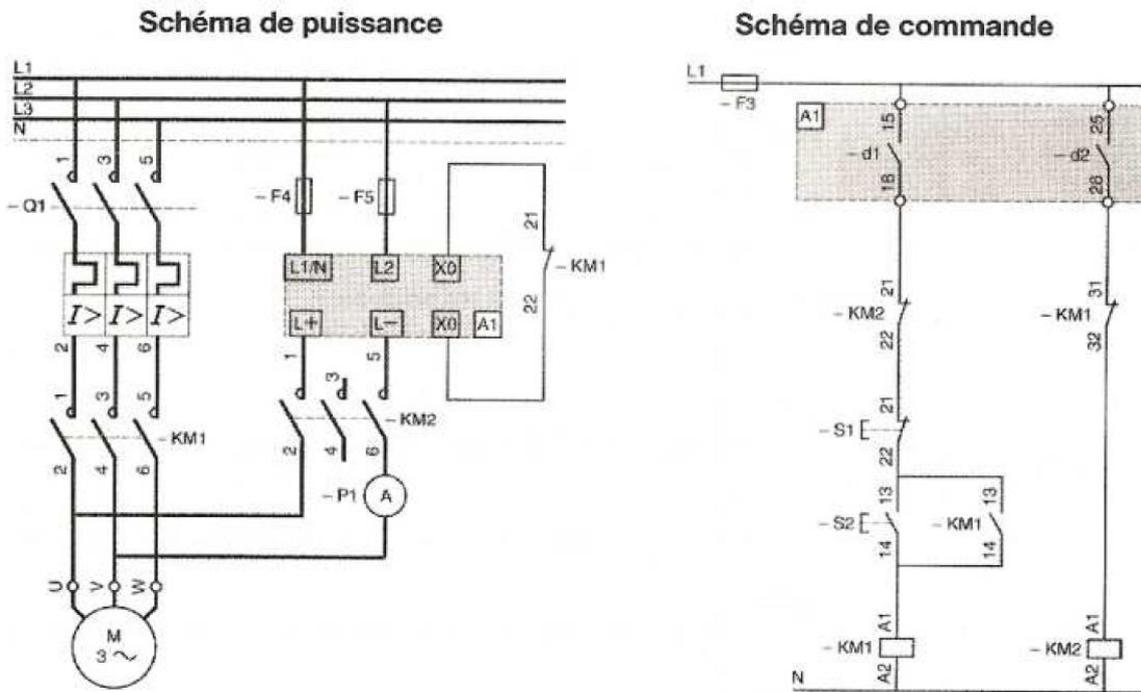


Figure III-27 : Freinage électronique

III-6-Conclusion :

Ce chapitre est consacré aux différents types de démarrage et de freinages des moteurs asynchrones, il faut trouver le meilleur moyen de limiter l'appel du courant important au démarrage qui peut provoquer la détérioration du moteur. Pour chaque cas d'utilisation, on doit adapter le mode de démarrage et de freinage le plus adéquat.

APPLICATION

Introduction

Pour mettre en évidence notre étude, on se propose d'étudier l'exemple suivant : dimensionnement des dispositifs de protection d'un moteur asynchrone triphasé utilisé à l'office national d'assainissement (ONA) station de traitement des eaux usés. Les caractéristiques de ce moteur sont représentées sur la plaque signalétique suivante :



Figure IV-1 : La plaque signalétique du moteur [1[]]

Le moteur sert à entrainer un surpresseur RBS qui est un surpresseur volumétrique constitué de deux rotors à profil conjugué, qui tournent dans une chambre de compression en forme de huit.

Le gaz entre dans le surpresseur à la pression P_1 et à une température T_1 est aspiré dans la chambre et ensuite expulsé au refoulement P_2 avec une température T_2 .

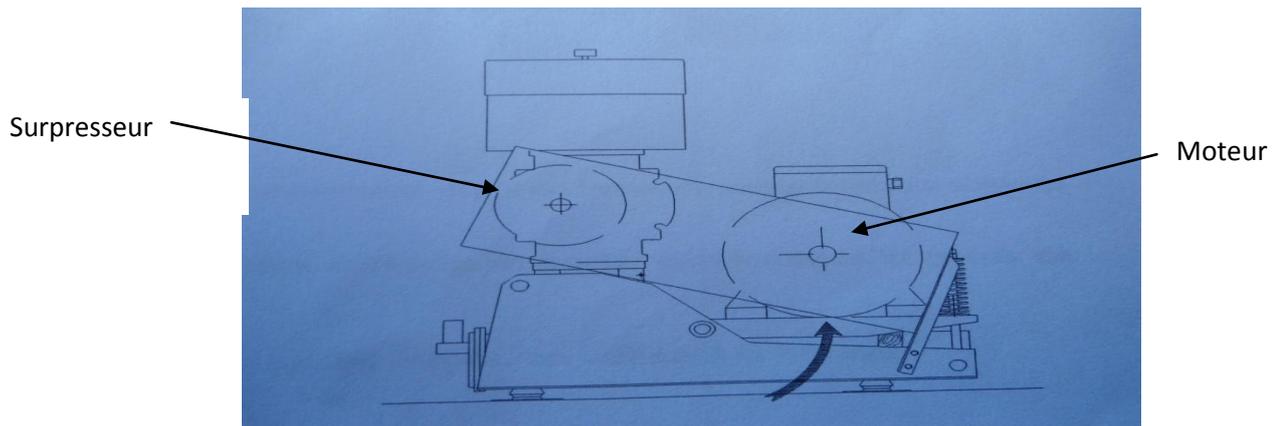
Le débit aspiré est proportionnel à la vitesse de rotation et il est pratiquement constant quant la pression de refoulement varie

Avec : P_1 pression d'entrée

P_2 pression de refoulement

T_1 température d'entrée

T_2 température de refoulement

**Données du problème :**

Les caractéristiques de notre moteur selon sa plaque signalétique sont :

Tension d'alimentation 400 V

- fréquence 50 Hz ;
- $P_N = 18.5\text{kW}$
- $U = 400\text{ V}$
- $N = 3000\text{ tr/mn}$,
- Démarrage étoile -triangle un sens de marche ;
- Circuit de commande : alimenté en 24 V AC.

Les conditions qui déterminent les différentes étapes à respecter lors de l'étude d'une installation sont :

1. Détermination des calibres I_n des protections
2. Détermination des sections de câbles
3. Détermination de la chute de tension par rapport au maximum admissible
4. Détermination des courants de court-circuit

