

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION : ELECTROMECHANIQUE

THEME

**ETUDE DES PROCEDES DES FREINAGES DES MOTEURS
ASYNCHRONES TRIPHASES PAR LES AUTOMATES
PROGRAMMABLES INDUSTRIELS (A.P.I.)**

Proposé et dirigé par:
Monsieur : BELKHIRI Salah

Présenté par :
NASRI FARID
AYCHE MOHAMED

Année Universitaire: 2006 / 2007

Remerciements

Tout d'abord nous remercions le bon Dieu tout puissant de la bonne santé, de la volonté et de la patience qu'il nous a accordées tout au long de nos études.

Nous tenons en premier lieu à remercier cordialement, notre cher encadreur M.r belḳhiri salah pour sa précieuse collaboration et ses conseils pertinents, qu'il n'ait cessé de nous donner tout au long de l'élaboration de ce modeste travail.

Les mêmes expressions de reconnaissance vont également au chef de département M. Benjaïma Bachir pour les facilités qu'il les a mis à notre disposition. Ainsi que tous les enseignants .

SOMMAIRE

Introduction generale

1	Généralités	1
2	Objectifs du projet.....	2
3	structure du mémoire.....	2

Chapitre un

Généralité sur les machines asynchrones

1	Introduction.....	3
1.1	Historique Sur Les Machines Asynchrones	3
1.2	Présentation	4
1.3	Principes généraux	4
1.4	Constitution des machines asynchrone	6
1.4.1	Le stator	7
1.4.2	Le Rotor	8
1.4.2.1	Rotor à bagues	8
1.4.2.2	Rotor à cage	9
1.5	Principe de fonctionnement du moteur à induction.....	10
1.5.1	Le glissement.....	12
1.5.2	Vitesse de synchronisme	13
1.5.3	Bilan des puissances du moteur.....	14
1.5.4	Rendement	15
1.6	Caractéristique du moteur asynchrone.....	15
1.6.1	Fonctionnement à vide.....	15
1.6.2	Fonctionnement en charge.....	16
1.6.3	Caractéristique mécanique.....	16
1.6.4	Point de fonctionnement du moteur en charge.....	17
1.6.5	Caractéristiques $C=f(n)$ de quelques charges.....	18
1.6.6	Résumé des caractéristiques.....	19
1.7	Couplage de la plaque à bornes.....	19
1.8	Branchement du moteur sur le réseau triphasé	20

1.9	Plaque signalétique.....	21
1.10	Réversibilité.....	23
1.11	Conséquences d'une variation de la tension ou de fréquence sur un moteur asynchrone.....	24
1.11.1	Augmentation ou la diminution de la tension.....	24
a-	Vitesse.....	24
b-	Couple	24
c-	Courant de démarrage.....	24
1.11.2	Augmentation ou diminution de la fréquence.....	25
a-	Vitesse.....	25
b-	Couple.....	25
c-	Courant de démarrage.....	25
1.12	Utilisation du moteur asynchrone.....	25
1.13	Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone.....	26
1.13.1	Les avantages du moteur asynchrone.....	26
1.13.2	Les inconvénients du moteur asynchrone.....	27
1.14	Conclusion.....	27

Chapitre deux

Démarrage des moteurs asynchrones

2	Introduction.....	28
2.1	Les principaux modes de démarrage	28
2.1.1	Démarrage direct	28
2.1.2	Démarrage étoile-triangle	29
2.1.3	Démarrage de moteurs à enroulements partagés "part-winding"	32
2.1.4	Démarrage statorique à résistance	32
2.1.5	Démarrage par autotransformateur	34
2.2	Démarrage des moteurs à bagues	37
2.2.1	Démarrage/ralentissement par démarreur électronique (Soft starter).....	38
2.2.2	Démarrage par convertisseur de fréquence	39
2.3	Conclusion.....	40

Chapitre trois

Freinage des moteurs asynchrones

3.1 Introduction	41
3.2 Freinage par contre-courant	41
3.2.1 Cas du moteur à cage	41
3.2.2 Cas du moteur à rotor bobiné (Moteur à bagues)	42
3.3 Freinage par injection de courant redressé	45
3.3.1 Cas du moteur a cage	46
• Freinage dynamique	46
3.3.2 Cas du moteur a bagues	48
3.3.2.1 Freinage par injection de courant continu (simple).....	49
3.3.2.2 Freinage par injection de courant continu en auto - excitation	50
3.4 Freinage par fonctionnement en hyper-synchrone.....	53
3.5 Freinage électronique.....	53
3.6 Autres systèmes de freinage.....	54
3.7 Conclusion.....	54

Chapitre quatre

Les automates programmables industriels

4 Introduction	55
4.1 Définition et caractéristiques.....	55
4.2 L'architecture d'un automate programmable.....	56
4.3 L'unité centrale (UC).....	58
4.3.1 Processeur.....	58
4.3.2 La mémoire centrale.....	58
4.4 Les entrées-sorties (E/S).....	58
4.5 L'environnement des A.P.I.....	59
4.6 Le logiciel des A.P.I.....	60
4.6.1 Analyse fonctionnelle du logiciel des A.P.I.....	60
4.6.2 Le logiciel d'exploitation.....	61
4.6.3 Le logiciel de production de programme.....	62
4.7 Les formes de langages des A.P.I.....	62
4.7.1 Les langages graphiques.....	62

a) Le langage de relais.....	63
b) Le GRAFCET.....	63
b-1) GRAFCET a séquence unique.....	65
b-2) GRAFCET avec séquence multiple.....	65
4.7.2 Les langages littéraux.....	67
4.7.3 Extension des langages aux besoins des A.P.I.....	67
4.8 Le langage de base des A.P.I.....	67
4.9 Extensions du langage de base.....	68
4.10 Le langage séquentiel des A.P.I.....	69
4.11 Application.....	69
4.11.1 Freinage en contre courant	69
4.11.1.1 Liste des Entrées/sorties:.....	70
1- Entrées digitales.....	70
2- Sorties digitales.....	71
4.11.1.2 Schéma à relais	72
4.11.2 Freinage par injection de courant continu ou dynamique	74
4.11.2.1 Liste des Entrées/sorties.....	74
1- Entrées digitales.....	74
2- Sorties digitales.....	75
4.11.2.2 Schéma à relais	75
4.11.2.3 Conversion en circuit logique	75
4.12 Conclusion	76
Conclusion générale	
1 travail accompli.....	77
2 perspectives.....	77

Tableau des figures

CHAPITRE UN

Généralité sur les machines asynchrones triphases

Fig. (1.1.a) action d'un champ tournant par aimant	5
fig. (1.1.b) action d'un champ tournant par bob	5
Fig. (1.2) moteurs asynchrones	6
Fig. (1.3) : stator d'une machine asynchrone	7
Fig. (1.4) principe d'un rotor bobiné	8
Fig. (1.5) principe d'une cage d'écureuil	9
Fig. (1.6) : symboles d'une machine asynchrone	10
Fig. (1.7) principe de base d'un moteur	11
Fig. (1.8) principe de fonctionnement d'un moteur à induction	11
Fig. (1.9) Tableau Vitesses de synchronisme fonction du nombre de pôles et de la fréquence du courant	14
Fig. (1.10) bilan des puissance du moteur	14
Fig. (1.11) caractéristique du moteur asynchrone	16
Fig. (1.12) Point de fonctionnement du moteur	17
Fig. (1.13) Caractéristiques $C=f(n)$ de quelques charges	18
Fig. (1.14) la plaque à bornes	19
Fig. (1.15) Couplage des moteurs	20
Fig. (1.16) plaque signalétique	22
Fig. (1.17) les zones de fonctionnement d'une machine asynchrone	23

CHAPITRE DEUX

Démarrage des M.AS

Fig. (2.1) schémas de puissance Et les caractéristiques du démarrage direct	29
Fig. (2.2) démarrage étoile-triangle	31
Fig. (2.3) démarrage part-winding	32
Fig. (2.4) démarrage statorique à résistance	34
Fig. (2.5) démarrage par autotransformateur	36
Fig. (2.6) démarrage des moteurs à bagues	38
Fig. (2.7) Démarrage/ralentissement par démarreur électronique	39
Fig. (2.8) démarrage par convertisseur de fréquence	40

CAPITRE TROIS

FREINAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

Fig. (3.1) moteur à cage	42
Fig. (3.2) schéma de puissance (freinage par contre courant)	44
Fig. (3.3) schéma de commande (freinage par contre courant)	44
Fig. (3.4) schémas de puissance (freinage dynamique)	45
Fig. (3.5) schémas de commande (freinage par dynamique)	47
Fig. (3.6) schémas de Puissance (freinage par injection de C.C)	49
Fig. (3.7) schémas de commande (freinage par injection de C.C)	49
Fig. (3.8) schémas de puissance (auto-excitation)	51
Fig. (3.9) schémas de commande (auto-excitation)	51

CHAPITRE QUATRE

Application des automates programmables industriels.

Fig. (4.1) Structure de l'UC d'un A.P.I.	57
Fig. (4.2) L'environnement des A.P.I.	60
Fig. (4.3) Organisation du logiciel d'un système informatique	61
Fig. (4.4) Tableau des constituants des schémas à relais	63
Fig. (4.5) GRAFCET a séquence unique	64
Fig. (4.6) GRAFCET avec séquence multiple (OU)	65
Fig. (4.7) GRAFCET avec séquence multiple (ET)	66
Fig. (4.8) Tableau de Représentation des opérateurs booléens	68
Fig. (4.9) Schémas de commande (Freinage en contre courant)	70
Fig. (4.10) Fig. (4.10) schéma à relais (freinage en contre courant)	72
Fig. (4.11) Schéma de commande Freinage par injection de courant continu ou dynamique	74
Fig. (4.12) schéma à relais (freinage dynamique)	75
Fig. (1.13) Conversion en circuit logique	75

INTRODUCTION GENERALE :

1 GENERALITE :

Les moteurs électriques sont de nos jours, à l'exception des dispositifs d'éclairage, les récepteurs les plus nombreux dans les industries. Leur fonction, de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique, leur donne une importance économique toute particulière qui fait qu'aucun concepteur d'installation ou de machine, aucun installateur et aucun exploitant ne peut les ignorer.

Parmi tous les types de moteurs existants, les moteurs asynchrones triphasés notamment les moteurs à cage sont les plus utilisés dans l'industrie et au-delà d'une certaine puissance dans la plupart des applications. De plus, bien que leur commande par des équipements à contacteurs soit parfaitement adaptée pour un grand nombre d'applications, l'emploi de matériels électroniques en constante progression élargit leur champ d'application. C'est le cas pour contrôler le démarrage et le freinage, comme lorsqu'un réglage précis de la vitesse est également nécessaire avec les variateurs - régulateurs de vitesse.

Toutefois, les moteurs asynchrones à bagues sont utilisés pour certaines applications de forte puissance dans l'industrie et les moteurs asynchrones. L'utilisation des moteurs asynchrones dit à induction associés à des convertisseurs se généralise dans les applications nécessitant de fortes performances, notamment en couple dynamique (au démarrage ou au freinage), et en précision et plage de vitesse.

Les méthodes de fabrication actuelles subissent des mutations importantes et font de plus en plus appel à l'automatisation. Cette évolution est caractérisée par un développement spectaculaire des systèmes programmés. Parmi les solutions programmées on trouve les A.P.I (automate programmable industriel) qui présentent une structure permettant une maintenance rapide de son fonctionnement et de son environnement, la grande importance de ces machines électronique (A.P.I) dans le domaine industriel nous à amené à consacrer notre mémoire une étude complète avec un exemple pratique pour mettre en évidence leurs performances.

2. OBJECTIF DU THEME :

L'objectif premier de ce travail est de voir l'importance d'exploiter les différents techniques de freinage des moteurs asynchrones triphasés.

Le deuxième objectif est d'exposer leurs principes de fonctionnement par application des automates programmables industriels.

3. PLAN ET STRUCTURE DU MEMOIRE :

Notre présent mémoire est constitué de quatre chapitres :

Le premier chapitre présentera une vue globale sur es machines asynchrones triphasés, on commencera par une une introduction suivie d'un bref historique et d'une prestation de caractéristique des moteurs asynchrones.

Le deuxième chapitre exposera les différents modes de démarrage des moteurs asynchrones triphasés.

Le troisième chapitre concernera l'étude des techniques de freinage des moteurs asynchrones triphasés.

Le quatrième chapitre exposera une simulation à l'aide du logiciel elfalogique de deux modes de freinage.

Ce mémoire se finira par une conclusion générale qui résume les objectifs accomplis dans ce travail et quelques perspectives.

Chapitre Un

Généralité Sur Les Machines Asynchrones

1 Introduction :

La machine asynchrone, connue également sous le terme « anglo-saxon » de machine à induction, est une machine à courant alternatif sans connexion entre le stator et le rotor. Le terme asynchrone provient du fait que la vitesse de ces machines n'est pas forcément proportionnelle à la fréquence des courants qui la traversent. [1]

Du fait de sa simplicité de construction, d'utilisation et d'entretien, de sa robustesse et son faible prix de revient, la machine asynchrone est très couramment utilisée comme moteur dans une gamme de puissance allant de quelques centaines de watts à plusieurs milliers de kilowatts.

1.1 Historique Sur Les Machines Asynchrones :

Historiquement le dix-neuvième siècle fût l'époque des grandes découvertes en Electrotechnique dont les bases fondamentales ont été établies (1820--1830) par des hommes de science parmi lesquels on peut citer, OERSTED, AMPERE, BIOT, SAVART, LAPLACE, OHM, FARADAY; Plus tard en (1873) MAXWELL formalisa les lois de l'électromagnétisme moderne dans son ouvrage fameux;"Treatise on Eeectricity and Magnétisme".

Mais ce n'est qu'à partir de (1870) que l'électrotechnique industrielle s'affirma notamment grâce a la production d'énergie électrique par les génératrices a courant continu (dynamos) de gramme et de siemens. Ensuite, dans les années (1880), furent conçus les alternateurs et les transformateurs polyphasés. Les premiers devaient concurrencer et détrôner les dynamos pour la production de l'électricité, enfin les travaux du yougoslave TESLA et de l'italien FERRARIS complétèrent les systèmes a courants alternatifs polyphasés par la conception et la construction des machines d'induction ou asynchrones en (1888). [2]

Les machines asynchrones couvrent actuellement l'essentiel de besoins de la transformation d'énergie électrique en énergie mécanique, A titre d'exemple, elle sont utilisées pour la quasi-totalité des fonction auxiliaires d'une centrale de production électrique ; il sont généralement de même dans les procédés industrielles. L'étude de ces machines acquit donc une grande importance.

1.2 Présentation :

La machine se compose de deux pièces principales :

- Le stator est relié au réseau ou un variateur de vitesse
- Le rotor est constitué de conducteurs en court circuit qui sont parcourus par des courants induits par le champ magnétique créé par les courants statoriques.

Cette machine peut, selon sa construction, être reliée à un réseau monophasé ou polyphasé (généralement triphase car c'est celui de la distribution).

La machine asynchrone est la machine électrique la plus utilisée dans le domaine des puissances supérieures à quelques kilowatts car elle offre alors le meilleur rapport qualité prix. Surtout depuis l'apparition dans les années 1980 de variateurs permettant de faire varier la fréquence de rotation du moteur dans une large gamme

1.3 Principes généraux :

Action d'un champ tournant sur un circuit fermé :

Rappelons l'expérience élémentaire suivante :

Soit un disque conducteur suspendu entre les pôles d'un aimant comme l'indique la figure (1.1.a) Lorsque l'aimant est entraîné à une vitesse N_a , on peut constater que le disque entre lui-même en rotation à une vitesse $N_r < N_a$ en tournant, l'aimant crée, en effet, dans le disque des variations de flux qui produisent des f.e.m. et des courants de Foucault. Ces courants étant placés dans le champ de l'aimant, il apparaît des forces de Laplace qui entraînent le disque en rotation.

L'aimant peut être remplacé par un système de trois bobines triphasées créant un champ tournant et le disque par un groupe S de spires en court-circuit comme l'indique la figure (1.1.b). Ce dernier montage constitue un moteur élémentaire dont on peut voir les premières propriétés il démarre seul dès l'apparition du champ tournant ; il tourne dans le même sens que le champ, mais à une vitesse inférieure.

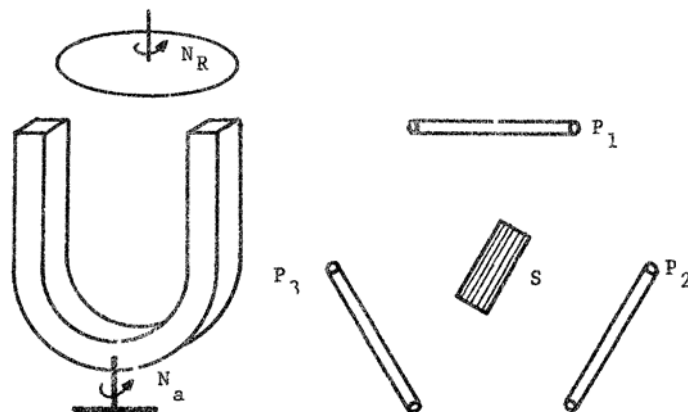


Fig. (1.1.a) action
d'un champ tournant
par aimant

fig. (1.1.b) action
d'un champ tournant
par bobine

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 statoriques.

La machine est dite asynchrone car elle est dans l'impossibilité, sans la présence d'un entraînement extérieur, d'atteindre la même vitesse que le champ statoriques. En effet, dans ce cas, les courants s'annulent de même que le couple qu'ils produisent et la machine n'est plus entraînée. La différence de vitesse entre le rotor et le champ statoriques est appelée vitesse de glissement. Lorsqu'il est entraîné au-delà de la vitesse de synchronisme - fonctionnement hyper synchrone - la machine fonctionne en générateur alternatif. Mais son stator doit être forcément relié au réseau car lui seul peut créer le champ magnétique nécessaire pour faire apparaître les courants rotoriques.

Un fonctionnement en générateur alternatif autonome est toutefois possible à l'aide de condensateurs connectés sur le stator, à condition qu'il existe un champ magnétique rémanent. On retrouve cette même problématique lorsqu'on cherche à faire fonctionner des machines à courant continu à excitation série en génératrice. À défaut, des dispositifs d'électronique de puissance et Une batterie permettent d'amorcer le fonctionnement en génératrice autonome. Cette solution est mise en œuvre pour produire de l'électricité à l'aide d'éoliennes dans des sites isolés.

1.4 Constitution des machines asynchrone :

Les moteurs asynchrones, figure (1.2) sont pratiquement tous des moteurs triphasés. Ils sont basés sur l'entraînement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant.

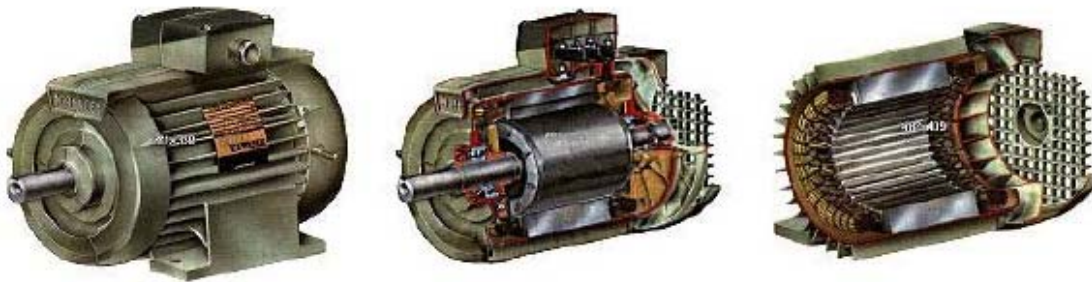


Fig. (1.2) moteurs asynchrones

Les moteurs asynchrone triphasé sont des convertisseurs électro-magnétique qui transforment l'énergie électrique fournie par le réseau en énergie mécanique dans la vitesse de rotation N pour une fréquence donné 'F' dépend de la charge et dans la quelle $F \neq P N$. [4]

Les moteurs asynchrones comportant deux armateurs coaxiales à champ tournant, l'une est fixe (c'est le stator) et l'autre mobile (c'est le rotor). [3]

1.4.1 Le stator :

Il est appelé inducteur ou primaire, il est fixé au bâti et former d'une carcasse ayant l'aspect général d'un cylindre creux, à l'intérieur duquel se trouve le circuit magnétique composé d'un empilage de tôles ayant la forme de couronnes circulaire a leur périphérique interne, ces tôles comportent un certain nombre d'encoches régulièrement réparties qui, par suite de l'empilage créent des rainures, ou sont logés des faisceaux du bobinage.

