

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 SIMULATION DES (API) EN VUE DE LEURS  
APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE DEMARRAGE DES  
MOTEURS ASYNCHRONE TRIPHASES**

---

Proposé et dirigé par:

Monsieur : *BELKHIRI Salah*

Présenté par :

*CHERIF Aissa*

*BOUZIANE Ahmed*

Année Universitaire: 2006 / 2007

## *Remerciements*

*C'est par la volonté de dieu que nous louons et remercions de toutes nos forces qui nous a permis d'élaborer ce modeste travail qui clôture notre formation.*

*Nous adressons notre reconnaissance à l'ensemble de professeurs, sans oublier notre chef de département et à leur tête notre encadreur M<sup>er</sup> Salah BELKHIRI que dieu les garde.*

*De même à nos parents de leur soutien moral, matériel et financier que dieu les protège et nous les garde.*

*De tous les étudiants de l'électrotechnique promotion 2007.*

*Nous remercions également tous ceux qui nous ont guidé et encouragé dans cette voie.*

## *Dédicace :*

*Avant toute chose je loue Allah de m'avoir donné  
la force et le courage d'aboutir à ce travail.*

*A celle que le miséricordieux a Beni et a mis sous  
ces pieds le paradis*

*A celle qui a éclairé ma route sur le chemin du savoir  
à celle qui se prosterne et prie Allah pour moi,  
à celle qui est très chère à mon cœur. Ma mère.*

*A celui qui a ensemencé en moi l'amour de savoir et science,  
à celui qui m'a ébrené de son affection et son amour  
et à souffert pour que nous vivons heureux et  
qui a milité pour lissé notre ambition  
je m'arrête en signe de reconnaissance et d'amour,  
mon très cher père.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis.*

*A tous mes professeurs.*

*CHERIF Aissa*

## *Dédicace :*

*Je dédie ce modeste travail :*

✚ *A celle qui ma couvert de tendresse depuis ma naissance. Ma chère mère.*

✚ *A mon cher père .*

✚ *A mon frères Lotfi et mes sœurs.*

✚ *A ma grande mère que dieu le garde.*

✚ *A tous mes oncles, tantes et cousins Farid, Farouk, Halim, Zehre eldine,  
Yacin ,...*

✚ *A tous ma famille*

✚ *A tous mes amis Hassan, Samir, Hichem, Saber, Saad, Akrem, Lotfi, Mourad,  
Oussama,...*

✚ *A tous mes enseignants qui m'ont aidé à terminer mon travail.*

✚ *A tous mes amis et collègues de ma promotion d'électromécanique Aissa,  
Mahmoud, Krimou, Mouhamed,...*

*BOUZIANE Ahmed*

# *Sommaire*

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## **CHPITRE I : GENERALITE SUR L'AUTOMATISME**

I.1 Introduction .....	3
I.2 Structure générale d'un système automatisé .....	4
I.2.1 Détections .....	5
I.2.2 Actions .....	6
I.3 Dialogue d'exploitation (homme/Système) .....	6
I.4 Dialogue de supervision .....	6
I.5 Dialogue de programmation .....	6
I.3 dialogue Homme/système .....	7
I.3.1 Roues codeuses .....	7
I.3.2 Clavier .....	7
I.3.3 Afficheur .....	7
I.3.4 Autre moyens .....	7
I.4 Acquisition de données (capteurs) .....	8
I.4.1 Les capteurs tout ou rien (TOR) .....	8
I.4.1.1 Détecteur photoélectrique .....	9
I.4.1.2 Détecteur de proximité .....	9
I.4.1.3 Pressostats, vacuostats, et thermostats .....	9
I.4.2 Les capteurs numériques .....	10
I.4.2.1 Codeurs rotatifs (incrémentaux et absolus) .....	10
I.4.3 Les capteurs analogiques .....	11
I.4.4 Les caractéristiques des capteurs .....	12
I.4.5 Choix d'un capteur .....	12
I.5 traitement de donnés .....	13
I.6 Commande de puissance .....	13
I.7 Protection du système .....	13
I.8 Alimentation en énergie .....	14
I.9 Conclusion .....	15

## CHAPITRE II : AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL (API)

II.1 Introduction .....	17
II.2 Historique.....	17
II.3 Définition et caractéristique .....	17
II.4 L'architecture d'un automate programmable.....	18
II.4.1 Organisation générale .....	18
II.4.2 Echange des informations (BUS) .....	19
II.4.3 Unité centrale (UC) .....	19
II.4.3.1 Processeur .....	20
II.4.3.2 La mémoire centrale .....	21
II.4.4 Fonctionnement cyclique des A.P.I .....	21
II.4.5 Les entrées-sorties (E/S) .....	23
II.4.5.1 Coupleurs numériques .....	24
II.4.6 Sureté de fonctionnement .....	24
II.5 L'environnement des A.P.I .....	25
II.5.1 Terminaux de réglage, de programmation et d'exploitation .....	26
II.5.2 Auxiliaires .....	26
II.6 Les langages des A.P.I .....	27
II.6.1 Langage littéraux .....	27
II.6.1.1 Langage liste d'instruction IL .....	27
II.6.1.2 Langage structuré S.T .....	28
II.6.2 Langages graphiques .....	29
II.6.2.1 Le langage de relais .....	29
II.6.2.2 Le langage à contacts (LADDER) .....	29
II.6.2.3 Le langage à logigramme .....	30
II.6.2.4 Le GRAFCET .....	31
II.6.2.4.1 Définition .....	31
II.6.2.4.2 Règles d'évolution .....	31
II.7 Choix d'un API par rapport à d'autres solutions .....	33
II.8 Conclusion .....	34

## CHAPITRE III : DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

III.1 Introduction .....	36
III.2 Généralité sur les moteurs asynchrones .....	36
III.2.1 Historique sur les machines asynchrones .....	36
III.2.2 Constitution des machines asynchrones .....	37
III.2.2.1 Le stator .....	37
III.2.2.2 Le Rotor .....	38
III.2.2.2.1 Rotor à bagues .....	38
III.2.2.2.2 Rotor à cage .....	39
III.2.2.3 Entrefer .....	40
III.2.3 Symboles .....	40
III.2.4 Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone .....	40
III.2.4.1 Les avantages du moteur asynchrone .....	40
III.2.4.2 Les inconvénients du moteur asynchrone .....	41
III.3 Démarrage des moteurs à cage .....	41
III.3.1 Constitution .....	41
III.3.2 Fonctionnement .....	42
III.3.3 Les modes de démarrage des moteurs à cage .....	42
III.3.3.1 Démarrage direct .....	42
III.3.3.2 Démarreur inverseur direct .....	44
III.3.3.3 Démarrage des moteurs à enroulements partagés «part-winding» .....	45
III.3.3.4 Démarrage étoile –triangle .....	47
III.3.3.5 Démarrage statorique à résistances .....	48
III.3.3.5.1 Démarreur statorique (un sens de marche) .....	49
III.3.3.5.2 Démarreur inverseur statorique .....	51
III.3.3.6 Démarrage par auto- transformateur .....	52
III.3.3.7 Démarreur du moteur à deux vitesses à enroulements séparés .....	54
III.3.3.8 Démarreur moteur à deux vitesses, à couplage de pôles	
Couple constant –dahlander .....	56
III.4 Démarrage des moteurs à bagues .....	57
III.4.1 Fonctionnement, Constitution .....	57
III.4.2 Les modes de démarrage des moteurs à bagues .....	58
III.4.2.1 Démarrage rotorique à résistances .....	58
III.4.2.1.1 Démarrage rotoriques (1sens de marche) .....	59

III.4.2.1.2 Démarreur inverseur rotorique 3 temps .....	60
III.4.2.2 Moteur à démarreur centrifuge, (un sens de marche) .....	61
III.5 Conclusion .....	63

## CHAPITRE IV : APPLICATION SCHEMA A RELAIS

IV.1 Introduction .....	65
IV.2 démarrage direct .....	65
IV.2.1 circuit de commande .....	65
IV.2.2 Liste des entrées/orties .....	65
IV.2.3 Les différentes équations .....	66
IV.2.4 Schéma à relais .....	66
IV.2.5 Simulation .....	66
IV.3 Démarrage inverseur .....	66
IV.3.1 Circuit de commande .....	67
IV.3.2 Liste des entrées/orties .....	67
IV.3.3 Les différentes équations .....	67
IV.3.4 Schéma à relais .....	67
IV.3.5 Simulation .....	67
IV.4 Démarrage part-winding .....	68
IV.4.1 circuit de commande .....	68
IV.4.2 Liste des entrées/orties .....	68
IV.4.3 Les différentes équations .....	68
IV.4.4 Schéma à relais .....	69
IV.4.5 Simulation .....	69
IV.5 Démarrage « étoile –triangle» deux sens de marche .....	69
IV.5.1 circuit de commande .....	69
IV.5.2 Liste des entrées/orties .....	70
IV.5.3 Les différentes équations .....	70
IV.5.4 Schéma à relais .....	71
IV.5.5 Simulation .....	71
IV.6 Démarreur statorique (un sens de marche) .....	71
IV.6.1 circuit de commande .....	71
IV.6.2 Liste des entrées/orties .....	72
IV.6.3 Les différentes équations .....	72
IV.6.4 Schéma à relais .....	72

IV.6.5 Simulation .....	72
IV.7 Démarreur inverseur statorique .....	73
IV.7.1 circuit de commande .....	73
IV.7.2 Liste des entrées/orties .....	73
IV.7.3 Les différentes équations .....	73
IV.7.4 Schéma à relais .....	74
IV.7.5 Simulation .....	74
IV.8 Démarrage autotransformateur .....	75
IV.8.1 circuit de commande .....	75
IV.8.2 Liste des entrées/orties .....	75
IV.8.3 Les différentes équations .....	75
IV.8.4 Schéma à relais .....	76
IV.8.5 Simulation .....	76
IV.9 Démarreur du moteur à deux vitesses à enroulements séparés .....	76
IV.9.1 circuit de commande .....	76
IV.9.2 Liste des entrées/orties .....	77
IV.9.3 Les différentes équations .....	77
IV.9.4 Schéma à relais .....	77
IV.9.5 Simulation .....	77
IV.10 Démarreur moteur à deux vitesses, à couplage de pôles Couple   contant –dahlander....	78
IV.10.1 circuit de commande .....	78
IV.10.2 Liste des entrées/orties .....	78
IV.10.3 Les différentes équations .....	78
IV.10.4 Schéma à relais .....	79
IV.10.5 Simulation .....	79
IV.11 Démarrage par élimination des résistances rotoriques (1sens de marche) .....	80
IV.11.1 circuit de commande .....	80
IV.11.2 Liste des entrées/orties .....	80
IV.11.3 Les différentes équations .....	81
IV.11.4 Schéma à relais .....	81
IV.11.5 Simulation .....	81
IV.12 Démarreur inverseur rotorique 3 temps .....	82
IV.12.1 circuit de commande .....	82
IV.12.2 Liste des entrées/orties .....	82
IV.12.3 Les différentes équations .....	82

IV.12.4 Schéma à relais .....	83
IV.12.5 Simulation .....	83
IV.13 Moteur à démarreur centrifuge, (un sens de marche) .....	84
IV.13.1 circuit de commande .....	84
IV.13.2 Liste des entrées/orties .....	84
IV.13.3 Les différentes équations .....	84
IV.13.4 Schéma à relais .....	84
IV.13.5 Simulation .....	84
IV.14 Conclusion .....	85
Conclusion générale .....	86
Annexe	
Bibliographie	

## *Introduction générale*

La compétition économique que nous connaissons impose à l'industrie de produire en qualité en quantité pour répondre à la demande dans un environnement très concurrentiel, en termes d'objectifs il agit :

- de produire à qualité constante,
- de fournir des quantité constante,
- d'accroître la productivité et la flexibilité de l'outil

Autrement dit, il est important de tenir un marché, mais aussi de pouvoir en suivre l'évolution : diminution des coût, complexité technologique croissante.

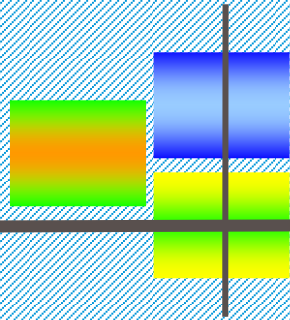
A ce critère, il convient d'ajouter l'amélioration des conditions de travail, qui s'impose progressivement comme un objet essentiel.

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 des exemples de simulation pour mettre en évidence leurs performances.

Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre : présente rappels sur l'automatisme.
- Le deuxième chapitre : est consacré l'étude des Automates programmables industriels (API).
- Le troisième chapitre : concerne l'étude des modes de démarrage des moteurs asynchrones triphasés.
- Le quatrième chapitre : expose l'étude de simulation de mêmes modes de démarrages mis à l'aide du logiciel Elfalagic.

Le projet comprend aussi une conclusion générale relatant des résultats obtenus et les perspectives de continuation de ce travail.



# *Chapitre I*

---

# Généralité sur l'automatisme

## **I.1 Introduction**

Aujourd'hui, au XXI<sup>e</sup> siècle, les automatismes sont légion autour de nous, rien que dans notre logement : les machines à laver le linge, la vaisselle, le réfrigérateur à dégivrage automatique, le réveil, etc., comportent nombres d'automatismes. Dans l'industrie, ils sont indispensables : ils effectuent quotidiennement les tâches les plus ingrates et les plus répétitives ou les plus dangereuses. Parfois, ces automatismes sont d'une telle rapidité et d'une telle précision, qu'ils réalisent des actions impossibles pour un être humain. L'automatisme est donc aussi synonyme de productivité et de sécurité.

L'automatique fait partie des sciences de l'ingénieur. Cette discipline traite de la modélisation, de l'analyse, de la commande et, de la régulation des systèmes dynamiques. Elle a pour fondements théoriques les mathématiques, la théorie du signal et l'informatique théorique. L'automatique permet l'automatisation de tâches par des machines fonctionnant sans intervention humaine. On parle alors de système asservi ou régulé. L'état désiré du système est nommé la consigne. Les hommes de l'art en automatique ou automatisme se nomment automaticiens.

Techniquement, un automatisme est un sous-ensemble ou un organe de machines destiné à remplacer de façon automatisée une action ou décision habituelle et prédéfinie sans intervention de l'être humain. Dans des tâches en générales simples et répétitives, réclamant précision rigueur. Et sont réalisé en vue d'apporter des solutions à des problèmes de nature technique économique ou humaine :

- Eliminer les taches dangereuses et pénibles, en faisant exécuter par la machine les taches humaines complexes ou indésirables.
- Améliorer la productivité en asservissant la machine à des critères de production, de rendement ou de qualité.
- Piloter une production variable, en facilitant à l'homme le passage d'une production à une autre.
- Renforcer la sécurité, en surveillant et contrôlant les installations et les machines.

Ce premier chapitre est consacré à l'étude de technologie des automatismes, la première partie étant réservée pour comprendre la structure d'un système automatisé et sont fonctions de base, puis on donne les informations essentielles de la plupart des composants constituant un système automatisé.

## I.2 Structure générale d'un système automatisé

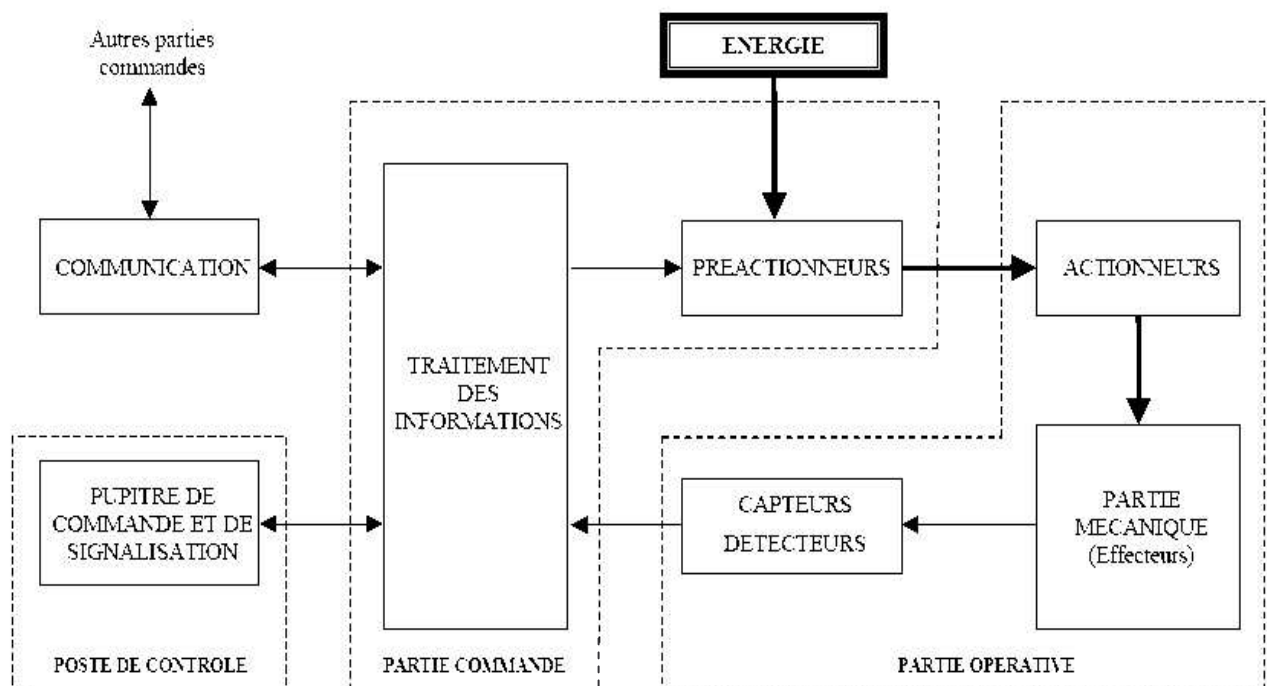
Les systèmes automatisés peuvent se décomposer en deux parties principales qui sont :

- La partie opérative P.O. dont font partie les actionneurs, processus et les capteurs.
- La partie commande P.C. qui coordonne les actions à partir des informations reçues.

Unité de traitement des informations, dialogue d'exploitation (dialogue homme machine), dialogue de programmation et de supervision. Cette dernière destiné :

- à coordonner la succession des actions sur la Partie Opérative,
- à surveiller son bon fonctionnement,
- à gérer les dialogues avec les intervenants,
- à gérer les communications avec d'autres systèmes,
- à assurer le traitement des données et des résultats relatifs au procédés, aux matières d'oeuvre, aux temps de production, à la consommation énergétique... (Gestion technique). [1]

Le schéma ci-dessus représente cette structure.



**Fig.I.1** Schéma d'un système automatisé

### I.2.1 Détections

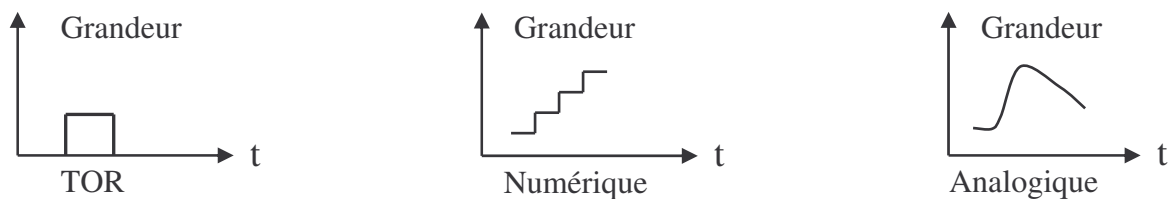
On peut distinguer les « capteurs tout ou rien » tels que les détecteurs de proximité, interrupteurs de position, manostats, thermostats qui sont raccordés à l'organe de traitement par des liaisons fil à fil aboutissant aux interfaces d'entrées. Les capteurs « numériques » tels que les lecteurs de codes à barres, les codeurs incrémentaux et absolus, etc. Mais aussi les capteurs « analogiques » tels que les dynamos tachymétriques, capteurs d'efforts, pesons, etc. [4]

L'automatisation d'une machine ou d'une installation nécessite la prise en le compte permanente des informations de commande, de position, de température, de vitesse..... Ces informations sont transmises à la partie commande de la machine sous forme de messages codés et peuvent être de nature:

Binaire: l'information est transmise en tout ou rien, il est utilisé dans les automatismes simples.

Numérique: l'information est transmise sous la forme d'un code binaire par un mot de plusieurs bits.

Analogique: l'information est transmise sous forme de tension (ou courant) proportionnelle à la grandeur mesurée, et évolue entre deux valeurs limites. [5]



**Fig.I.2** Signal d'information

Ces informations sont transmises à la partie commande de la machine à l'aide des capteurs ou des détecteurs qui informent l'unité de traitement de l'état du système (variables d'entrées). Le choix de ces appareils est en fonction de la condition d'utilisation :

- Interrupteurs de position actionnés directement par la mécanique ;
- Interrupteurs à flotteur pour contrôler un niveau ;
- Sélecteurs de position pour suivre de déplacement d'un mobile ;
- Manostats pour déceler la présence ou réguler une pression ;
- Détecteurs de proximité inductifs ou capacitifs statiques lorsque la détection doit s'effectuer sans toucher au mobile à contrôler, ou lorsque les cadences sont trop élevées, ou dans des ambiances particulières ;
- Cellules photo électriques pour détecter à des distances plus importantes ;
- Détecteurs de vitesse pour contrôler des vitesses de déplacement ou de rotation. [1]

### **I.2.2 Actions**

A chaque action de la machine (dispositif, processus, procédé, etc.) est associée un actionneur (moteur, électro-aimant, vérin, résistance de chauffage, électrodes d'électrolyse, etc.) et un dispositif de commande de cet actionneur appelé pré-actionneur (contacteur, unité à triac, distributeur, gradateur, variateur, etc.).

Ces deux fonctions nécessitent souvent une interface pour adapter les signaux entre la partie commande et la partie opérative. Ces interfaces font partie de la frontière entre la partie commande et la partie opérative. Et donc, selon les intervenant elle sera traité par le responsable de la P.C ou par celui de la P.O. [1]

### **I.2.3 Dialogue d'exploitation (homme/Système)**

Lors de l'exploitation, des dialogues entre la machine et l'homme sont nécessaires. Ils ont pour objet :

- La conduite de la machine ou des processus (ordres, consignes, etc.).
- Les réglages et mises au point à effectuer.
- Les maintenances préventives ou dépannages à effectuer.

Cette fonction est assurée par les éléments suivants :

- Des composants (constituants) implantés tels que :
  - Boutons poussoirs, roues codeuses, claviers pupitres, etc.
  - Voyants, afficheurs, etc.
- Des composants (constituants) d'exploitations tels que :
  - Claviers d'exploitation écrans de contrôle amovibles.
  - Terminaux d'exploitation des automates programmables. [5]

### **I.2.4 Dialogue de supervision**

Les systèmes automatisés s'intègrent souvent dans une production gérée de manière centralisée par un superviseur. Les systèmes automatisés seront donc, en générale, prévus pour dialoguer avec les autres et avec le superviseur ce type de dialogue sera on général de type SERIE (asynchrone ou synchrone). [1]

### **I.2.5 Dialogue de programmation**

La première mise en œuvre d'un dispositif, et les évolutions éventuelles, exigent souvent une programmation ; les terminaux de programmation sont dédiés à cette tâche. [1]

### **I.3 dialogue Homme/système**

Nous allons voir quelque détails sur des éléments simples de ce dialogue que sont : les roues codeuses, les claviers et les afficheurs à segments.

#### **I.3.1 Roues codeuses**

Roues codeuses sorte de commutateur, la roue codeuse permet d'introduire manuellement d'une valeur numérique (quatre bits en général). Ces valeurs sont, soit directement exploitable (codes décimaux), soit elles nécessitent un transcodage (codes binaires ou autres). [1]

#### **I.3.2 Clavier**

Clavier ce sont des appareils à touches utilisés pour entrer des informations numériques ou alphanumériques. Chaque touche est équipée d'un ou plusieurs contacts qui délivrent un signal celui-ci est traité de façon à obtenir une information dans le code désiré. [1]

#### **I.3.3 Afficheur**

Nous nous intéresserons qu'au code DCB. Les méthodes de conception des circuits de transcodage décrits ici peuvent être étendues sans difficultés aux autres codes décimaux ou alphanumériques.

Le contenu d'un compteur DCB peut être affiché au moyen de divers dispositifs optiques :

- Lampes à incandescences.
- Tubes à gaz.
- Matrices à diodes électroluminescentes.

Dans tous les cas, il est nécessaire de traduire l'information binaire à plusieurs bits, en un signal capable d'illuminer le chiffre correspondant du dispositif d'affichage. [1]

#### **I.3.4 Autre moyens**

La fonction dialogue entre l'opérateur et la machine est l'une des fonctions des automatismes progressant le plus rapidement ; on comprend aisément cette évolution, c'est en effet la fonction la plus directement apparente à l'utilisateur. Les interfaces utilisateurs des ordinateurs (WINDOWS ou équivalent) jouent ce rôle. [5]

Quelques exemples de dispositifs de dialogue homme /système :

- Terminaux d'exploitation des automates programmables.
- Unité de disquettes, lecteurs de cassette et imprimantes associées.
- Synoptique sur écrans tactiles avec ou sans clavier associé.
- Dispositifs de reconnaissance vocale.
- Commandes à distance (modem) par ordinateur ou Minitel etc....

#### I.4 Acquisition de données (capteurs)

La fonction d'acquisition des données est réalisée par les capteurs ; Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle. Ils prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande. Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique (énergie), on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de nature électrique ou pneumatique. [5]

Dans les systèmes automatisés séquentiels la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numérique (valeur discrète), analogique (dans ce cas il faudra adjoindre à la partie commande un module de conversion analogique numérique). [4]

On peut caractériser les capteurs selon deux critères:

- En fonction de la grandeur mesurée ; on parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, de pression, etc.;
- En fonction du caractère de l'information délivrée; on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

##### I.4.1 Les capteurs tout ou rien (TOR)

Ils sont destinés à fournir une ou des informations binaires sur l'état d'une grandeur physique par rapport à une ou plusieurs limites (seuils) ; ce sont les capteurs les plus utilisés, citons :

Les interrupteurs de position, les pressostats et vacuostats, les thermostats, les détecteurs de proximité inductifs et capacitifs et les cellules photoélectriques.

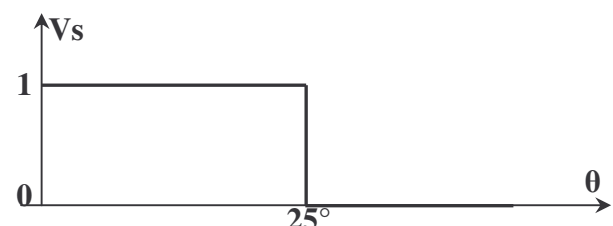


Fig.I.3 Signal de la grandeur mesurée

### **I.4.1.1 Détecteur photoélectrique**

Les détecteurs photoélectriques se composent essentiellement d'un émetteur de lumière associé à un récepteur photo-sensible. La détection d'un objet est effective lorsque celui-ci interrompt ou établit le faisceau lumineux (variation de tension). L'émission est effectuée par une diode électroluminescente émettant dans le domaine proche infrarouge. Le rouge ou le vert visible. L'émission modulée garantit une haute immunité aux lumières parasites. Ainsi qu'une durée de vie pratiquement illimitée. Pour réaliser la détection d'objets dans les différents applications, cinq systèmes de base sont proposés : Système barrage, système reflex, système reflex polarisé, système proximité et système proximité avec l'effacement de l'arrière-plan. [1]

### **I.4.1.2 Détecteur de proximité**

C'est l'un des constituants d'un automatisme. Il transmet au système de traitement. L'information sur les conditions de fonctionnement d'une machine :

- Présence, passage, défilement de pièces ;
- Positionnement ;
- Fin de course ;
- Rotation, comptage, etc.

Le support est, soit cylindrique, soit rectangulaire. La partie opérative détermine les caractéristiques de la détection, et la partie commande définie par le type d'alimentation et les caractéristiques électriques (courant, tension, etc.).

On distingue le détecteur inductif adapté à la détection d'objets métalliques, et le détecteur capacitif adapté pour la détection d'objets isolants, liquides ou pulvérulents. [1]

### **I.4.1.3 Pressostats, vacuostats, et thermostats**

Les pressostats et les vacuostats sont destinés à contrôler ou réguler une pression ou une dépression dans un circuit pneumatique ou hydraulique. L'appareil transforme un changement de pression en un signal électrique. Lorsque la pression ou la dépression atteint la ou les valeurs de réglage, le contact électrique change d'état.

