

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 AVEC UN LOGICIEL EN LANGAGE
GRAFNET**

Proposé et dirigé par:

Monsieur : *BELKHIRI Salah*

Présenté par :

TIAIBA Oussama

HALILOU Saif eddine

Année Universitaire: 2007 / 2008

Sommaire

Introduction générale	1
CHPITRE I : GENERALITE SUR L’AUTOMATISME	
I.1 Introduction	3
I.2 Les objectifs de l’automatisation	3
I.3 Technologies des automatismes	4
I.4 Les avantage des automates programmables	5
I.4.1 Pré étude, Devis	5
I.4.2 Etude du système.....	5
I.4.3 Construction du système.....	5
I.4.4 Mise en route.....	5
I.4.5 Fiabilité et maintenance.....	5
I.4.6 Evolution et modification.....	5
I.5 Structure générale d’un système automatisé.....	6
I.5.1 Acquisition dès données	6
I.5.1.1 Les Capteurs.....	7
I.5.1.2 Les caractéristiques des capteurs.....	9
I.5.1.3 Choix d'un capteur	10
I.5.2 Actions	10
I.5.3 Dialogue d’exploitation (homme/Système).....	11
I.5.4 Dialogue de supervision	11
I.5.5 Dialogue de programmation	11
I.5.6 Dialogue Homme/système	11
I.5.6.1 Roues codeuses	12
I.5.6.2 Clavier	12
I.5.6.3 Afficheur	12
I.5.6.4 Autre moyens	12
I.5.7 Traitement des données	12
I.5.8 Commande de puissance (pré actionneur).....	13
I.5.9 Protection du système	13
I.5.10 Alimentation en énergie.....	14
I.6 Domaines de l’automation	15
I.7 les solutions programmées	15
I.8 Conclusion.....	17

CHAPITRE II : AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL (API)

II.1 Introduction	19
II.2 Historique	19
II.3 Définition et caractéristique.....	20
II.3.1 Automate.....	20
II.3.2 Automate programmable industriel	20
II.4 L'architecture d'un automate programmable.....	21
II.4.1 L'alimentation	23
II.4.2 L'unité centrale (UC)	23
II.4.2.1 Notion de BUS	23
II.4.2.2 Le processeur	23
II.4.2.3 La mémoire	24
II.4.2.4 Le programme	26
II.4.2.5 Principe de fonctionnement de l'UC	27
II.4.2.6 Les interruption.....	27
II.4.3 Les modules d'Entrées/Sorties d'un API.....	28
II.4.3.1 Les signaux d'Entrées/Sorties.....	28
II.4.3.2 Les module d'Entrées/Sorties	29
II.4.4 Les module spécialisés	30
II.5 Périphériques d'un automate	31
II.5.1 Le simulateur	31
II.5.2 L'unité de dialogue en ligne (UDEL).....	32
II.5.3 Les console.....	32
II.6 Environnements d'un automate.....	32
II.6.1 Environnement physique et mécanique.....	32
II.6.2 Environnement chimique.....	33
II.6.3 Environnement électrique.....	33
II.7 Sécurité de fonctionnement.....	34
II.7.1 Sécurité de l'UC.....	34
II.7.2 Sécurité au niveau des échanges entre modules de CPU.....	34
II.7.3 Sécurité au niveau de l'alimentation.....	34
II.7.4 Sécurité des Entrées/Sorties.....	35
II.7.5 Technique de tolérance aux erreurs (Pannes).....	35
II.8 Langage des A.P.I	35
II.8.1 Langage littéraux	35

II.8.1.1 Langage liste d'instruction IL	35
II.8.1.2 Langage structuré S.T	36
II.8.2 Langages graphiques	37
II.8.2.1 Le langage de relais	37
II.8.2.2 Le langage à contacts (LADDER)	38
II.8.2.3 Le langage à logigramme	38
II.8.2.4 Le GRAFCET	39
II.8.2.4.1 Définition	39
II.8.2.4.2 Règles d'évolution	40
II.9 Les automates programmables face aux autres technologies	41
II.9.1 Choix d'un automate	42
II.10 Conclusion	43