La figure (1.3) représente un stator comporte un bobinage triphasé, dont chaque phase ne comporte qu'une bobine occupant deux encoches diamétralement opposées, les trois phases sont identiques mais décalées entre elle de $2\pi/3$.

Cet enroulement (bobines), est alimenté en triphasé par l'intermédiaire de la plaque aborne ce qui permet de l'alimenter en étoile ou en triangle, et possède p paires de pôles, [4].

Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique B tournant à la pulsation de synchronisme.

$$\Omega_s = \frac{w}{p}$$

Ω_s : vitesse synchrone de rotation du champ tournant en rad.s^{-1} .
 W : pulsation des courants alternatifs en rad.s^{-1} . $w = 2.p.f$
 P : nombre de paires de pôles



Fig. (1.3) : stator d'une machine asynchrone

1.4.2 Le Rotor :

Le rotor n'est lié électriquement à aucune source d'énergie, (ni continue, ni alternative) ce qui simplifie beaucoup sa construction on distingue deux type de rotor, [3].

1.4.2.1 Rotor à bagues :

Ce rotor à pôle lisse comporte dans ces rainures un enroulement identique à celui du stator, les trois phases sont branchées en étoile ce qui permet d'insérer un rhéostat dans leur circuit, ce rhéostat qui est mise en marche normale et permet d'assurer des meilleures conditions de démarrage comme présente la figure (1.4).

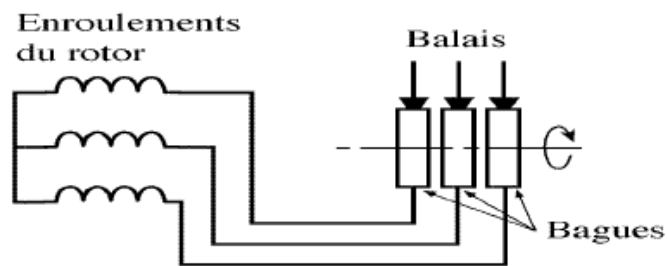


Fig. (1.4) principe d'un rotor bobiné

Signalons que, si le nombre des pôles du rotor est obligatoirement le même, que celui de stator, le nombre de phases peut être différent. Cependant, il n'est pas intéressant pour un moteur à bague d'augmenter le nombre des phases du rotor car il faudrait augmenter le nombre des bagues et des balais, [3].

1.4.2.2 Rotor à cage :

L'enroulement est remplacé par des barres de cuivre ou d'aluminium logées dans des encoches, et réunie à leurs extrémités par deux couronnes de cuivre ou d'aluminium. Ces cages comportant généralement des barreaux décalés afin de réduire les harmoniques d'encoches, il en résulte une légère diminution de la F.E.M induite par le champ tournant statorique dans ces barreaux. Un tel rotor comme présente la figure (1.5) est très robuste, de puis sa construction est particulièrement économique.

La cage étant généralement réalisée avec l'aluminium que l'on coule dans les encoches préparées a l'avance. En effet il n'est pas nécessaire d'isoler les barres et la masse du rotor, car les courants induits s'établissent surtout dans les barres, et leur étude théorique est identique a celle des moteurs à bagues.

Si N désigne le nombre des barres d'une cage, les extrémités des barres, étant en court-circuit par les flasques. Un rotor à cage est assimilable a un rotor à bagues qui aurait $q=N$ phases si la cage tourne dans un champ bipolaire alors qu'il a $q= N / p$ phases si la cage tourne a un champ $2p$ pôles.



Fig. (1.5) principe d'une cage d'écureuil

Par comparaison avec les moteurs à bagues, les moteurs à cage ont l'avantage d'être robustes et du coût plus faible. Il n'est pas possible de faire varier la résistance de leur rotor. Ce qui rend défavorable les conditions de démarrage quand on l'alimente à tension et à fréquence constantes. On remédie cet inconvénient en utilisant soit des rotors a double cages, soit des rotors à une seule cage, mais à barre en la cause de leur profil, soit des moteur à encoches très profondes: barres « lames de sabre », [3].

- **Entrefer :**

L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor.

- **Symboles:** la figure (1.6) présente les symboles moteurs a cage d'écureuil et a rotor bobiné par la suite



Fig. (1.6) : symboles d'une machine asynchrone

1.5 Principe de fonctionnement du moteur à induction:

Le principe de fonctionnement des moteurs asynchrones est basé sur la production d'un champ tournant. Telle que on considère un aimant tournant produit un champ électromagnétique qui traverse un cylindre métallique.

Les génératrices du cylindre placées dans le champ se comporte comme des brins actifs (AB et CD).

Elles sont parcourues par un courant proportionnel à F et engendrent des forces perpendiculaires qui constituent le couple, figure (1.7).

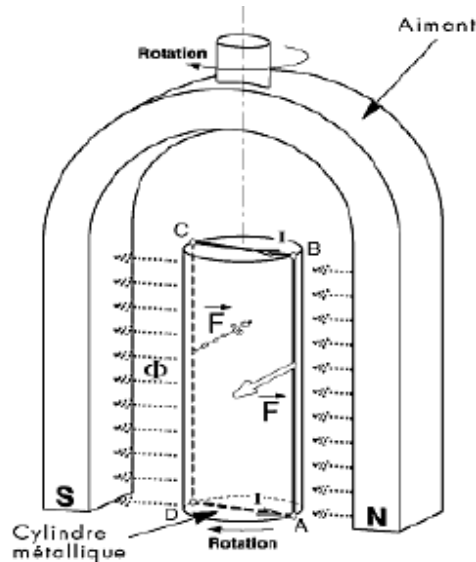


Fig. (1.7) principe de base d'un moteur

On constate que le cylindre suit la rotation de l'aimant avec un léger décalage appelé glissement. Sur les moteurs asynchrones triphasé .le champ tournant est produit par trois bobinages fixes géométriquement décalés de 120° , et parcourus par des courants alternatifs présentant le même décalage électrique. Les trois champs alternatifs

qu'ils produisent se composent pour former un champ tournant d'amplitude constante comme est présenté sur la figure ci-dessous, [9].

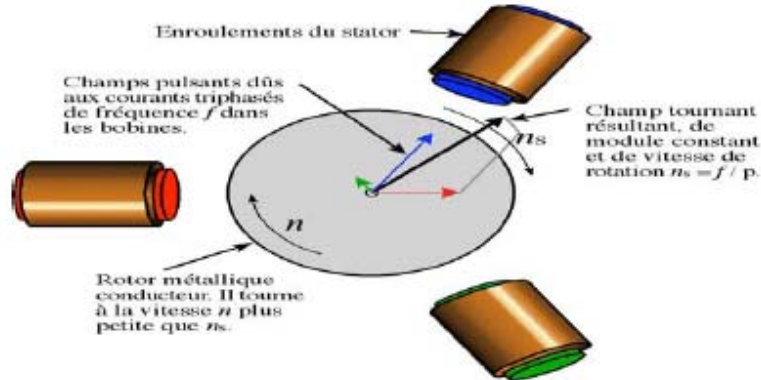


Fig. (1.8) principe de fonctionnement d'un moteur à induction

1.5.1 Le glissement :

Le couple moteur ne peut exister que si un courant induit circule dans la spire. Ce couple est déterminé par le courant qui circule dans la spire et qui ne peut être que s'il existe une variation de flux dans cette spire. Il faut donc qu'il y ait une différence de vitesse entre la spire et le champ tournant. C'est la raison pour laquelle un moteur électrique fonctionnant suivant le principe que nous venons de décrire est appelé "moteur asynchrone".

La différence entre la vitesse de synchronisme (N_s) et celle de la spire (N) est appelée "glissement" (g) et s'exprime en % de la vitesse de synchronisme.

$$g = [(N_s - N_r) / N_s] \times 100$$

En fonctionnement, la fréquence du courant rotorique s'obtient en multipliant la fréquence d'alimentation par le glissement. Au démarrage, la fréquence du courant rotorique est donc maximale et égale à celle du courant statorique. La fréquence du courant statorique diminue progressivement au cours de la mise en vitesse du moteur. Le glissement en régime établi est variable suivant la charge du moteur et selon le niveau de la tension d'alimentation qui lui est appliqué. Il est d'autant plus faible que le moteur est peu chargé et il augmente si le moteur est alimenté en dessous de la tension nominale correspondant à la fréquence d'alimentation.

Les caractéristiques de fonctionnement d'une machine asynchrone sont étroitement liées à la différence de vitesse entre champ tournant et rotor.

Le champ statorique tournant à la vitesse Ω_s et le rotor à la vitesse Ω_r , on appelle glissement la différence relative de vitesse de rotation.

Le glissement est de l'ordre de + 0,01 à + 0,15 en marche normale en moteur.

On remarque que :

$$g = 1 \text{ au démarrage } (\Omega_r = 0)$$

$$g = 0 \text{ au synchronisme } (\Omega_s = \Omega_r)$$

Examinons les différents cas possibles :

- $g = 0$ pour $n_r = n_s$ il n'y a pas de couple.

- $g < 0$ pour $n_r > n_s$ la machine fonctionne en génératrice.

- $g > 0$ pour $n_r < n_s$ la machine fonctionne en moteur.

- $g = 1$ pour $n_r = 0$ la machine est à l'arrêt ou à l'instant du début du démarrage.

- $g > 1$ pour $n_r < 0$ la vitesse de rotation est l'inverse de celle du champ tournant

le moteur fonction en mode de freinage

1.5.2 Vitesse de synchronisme :

La vitesse de synchronisme des moteurs asynchrones triphasés est proportionnelle à la fréquence du courant d'alimentation et inversement proportionnelle au nombre de paires de pôles constituant le stator, [13].

Par exemple : $N_s = 60 f/p$

Avec : N_s : vitesse de synchronisme en tr/min.

f : fréquence en Hz.

p : nombre de paires de pôles.

Pour les fréquences industrielles de 50 Hz et 60 Hz et pour une fréquence de 100 Hz, les vitesses de rotation du champ tournant, ou vitesses de synchronisme, en fonction du nombre de pôles, sont données dans le tableau de la figure (1.9).

Dans la pratique, il n'est pas toujours possible d'augmenter la vitesse d'un moteur asynchrone en l'alimentant sous une fréquence supérieure à celle pour laquelle il est prévu, même si la tension est adaptée. Il convient en effet de vérifier si ses conceptions mécaniques électriques le permettent.

Nombre de pôles	Vitesse de rotation en tr/mn		
	50 Hz	60 Hz	100 Hz
2	3000	3600	6000
4	1500	1800	3000
6	1000	1200	2000
8	750	900	1500
10	600	720	1200
12	500	600	1000
16	375	540	750

Fig. (1.9) Tableau de Vitesses de synchronisme fonction du nombre de pôles et de la fréquence du courant

1.5.3 Bilan des puissances du moteur :

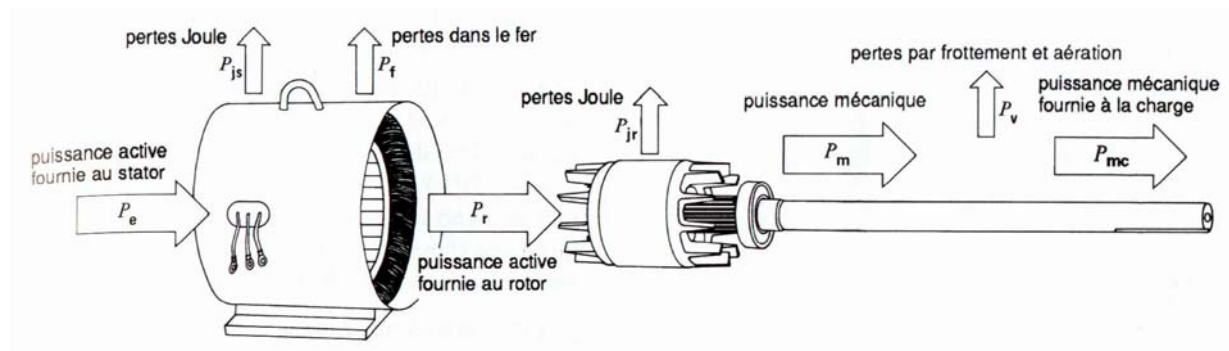


Fig. (1.10) bilan des puissance du moteur

Le moteur absorbe au réseau la puissance :

$$P_e = 3V J \cos \alpha = 3U I \cos \alpha$$

Une partie de cette puissance (1 à 2 %) est perdue dans le stator sous forme de pertes dans le fer (P_{fs}) et de pertes dans le cuivre dues à l'effet joule (P_{js}).

La puissance restante est alors transmise au rotor par le champ tournant sous la forme de puissance électromagnétique :

$$P_t = P_e - (P_{js} + P_{fs})$$

Le rotor utilise cette puissance à deux fins :

Une partie est gaspillée par l'effet joule dans les enroulements du rotor (résistance propre rhéostat extérieur si celui-ci n'est pas en court circuit), l'autre partie se trouve en puissance mécanique P_m disponible sur l'arbre de moteur.

1.5.4 Rendement :

Le rendement d'un moteur asynchrone est la puissance de sortie sur la puissance d'entrée alors est le rapport de la puissance utile à la puissance absorbée, [3].

$$\eta = P_{mc} / P_e$$

1.6 Caractéristique du moteur asynchrone :

1.6.1 Fonctionnement à vide :

A vide le moteur n'entraîne pas de charge.

- **Conséquence** : le glissement est nul est le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.

A vide :

$$g = 0$$

et donc

$$n_o = n$$

- Autres observations :

Le facteur de puissance à vide est très faible ($<0,2$) et le courant absorbé reste fort (P est petit et Q est grand). On parle alors de courant réactif ou magnétisant (ils servent à créer le champ magnétique).

1.6.2 Fonctionnement en charge :

Le moteur fournit maintenant de la puissance active, le stator appelle un courant actif.

Remarque : le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge, [10].

1.6.3 Caractéristique mécanique $C_u = f(n)$:

Comme est illustré sur La figure (1.11)

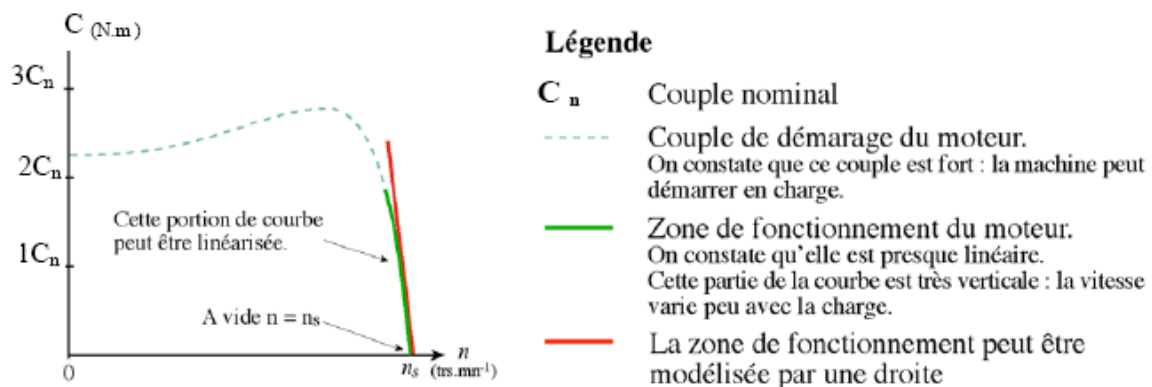


Fig. (1.11) caractéristique du moteur asynchrone

1.6.4 Point de fonctionnement du moteur en charge :

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour le moteur et pour la charge entraînée. Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques, comme le présente la figure (1.12). La courbe du couple résistant dépend de la charge.

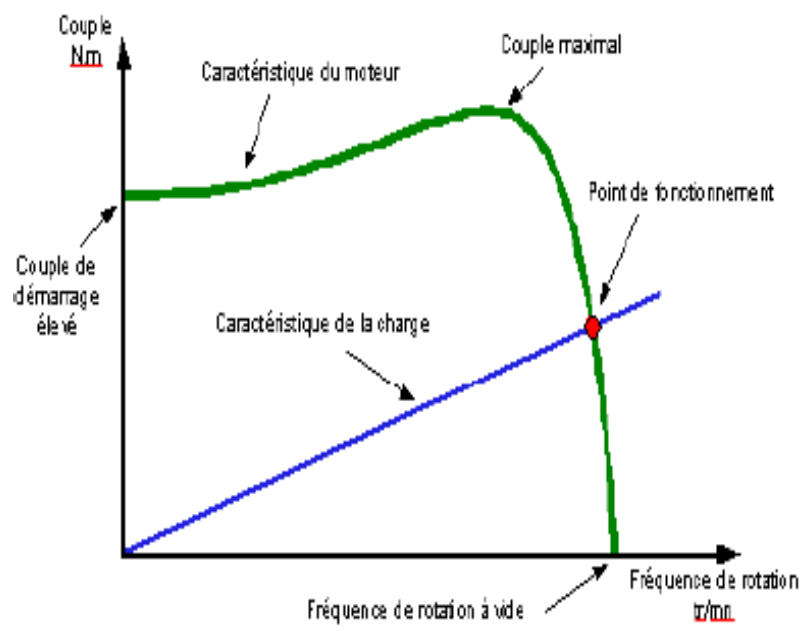


Fig. (1.12) Point de fonctionnement du moteur

1.6.5 Caractéristiques $C=f(n)$ de quelques charges : [11]

Les courbes suivantes présentent la variation du couple en fonction de la vitesse de rotation de quelques charges comme la figure (1.13) est indiquée.