Après l'étude, nous allons choisir les dispositifs de protection

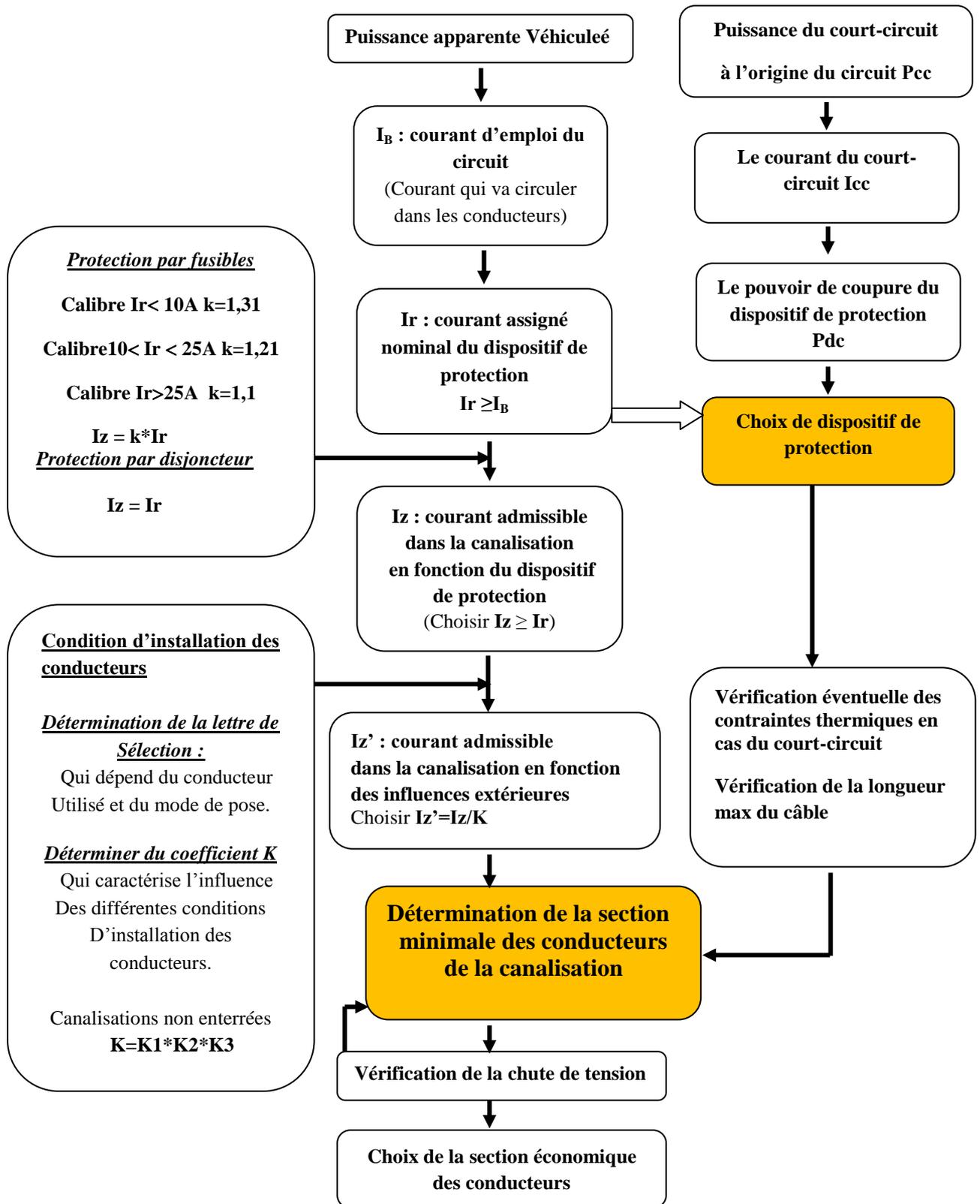


Figure IV-2 : Organigramme du choix de la section des conducteurs [15]

I- Détermination des sections des conducteurs: [15]

On se basant sur l'organigramme du choix de la section des conducteurs et du dispositif de protection (figure IV-2), on procédera à la détermination des sections des conducteurs des canalisations à base des puissances d'utilisation ou des courants maximums absorbés.

On détermine le courant maximal d'emploi I_B et on déduit le courant assigné I_r du dispositif de protection auquel on appliquera des corrections selon des facteurs soit du type de protection ou du mode de pose et d'influence extérieure, on obtiendra un courant admissible dans les différents canalisations I_z' , auquel on associe le type d'isolation et la nature de la matière du conducteur pour déterminer les sections des conducteurs.

I-1-Calcul du courant d'emploi I_B :

Le courant d'emploi I_B est le courant véhiculé dans les circuits pour alimenter les différentes charges,

La méthode de détermination du courant maximal d'emploi, s'appuie sur la connaissance de la puissance de chaque circuit d'utilisation, pour lesquels sont attribués différents coefficients.

$$I_B = P_u * a * K_c * K_s * K_u * K_e \quad (1)$$

Avec :

P_u : puissance utile en (kW)

a : facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement

K_s : facteur d'utilisation des appareils

K_u : facteur de simultanéité

K_e : facteur tenant compte des prévisions d'extension.

a-Le facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement (a) :

Le facteur (a) est calculé à base du rendement et le facteur de puissance du circuit considéré

$$a = \frac{1}{\eta * \cos \varphi}$$

$$a = \frac{1}{0,9 \times 0,83} = 1,33 \quad (2)$$

b- Le facteur de conversion des puissances en intensités (K_c) :

Le facteur de conversion de la puissance en intensité est le courant absorbé par un récepteur de 1kW de puissance en triphasé sous 400V.

$$P = U \cdot I_b \cdot \sqrt{3}$$

Avec : $I_b = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3}}$ P en (kW) et I_b en (A)

$$I_b = \frac{1000}{400 \cdot \sqrt{3}} = 1,44 \text{ A}$$

De là : $I_b = K_c = 1,44 \text{ A}$ (3)

c- Le facteur d'utilisation des appareils (K_u) :

Dans une installation industrielle, on suppose que les récepteurs ne seront jamais utilisés à pleine puissance alors on introduit un facteur d'utilisation (K_u) qui varie généralement entre 0,3 et 1.

A défaut de précision, on peut prendre :

K_u = 0,75 pour les moteurs

K_u = 1 pour l'éclairage et le chauffage

Dans notre cas K_u = 0,75 (4)

d- Le facteur de simultanéité(K_s) :

Dans une installation industrielle, les récepteurs alimentés par une même canalisation, ne fonctionnent pas simultanément dans tous les cas.

Pour tenir compte de ce phénomène, qui reste lié aux conditions d'exploitation de l'installation, dans le dimensionnement des liaisons, on applique à la somme des puissances des récepteurs le facteur de simultanéité, qui représente le rapport des charges globales et les charges maximales simultanées.

En l'absence d'indications précises résultant de l'expérience d'exploitation d'installations type, les valeurs du tableau suivant peuvent être utilisées :

Utilisation	Le Facteur de simultanéité (c)
Eclairage	1
Chauffage et conditionnement d'air	1
Prises de courant	0,1 à 0,2 (pour un nombre > 20)
Autres cas	1

Tableau de facteur de simultanéité(Ks) [15]

Dans notre cas $k_s = 1$ (5)

e- Le facteur tenant compte des prévisions d'extension (Ke) :

La valeur du facteur (Ke) doit être estimée suivant les conditions prévisibles d'évolution de l'installation ; il est au moins égal à 1.

A défaut de précision, la valeur 1,2 est souvent utilisée. $K_e = 1.2$ (6)

On remplaçant (2), (3), (4), (5) et (6) dans (1)

On aura $I_B = 18,5 \times 1,33 \times 1,44 \times 1,2 \times 0,75 \times 1$

$$I_B = 31,88 \text{ A}$$

I-2 Le courant assigné nominal du dispositif de protection(Ir) :

Le courant assigné d'emploi (Ir) est la valeur maximale du courant ininterrompu que peut supporter un disjoncteur à une température ambiante précise en respectant les limites d'échauffement prescrites, on l'assimile souvent au courant thermique noté Ith.

Les déclencheurs amovibles sont en général réglables, on appelle alors courant de réglage (Ir) le courant maximal que peut supporter le disjoncteur sans déclenchement, c'est ce réglage qui permet d'assurer la protection contre les surcharges, son choix doit satisfaire la règles des courants suivante :

Il faut que le dispositif de protection ne déclenche pas pour les courants d'intensité normale, mais détecte les courants d'ordre supérieur, il doit donc avoir un courant assigné (calibre ou réglage) tel que :

$$I_B \leq I_r \leq I_z$$

En prend $I_r = 32 \text{ A}$

I-3 Le courant admissible Iz :

Comme le montre le l'organigramme de la figure IV-2, le courant admissible dans la canalisation dépend du type de protection appliquée au circuit considéré, notre protection est faite par Fusibles :

La valeur du courant admissible est obtenue par la multiplication du courant de réglage par des coefficients standards déterminés selon Ir:

$$I_z = k * I_r \quad \left\{ \begin{array}{l} K = 1,31 \text{ si } I_r < 10 \text{ A} \\ K = 1,21 \text{ si } 10 < I_r < 25 \text{ A} \\ K = 1,1 \text{ si } I_r > 25 \text{ A} \end{array} \right.$$

Dans notre cas : $I_r > 25 \text{ A}$ alors $K = 1,1$

Donc : $I_z = k \times I_r = 1,1 \times 32 = 35,2 \text{ A}$

I-4 : Le courant admissible en fonction des Influences extérieures Iz' :

Le courant admissible dans la canalisation en fonction des influences extérieures, représente le courant admissible dans la canalisation adapté aux contraintes caractérisant l'influence des différentes conditions d'installation sur les protections des circuits électriques.