CHAPITRE III : DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

III.1 Introduction	45
III.2 Généralité sur les moteurs asynchrones	45
III.2.1 Historique sur les machines asynchrones	45
III.2.2 Constitution des machines asynchrones	45
III.2.2.1 Le stator	46
III.2.2.2 Le Rotor	47
III.2.2.2.1 Rotor à bagues	47
III.2.2.2.2 Rotor à cage.....	47
III.2.2.3 Entrefer	48
III.2.3 Symboles	48
III.2.4 Propriétés et équations principales d'un moteur asynchrones	48
III.2.5 Couplage des moteurs asynchrones.....	49
III.2.6 Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone	49
III.2.6.1 Les avantages du moteur asynchrone	49
III.2.6.2 Les inconvénients du moteur asynchrone	49
III.2.7 Choix d'un démarreur.....	50
III.3 Démarrage des moteurs à cage	50
III.3.1 Constitution	51
III.3.2 Fonctionnement	51
III.3.3 Les modes de démarrage des moteurs à cage	52
III.3.3.1 Démarrage direct	52

III.3.3.2 Démarreur inverseur direct	53
III.3.3.3 Démarrage des moteurs à enroulements partages «part-winding»	54
III.3.3.4 Démarrage étoile –triangle	56
III.3.3.5 Démarrage statorique à résistances	57
III.3.3.5.1 Démarreur inverseur statorique	58
III.4 Démarrage des moteurs à bagues	59
III.4.1 Fonctionnement, Constitution	59
III.4.2 Les modes de démarrage des moteurs à bagues	60
III.4.2.1 Démarrage rotorique à résistances	60
III.4.2.1.1 Démarrage rotoriques (1sens de marche)	61
III.5 Conclusion	62

CHAPITRE IV : APPLICATION SCHEMA A GRAFCET

IV.1 Introduction	64
IV.2 Démarrage direct	64
IV.2.1 Circuit de commande	64
IV.2.2 Liste des Entrées/Sorties	64
IV.2.3 Simulation	64
IV.3 Démarrage inverseur direct	66
IV.3.1 Circuit de commande	66
IV.3.2 Liste des Entrées/Sorties	67
IV.3.3 Simulation	67
IV.4 Démarrage part-winding	70
IV.4.1 Circuit de commande	70
IV.4.2 Liste des Entrées/Sorties	70
IV.4.3 Simulation	70
IV.5 Démarrage « étoile –triangle» deux sens de marche	73
IV.5.1 circuit de commande	73
IV.5.2 Liste des Entrées/Sorties	73
IV.5.3 Simulation	73
IV.6 Démarreur inverseur statorique	80
IV.6.1 circuit de commande	80
IV.6.2 Liste des Entrées/Sorties	81
IV.6.3 Simulation	81
IV.7 Démarrage par élimination des résistances rotoriques (1sens de marche)	88

IV.7.1 circuit de commande	88
IV.7.2 Liste des Entrées/Sorties	88
IV.7.3 Simulation	88
IV.8 Conclusion	93
Conclusion générale	94
Annexe	
Bibliographie	

Introduction générale

La compétition économique que nous conéssons 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, mes 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 un exemple pratique 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 Automgen V8.009.

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

I.1 Introduction

Chaque fois qu'une machine ou un système fonctionne seul, nous disons Qu'il y a automatisme, s'il réalise des actions normalement assurées par l'homme.

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 des 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 et rigueur.

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 ses fonctions de base, puis on donne les Domaines de l'automation, les solutions programmées.