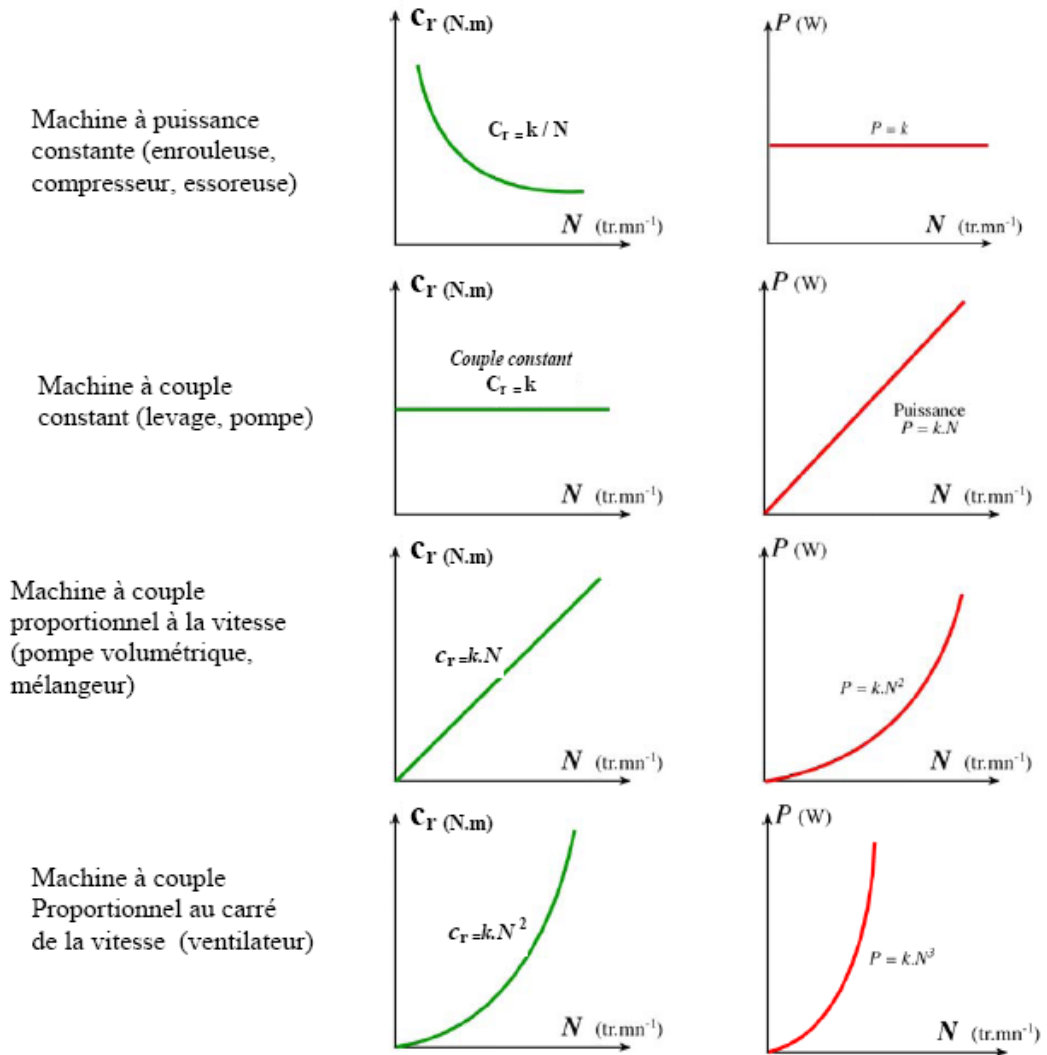


Fig. (1.13) Caractéristiques $C=f(n)$ de quelques charges

1.6.6 Résumé des caractéristiques :

- A vide, le courant est non négligeable, mais la puissance absorbée est surtout réactive (Q).
- Le couple et le courant de démarrage sont importants.
- La machine asynchrone peut démarrer en charge.
- La vitesse du champ tournant est : $n_s = f / p$ (f la fréquence du courant et p le nombre de paires de pôles).
- Le glissement est le rapport entre la vitesse du champ et celle du rotor : $g = (n_s - n) / n_s$.
- À vide $g = 0$ et $n_0 = n_s$.

- Quelle que soit la charge la vitesse de rotation varie très peu ($n \approx n_s$), [12].

1.7 Couplage de la plaque à bornes :

Le branchement des bobines sur le réseau se fait au niveau de la plaque à borne située sur le dessus de moteur. On dispose ainsi de 6 connexions, un pour chacune des extrémités des trois bobines. Les bornes sont reliées aux bobines selon la figure (1.14) ci-dessous.

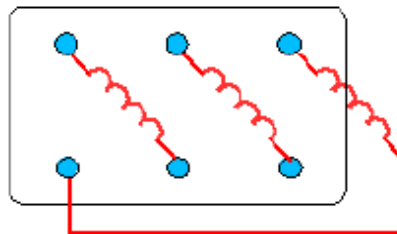


Fig. (1.14) la plaque à bornes

1.8 Branchement du moteur sur le réseau triphasé:

Il n'est pas toujours possible de brancher un moteur asynchrone en étoile ou en triangle.
 Avec le branchement étoile, la tension à la borne de chacune des bobines est 220 V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée en tension nominale de réseau (380 V), [12]. la figure (1.15) ci-dessous présente le couplage des moteurs.

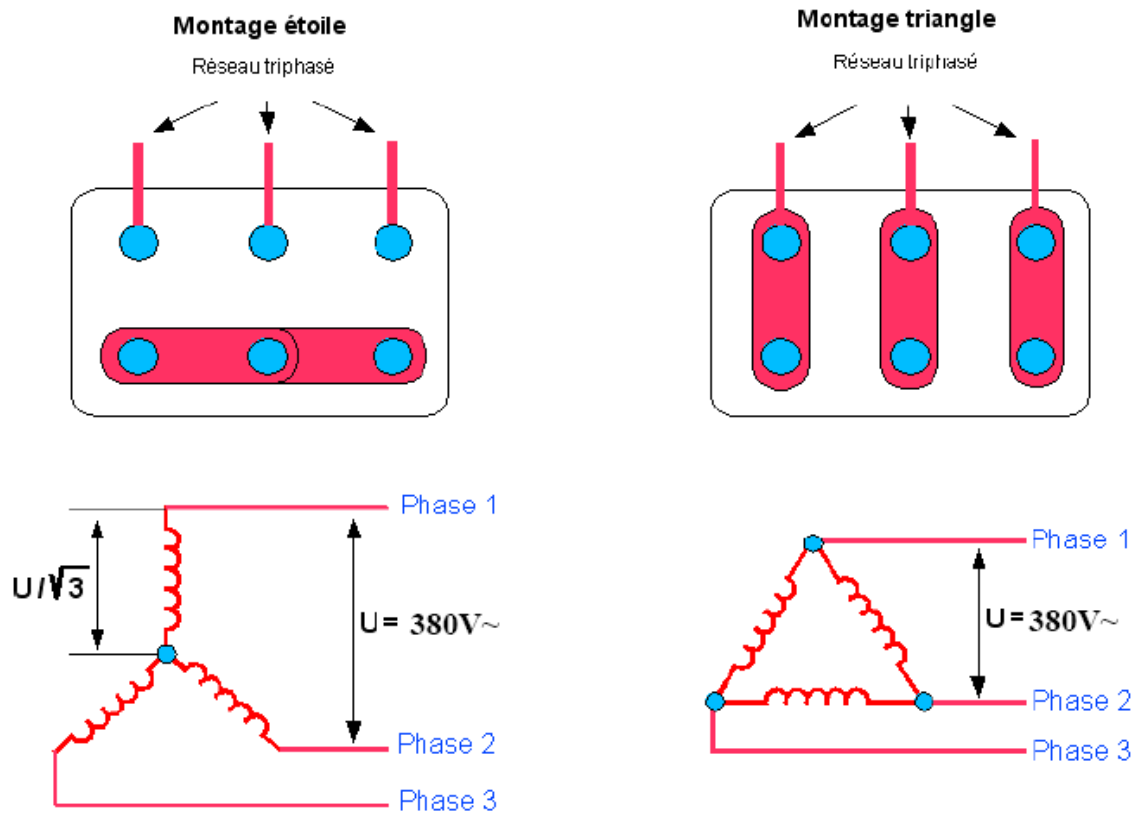


Fig. (1.15) Couplage des moteurs

- **Exemple :**

- sur une plaque signalétique d'un moteur on lit : 380 Y / Δ 220

- le réseau est en 220 / 380 V

De la plaque signalétique on déduit que la tension nominale d'une phase du moteur est de 220 V. Si on branche ce moteur en triangle, la tension au borne d'une phase sera de 380 V ce qui est trop élevé.

- **Conclusion :**

Ce moteur peut être brancher uniquement en étoile sur le réseau 220 / 380 V.

- **Remarque :** il s'agit en fait d'un vieux moteur. Actuellement tous les moteurs supportent 380 V Par phase. Ils supportent même souvent 400 V et 415 V, car le réseau évolue progressivement vers ces tensions, [9].

1.9 Plaque signalétique :

La figure (1.16) présente la plaque signalétique d'un moteur asynchrone

Mot 3~ 50/60Hz	IEC34	IP55
MT90L24-4		
1.5 / 1.75 kW		1420 / 1710 tr/min
380-420 / 440-480V - Y		3.7 / 3.6A
220-240 / 250-280V - Δ		6.4 / 6.3A
		cos φ = 0.75 / 0.78

Moteur triphasé utilisable en 50 et 60 Hz	Plaque établie conformément à la norme internationale IEC34	Classement IP (Indice de Protection)
---	---	--------------------------------------

Numéro de série du constructeur

Puissance utile nominale		fréquence de rotation nominale
Tension entre phase du réseau d'alimentation pour un couplage étoile		Courant de ligne nominal pour un couplage étoile

Tension entre phase du réseau d'alimentation pour un couplage triangle		Courant de ligne nominal pour un couplage triangle facteur de puissance au
--	--	---

Exemple de plaque signalétique d'un moteur asynchrone triphasé industriel :[10]

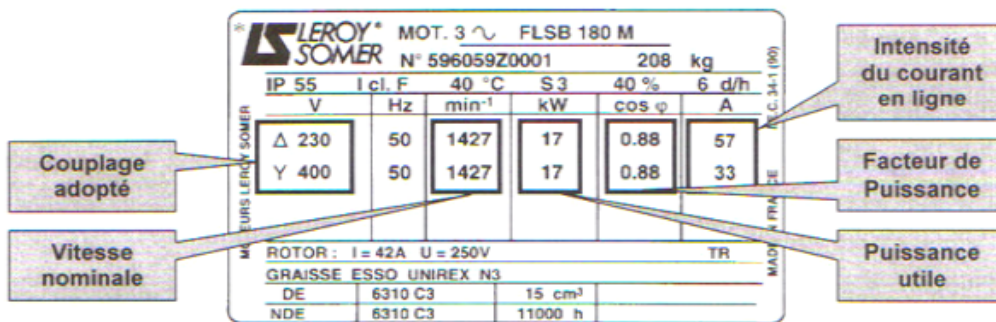


Fig. (1.16) plaque signalétique

1.10 Réversibilité :

Toutes les machines tournantes sont réversibles. Dans le cas de la machine asynchrone, étant donné que son rotor n'est pas excité, elle ne peut être autonome. Mais elle est réversible dans le sens où elle peut fournir de la puissance au réseau en fonctionnant en charge, la figure (1.17) présente les zones de fonctionnement d'une machine asynchrone,[11].

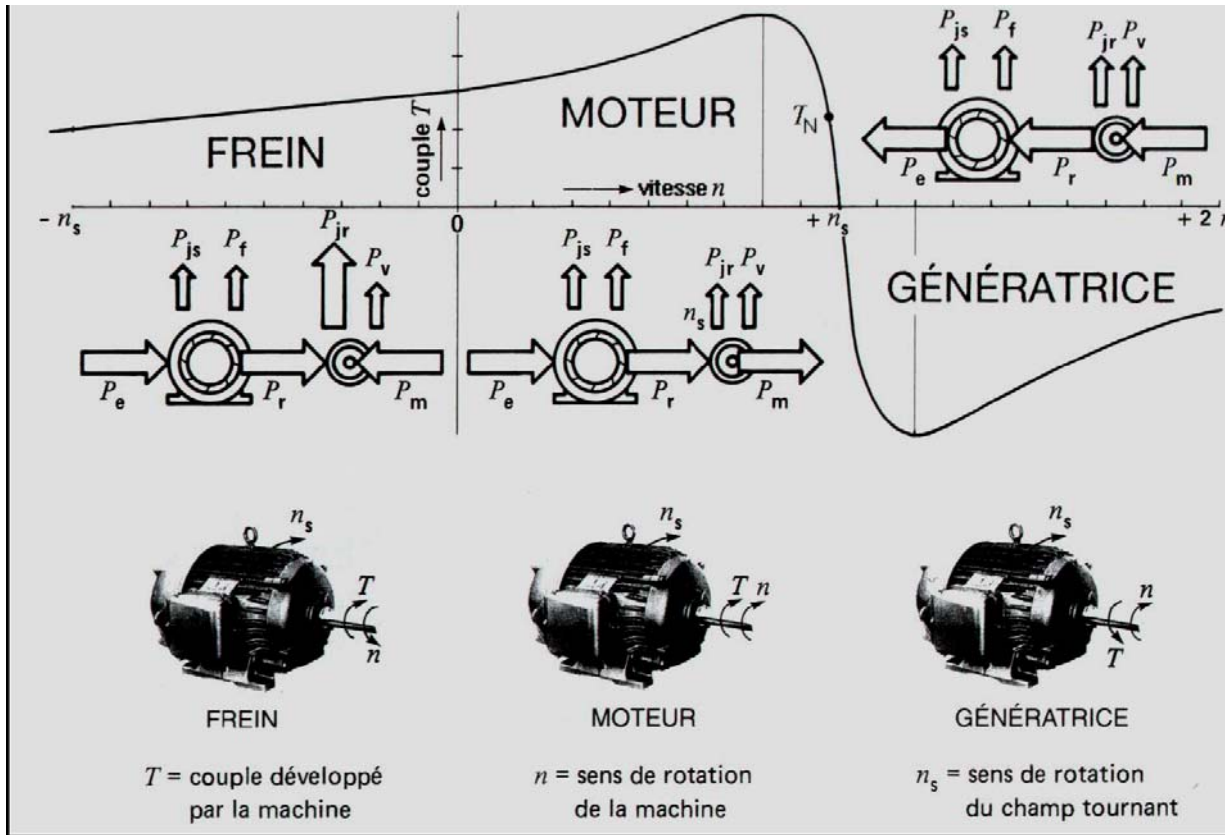


Fig. (1.17) les zones de fonctionnement d'une machine asynchrone

1.11 Conséquences d'une variation de la tension ou de fréquence sur un moteur asynchrone :

1.11.1 Augmentation ou la diminution de la tension :

a- Vitesse :

Lors des variations de tension la vitesse au synchronisme n'est pas modifiée. Mais sur un moteur en charge une augmentation de la tension entraîne une diminution du glissement et par la même l'accélération du moteur. Ce phénomène est limité par la saturation de la machine par contre si la tension d'alimentation décroît le moteur tourne plus lentement.

b- Couple :

Le couple étant proportionnel au carré de la tension, il augmente lorsque la tension est plus élevée. Inversement, il diminue considérablement lorsque la tension est plus élevée.

Si le moteur a été calculé trop juste, il peut ne pas démarrer, ou même caler et il risque d'être détérioré en cas de chute de tension persistante

c- Courant de démarrage :

Il varie proportionnellement à la tension d'alimentation donc, si celle-ci est plus élevée, le courant absorbé au moment du démarrage augmente, par contre, si la tension diminue, le courant de démarrage diminue également. Le courant en régime établi varie d'ailleurs de façon analogue.

1.11.2 Augmentation ou diminution de la fréquence :

a- Vitesse :

Sur un moteur asynchrone, nous l'avons vu précédemment, la vitesse de synchronisme est proportionnelle à la fréquence. Cette propriété est souvent utilisée pour faire fonctionner à très grande vitesse des moteurs spécialement conçus pour une alimentation par exemple en 400 Hz (rectifieuses, appareils de laboratoire ou chirurgicaux, etc.....).

Il est possible également d'obtenir une vitesse variable par réglage de puissance par exemple de 6 à 50Hz (rouleaux transporteurs, appareils de levage, etc...).

b- Couple :

A tension constante, le courant de démarrage est inversement proportionnelle au carré de la fréquence. Si celle-ci augmente, le couple développé par le moteur diminue considérablement. Inversement, si la fréquence décroît, le couple croît.

c- Courant de démarrage :

A tension constante, le courant de démarrage varie en sens inverse de la fréquence. De ce fait, il augmente, si la fréquence diminue en inversement. Il en est de même du courant en régime établi. Cette variation de couple et de courant sont le plus souvent gênantes.

En pratique, pour les éviter, il est conseillé de varier la tension d'alimentation proportionnellement à la fréquence, [1].

1.12 Utilisation du moteur asynchrone :

Les performances d'un moteur concernent les domaines suivants : démarrage, variation de la vitesse, freinage et inversion de sens de marche.

Comme la vitesse N reste très proche de la vitesse N_s de synchronisme, pour varier la vitesse du Moteur il faut en fait varier la fréquence f_s à l'aide d'un onduleur.

Mais pour faire varier la vitesse sans modifier le couple utile il faut garder le rapport V_s / f_s constant (V_s est la tension d'alimentation d'un enroulement). Si on augmente la vitesse, il faut augmenter la fréquence et la tension d'alimentation dans les limites du bon fonctionnement de la machine.

Le moteur asynchrone triphasé, d'une puissance de quelques centaines de watts à plusieurs mégawatts est le plus utilisé de tous les moteurs électriques. Son rapport coût/puissance est le plus faible. Associés à des onduleurs de tension, les moteurs asynchrones de forte puissance peuvent fonctionner à vitesse variable dans un large domaine (les derniers TGV, le Tram de Strasbourg, ...).

Toutefois l'emploi de ce type de moteur est évité en très forte puissance ($P > 10$ MW) car la consommation de puissance réactive est alors un handicap, [9].

Remarques :

En électroménager (exemple : lave-linge) la vitesse des moteurs asynchrones n'est pas réglée par un onduleur, mais ces moteurs possèdent plusieurs bobinages. Il est alors possible de changer le nombre de paires de pôles et donc la vitesse.

1.13 Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone :

Si l'on compare le moteur asynchrone au moteur shunt à courant continu, on constate que les caractéristiques dans leurs parties stables, sont identiques, ce qui conduit aux mêmes applications industrielles. En ce qui concerne le choix d'un moteur pour une application donnée, il est intéressant de signaler les avantages et les inconvénients de ces deux moteurs.

1.13.1 Les avantages du moteur asynchrone :

Comparé au moteur shunt, le moteur asynchrone a l'avantage d'être alimenté directement par le réseau triphasé. Son prix d'achat est moins élevé, il est beaucoup plus robuste car il ne nécessite pratiquement pas d'entretien.

Ses deux qualités fondamentales (prix et solidité) résultent du fait qu'il n'a pas de collecteur. En effet, le collecteur est un organe coûteux et fragile qui nécessite un entretien fréquent : changement des balais.

1.13.2 Les inconvénients du moteur asynchrone :

A l'exception du démarrage et de l'inversion du sens de marche que l'on peut résoudre de façon satisfaisante, le moteur asynchrone a des performances très médiocres par rapport à celles du moteur shunt. En effet jusqu'à ces dernières années, l'entraînement idéal était réalisé par le moteur shunt alimenté par un convertisseur de tension, [3].

1.14 Conclusion :

Dans ce chapitre on a donné un historique sur les machines asynchrones et nous avons exposé une étude générale sur les moteurs asynchrones triphasés (constitution, Principe de fonctionnement, caractéristique ...etc.), plus on a donné l'utilisation de ce type de moteur, et ses avantages et ses inconvénients.

Dans le chapitre suivant on verra les différents procédés de démarrage utilisés pour ce type de moteur.

Chapitre Deux

Démarrage Des Moteurs Asynchrones

2 Introduction :

Lors de la mise sous tension d'un moteur, l'appel de courant sur le réseau est important et peut, surtout si la section de la ligne d'alimentation est insuffisante, provoquer une chute de tension susceptible d'affecter le fonctionnement des récepteurs. Parfois, cette chute de tension est telle qu'elle est perceptible sur les appareils d'éclairage. Pour remédier à ces inconvénients, les règlements de quelques secteurs interdisent, au-dessus d'une certaine puissance, l'emploi de moteurs démarrant en direct. En fonction des caractéristiques du moteur et de la charge, plusieurs méthodes de démarrages sont utilisées. Le choix sera dicté par des impératifs électriques, mécaniques et économiques. La nature de la charge entraînée aura également une grande incidence sur le mode de démarrage à retenir.