Ce courant est calculé à partir de la relation suivante :

$$I_{z'} = \frac{I_z}{K} \quad (7)$$

Dans les circuits non enterrées et protégés par des disjoncteurs ont distinguent trois coefficients qui reflètent l'influence des conditions d'installation à savoir :

$$K = K_1 * K_2 * K_3$$

Avec

K1 : le facteur qui prend en compte le mode de pose.

K2 : le facteur qui prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

K3 : le facteur qui prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.

Mais avant de designer la valeur que va prendre chaque facteur , on doit choisir une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose, le tableau suivant énumère quelques cas qui sont les plus rencontrés dans le domaine industriel.

type de conducteurs	mode de pose	lettre
conducteurs et câbles multiconducteurs	sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré	B
	sous vides de construction, faux plafond	
	sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles.	
	En apparent contre mur ou plafond.	C
→ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées		
câbles multiconducteurs	sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé	E
	fixés en apparent, espacés de la paroi	
	câbles suspendus	
câbles mono conducteurs	sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé	F
	fixés en apparent, espacés de la paroi	
	câbles suspendus	

Tableau de qui dimensionne le type de conducteurs, mode de pose et la lettre [15]

Pour le dimensionnement des sections de nos conducteurs, on choisira le type de conducteurs qui est le cinquième choix du tableau précédent (Conducteurs et câbles multiconducteurs) et pour le mode de pose, on choisira sous conduit, sur chemin de câbles ou tablettes non perforées pour les conducteurs qui correspond à la lettre (C) de sélection

a- Le facteur qui prend en compte le mode de pose K1 :

- a- Selon le mode de pose des conducteurs et leurs isolation, on déterminera le facteur K1 mais à défaut de précision, on peut prendre K1 égal à 1 ce qui est notre cas.

$$K1=1 \quad (1)$$

lettre	cas d'installation	K1
B, C	câbles dans profilés encastrés directement dans matériaux thermiquement isolants	0,70
	conduit encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	câbles multiconducteurs	0,90
	vides de construction et caniveaux	0,95
C	pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	autres cas	1,00

Tableau de qui détermine le facteur de mode de pose [15]

b- Le facteur qui prend en compte l'influence des circuits placés côte à côte K2 :

Dans notre cas, on essaye toujours de séparer le câblage des circuits de commande de ceux de la puissance, afin de limiter l'influence des courants transportés dans les conducteurs les uns contre les autres.

K2=1

(2)

lettre	disposition des câbles jointifs	nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	encastrés ou noyés dans parois	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5	0,45	0,41	0,38
C	simple couche sur murs ou planchers ou tablettes non perforées	1	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	0,7		
	simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
E, F	simple couche sur tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72		
	simple couche sur échelles ou corbeaux	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78		

Tableau qui détermine le facteur K2 [15]

b-Le facteur qui prend en compte la température et la nature de l'isolant K3 :

température ambiante (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0,96
40	<u>0,82</u>	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55		0,61	0,76
60		0,50	0,71

Tableau qui détermine le facteur K3 [15]

Pour notre armoire, on supposera que la température peut atteindre 40°C avec la ventilation qui sera dimensionnée ultérieurement et l'isolation de nos conducteurs est en caoutchouc.

Donc : pour nos conducteurs $K3 = 0.82$ (3)

A partir de (1), (2) et (3)

$$K = K1 \times K2 \times K3 = 1 \times 1 \times 0,82 = 0,82$$

Après avoir déterminé les facteurs K1, K2 et K3 tenant compte des différentes influences sur les conducteurs, on obtiendra le facteur K et on calcule le courant admissible dans la canalisation en fonction des influences extérieures Iz' .

Avec :

$$Iz' = \frac{Iz}{K}$$

Donc (7) $Iz' = \frac{32}{0,82} = 39,24 \text{ A}$

On tenant compte du courant Iz' , la lettre de sélection, la nature de l'isolation, la matière des conducteurs ainsi que le nombre des conducteurs chargés, on détermine la section

exacte ou approchée des conducteurs grâce à un tableau standard utilisé dans le domaine industriel qui est le suivant (figure IV-3). [7]

Lettre de sélection		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)									
		Caoutchouc ou PVC					Butyle ou PR ou éthylène PR				
		B	PVC3	PVC2			PR3		PR2		
Section cuivre (mm ²)	C		PVC3			PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3			PVC2	PR3		PR2	
	F					PVC3		PVC2	PR3	PR2	
	1.5	16.5	17.5	18.5	19.5	22	23	24	26		
	2.5	21	24	25	27	30	31	33	36		
	4	26	32	34	36	40	42	45	49		
	6	26	41	43	48	51	54	58	63		
	10	50	57	60	63	70	75	80	86		
	16	68	76	80	85	94	100	107	116		
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161	
	35	110	119	126	136	147	156	169	185	200	
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242	
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310	
	95	207	223	238	258	276	298	328	352	377	
	120	239	269	276	299	322	346	382	410	437	
	150		299	319	344	371	395	441	473	504	
	185		341	364	392	424	450	506	542	575	
	240		403	430	461	500	538	599	641	679	
300		464	497	630	576	621	693	741	783		
400					656	754	825		940		
600					749	868	946		1083		
630					855	1005	1068		1254		
Section aluminium (mm ²)	2.5	16.5	18.5	19.5	21	23	26	26	28		
	4	22	25	26	28	31	33	35	38		
	6	28	32	33	36	39	43	45	49		
	10	38	44	46	49	54	59	62	67		
	16	53	59	61	66	73	79	84	91		
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121	
	35	86	90	96	103	112	122	126	136	150	
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184	
	70	133	140	150	160	174	192	196	211	237	
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289	
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337	
	150		227	245	261	283	316	324	346	389	
	185		259	280	298	323	363	371	397	447	
	240		305	330	352	382	430	439	470	530	
	300		351	381	406	440	497	506	543	613	
	400					526	600	663		740	
	500					610	694	770		856	
	630					711	809	899		996	

Figure IV-3 : Tableau de détermination des sections des conducteurs

Donc la section minimale des conducteurs en cuivre de la canalisation est de **6mm²**

II-Vérification de la section des conducteurs :**II-1 Calcul de la chute de tension**

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I_B \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

ρ : Résistivité : pour le cuivre $0,0225 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$;

Pour l'aluminium $0,0360 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$;

L : longueur de la ligne en m ;

S : section des conducteurs en mm^2 ;

X : réactance linéique des conducteurs ;

Leur moyenne : $0,08 \cdot 10^{-3} \Omega / \text{m}$ pour les câbles multipolaires ;

$0,12 \cdot 10^{-3} \Omega / \text{m}$ pour les câbles unipolaires ;

$0,15 \cdot 10^{-3} \Omega / \text{m}$ pour les jeux de barres.