I.2 Les objectifs de l'automatisation [1]

La compétition économique entraîne les industriels à vivre en permanence dans un esprit de concurrence, qui oblige à toujours améliorer les performances en termes de quantité et surtout de qualité (d'où le maître mot de l'économie : rapport qualité/prix). L'automatisation des processus industriels a pour finalité de réaliser ces vœux. Ses objectifs principaux au nombre de

quatre sont complémentaires et liés. Ils peuvent s'énoncer ainsi :

- Produire à qualité constante.
- Fournir les quantités nécessaires.
- Augmenter la productivité.
- Améliorer les conditions de travail.

I.3 Technologies des automatismes [2]

Nous disposons de nombreux outils technologiques pour réaliser l'organe de commande de notre système que l'on regroupe habituellement en deux catégories fondamentales : les solutions, câblées et les solutions programmées, Le tableau (I.1) illustre une comparaison entre ces deux solutions :

Logique Câblée	Logique Programmable
<p>1-Toutes les fonctions technologiques (électromagnétiques, électroniques, pneumatiques...), sont câblées entre elles à partir d'un diagramme à caractère booléen.</p> <p>2-Faible capacité.</p> <p>3-Gros frais de reconversion des installations.</p> <p>4-Un automate à base d'une logique câblée est prévu pour des productions industrielles de mode répétitif.</p> <p>5-L'encombrement, le poids et le volume des composants sont des contraintes majeurs lorsqu'il s'agit de maîtriser des applications plus au moins complexes.</p> <p>6-Connexion figée, valable pour une seule application.</p> <p>7-Longueur de câble utilisée très importante.</p> <p>8-Mise au point difficile.</p> <p>9-Prix de revient (installation) coûteux.</p>	<p>1-Le programme est établi à partir d'un langage compris puis rangé suivant un ordre dans les mémoires. Ce programme est divisé en une succession d'ordre. Les fonctions logiques ne sont pas dépendantes du câblage mais sont reliées entre elles par un câblage binaire.</p> <p>2-Grâce à l'API, l'adaptation à une nouvelle fabrication est rapide.</p> <p>3-Moins coûteuse.</p> <p>4-L'automate étant ; modifiable à volonté, il est programmable.</p> <p>5-La flexibilité, la souplesse vis-à-vis de la mise au point de commande et de l'évolution de celles-ci et la performance font de la logique programmée, une solution préférable.</p> <p>6-Toutes les connexions sont en soft (logique).</p> <p>7-Gain en longueur de câble électrique.</p> <p>8-Diagnostic rapide :(recherche d'éventuelles pannes).</p> <p>9-Gain important en temps :(amélioration du taux de marche).</p>

Tab I.1 Comparaison entre la solution câblée et la solution programmée.

I.4 Les avantages des automates programmables [3]

Pour la réalisation d'un système d'automatisme, il faut considérer les avantages apportés par l'automate à tous les stades du projet.

I.4.1 Pré étude, Devis [3]

Le chiffrage d'une solution automate est particulièrement simple. Il suffit, en effet, de compter le nombre d'entrées et de sorties qui définissent la taille du système.

I.4.2 Etude du système [3]

L'utilisation d'un automate permet de réduire au minimum le temps d'étude de la partie électrique d'un système. Le concepteur peut en effet attendre que le processus soit bien défini pour réaliser le programme de l'automate au dernier moment. De plus pas de plans d'implantation ni de câblage électrique compliqués.

I.4.3 Construction du système [3]

Le montage-câblage est réduit au minimum avec un automate. Il suffit de raccorder seulement les entrées et les sorties. Dans ce cas nous n'avons pas de tôlerie spéciale.

I.4.4 Mise en route [3]

La mise en route d'un système comporte toujours certains imprévus. Y remédier est simple avec l'automate : aucune modification de câblage, de plans, pour adjonction de dernière minute : quelques modifications de programme seulement.

I.4.5 Fiabilité et maintenance [3]

Le système d'automate est compact ou modulaire. Le changement d'un élément demande quelques minutes.

La fiabilité du système est accrue par rapport aux systèmes câblés traditionnels (moins de composants, moins de connexions).