2.1 Les principaux modes de démarrage :

2.1.1 Démarrage direct :

C'est le mode de démarrage le plus simple dans lequel le stator est directement couplé sur le réseau. Le moteur démarre sur ses caractéristiques naturelles. Au moment de la mise sous tension, le moteur se comporte comme un transformateur dont le secondaire, constitué par la cage du rotor très peu résistante, est en court-circuit. Le courant induit dans le rotor est important. Il en résulte une pointe de courant sur le réseau :

$$I \text{ démarrage} = 5 \text{ à } 8 I \text{ nominal}$$

Le couple de démarrage est en moyenne :

$$C \text{ démarrage} = 0.5 \text{ à } 1.5 C \text{ nominal.}$$

Malgré les avantages qu'il présente (simplicité de l'appareillage, couple de démarrage élevé, démarrage rapide, prix faible), le démarrage direct ne peut convenir que dans les cas où :

- la puissance du moteur est faible par rapport à la puissance du réseau, de manière à limiter les perturbations dues à l'appel de courant,

- la machine entraînée ne nécessite pas une mise en vitesse progressive où comporte un dispositif amortisseur qui réduit le choc du démarrage,

- le couple de démarrage peut être élevé sans incidence sur le fonctionnement de la machine ou de la charge entraînée. la figure (2.1) présente schémas de puissance d'un démarrage direct et leur caractéristique

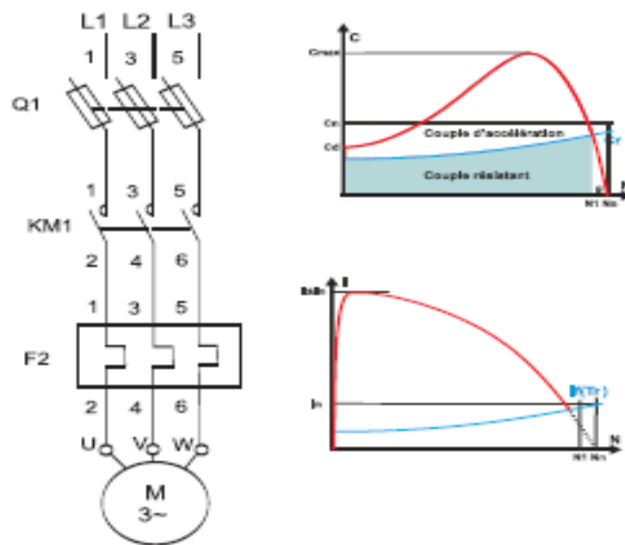


Fig. (2.1) schémas de puissance et les caractéristiques du démarrage direct

2.1.2 Démarrage étoile-triangle :

Ce mode de démarrage ne peut être utilisé qu'avec un moteur sur lequel les deux extrémités de chacun des trois enroulements statoriques sont ramenées sur la plaque à bornes. Par ailleurs, le bobinage doit être réalisé de telle sorte que le couplage triangle corresponde à la tension du réseau : par exemple, pour un réseau triphasé 380 V, il faut un moteur bobiné en 380 V triangle et 660 V étoile.

Le principe consiste à démarrer le moteur en couplant les enroulements en étoile comme la figure (2.2) est indiqué sous la tension réseau, ce qui revient à diviser la tension

nominale du moteur en étoile par 3 (dans l'exemple ci-dessus, la tension réseau $380\text{ V} = 660\text{ V}/3$).

La pointe de courant de démarrage est divisée par 3: - $I_d = 1.5 \text{ à } 2.6 I_n$

En effet, un moteur $380\text{ V}/660\text{ V}$ couplé en étoile sous sa tension nominale 660 V absorbe un courant 3 fois plus faible qu'en couplage triangle sous 380 V .

Le couplage étoile étant effectué sous 380 V , le courant est divisé une nouvelle fois par $\sqrt{3}$ donc au total par 3. Le couple de démarrage étant proportionnel au carré de la tension d'alimentation, il est lui aussi divisé par 3 :

$$C_d = 0.2 \text{ à } 0.5 C_n$$

La vitesse du moteur se stabilise quand les couples moteur et résistant s'équilibrent, généralement entre 75 et 85 % de la vitesse nominale. Les enroulements sont alors couplés en triangle et le moteur rejoint ses caractéristiques naturelles. Le passage du couplage étoile au couplage triangle est commandé par un temporisateur. La fermeture du contacteur triangle s'effectue avec un retard de 30 à 50 millisecondes après l'ouverture du contacteur étoile, ce qui évite un court-circuit entre phases, les deux contacteurs ne pouvant être fermés simultanément.

Le courant qui traverse les enroulements est interrompu à l'ouverture du contacteur étoile. Il se rétablit à la fermeture du contacteur triangle. Ce passage en triangle s'accompagne d'une pointe de courant transitoire très brève mais très importante, due à la force contre-électromotrice du moteur.

Le démarrage étoile-triangle convient aux machines qui ont un faible couple résistant ou qui démarrent à vide (ex : machine à bois).

Pour limiter ces phénomènes transitoires, des variantes peuvent être nécessaires, au-delà d'une certaine puissance. L'une consiste en une temporisation de 1 à 2 secondes au passage étoile-triangle.

Cette temporisation permet une diminution de la force contre-électromotrice, donc de la pointe de courant transitoire.

Ceci ne peut être utilisé que si la machine a une inertie suffisante pour éviter un ralentissement trop important pendant la durée de la temporisation. Une autre est le démarrage en 3 temps : étoile-triangle + résistance-triangle.

La coupure subsiste, mais la résistance mise en série, pendant trois secondes environ, avec les enroulements couplés en triangle, réduit la pointe de courant transitoire. Une variante est le démarrage étoile-triangle + résistance-triangle sans coupure.

La résistance est mise en série avec les enroulements immédiatement avant l'ouverture du contacteur étoile. Ceci évite toute interruption de courant, donc l'apparition de phénomènes transitoires. L'utilisation de ces variantes se traduit par la mise en oeuvre de matériel supplémentaire, ce qui peut avoir pour conséquence une augmentation non négligeable du coût de l'installation.

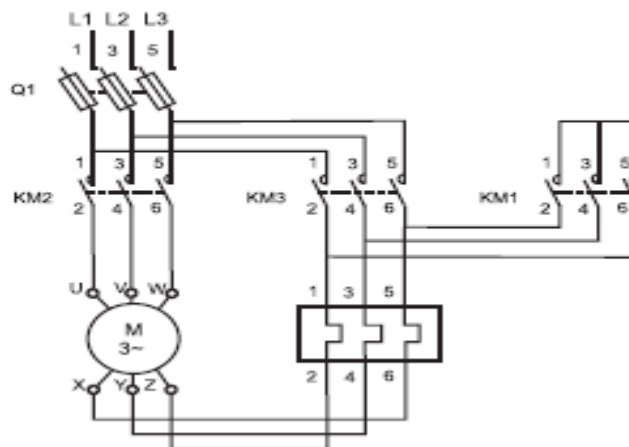


Fig. (2.2) démarrage étoile-triangle

2.1.3 Démarrage de moteurs à enroulements partagés “part-winding” :

Ce système comme présente la figure (2.3), peu utilisée en Europe, l'est surtout sur le marché nord-américain (tension 230/460 V, rapport égal à 2). Ce type de moteur comporte un enroulement statorique dédoublé en deux enroulements parallèles avec six ou douze bornes sorties. Il est équivalent à deux "demi moteurs" d'égale puissance.

Au démarrage, un seul "demi moteur" est couplé en direct sous la pleine tension du réseau, ce qui divise le courant de démarrage et le couple approximativement par deux. Ce dernier est néanmoins supérieur au couple que fournirait un moteur à cage de même puissance démarrant en étoile-triangle.

En fin de démarrage, le second enroulement est couplé sur le réseau. A ce moment, la pointe de courant est faible et de courte durée, car le moteur n'a pas été séparé du réseau d'alimentation et n'a plus qu'un faible glissement.

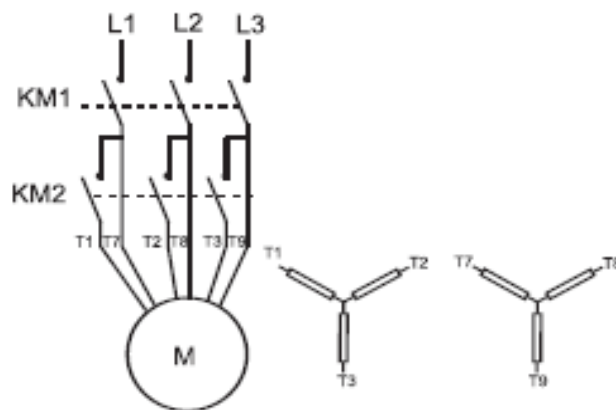


Fig. (2.3) démarrage part-winding

2.1.4 Démarrage statorique à résistance :

Le principe consiste à démarrer le moteur sous tension réduite en insérant des résistances en série avec les enroulements comme présente la figure (2.4). Lorsque la vitesse se stabilise, les

résistances sont éliminées et le moteur est couplé directement sur le réseau. Cette opération est généralement commandée par un temporisateur.

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 de courant et de 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. Ce mode de démarrage convient donc bien aux machines ayant un couple résistant croissant avec la vitesse, comme par exemple les ventilateurs ou les pompes centrifuges. Il présente l'inconvénient d'une pointe de courant relativement importante au démarrage. Cette pointe pourrait être réduite en augmentant la valeur de la résistance, mais cela entraînerait une chute de tension supplémentaire aux bornes du moteur, et par conséquent une diminution importante du couple de démarrage. En revanche, l'élimination de la résistance en fin de démarrage se fait sans qu'il y ait interruption de l'alimentation du moteur, donc sans phénomène transitoire.

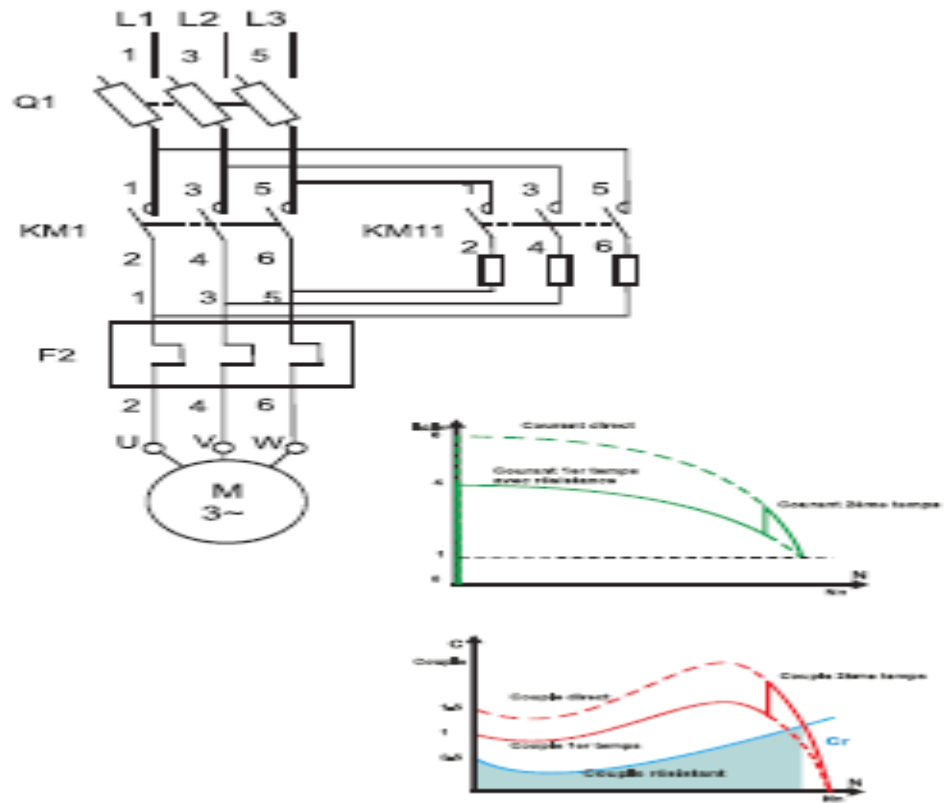


Fig. (2.4) démarrage statorique à résistance

2.1.5 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 comme indiquer la figure (2.5) 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, l'étoilage 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. Ils sont divisés par $(U_{\text{réseau}}/U_{\text{réduite}})$.

Les valeurs obtenues sont les suivantes :

$$I_d = 1.7 \text{ à } 4 I_n$$
$$C_d = 0.5 \text{ à } 0.85 C_n$$

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 de l'étoilage, 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 de l'étoilage au deuxième temps, il n'y ait pas de variation de tension aux bornes du moteur.

La présence de l'entrefer a pour conséquence une augmentation du courant magnétisant de l'autotransformateur. Ce courant magnétisant augmente l'appel de courant dans le réseau lors de la mise sous tension de l'autotransformateur.

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.

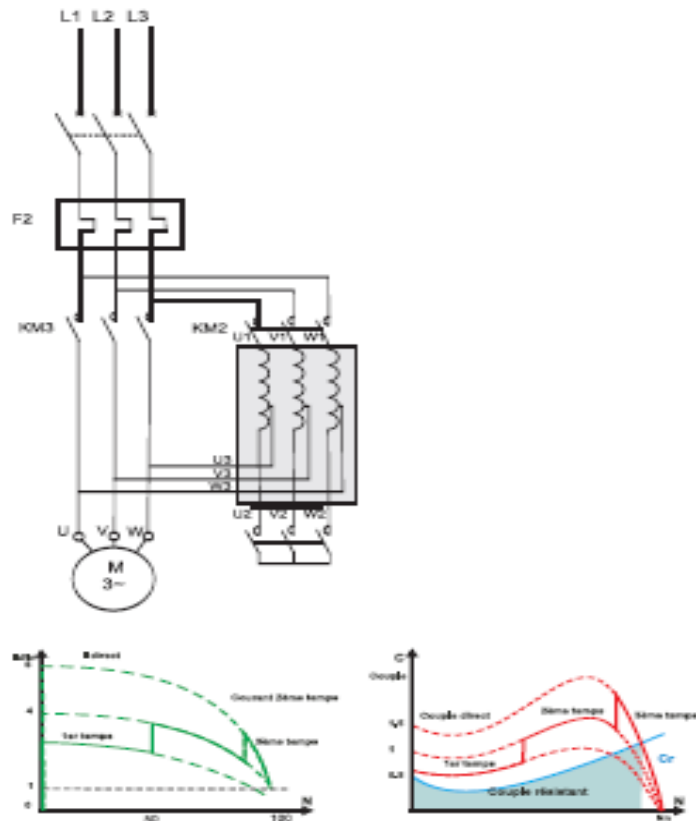


Fig. (2.5) démarrage par autotransformateur

2.2 Démarrage des moteurs à bagues : [11]

Un moteur à bagues ne peut démarrer en direct, avec ses enroulements rotoriques court-circuités, sinon il provoquerait des pointes de courant inadmissibles. Il est nécessaire, tout en alimentant le stator sous la pleine tension du réseau, d'insérer dans le circuit rotorique des résistances qui sont ensuite court-circuitées progressivement. Fig. (2.6)

Le calcul de la résistance insérée dans chaque phase permet de déterminer de façon rigoureuse la courbe couple-vitesse obtenue. Il en résulte que celle-ci doit être insérée en totalité au moment du démarrage et que la pleine vitesse est atteinte lorsqu'elle est entièrement court-circuitée. Le courant absorbé est sensiblement proportionnel au couple fourni ou, du

moins, n'est que peu supérieur à cette valeur théorique. Par exemple, pour un couple de démarrage égal à $2 C_n$, la pointe de courant est d'environ $2 I_n$. Cette pointe est donc considérablement plus faible et le couple maximal de démarrage plus élevé qu'avec un moteur à cage, pour lequel les valeurs typiques, en couplage direct sur le réseau, sont de l'ordre de $6 I_n$ pour $1.5 C_n$. Le moteur à bagues, avec un démarrage rotorique, s'impose donc dans tous les cas où les pointes de courant doivent être faibles et pour des machines démarrant à pleine charge. Par ailleurs, ce type de démarrage est extrêmement souple, car il est facile d'ajuster le nombre et l'allure des courbes représentant les temps successifs aux impératifs mécaniques ou électriques.

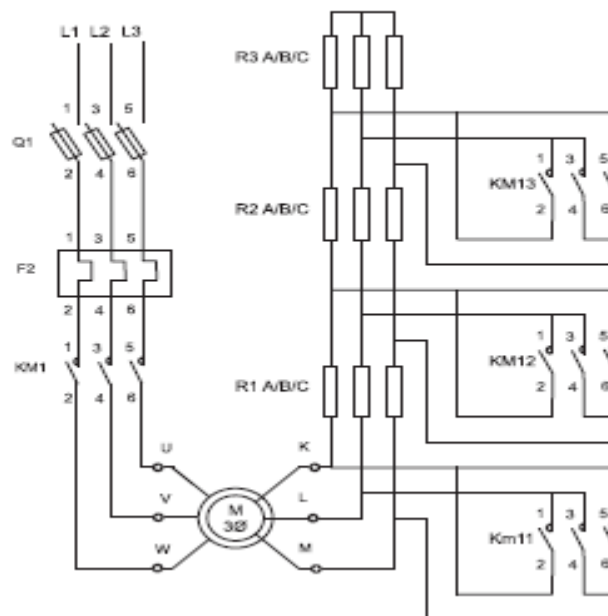


Fig. (2.6) démarrage des moteurs à bagues

2.2.1 Démarrage/ralentissement par démarreur électronique (Soft starter) :

C'est un mode de démarrage performant qui permet un démarrage et un arrêt en douceur Il peut être utilisé :

- en limitation de courant,
- en régulation de couple.

Le contrôle par limitation de courant permet de fixer un courant maximum (3 à $4 \times I_n$) pendant la phase de démarrage au détriment des performances en couple. Ce contrôle est particulièrement adapté aux "turbomachines" (pompes centrifuges, ventilateurs).

Le contrôle par régulation de couple permet d'optimiser les performances en couple au démarrage au détriment de l'appel de courant sur le réseau. Celui-ci est adapté aux machines à couple constant.

Ce type de démarreur fig. (2.7) permet une multitude de schéma :

- un sens de marche,
- deux sens de marche,
- shuntage de l'appareil en fin de démarrage,
- démarrage et ralentissement de plusieurs moteurs en cascade, - etc.

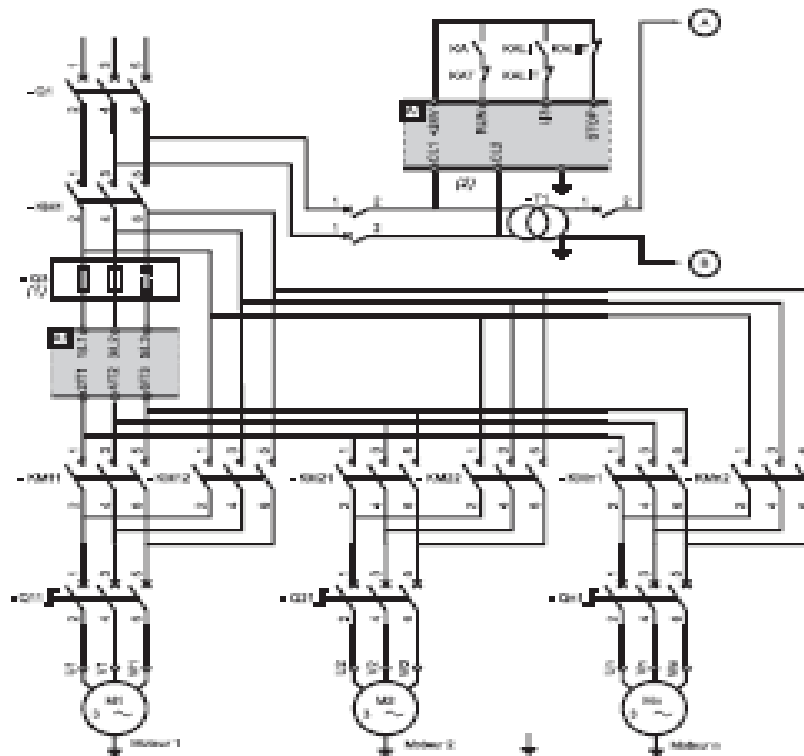


Fig. (2.7) Démarrage/ralentissement par démarreur électronique

2.2.2 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 fig (2.8)

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.

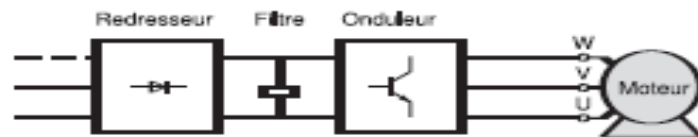


Fig. (2.8) démarrage par convertisseur de fréquence

2.3 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé une étude sur les différents types de démarrages des moteurs asynchrones triphases. Nous avons également cité les avantages et les inconvénients de chaque procédé et leur différente application et nous avons présenté chaque type de démarrage par une figure illustrée.