I_B : courant d'emploi (en A)

Dans notre cas nos conducteurs sont en cuivre et de longueur de 100m

$$R = 0.0225 \frac{100}{6} = 0.375 \Omega$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_B \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad \Delta U = 31.88 \times \sqrt{3} (0.375 \times 0.85 + 0.08 \times 10^{-3}) = 17.60 \text{V}$$

$$\Delta U(\%) = 100 \times \frac{\Delta U}{U_n}$$

$$\Delta U(\%) = 100 \times \frac{17.60}{400} = 4.4\%$$

Pour plus de précision Le constructeur donne un tableau, précisant la chute de tension exacte en %, pour 100m de câble (figure IV-4).

chute de tension dans 100 m de câble en 400 V/50 Hz triphasé (%)
 $\cos \phi = 0,85$

câble S (mm ²) In (A)	cuivre														aluminium							
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	10	16	25	35	50	70	95	120	150
1	0,5	0,4																				
2	1,1	0,6	0,4																			
3	1,5	1	0,6	0,4											0,4							
5	2,6	1,6	1	0,6	0,4									0,5	0,4							
10	5,2	3,2	2	1,4	0,8	0,5								1,3	0,8	0,5						
16	8,4	5	3,2	2,2	1,3	0,8	0,5							2,1	1,3	0,8	0,6					
20		6,3	4	2,6	1,6	1	0,8							2,5	1,6	1,1	0,7	0,5				
25		7,9	5	3,3	2	1,3	0,8	0,6						3,2	2	1,3	0,9	0,6	0,5			
32			6,3	4,2	2,6	1,6	1,1	0,8	0,5					4,1	2,6	1,6	1,2	0,9	0,6	0,5		
40			7,9	5,3	3,2	2,1	1,4	1	0,7	0,5				5,1	3,2	2,1	1,5	1,1	0,8	0,6	0,5	
50				6,7	4,1	2,5	1,6	1,2	0,9	0,6	0,5			6,4	4,1	2,6	1,9	1,4	1	0,7	0,6	0,5
63				8,4	5	3,2	2,1	1,5	1,1	0,8	0,6			8	5	3,2	2,3	1,7	1,3	0,9	0,8	0,6
70					5,6	3,5	2,3	1,7	1,3	0,9	0,7	0,5			5,6	3,6	2,6	1,9	1,4	1,1	0,8	0,7
80					6,4	4,1	2,6	1,9	1,4	1	0,8	0,6	0,5		6,4	4,1	3	2,2	1,5	1,2	1	0,8
100					8	5	3,3	2,4	1,7	1,3	1	0,8	0,7			5,2	3,6	2,7	2	1,5	1,3	1
125						4,4	4,1	3,1	2,2	1,6	1,3	1	0,9			6,5	4,7	3,3	2,4	1,9	1,5	1,3
160							5,3	3,9	2,8	2,1	1,6	1,4	1,1				6	4,3	3,2	2,4	2	1,6
200							6,4	4,9	3,5	2,6	2	1,6	1,4					5,6	4	3	2,4	2
250								6	4,3	3,2	2,5	2,1	1,7					6,6	5	3,6	3,1	2,5
320									5,6	4,1	3,2	2,6	2,3						6,3	4,8	3,9	3,2
400									6,9	5,1	4	3,3	2,8							5,9	4,9	4,1
500										6,5	5	4,1	3,5							6,1	5	

$\cos \phi = 1$

câble S (mm ²) In (A)	cuivre														aluminium													
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
1	0,6	0,4																										
2	1,3	0,7	0,5																									
3	1,9	1,1	0,7	0,5														0,5										
5	3,1	1,9	1,2	0,8	0,5													0,7	0,5									
10	6,1	3,7	2,3	1,5	0,9	0,5												1,4	0,9	0,6								
16	10,7	5,9	3,7	2,4	1,4	0,9	0,6											2,3	1,4	1	0,7							
20		7,4	4,6	3,1	1,9	1,2	0,7											3	1,9	1,2	0,8	0,6						
25		9,3	5,8	3,9	2,3	1,4	0,9	0,6										3,7	2,3	1,4	1,1	0,7	0,5					
32			7,4	5	3	1,9	1,2	0,8	0,6									4,8	3	1,9	1,4	1	0,7	0,5				
40			9,3	6,1	3,7	2,3	1,4	1,1	0,7	0,5								5,9	3,7	2,3	1,7	1,2	0,8	0,6	0,5			
50				7,7	4,6	2,9	1,9	1,4	0,9	0,6	0,5							7,4	4,6	3	2,1	1,4	1,1	0,8	0,6	0,5		
63				9,7	5,9	3,6	2,3	1,6	1,2	0,8	0,6							9	5,9	3,7	2,7	1,9	1,4	1	0,8	0,7	0,6	
70					6,5	4,1	2,6	1,9	1,3	0,9	0,7	0,5						6,5	4,1	3	2,1	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7		
80					7,4	4,6	3	2,1	1,4	1,1	0,8	0,6	0,5					7,4	4,8	3,4	2,3	1,7	1,3	1	0,9	0,8	0,6	
100					9,3	5,8	3,7	2,6	1,9	1,4	1	0,8	0,7	0,6				5,9	4,2	3	2,1	1,5	1,3	1,2	1	0,8	0,6	
125						7,2	4,6	3,3	2,3	1,6	1,2	1	0,9	0,7	0,6				7,4	5,3	3,7	2,6	2	1,5	1,4	1,3	1	0,8
160							5,9	4,2	3	2,1	1,5	1,3	1,2	1	0,8	0,6				6,8	4,8	3,4	2,5	2	1,8	1,6	1,3	1,1
200							7,4	5,3	3,7	2,6	2	1,5	1,4	1,3	1	0,8					5,9	4,2	3,2	2,4	2,3	2	1,6	1,4
250								6,7	4,6	3,3	2,4	1,9	1,7	1,4	1,2	0,9					7,4	5,3	3,9	3,1	2,8	2,5	2	1,6
320									5,9	4,2	3,2	2,4	2,3	1,9	1,5	1,2						6,8	5	4	3,6	3,2	2,5	2
400									7,4	5,3	3,9	3,1	2,8	2,3	1,9	1,4							6,2	5	4,5	4	3,2	2,7
500										6,7	4,9	3,9	3,5	3	2,5	1,9							7,7	6,1	5,7	5	4	3,3

* Pour un réseau triphasé 230 V, multiplier ces valeurs par $\sqrt{3} = 1,73$.
 * Pour un réseau monophasé 230 V, multiplier ces valeurs par 2.

Figure IV-4 : Tableau donnant la chute de tension [7]

D'après le tableau de la figure (IV-4), on déduit que la valeur de la chute de tension vaut 5.3% qui est une valeur admissible (< 8%). Donc la section choisie est bonne.

Cette section a été vérifiée à l'aide d'un logiciel de calcul (CANECO) dont l'image est sur la figure (IV-5)

Calculer la section d'un câble

Domaine d'application	Domestique ▼	?
Circuit ou réseau	Triphasé ▼	?
Tension d'utilisation	400 V ▼	?
Intensité max du circuit	40 A	?
Longueur des conducteurs	100 m	?
Chute de tension admissible	5.3 %	?

Résultats

	Cuivre	Aluminium	
Section des conducteurs	6 mm ²	-	?
Chute de tension effective	3.64% 14.57V	-	

Synthèse et historique de vos calculs :

U (V)	I (A)	L (m)	Cosφ	ΔV (%)	Cuivre	Alu
400	38	100	1	5.3	6 mm² 3.64%	-

Figure IV-5

III- Calcul du courant de court circuit (I_{cc}) :

$$I_{cc} = \frac{u}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad [2]$$

$$I_{cc} = \frac{400}{\sqrt{(0.375)^2 + (0.08 \times 10^{-3})^2}}$$

$$I_{cc} = 667A$$

Le fusible qu'on choisira doit avoir un pouvoir de coupure supérieur au courant de court circuit (vérifier avec un fusible de calibre 40 A selon la figure (IV-5)).