Les thermostats sont destinées à détecter un seuil de température dans un réservoir, une canalisation, etc.... L'appareil transforme un changement de température en un signal électrique change état. [1]

## I.4.2 Les capteurs numériques

Ils sont destinés à fournir une informations numérique (codée BCD ou HEXA) sur une grandeur physique

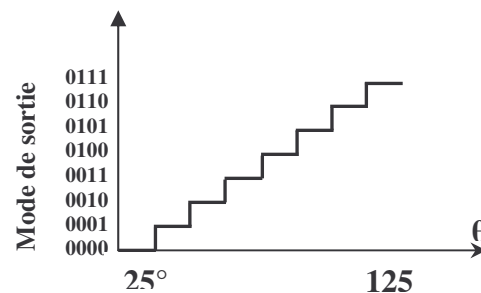


Fig.I.4 Mode de sortie d'un capteur

Les capteurs à sorties numériques les plus courants sont les codeurs incrémentaux et les codeurs absolus utilisés pour des mesures de positions angulaires. [1]

### I.4.2.1 Codeurs rotatifs (incrémentaux et absolus)

Le codeur rotatif est un capteur de position angulaire, l'axe du codeur est lié mécaniquement à l'arbre de la machine qui l'entraîne. Cet axe fait tourner un disque qui lui est solidaire. Le disque comporte une succession de parties opaques et transparentes. Une lumière émise par des diodes électro-luminescentes, traverse les fentes de ce disque, créant sur les photodiodes réceptrices un signal analogique. Ce signal est amplifié électroniquement puis converti en signal carré qui est alors transmis à un système de traitement. Ils est émis sous forme d'impulsions (incrémental) ou il est propre à chaque position (absolu). [4]

#### a) Codeur incrémental

La périphérie du disque du codeur est divisée en "x" fentes régulièrement réparties. Un faisceau lumineux se trouve derrière ces fentes dirigées vers une diode photosensible. Chaque fois que le faisceau est coupé, le capteur envoie un signal qui permet de connaître la variation de position de l'arbre. Pour connaître le sens de rotation du codeur, on utilise un deuxième faisceau lumineux qui sera décalé par rapport au premier. Le premier faisceau qui enverra son signal indiquera aussi le sens de rotation du codeur. [17]

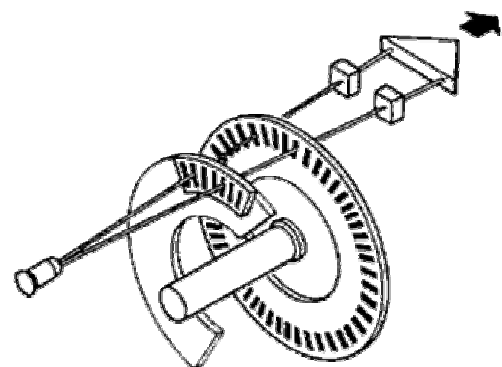
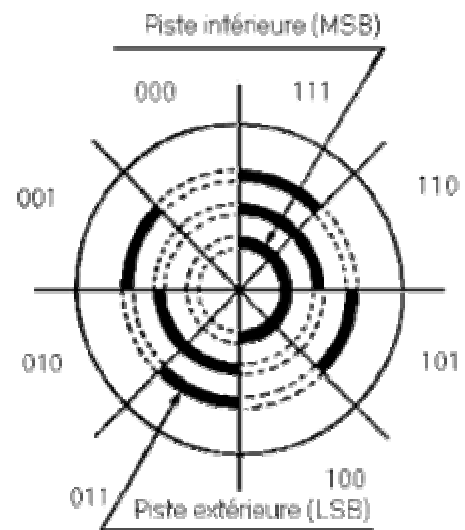


Fig.I.5 Codeur incrémental

### b) Codeur absolu

Cette fois ci, le disque possède un grand nombre de pistes et chaque piste est munie d'une diode émettrice d'un faisceau lumineux et d'une diode photosensible. La piste centrale est la piste principale, elle détermine dans quel demi-tour la lecture est effectuée. La piste suivante détermine dans quel quart de tour on se situe, la suivante le huitième de tour etc. Plus il y aura de pistes plus la lecture angulaire sera précise. Il existe des codeurs absolus simple tour qui permettent de connaître une position sur un tour et les codeurs absolus multi tours qui permettent de connaître en plus le nombre de tours effectués. [17]



**Fig.I.6** Codeur absolu

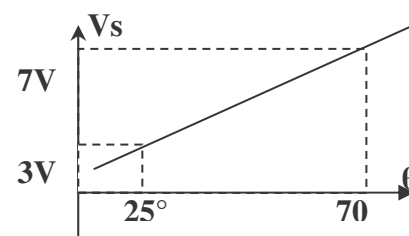
### I.4.3 Les capteurs analogiques

Ces capteurs fournissent, en association à un phénomène physique, un signal continu (que l'on souhaite proportionnelle à la grandeur à mesurer).

Ils sont généralement constitués de trois parties principales :

- Le corps d'épreuve destiné à transformer la grandeur physique à mesurer en une grandeur plus facilement exploitable (transformation pression  $\Rightarrow$  déformation des capteurs de pression).
- Le transducteur destiné à transformer la grandeur exploitable en signal électrique.
- Le conditionneur de sortie destiné à adapter le signal à une chaîne de mesure d'un type donné.

Ces capteurs existent pour la plupart des grandeur physiques ; les plus courants en électrotechnique sont : les dynamo tachymétriques, les capteurs de forces (système déformable plus jauges de déformations ou résonateurs piezoélectrique), les capteurs de température (sondes au platines, thermocouples etc.), les capteurs de champs (effet Hall), les capteurs de distance (résistifs, inductifs ou capacitifs). Etc. [4]



**Fig.I.7** Signal de la grandeur mesurer

#### **I.4.4 Les caractéristiques des capteurs**

On peut alors classer les capteurs en deux catégories, les capteurs à contact qui nécessitent un contact direct avec l'objet à détecter et les capteurs de proximité. Chaque catégorie peut être subdivisée en trois catégories de capteurs : les capteurs mécaniques, électriques, pneumatiques.

Principales caractéristiques des capteurs :

- L'étendue de la mesure : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.
- La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.
- La précision : c'est la capacité de répétabilité d'une information position, d'une vitesse. [4]

#### **I.4.5 Choix d'un capteur**

Tous les capteurs dont les fonctionnements ont été décrits précédemment présentent deux parties distinctes. Une première partie qui a pour rôle de détecter un événement et une deuxième partie qui a pour rôle de traduire événement en un signal compréhensible d'une manière ou d'une autre par une partie PC. Pour choisir correctement un capteur, il faudra définir tout d'abord :

- Le type événement à détecter,
- La nature de événement,
- La grandeur de l'événement,
- L'environnement de l'événement.

En fonction de ces paramètres on pourra effectuer un ou plusieurs choix pour un type de détection. D'autres éléments peuvent permettre de cibler précisément le capteur à utiliser :

- Ses performances,
- Son encombrement,
- Sa fiabilité (MTBF),
- La nature du signal délivré par le capteur (électrique, pneumatique),
- Son prix... [17]

## I.5 traitement de données

L'ensemble des informations saisies par les capteurs est transmis à l'unité de traitement qui élabore les ordres d'actions, selon une procédure bien définie. En fonction de la nature de l'automatisme, le cycle de fonctionnement peut être soit combinatoire, soit séquentiel.

**Cycle combinatoire** : le cycle de fonctionnement est réalisé uniquement par la combinaison de valeur primaire. La commande des sorties est directement liée aux informations présentes à un instant donné. Les actions antérieures ne sont pas mémorisées.

**Cycle séquentiel** : le cycle de fonctionnement est défini en tenant compte des variables et secondaires. La commande des sorties est liée non seulement aux informations présentes, mais également aux actions passées. Ce cycle comporte obligatoirement des mémoires. [6]

## I.6 Commande de puissance

Les préactionneurs sont les composants ou les constituants permettant de contrôler la puissance délivrée par les actionneurs. Dans le domaine du génie électrique, ces préactionneurs sont principalement électromécaniques ou électroniques, tout ou rien ou progressifs.

Préactionneurs électromécaniques :

- Disjoncteurs magnéto-thermique pour moteurs.
- Contacteurs disjoncteurs pour moteurs.
- Contacteurs, disjoncteurs, sectionneurs, relais thermiques, fusibles, etc.

Préactionneurs électroniques :

- Variateurs de vitesse pour machine à courant continu.
- Variateurs de vitesse pour machines asynchrones autopilotées (sans balais).
- Variateurs de vitesse pour machines asynchrones.
- Démarreur (gradateurs à ondes partielles) pour machines asynchrones.
- Gradateur à trains d'ondes pour dispositifs de chauffage. [5]

## I.7 Protection du système

Les appareils de protection assurent le bon fonctionnement d'une installation ou d'une machine et la sécurité des personnes contre tout dysfonctionnement d'origine :

- **Electrique** : surintensité (surcharge et court-circuit), surtension.
- **Pneumatique** : surpression.
- **Hydraulique** : surpression.

Les différents types de protection et les produits correspondants utilisés dans les équipements automatiques à contacteur sont les suivants :

- **Protection contre les surcharges importantes** : relais électromagnétiques.
- **Protection contre les courts-circuits** : fusibles.
- **Protection contre la marche en monophasé**: relais thermiques différentiels, sectionneurs équipés d'un dispositif adéquat et munis de fusibles à percuteur.
- **Protection à manque de tension** : contacteur avec auto alimentation, relais de mesure.
- **Protection à maximum d'intensité** : relais de mesure.
- **Protection à minimum d'intensité** : relais de mesure.
- **Protection contre des démarrages trop longs ou trop fréquents** : contrôle de la durée d'une opération, relais temporisateurs thermiques. [5]

## I.8 Alimentation en énergie

Différentes sources d'alimentation en énergie peuvent être utilisées dans les machines automatisées ou non automatisées, en fonction :

- De la puissance nécessaire ;
- Du coût de revient ;
- Du lieu d'exploitation ;
- De l'importance de l'automatisation.

Ces différentes énergies, qui peuvent être produites par des générateurs sur place ou extérieurement à l'installation, sont principalement :

- Pneumatique: produite par un compresseur entraîné par un moteur, c'est pour alimenter les machines fonctionnant avec un automatisme simple.
- Hydraulique: produite par un pompe entraînée par un moteur, c'est lorsque les puissance mise en jeu par les actionneurs sont importantes.
- Electrique.

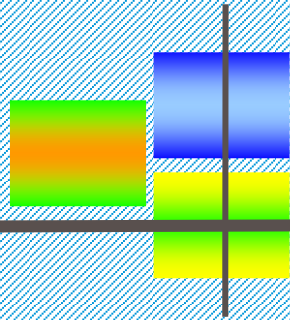
On peut trouver, dans une même machine automatisée, une source d'énergie (électricité), deux sources d'énergie associées (électricité et hydraulique, ou électricité et pneumatique), ou les trois sources d'énergie. [3]

## **I.9 Conclusion**

Les outils câblés caractérisés par une mise en œuvre nécessitant uniquement, mais nécessairement, l'établissement de liaisons matérielles (câblage) selon un schéma fourni par la théorie ou l'expérience. Ces outils largement utilisés dans l'industrie où l'on apprécie leurs qualités éprouvées, mais ils souffrent cependant d'un certain nombre de limitations parmi lesquelles nous reteindrons:

- Leur encombrement (poids et volume),
- Leur manque de souplesse vis-à-vis de la mise au point des commandes et de l'évolution de celles-ci (améliorations, nouvelles fonctions,...),
- La difficulté de maîtriser des problèmes complexes,
- La complexité de recherche des pannes et donc du dépannage.

Alors que les solutions programmées offre une alternative technologique à l'automaticien, et lui ouvre des possibilités nouvelles liées à la puissance de traitement des données. Parmi ces solutions programmées est le « A.P.I » (Automate Programmable Industriel ) qui s'est substitué aux armoires à relais de sa souplesse (mise en œuvre , évolution ), mais aussi parce que dans les automatismes de commande complexe, les coûts de câblage et de mise au point devenaient trop élevés.



# ***Chapitre II***

## **Les automates programmables industriels**

## **II.1 Introduction**

L'automate programmable industriel A.P.I (ou **Programmable Logic Controller PLC**) est aujourd'hui le constituant le plus répandu des automatismes. On le trouve non seulement dans tous les secteurs de l'industrie, mais aussi dans les services (gestion de parkings, d'accès à des bâtiments) et dans l'agriculture (composition et délivrance de rations alimentaires dans les élevages). Il répond aux besoins d'adaptation et de flexibilité de nombres d'activités économiques actuelles.

Dans ce chapitre nous allons donner des informations sur l'automate programmable industriel A.P.I (historique, définition et caractéristique, architecture, l'environnement et les langages).

## **II.2 Historique**

Les automates programmables industriels (A.P.I) sont apparus aux Etats unis dans les années 60 pour répondre, principalement, aux besoins de l'industrie automobile. En France, les premiers API datent de 1970. Dès le départ, leur vocation fût d'être proches de l'utilisateur et adaptés au monde de l'industrie. Leur simplicité d'emploi les destinent à tous les domaines de l'industrie dont par exemple :

- Industrie de la métallurgie et sidérurgie. (chargement de hauts fourneaux, coulée, etc...).
- Industrie automobile, mécanique. (chaînes d'usinage, de montage etc...).
- Industrie chimique et pétrolière et pharmaceutique. (procès de fabrication etc...).
- Industrie alimentaire et agricole. (mélange et conditionnement de produits etc...).
- Transport, manutention, emballage et conditionnement.
- Bâtiment. (gestion des énergies, de la sécurité etc...).
- Industrie électrique, textile, des matières plastiques, du papier. [2]

## **II.3 Définition et caractéristique**

L'A.P.I est un appareil électrique qui comporte une mémoire programmable par un utilisateur automatique (et non informaticien) à l'aide d'un langage adapté, pour le stockage interne des instructions composant les fonctions d'automatisme.

Les programmes des API sont traités selon un cycle précis: acquisition de toutes les entrées (recopie dans une mémoire image) - traitement des données (calculs) - mise à jour des sorties. Le temps d'un cycle d'API varie selon la taille du programme, la complexité des calculs et de la

puissance de l'API. Le temps de cycle est généralement de l'ordre d'une vingtaine de millisecondes et est protégé par un chien de garde (informatique).

Les API se caractérisent par rapport aux ordinateurs par leur fiabilité et leur facilité de maintenance. Les modules peuvent être changés très facilement et le redémarrage des API est très rapide.

Pour l'automatisation d'un procédé, l'A.P.I est en concurrence avec d'autres solutions technologiques que sont : La logique câblée, les dispositifs à microprocesseurs et les micro-ordinateurs.

Au cours de la dernière décennie, la baisse du prix des A.P.I et des micro-ordinateurs a modifié sensiblement le domaine d'emploi des A.P.I. Au détriment de la logique câblée et des microprocesseurs. Les produits de type cartes à microprocesseurs n'ont pas eu les développements espérés.

Dans le même temps les A.P.I se sont fortement modernisés et diversifiés. Ils couvrent actuellement, chez tous les constructeurs une gamme :

- Qui commence à 6 entrées 4 sorties (10 E/S), basés sur des microcontrôleurs 8 bits.
- Pour se terminer à presque 10000 E/S et plus de 200 voies analogiques et 50 cartes spécialisées (commandes d'axes, régulations, arbre électrique) intégrant les accès à plusieurs liaisons réseaux dont internet et intranet et la redondance des unités centrales qui sont basés sur les processeurs les plus performants.

Actuellement, les A.P.I sont utilisés dès qu'il faut 2 ou 3 relais et jusqu'aux pilotages des procédés continus centralisés nécessitant les calculs les plus complexes. [7]

## **II.4 L'architecture d'un automate programmable**

### **II.4.1 Organisation générale**

Un A.P.I. est, comme les architectures à microprocesseur décrites dans le fascicule précédent, constitué d'une Unité centrale (U.C.), de mémoires (mortes et vives) et d'entrées/sorties.

Les automates d'entrée de gamme que les constructeurs appellent "modules programmables" tels que le ZELIO de Schneider ou le LOGO de Siemens sont architectures autour d'un microcontrôleur CMS (HD64F3644 de la famille H8/300L d'HITACHI) pour le ZÉLIO. L'ensemble des cartes, clavier et afficheurs sont implantés dans un boîtier compacte de dimensions standard, ce sont les 4 relais et les opto-coupleurs qui occupent le plus d'espace.

Les automates de début de gamme tels que les NANO de Schneider, S7-200 de Siemens ou les CPM2A d'Omron sont des produits compacts destinés aux tableaux de commande et aux petites machines où l'encombrement est primordial.

À partir du milieu de gamme, les automates sont architectures, comme les structures à microprocesseurs c'est à dire en rack, avec un fond de panier qui contient les "BUS" et les liaisons d'alimentation sur lequel on raccorde des cartes (alimentation, unité centrale, entrées/sorties, etc..). [2]

#### **II.4.2 Echange des informations (BUS)**

Comme dans les systèmes à microprocesseurs, les automates programmables industriels effectuent les échanges entre l'UC et les entrées/sorties par l'intermédiaire d'un BUS. Ce BUS regroupe les informations Données, Adresses et contrôle. Du point de vue de l'architecture matérielle, un A.P.I. ne se distingue que peu d'un rack à microprocesseur, le S5 Siemens est en cela caractéristique. [2]

#### **II.4.3 Unité centrale (UC)**

Leur unité centrale est généralement un microprocesseur associé à des mémoires. On y retrouve donc toutes les fonctions de l'UC d'un microprocesseur (Registres, compteur ordinal, piles). Ce qui différencie l'API, c'est soit le fait que sa mémoire morte contient un programme d'interprétation d'instructions dédiées au traitement d'automatismes, soit le compilateur associé. Tout se passe alors comme si nous disposions d'un processeur spécialisé. L'automate traite ses instructions de la même manière que l'UC d'un microprocesseur c'est à dire comme suit:

- Acquisition de l'instruction et transfert dans le registre d'instruction.
- Acquisition de l'opérande.
- Traitement de l'instruction (avec son opérande).
- Incrémentation du compteur.

Une pile LIFO (Last in first out) est utilisée pour stocker les résultats intermédiaires du traitement. [6]

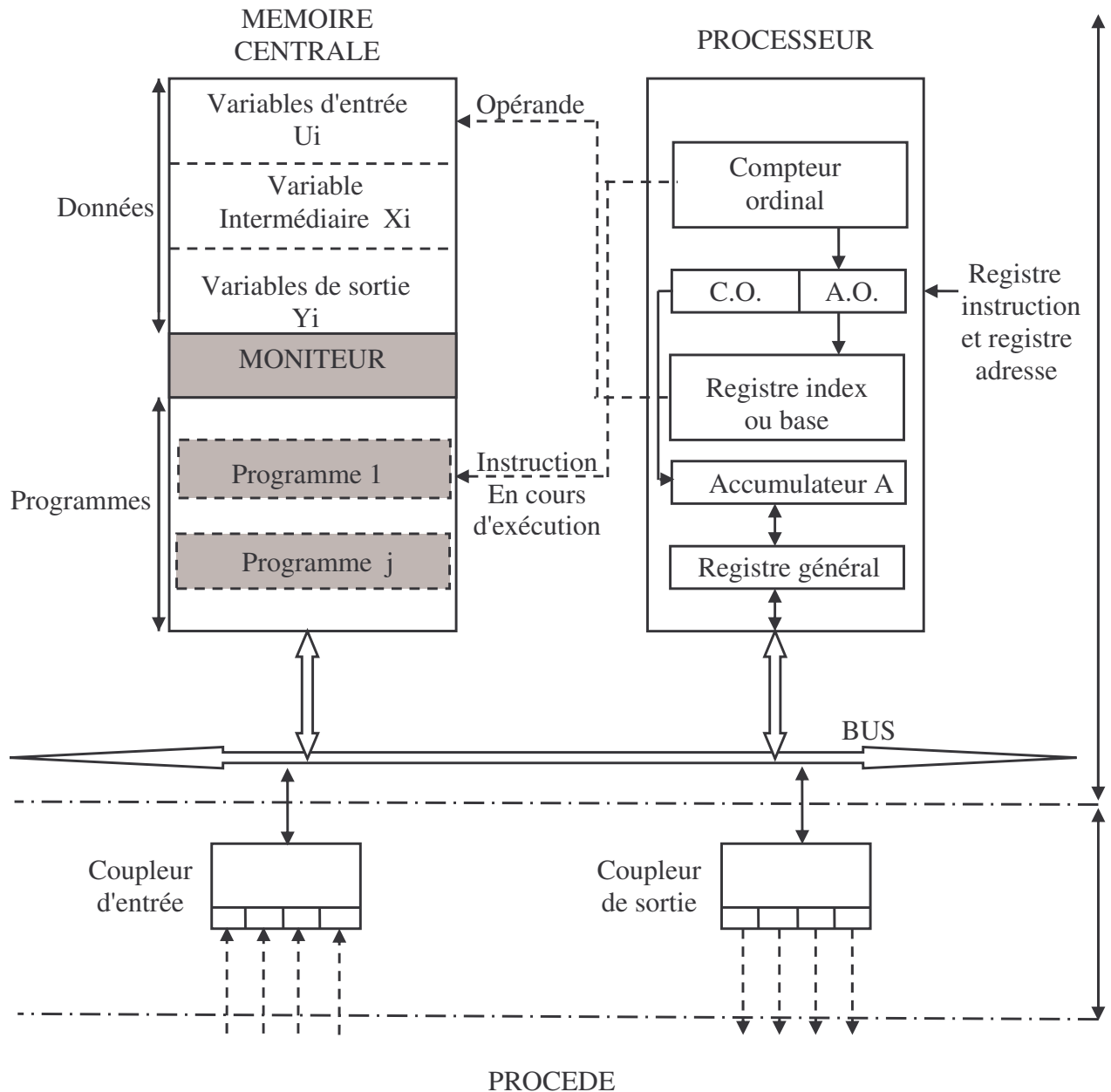


Fig. II.1 Structure de l'UC d'un A.P.I.

### II.4.3.1 Processeur

Cœur de l'appareil, dans l'unité centrale, ce n'est sans doute pas, paradoxalement, le point le plus caractéristique, mais il conditionne tout de même largement les performances. Les premiers API étaient équipés de processeurs spécifiques, à cycle de scrutation unique : on exécutait en permanence un programme gérant essentiellement des variables binaires. On est passé ensuite à des processeurs plus performants, issus du monde de l'informatique. Cette évolution a permis de baisser les coûts, d'accroître les possibilités opérationnelles.

Les processeurs « généralistes » étant toutefois ponctuellement moins efficaces que les spécialisés, on peut penser que c'est aussi une des raisons pour laquelle les progrès (en temps de calcul par exemple) sur un ensemble d'opérations de base ont été moins spectaculaires qu'en informatique générale, avec une conséquence heureuse pour les utilisateurs : une longévité supérieure du matériel. Des progrès importants ont été accomplis sur d'autres points, sur lesquels nous reviendrons. L'unité centrale UC est une carte électronique bâtie autour de la (ou des) « puce(s) » processeur(s), qui assure au moins les fonctions suivantes :

- opérations logiques sur bits (le bit, contraction de « binarydigit », étant l'information élémentaire à deux états) ou sur mots (ensemble de bits, le plus souvent 16 pour les API).
- temporisation et comptage.

Il existe trois technologies de réalisation :

- la technologie câblée, la plus rapide mais aussi la plus coûteuse, réservée à des usages particuliers ;
- la technologie à microprocesseur, la plus économique dès lors que l'on utilise un microprocesseur standard produit en grande série ;
- la technologie mixte, certaines opérations étant réalisées en câblé pour en accroître la rapidité. [6]

#### **II.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. Il y a deux types de mémoire cohabitent :

- La mémoire Langage** où est stocké le langage de programmation. Elle est en général figée, c'est à dire en lecture seulement. (ROM : mémoire morte)
- La mémoire Travail** utilisable en lecture-écriture pendant le fonctionnement c'est la RAM (mémoire vive). [6]

#### **II.4.4 Fonctionnement cyclique des A.P.I**

Le déroulement d'un programme s'effectue au rythme d'une horloge qui traite les instructions une à une. Sans précaution particulière, les opérations effectuées à partir de l'état des

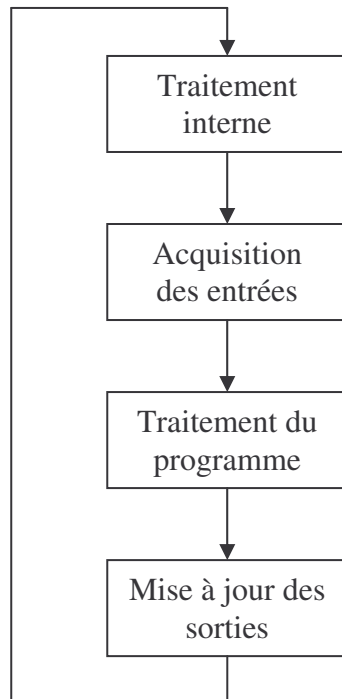
entrées se feraient dans l'ordre des instructions du programme. Ceci risquerait d'amener des aléas de fonctionnement dus au fait qu'entre un traitement et un autre, une entrée physique peut avoir changé d'état ; pour une entrée donnée.

Pour cette raison, les automates programmables travaillent sur un état de toutes les entrées saisi au même instant et renouvellent toutes les sorties au même moment. Le traitement est effectué sur des images des entrées et des sorties. C'est la notion de cycle de fonctionnement.

Un cycle s'effectue comme suit :

Traitement interne      Lecture des entrées      TRAITEMENT      Rafraîchissement des sorties.

De cette manière, le programmeur n'a pas à tenir compte du fait que ses N équations sont traitées de manière asynchrone par l'UC. Cet avantage conduit à un temps de retard potentiel à la prise en compte d'un changement d'état qui peut atteindre 1 cycle complet.



- **Traitement interne** : Au cours de cette partie du cycle l'automate effectue ses tests cycliques de surveillance interne et dialogue éventuellement avec la console ou le terminal d'exploitation.

- **Acquisition des entrées** : Le processeur "photographie" l'état des entrées, l'image de cet état est stockée dans une partie de la mémoire des données.

- **Traitement du programme** : Les opérations définies par le programme utilisateur sont traitées dans l'ordre, les unes après les autres, en utilisant les images mémorisées dans la mémoire programme ; le résultat du traitement conduit à la mise à jour d'une mémoire image des sorties.

- **Mise à Jour des sorties** : En fin de cycle le contenu de la mémoire image des sorties est recopié sur les sorties physiques.

Si un temps de cycle de quelques dizaines de ms n'est pas gênant pour les procédés lents, il interdit le suivi de grandeurs plus rapides telles que les impulsions d'un codeur sur axe rapide. Pour cela les A.P.I. font appel à des procédures prioritaires (en interruption du programme principal) appelés **tâches rapides** ou prioritaires.

Ces tâches peuvent être exécutées plusieurs fois au cours d'un cycle, elles sont destinées à des entrées/sorties particulières. La structure en tâches d'une telle application est la suivante :

- la tâche maître MAST, toujours présente qui peut être cyclique ou périodique,
- la tâche rapide FAST, optionnelle qui est **toujours périodique**,
- les traitements sur **événements**  $EVT_i$ , appelés par le système lors de l'apparition d'un événement sur un coupleur d'entrées/sorties.

Ces traitements sont optionnels et servent aux applications nécessitant des temps de réponse courts pour agir sur les entrées/sorties. [2]

#### II.4.5 Les entrées-sorties (E/S)

Les entrées-sorties des A.P.I font très naturellement l'objet d'études importantes de la part des industriels, c'est l'atout le plus important face aux autres technologies et aux concurrents. C'est pourquoi les fabricants proposent des modules d'entrée-sortie variés et bien adaptés aux problèmes industriels.

Les entrées-sorties industrielles courantes :

- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| - Tout Ou Rien binaires.          | - Numériques.                    |
| - Compteurs Temporisations.       | - Entrées à seuils ajustables.   |
| - E-S Analogiques.                | - Analyse d'images.              |
| - Interfaces pour codes à barres. | - Commandes d'axes numériques.   |
| - Boîtes à cames.                 | - Commandes de Positionnement.   |
| - Régulation PID.                 | - Cartes pour moteurs pas à pas. |
| - Pesage.                         | -Etc.,                           |

D'autres fonctions dédiées à des applications industrielles spécifiques existent, chaque fabricant ayant son domaine d'excellence.

Les entrées sorties des A.P.I. sont raccordées :

- directement à l'TJ.C. (Elles sont dans le même rack) en mode parallèle,
- à distance en mode parallèle (dans un rack déporté vers l'application) à quelques mètres.

- à distance en mode série les entrées-sorties peuvent alors être déportées à plusieurs centaines de mètres. [2]

#### II.4.5.1 Coupleurs numériques

Coupleurs de positionnement TSX AXM destinés à des applications très diversifiées telles que traitement de surface, manutention, mouvements sur machines, qui nécessitent des fonctions de positionnement d'un mobile sur un axe : enchaînement de mouvements sans suivi de trajectoire (mise en vitesse, ralentissement, arrêt au point).