Chapitre Trois

Freinage Des Moteurs Asynchrones Triphasés

3.1 Introduction :

Dans un grand nombre d'applications, l'arrêt du moteur est obtenu simplement par décélération naturelle. Le temps de décélération dépend alors uniquement de l'inertie et du couple résistant de la machine entraînée. Mais il est souvent nécessaire de réduire ce temps. Le freinage électrique apporte dans ce cas une solution efficace et simple. Par rapport aux freinages mécanique et hydraulique, il offre l'avantage de la simplicité et de ne mettre en oeuvre aucune pièce d'usure.

3.2 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 approche de zéro :

- détecteurs d'arrêt à friction, détecteurs d'arrêt centrifuges.
- dispositifs chronométriques.

3.2.1 Cas du 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. En effet, outre les contraintes mécaniques, ce procédé impose des contraintes thermiques importantes au rotor, l'énergie correspondant à chaque freinage (énergie de glissement prise au réseau et énergie cinétique) étant dissipée dans la cage.

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, il est souvent inséré, 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 généralisé que sur certaines applications avec des moteurs de faible puissance, comme présentés sur la figure (3.1).

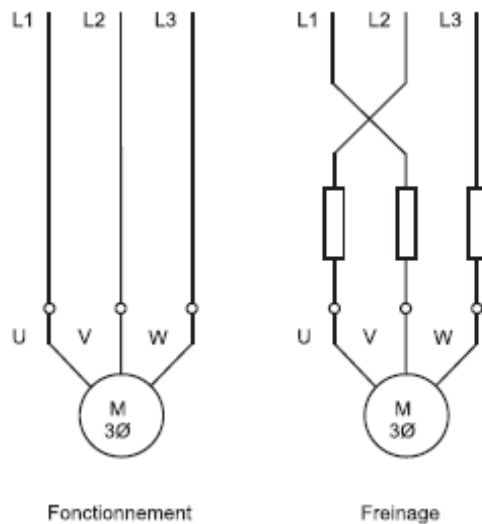


Fig. (3.1) moteur à cage

3.2.2 Cas du moteur à rotor bobiné (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 les résistances rotoriques 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 quelquefois 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 avant, ou bien par l'action d'un relais de tension ou de fréquence inséré dans le circuit rotorique. Avec ce système, il est possible de retenir une charge entraînée à une vitesse modérée. La caractéristique est très instable (fortes variations de vitesse pour faibles variations de couple).

Ce procédé de freinage se fait, en changeant le sens de rotation du champ par commutation de deux fils quelconque venant au stator.

Le rotor tourne en sens inverse de celui du champ Avec $g > 1$

Dans le cas du moteur présent (moteur à rotor à bagues) on introduit dans le circuit rotorique une série de résistances (R_1, R_2, R_3) qui seront court-circuitées successivement et progressivement pour limiter le contre courant.

L'arrêt totale du moteur est assuré par un relais à maximum de tension [$u >$], les schémas électrique (de puissance et de commande) sont présentés sur les figures (3.2) et (3.3).

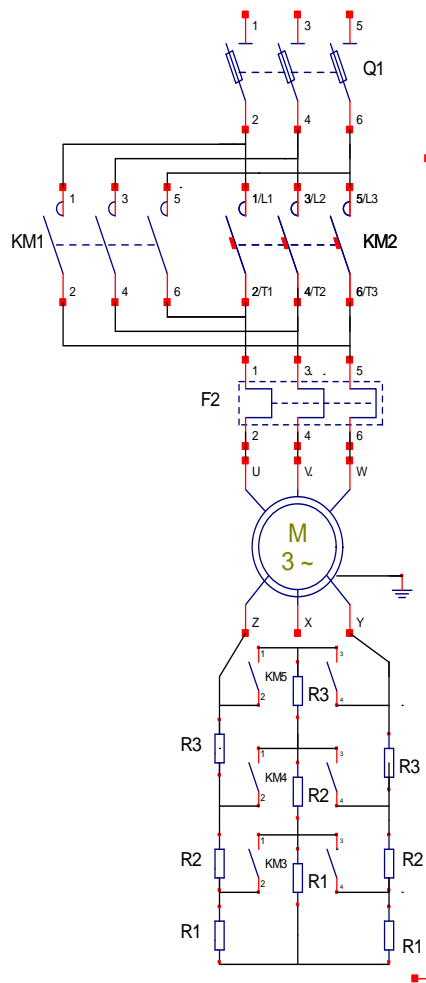


Fig. (3.2) schéma de puissance

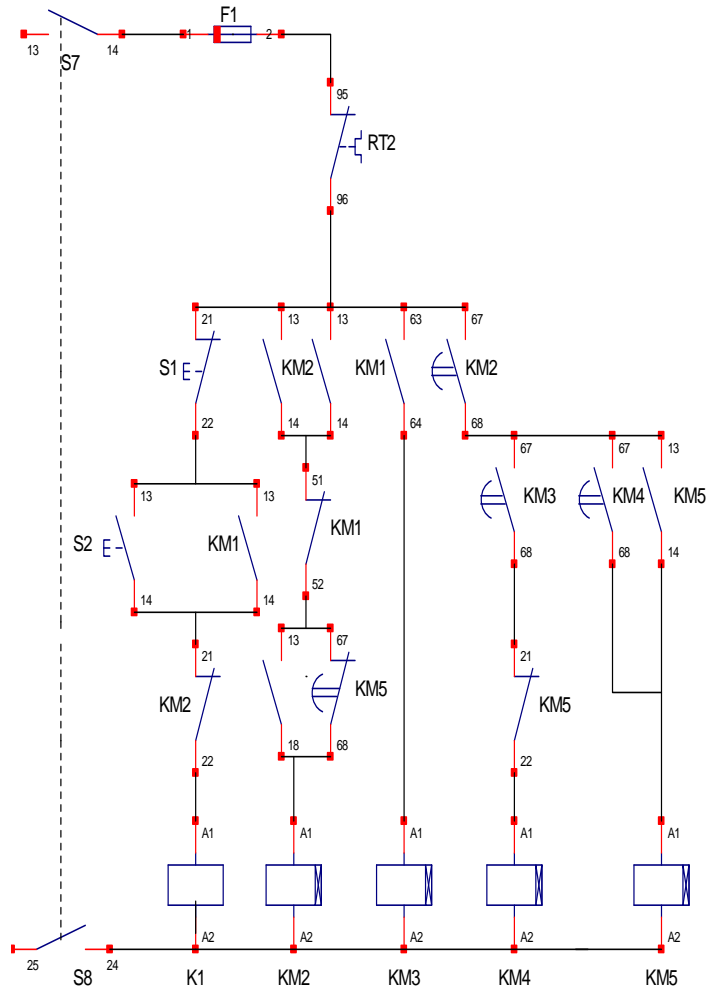


Fig. (3.3) schéma de commande

- **Fonctionnement :**

Moteur en marche normal :

- **Circuit de puissance :**

- KM1 étant déjà fermé.

- KM3 fermé.
- KM5 fermé.
- **Freinage :**
 - Impulsion sur S1
 - Ouverture de KM1
 - Ouverture de KM3, KM5.
 - Fermeture de KM2
 - Excitation du relais de mesure de tension U
 - Fermeture de KM3 (après un temps t1)
 - Fermeture de KM3 (après un temps t2).
 - KM5 fermé après un temps t3.

3.3 Freinage par injection de courant redressé :

Ce mode de freinage est utilisé sur les moteurs à bagues et à cage. Par rapport au système à contre-courant, le prix de la source de courant redressé est compensé par un moindre volume des résistances. Avec les variateurs et démarreurs électroniques, cette possibilité de freinage est offerte sans supplément de coût.

Le procédé consiste à envoyer du courant redressé dans le stator préalablement séparé du réseau. Ce courant redressé crée un flux fixe dans l'entrefer du moteur. Pour que la valeur de ce flux corresponde à un freinage convenable, le courant doit être environ 1.3 fois le courant nominal. L'excédent de pertes thermiques dû à cette légère surintensité est généralement compensé par le fait que le freinage est suivi d'un temps d'arrêt. La valeur du courant étant fixée par la seule résistance des enroulements du stator, la tension de la source de courant redressé est faible. Cette source est généralement constituée de redresseurs ou fournie par les variateurs. Ceux-ci doivent pouvoir supporter les surtensions transitoires produites par les enroulements qui viennent d'être déconnectés du réseau alternatif (à 380 volts efficaces, par exemple).

Le mouvement du rotor constitue un glissement par rapport à un champ fixe dans l'espace (alors que, dans le système à contre-courant, le champ tourne en sens inverse).

3.3.1 Cas du moteur à cage :

Dans le cas d'un moteur à cage, ce système permet de régler facilement le couple de freinage en agissant sur le courant continu d'excitation. Cependant, le couple de freinage sera faible quand le moteur tourne à vitesse élevée.

Afin d'éviter les échauffements inutiles, il faut prévoir un dispositif coupant le courant dans le stator une fois le freinage réalisé (le contrôle dans le cas présent est assuré par un relais à minimum de courant) les schémas électrique sont présenté sur les figures (3.6) et (3.7).

• Freinage dynamique

Le stator est débranché du réseau et est excité en courant continu par une source de courant continu dans le cas présent est un redresseur sec (à diodes). Deux enroulement du stator connecter en série, sont alimenté par le redresseur dont lequel le stator crée un champ fixe qui fait naître des force d'attraction sur le rotor en court-circuit.

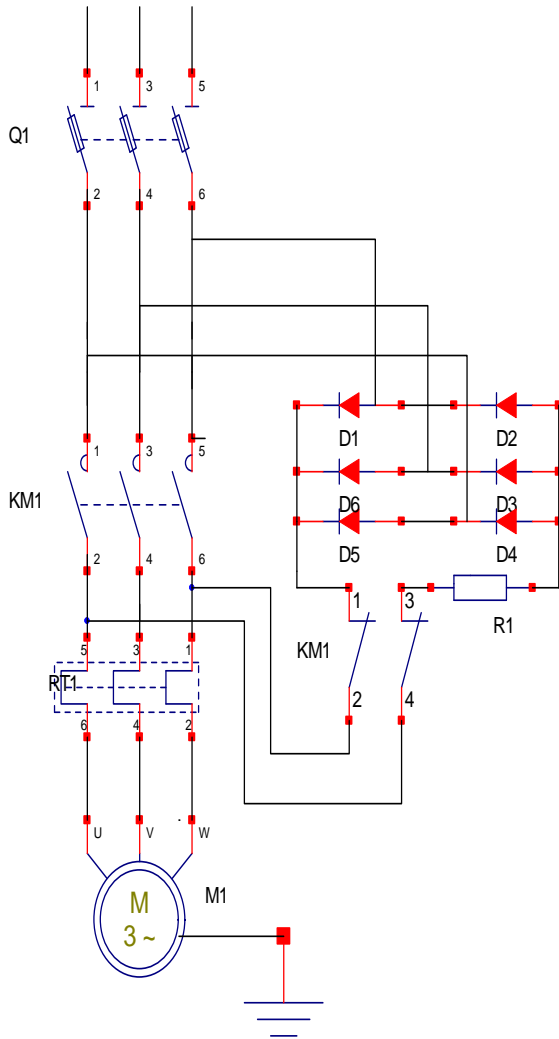


Fig. (3.4) schémas de puissance

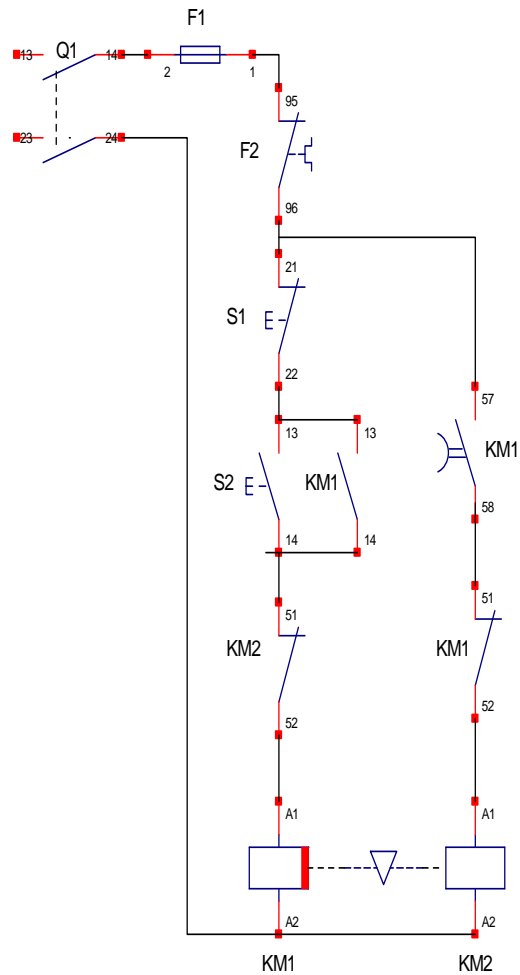


Fig. (3.5) schémas de commande

- **Fonctionnement :**
- **Circuit de puissance :**
 - Fermeture de Q1.
 - Fermeture de KM1.
- **Freinage :**
 - Ouverture de KM1.
 - Fermeture de KM2.
 - Ouverture de KM2 (après arrêt total).
- **Circuit de commande :**
 - Impulsion sur S1.
 - Désexcitation de KM1.
 - Fermeture du contact KM1 (51-52).
 - Excitation de KM2 (freinage).
 - Ouverture du contact temporisé à l'ouverture KM1 (57-58).

3.3.2 Cas du moteur à bagues :

Le moteur à bagues se comporte comme un générateur synchrone débitant dans le rotor. Les caractéristiques obtenues avec un Système de freinage par injection de courant redressé présentent, par rapport à celles résultant d'un système à contre-courant, des différences importantes :

- l'énergie dissipée dans les résistances rotoriques ou dans la cage est moins importante. Il s'agit uniquement de l'équivalent de l'énergie mécanique communiquée par les masses en mouvement. La seule énergie prise au réseau est l'excitation du stator,

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

- si la charge est entraînée, le système fournit un freinage permanent qui retient cette charge à faible vitesse.

Il s'agit donc d'un freinage de ralentissement et non d'un freinage d'arrêt. La caractéristique est beaucoup plus stable qu'en contre-courant. Dans le cas d'un moteur à bagues, les caractéristiques couple-vitesse sont fonction du choix des résistances, les schémas électriques sont présentés sur les figures (3.4) et (3.5),

3.3.2.1 Freinage par injection de courant continu (simple) :

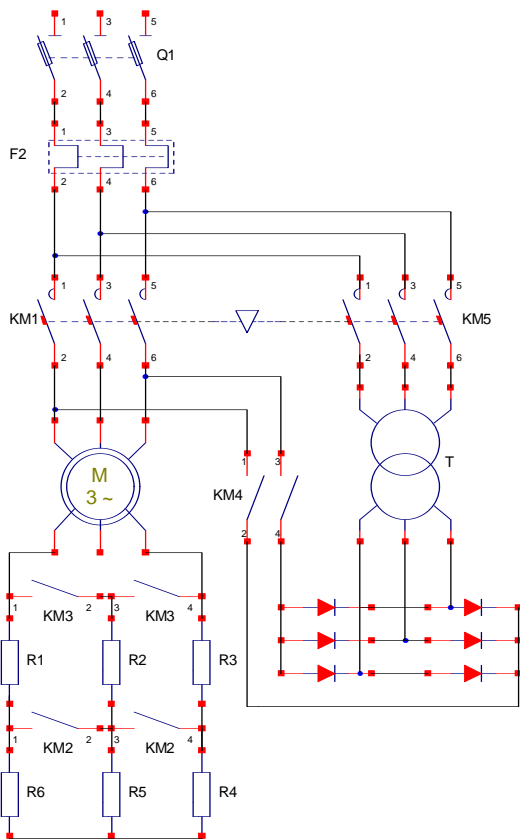


Fig. (3.6) schémas de Puissance

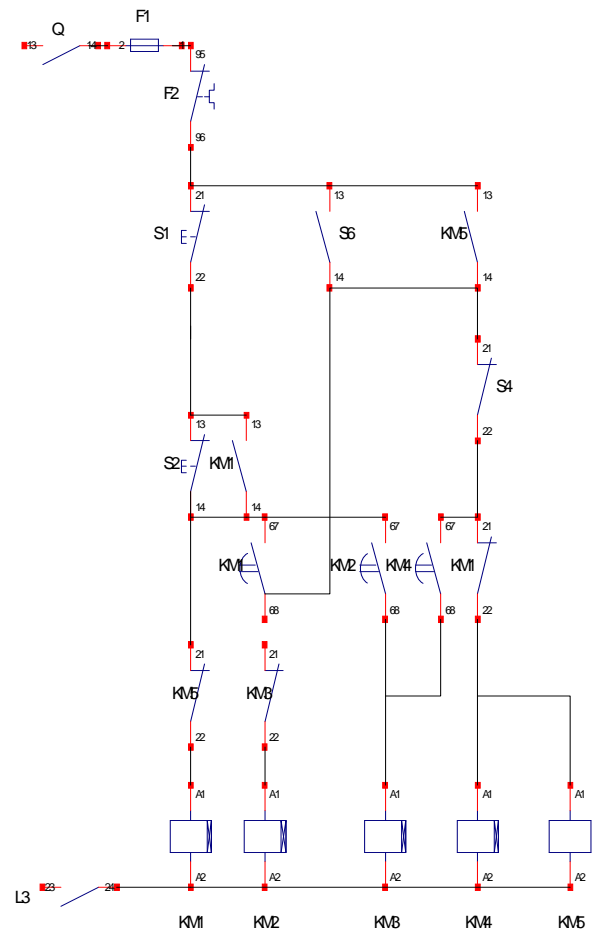


Fig. (3.7) schémas de commande

- **Fonctionnement :** (Moteur déjà lancé)
 - Ouverture de KM1
 - Ouverture de KM3
 - Fermeture de KM4, KM5, KM2 (freinage)
 - Fermeture de KM3
 - Ouverture de KM2
 - Ouverture de KM3, KM4, KM5 (arrêt)

- **Circuit de commande freinage :**
 - Impulsion sur S1.
 - Désexcitation la bobine de KM1, et celle de KM3.
 - Fermeture du contact KM1 (21-22) (verrouillage freinage).
 - Excitation des bobines KM2, KM4 et KM5.
 - Fermeture du contact KM5 (13-14) (auto maintien).
 - Ouverture du contact (21-22) (verrouillage démarrage).
 - Fermeture du contact KM4 (67-68) (temporisé au travail).
 - Excitation de KM3.
 - Désexcitation de la bobine de KM2 par KM3 (21-22).
 - Ouverture du contact relais à minimum de courant $I <$
 - Désexcitation des bobines KM3, KM4, KM5.

- **Remarque :**

Le courant ondulé

La valeur du courant de freinage la plus répandue étant de

$$I_e = 1.44 I_n$$

3.3.2.2 Freinage par injection de courant continu en auto - excitation :

Le moteur isolé du réseau, continu à tourner par son inertie, les courant collectés sur l'induit seront redressés et réinjectés dans l'inducteur.

Le circuit en trait fin permet l'amorçage du moteur qui peut alors fonctionner en générateur, si la vitesse Augmente, le freinage est plus énergique (cas des appareils de levage en cas de descente). les schémas électriques sont présentés sur les figures (3.8) et (3.9).