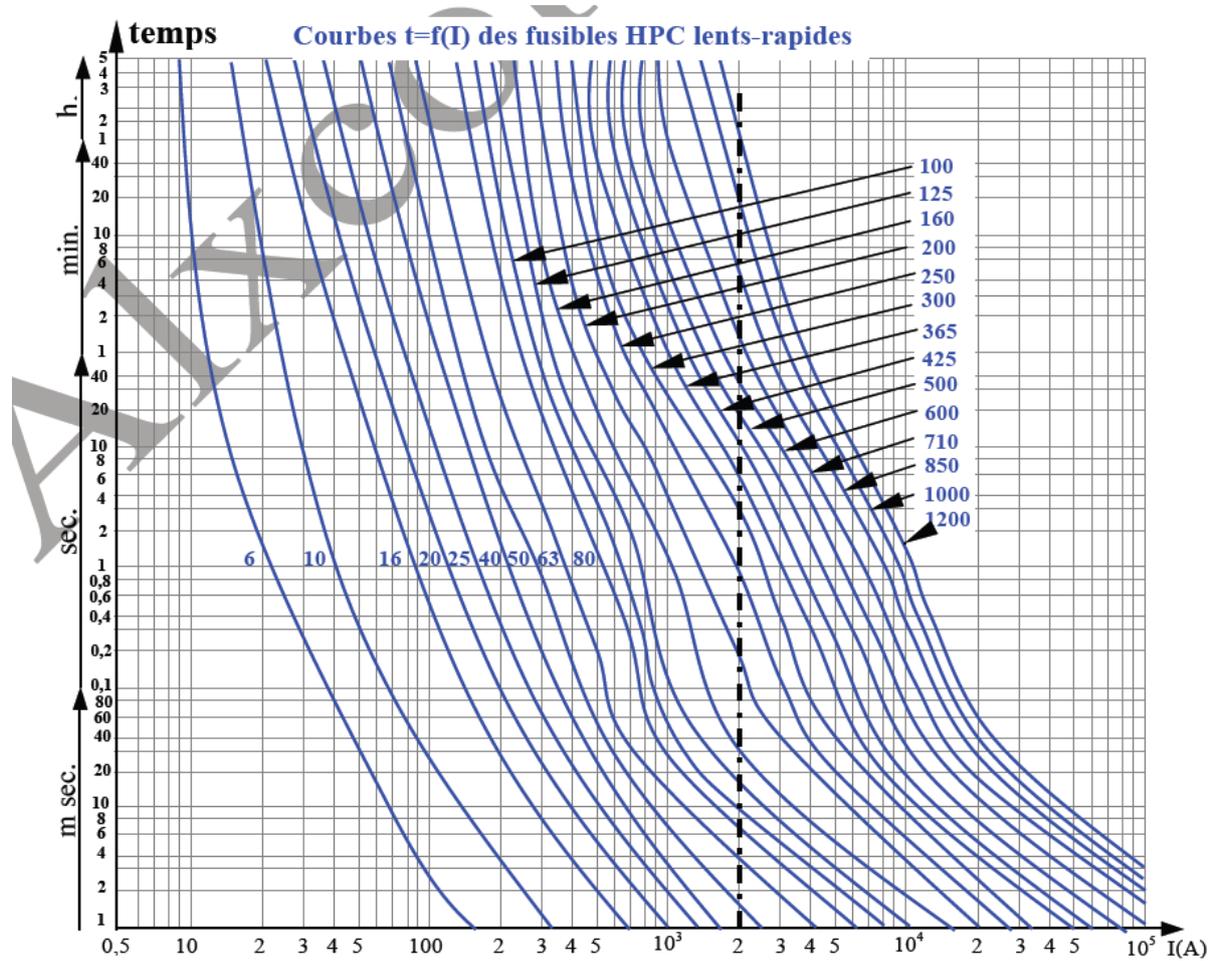


Figure IV-5 : Protection par fusibles - Caractéristiques temps/courant d'un réseau de fusibles [9]

IV-Le choix des dispositifs de protection

IV- 1 : Détermination de l'intensité du moteur :

P _e kW	I _N sous		n = 3 000 min ⁻¹			n = 1 500 min ⁻¹			n = 1 000 min ⁻¹			n = 750 min ⁻¹		
	230* V (A)	400* V (A)	I _d I _e	M _d M _e	H	I _d I _e	M _d M _e	H	I _d I _e	M _d M _e	H	I _d I _e	M _d M _e	H
0,075	0,9	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5	1,8	71 L/63 L
0,09	1,1	0,6	-	-	-	3	2,2	56 S	-	-	-	-	-	-
0,12	1,2	0,7	-	-	-	3	2	56 M	3	1,9	71 L/63 L	2,5	1,8	71 L/63 L
0,16	1,6	0,9	3,4	2,4	63 M/56 M	3	2	63 M/56 M	3	1,9	71 L/63 L	3,1	2,3	80 L/71 L
0,25	1,8	1,3	3,4	2,4	63 M/56 M	3	2	71 M/63 L	3	1,9	71 L/63 L	3,2	2	80 L/71 L
0,37	1,8	1,3	4,2	2,1	63 L	3,2	2	80 L/71 L	3,2	1,6	80 L/71 L	3,2	2	90 S
0,55	2,75	1,6	5	2,4	80 L/71 L	4,2	2	80 L/71 L	3,5	3	80 L/71 L	3,5	2	90 L
0,75	3,5	2	5	2,2	80 L/71 L	4,2	2	80 L/71 L	4,7	2,6	90 S	3,5	2,1	100 L/90 L
1,1	4,4	2,6	5,5	2,3	80 L/71 L	5,2	2	90 S	4,4	2,5	90 L	3,5	1,9	100 L/90 L
1,5	6	3,5	5,5	2,3	90 S	5	2	90 L	4,2	2,4	100 L/90 L	4,2	2,4	112 M/100 L
1,85	7,8	4,5	-	-	-	5	2	90 L	4,6	2,1	100 L/90 L	-	-	-
2,2	8,7	5	5,5	2,3	90 L	5	2	100 L/90 L	5,6	2,3	112 M/100 L	4,5	4,8	132 S
3	11,5	6,6	6,8	3,2	100 L/90 L	5,8	2,3	100 L/90 L	5,3	1,9	132 S	4,8	4,8	132 M
4	14,5	8,5	6,8	3,2	112 M	6,9	2,8	112 M/100 L	5,8	2,5	132 M	6	2,5	160 M
5,5	20	11,5	6,8	3,2	132 S	6,9	2,4	132 S	6,3	2,3	132 M	6,7	2,4	160 M
7,5	27	15,5	6,8	3	132 S	6,9	2,4	132 M	6	2,3	160 M	6,5	2,6	160 L
9	33	19	8	3,3	132 M	6,9	2,4	132 M	-	-	-	5,8	1,8	180 M
10	35	20	6,8	3,2	132 M	6,8	2,6	160 M	6,6	2,3	160 M	-	-	-
11	39	22	6,8	3	160 M/132 M	6,5	2,8	160 M	6,8	2,4	160 L	5,5	1,7	180 L
13	46,8	27	6,2	1,8	160 M	-	-	-	6,2	1,9	180 M	5,6	1,8	200 L
15	52	30	8	3,3	160 M	6,5	2,8	160 L	6,8	2,4	180 L	5,5	1,7	200 L
18,5	64	37	8	3,3	160 L	6,9	2,3	180 M	6,2	1,9	200 L	5,7	1,6	225 S
22	75	44	7,5	2,2	180 M	6,9	2,3	180 L	6,2	1,9	200 L	5,8	1,6	225 M
25	88	50	-	-	-	6,8	2	200 L	6,2	1,9	225 S	-	-	-
30	103	60	7,3	1,9	200 L	6,8	2	200 L	6,2	1,9	225 M	5,5	1,8	250 M
37	126	72,5	7,3	1,9	200 L	6,8	2	225 S	6,2	1,9	250 M	6	1,7	280 S
45	147	85	7,3	1,9	225 M	7,3	2,2	225 M	6,8	1,8	280 S	5,5	1,6	280 M
55	182	106	7,5	2,2	250 M	7,3	2,2	250 M	6,8	1,8	280 M	6,2	1,8	315 S
75	239	138	6,1	1,9	280 S	7,3	2	280 S	6,8	1,8	315 S	6,3	1,9	315 M
90	295	170	6,6	1,7	280 M	7,3	1,9	280 M	6,8	1,8	315 M	6,3	1,9	315 L
110	356	205	7,3	1,9	315 S	7,3	1,9	315 S	6,2	1,7	315 L	6,3	1,9	315 L
132	425	254	7,3	1,9	315 M	7,5	2	315 M	6,2	1,7	315 L	6,2	1,8	355 L
160	560	300	7,5	1,8	315 L	7,6	1,9	315 L	6,2	1,7	315 L	6,3	1,9	355 L
200	640	370	7,5	1,8	315 L	7,6	1,9	315 L	7,5	1,8	355 L	-	-	-
220	710	408	7,5	1,8	355 L	7,6	1,9	355 L	7,5	1,8	355 L	-	-	-
250	823	475	7,5	1,8	355 L	7,6	1,9	355 L	-	-	-	-	-	-
300	1 000	584	7,5	1,8	355 L	7,6	2	355 L	-	-	-	-	-	-

Figure IV-6 : Tableau des intensités [2]

L'intersection de la colonne tension **400 V** et la ligne puissance utile **18.5 kW** donne l'intensité nominale absorbée I_N par le moteur : I_N= **37 A**.