Les coupleurs de positionnement TSX AXM 171/1711 gèrent de façon autonome le positionnement d'un mobile sur un axe linéaire à partir d'impulsions provenant d'un codeur incrémental et selon un programme enregistré dans sa mémoire interne. Ils possèdent leurs propres entrées/sorties, et en existent en 2 types :

- Sorties à relais
- Sorties statiques.

Coupleurs comportent :

- Une voie de comptage composée de 2 entrées 5/24 V pouvant recevoir :
  - des signaux issus d'un codeur incrémental,
  - ou un signal de comptage et un signal de décomptage,
  - ou un signal de comptage et un signal de sens,
  - ou un signal impulsionnel, le sens étant déterminé par la commande AV/AR.
- Trois entrées auxiliaires (top au tour/détection d'événement/sécurité valeur).
- Quatre sorties pour commande du pré-actionneur par exemple :
  - grande vitesse,                      - petite vitesse,
  - moyenne vitesse,                      - sens avant/arrière. [2]

#### II.4.6 Sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement est parfois la préoccupation prioritaire. L'architecture la plus simple est à 2 A.P.I. connectés sur les entrées, déroulant le même programme, leurs sorties sont raccordées par des fonctions OU. En cas de défaut, l'A.P.I. A (maître) donne la maîtrise du processus à l'A.P.I. B (réserve). La transition d'un A.P.I. à l'autre peut créer un transitoire.

Une autre solution, plus lourde, consiste à imaginer un système à 3 ou 5 processeurs fonctionnant sur le principe de la décision majoritaire, en cas de discordance, ceux donnant des réponses identiques sont déclarés sains et l'autre en panne.

Ce procédé est coûteux et, compte tenu de la fiabilité des machines, on préfère généralement bâtir des systèmes duaux. [2]

### II.5 L'environnement des A.P.I

L'environnement d'un A.P.I. est constitué de tous les éléments permettant d'accéder au programme pour le charger, le modifier, le paramétrer ou simplement en suivre le déroulement. Mais aussi les périphériques de ces dispositifs de programmation tels que mémoires de masse, imprimantes etc....

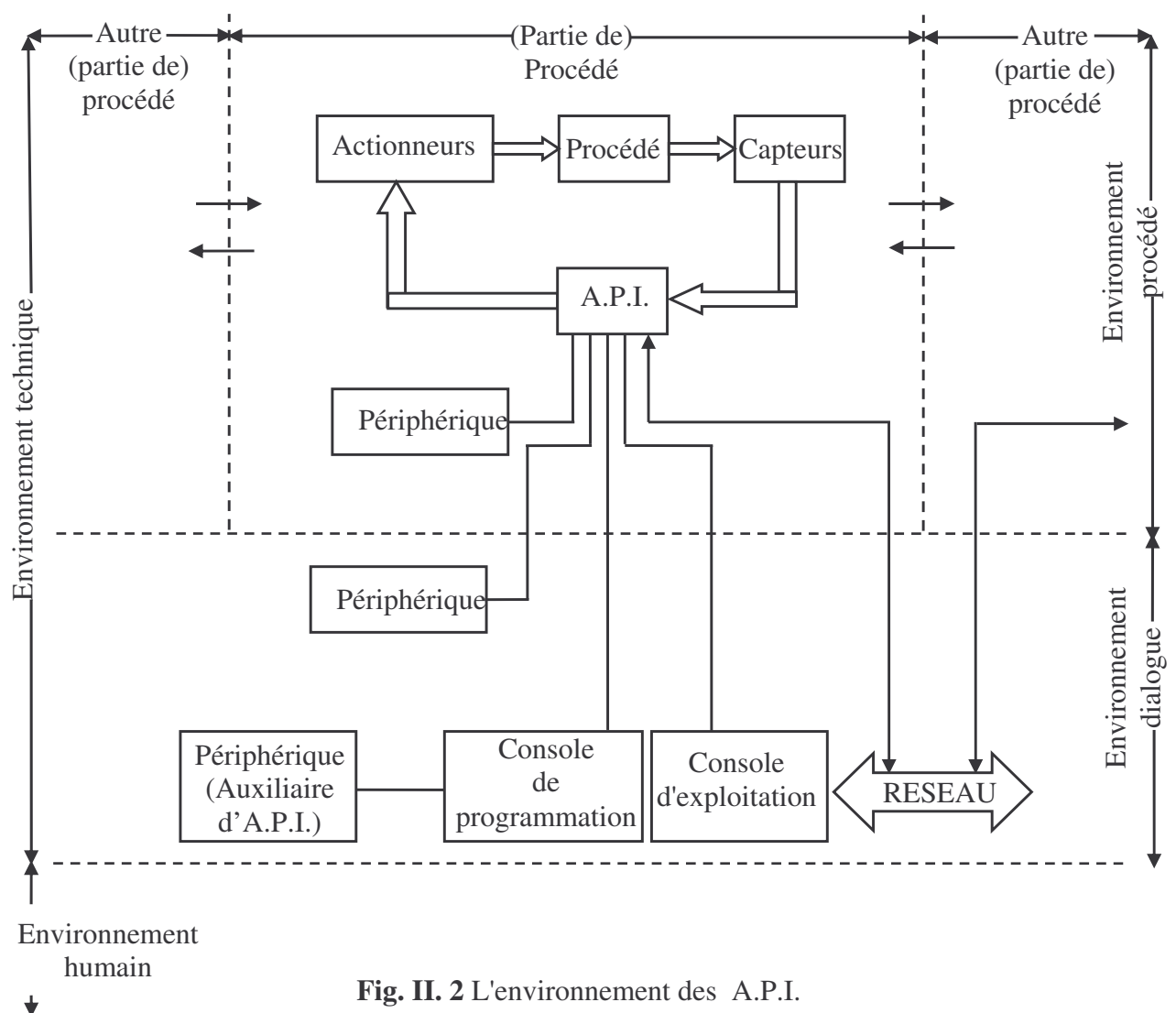


Fig. II. 2 L'environnement des A.P.I.

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.

La console de programmation a trois rôles principaux:

- 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. [6]

### **II.5.1 Terminaux de réglage, de programmation et d'exploitation**

- Le terminal de réglage (exemple le FTX 117 de Schneider) est un petit terminal qui permet cependant le chargement de programmes (il peut accueillir une carte mémoire d'ordinateur portable PCMCIA).

Le terminal de programmation (exemple le FTX 417 de Schneider) est un ordinateur portable industriel. Il existe aussi des ordinateurs industriels de type "bureau".

- Le terminal d'exploitation (exemple le CCX17 de Schneider) est un dispositif de type "écran clavier" qui va de l'afficheur alphanumérique de 2 lignes associé à quelques touches aux pupitres les plus complets. Ces dispositifs remplacent les postes de commande à voyants, commutateurs et boutons des décennies précédentes. [2]

### **II.5.2 Auxiliaires**

Les auxiliaires des automates programmables ont beaucoup évolué au cours de cette dernière décennie. Les mémoires de masse spécifiques (disques souples ou durs) ont été remplacés par les dispositifs standards des ordinateurs fixes ou portables. Les mémoires EPROMS, qui nécessitaient programmeur et effaceur, remplacées par des mémoires EEPROMS.

La plupart de ces auxiliaires sont, aujourd'hui, remplacé par des fonctions logicielles intégrées au logiciel de programmation. Cela concerne principalement la simulation, le diagnostic, la régulation et l'édition du dossier d'automatisme (exemple DOCPRO Siemens).

Exemple : Le module de simulation SM 374 de Siemens qui se monte dans le S7-300 à la place d'un module d'entrées ou de sorties TOR ; comporte 16 interrupteurs et 16 LED et offre la possibilité de tester le programme d'application lors de la mise en service et en cours de fonctionnement. La CPU lit les états forcés des signaux d'entrée du module de simulation et les traite dans le programme, Le résultat, c'est-à-dire les états des signaux de sortie, est transmis au module et signalé par des LED. Il est ainsi possible de tirer des conclusions sur l'exécution du

programme. Ce constructeur propose également un outil logiciel de simulation S7-PLCSIM très puissant.

Ces produits permettent d'effectuer tous les apprentissages liés aux automatismes et aux API en utilisant uniquement des produits industriels. [2]

## II.6 Les langages des A.P.I

Il s'agit de la syntaxe et de la sémantique des éléments logiciels mis en œuvre pour programmer les automates programmables. On distingue les langages littéraux et graphiques.

### II.6.1 Langage littéraux

#### II.6.1.1 Langage liste d'instruction IL

Le langage de programmation liste d'instructions est un langage textuel proche du langage machine dont les instructions exécutent des opérations simples. Plusieurs instructions peuvent être regroupées en réseaux. [2]

```

Réseau 1      : Commande marche arrêt d'un moteur de pompe
                AND(
OR              #Marche
OR              #Bobine
                )
ANDN           #Arrêt
=              #Bobine

Réseau 2      : Indication « Marche pompe »
AND           #Bobine
=            #Indic_Marche

Réseau 3      : Indiction « Arrêt pompe »
ANDN         #Bobine
=            #Indic_Arrêt
```

### II.6.1.2 Langage structuré S.T

Le langage de programmation ST (Structural text) est un langage textuel évolué. Il s'apparente au Pascal et au C. Par rapport à "IL", Il simplifie la programmation de boucles et de branchements conditionnels grâce à ses commandes évoluées ST s'avère donc approprié, entres autres, pour les calculs, les algorithmes complexes ou la gestion de données.

```
FUNCTION_BLOCK FB20
  VAR_INPUT
    ENDWERT: INT;
  END_VAR
  VAR_IN_OUT
    IQ1: REAL;
  END_VAR
  VAR_OUTPUT
    CONTROLL: BOOL;
  END_VAR
  VAR
    INDEX: INT;
  END_VAR

  BEGIN
    CONTROLL: =FALSE;
    FOR INDEX: = 1 TO ENDWERT DO
      IQ1: = IQ1*2;
      IF IQ1> 10000 THEN
        CONTROLL: = TRUE
      END_IF
    END FOR
  END_FUNCTION_BLOCK
```

Les éditeurs de texte tels que IL ou ST permettent de saisir les programmes dans des fichiers source ; certains constructeurs vous permettent d'utiliser votre traitement de texte habituel. Les programmes ainsi édités sont rangés en tant que sources.

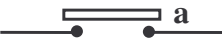









Les blocs ne sont générés et stockés dans le programme utilisateur que lors de la compilation du fichier source correspondant.

En général, on ne désire pas programmer avec des adresses absolues (adresses physiques de mémoires, d'entrées/sorties etc..), la plupart des constructeurs permet de travailler avec des mnémoniques figurant dans une table des mnémoniques qui est créée en début de session. Et a des paramètres et variables locales définies dans une table de déclaration des variables. [2]

## II.6.2 Langages graphiques

### II.6.2.1 Le langage de relais



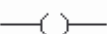
Les constituants des schémas à relais sont au nombre de cinq (**Tableau II.1**) : une variable et son complément, une ouverture et une fermeture de branche parallèle et un symbole d'affectation de résultat. [3]

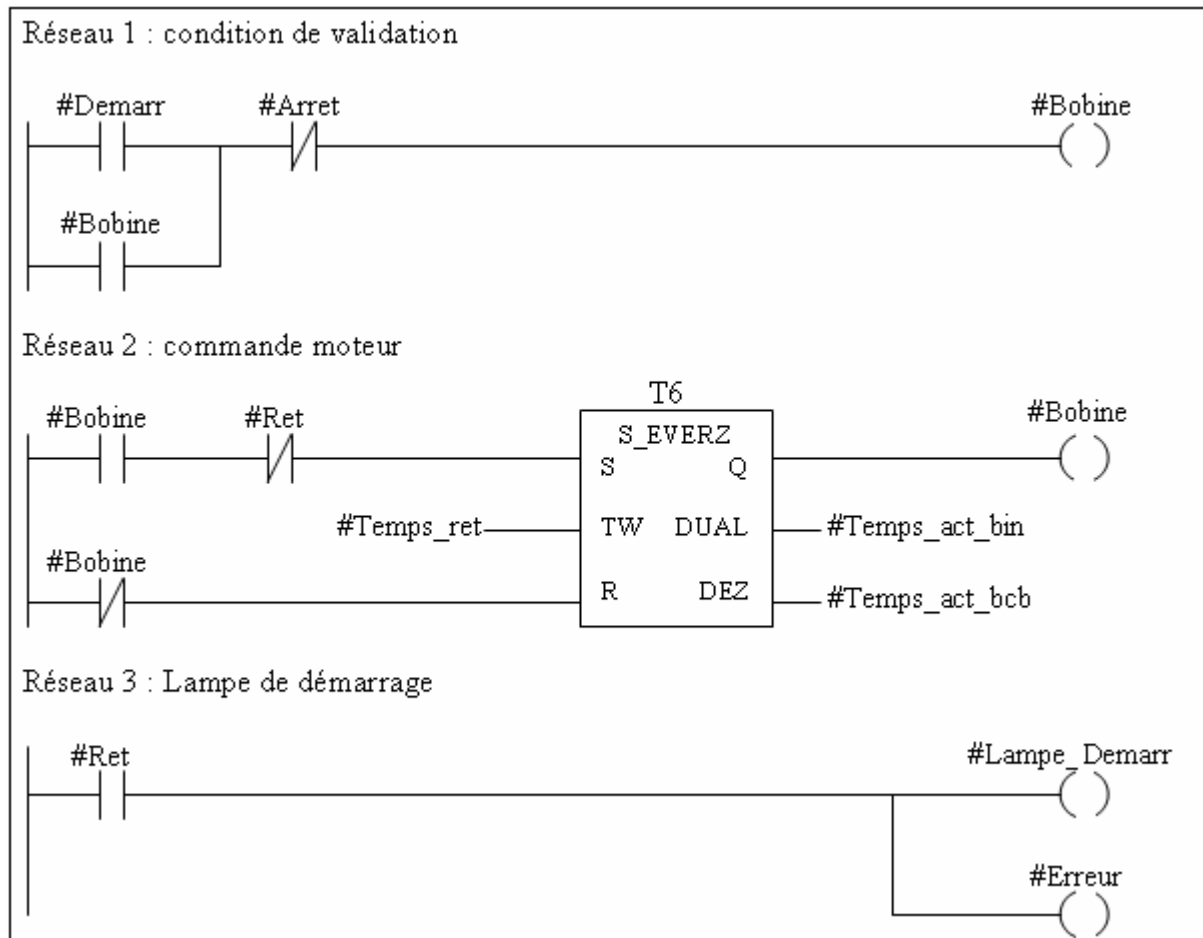
Type de constituants	Convention européenne	Convention américaine	Signification
Constituants logiques	 a	 a	Relais normalement ouvert
	 $\bar{a}$	 $\bar{a}$	Relais normalement fermé
			Ouverture de branche parallèle
			Fermeture de branche parallèle
Symbole d'affectation	 X ou Y	 X ou Y	Affectation du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

**Tableau II.1** Les constituants des schémas à relais

### II.6.2.2 Le langage à contacts (LADDER)

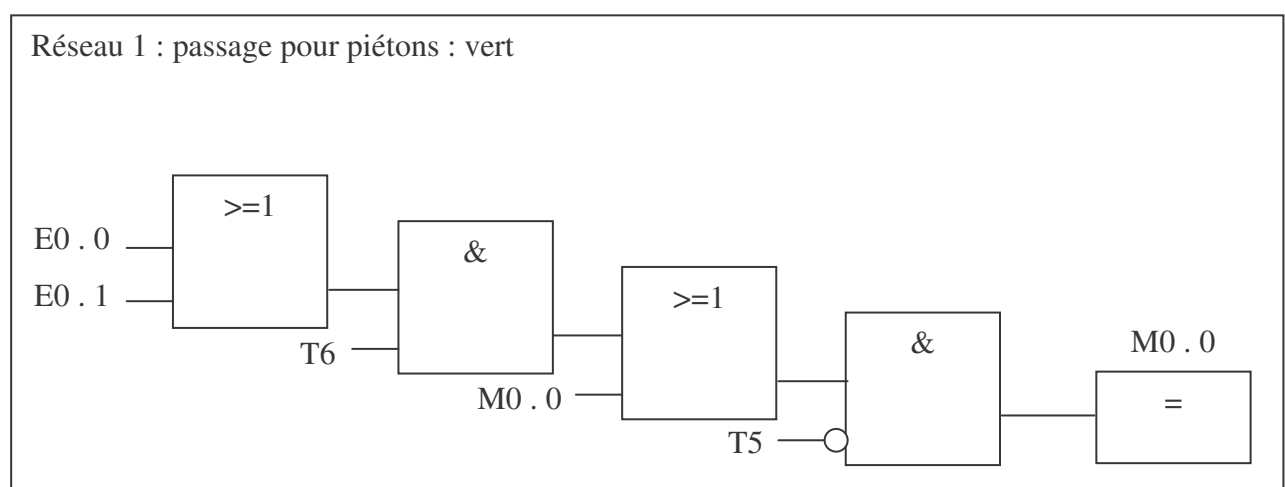
La représentation en schéma à contacts LD s'inspire des schémas des circuits électriques. Les éléments d'un schéma de circuit, tels que contacts à fermeture et contacts à ouverture, sont rassemblés dans des réseaux. Un ou plusieurs réseaux forment la section d'instructions complète d'un bloc de code. [2]

- Contact à ouverture : 
- Contact à fermeture : 
- Bobine : 



### II.6.2.3 Le langage à logigramme

Le langage à logigramme utilise les boites fonctionnelles graphiques de l’algèbre booléenne pour représenter des éléments logiques. (En langue allemande, Entrée = Eingang). [2]

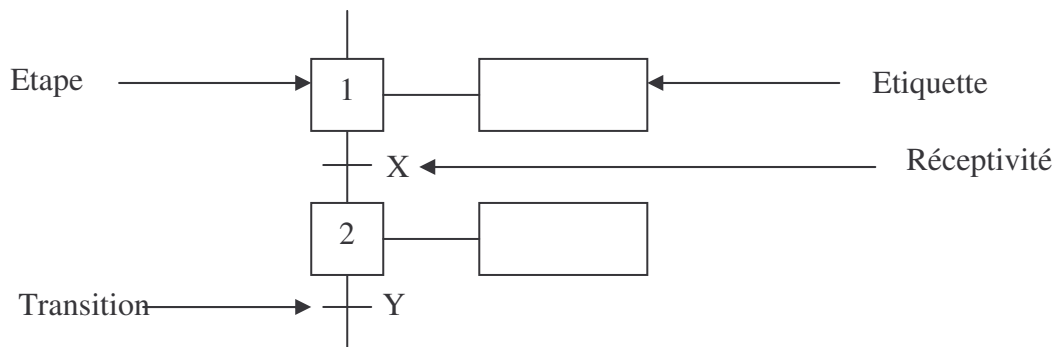


**II.6.2.4 Le GRAFCET**

**II.6.2.4.1 Définition**

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande des étapes et Transitions) est l'outil de représentation graphique d'un cahier des charges. Il a été proposé par l'ADEPA (en 1977 et normalisé en 1982 par la NF C03-190).

Le GRAFCET est une représentation alternée d'étapes et de transitions. Une seule transition doit séparer deux étapes (Fig. II.3).



**Fig. II.3** : Les composants d'un GRAFCET

Une étape correspond à une situation dans laquelle les variables de sorties conservent leur état. Les actions associées aux étapes sont inscrites dans les étiquettes.

Une transition indique la possibilité d'évolution entre deux étapes successives. A chaque transition est associée une condition logique appelée réceptivité. [8]

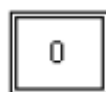
**II.6.2.4.2 Règles d'évolution**

Il est plus que nécessaire de fixer un ensemble de règles d'évolution pour un GRAFCET.

**a) Règle 1**

L'initialisation précise les étapes actives au début du fonctionnement. Elle est activée inconditionnellement est repérées sur le GRAFCET en doublant les côtés des symboles correspondants.

La figure (II.4) représente la règle 1.



**Fig. II.4** Etape initiale active

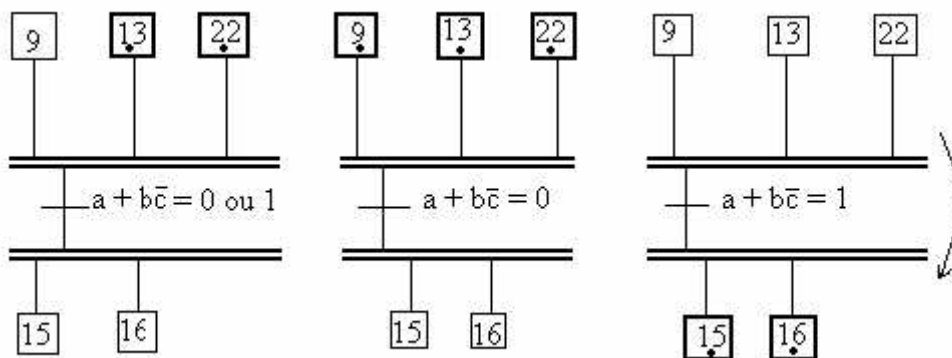
**b) Règle 2**

Une transition est soit ou non validée. Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont activées et ne peut être franchie que si :

- Elle est validée.
- Et que la réceptivité associée à la transition est vraie.
- La transition est obligatoirement franchie.

**c) Règle 3**

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et désactivation de toutes étapes immédiatement précédentes. Cette évolution du GRAFCET est donc synchrone lorsque le franchissement de la transition entraîne l'activation des étapes suivantes et que c'est la vérification de cette activation qui autorise la désactivation des étapes précédentes. La figure II.5 explique cette règle.



**Fig. II.5** Le franchissement d'une transition

**d) Règle 4**

Il est possible d'ouvrir plusieurs transitions simultanément franchies.

**e) Règle 5**

Si au cours du fonctionnement, une même étape doit être désactivée simultanément, elle reste activée. L'activation doit être prioritaire sur le niveau d'une même étape. [8]

## II.7 Choix d'un API par rapport à d'autres solutions

Quelles sont les autres solutions ? Principalement :

- les relais électromagnétiques ;
- les systèmes à cartes électroniques ;
- les systèmes numériques de contrôle/commande SNCC ;
- le microcalculateur (PC).

Si, au vu des critères précédents, plusieurs solutions répondent au cahier des charges, les facteurs décisionnels vont provenir de la situation de l'entreprise en matériel, en personnel, en expérience.

- Les solutions câblées à relais ne sont envisageables que pour de petites applications (une dizaine d'E/S TOR) unitaires ou en petite série, avec de faibles besoins de communication. La même situation prévaut pour les parties commande à cellules pneumatiques.

L'apparition de « nano automates » a en effet encore rétréci le marché de ces solutions. Si elles sont envisageables, c'est la capacité de l'entreprise à mettre en œuvre, et à maintenir, de telles solutions qui les rendra éventuellement concurrentielles et fera décider leur emploi.

- Dans le cas d'appareillages produits à quelques dizaines d'exemplaires, le choix entre système à cartes et automate(s) dépendra d'un rapport implicite entre le potentiel de ventes en l'état et l'évolution possible du système lui-même. La rentabilité d'un système à cartes croît avec le nombre d'exemplaires, mais il s'agit d'une solution figée, contrairement à l'API. La même remarque s'applique, malgré leur nom, aux circuits logiques programmables. Ces solutions présentent par contre, pour des applications exigeantes en temps de réaction, une vitesse de traitement élevée.

- Pour les systèmes hybrides, mélangeant sans qu'une composante puisse être négligée variables TOR et analogiques, le choix entre SNCC et automates dépend surtout de la culture initiale des utilisateurs, orientée régulation ou systèmes discrets. La présence de nombreux modes de fonctionnement favorise les API, l'importance accordée à l'algorithmique de régulation ou à la supervision donne plutôt l'avantage aux SNCC dont l'expérience dans ces domaines est plus ancienne et éprouvée. Dans certains secteurs où les deux technologies sont en concurrence, l'association d'une d'entre elles à des ateliers logiciels « métier » dépassant le cadre du génie automatique pourra faire pencher la balance : ainsi dans le traitement par lots (procédés batch) en chimie, des API Siemens se sont intégrés à des ensembles gérés par l'atelier spécifique APT.

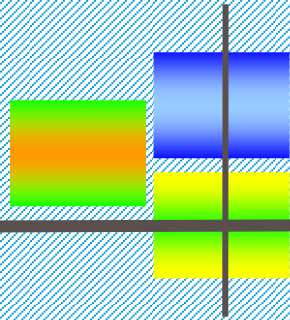
- Avec le **PC**, la concurrence est peut-être plus apparente que réelle. Le PC, outil informatique n° 1, s'est tellement répandu dans tous les domaines de la vie professionnelle, voire privée, que la tentation de le voir devenir aussi le composant de base de l'automatisation ne pouvait qu'apparaître. La même tentation, lorsque l'API est devenu un produit industriel courant, avait conduit certains de ses promoteurs à lui conférer toutes les possibilités : régulateur, superviseur, organe de conception assistée par ordinateur, calculateur universel. [6]

## **II.8 Conclusion**

L'automate est un bon produit, facile à programmer, à connecter, adapté aux conditions industrielles. L'expansion considérable de ses possibilités, et celle corrélative de son marché, le prouvent. Il ne faut pas vouloir en faire une solution miracle. Dans tous les cas :

- une bonne analyse du problème à résoudre ;
- le respect des règles d'installation ;
- un léger surdimensionnement pour préserver des marges de modification, sont les conditions d'une implantation réussie, dont la durée de vie dépassera largement celles habituelles dans le monde informatique, dont l'API est pour partie issu.

Dans le chapitre suivant on donne les différents modes de démarrage des moteurs asynchrones triphasés et leurs principes de fonctionnement.



# ***Chapitre III***

---

## ***Démarrage des moteurs asynchrones triphasés***

### **III.1 Introduction**

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, et les moteurs asynchrones à bagues sont utilisés pour certaines applications de forte puissance dans l'industrie.

Dans ce chapitre nous allons exposer des généralités sur les moteurs asynchrones et les différents modes de démarrage des moteurs asynchrones triphasés à cage et à rotor bobiné.

### **III.2 Généralité sur les moteurs asynchrones**

#### **III.2.1 Historique sur les machines asynchrones**

Historiquement le dix-neuvième siècle fût l'époque des grandes découvertes en électrotechnique dont les bases fondamentales ont été établies (1820--1830) par des hommes de sciences 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 fameux ouvrage ;"Treatise on Electricity 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 à 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). [9]

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

### III.2.2 Constitution des machines asynchrones

Les moteurs asynchrones, appelés moteurs à induction, sont pratiquement tous des moteurs triphasés. Ils sont basés sur l'entraînement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant. [10]

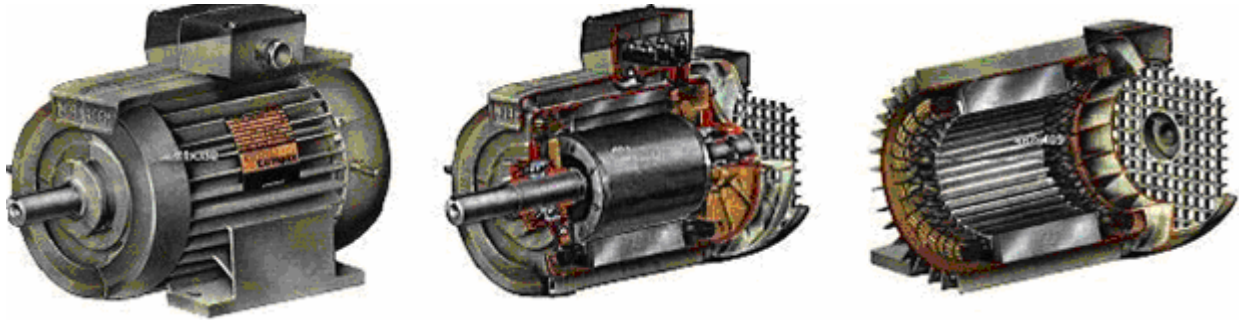


Fig. III.1 machine asynchrone

Les moteurs asynchrones triphasés 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 donnée ' $f$ ' dépend de la charge et dans la quelle : [12]

$$f \neq P N \quad (III-1)$$

Ou

**P** : nombre des paires des pôles.

Les moteurs asynchrones comportant deux armatures coaxiales à champ tournant, l'une est fixe (c'est le stator) et l'autre mobile (c'est le rotor). [10]

#### III.2.2.1 Le stator

Il est appelé inducteur ou primaire, il est fixé au bâti et formé 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 circulaires à leur périphérie interne, ces tôles comportent un certain nombre d'encoches régulièrement réparties qui, par suite de l'empilage créent des rainures, où sont logés des faisceaux du bobinage.