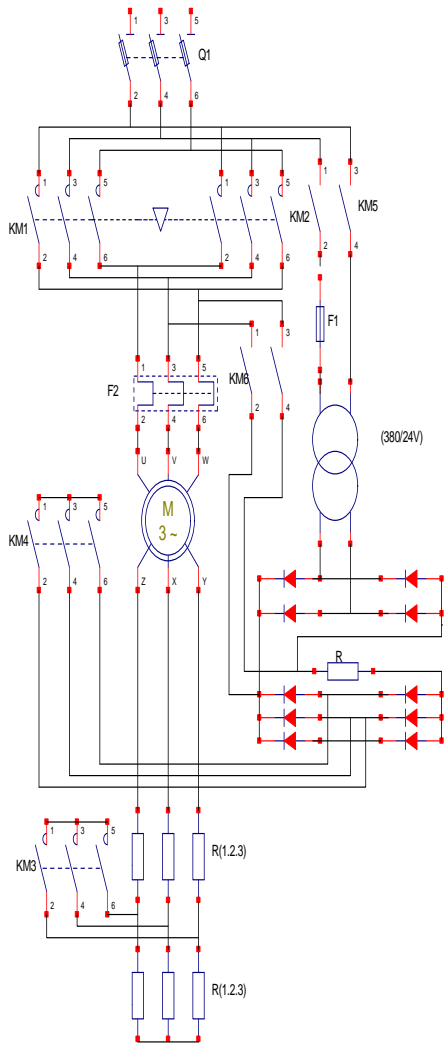


Fig. (3.8) schémas de puissance

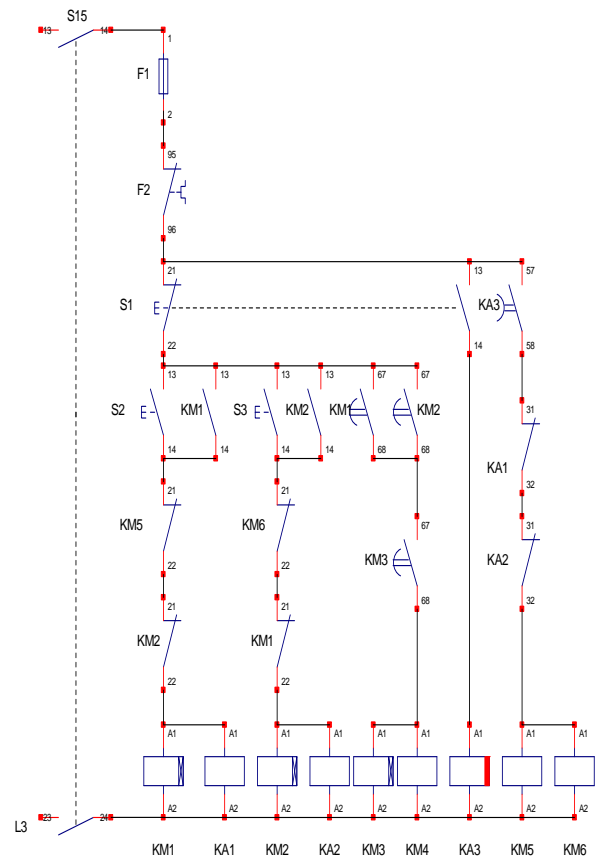


Fig. (3.9) schémas de commande

- **Fonctionnement :**
- **Circuit de puissance :**
 - Fermeture de Q1
 - Fermeture de KM1 (AV) ou KM2 (AR)
 - Fermeture de KM3.
 - Fermeture de KM4.
- **Freinage :**
 - Ouverture de KM1 ou KM2.
 - Fermeture de KM5 et KM6.
 - Fermeture de KM4 et KM3.
- **Circuit de commande de freinage :**
 - Impulsion sur S1 (BP arrêt).
 - Désexcitation de bobines de KM1, KA1, KM3, KM4.
 - Désexcitation de KA3.
 - Fermeture de contact temporisé KA3 (57-58).
 - Excitation de KM5, KM6.
 - Désexcitation de KA3.
 - Ouverture de contact KA3 (57-58) temporisé au repos.
 - Désexcitation de KM5, KM6.

3.4 Freinage par fonctionnement en hyper-synchrone : [6]

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 toute ou 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.

Ce fonctionnement possède les qualités idéales d'un système de retenu de charge entraînant :

- la vitesse est stable, pratiquement indépendante du couple entraînant,
- l'énergie est récupérée et renvoyée au réseau.

Il ne correspond cependant qu'à une seule vitesse, c'est-à-dire approximativement à la vitesse nominale. Le freinage hyper synchrone se rencontre également sur les moteurs à plusieurs vitesses lors du passage de la grande à la petite vitesse.

Le freinage en hyper synchrone est aisément réalisable avec un variateur de vitesse électronique, le seul fait de baisser la consigne de fréquence entraîne automatiquement ce type de fonctionnement.

3.5 Freinage électronique : [6]

Le freinage électronique s'obtient aisément avec un variateur de vitesse muni d'une résistance de freinage. Le moteur asynchrone se comporte alors comme une génératrice et l'énergie mécanique est dissipée dans la résistance de freinage sans augmentation des pertes dans le moteur.

3.6 Autres systèmes de freinage :

On rencontre encore parfois le freinage en monophasé qui consiste à alimenter le moteur entre deux phases du réseau et à réunir la borne libre à l'une des deux autres reliées au réseau. Le couple de freinage est limité au 1/3 du couple maximum moteur.

Ce système ne peut freiner la pleine charge et nécessite donc d'être complété par un freinage à contre-courant. Ce fonctionnement s'accompagne de déséquilibres et de pertes importantes.

Citons également le freinage par ralentisseur à courants de Foucault. C'est un principe analogue à celui utilisé sur les véhicules industriels en complément des freins mécaniques (ralentisseurs électriques).

L'énergie mécanique est dissipée en chaleur dans le ralentisseur. Le réglage du freinage se fait facilement par un enroulement d'excitation. Mais l'augmentation importante de l'inertie est un inconvénient.

3.7 Conclusion :

Dans ce chapitre on a cité quelques techniques de freinage des moteurs asynchrone triphases avec la présentation des schémas électriques (schémas de puissance et de commande), afin de réaliser un freinage en toute sécurité.

Chapitre Quatre

Les Automates Programmables Industriels

4 Introduction :

Toute automatisation comporte nécessairement une commande électronique ou informatique. Nous donnerons dans ce chapitre un minimum d'information sur les automates programmables industriels et quelques applications (pour deux modes de freinages), à l'aide du logiciel elfalogique.

Nous sommes maintenant en mesure d'aborder l'étude des A.P.I. Pour cela, nous procéderons en analysant pour commencer par définition et caractéristiques des A.P.I., l'architecture des A.P.I., l'environnement des automates, puis les aspects logiciels.

4.1 Définition et caractéristiques : [7]

Un A.P.I. est une machine électronique programmable par un personnel non informaticien et destinée à piloter en ambiance industrielle et en temps réel des fonctions d'automatismes logiques, des fonctions numériques simples et des fonctions de régulation.

Cette définition longue a le mérite de signaler les caractéristiques propres à l'automate programmable et notamment ses différences par rapport au microordinateur. Voyons l'une après l'autre ces caractéristiques :

- C'est une machine électronique programmable par un personnel non informaticien, ce qui signifie que l'organe informatique qui constitue le cœur de l'automate, (en l'occurrence un microprocesseur), doit être transparent pour l'utilisateur qui n'a nullement à connaître l'informatique. En conséquence la programmation d'un automate est très simple et accessible à des non-spécialistes;
- Il est destiné à fonctionner en ambiance industrielle, c'est-à-dire dans un environnement industriel hostile, contrairement à ce que peut faire un microordinateur standard. Par environnement hostile il faut entendre une ou plusieurs conditions sévères pour l'électronique: températures basses ou hautes, humidité, vibrations, chocs, gaz corrosifs, vapeurs d'hydrocarbures, poussières métalliques ou minérales et aussi les perturbations électriques.
- Les fonctions qu'il réalise sont en premier lieu des automatismes logiques, dont la gestion d'entrées-sorties de type tout ou rien. Mais les progrès technologiques et les besoins de plus en plus nombreux des utilisateurs ont permis à l'automate d'assurer des fonctions numériques et aussi les asservissements. Il devient un petit outil informatique capable notamment de recevoir et d'émettre des messages.

4.2 L'architecture d'un automate programmable: [5, 7, 8]

Elle est indiquée sur figure (4.1) pour laquelle:

L'automate proprement dit est constitué d'une unité centrale (processeur et mémoire centrale), de circuits d'interfaces appelés coupleurs d'entrée et de sortie et recevant par des borniers les entrées et les sorties tout ou rien à gérer, d'interfaces spécifiques pour la communication avec des périphériques (coupleurs de périphériques);

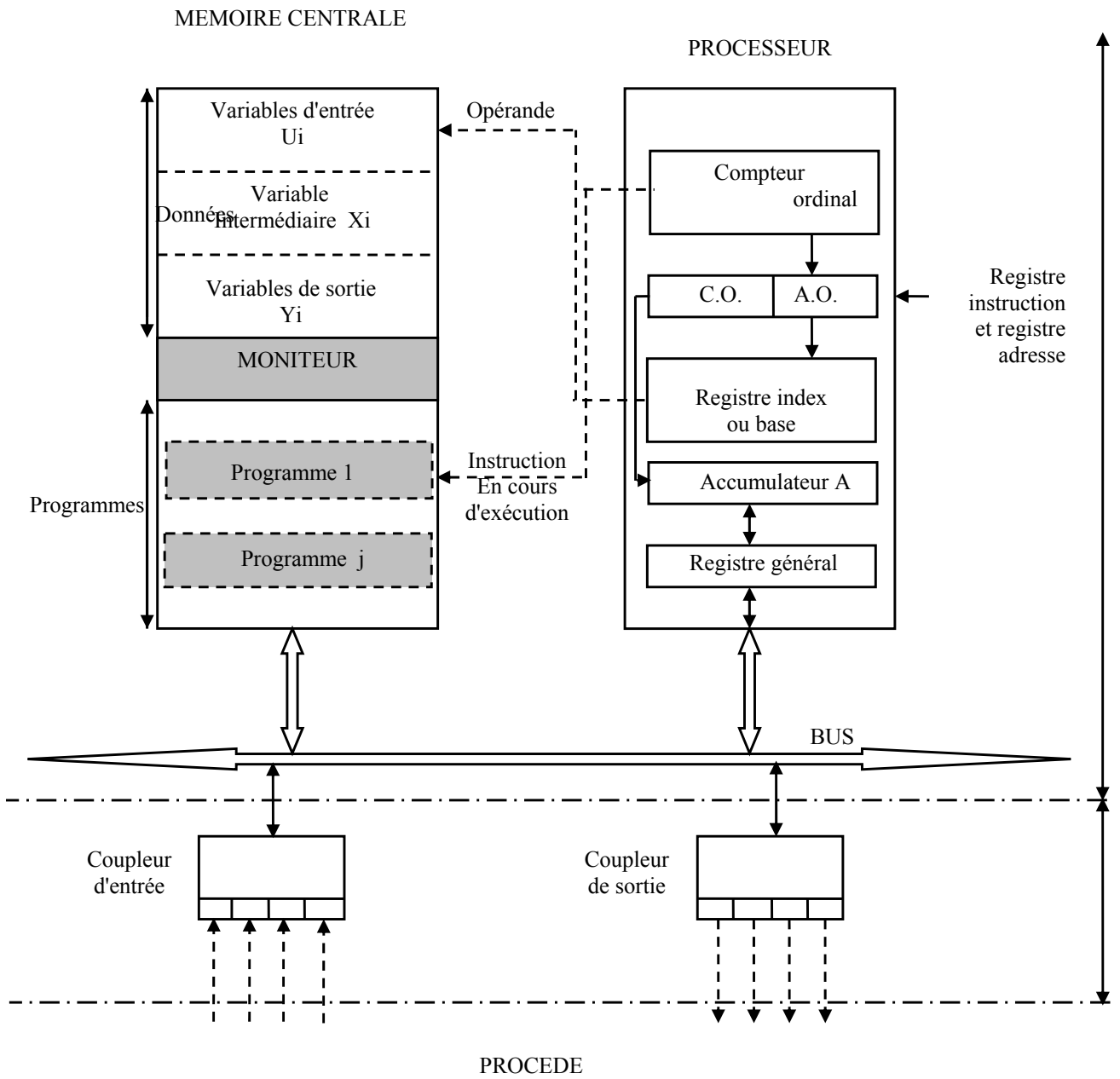


Fig. (4.1) Structure de l'UC d'un A.P.I.

4.3 L'unité centrale (UC):

Est le « cœur » de la machine, elle est nécessaire au fonctionnement logique interne, elle contient:

4.3.1 Processeur:

Le processeur est « l'intelligence » de l'UC (c à d de l'A.P.I.). C'est l'ensemble fonctionnel chargé d'assurer le contrôle de l'ensemble de la machine et d'effectuer les traitements demandés par les instructions des programmes. Il est organisé autour d'un certain nombre de registres, donc le processeur dialogue avec les entrées/sorties (E/S), avec la mémoire, avec l'outil de programmation et éventuellement avec le réseau de communication.

4.3.2 La mémoire centrale:

La mémoire centrale est conçue pour contenir toutes les informations nécessaires au fonctionnement du système et à son exploitation. Une partie est réservée au logiciel de base conçu, développé et fourni par le constructeur, une autre partie de cette mémoire est réservée au logiciel d'application, ensemble des programmes réalisés par l'utilisateur de cette machine (A.P.I.). Elle mémorise enfin les données qui sont utilisées ou produites par les programmes d'application. Sur une mémoire, on peut lire, écrire et effacer.

4.4 Les entrées-sorties (E/S):

Les interfaces entre le procédé et la logique interne d'un automate sont assurées par des cartes électroniques appelées coupleurs (d'entrées ou de sorties), elles permettent donc l'échange de l'information entre l'A.P.I. et le monde extérieur.

Les A.P.I. offrent une grande variété d'E/S:

1. Les E/S tout ou rien (binaire),
2. Les E/S numériques,
3. Les E/S spéciales: on regroupe ici les dispositifs qui soit relèvent habituellement du logiciel (compteurs, temporisations), soit constituent des

extensions des E/S traditionnelles. Il s'agit en particulier des E/S analogiques, des cartes de régulation et des commandes d'axes.

4.5 L'environnement des A.P.I.: [5]

Pour conduire sa mission vis-à-vis d'un procédé, un A.P.I. doit disposer des dispositifs connectés temporairement ou non, directement ou non, à l'A.P.I. ces dispositifs peuvent être, par exemple, les périphériques et auxiliaires des A.P.I. (L'imprimante, les mémoires de masse.....), les console d'exploitation, etc.....

Parmi les plus importants de ces dispositifs est la console de programmation, outil privilégié du dialogue homme-machine. Elle se présente comme un poste de travail composé d'un clavier, d'un écran, de dispositifs associés spécifiques, complétés éventuellement de périphérique (les auxiliaires de l'A.P.I.), adapté au milieu industriel, aux spécificités des automatismes et connectable à l'A.P.I., figure (1.4).

La console de programmation a trois rôles principaux:

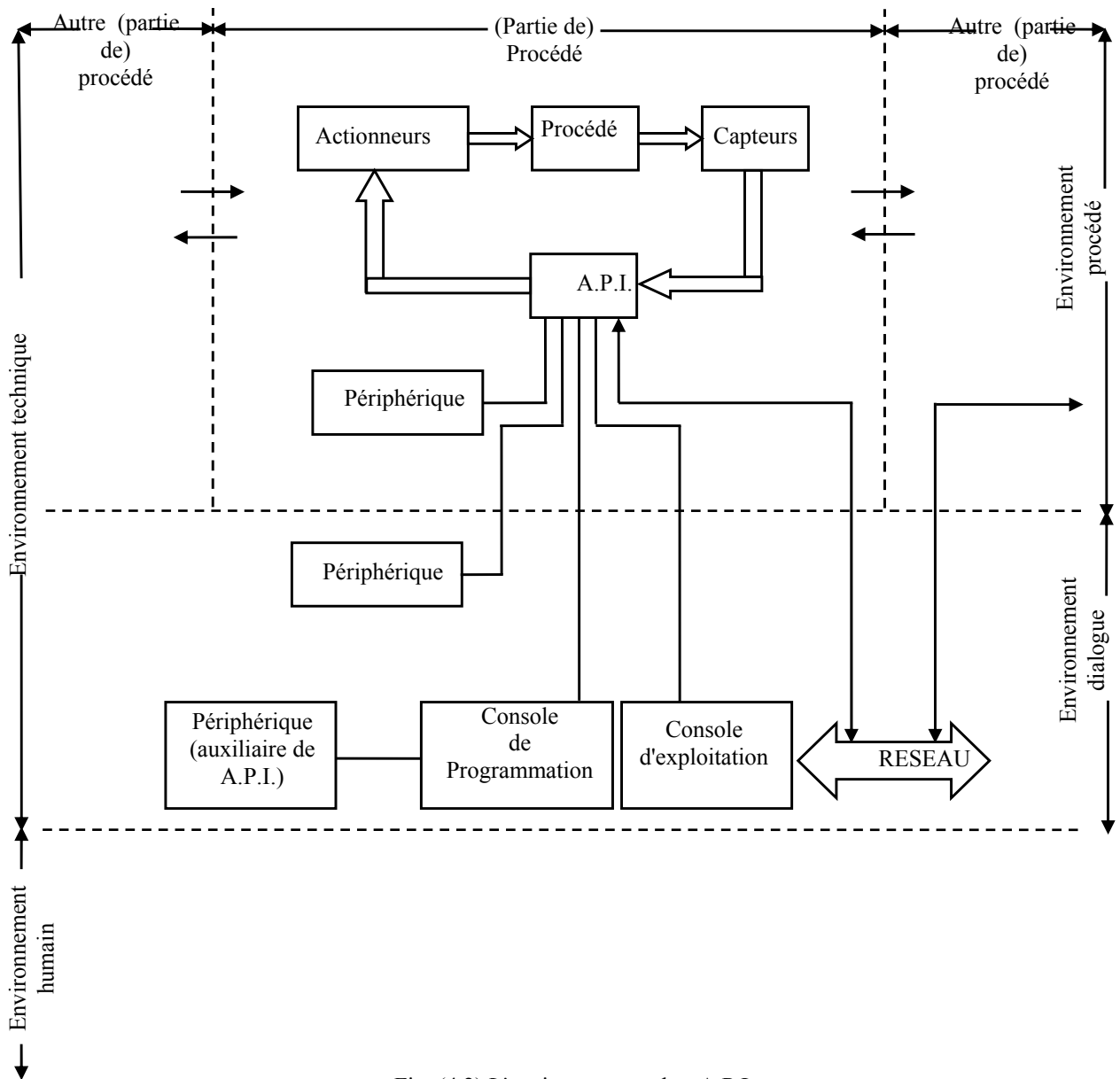


Fig. (4.2) L'environnement des A.P.I.

- Un outil de programmation et de mise à jour des applications,
- Un intermédiaire de dialogue avec l'A.P.I.,
- Un moyen d'intervention sur l'A.P.I.

4.6 Le logiciel des A.P.I.:

4.6.1 Analyse fonctionnelle du logiciel des A.P.I.: [5]

Le logiciel de base d'un système informatique (en générale, A.P.I. en particulier) a pour objet de permettre la mise en œuvre du matériel selon les spécifications indiquées par l'utilisateur au moyen d'un langage de programmation, figure (4.3).

Il se présente donc comme une couche entre le matériel et l'extérieur du système, c'est-à-dire le monde de l'utilisateur. Cette couche est composée de strates ou sous-couches. A «l'intérieur», au plus près du matériel, se trouve le Système d'Exploitation, chargé de gérer les ressources de la machine (mémoire, entrées-sorties,...). A «l'extérieur», à disposition de l'utilisateur, sont présentés les logiciels de production de programmes qui ont pour but de coder les applications. Est également à la disposition du programmeur un ensemble de logiciels de service qui sont composés de fonctions utilitaires.

Ce logiciel est, sauf exception, livré avec chaque machine par le constructeur.

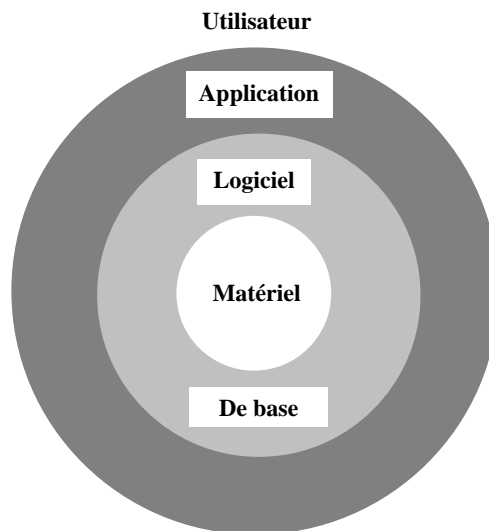


Fig. (4.3) Organisation du logiciel d'un système informatique

4.6.2 Le logiciel d'exploitation:

Le logiciel d'exploitation est constitué du sous-ensemble du logiciel de base nécessaire et suffisant à l'exploitation des applications. Cette mission revêt deux aspects: la satisfaction des sollicitations provenant des applications et la gestion interne de la machine. Les instructions d'E/S sont gérées par le système d'exploitation qui s'assure de leur mise en forme et de leur transmission convenable selon le mode d'échange retenu et la nature de l'information.