IV-2: Choix du sectionneur porte-fusibles

Les caractéristiques sont : - réseau triphasé sans distribution du neutre (400 V 50 Hz) ;
 - 1 contact de pré coupure, pas de dispositif de protection contre la marche en monophasé (DPMM), poignée extérieure droite.

Lecture du tableau du sectionneur porte-fusibles :



LS1 D32



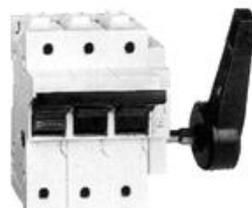
LA8 D324



LS1 D323



LS1 D32 + LA8 D324



GK1 EK + GK1 AP07

Blocs nus tripolaires

calibre	taille des cartouches fusibles	nombre de contacts de précoupure (1)	dispositif contre la marche en monophasé (2)	référence
raccordement par bornes à ressort				
25 A	10 x 38	(4)	sans	LS1 D323
raccordement par vis-étrier ou connecteur				
32 A	10 x 38	(4)	sans	LS1 D32
50 A	14 x 51	1	sans	GK1 EK (4)
			avec	GK1 EV (4)
			sans	GK1 ES (4)
			avec	GK1 EW (4)
125 A	22 x 58	1	sans	GK1 FK (4)
			avec	GK1 FV (4)
			sans	GK1 FS (4)
			avec	GK1 FW (4)

Blocs nus tétrapolaires

calibre	taille des cartouches fusibles	nombre de contacts de précoupure (1)	dispositif contre la marche en monophasé (2)	référence
32 A	10 x 38	(4)	sans	LS1 D32 (3) + LA8 D324
50 A	14 x 51	1	sans	GK1 EM (5)
			avec	GK1 EY (5)
			sans	GK1 ET (5)
			avec	GK1 EX (5)
125 A	22 x 58	1	sans	GK1 FM (5)
			avec	GK1 FY (5)
			sans	GK1 FT (5)
			avec	GK1 FX (5)

Dispositifs de commande

pour sectionneur		pour montage	référence
calibre	nombre de pôles		
poignées latérales			
125 A	3 ou 4	droite	GK1 AP07
		gauche	GK1 AP08
poignées frontales			
32 - 50 - 125 A			
poignées extérieures			
32 A	3 ou 4	droite	DK1 FB005
50 A	3 ou 4	droite	GK1 AP05
		gauche	GK1 AP06
125 A	3 ou 4	droite	GK1 AP07
		gauche	GK1 AP08

Dispositifs de cadenassage (8)

pour sectionneur			référence
calibre	nombre de pôles	dispositif contre la marche en monophasé	
32 A	3 ou 4	sans	intégré
50 A	3	sans	GK1 AV07
		avec	GK1 AV08
	4	sans	GK1 AV08
		avec	GK1 AV09

Figure IV-7 : Tableau du sectionneur porte-fusibles [7]

-On cherche le calibre correspondant à $I_N = 37 \text{ A}$, sachant que l'appareil doit posséder un contact de pré coupure et pas de dispositif de protection contre la marche en monophasé : calibre **50 A** d'où la référence du sectionneur porte-fusibles **GK1 EK**.

Pour le dispositif de commande : calibre **50 A** et montage extérieure droite d'où la référence **GK1 APO5**.L'ensemble est à entourer.

Pour le dispositif de cadenassage : calibre **50 A**, dispositif de protection contre la marche en monophasé **sans**, d'où la référence **GK1 AV07**.

Remarque :

- pour les fusibles nous devons prendre des fusibles de taille : **14 x 51** (le 1^{er} chiffre indique le diamètre et le 2^{ème} chiffre indique la longueur) ;

-le sectionneur porte-fusibles est conçu pour supporter un courant maximum de **50 A** ce qui est largement suffisant pour notre moteur absorbant un courant I_N de **37 A**.

IV-3 : Choix des fusibles

D'après les données et le résultat obtenu lors du choix du sectionneur porte-fusibles :

- courant $I_N = 37 \text{ A}$;
- type de cartouche fusible: **aM** ;
- taille du cartouche fusible: **14 x 51** ;
- avec ou sans DPMM (fusible avec ou sans percuteur).
- tension $U_N = 400 \text{ V } 50 \text{ Hz}$.

Cartouches fusibles ▶23031◀

- Type aM pour la protection des appareils à fortes pointes d'intensité.
- Type gG pour la protection des circuits sans pointe de courant importante.

cartouches			type aM				type gG			
types de fusible cylindriques  DF2 ●●●●	10 x 38	~ 500	0,15	10	DF2 CA001	-	2	10	DF2 CN02	-
			0,25	10	DF2-CA002	-	4	10	DF2 CN04	-
			0,50	10	DF2 CA005	-	6	10	DF2 CN06	-
			1	10	DF2 CA01	-	8	10	DF2 CN08	-
			2	10	DF2 CA02	-	10	10	DF2 CN10	-
			4	10	DF2 CA04	-	12	10	DF2 CN12	-
			6	10	DF2 CA06	-	16	10	DF2 CN16	-
			8	10	DF2 CA08	-	20	10	DF2 CN20	-
			10	10	DF2 CA10	-				
			12	10	DF2 CA12	-				
 DF3 ●●●●	14 x 51	~ 400	16	10	DF2 CA16	-				
		~ 690	20	10	DF2 CA20	-	25	10	DF2 CN25	-
			25	10	DF2 CA25	-	32	10	DF2 CN32	-
		~ 500	0,25	10	DF2 EA002	-				
			0,50	10	DF2 EA005	-				
			1	10	DF2 EA01	-	4	10	DF2 EN04	DF3 EN04
			2	10	DF2 EA02	DF3 EA02	6	10	DF2 EN06	DF3 EN06
			4	10	DF2 EA04	DF3 EA04	10	10	DF2 EN10	DF3 EN10
			6	10	DF2 EA06	DF3 EA06	16	10	DF2 EN16	DF3 EN16
			8	10	DF2 EA08	DF3 EA08	20	10	DF2 EN20	DF3 EN20
10	10		DF2 EA10	DF3 EA10	25	10	DF2 EN25	DF3 EN25		
12	10		DF2 EA12	DF3 EA12	32	10	DF2 EN32	DF3 EN32		
16	10		DF2 EA16	DF3 EA16	40	10	DF2 EN40	DF3 EN40		
~ 400	20	10	DF2 EA20	DF3 EA20	50	10	DF2 EN50	-		
	25	10	DF2 EA25	DF3 EA25						
	32	10	DF2 EA32	DF3 EA32						
	40	10	DF2 EA40	DF3 EA40						
		50	10	DF2 EA50	DF3 EA50					

Figure IV-8 : Tableau du choix des fusibles [7]

Taille du fusible 14 x 51	Tension du réseau 400 V	Type de fusible aM	Calibre du Fusible 50 A	Avec ou sans DPMM Sans	La référence du fusible est donc : DF2 EA50
-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	---

IV-4 : Choix du contacteur

Pour cela, il faut connaître :

- la tension d'alimentation du moteur : **400 V** ;
- la puissance utile du moteur : **18.5 kW** ;
- la tension d'alimentation de la bobine du contacteur se situant dans la partie commande : **24 V AC** ;