La figure (III.2) 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]

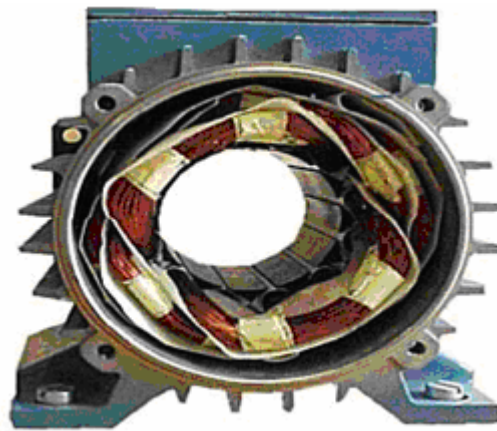
Les courants alternatifs dans le stator créent un champ magnétique  $B$  1 tournant à la pulsation de synchronisme : [15]

$$\Omega_s = \frac{\omega}{P} \quad (\text{III-2})$$

$\Omega_s$  : vitesse synchrone de rotation du champ tournant en  $\text{rad.s}^{-1}$ .

$\omega$  : pulsation des courants alternatifs en  $\text{rad.s}^{-1}$ .  $\omega = 2.p.f$

$P$  : nombre des paires des pôles



**Fig. III.2** stator d'une machine asynchrone

### III.2.2.2 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. [10]

#### III.2.2.2.1 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, cette rhéostat qui est mise en marche normale et permet d'assurer des meilleures conditions de démarrage.

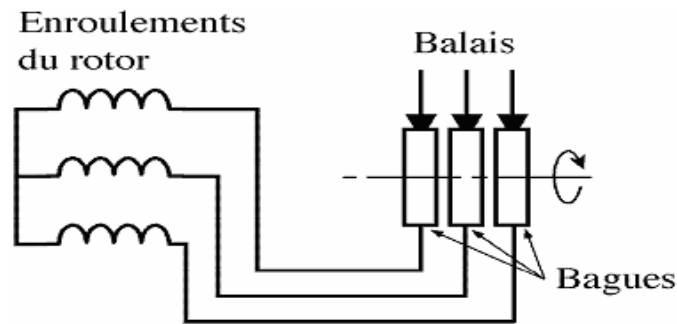


Fig. III.3 principe d'un rotor bobiné

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. [10]

#### III.2.2.2 Rotor à cage

L'enroulement est remplacé par des barres de cuivre ou d'aluminium logées dans des encoches, et réuni à leurs extrémités par deux couronnes de cuivre ou d'aluminium. Ces cages comportent 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 est très robuste, et sa construction est particulièrement économique.

La cage étant généralement réalisée avec l'aluminium que l'on coule dans les encoches préparées à 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. Leur étude théorique est identique à 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 à 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.

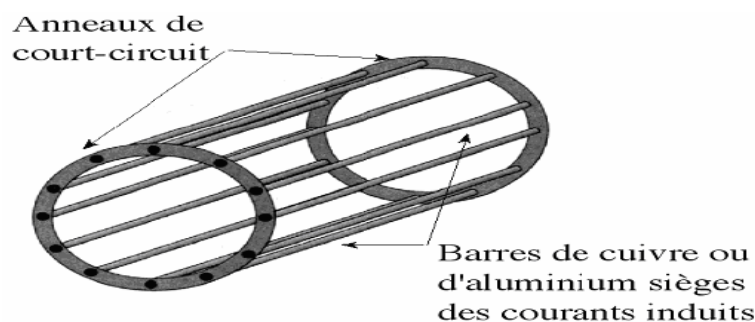


Fig. III.4 principe d'une cage d'écurie

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. [10]

### III.2.2.3 Entrefer

L'entrefer est l'espace entre le stator et le rotor. [16]

### III.2.3 Symboles

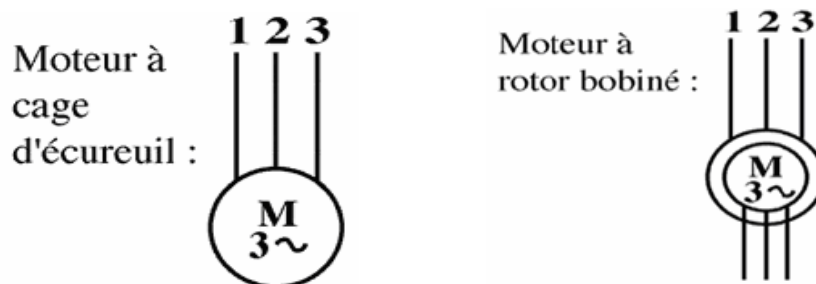


Fig. III.5 symboles d'une machine asynchrone

### III.2.4 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.

#### III.2.4.1 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. [10]

### III.2.4.2 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 léonard formé un moteur shunt alimenté par un convertisseur de tension. [10]

## III.3 Démarrage des moteurs à cage

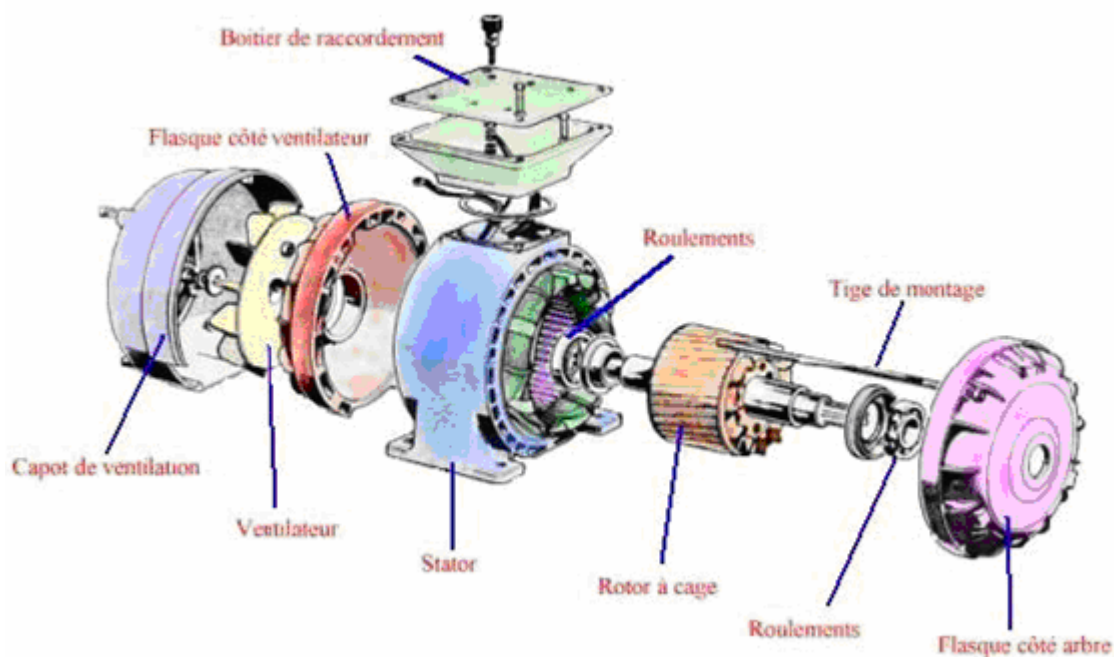


Fig. III.6 moteur asynchrone à cage

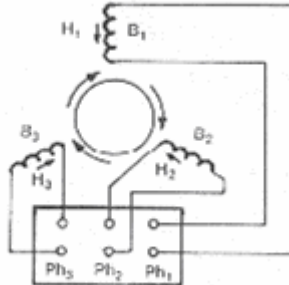
### III.3.1 Constitution

Le stator est constitué d'une carcasse sur laquelle est fixée une couronne de tôle d'acier de qualité spéciale, munie d'encoches. Des bobinages de section appropriés sont répartis dans ces dernières et forment un ensemble d'enroulements qui comporte trois circuits (trois phases).

Le rotor est constitué d'un empilage de tôles d'acier formant un cylindre claveté sur l'arbre moteur. Dans des tours ou dans des encoches disposées vers l'extérieur du cylindre et parallèlement à son axe, sont placés des conducteurs. A chaque extrémité, ceux-ci sont raccordés sur une couronne métallique. L'ensemble a l'aspect d'une cage d'écureuil, d'où le nom de ce type de rotor. Sur certains moteurs, la cage d'écureuil est entièrement moulée (alliage d'aluminium injecté sous pression). [13]

### III.3.2 Fonctionnement

Les trois champs magnétiques alternatifs produits par les trois bobines se composent pour former un champ tournant.



**Fig. III.7** fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage

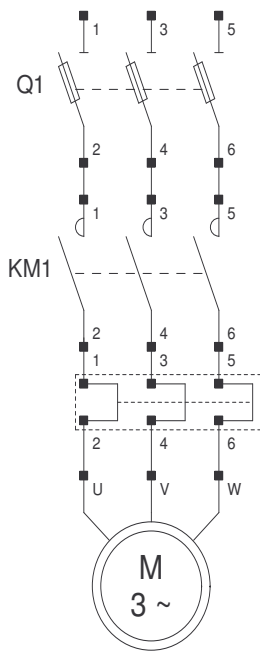
Les barres métalliques constituant la cage d'écureuil sont coupées par le champ tournant produit par le stator, ce qui donne naissance à des courants induits intenses dans ces barres (loi de Lenz). Ces courants réagissent sur le champ tournant en donnant naissance à un couple moteur qui provoque la rotation de la cage. Si la cage tournait à la même vitesse que le champ (vitesse de synchronisme), il n'y aurait plus des courants induits et le couple exercé serait nul. C'est parce que la vitesse de rotor est inférieure à celle du champ tournant que ce type de moteur est dit asynchrone. [13]

### III.3.3 Les modes de démarrage des moteurs à cage

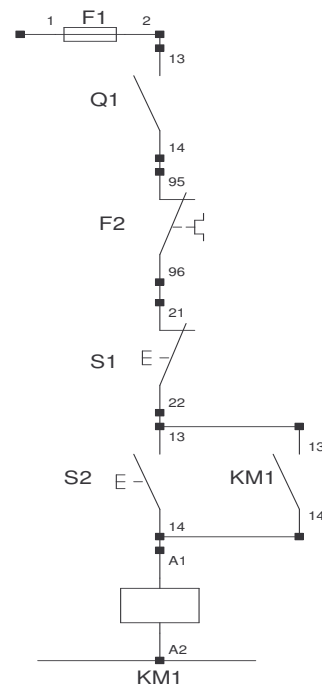
#### III.3.3.1 Démarrage direct

C'est un procédé de démarrage simple obtenu en un seul temps, le stator du moteur est couplé directement sur le réseau, le moteur démarre sur des caractéristiques naturelles avec une forte pointe.

**Circuit puissance**



**Circuit de commande**



**Fig. III.8** circuit de puissance et de commande d'un démarrage direct

**Principe de fonctionnement**

**Circuit de puissance**

- Fermeture manuelle de Q1
- Fermeture de KM1, mise sous tension de moteur

**Circuit de commande**

- impulsion sur S2.
- Fermeture de KM1.
- Auto maintien de KM1 (13-14).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.
- Par fusion des fusibles.

**Protection**

- par fusible contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

**Emploi**

- petites machines pouvant démarrer à pleine charge.

**Avantages**

- démarreur simple.
- Economique.
- Couple de démarrage important.

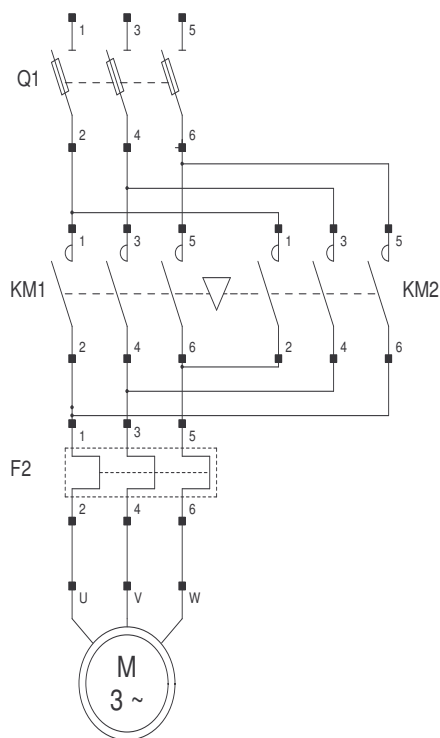
**Inconvénients**

- pointe de courant très importante.
- Le réseau doit pouvoir admettre cette pointe.
- Démarrage brutal. [12]

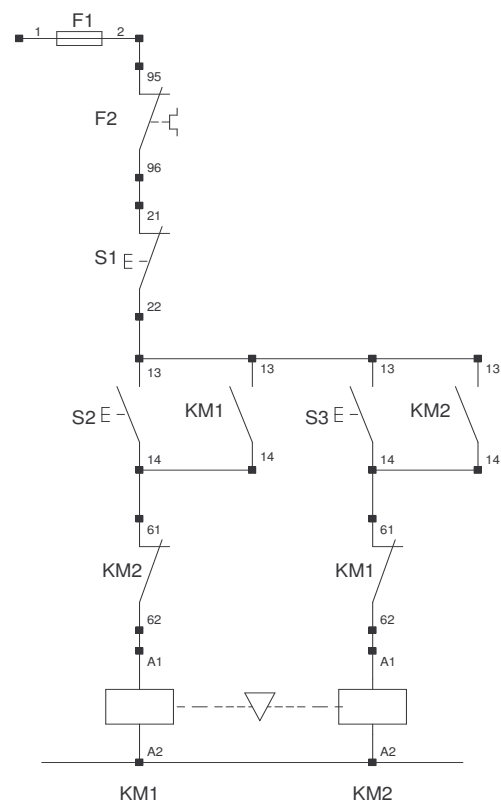
**III.3.3.2 Démarreur inverseur direct**

Pour inverser le sens de rotation d'un moteur il faut permuter deux phases de son alimentation. [13]

**Circuit de puissance**



**circuit de commande**



**Fig. III.9** circuit de puissance et de commande d'un démarrage inverseur direct

**Principe de fonctionnement**

**Circuit de puissance**

**- Marche avant**

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1 mise sous tension du moteur dans le 1<sup>er</sup> sens de marche.

**-Marche arrière**

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM2 mise sous tension du moteur dans le 2<sup>ème</sup> sens de marche.

**Circuit de commande**

- Impulsion sur S2 (marche avant).
- Fermeture de KM1.
- Auto maintien par KM1 (13-14).
- Arrêt par impulsion sur S1 ou par déclenchement de relais thermique F2.
- Impulsion sur S3 (marche arrière).
- Fermeture de KM2.
- Auto maintien par KM2 (13-14).
- verrouillage mécanique entre KM1 et KM2 matérialisé par  $\nabla$ .
- verrouillage électrique par KM1 (61-62) et KM2 (61-62).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.
- Par fusion des fusibles.

**Protection**

- Par fusibles contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

**Emploi**

- machine outils.
- Palans. [12]

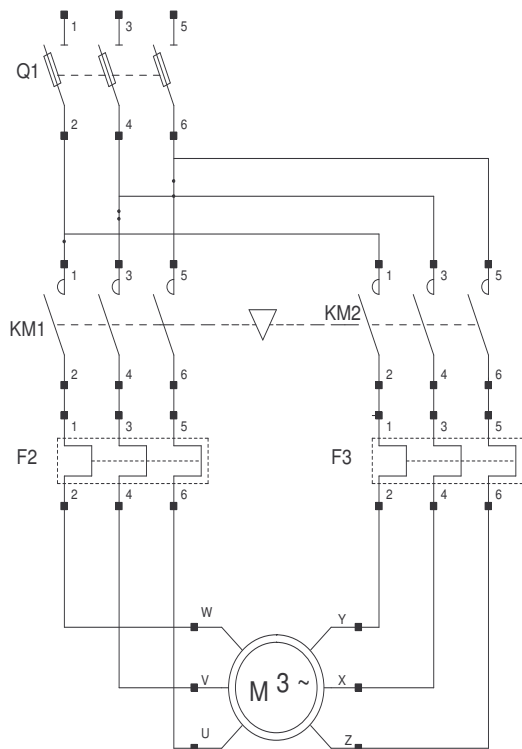
**III.3.3.3 Démarrage des moteurs à enroulements partagés «part-winding»**

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. Lors du couplage du premier enroulement sur le réseau d'alimentation le « demi moteur » démarre en direct sous la pleine tension de réseau, ce qui divise le courant de démarrage et le couple par deux. Ce dernier est néanmoins supérieur au couple que fournirait un moteur à cage de même puissance démarrant en étoile triangle.

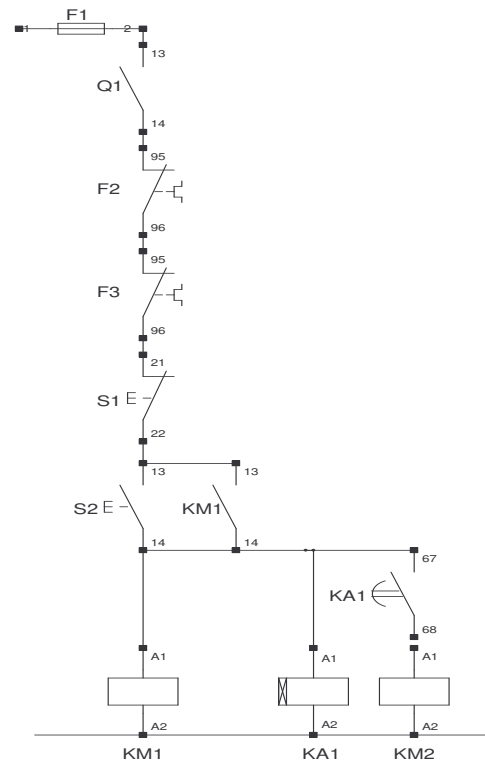
En fin de démarrage, un appareillage identique couple le second enroulement sur le réseau.

A ce moment, la pointe du 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. [10]

**Circuit de puissance**



**Circuit de commande**



**Fig. III.10** circuit de puissance et de commande d'un démarrage part-winding

**Principe de fonctionnement**

**Circuit de puissance**

- Fermeture de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de KM2.

**Circuit de commande**

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1 et KA2.
- Fermeture du contact KM1 (13-14) auto alimentation.
- Fermeture du contact temporisé KA1 (13-14).
- Excitation de KM2.

**Arrêt :**

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2 ou F3.
- Par fusion des fusibles.

**Protection**

- Par fusibles contre les courts-circuits.
- Par relais thermique contre les surcharges faibles et prolongées.

**Avantages**

- Pointe d'intensité faible et de courte durée.
- Au moment du 2<sup>ème</sup> couplage le moteur n'est pas séparé du réseau.
- Faible glissement. [12]

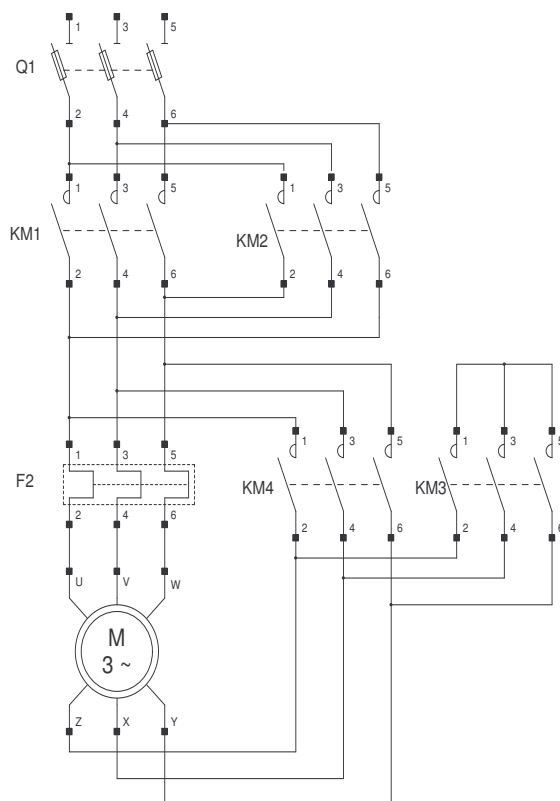
**III.3.3.4 Démarrage étoile –triangle**

Ce mode de démarrage n'est utilisable si les deux extrémités de chaque enroulement sont accessibles. De plus, il faut que le moteur soit compatible avec un couplage final triangle.

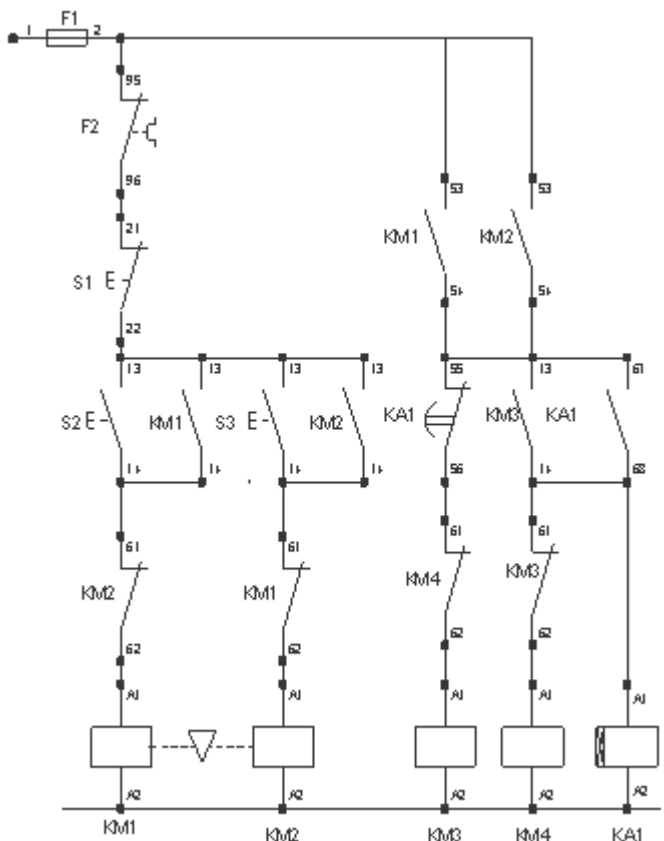
Lors du couplage étoile, chaque enroulement est alimenté sous une tension  $\sqrt{3}$  fois plus faible, de ce fait, le courant et le couple sont divisés par 3. Lorsque les caractéristiques courant ou couple sont admissibles, on passe au couplage triangle.

Le passage du couplage étoile au couplage triangle n'étant pas instantané, le courant est coupé pendant 30 à 50 ms environ. Cette coupure du courant provoque une démagnétisation du circuit magnétique. Lors de la fermeture du contacteur triangle, une pointe de courant réapparaît brève mais importante (magnétisation de moteur).

**Circuit de puissance**



**Circuit de commande**



**Fig. III.11** circuit de puissance et de commande d'un démarrage étoile triangle

## Principe de fonctionnement

### Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM3 : couplage étoile.
- Fermeture de KM1 ou KM2 : alimentation de moteur.
- Ouverture de KM3 : élimination de couplage étoile.
- Fermeture de KM4 : couplage triangle.

### Circuit de commande

- Impulsion sur S2 ou S3.
- Fermeture de KM1 ou KM2 dans le circuit de puissance.
- Auto-alimentation de KM1 ou KM2 (13-14).
- Excitation de KM3 par KM1 ou KM2 (53-54).
- Excitation de KA1 par KM3 (13-14).
- Auto-alimentation de KA1.
- Ouverture de KA1 (55-56).
- Verrouillage électrique de KM3 (61-62).
- Excitation de KM4 par KM3 (61-62).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.
- Par fusion des fusibles.

### Protection

- Par fusibles contre les courts-circuits incorporés au sectionneur.
- Par relais thermique **F2** contre les surcharges faibles et prolongées.
- Fusible **F1** pour le circuit de commande.

### Avantages

- Bon rapport couple /courant. - Réduction importante de courant de démarrage

### Inconvénients

- Couple au démarrage faible réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Pas de possibilité de réglage de la vitesse.
- Coupure d'alimentation au changement de couplage, apparition de phénomènes transitoires.
- puissance limitée. [12]

### III.3.3.5 Démarrage statorique à résistances

L'alimentation sous tension réduite du moteur le premier temps est obtenue par la mise en série avec chaque phase au stator d'une résistance qui est ensuite court-circuitée généralement en un seul temps.

Les couplages électriques des enroulements vis à vis ou réseau n'étant pas modifiés au cours de démarrage, le courant de démarrage parcourant la ligne d'alimentation n'est réduit que proportionnellement à la tension appliquée au moteur, tandis que le couple se trouve réduit.

Le couple initial de démarrage est relativement faible (valeur typique **0.75 Cn**) pour une pointe de courant encore importante (valeur typique : **4.5 In**)

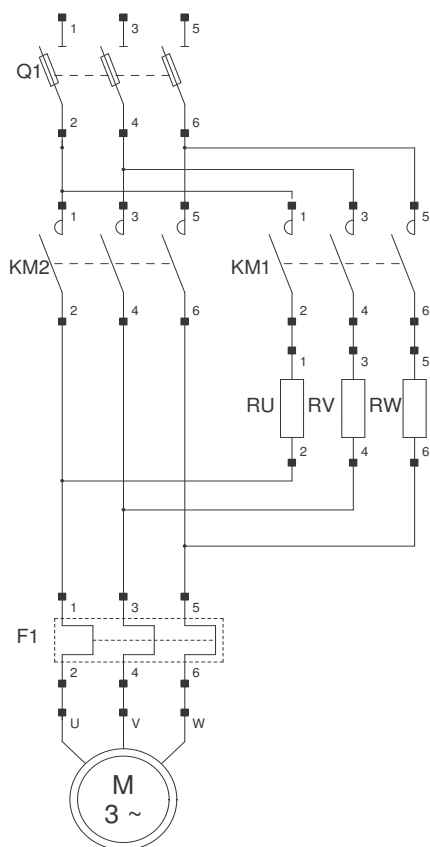
La tension appliquée aux bornes du moteur ne reste pas constante pendant la période d'accélération. Le courant, maximum lorsque le moteur est mis sous tension, diminue au fur et à mesure que le moteur accélère : la chute de tension aux bornes des résistances diminue et la tension aux bornes du moteur augmente progressivement.

La mise en vitesse est progressive et sans à-coups il est possible d'ailleurs de modifier les valeurs de courant et de couple de démarrage en adaptant la résistance.

Le démarrage statorique à résistances convient donc bien pour démarrer des machines à couple résistant croissant ou voisin de la moitié du couple nominal, y compris les machines puissantes et de forte inertie. [10]

### III.3.3.5.1 Démarreur statorique (un sens de marche)

#### Circuit de puissance



#### Circuit de commande

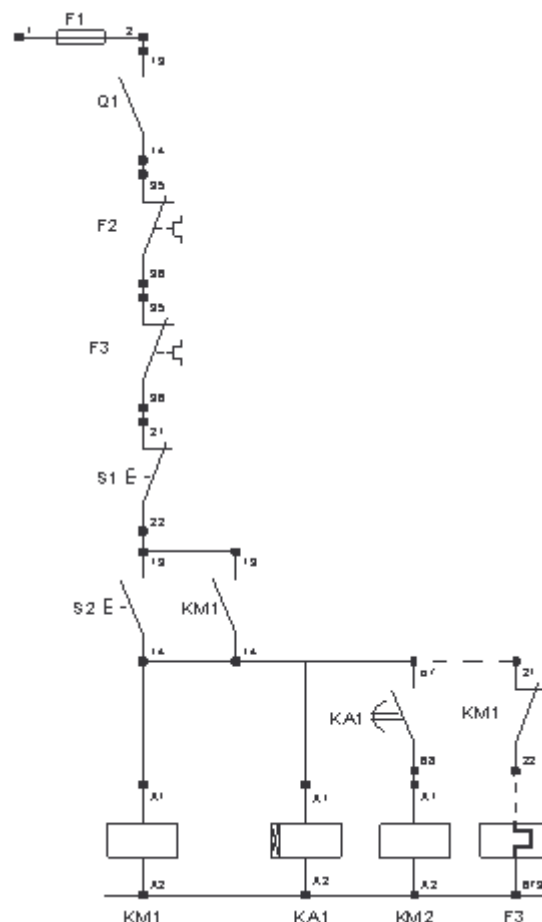


Fig. III.12 circuit de puissance et de commande d'un démarrage statorique à résistance

## Principe de fonctionnement

### Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 (mise sous tension de moteur et insertion des résistances).
- Fermeture de KM2 (court-circuitage des résistances, couplage direct du moteur)

### Circuit de commande

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1 et excitation de KA1.
- Auto alimentation de KM1 (13-14) et alimentation de F3.
- Excitation de KM2 par KA1 (67-68).
- Elimination de F3 par KM1 (21-22).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2 ou F3.
- Par fusion des fusibles.

### Protection

- Par fusibles F1 contre les courts-circuits.
- Par relais thermique F2 contre les surcharges faibles et prolongées.
- F3 contre les démarrages fréquents et incomplets.