I.4.6 Evolution et modification [3]

La modification de fonction ou l'adjonction des fonctions supplémentaires n'oblige pas une intervention de câblage. Seul le programme est à modifier et cela peut se faire sans arrêter l'ancien système.

I.5 Structure générale d'un système automatisé [4]

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 destinée :

- 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 procédé, aux matières d'œuvre, aux temps de production, à la consommation énergétique... (Gestion technique).

Le schéma ci-dessus représente cette structure.

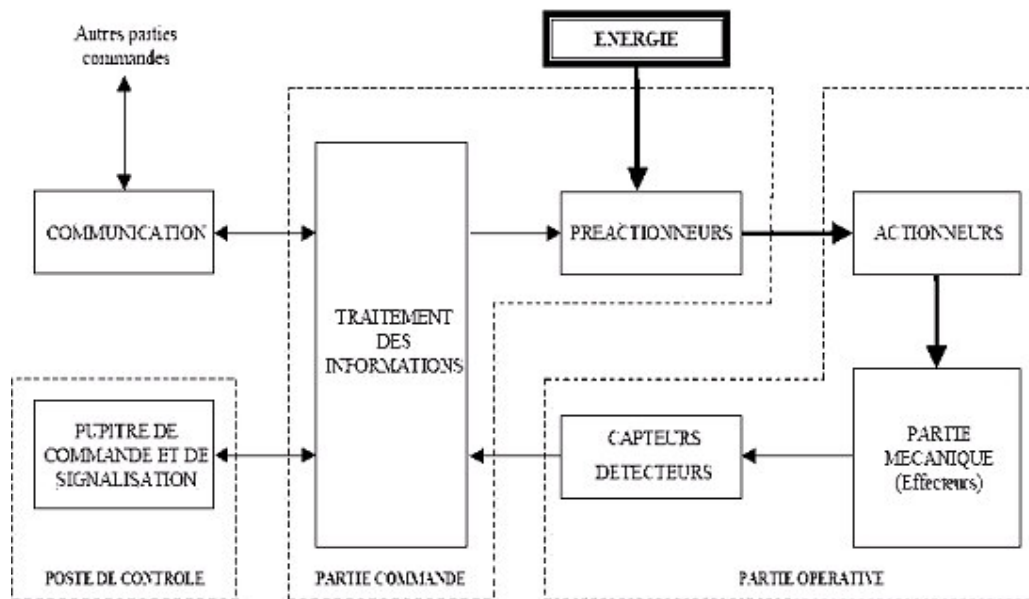


Fig. I.1 Schéma d'un système automatisé

I.5.1 Acquisition des données [5]

L'automatisation d'une machine ou d'une installation nécessite la prise en compte permanent 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.

I.5.1.1 Les Capteurs [1]

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique (Information entrante) une autre grandeur physique de nature différente (Informations sortantes) (très souvent électrique). Cette grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

La Nature des informations physiques appréhendées par les systèmes techniques
Parmi les informations de toutes natures issues de notre environnement, on distingue les grandeurs physiques associées à des événements climatiques, géométriques ou encore lumineux ou temporels.

Le rôle du capteur est de rendre exploitable ces différentes grandeurs physiques en vue de leur traitement ultérieur.

- Mesure de présence : Indique la présence d'un "objet" à proximité immédiate ;
- Mesure de position, de déplacement ou de niveau : Indique la position courante d'un objet animé d'un mouvement de rotation ou de translation.
- Mesure de vitesse : Indique la vitesse linéaire ou angulaire d'un "objet".
- Mesure d'accélération, de vibrations ou de chocs.
- Mesure de débit, de force, de couples, de pressions.
- Mesure de température, d'humidité.

La diversité des informations physiques à capter et leurs importances au sein d'un système engendrent un choix cohérent et approfondi des capteurs.