Lecture du tableau du contacteur

puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3 ($\theta \leq 60^\circ\text{C}$)							courant assigné d'emploi en AC-3	contacts auxiliaires instantanés	référence de base à compléter par le repère de la tension (1) fixation (2)		
220 V 230V	380 V 400V	415V	440V	500V	660V 690V	1000V			Vis	ressort	tensions usuelles
kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW			~	--	BC (3)
2,2	4	4	4	5,5	5,5	9			LC1 D09.. (4)	LC1 D09 .. (4)	B7 P7 BD BL
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	12			LC1 D12.. (4)	LC1 D123.. (4)	B7 P7 BD BL
4	7,5	9	9	10	10	18			LC1 D18.. (4)	LC1 D183.. (4)	B7 P7 BD BL
5,5	11	11	11	15	15	25			LC1 D25.. (4)	LC1 D253.. (4)	B7 P7 BD BL
7,5	15	15	15	18,5	18,5	32			LC1 D32.. (4)	LC1 D323.. (4)	B7 P7 BD BL
9	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	38			LC1 D38.. (4)	LC1 D383.. (4)	B7 P7 BD BL
11	18,5	22	22	22	30	22	40		LC1 D40.. (4)		B7 P7 BD
15	22	25	30	30	33	30	50		LC1 D50.. (4)		B7 P7 BD
18,5	30	37	37	37	37	37	65		LC1 D65..		B7 P7 BD
22	37	45	45	55	45	45	80		LC1 D80..		B7 P7 BD

(1) tensions du circuit de commande préférentielles

volts	Courant alternatif						
	24	48	115	230	400	440	500
LC1 D09...D150 (bobines D115 et D150 antiparasitées d'origine)							
50/60 Hz	B7	E7	FE7	P7	V7	R7	
LC1 D40...D115							
50 Hz	B5	E5	FE5	P5	V5	R5	S5
60 Hz	B6	E6				R6	

Figure IV-8: Tableau du choix des contacteurs [2]

On cherche la colonne $U_N=400\text{ V}$ et la ligne $P_U=18.5\text{ kW}$.

Ceci nous donne une première référence incomplète qui est : **LC1 D38..**

Remarque : cela devrait correspondre à l'indication du tableau du relais de protection thermique.

- les deux points qui se trouvent à la fin de cette référence, correspondent à la tension d'alimentation de la bobine qui, dans notre exemple, est de $U_B=24\text{ V}$ et de la fréquence $f=50\text{Hz}$.

- à l'intersection de la colonne $U_B=24\text{ V}$ et de la ligne fréquence $f=50\text{ Hz}$ nous obtenons la lettre et le chiffre correspondant à notre tension d'alimentation de la bobine : **B5 (ou B7)**.

La référence du contacteur est donc : **LC1 D38B5**.

IV-5 : Choix du relais de protection thermique

Son choix nécessite la connaissance de l'intensité I_N absorbée par le moteur : $I_N=37 \text{ A}$;

Le relais de protection thermique est un composant que l'on doit régler à l'intensité nominale I_N du moteur.

Il possède donc une plage de réglage.

Le choix du relais de protection thermique se fera de telle manière à ce que l'intensité I_N , à régler, se trouve au sein de la plage de réglage ($\dots < I_N < \dots$).

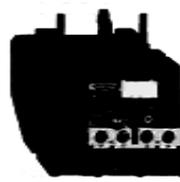
Lecture du tableau du relais de protection thermique



LRD 08



LRD 21



LRD 33

Relais de protection thermique différentiels tripolaires à associer à des fusibles

Relais compensés, à réarmement manuel ou automatique :

- avec visualisation du déclenchement
- pour courant alternatif ou continu.

zone de réglage du relais	fusibles à associer au relais choisi			pour association avec contacteur LC1	référence
	aM	gG	BS88		
0,10...0,16	0,25	2		D09...D38	LRD 01 (2)
0,16...0,25	0,5	2		D09...D38	LRD 02 (2)
0,25...0,40	1	2		D09...D38	LRD 03 (2)
0,40...0,63	1	2		D09...D38	LRD 04 (2)
0,63...1	2	4		D09...D38	LRD 05 (2)
1...1,7	2	4	6	D09...D38	LRD 06 (2)
1,6...2,5	4	6	10	D09...D38	LRD 07 (2)
2,5...4	6	10	16	D09...D38	LRD 08 (2)
4...6	8	16	16	D09...D38	LRD 10 (2)
5,5...8	12	20	20	D09...D38	LRD 12 (2)
7...10	12	20	20	D09...D38	LRD 14 (2)
9...13	16	25	25	D12...D38	LRD 16 (2)
12...18	20	35	32	D18...D38	LRD 21 (2)
16...24	25	50	50	D25...D38	LRD 22 (2)
23...32	40	63	63	D25...D38	LRD 32 (2)
30...38	50	80	80	D32 et D38	LRD 35 (2)
37...50	25	50	50	D40...D95	LRD 3322
23...32	40	63	63	D40...D95	LRD 3353
30...40	40	100	80	D40...D95	LRD 3355
37...50	63	100	100	D40...D95	LRD 3357
48...65	63	100	100	D50...D95	LRD 3359
55...70	80	125	125	D50...D95	LRD 3361
63...80	80	125	125	D65 et D95	LRD 3363

La plage de réglage la mieux adaptée est de **30-38A** et la référence du relais de protection thermique se lit directement à la fin de la ligne

Cette colonne donne également une indication sur la valeur des fusibles à choisir : **50 A aM**

Cette colonne du tableau nous indique également que le relais de protection thermique choisi doit se monter sous un contacteur dont la référence comporte les indications suivantes : **D32**

La référence du relais de protection thermique est donc : **LRD 35**

Figure IV-9 : Tableau du choix des relais thermiques [7]