### Avantages et inconvénients

La tension appliquée aux bornes du moteur varie pendant le démarrage, le courant est maximum et diminue au fur et à mesure que le moteur accélère. Le couple est proportionnel au carré de la tension

$$C=KU^2 \quad (\text{III-3})$$

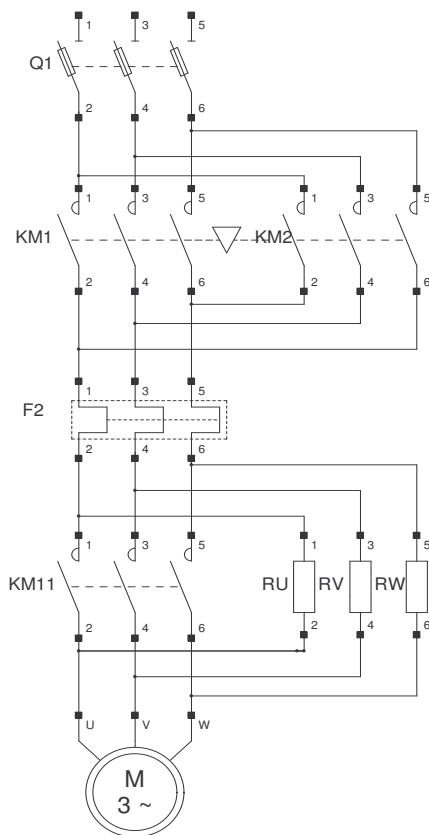
### Emploi

Il convient aux machines dont le couple de démarrage est plus faible que le couple normal de fonctionnement, le cas des machines à bois, machines outils, ventilateur, turbine et levage.

[12]

III.3.3.5.2 Démarreur inverseur statorique

Circuit de puissance



Circuit de commande

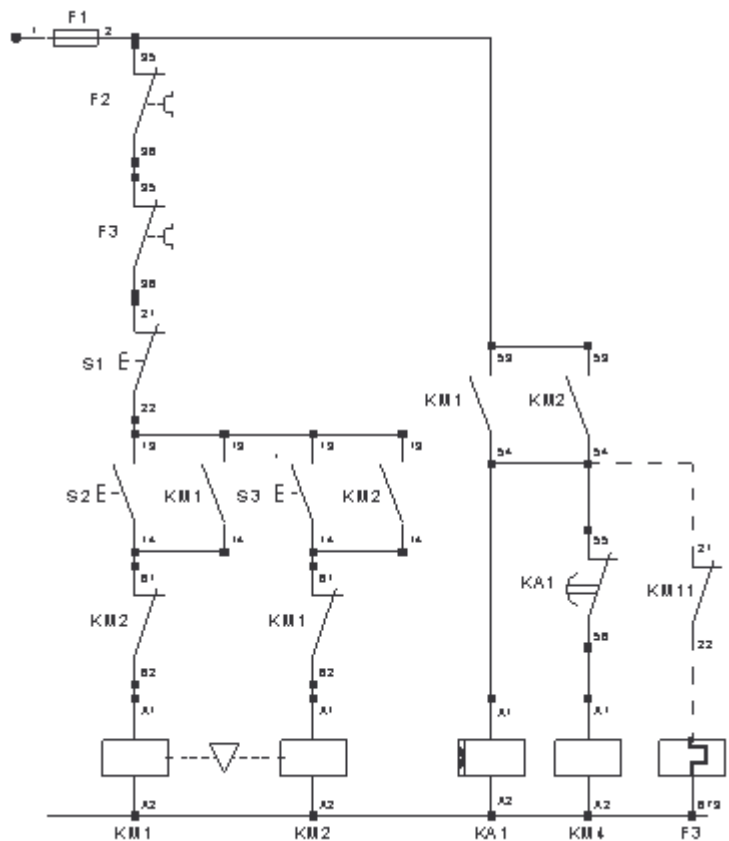


Fig. III.13 circuit de puissance et de commande d'un démarrage statorique 2 sens de marche

Principe de fonctionnement

Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 ou KM2 (mise sous tension de moteur et insertion des résistances).
- Fermeture de KM11 (court-circuitage des résistances, couplage direct du moteur).

Circuit de commande

- Impulsion sur S2 ou S3
- Excitation de KM1 ou de KM2.
- Verrouillage de KM2 ou KM1 (61-62).
- Auto-alimentation de KM1 ou KM2 (13-14).
- Excitation de KA1 par KM1 ou KM2 (53-54) et alimentation de relais temporisateur thermique F3.
- Excitation de KM11 par KA1 (67-68).
- Elimination de F3 par KM11 (21-22).

Arrêt :

- Impulsion sur S1.
- Par fusion fusible F1.
- Par déclenchement de relais thermique F2 ou F3.

### Protection

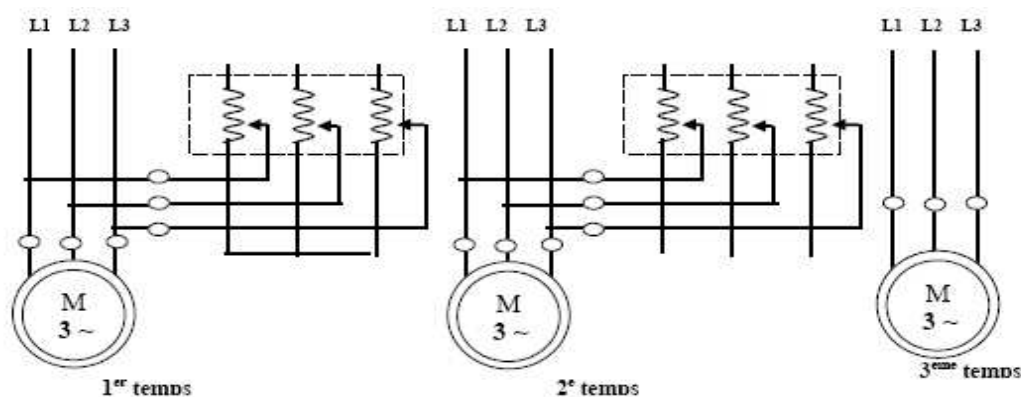
- Par fusibles **F1** contre les courts-circuits.
- F3 contre les démarrages fréquents et incomplets.
- Par relais thermique **F2** contre les surcharges faibles et prolongées. [12]

### III.3.3.6 Démarrage par auto- transformateur

Le moteur est alimenté sous tension réduite par l'intermédiaire d'un autotransformateur, lequel est mis hors circuit lorsque le démarrage est terminé.

Le démarrage s'effectue en trois temps :

- étioilage de l'auto- transformateur, puis fermeture du contacteur de ligne, le moteur démarre sous tension réduite.
- ouverture du point neutre, une fraction d'enroulement de l'autotransformateur, insérée en série avec chaque phase du stator, se comporte comme une inductance.
- un troisième contacteur couple le moteur sous la pleine tension du réseau et provoque l'ouverture des deux premiers contacteurs de démarrage. [11]



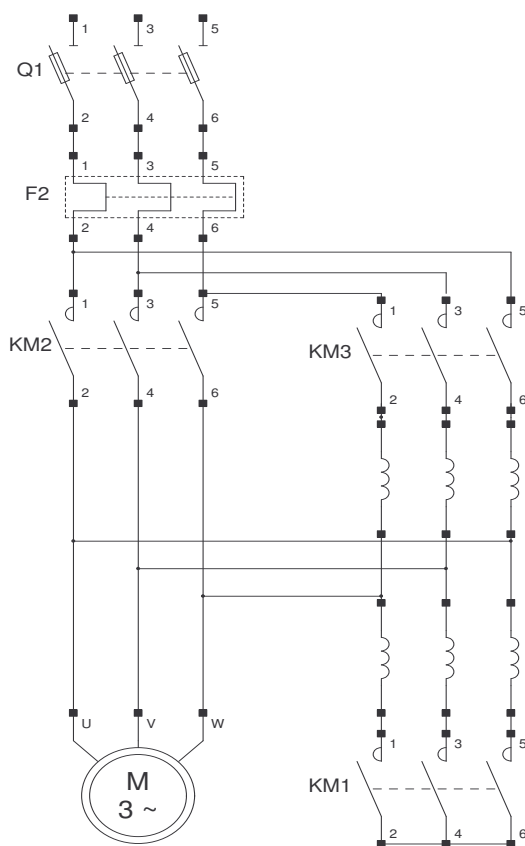
Avec ce dispositif, le moteur n'est jamais séparé du réseau d'alimentation : le courant n'est plus interrompu et les phénomènes transitoires sont supprimés, toutefois, afin d'éviter un ralentissement trop important lors du deuxième temps de démarrage, l'inductance des enroulements de l'autotransformateur doit être faible et adaptée au moteur.

Pour obtenir la valeur convenable d'inductance, il est pratiquement nécessaire de prévoir un autotransformateur dont le circuit magnétique comporte un entrefer, Le deuxième temps, principalement destiné à amortir les transitions électrique, est généralement choisi de durée très brève (une fraction de seconde).

Au cours du premier temps, le couple est réduit proportionnellement au carré de la tension et le courant en ligne dans un rapport très voisin, légèrement plus élevé du fait du courant magnétisant de l'autotransformateur. (Le courant à l'intérieure de chaque enroulement c'est-à-dire au secondaire de l'auto transformateur, est réduit seulement dans le rapport de la tension mais là encore il n'a pas à être pris en considération du point de vue de l'utilisation).

Ce mode de démarrage est surtout utilisé pour les moteurs de grande puissance. Par rapport au démarrage statorique il permet d'obtenir un couple plus élevé avec une pointe de courant plus faible. En outre plusieurs prises étant prévues sur l'auto-transformateur, il est possible d'ajuster la tension de démarrage en fonction de la machine entraînée. [11]

**Circuit de puissance**



**Circuit de commande**

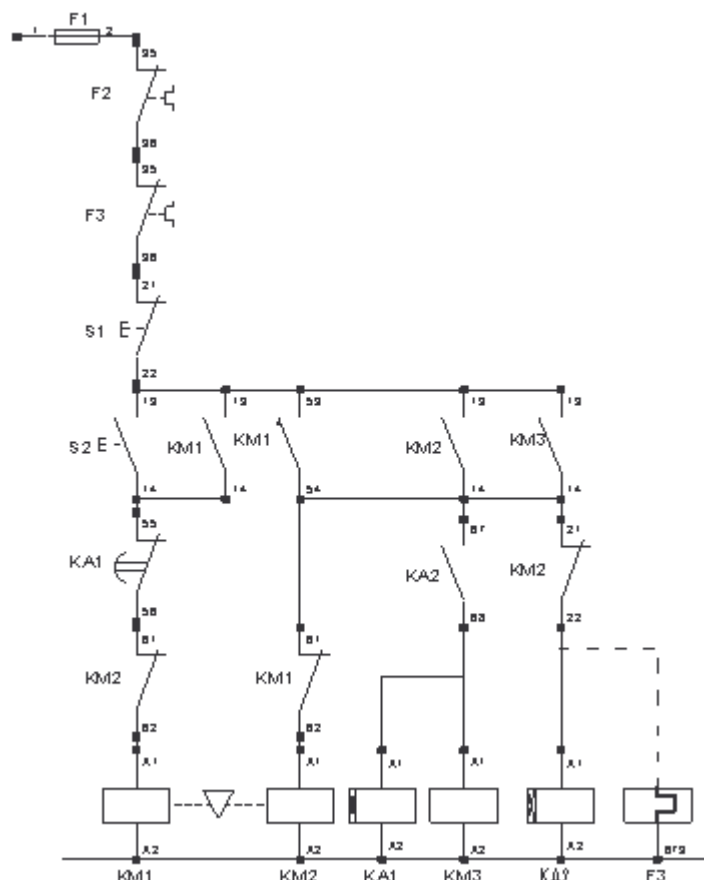


Fig. III.14 circuit de puissance et de commande d'un démarrage auto-transformateur

**Principe de fonctionnement**

**Circuit de puissance**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 (couplage étoile de l'autotransformateur).
- Fermeture de KM3 (alimentation de l'autotransformateur).
- Ouverture de KM1 (élimination de couplage étoile de l'autotransformateur).
- Fermeture de KM2 (alimentation direct).
- Ouverture de KM3 (élimination de l'autotransformateur).

### Circuit de commande

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Auto-alimentation de KM1 (13-14).
- Verrouillage de KM2 par KM1 (61-62).
- Excitation de KA2 par KM1 (53-54) et alimentation de F3.
- Excitation de KM3 et KA1 par KA2 (67-68).
- Auto-alimentation de KM3 (13-14).
- Ouverture de KM1 par KA1 (55-56).
- Excitation de KM2 par KM1 (61-62).
- Ouverture de KA2 et élimination de F3 par KM2 (21-22).
- Auto-alimentation de KM2 (13-14).
- Ouverture de KM3 et KA1 par KA2 (67-68).
- verrouillage de KM1 par KM2 (61-62).

### Avantages

- Bonne rapport couple / courant.
- Possibilité de réglage des valeurs au démarrage.
- Pas de coupure d'alimentation pendant le démarrage.

### Inconvénients

- Auto transfo onéreux pour les puissances < 37 KW.
- Encombrement importante.

### Emploi

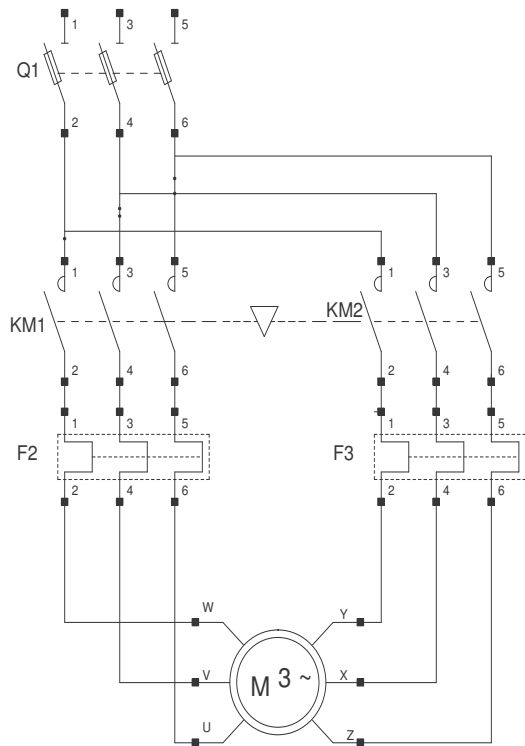
- Il s'emploie généralement pour les grand moteurs.
- L'autotransformateur à d'habitude 3 modes de connexion correspondant respectivement à 55,65 et 75% de la tension nominale.
- Machines de forte puissance ou de forte inertie.
- Dans le cas où la réduction de la pointe de courant est un critère important.
- Compresseur industriel. [12]

#### III.3.3.7 Démarreur du moteur à deux vitesses à enroulements séparés

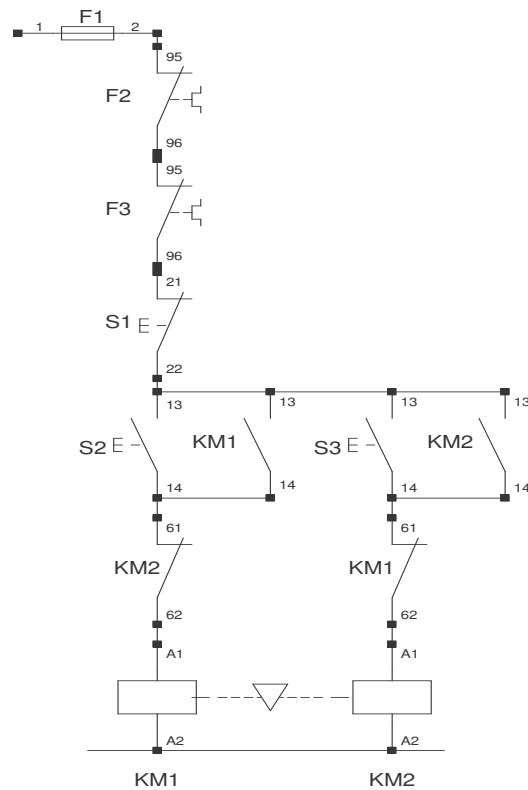
Ce type de moteur comporte deux ou trois enroulements statorique électriquement indépendants. Chaque enroulement représente en somme un moteur distinct, auquel correspond une vitesse donnée. Les vîtes se sont dans un rapport quelconque. Seule la partie de cuivre correspondant à la vitesse qu'est mise en service est utilisée, l'autre partie restant inutilisée.

L'un des bobinages sont nécessairement situés en fond d'encoche, donc éloigné du rotor, ce qui provoque un mauvais rendement. Pour une puissance et une vitesse données, ce moteur a un volume et un poids de 1.5 à 2 fois plus importants qu'un moteur normal. Il a aussi, de ce fait, un mauvais facteur de puissance. [13]

**Circuit de puissance**



**Circuit de commande**



**Fig. III.15** circuit de puissance et de commande d'un démarrage à 2 vitesses à enroulements séparés

**Principe de fonctionnement**

**Circuit de puissance**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 ou KM2.

**Circuit de commande**

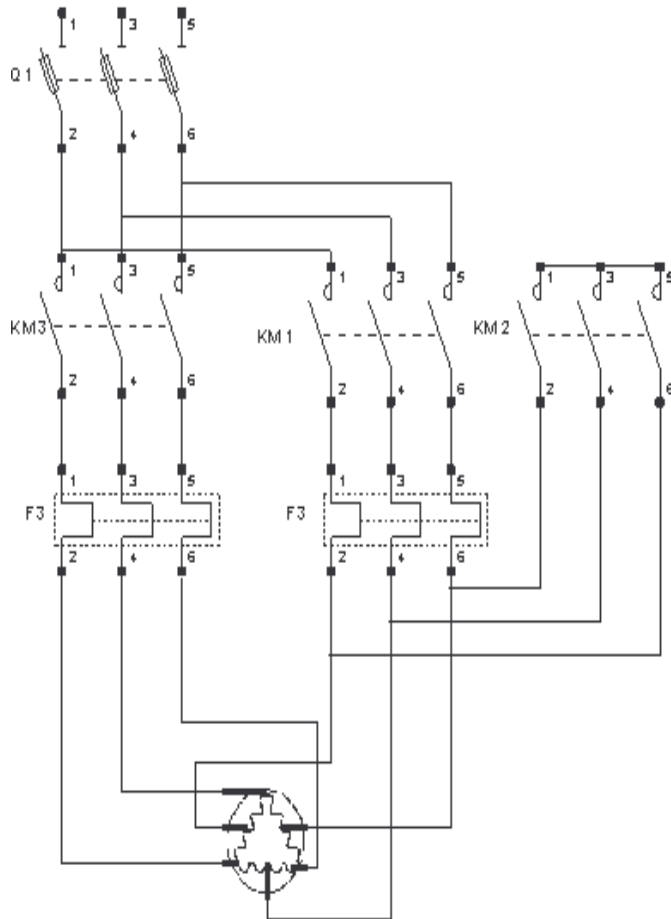
- Impulsion sur S2.
- Fermeture de KM1.
- Verrouillage de KM2 par KM1 (61-62).
- Auto – alimentation de KM1 (13-14).

OÙ

- Impulsion sur S3.
- Fermeture de KM2.
- Verrouillage de KM1 par KM2 (61-65).
- Auto- alimentation de KM2 (13-14).
- Arrêt : impulsion sur S1. [12]

III.3.3.10 Démarreur moteur à deux vitesses, à couplage de pôles Couple constant – dahlander

Circuit de puissance



Circuit de commande

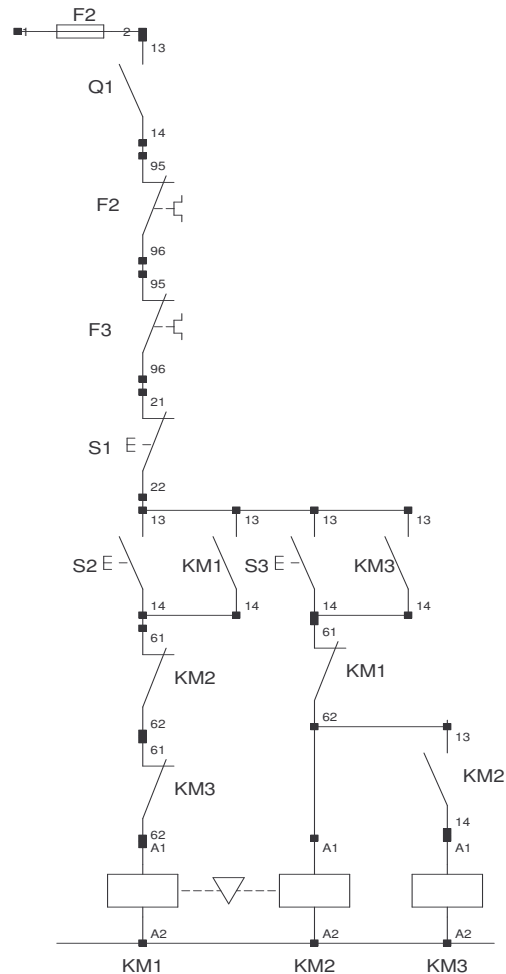


Fig. III.16 circuit de puissance et de commande d'un démarrage contact-dahlander

Principe de fonctionnement

Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 : démarrage du moteur en PV
- Fermeture de KM2 : couplage étoile des bornes PV du moteur
- Fermeture de KM3 : démarrage du moteur en GV

Circuit de commande

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Verrouillage de KM2 et KM3 par KM1 (61-62).
- Auto – alimentation de KM1 (13-14).

OÙ

- Impulsion sur S3

- Excitation de KM2.
- Verrouillage de KM1 par KM2 (61-62).
- Excitation de KM3 par KM2 (13-14).
- Verrouillage de KM1 par KM3 (61-62).
- Auto alimentation de KM2 et KM3 (13-14).
- Arrêt : impulsion sur S1. [12]

### III.4 Démarrage des moteurs à bagues

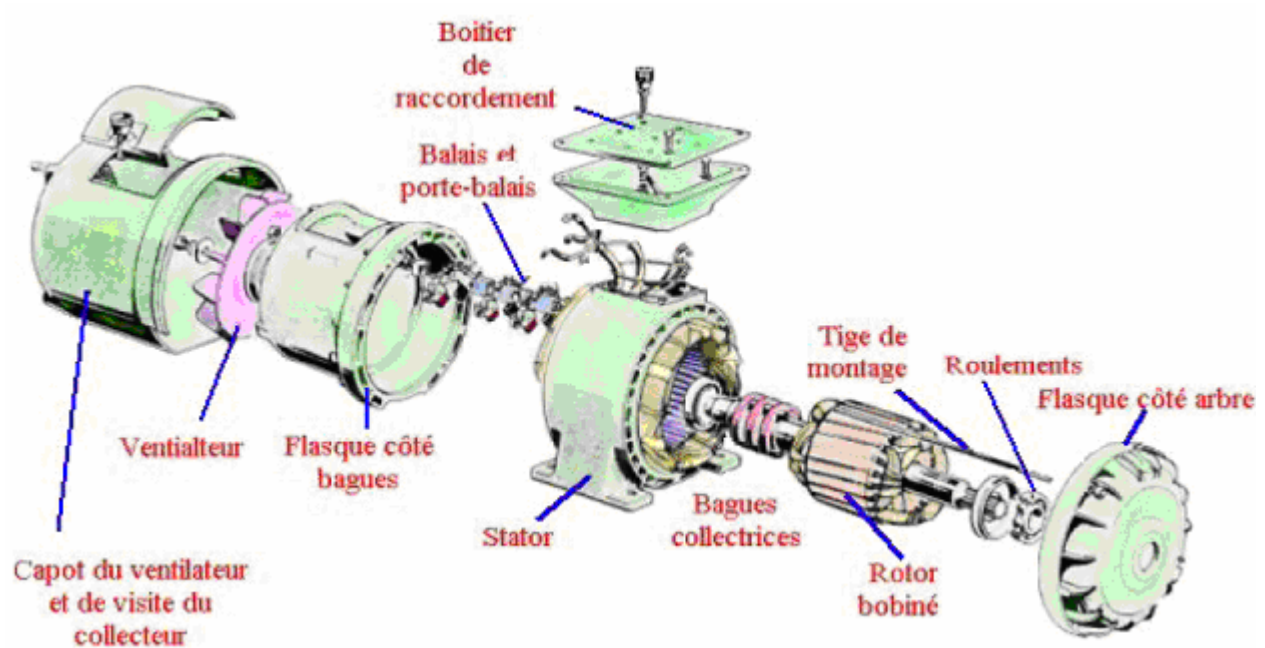


Fig. III.17 moteur asynchrone à bague

#### III.4.1 Fonctionnement et Constitution

Dans des encoches pratiquées sur les tôles constituant le rotor, sont logés des enroulements identiques à ceux du stator. Généralement le rotor est triphasé. Une extrémité de chacun des enroulements est reliée à un point commun (couplage étoile). Les extrémités libres peuvent être raccordées sur un coupleur centrifuge ou sur trois bagues en cuivre isolées et solidaires du rotor.

Sur les bagues viennent frotter des balais en graphite raccordés au dispositif de démarrage. En fonction de la valeur des résistances insérées dans le circuit rotorique, ce type de moteur peut développer un couple de démarrage s'élevant jusqu'à **2,5** fois le couple nominal ; la pointe d'intensité au démarrage est seulement égale à celle du couple.

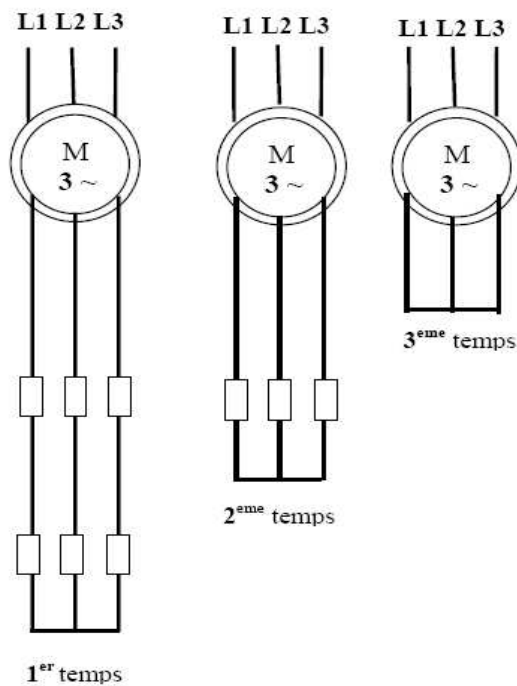
Le stator est identique à celui d'un moteur à rotor à cage donc toutes les explications relatives au champ tournant restent valables. [14]

### III.4.2 Les modes de démarrage des moteurs à bagues

#### III.4.2.1 Démarrage rotorique à résistances

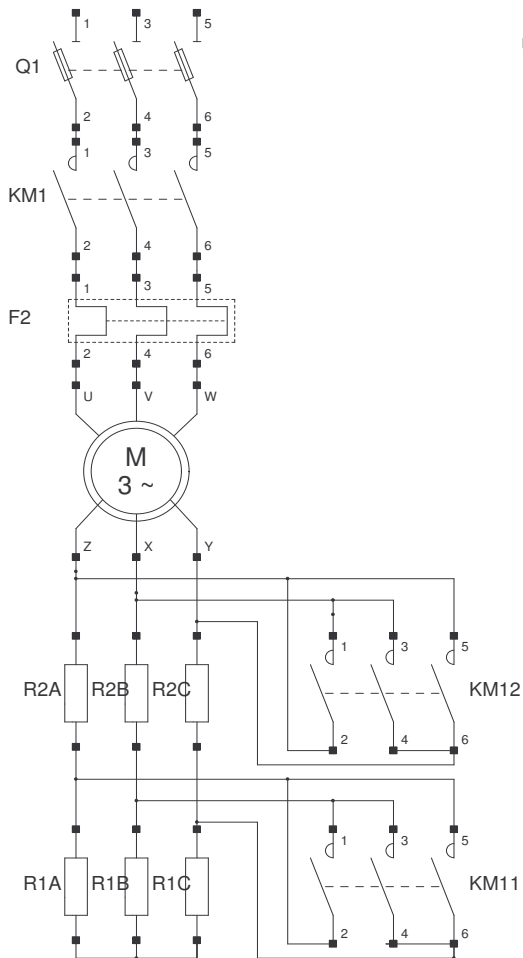
Un moteur à bagues ne peut démarrer en un temps, enroulements rotoriques court-circuités, sans provoquer des points de couple et de courant inadmissibles. Il est nécessaire tout en alimentant le stator sous la pleine tension du réseau, d'insérer dans le circuit rotorique un ensemble de résistances qui seront ensuite court-circuit progressivement.