La Relation entre l'information à détecter (ou capter) et de son image physique. Le capteur évite à l'homme de s'astreindre à guetter les événements ou phénomènes attendus sur le système.

Les capteurs utilisés dans les systèmes automatisés sont de véritables "organes des sens". Ils engendrent, après traitements électroniques ou programmés, les actions requises sur la partie opérative du système étudié. La grandeur électrique de sortie du capteur peut varier :

- de manière binaire (information vraie ou fausse), c'est le capteur Tout ou Rien (TOR).
- de façon progressive (variation continue), c'est le capteur analogique.
- d'échelon de tension ou de courant, c'est le capteur numérique.

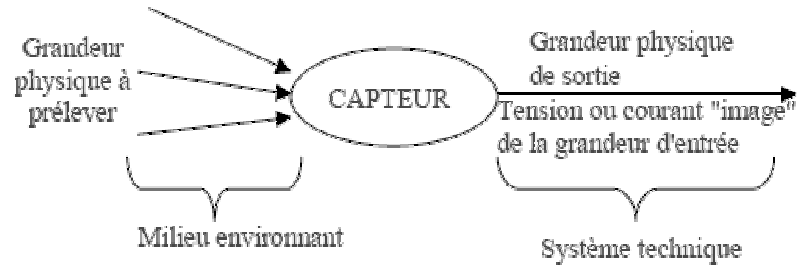


Fig. (I.2) Principe de fonctionnement d'un capteur.

Le capteur TOR [1], [5]

Ces capteurs génèrent une information électrique de type binaire ("0" ou "1", vraie ou fausse) qui caractérise le phénomène à détecter ou capter. On distingue les capteurs TOR avec ou sans contact physique vis-à-vis de l'objet à détecter.

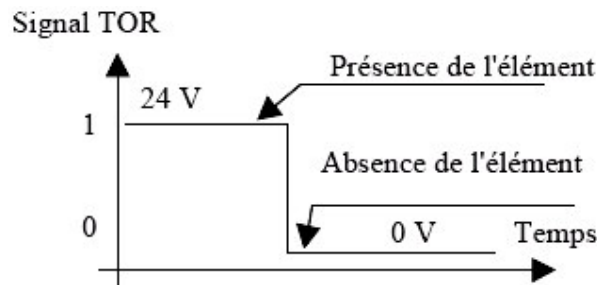


Fig. (I.3) Mode de sortie d'un capteur TOR

Les Capteurs TOR sont les capteurs les plus répandus en automatisation (interrupteurs de position, détecteurs de proximité ...).

Le Capteur analogique [1], [5]

La grandeur électrique délivrée par ce type de capteur est en relation directe avec la grandeur physique à capter. La caractéristique de transfert de ce type de capteur est linéaire dans les cas les plus fréquents (proportionnalité entre la grandeur physique mesurée et le signal délivré). Dans le cas d'une caractéristique non linéaire, le traitement électronique de l'information de sortie du capteur sera plus complexe (linéarisation programmée ou intégrée au capteur dans le cas de capteurs plus sophistiqués).

Il traduit des valeurs de température, de position, de pression ... sous forme d'un signal évoluant entre deux valeurs limites.

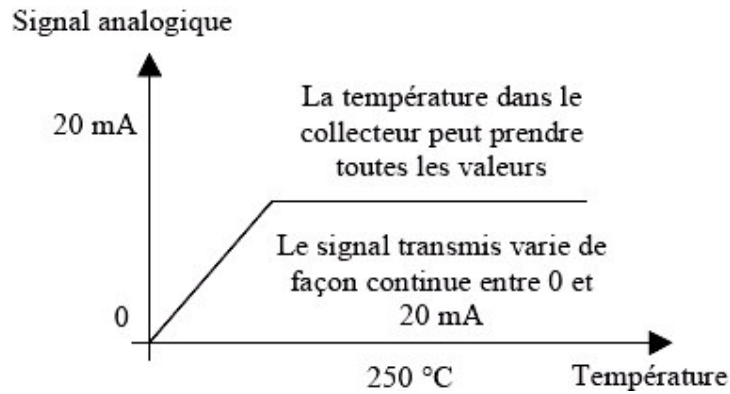


Fig. (I.4) Mode de sortie d'un capteur analogique.