IV-6 : Circuit de puissance

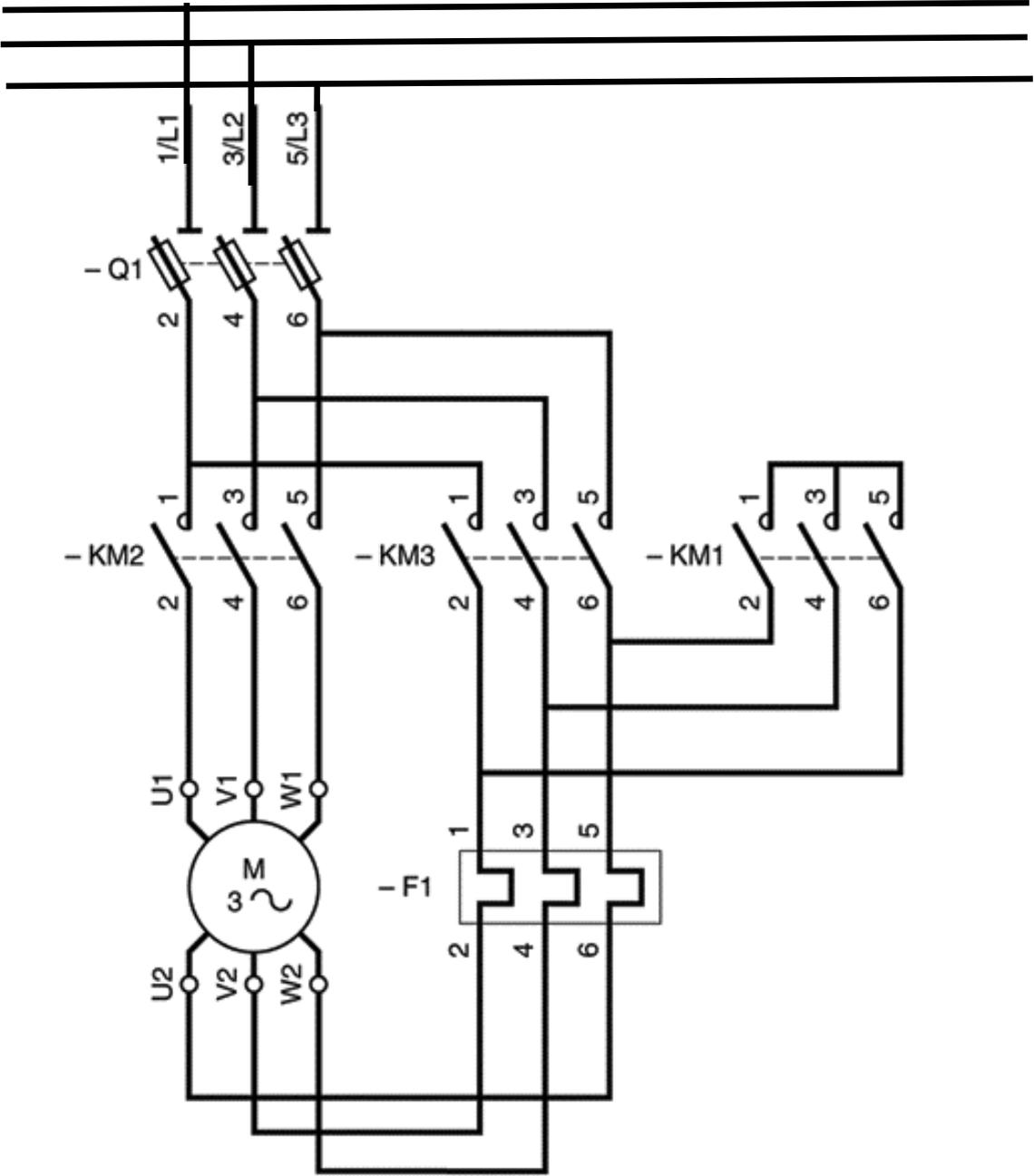


Figure IV-10 : Circuit de puissance

IV-7 : Circuit de commande

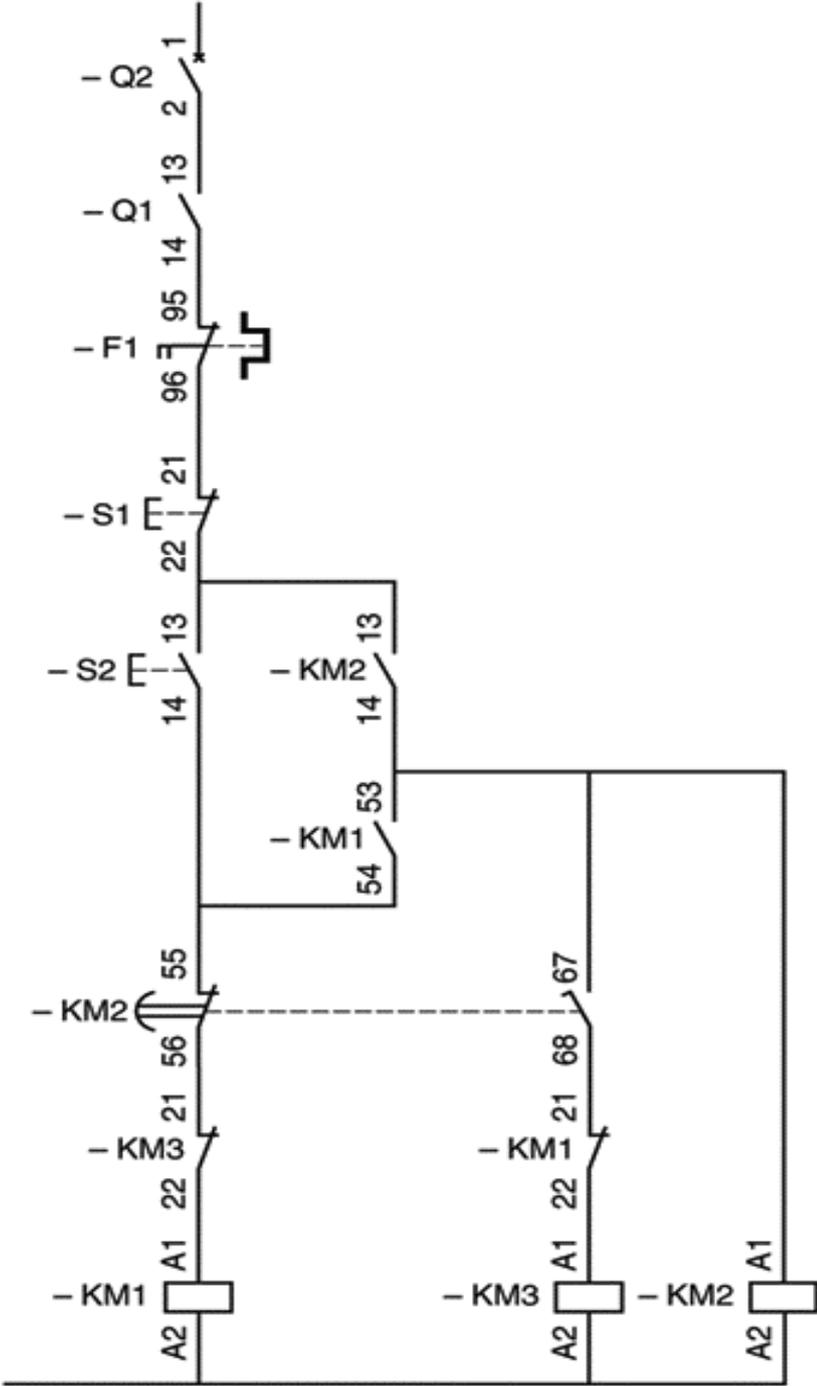


Figure IV-11 : Circuit de commande

Fonctionnement

Si on ferme Q_1 manuellement, le circuit sera connecté au réseau et il sera sous tension.

Une impulsion sur S_2 mettra la bobine KM1 sous tension se qui produira son excitation, se qui permettra au contacteur KM1 de se fermer et à la bobine KM2 de s'exciter.

L'excitation de la bobine va engendrer la fermeture du contacteur KM2 et le couplage étoile sera réaliser.

Après quelques instants (régler par l'opérateur), le contacteur KM2 s'ouvre automatiquement et ferme le contacteur (67-68).

La fermeture du contacteur (67-68) mettra la bobine KM3 sous tension et ça fermera le contacteur KM3 et on aura le couplage triangle.

Si un court-circuit se produit (cas ou $I_{cc} > 667A$), le fusible fusionne et le courant sera coupé alors le moteur sera protégé.

Si une surcharge se produit, cela se traduit par une augmentation du courant absorbé (cas ou $I_{ab}=46A$) les bilames du relais seront échauffées et se déforment et les contacts s'ouvrent ce qui provoquera le déclenchement du relais. Le moteur sera ainsi protégé.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Tout au long de ce travail, nous avons essayé d'étudier l'ensemble des problèmes relatifs au bon fonctionnement des moteurs asynchrones.

Notre intérêt s'est porté sur ces moteurs, car ces derniers sont les principaux actionneurs électriques utilisés en industrie. Plusieurs situations et phénomènes gênent le bon fonctionnement de ces moteurs (courts-circuits, marche en manque de phase, surcharges,.....etc.). Pour obtenir un fonctionnement fiable, une bonne protection s'impose.

Pour que les systèmes de protection accomplissent convenablement leur mission, ils doivent présenter certaines qualités comme la fiabilité, la sélectivité, la rapidité et sensibilité, ces qualités permettent une amélioration de la rapidité de l'élimination des défauts et de la remise en marche des moteurs.

Pour mettre en évidence les systèmes de protection, nous avons dimensionné les dispositifs de protection d'un moteur asynchrone utilisé au sein au sein de l'office national d'assainissement (ONA – Station de traitement des eaux usées sise à Boghni).

Cette étude nous a permis d'une part d'acquérir de nouvelles connaissances concernant les moteurs asynchrones ainsi que les systèmes de protection.

Finalement, nous espérons que notre étude contribuera à la compréhension des problèmes liés à la protection des moteurs asynchrones triphasés.