Le calcul de la résistance insérée dans chaque phase permet de déterminer de façon rigoureuse la courbe couple vitesse obtenue : pour un couple donné la vitesse est d'autant plus basse que la résistance est élevée. 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. [11]



III.4.2.1.1 Démarrage rotoriques (1sens de marche)

Circuit de puissance



Circuit de commande

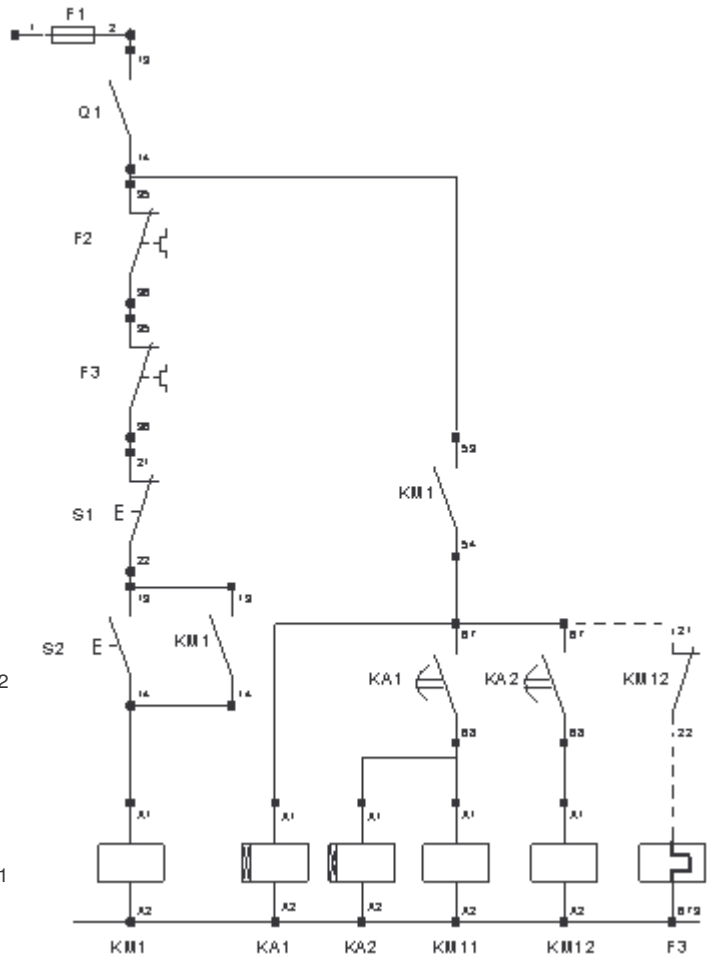


Fig. III.18 circuit de puissance et de commande d'un démarrage rotorique

Principe de fonctionnement

Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1, mise sous tension du moteur
- Fermeture de KM11, court-circuitage d'une partie de la résistance.
- Accélération.
- Fermeture de KM12, court-circuitage totale de la résistance.
- Fin de démarrage.

Circuit de commande

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Auto alimentation de KM1 (13-14).
- Excitation de KA1 par KM1 (53-54) et alimentation de relais thermique, F3.
- Excitation de KM11 et KA2 par KA1 (67-68).
- Excitation de KM12 par KA2 (67-68).

- Elimination de F3 par KM12 (21-22).

Arrêt :

- Impulsion sur S1.
- Déclenchement de F2 ou F3.
- Fusion fusible.

**Protection**

- Fusible contre les courts-circuits.
- F2, F3, relais thermique.

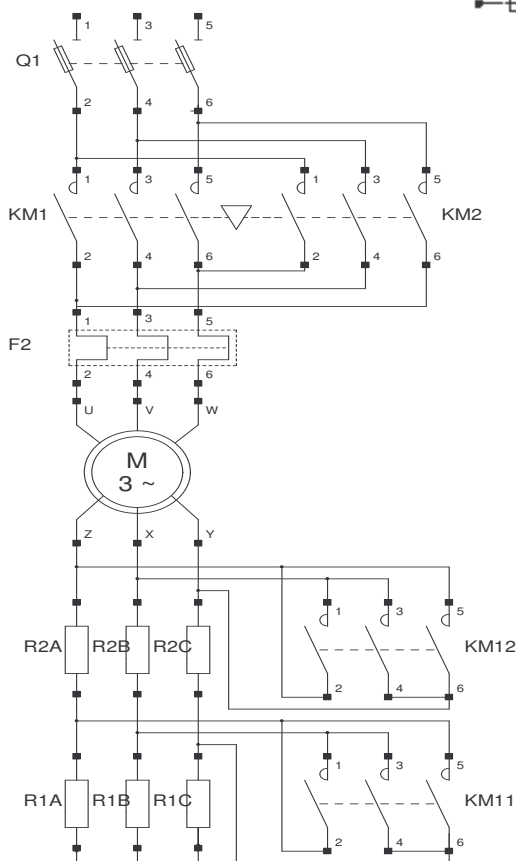
**Emploi**

Ce procédé est employé pour des machines démarrant en pleine charge, avec des pointes de courant de faible amplitude .Ce moteur est analogue à un transformateur dont le primaire serait le stator et le secondaire, le rotor.

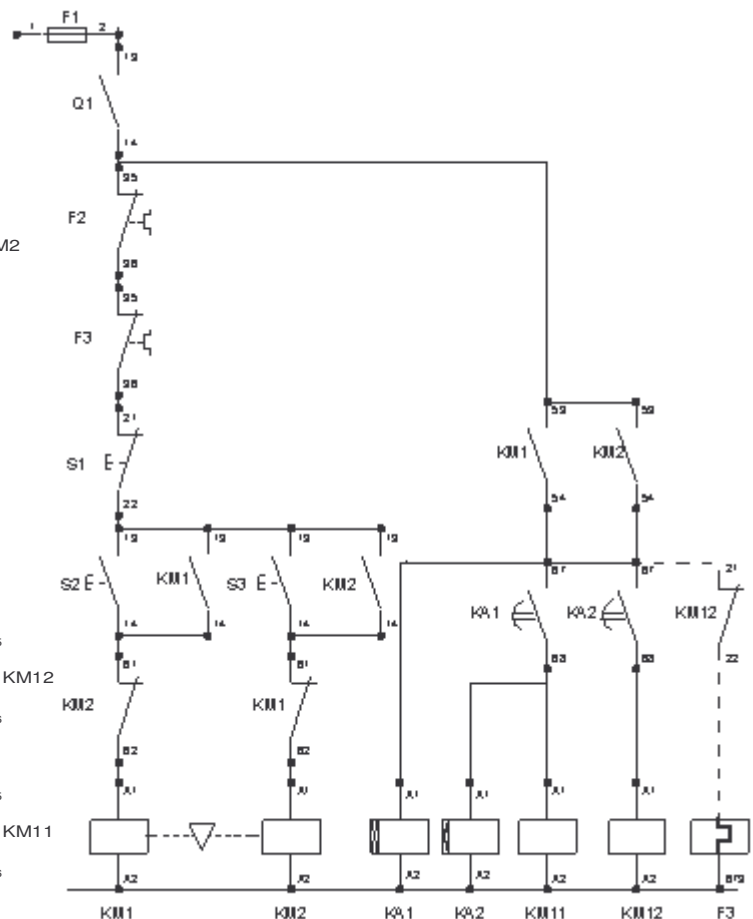
On limite le courant secondaire **Id2** et par conséquent l'intensité absorbée au primaire, en insérant des résistances dans le circuit rotorique, que l'on élimine au fur et à mesure de la montée en vitesse du moteur. [12]

**III.4.2.1.2 Démarreur inverseur rotorique 3 temps**

**Circuit de puissance**



**Circuit de commande**



**Fig. III.19** circuit de puissance et de commande d'un démarrage inverseur rotorique

## Principe de fonctionnement

### Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 ou KM2 choix du sens de rotation mise sous tension du moteur.
- Fermeture de KM11 court-circuitage d'une partie de la résistance accélération.
- Fermeture de KM12 court-circuitage total de la résistance.
- Fin de démarrage.

### Circuit de commande

- Impulsion sur S2 ou S3.
- Excitation de KM1 ou KM2.
- Verrouillage de KM2 ou KM1 (21-22).
- Auto alimentation de KM1 ou KM2 (13-14).
- Excitation de KA1 par KM1 ou KM2 (53-54) et alimentation du relais temporisateur F3.
- Excitation de KM11 et KA2 par KA1 (67-68).
- Excitation de KM12 par KA2 (67-68).
- Elimination de F3 par KM12 (21-22).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Déclenchement F2, F3.
- Fusions fusibles.

### Protection

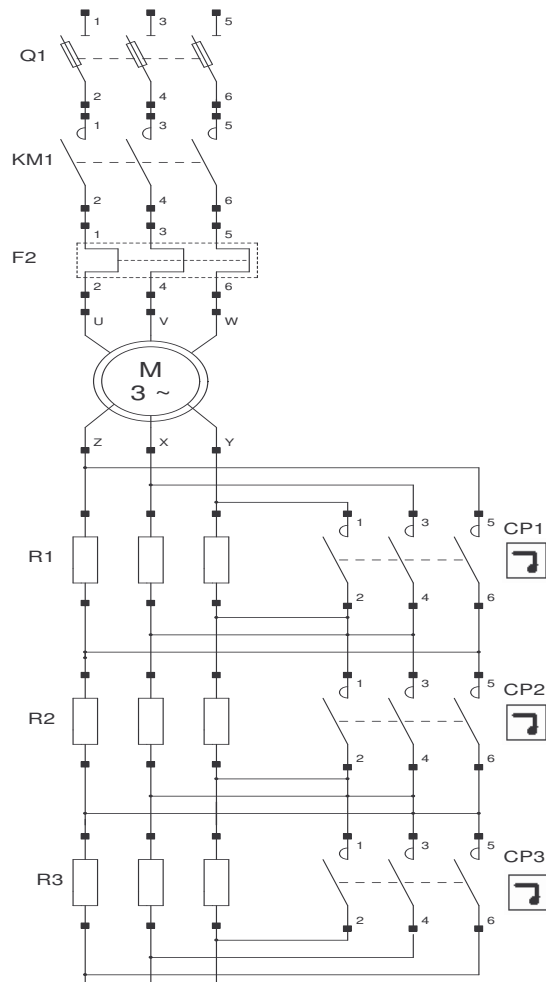
- Par fusible contre les courts circuits.
- Par relais thermique F2.
- Par relais F3 contre les démarrages longue, fréquents et incomplets. [12]

#### III.4.2.2 Moteur à démarreur centrifuge, (un sens de marche)

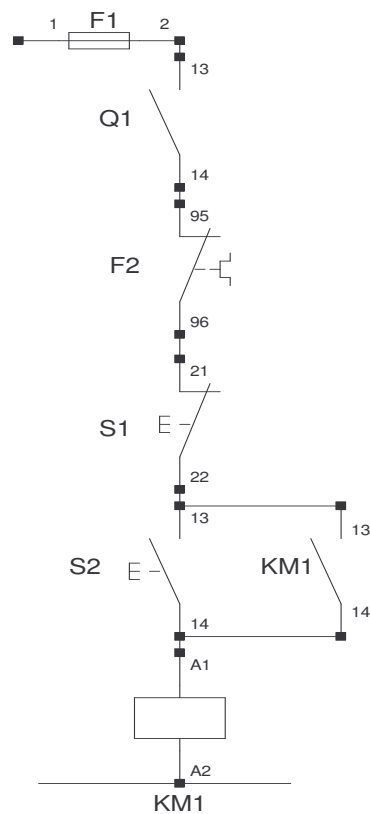
Sur l'arbre est calé un démarreur à résistances multiples  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , dont la mise en court est réalisée automatiquement et progressivement par des contacteurs centrifuges CP1, CP2 et, qui se ferment successivement sous l'action de la force centrifuge ou à certaines vitesses bien déterminées.

La mise en vitesse n'est pas liée au temps, bien à la vitesse elle-même.

**Circuit de puissance**



**Circuit de commande**



**Fig. III.20** circuit de puissance et de commande d'un démarrage centrifuge

**Principe de fonctionnement**

**Circuit de puissance**

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1.
- Fermeture de CP3, puis CP2 et enfin CP1.

**Circuit de commande**

- impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Fermeture de KM1 (13-14).

Arrête :

- Impulsion sur S2.
- Déclenchement de F2.
- Fusion fusible.

**Protection**

- Fusibles contre les courts-circuits
- Relais thermique contre les surcharges.

**Inconvénients**

- Interdiction de redémarrer avant arrêt complet du moteur.
- Durée de démarrage longue entre **4 à 5 s**.
- Risque de dérèglement des contacts.
- Pas de possibilité de réglage de la vitesse.
- Pas de possibilité de freinage électrique, par contre courant ou par injection de courant continu.

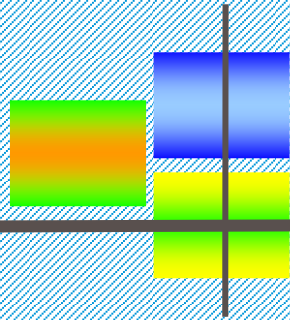
**Emploi**

- Pour de puissances de **5.5 à 700KW** et plus.
  - Turbines, concasseurs, broyeurs, montes charge géants, levage et manutention maritime.
- [12]

**III.5 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons donné les différents types des moteurs à cage et à bague, et leurs principes de fonctionnement. On plus nous avons étudié les différents modes de démarrage. D'après l'étude de ces différents modes de démarrage, on constate qu'ils sont utilisés pour diminuer le courant et le couple de démarrage.

Dans le chapitre suivant on donne l'application de ces modes de démarrage par schémas à relais, en utilisant les automates programmables industriels (API).



# ***Chapitre IV***

## ***Application schéma à relais***

## IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, notre objectif est de créer un programme d'une simulation à l'aide du logiciel Elfalogique avec plusieurs applications, dans lesquels les effets de courant et de couple de démarrage sont inexistant. On cherche à étudier et comparer les résultats de simulation par la logique programmé à ceux exposés dans le chapitre précédent par la logique câblé, on choisit de s'intéresser au schéma à relais de chaque mode de démarrage.

## IV.2 Démarrage direct

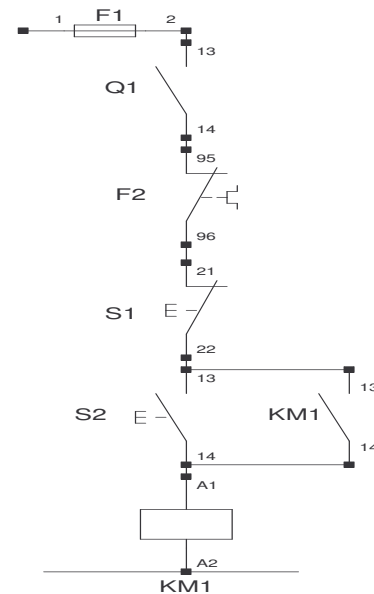
### IV.2.1 Circuit de commande

#### Principe de fonctionnement

- impulsion sur S2.
- Fermeture de KM1.
- Auto maintien de KM1 (13-14).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.
- Par fusion des fusibles.



### IV.2.2 Listes des entrées/sorties

Tout d'abord, nous devons lister les éléments nécessaires : boutons, lampes de signalisation, contacts de protection,...afin d'attribuer à chacun de ces éléments une adresse d'entrée ou de sortie correspondante à l'automate utilisé.

#### Entrées digitales

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

#### Sorties digitales

- Relais de réseau KM1 ..... Q1 ;
- Relais internes ..... M1.

### IV.2.3 Les différentes équations

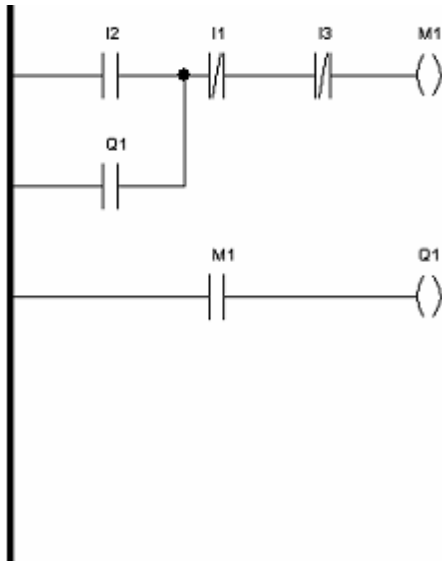
$$KM1 = \overline{F2} \cdot \overline{S1} (S2 + KM1).$$

$$Q1 = \overline{I3} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1).$$

$$M1 = \overline{I3} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1).$$

$$\Rightarrow Q1 = M1.$$

### IV.2.4 Schéma à relais



### IV.2.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion.



2<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton start S2.



3<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2.



4<sup>ème</sup> cas : l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.



## IV.3 Démarrage inverseur

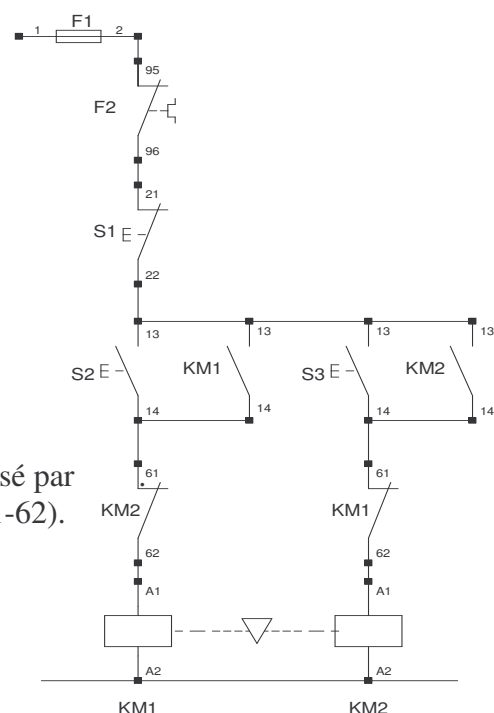
### IV.3.1 Circuit de commande

#### Principe de fonctionnement

- Impulsion sur S2 (marche avant).
- Fermeture de KM1.
- Auto maintien par KM1 (13-14).
- Arrêt par impulsion sur S1 ou par déclenchement de relais thermique F2.
- Impulsion sur S3 (marche arrière).
- Fermeture de KM2.
- Auto maintien par KM2 (13-14).
- verrouillage mécanique entre KM1 et KM2 matérialisé par
- verrouillage électrique par KM1 (61-62) et KM2 (61-62).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.
- Par fusion des fusibles.



IV.3.2 Listes des entrées/sorties

Entrées digitales

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1 ;
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2 ;
- Bouton start S<sub>3</sub> ..... I3 ;
- Relais thermique F2 ..... I4.

Sorties digitales

- Relais de réseau sens un KM1 ..... Q1 ;
- Relais de réseau sens deux KM2 ..... Q2 ;
- Relais internes ..... M1, M2.

3.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2.S1}(S2 + KM1).\overline{KM2}.$$

$$KM2 = \overline{F2.S1}(S3 + KM2).\overline{KM1}.$$

$$Q1 = \overline{I4.I1}.(I2 + Q1).q2.$$

$$Q2 = \overline{I4.I1}.(I3 + Q2).q1.$$

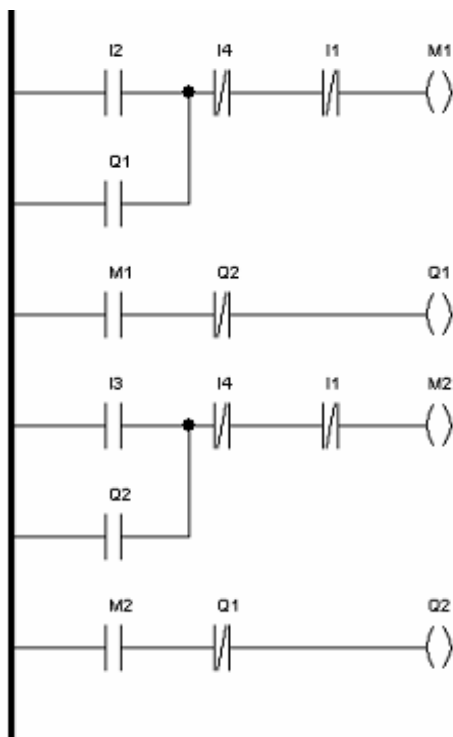
$$M1 = \overline{I4.I1}.(I2 + Q1).$$

$$\Rightarrow Q1 = M1.q2.$$

$$M2 = \overline{I4.I1}.(I3 + Q2).$$

$$\Rightarrow Q2 = M2.q1.$$

IV.3.4 Schéma à relais



IV.3.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion.



2<sup>ème</sup> cas : par impulsion sur le bouton de start S2.



3<sup>ème</sup> cas : par impulsion sur le bouton S3 sens deux.



4<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2.



5<sup>ème</sup> cas : l'arrêt par impulsion sur le bouton S1.



## IV.4 Démarrage part-winding

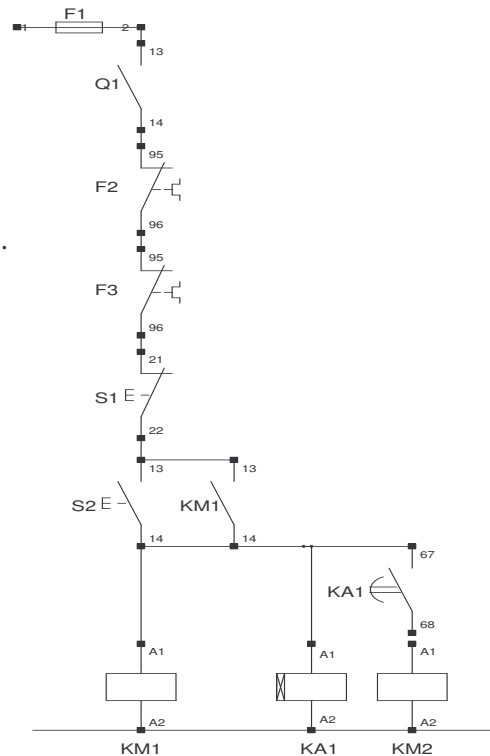
### IV.4.1 Circuit de commande

#### Principe de fonctionnement

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1 et KA2.
- Fermeture du contact KM1 (13-14) auto alimentation.
- Fermeture du contact temporisé KA1 (13-14).
- Excitation de KM2.

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2 ou F3.
- Par fusion des fusibles.



### IV.4.2 Listes des entrées/sorties

#### Entrées digitales

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1 ;
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2 ;
- Relais thermique F2 ..... I3 ;
- Relais thermique F3 ..... I4.

#### Sorties digitales

- Relais de réseau KM1 ..... Q1 ;
- Relais de réseau KM2 ..... Q2 ;
- Relais internes ..... M1.

### IV.4.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2} \cdot \overline{F3} \cdot \overline{S1} (S2 + KM1).$$

$$KM2 = \overline{F2} \cdot \overline{F3} \cdot \overline{S1} (S2 + KM1) \cdot KA1.$$

$$Q1 = \overline{I3} \cdot \overline{I4} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1).$$

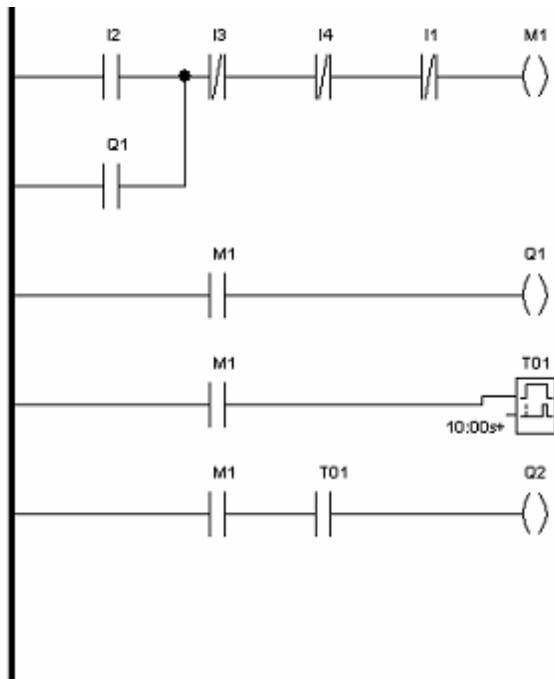
$$Q2 = \overline{I3} \cdot \overline{I4} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1) \cdot T01.$$

$$M1 = \overline{I3} \cdot \overline{I4} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1).$$

$$\Rightarrow Q1 = M1.$$

$$\Rightarrow Q2 = M1 \cdot T01.$$

IV.4.4 Schéma à relais



IV.4.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion



2<sup>ème</sup> cas : par impulsion sur le bouton de start S2.



3<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA1 après 10s.



4<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2.



5<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F3.



6<sup>ème</sup> cas : arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.



IV.5 Démarrage « étoile –triangle» deux sens de marche

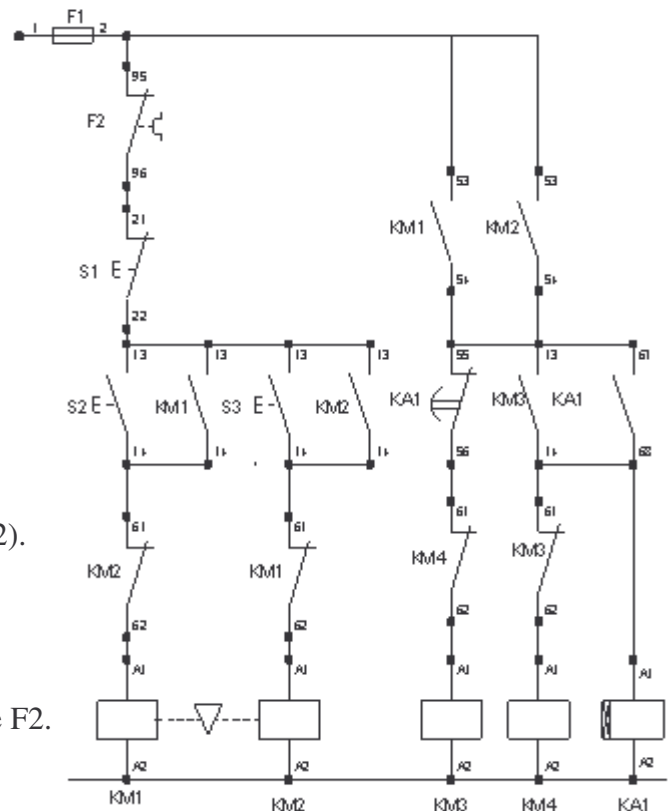
IV.5.1 Circuit de commande

Principe de fonctionnement

- Impulsion sur S2 ou S3.
- Fermeture de KM1 ou KM2 dans le circuit de puissance.
- Auto-alimentation de KM1 ou KM2 (13-14).
- Excitation de KM3 par KM1 ou KM2 (53-54).
- Excitation de KA1 par KM3 (13-14).
- Auto-alimentation de KA1.
- Ouverture de KA1 (55-56).
- Verrouillage électrique de KM3 (61-62).
- Excitation de KM4 par KM3 (61-62).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.
- Par fusion des fusibles.



### IV.5.2 Liste des Entrées/sorties

#### Entrées digitales

- Bouton stop  $S_1$  ..... I1;
- Bouton start  $S_2$  ..... I2;
- Bouton start  $S_3$  ..... I3;
- Relais thermique F2 ..... I4.

#### Sorties digitales

- Relais de réseau sens un KM1 ..... Q1;
- Relais de réseau sens deux KM2 ..... Q2;
- Relais de réseau sens deux KM3 ..... Q3;
- Relais de réseau sens deux KM4 ..... Q4;
- Relais internes ..... M1, M2, M3, M4;
- Relais de temporisation.....T01, T02.