Le Capteur numérique [4]

Ce type de capteur délivre en sortie une information électrique à caractère numérique, image de la grandeur physique à mesurer, c'est-à-dire ne pouvant prendre qu'un nombre limité de valeurs distinctes.

L'évolution étant à la miniaturisation et vers les traitements électroniques micro programmée, ces capteurs quoique encore relativement coûteux sont appelés à se développer.

L'information délivrée par ces capteurs peut être représentée par :

- Soit un signal électrique périodique (signal "carré") à période variable caractérisant la grandeur physique à capter.
- Soit un signal numérique codé sur (n) variables binaires caractérisant la grandeur physique le protocole de codage étant défini par le fabricant du capteur.

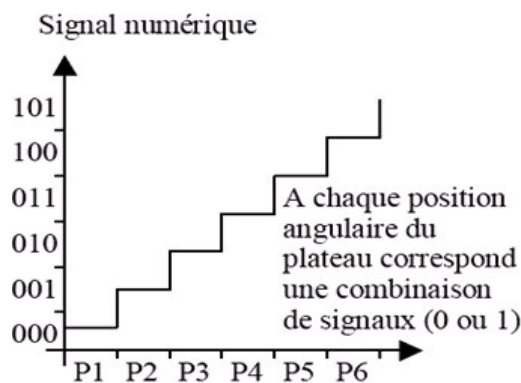


Fig. (I.5) Mode de sortie d'un capteur numérique

I.5.1.2 Les caractéristiques des capteurs [1]

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.

Les principales caractéristiques des capteurs sont :

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.

I.5.1.3 Choix d'un capteur [6]

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 d'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 (MT BF).
- La nature du signal délivré par le capteur (électrique, pneumatique) ;
- Son prix...

I.5.2 Actions [4]

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 intervenants elle sera traitée par le responsable de la PC ou par celui de la PO.

I.5.3 Dialogue d'exploitation (homme/Système) [5]

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, voyants, afficheurs, etc.
- Des composants (constituants) d'exploitations tels que : claviers d'exploitation écrans de contrôle amovibles, terminaux d'exploitation des automates programmables.

I.5.4 Dialogue de supervision [4]

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 en général de type SERIE (asynchrone ou synchrone).

I.5.5 Dialogue de programmation [4]

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.

I.5.6 Dialogue Homme/système [4]

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

I.5.6.1 Roues codeuses [4]

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).

I.5.6.2 Clavier [4]

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.

I.5.6.3 Afficheur [4]

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.

I.5.6.4 Autre moyens [5]

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.

I.5.7 Traitement des données [5]

L'ensemble des informations saisies par les capteurs est transmises 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.

I.5.8 Commande de puissance (pré actionneur) [5]

Ils servent à mettre en service ou hors service un actionneur, une machine ou une installation. Ils permettent d'assurer en toute sécurité, la bonne marche d'un équipement.

Les signaux disponibles à la sortie de l'unité de traitement (variable de sortie) sont appliqués aux circuits de commande d'organes amplificateurs (bobine de relais, de contacteurs, distributeurs. etc.....), dont le circuit puissance alimente les actionneurs (moteurs, vérins, etc.....). Ces amplificateurs sont choisis en fonction de technologie retenue, de la puissance des actionneurs et de leurs conditions de fonctionnement.

Les principaux amplificateurs (ou actionneurs) sont :

Appareils de sectionnements : ils permettent l'isolation ou la mise sous énergie d'un système, ils sont toujours à commande manuelle et interviennent sur un circuit à vide (c'est-à-dire aucun actionneur alimenté par ce circuit ne fonctionne), Ex : sectionneur.