4.6.3 Le logiciel de production de programmes:

Le logiciel de production de programmes est le sous-ensemble du logiciel de base nécessaire et suffisant au codage et à la mise au point des applications.

La production de programme d'A.P.I. repose sur la mise en œuvre de la console de programmation avec ou indépendamment de l'UC selon son degré d'évolution. Le logiciel associé est donc implanté soit dans la mémoire centrale, soit dans celle de la console.

4.7 Les formes de langages des A.P.I. : [5]

Les principaux types de langages rencontrés sur les A.P.I. sont:

4.7.1 Les langages graphiques:

a) Le langage de relais:

Les constituants des schémas à relais sont au nombre de cinq figure (4.4): une variable et son complément, une ouverture et une fermeture de branche parallèle et un symbole d'affectation de résultat.

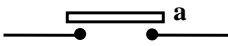
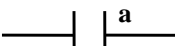
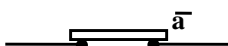

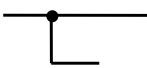
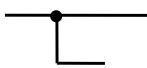
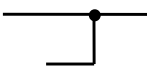
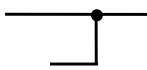
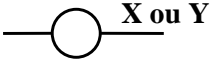
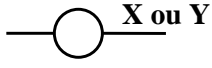
Type de constituants	Convention européenne	Convention américaine	Signification
Constituants logiques	 a	 a	Relais normalement ouvert
	 \bar{a}	 \bar{a}	Relais normalement fermé
			Ouverture de branche parallèle
			Fermeture de branche parallèle
Symbole d'affectation	 X ou Y	 X ou Y	Affectation du résultat à une variable intermédiaire ou à une sortie

Fig. (4.4) Tableau des constituants des schémas à relais

b) Le GRAFCET:

La forme synthétique de cette représentation et la correspondance rigoureuse avec la logique à programmer ont conduit certains constructeurs à transformer *GRAFCET* en un langage de programmation.

Le GRAFCET est un outil de description du cahier des charges des automatismes séquentiels; il décompose le fonctionnement d'un système en plusieurs étapes. Une étape correspond à un état bien défini du système et un état stable de sa commande.

L'évolution du système, d'une étape vers une autre étape, n'est autorisée que si une transition logique est assurée.

Le GRAFCET est donc un modèle de représentation graphique du fonctionnement de la partie commande et la partie opérative d'un système automatisé de production.

b-1) GRAFCET à séquence unique:

Le GRAFCET à séquence unique est formé d'une suite d'étapes qui se déroulent toujours dans le même ordre. Il n'existe qu'une séquence qui, partant de l'étape initiale, permet d'y retourner, figure (4.5).

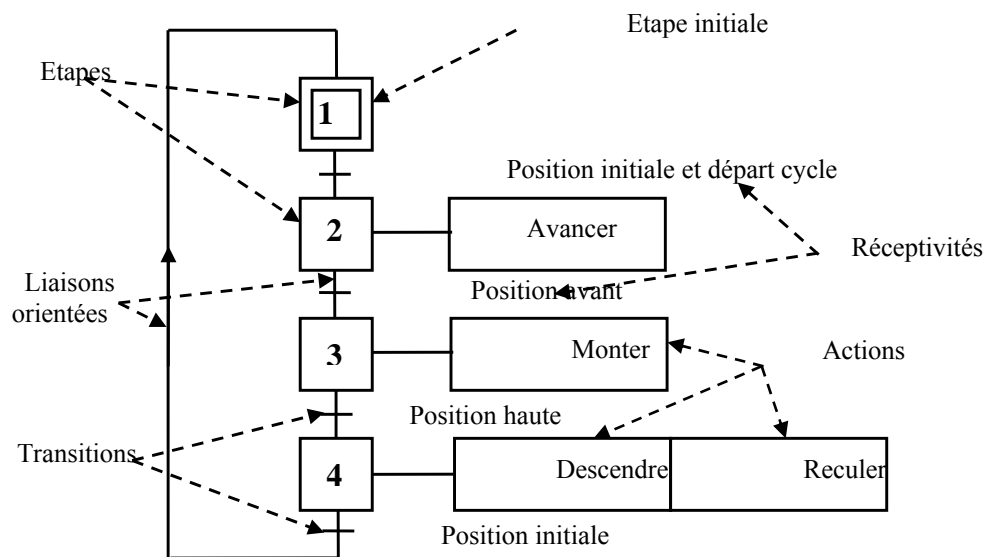


Fig. (4.5)

- **Les étapes:** Elles représentent les différentes phases du cycle de fonctionnement d'un système automatisé.
- **Les transitions:** Il y a toujours une et une seule transition entre deux étapes. Une transition est validée lorsque l'étape (ou les étapes) immédiatement précédente est active.
- **Les réceptivités:** Associées aux transitions, elles permettent de franchir la transition si celle-ci est validée. Elles sont de forme booléenne

- **Les liaisons orientées:** Elles relient toujours les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Le sens d'évolution se fait toujours de haut en bas; si le cas contraire s'impose, une flèche sur la liaison orientée indique le sens de parcours.
- **Les action:** Une ou plusieurs actions sont généralement associées à chaque étape. Ils indiquent ce qui doit être réalisé à l'étape concernée lorsque celle-ci est active.

b-2) GRAFCET avec séquence multiple:

Le GRAFCET à séquences multiples, contrairement au GRAFCET linéaire, comporte plusieurs séquences; la sélection de ces séquences se fera par des aiguillages appelés divergence en **OÙ** figure (4.6) ou en **ET**.figure (4.7)

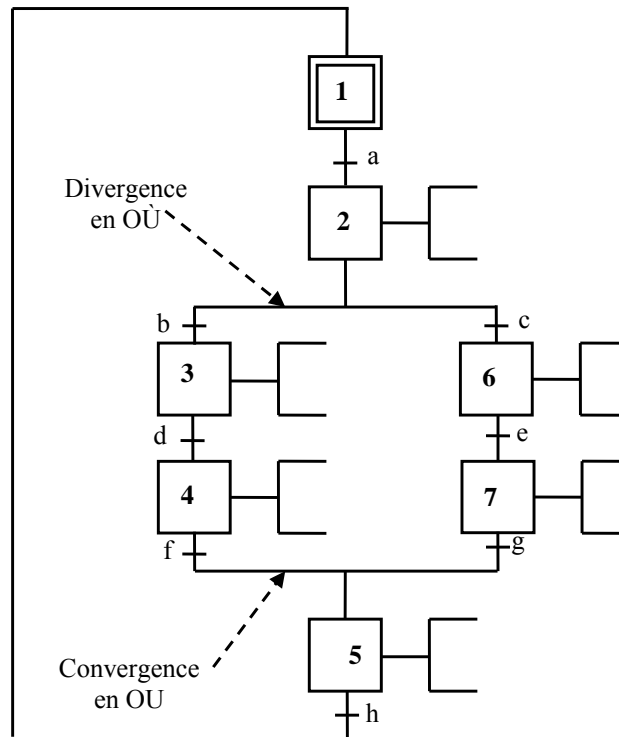


Fig. (4.6)

C'est-à-dire que deux séquences peuvent être décrites:

- Séquence 1 2 3 4 5.
- Séquence 1 2 6 7 5.

Le choix est fait par les réceptivités *b* et *c* qui permettent de franchir soit la transition 2-3, soit la transition 2-6. Lorsque l'étape 2 est active, il doit être impossible d'obtenir simultanément les informations *b* et *c*.

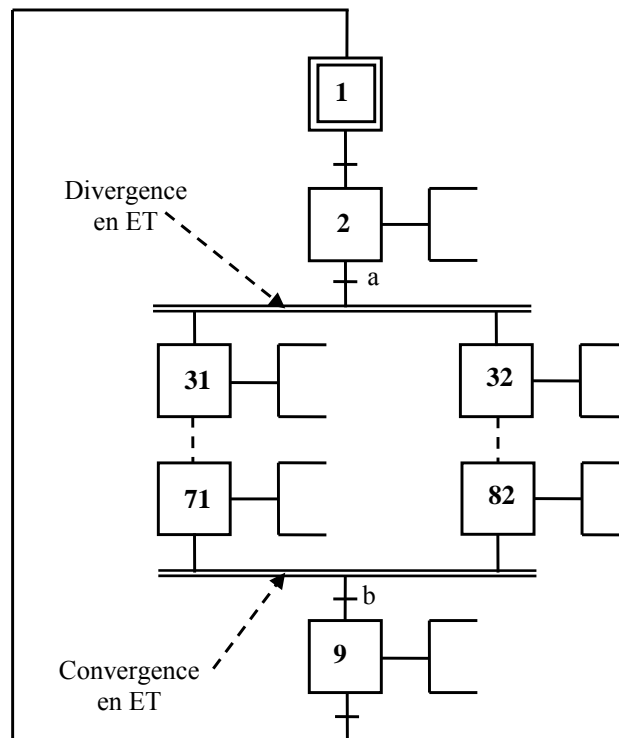


Fig. (4.7)

C'est-à-dire il est possible de représenter des séquences se déroulant en même temps:

Si l'étape 2 est active et si la réceptivité a est vraie, les étapes 31 et 32 s'activent simultanément et l'étape 2 est désactivée. A partir de ce moment, les séquences 31 à 71 et 32 à 82 se déroulent indépendamment l'une de l'autre. Pour activer l'étape 9, il faudra que les étapes 71 et 82 soient actives et que la réceptivité b soit vraie. L'activation de l'étape 9 provoque la désactivation des étapes 71 et 82.

4.7.2 Les langages littéraux:

On désigne ainsi un ensemble de langages dont les instructions s'écrivent sous la forme littérale.

- **Les langages booléens:** Ils permettent de transcrire directement une équation booléenne sous forme littérale
- **Les langages mnémoniques:** Ils utilisent le formalisme des langages d'assemblage, largement répandus dans le domaine informatique.
- **Les langages informatiques:** (exp: PASCAL, FORTRAN.....)

4.7.3 Extension des langages aux besoins des A.P.I.:

Les langages précédents, graphique ou littéraux, ne permettent généralement pas de mettre en œuvre, sous la forme qui vient d'être exposée, tous les outils de l'A.P.I. les langages sont donc complétés de façon à utiliser simplement toutes les fonctions de l'A.P.I. (tel que: les compteurs, les temporisateurs.....).

4.8 Le langage de base des A.P.I. : [5]

Il s'agit du « vocabulaire » et de la «grammaire» qui permettent au programmeur de s'adresser à l' A.P.I. pour lui faire exécuter des fonctions. Pour les instructions logiques, les opérations logique de base doivent permettre d'exprimer les trois opérations booléennes élémentaire: ET, OU, Complément. En effet, ces opérateurs permettent de résoudre l'ensemble des problèmes de logique. La figure (4.8) indique les différentes conventions retenues pour les représenter.

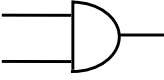
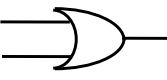
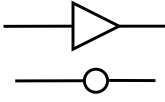
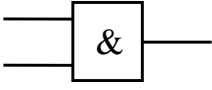
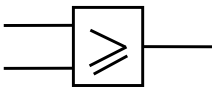
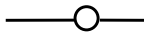
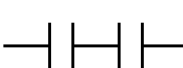
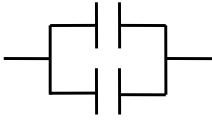

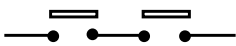
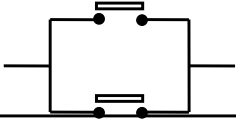

Opérateur booléen	ET	OU	PAS, NON, complément
Langage mathématique	Intersection	Union	Complément
Symbolique mathématique	\cap , \wedge	\cup , \vee	\bar{a} , $/a$
Symbolique booléen	\cdot	$+$	\bar{a} , $/a$
Symbolique logique norme CEI			
Convention française norme NFC 95821-95832			
Convention américaine norme NEMA			
Convention française (relais) norme NFC 46255			

Fig. (4.8) Tableau de Représentation des opérateurs booléens

Il y a aussi d'autre instruction dans le langage de base comme:

- Les identificateurs,
- Les instructions d'affectation et d'initialisation,
- Les instructions d'entrée/sortie,
- Les instructions de gestion du cycle.

4.9 Extensions du langage de base: [5]

C'est pour mettre en œuvre tous les outils de l'A.P.I. tels que:

- Les temporisateurs,
- Les compteurs,
- Auto-maintien, relais à accrochage,
- Répétition, indexation.....

4.10 Le langage séquentiel des A.P.I.: [5]

Mis à part les compteurs, les temporisateurs, ..., quelques A.P.I. offrent des opérations typiquement séquentielles:

- La fonction PAS à PAS,
- Le registre à décalage,
- Les piles,
- Bibliothèque de fonction.....

4.11 Application :

Dans ce cas nous allons choisir deux exemples d'applications qui sont :

- Freinage en contre courant
- Freinage par injection de courant continu ou dynamique

4.11.1 Freinage en contre courant : [6]

La figure (4.9) présente les schémas de commande de Freinage en contre courant

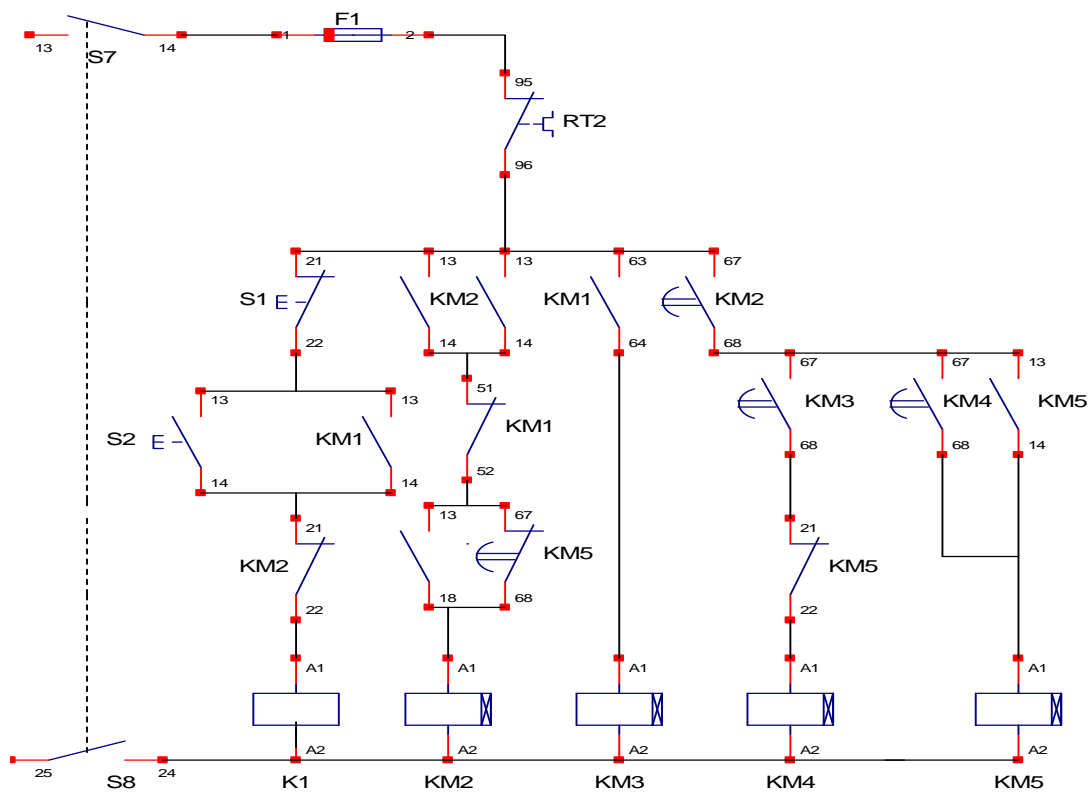


Fig. (4.9) Schémas de commande

4.11.1.1 Liste des Entrées/sorties:

1- Entrées digitales:

- Bouton stop S1 -----I1;
- Bouton start S2 -----I2;
- Relais Q-----I3;
- Relais thermique F2 -----I4;

2- Sorties digitales:

- Relais de réseau sens un KM1-----Q1;
- Relais de réseau sens deux KM2-----Q2;
- Relais d'élimination de la première partie de la résistance KM3-----Q3;
- Relais d'élimination de la deuxième partie de la résistance KM4-----Q4;
- Relais d'élimination totale de la résistance KM5-----Q5;

Pour les relais internes et relais de temporisation utilisés:

- Relais interne -----M1;
- Relais de temporisation-----T01, T02, T03, T04 ;

4.11.1.2 Schéma à relais :

Figure (4.10) présente le schéma à relais du freinage en contre courant

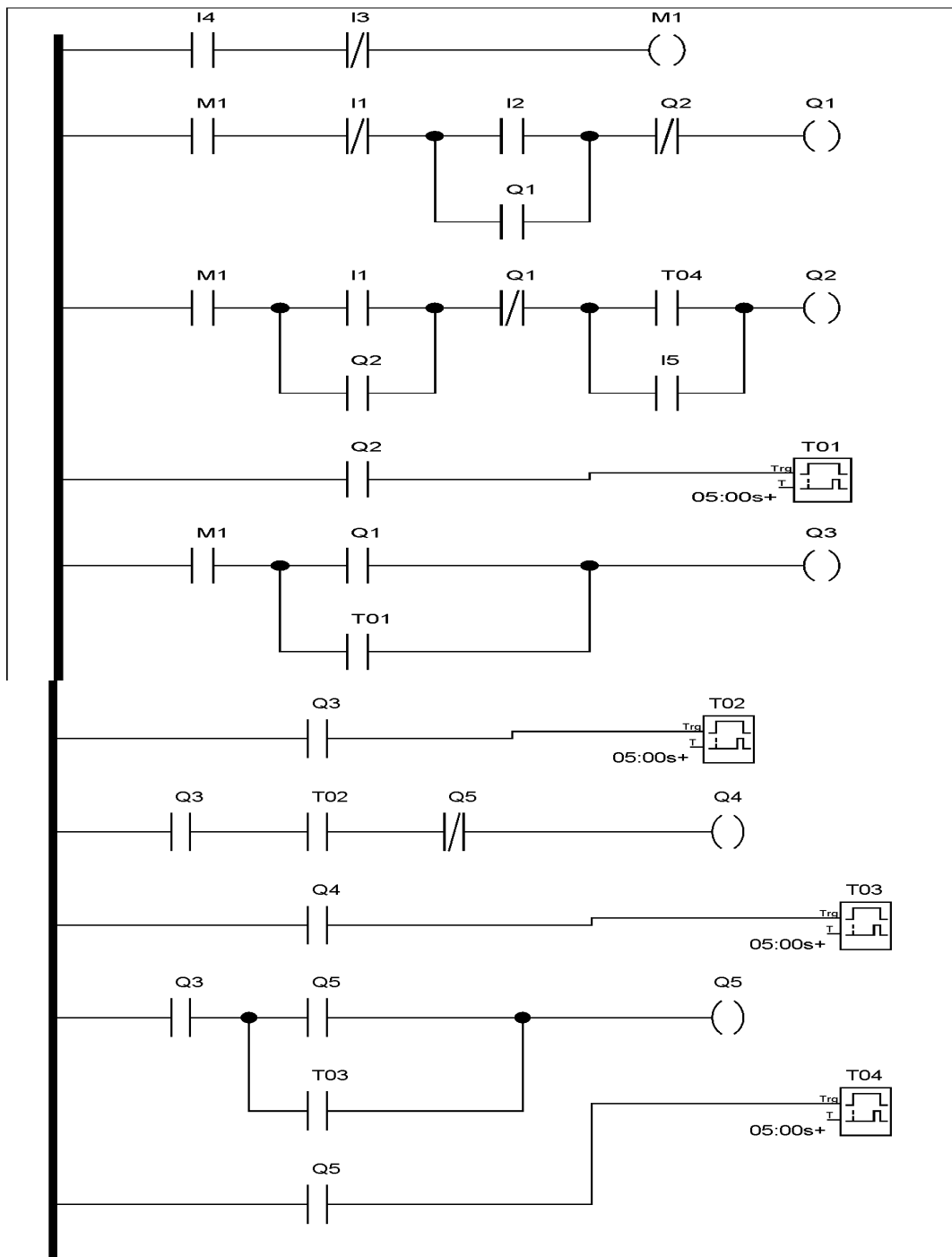


Fig. (4.10) schéma à relais (freinage en contre courant).