### IV.5.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2.S1}.(S2 + KM1).\overline{KM2}.$$

$$KM2 = \overline{F2.S1}.(S3 + KM2).\overline{KM1}.$$

$$Q1 = \overline{I4.I1}.(I2 + Q1).\overline{q2}.$$

$$Q2 = \overline{I4.I1}.(I3 + Q2).\overline{q1}.$$

$$M1 = \overline{I4.I1}.(I2 + Q1).$$

$$\Rightarrow Q1 = M1.\overline{q2}.$$

$$M2 = \overline{I4.I1}.(I3 + Q2).$$

$$\Rightarrow Q2 = M2.\overline{q1}.$$

$$KM3 = (KM1 + KM2).\overline{KM4.KA2}.$$

$$KM4 = (KM1 + KM2).(KM3 + KA1).\overline{KM3}.$$

$$KA1 = (KM1 + KM2).(KM3 + KA1).$$

$$M3 = (Q1 + Q2).$$

$$Q3 = (Q1 + Q2).\overline{Q4.T02}.$$

$$\Rightarrow Q3 = M3.\overline{Q4.T02}.$$

$$Q4 = (Q1 + Q2).(Q3 + T01).Q3.$$

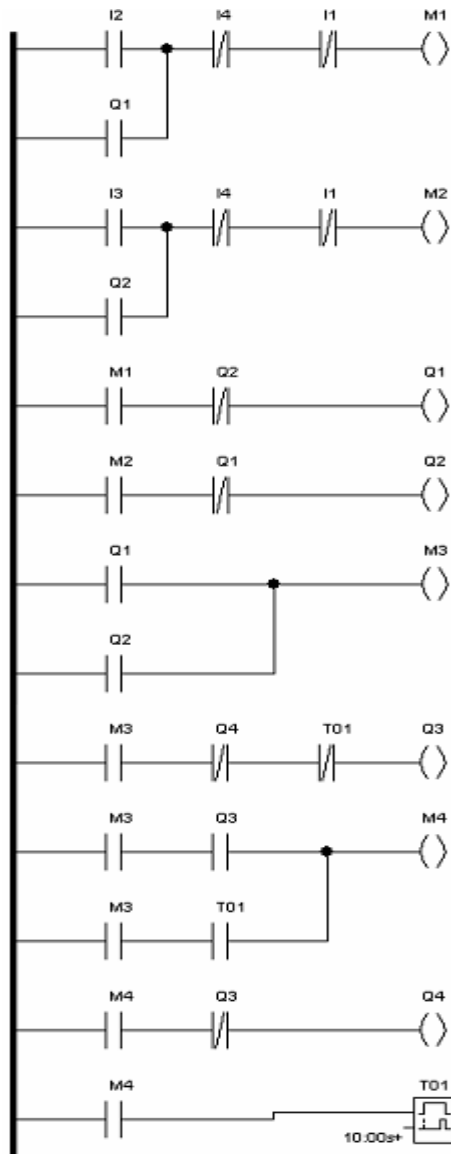
$$M4 = (Q1 + Q2).(Q3 + T01).$$

$$\Rightarrow M4 = M3.(Q3 + T01).$$

$$\Rightarrow Q4 = M4.\overline{Q3}.$$

$$\Rightarrow T01 = M4.$$

IV.5.4 Schéma à relais



IV.5.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion.



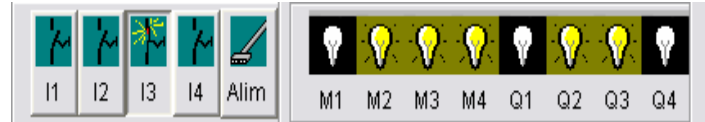
2<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton start s2.



3<sup>ème</sup> cas :



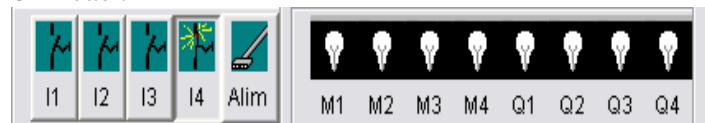
4<sup>ème</sup> cas :



5<sup>ème</sup> cas :



6<sup>ème</sup> cas :



7<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton stop.



IV.6 Démarreur statorique (un sens de marche)

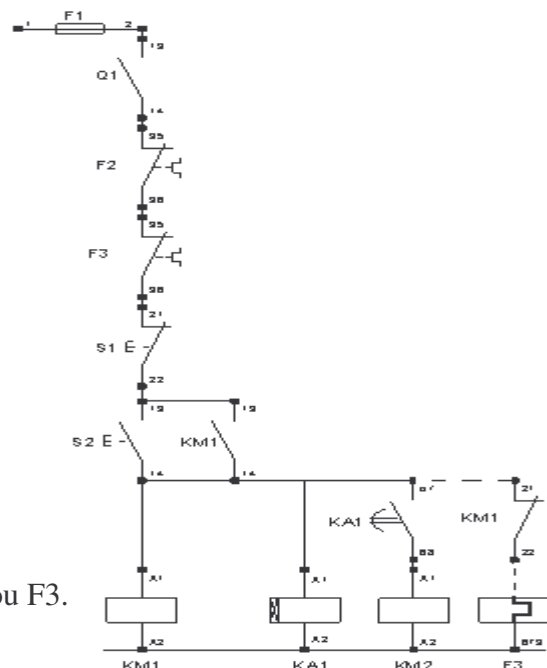
IV.6.1 Circuit de commande

Principe de fonctionnement

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1 et excitation de KA1.
- Auto alimentation de KM1 (13-14) et alimentation de F3.
- Excitation de KM2 par KA1 (67-68).
- Elimination de F3 par KM1 (21-22).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2 ou F3.
- Par fusion des fusibles.



**IV.6.2 Listes des entrées/sorties :**

**Entrées digitales :**

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1.
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2.
- Relais thermique F2 ..... I3.
- Relais thermique F3 ..... I4.

**Sorties digitales :**

- Relais de réseau KM1 ..... Q1.
- Relais de réseau KM2 ..... Q2.
- Relais internes ..... M1.
- Relais de temporisation.....T01.

**IV.6.3 Les différentes équations**

$$KM1 = \overline{F2}.\overline{F3}.\overline{S1}(S2 + KM1).$$

$$KM2 = \overline{F2}.\overline{F3}.\overline{S1}(S2 + KM1).KA1.$$

$$Q1 = \overline{I3}.\overline{I4}.\overline{I1}(I2 + Q1).$$

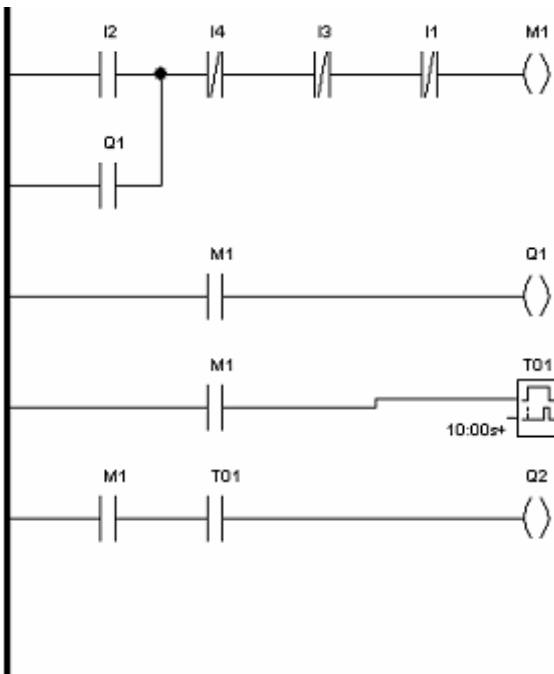
$$Q2 = \overline{I3}.\overline{I4}.\overline{I1}(I2 + Q1).T01.$$

$$M1 = \overline{I3}.\overline{I4}.\overline{I1}(I2 + Q1).$$

$$\Rightarrow Q1 = M1.$$

$$\Rightarrow Q2 = M1.T01$$

**IV.6.4 Schéma à relais**



**IV.6.5 Simulation**

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion



2<sup>ème</sup> cas : par impulsion sur le bouton de start S2



3<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA1 après 10s



4<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique



5<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique



### IV.7 Démarreur inverseur statorique

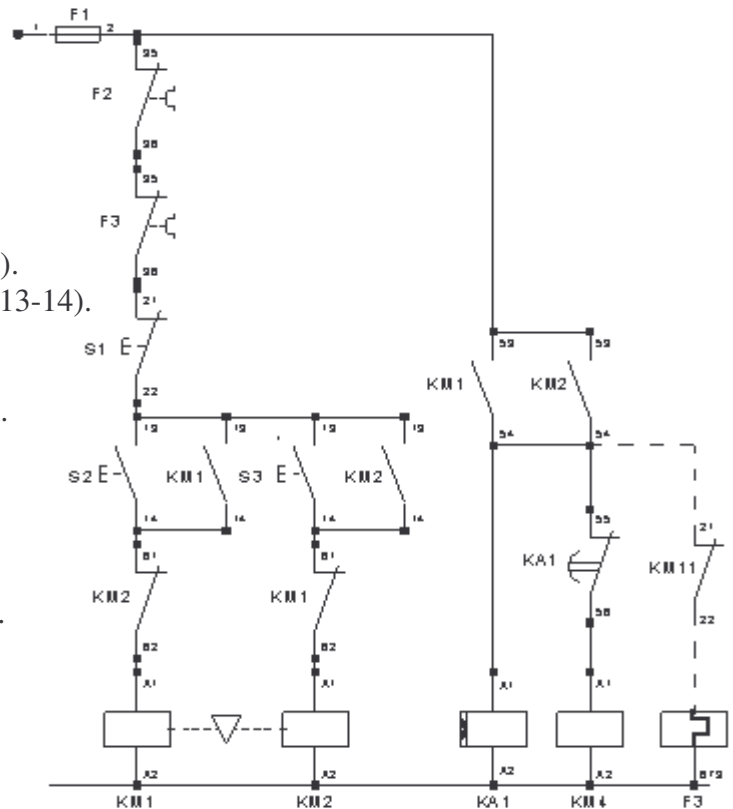
#### IV.7.1 Circuit de commande

##### Principe de fonctionnement

- Impulsion sur S2 ou S3
- Excitation de KM1 ou de KM2.
- Verrouillage de KM2 ou KM1 (61-62).
- Auto-alimentation de KM1 ou KM2 (13-14).
- Excitation de KA1 par KM1 ou KM2 (53-54) et alimentation F3.
- Excitation de KM11 par KA1 (67-68).
- Elimination de F3 par KM11 (21-22).

##### Arrêt :

- Impulsion sur S1.
- Par fusion fusible F1.
- Par déclenchement de relais F2 ou F3.



#### IV.7.2 Listes des entrées/sorties

##### Entrées digitales

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1.
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2.
- Relais thermique S3 ..... I3.
- Relais thermique F2 ..... I4.
- Relais thermique F3 ..... I5

##### Sorties digitales

- Relais de réseau KM1 ..... Q1.
- Relais de réseau KM2 ..... Q2.
- Relais de réseau KM11 ..... Q3.
- Relais internes ..... M1, M2.
- Relais de temporisation ..... T01.

#### IV.7.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2} \cdot \overline{F3} \cdot \overline{S1} (S2 + KM1) \cdot \overline{KM2}$$

$$KM2 = \overline{F2} \cdot \overline{F3} \cdot \overline{S1} (S3 + KM2) \cdot \overline{KM1}$$

$$Q1 = \overline{I4} \cdot \overline{I5} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1) \cdot \overline{Q2}$$

$$Q2 = \overline{I4} \cdot \overline{I5} \cdot \overline{I1} (I3 + Q2) \cdot \overline{Q1}$$

$$M1 = \overline{I4} \cdot \overline{I5} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1)$$

$$\Rightarrow Q1 = M1.\overline{Q2}.$$

$$M2 = \overline{I4}.\overline{I5}.\overline{I1}(I3 + Q2).$$

$$\Rightarrow Q2 = M2.\overline{Q1}.$$

$$KA1 = (KM1 + KM2).$$

$$KM11 = (KM1 + KM2).\overline{KA1}.$$

$$T01 = (Q1 + Q2).$$

$$M3 = (Q1 + Q2).$$

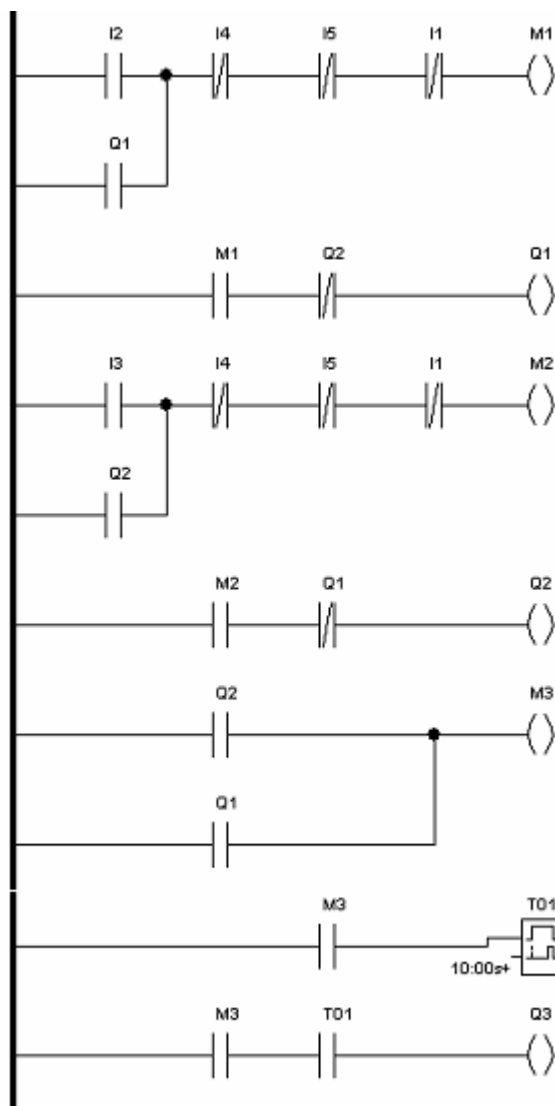
$$\Rightarrow T01 = M3.$$

$$Q3 = (Q1 + Q2).\overline{T01}.$$

$$\Rightarrow Q3 = M3.\overline{T01}.$$

IV.7.4 Schéma à relais

IV.7.5 Simulation



1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion.



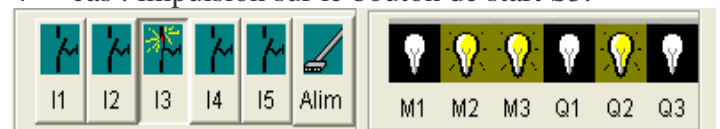
2<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton de start S2.



3<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA1 après 10s.



4<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton de start S3.



5<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA2 après 10s.



6<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2.



## IV.8 Démarrage autotransformateur

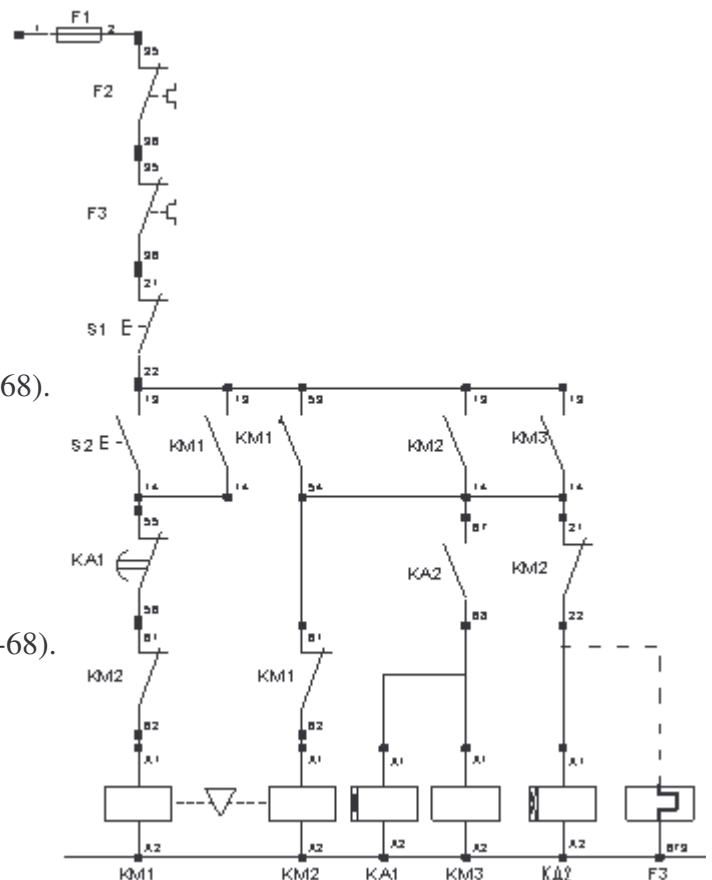
### IV.8.1 Circuit de commande

#### Principe de fonctionnement

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Auto-alimentation de KM1 (13-14).
- Verrouillage de KM2 par KM1 (61-62).
- Excitation de KA2 par KM1 (53-54) et alimentation de F3.
- Excitation de KM3 et KA1 par KA2 (67-68).
- Auto-alimentation de KM3 (13-14).
- Ouverture de KM1 par KA1 (55-56).
- Excitation de KM2 par KM1 (61-62).
- Ouverture de KA2 et élimination de F3 par KM2 (21-22).
- Auto-alimentation de KM2 (13-14).
- Ouverture de KM3 et KA1 par KA2 (67-68).
- verrouillage de KM1 par KM2 (61-62).

Arrêt :

- Impulsion sur S1.
- Par fusion fusible F1.
- Par déclenchement de relais F2 ou F3.



### VI.8.2 Listes des entrées/sorties

#### Entrées digitales

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1.
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2.
- Relais thermique F2 ..... I3.
- Relais thermique F3 ..... I4.

#### Sorties digitales

- Relais de réseau KM1 ..... Q1.
- Relais de réseau KM2 ..... Q2.
- Relais de réseau KM3 ..... Q3.
- Relais internes ..... M1.
- Relais de temporisation.....T01, T02.

### VI.8.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2} \cdot \overline{S1} (S2 + KM1) \cdot \overline{KM2}$$

$$KM2 = \overline{F2} \cdot \overline{S1} (S3 + KM2) \cdot \overline{KM1}$$

$$Q1 = \overline{I4} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1) \cdot \overline{Q2}$$

$$Q2 = \overline{I4} \cdot \overline{I1} (I3 + Q2) \cdot \overline{Q1}$$

$$M1 = \overline{I4} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1) \Rightarrow Q1 = M1 \cdot \overline{Q2}$$

$$M2 = \overline{I4} \cdot \overline{I1} (I3 + Q2) \Rightarrow Q2 = M2 \cdot \overline{Q1}$$



IV.9.2 Listes des entrées/sorties

Entrées digitales

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1.
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2.
- Bouton start S<sub>3</sub> ..... I3.
- Relais thermique F2 ..... I4.
- Relais thermique F3 ..... I5.

Sorties digitales

- Relais de réseau sens un KM1 ..... Q1.
- Relais de réseau sens deux KM2 ..... Q2.
- Relais internes ..... M1, M2.

IV.9.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2.F3.S1}(S2 + KM1).\overline{KM2}.$$

$$KM2 = \overline{F2.F3.S1}(S3 + KM2).\overline{KM1}.$$

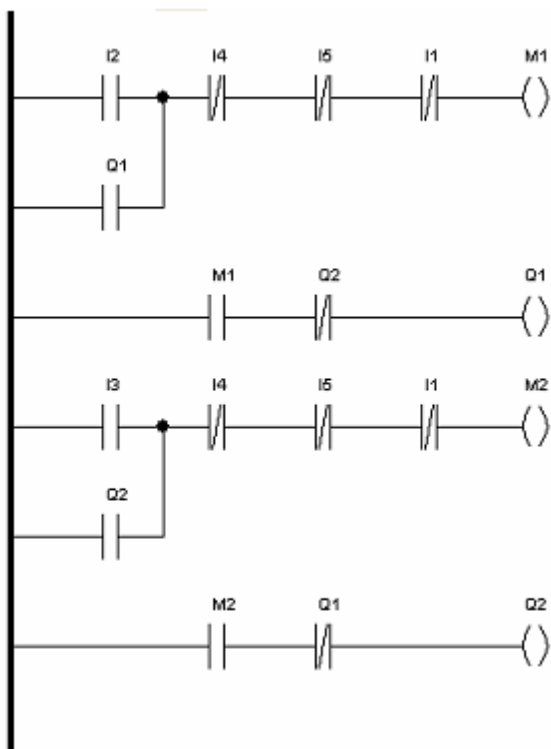
$$Q1 = \overline{I4.I5.I1}(I2 + Q1).\overline{Q2}.$$

$$Q2 = \overline{I4.I5.I1}(I3 + Q2).\overline{Q1}.$$

$$M1 = \overline{I4.I5.I1}(I2 + Q1). \Rightarrow Q1 = M1.\overline{Q2}.$$

$$M2 = \overline{I4.I5.I1}(I3 + Q2). \Rightarrow Q2 = M2.\overline{Q1}.$$

IV.9.4 Schéma à relais



IV.9.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion



2<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton de start S2 sens un



3<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton S3 sens deux



4<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2



5<sup>ème</sup> cas : l'arrêt par impulsion sur le bouton S1



### IV.10 Démarreur moteur à deux vitesses, à couplage de pôles Couple contant –dahlander

#### IV.10.1 Circuit de commande

##### Principe de fonctionnement

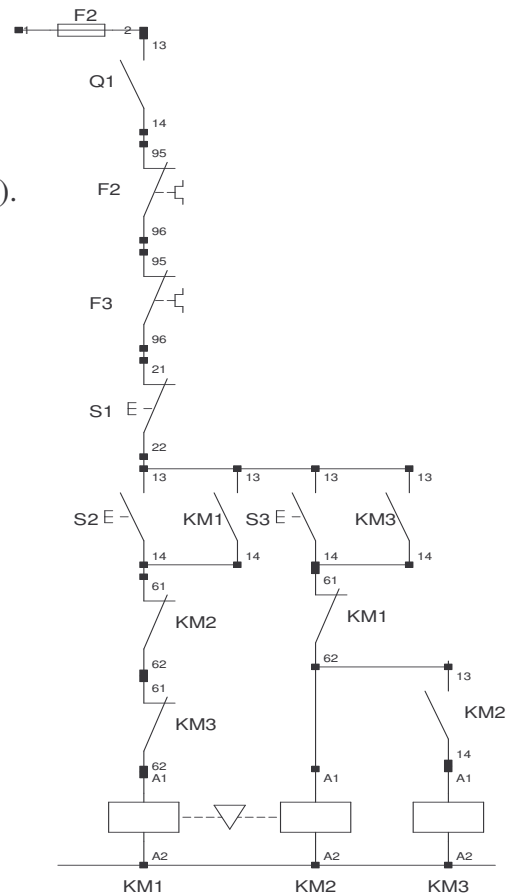
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Verrouillage de KM2 et KM3 par KM1 (61-62).
- Auto – alimentation de KM1 (13-14).

##### OÙ

- Impulsion sur S3
- Excitation de KM2.
- Verrouillage de KM1 par KM2 (61-62).
- Excitation de KM3 par KM2 (13-14).
- Verrouillage de KM1 par KM3 (61-62).
- Auto alimentation de KM2 et KM3 (13-14).

##### Arrêt :

- Impulsion sur S1.
- Par fusion fusible F1.
- Par déclenchement de relais F2 ou F3



#### IV.10.2 Listes des entrées/sorties

##### Entrées digitales

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1.
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2.
- Bouton start S<sub>3</sub> ..... I3.
- Relais thermique F2 ..... I4.
- Relais thermique F3 ..... I5.

##### Sorties digitales

- Relais de réseau sens un KM1 ..... Q1.
- Relais de réseau sens deux KM2 ..... Q2.
- Relais de réseau sens deux KM3 ..... Q3.
- Relais internes ..... M1, M2, M3.

#### IV.10.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2} \cdot \overline{F3} \cdot \overline{S1} (S2 + KM1) \cdot \overline{KM2}$$

$$KM2 = \overline{F2} \cdot \overline{F3} \cdot \overline{S1} (S3 + KM2) \cdot \overline{KM1}$$

$$Q1 = \overline{I4} \cdot \overline{I5} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1) \cdot \overline{Q2}$$

$$Q2 = \overline{I4} \cdot \overline{I5} \cdot \overline{I1} (I3 + Q2) \cdot \overline{Q1}$$

$$M1 = \overline{I4}.\overline{I5}.\overline{I1} \Rightarrow Q1 = M1.(I2 + Q1).\overline{Q2}.$$

$$M2 = \overline{I4}.\overline{I5}.\overline{I1}(I3 + Q2). \Rightarrow Q2 = M2.\overline{Q1}.$$

$$KA1 = (KM1 + KM2).$$

$$KM11 = (KM1 + KM2).KA1.$$

$$KA2 = (KM1 + KM2).KA1.$$

$$KM12 = (KM1 + KM2).KA2.$$

$$T01 = (Q1 + Q2).$$

$$Q3 = T01.T01.$$

$$\Rightarrow Q3 = T01.$$

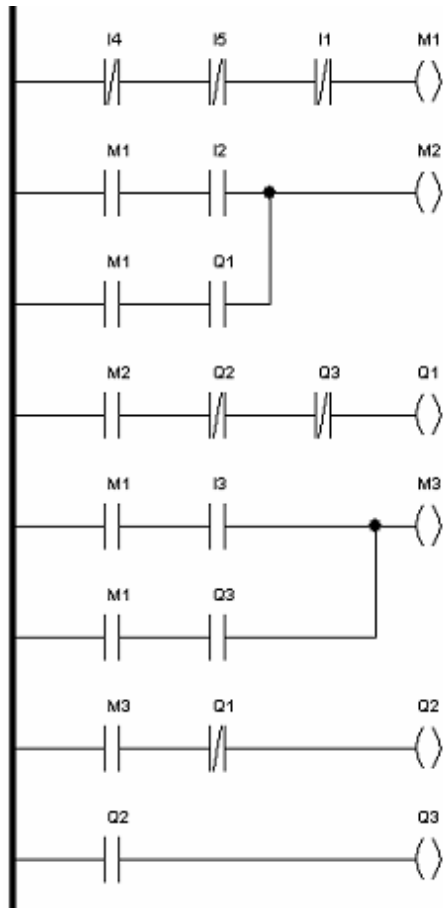
$$T02 = T01.T01$$

$$\Rightarrow T02 = T01.$$

$$Q2 = T01.T02.$$

$$\Rightarrow Q2 = T02.$$

IV.10.4 Schéma à relais



IV.10.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion



2<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton start S2



3<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton start S3



4<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2



5<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F3



6<sup>ème</sup> cas : déclenchement par impulsion sur le bouton S1



## IV.11 Démarrage par élimination des résistances rotoriques (1sens de marche)

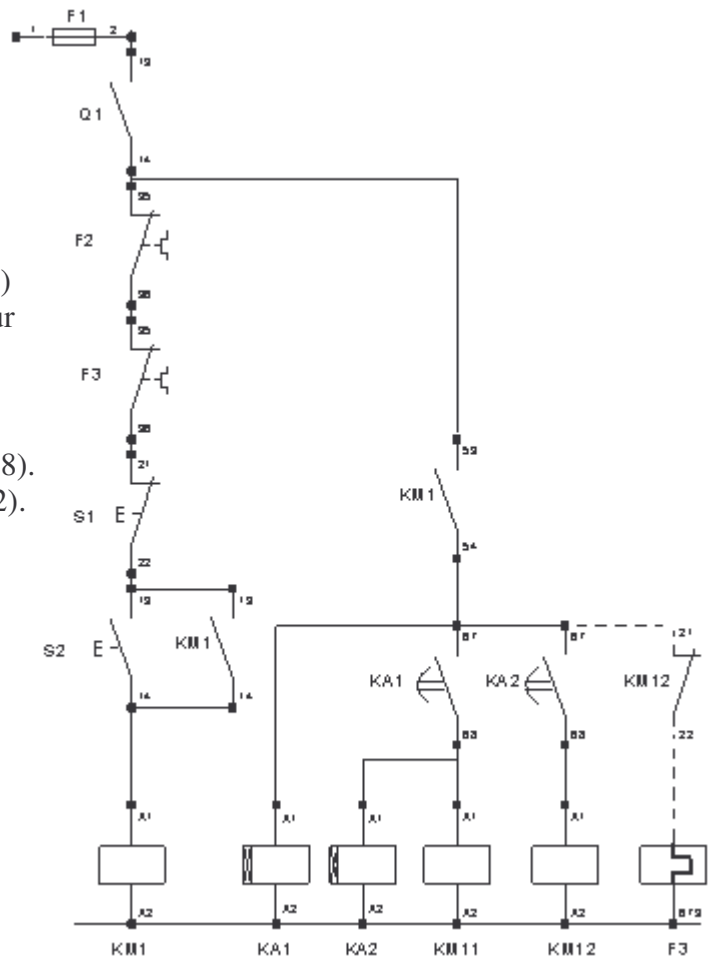
### IV.11.1 Circuit de commande

#### Principe de fonctionnement

- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Auto alimentation de KM1 (13-14).
- Excitation de KA1 par KM1 (53-54) et alimentation de relais temporisateur thermique, F3.
- Excitation de KM11 et KA2 par KA1 (67-68).
- Excitation de KM12 par KA2 (67-68).
- Elimination de F3 par KM12 (21-22).

#### Arrêt :

- Impulsion sur S1.
- Déclenchement de F2 ou F3.
- Fusion fusible.



### IV.11.2 Listes des entrées/sorties

#### Entrées digitales

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1.
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2.
- Relais thermique F2 ..... I3.
- Relais thermique F3 ..... I4.

#### Sorties digitales

- Relais de réseau sens un KM1 ..... Q1.
- Relais de réseau sens deux KM11 ..... Q2.
- Relais de réseau sens deux KM12..... Q3.
- Relais internes .....M1.
- Relais de temporisation ..... T01.