Appareil de commutation : ils permettent de mettre un actionneur sous ou hors énergie, ils peuvent être à commande manuelle ou à commande automatique et interviennent sur un circuit à vide ou en charge (c'est-à-dire lorsqu'un ou plusieurs actionneurs, alimentés par ce circuit, fonctionnent), Ex : contacteur, démarreurs, variateurs de vitesse, etc.

I.5.9 Protection du système [5]

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 : fusible.
- 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.

I.5.10 Alimentation en énergie [1], [7]

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 :

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.

Pneumatique : produite par un compresseur entraîné par un moteur, c'est pour alimenter les machines fonctionnant avec un automatisme simple.

Hydraulique : produite par une pompe entraînée par un moteur, c'est lorsque les puissances mises en jeu par les actionneurs sont importantes.

I.6 Domaines de l'automatisme [3]

Commande de machines et d'installation : C'est le domaine principal d'application des automates programmables industriels et c'est dans ces domaines qu'ils jouent le rôle principal dans la commande. On parle de commande d'installation lorsque les appareils sont fixés au bâtiment où en font partie. Ces commandes ont plutôt de grandes capacités en signas, mais le processus est relativement lent. Exemples : installations de chauffages, d'éclairage, de transport.

Robotique : La robotique fait l'objet de commandes spécifiques. Elles sont spécialisées dans le positionnement d'axes ont de grandes capacités de calcul pour réaliser des déplacements divers. Leurs langages et moyens de programmation divers à la mise en œuvre des robots. Les petites fonctions de commande directement liées au robot sont également réalisables. Pour des fonctions plus complexes, il faut faire appel à un automate programmable qui peut être sous forme de modules compatibles à la commande du robot.

Régulation : On rencontre des AP qui offrent, au niveau du jeu d'instruction, des fonctions de régulation (PID par exemple) toutes faites. Si ce n'est pas le cas, on peut les réaliser à partir de fonctions mathématiques, si elles existent. L'automate doit généralement recevoir des signaux pour la surveillance et la signalisation. Il est donc intéressant de réaliser également la régulation à partir de ces signaux déjà captés.

Communication et traitement de données : Elle permet l'échange d'informations entre un robot, un programmable, une commande d'axes, etc. La mémorisation et traitement de données sont généralement réalisés par un ordinateur qui devra forcément communiquer avec les différentes commandes d'une installation automatisée.

Commande d'axes : C'est un problème de régulation particulier de part sa vitesse de traitement et la précision de positionnement. C'est en fait le problème résolu dans les commandes de robots et les commandes numériques.

Dans une application complexe, plusieurs domaines se côtoient et s'interfèrent.

I.7 les solutions programmées [3]

Un automatisme utilisant la logique programmée se présente sous la forme d'un ordinateur, d'un micro-ordinateur ou d'un automate programmable. Son fonctionnement dépend du programme enregistré dans une mémoire. Elles éliminent tous les relais auxiliaires, les relais temporisés, les pendules et toute la filerie assurant les liaisons entre ces différents éléments.

L'encombrement se trouve réduit et la recherche de panne est facilitée. Il ne reste dans l'armoire électrique que :

- L'automate programmable.
- Les sectionneurs.
- les pré-actionneurs (contacteur, discontacteurs).
- les fusibles.
- les transformateurs (si commande en **24V**).
- le bornier.

Inconvénients

- Utilisation d'un personnel formé à cette technologie ;
- Il n'y a peu ou pas de gain de place dans l'armoire électrique, lorsque le fonctionnement est simple (peu de relais).
- le coût de la réalisation reste élevé si le fonctionnement de l'installation est simple.

Avantages

- encombrement de l'armoire électrique réduit lorsque la complexité de l'installation augmente.
- main-d'œuvre réduite lors du câblage.
- terminal de programmation pouvant être commun à plusieurs automates.
- modifications possibles sans intervention sur le câblage (à partir d'un terminal de programmation).
- dialogue avec l'installation (diodes électroluminescentes, terminal de programmation, imprimante, etc.).