1^{er} cas : le moteur est déjà démarré



2^{ème} cas : impulsion sur le bouton stop S1 et excitation de relais de mesure de tension rotorique



3^{ème} cas : excitation de relais KM3 (élimination de la première partie de résistances)



4^{ème} cas : excitation de relais KM4 (élimination de la deuxième partie de résistances)



5^{ème} cas : excitation de relais KM5 (élimination total des résistances)



6^{ème} cas : désexcitation de relais de mesure de tension rotorique et l'arrêt total du moteur



4.11.2 Freinage par injection de courant continu ou dynamique : [6]

La figure (4.11) présente le schéma de commande de freinage dynamique

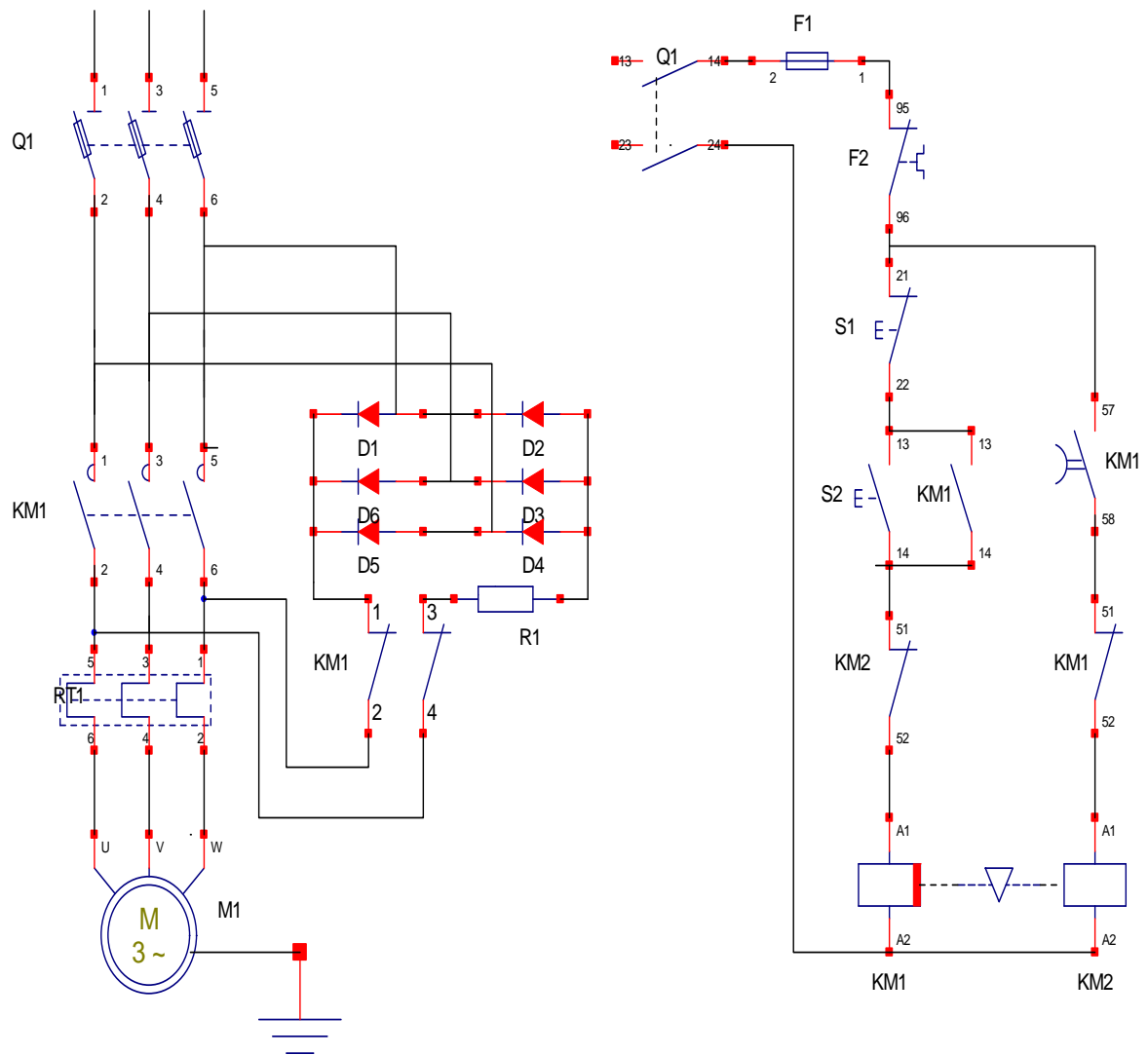


Fig. (4.11) schémas de commande (freinage dynamique).

4.11.2.1 Liste des Entrées/sorties :

1- Entrées digitales:

- Bouton stop S1 -----I1;
- Bouton stars S2 -----I2;
- Relais thermique F2 -----I3;

2- Sorties digitales:

- Relais de réseau sens un KM1-----Q1;
- Relais de redresseur KM2-----Q2;

Pour les relais internes et relais de temporisation utilisés:

- Relais interne -----M1;
- Relais de temporisation-----T02;

4.11.2.2 Schéma à relais :

La figure (4.12) présente le schéma à relais du freinage dynamique.

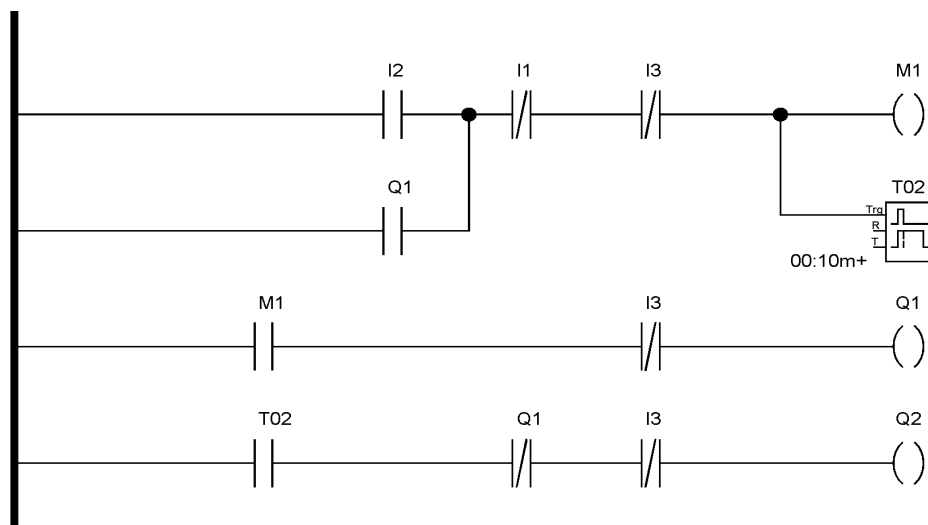


Fig. (4.12) schéma à relais (freinage dynamique)

4.11.2.3 Conversion en circuit logique : Fig. (1.13)

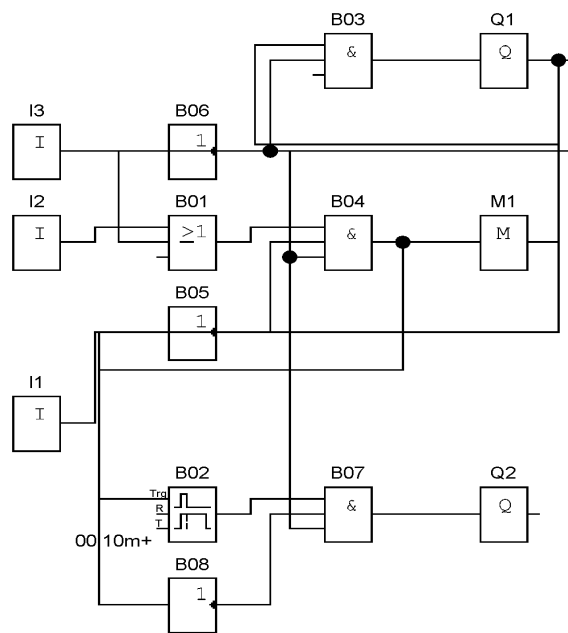


Fig. (1.13) Conversion en circuit logique

1^{er} cas : le moteur est déjà démarré



2^{ème} cas : par impulsion sur le bouton de stop S1



3^{ème} cas : l'arrêt total du moteur après un t1 (t1=10s)



4.12 Conclusion :

Les A.P.I. utilisent des langages différents selon les constructeurs et le pays d'origine. Nous trouvons des automates utilisant le langage logique basé sur les fonctions logiques, et des automates utilisant le langage des contacts basé sur les associations de contacte comme dans les schémas à relais, d'où leur succès auprès des électriciens. D'autres automates plus performants utilisent le langage grafcet, qui permet la transcription immédiate du grafcet en programme ou le langage organigramme basé sur des représentations inspirées de l'informatique industriel. En plus l'A.P.I. présente l'avantage par rapport aux solutions câblées, d'autoriser un travail très complet, et il est manipulable par un personnel non informaticien et de qualification moyenne.

Dans ce chapitre nous avons exposé une simulation à l'aide du logiciel Elf alogique de deux modes de freinage.

Conclusion générale :

1 Travail accompli :

L'entraînement des machines est assuré en très grande majorité par des moteurs asynchrones, alimentés en courant alternatif triphasé et quelque fois en monophasé .ce type de moteur s'imposent en effet dans la plupart des applications par son prix de revient avantageux ses qualités de robustesse et sa simplicité d'entretien.

Notre travail a concerné une étude (simulation) par A.P.I., dont nous avons élaboré un programme à l'aide du logiciel elfa logique.

L'objectif de ce travail est de voir l'importance de passage de la logique câblée à la logique programmée, nous nous sommes préoccupés particulièrement du cas d'un freinage des moteurs asynchrones.

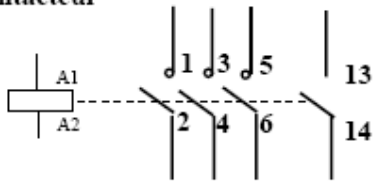
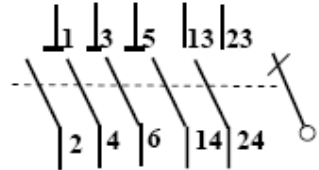
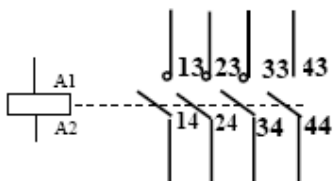
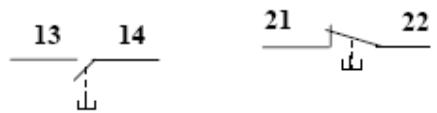
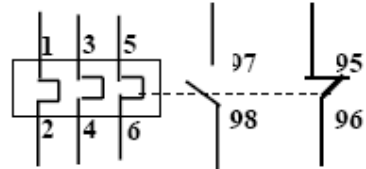
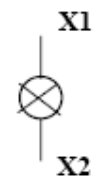
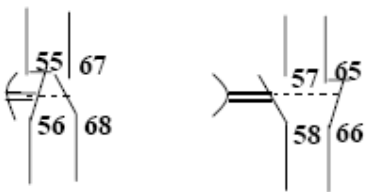
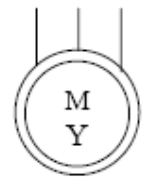
A l'issue de ce présent travail on peut dire qu'on est arrivé à élaborer un programme pour deux modes de freinage à l'aide du logiciel elfalogique.

2 perspectives :

La suite de ce travail est vaste, nous souhaitons atteindre les application de cette simulation aux d'autres modes de freinage.

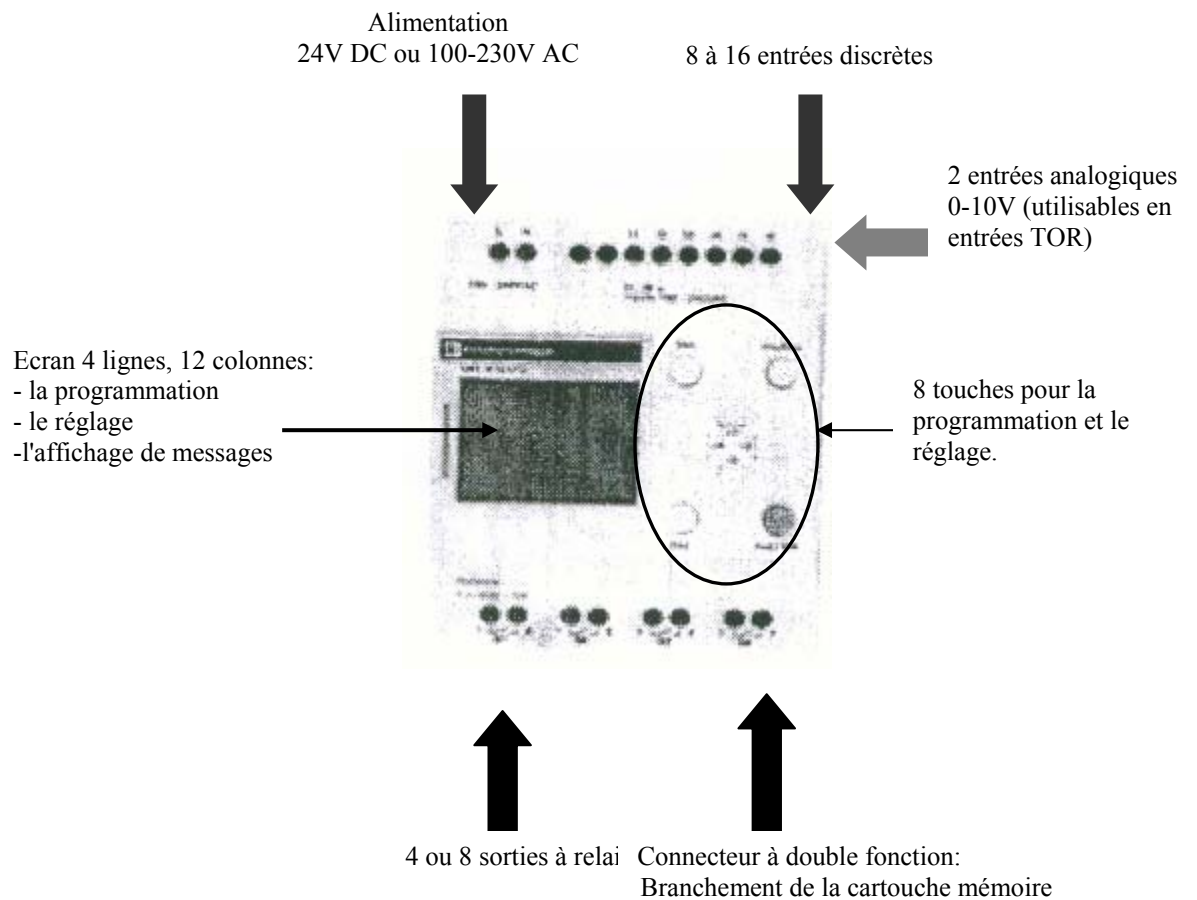
ANNEXE

Symboles graphiques pour schéma électrique

<p>Contacteur</p>  <p>(A1-A2) bobine – 3 contacts de puissance – 1 contact auxiliaire</p>	 <p>Sectionneur les contacts de puissance (1-2) (3-4) (5-6) Les contacts des commandes (13-14) (23-24)</p>
<p>Relais</p>  <p>(A1-A2) bobine – 4 contacts (F) auxiliaires</p>	 <p>Bouton poussoir (13-14) a fermeture (21-22) a ouverture</p>
<p>Relais de protection thermique</p> 	<p>Lampe</p> 
<p>Blocs additifs : contact auxiliaire temporisé</p>  <p>Temporisé au travail Temporisé au relâchement</p>	 <p>Moteur asynchrone triphasé à cage couplé en étoile)</p>

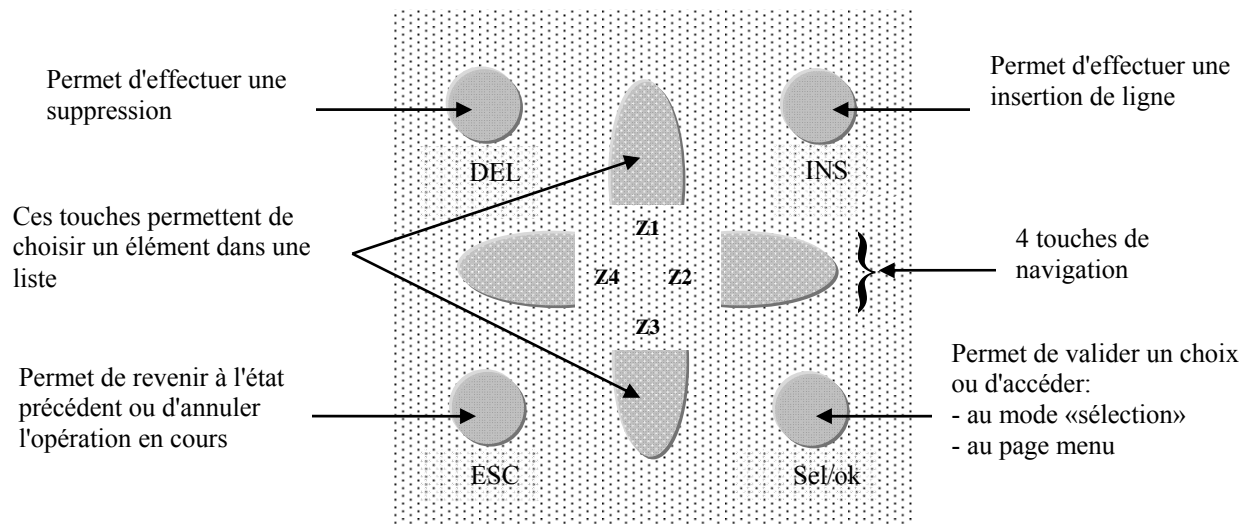
PRESENTATION DE L'OFFRE SCHNEIDER

ZELIO est un module d'automatisme ou pico-automete programmable
entièrement autonome intégrant:



CARACTERISTIQUES PRODUITS

Face avant: ergonomie et touches fonctions du module logique



bibliographie

"A un bon ouvrier un bon ouvrage"

Bibliographie

- [1] Télémécanique, schématique électrotechnique , 1986
- [2] C. Canudas schéma électrique, 1994
- [3] J. P. Caron et J.P. Hautier, ‘‘Modélisation et commande de la machine asynchrone’’. Editions Technip, Paris, 1995.
- [4] Française milsant ‘‘ machine électrique ‘‘ berti édition, 1993.
‘‘La commande des moteur électrique’’ édition 2, édition eyrolles, 1969
- [5] G.MICHEL: Les A.P.I. Architecture et applications des automates programmable industriels, 1988.
- [6] Techneque de l’ingenieur
- [7] M.AUMIAUX, G.RODDE: Automatiser la production, 1988
- [8] R.BOURGEOIS, D.COGNIEL, B.LEHALLE:
MEMOTECH, équipements et installations électriques, 2002.
- [9] Physique Appliquée, terminale électrotechnique - collection R. Mérat et R. Moreau – édition Nathan technique 1994.
- [10] Electrosystème, première STI - H. Ney - édition Nathan technique 1996.
- [11] Physique appliquée, terminale génie électrotechnique - Delva, Leclercq, Trannoy – édition Hachette éducation 1994.