IV.11.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2.F3.S1}(S2 + KM1).$$

$$Q1 = \overline{I4.I5.I1}(I2 + Q1).$$

$$M1 = \overline{I4.I5.I1}(I2 + Q1). \Rightarrow Q1 = M1.$$

$$KA1 = KM1.$$

$$KM11 = KM1.KA1.$$

$$KA2 = KM1.KA1.$$

$$KM12 = KM1.KA2.$$

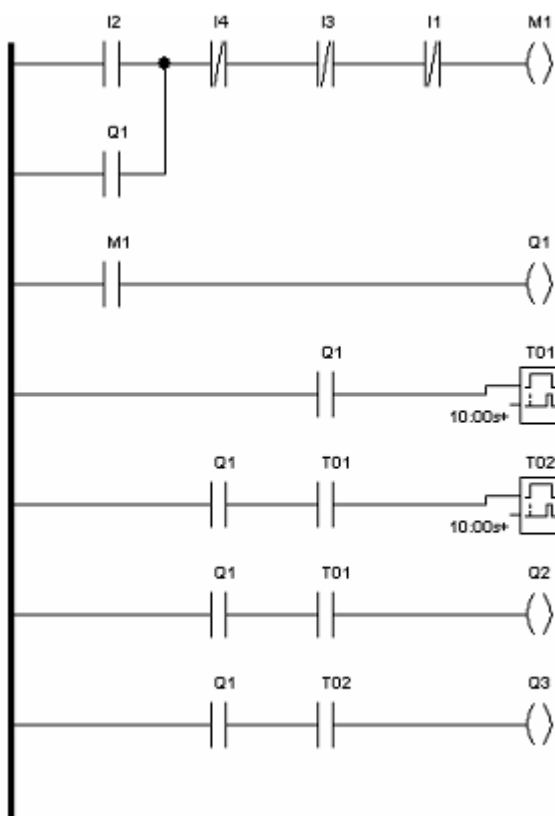
$$T01 = Q1.$$

$$T02 = Q1.T01.$$

$$Q2 = Q1.T01. \Rightarrow Q2 = T02.$$

$$Q3 = Q1.T02.$$

IV.11.4 Schéma à relais



IV.11.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion



2<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton de start S2



3<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA1 après 10s



4<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA2 après 10s



4<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2



5<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F3



### IV.12 Démarreur inverseur rotorique 3 temps

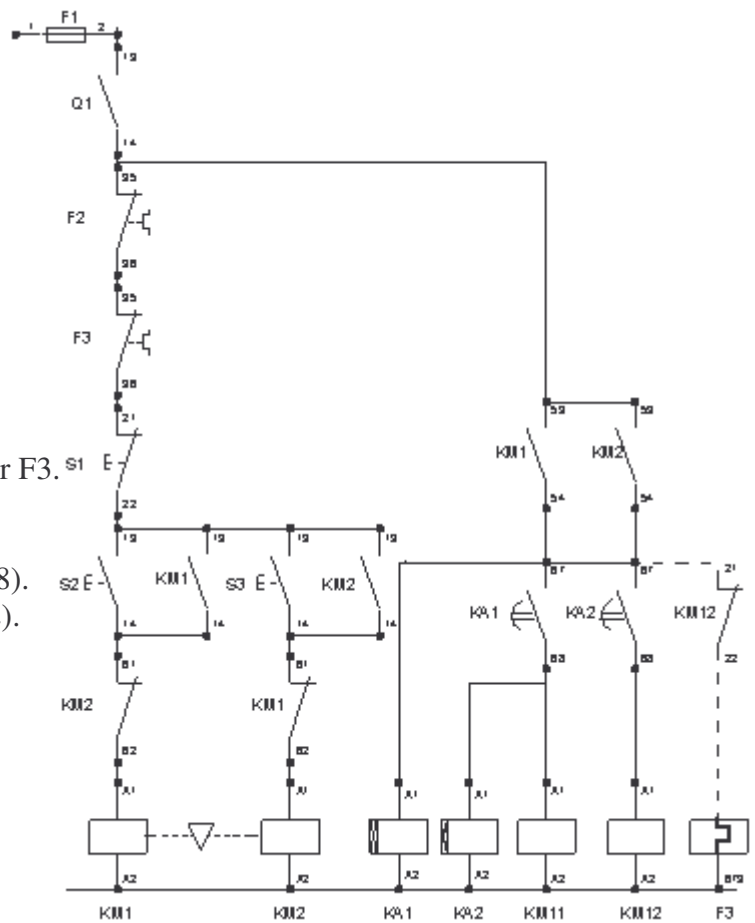
#### IV.12.1 Circuit de commande

##### Principe de fonctionnement

- Impulsion sur S2 ou S3.
- Excitation de KM1 ou KM2.
- Verrouillage de KM2 ou KM1 (21-22).
- Auto alimentation de KM1 ou KM2 (13-14).
- Excitation de KA1 par KM1 ou KM2 (53-54) et alimentation du relais temporisateur F3.
- Excitation de KM11 et KA2 par KA1 (67-68).
- Excitation de KM12 par KA2 (67-68).
- Elimination de F3 par KM12 (21-22).

##### Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Déclenchement F2, F3.
- Fusions fusibles.



#### IV.12.2 Listes des entrées/sorties

##### Entrées digitales

- Bouton stop S<sub>1</sub> ..... I1.
- Bouton start S<sub>2</sub> ..... I2.
- Bouton start S<sub>3</sub> ..... I3.
- Relais thermique F2 ..... I4.
- Relais thermique F3 ..... I5.

##### Sorties digitales

- Relais de réseau sens un KM1 ..... Q1.
- Relais de réseau sens deux KM2 ..... Q2.
- Relais de réseau sens deux KM11..... Q3.
- Relais de réseau sens deux KM12..... Q4.
- Relais internes ..... M1.
- Relais de temporisation .....T01, T02.

#### IV.12.3 Les différentes équations

$$KM1 = \overline{F2.F3.S1(S2 + KM1)}.KM2.$$

$$KM2 = \overline{F2.F3.S1(S3 + KM2)}.KM1.$$

$$Q1 = \overline{I4.I5.I1(I2 + Q1)}.Q2.$$

$$Q2 = \overline{I4.I5.I1(I3 + Q2)}.Q1.$$

$$M1 = \overline{I4}.\overline{I5}.\overline{I1} \Rightarrow Q1 = M1.(I2 + Q1).\overline{Q2}$$

$$M2 = \overline{I4}.\overline{I5}.\overline{I1}(I3 + Q2).\overline{Q1} \Rightarrow Q2 = M1.(I3 + Q2).\overline{Q1}$$

$$KA1 = (KM1 + KM2).$$

$$KM11 = (KM1 + KM2).KA1.$$

$$KA2 = (KM1 + KM2).KA1.$$

$$KM12 = (KM1 + KM2).KA2.$$

$$T01 = (Q1 + Q2).$$

$$Q3 = T01.T01.$$

$$\Rightarrow Q3 = T01.$$

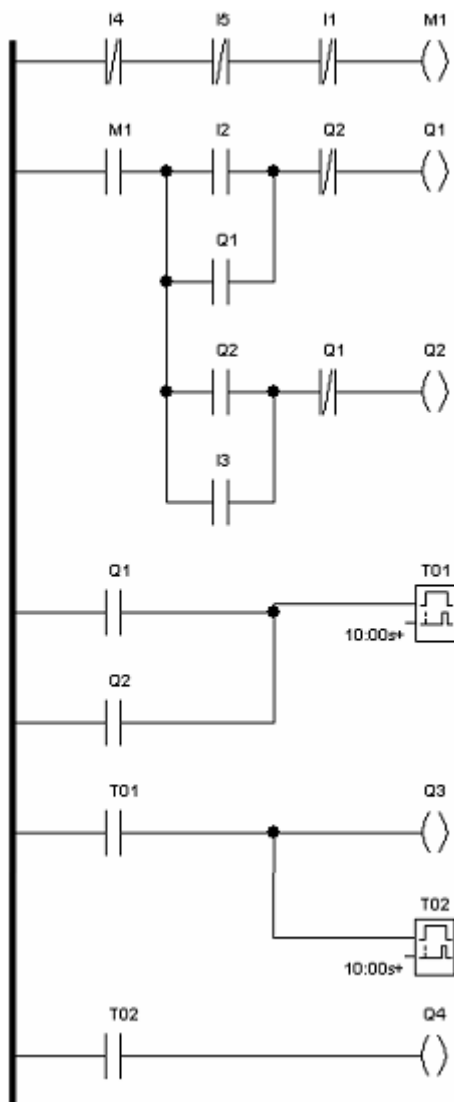
$$T02 = T01.T01$$

$$\Rightarrow T02 = T01.$$

$$Q4 = T01.T02.$$

$$\Rightarrow Q4 = T02.$$

IV.12.4 Schéma à relais



IV.12.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune



2<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton start S2



3<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA1 après 10s



4<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA2 après 10s



5<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton start S3



6<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA1 après 10s



7<sup>ème</sup> cas : fermeture de KA2 après 10s



8<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2



### IV.13 Moteur à démarreur centrifuge, (un sens de marche)

#### IV.13.1 Circuit de commande

##### Principe de fonctionnement

- impulsion sur S2.
- Fermeture de KM1.
- Auto maintien de KM1 (13-14).

Arrêt :

- Par impulsion sur S1.
- Par déclenchement du relais thermique F2.
- Par fusion des fusibles.

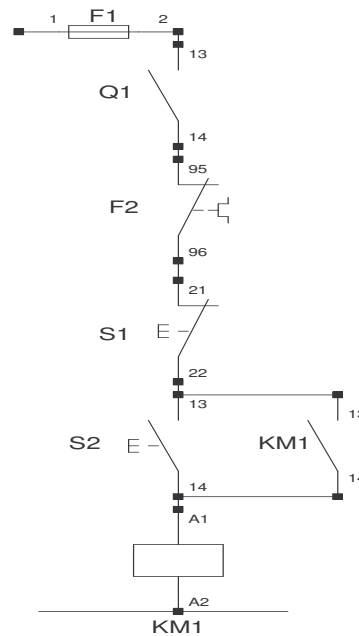
#### IV.13.2 Listes des entrées/sorties

##### Entrées digitales

- Bouton stop S1 ..... I1 ;
- Bouton start S1 ..... I2 ;
- Relais thermique F2 ..... I3.

##### Sorties digitales

- Relais de réseau KM1 ..... Q1 ;
- Relais internes ..... M1.



#### IV.13.3 Les différentes équations

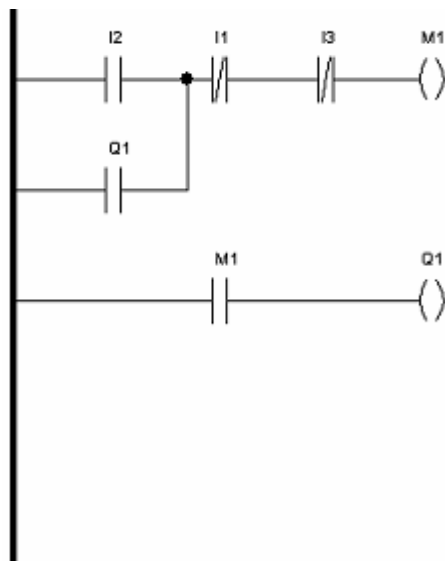
$$KM1 = \overline{F2} \cdot \overline{S1} (S2 + KM1).$$

$$Q1 = \overline{I3} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1).$$

$$M1 = \overline{I3} \cdot \overline{I1} (I2 + Q1).$$

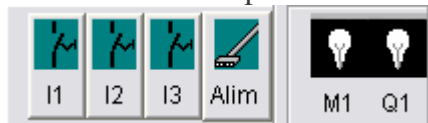
$$\Rightarrow Q1 = M1.$$

#### IV.13.4 Schéma à relais



#### IV.13.5 Simulation

1<sup>er</sup> cas : aucune impulsion.



2<sup>ème</sup> cas : impulsion sur le bouton start S2.



3<sup>ème</sup> cas : déclenchement par relais thermique F2.



4<sup>ème</sup> cas : l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.



#### **IV.14 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons élaboré une étude de simulation à l'aide du logiciel Elfalogique et nous sommes arrivés à mettre en évidence l'intérêt de l'utilisation des automates programmables industriels (API) pour expliquer le phénomène de démarrage des moteurs asynchrones triphasés.

## *Conclusion générale*

Les raisons qui expliquent la popularité croissante des API sont nombreuses. Nous indiquons ici les principales.

- L'API est flexible. Comme il est programmable, la modification de sa tâche est facile. Par contre, avec les systèmes de commande à relais réels, toute modification implique l'ajout ou le retrait de relais et la modification des raccordements. Cette opération comporte un risque élevé d'erreurs de branchement.
- La flexibilité de l'API est telle que lorsqu'un procédé n'est plus requis, on peut le démonter et le réinstaller pour commander un autre procédé complètement différent. Ceci serait impossible avec une armoire de commande à relais.
- L'API est beaucoup moins encombrant que l'armoire de commande à relais qu'il remplace. Par exemple, une unité centrale de traitement d'environ 0.1 mètre cube remplace des centaines de relais de commande et tout le câblage qui relie leurs contacts.
- De plus, l'API consomme beaucoup moins d'énergie et son fonctionnement est silencieux.
- L'API est beaucoup plus fiable que l'armoire de commande à relais.
- De plus, la fermeture et l'ouverture des contacts des relais, bien que rapides, nécessitent un certain temps. Il n'est pas sûr que ce temps reste le même d'un relais à l'autre. Surtout lorsque ces derniers sont usés. Dans certaines applications où la séquence de fermeture des contacts est importante pour la bonne marche du procédé. Ceci peut causer des erreurs de séquence comme ces erreurs sont aléatoires, elles sont très difficiles à diagnostiquer. Etant donné son mode de fonctionnement, l'API élimine ce problème.
- Finalement, le coût d'achat et d'installation d'un API est inférieur à celui d'une armoire de commande à relais, dès que l'API remplace une trentaine de relais de commande. Cette économie croît évidemment avec l'ampleur de système.

Parmi les inconvénients de l'utilisation des API, citons que leur mode de fonctionnement entraîne parfois des problèmes du type aléas de séquence. Ainsi, il se peut que l'ordre dans lequel on écrit le programme influence le comportement de la commande.

- Finalement, mentionnons que, d'une marque d'API à l'autre, une même fonction n'a pas nécessairement le même effet, ou ne produit pas exactement les mêmes résultats. Cet inconvénient vient du fait que les fabricants n'ont pas encore établi de standards communs.

Ainsi, chaque fois que l'on change de marque d'API, c'est important de consulter le manuel de programmation, afin de s'assurer de l'opération des fonctions. Ces différences ne sont pas

énormes, mais elles impliquent parfois de légères modifications dans le circuit de commande programmé.

L'objectif de ce travail est de voir l'intérêt de passage de la logique câblé à la logique programmé. Nous nous sommes préoccupés plus particulièrement du cas de démarrage des moteurs asynchrones.

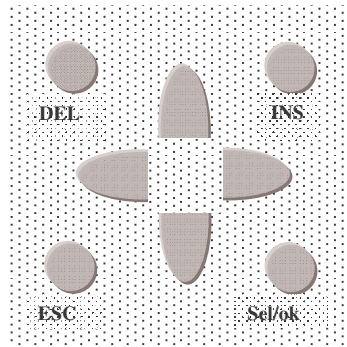
- Notre travail peut être étendu à l'étude de plusieurs applications.
- Comme perspectives à notre travail, on peut envisager l'emploi d'autre langage de programmation des API.

# ANNEXE 1

## CHARGEMENT DE PROGRAMME

Il existe deux possibilités de programmer le module logique zelio:

- Soit directement sur le produit à l'aide des touches fonction de produit,



- Soit à l'aide du logiciel zelio-soft.

Pour charger le programme, on suit la méthodologie (ou les étapes) suivantes :

- A la première mise sous tension le module propose de sélectionner le choix de la langue. Pour sélectionner une langue, appuyer sur les touches de navigation (Z1, Z3), puis valider par la touche « sel/ok»;
- Après avoir appuyé sur la touche « sel/ok», l'écran de visualisation affiche la menu principale. Il comprend 9 options:

1. REGLER J/H mettre à jour la date et l'heure courante.
2. PROGRAM. Saisir le schéma faisant fonctionner le module.
3. PARAMET. Possibilité de modification de certains paramètres du programme.
4. VISU Afficher les informations sélectionnées en mode RUN.
5. RUN/STOP Mise en marche/arrêt du programme.
6. CONFIG. Permet l'accès aux options de configuration:
  - Mot de passe (autorise l'accès à certaines fonctions),
  - Langue (choix du langage),
  - Filtre (modification des vitesses de commutation des entrées),
  - Touches (sélection des touches de navigation),
  - Aide (validation de l'aide en ligne).

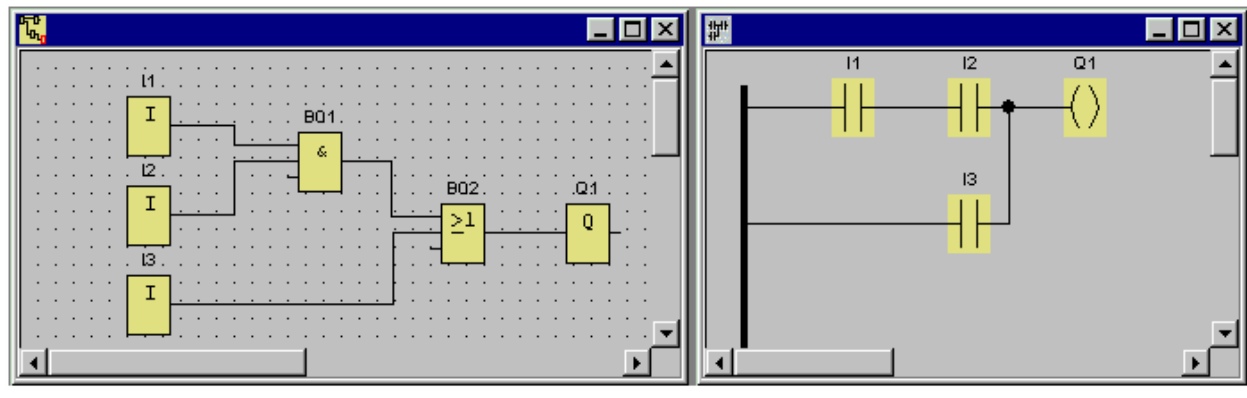
7. EFFAC.PROG Effacer la totalité du programme.
  8. TRANSFER. Transférer le programme.
  9. PROG.INFO. Description des instructions de programmation.
- Sélectionner le mode programmation dans le menu principal par les touches de navigation (Z1, Z3), puis appuyer sur la touche « sel/ok » ;
  - Après l'apparition fugitive de «LINE1», un carré clignotant noire apparaît, appuyer sur la touche « sel/ok»;
  - L'entrée I1 clignote, vous pouvez modifier le type de contact et le numéro de l'entrée à l'aide des touches de navigation (Z1, Z2, Z3, Z4), puis appuyer sur la touche « Sel/ok»;
  - Pour saisir le prochain contact, vous déplacer à l'aide des touches de navigation (Z2, Z4) et procéder de la même façon;
  - Positionner le curseur noir avec la touche de navigation (Z2) en fin de ligne (partie bobine); appuyer sur la touche « sel/ok»pour saisir la bobine. La bobine Q clignote; pour modifier si nécessaire le type et le numéro de sortie, utiliser les touches de navigation (Z1, Z2, Z3, Z4), puis valider par « sel/ok»;
  - Appuyer une nouvelle fois sur « sel/ok»pour se positionner sur le choix de la sortie, puis valider, les connexions s'effectuent automatiquement.

# ANNEXE 2

## Elfalagic Programming Tools V3.1

Dans l'Elfalagic Programming Tools V3.1 on a deux outils pour la création du schéma de connexions :

- Editeur CONT (schéma à relais)
- Editeur LOG (logigramme)



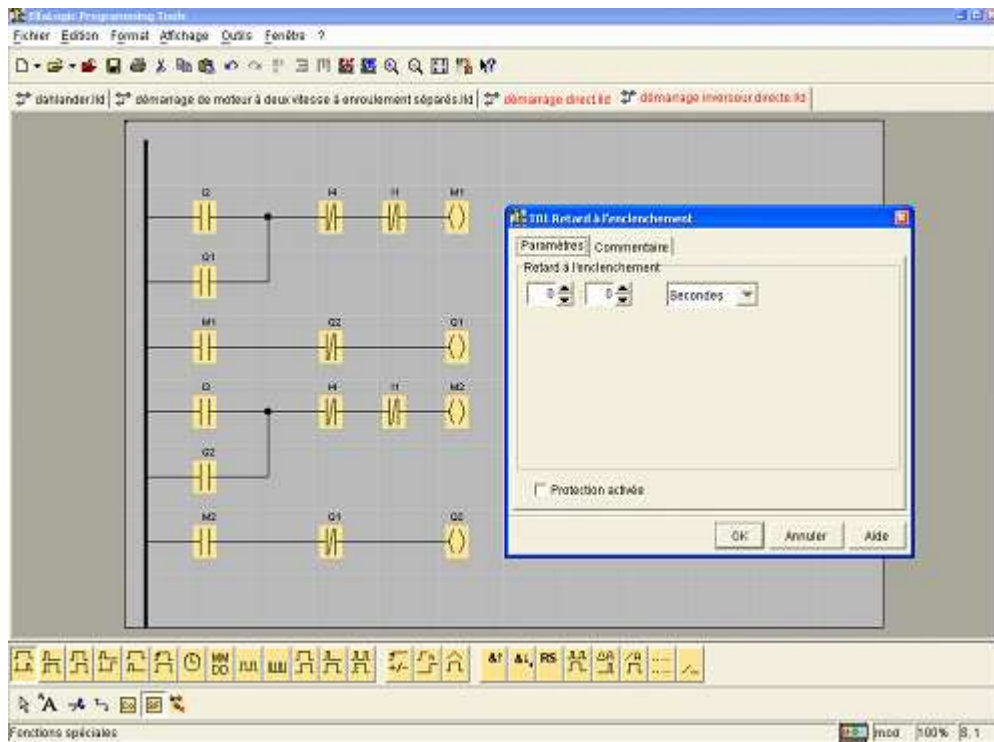
**Quel sera l'utilisateur du diagramme CONT ?**

L'habitué des schémas des circuits

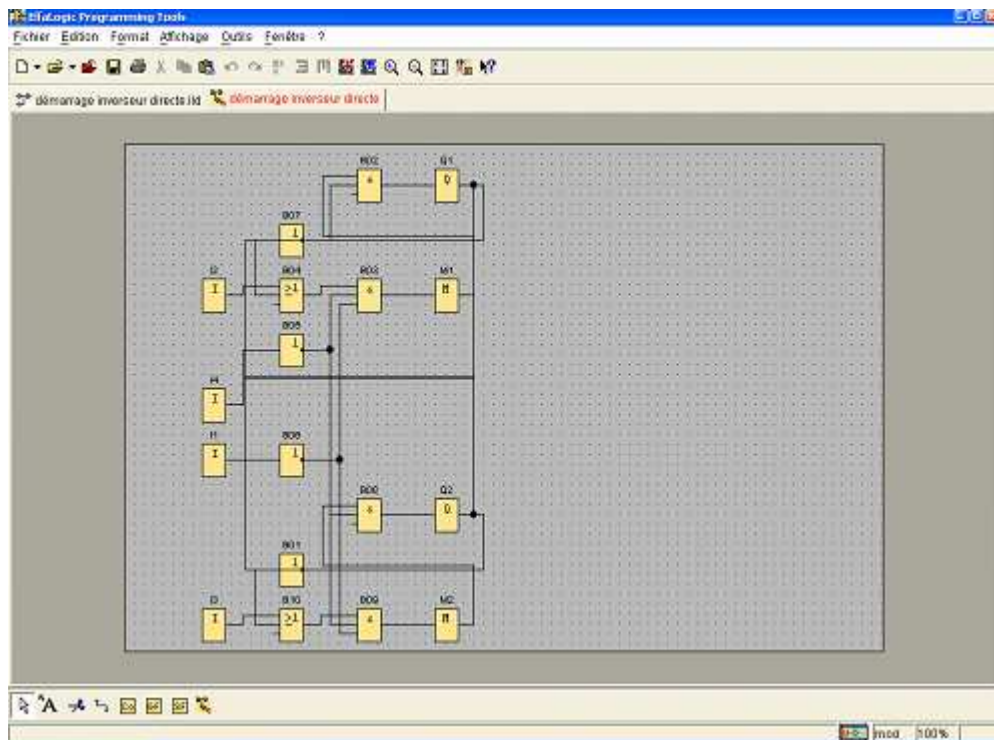
**Quel sera l'utilisateur du diagramme LOG ?**

Le programmeur familier des boites logiques de l'algèbre de booléenne

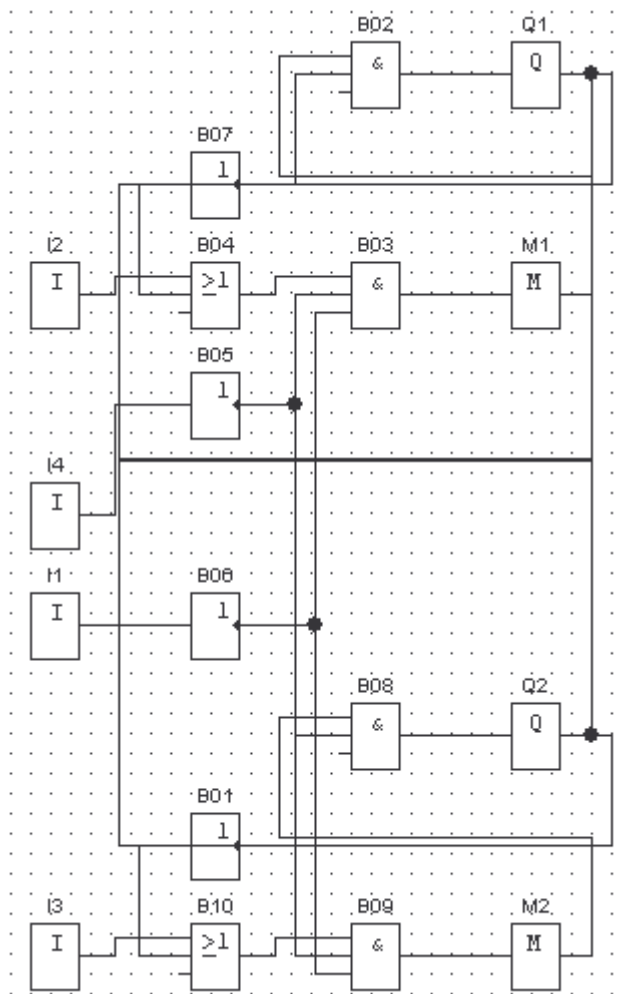
### Simulation de démarrage inverseur direct par Elfalagic "CONT" (schéma à relais)



### Simulation de démarrage inverseur direct par Elfalagic "LOG" (Logigramme)



Logigramme de démarrage inverseur direct



## *Bibliographie*

- [1] GUILLOSOU BERNARD :  
Technique numérique (série 1).
- [2] GUILLOSOU BERNARD :  
Technique numérique ; Automate programmable industriel (série 3).
- [3] F.CASTELLAZZI, Y.GANGLOFF, D.COIGNIEL:  
MEMOTECH, Maintenance industrielle, CASTEILLA, 1998.
- [4] Alain REILLER:  
Analyse et maintenance des automatismes industriels, ellipses, 1999.
- [5] TELEMECANIQUE :  
Schématique électrotechnique, 1986.
- [6] G.MICHEL:  
Les A.P.I. Architecture et applications des automates programmables industriels, 1988.
- [7] M.AUMIAUX, G.RODDE:  
Automatiser la production, 1988.
- [8] J.C.BOSSY, P.BRARD, P.FAUGERE, C.MERLAUD.  
«Le grafcet sa pratique et ses applications » Editons Casteilla.
- [9] C. CANUDAS :  
Schéma électrique, **1994**
- [10] J. P. CARON et J.P. HAUTIER :  
Modélisation et commande de la machine asynchrone. Editions Technip, Paris, **1995**.
- [11] FRANCAISE MILSANT :  
Machine électrique Berti édition, **1993**.
- [12] R.BOURGOIS, D .CONGNIEL MEMOTT :  
Electrotechnique **5<sup>ème</sup>** édition **1996**.
- [13] J.C.BOSSY, D.MERAT :  
Automatisme appliqués collection A .Capliez **1995**.
- [14] D.DANIC, R.LE VCARREC, D.BLIN:  
Automatique et informatique industrielle Edition casteilla paris **1997**.
- [15] ELECTROSYSTEME, première STI - H. Ney - édition Nathan technique **1996**.
- [16] DELVA, LECLERCQ, TRANNOY :  
Physique appliquée, terminale génie électrotechnique. Édition Hachette éducation 1994.
- [17] DIVERS DOCUMENTATIOS SUR WEB.