I.8 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 retiendrons :

- 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 offrent une alternative technologique à l'automaticien, et lui ouvrent des possibilités nouvelles liées à la puissance de traitement des données. Parmi ces solutions programmées est le 'API' (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.

II.1 Introduction

Pour réaliser la partie commande d'un automatisme industriel, on dispose d'un certain nombre de moyen technologiques : il y a bien sûre les relais électromagnétiques, les cellules logique pneumatiques, électriques ou électroniques et les séquenceurs. L'ensemble de ces outils constitue le domaine de la logique câblée. Il y a par opposition la logique programmée, famille dans laquelle on trouve les mini-ordinateurs et les microprocesseurs mais étant chers et non adaptés aux contraintes du monde industriel, et c'est la cause d'apparition l'automate programmable industriel (ou **Programmable Logic Controller PLC**).

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 [3], [6]

Le premier est apparu en 1969 aux Etats Unis sur une demande de Ford pour remplacer les grosses armoires à relais des chaines de la construction automobile. La réponse vint d'ALLEN BRADLEY. La NASA fait en suite un appel d'offres sur le même thème auquel MODICON répondit. Sa date de création coïncide avec le début de l'ère du microprocesseur et avec la généralisation de la logique câblée modulaire. Le premier automate français fût le PB6 de MERLIN GERIN en 1971, suivi d'ALSPA.

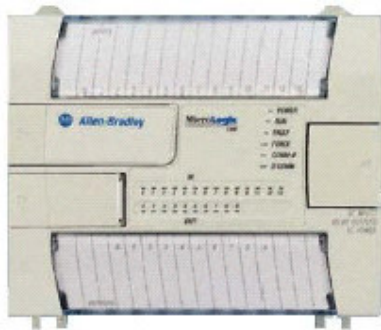


Fig II.1 Automate compact
(Allen-bradley)



Fig II.2 Automate modulaire
(Modico)

II.3 Définition et caractéristiques

II.3.1 Automate [3]

Selon le dictionnaire : l'automate est une machine qui imite le mouvement d'un être animé. Au sens figuré : homme sans volonté qu'on fait agir comme on veut. L'interprétation serait plutôt entre les deux : machine que l'on fait agir comme veut et qui imite les décisions systématiques d'un homme.

II.3.2 Automate Programmable Industriel (API) [3]

L'automate programmable industriel est une commande conçue autour d'un microprocesseur. Sa conception et son langage de programmation sont spécialement adaptés aux contrôles de processus industriel. L'abréviation PLC de l'Anglais "Programmable logical Controller". Sa définition est donnée par la norme NFC 63-850 :

« Appareil électrique qui comporte une mémoire programmable par un utilisateur automatique (non informaticien) à l'aide d'un langage adapté, pour le stockage interne des instructions composant les fonctions d'automatisme comme par exemple :

- Logique séquentielle et combinatoire.
- Temporisation, comptage, décomptage, comparaison.
- Calcul arithmétique.
- Réglage, asservissement, régulation, etc. pour commander, mesurer et contrôler au moyen de modules d'entrées et de sorties (logique, numérique, ou analogique) différentes sorties de machines ou de processus, en environnement industriel ».

Les automates programmables industriels sont des équipements électriques à câblage interne indépendant du processus à commander. L'automate programmable industriel est adapté à la machine ou à l'installation à commander au moyen d'un programme qui définit le mode de déroulement des opérations souhaité et d'un câblage direct entre les éléments d'entrée et de sortie de l'automate.

Les éléments d'entrée sont par exemple des auxiliaires de commande, des contacts de fin de course, des détecteurs de proximité mais aussi des tensions analogiques ou des détecteurs de courant (signaux en retour de la machine, signaux de commande issus du pupitre). Les

contacteurs, électrovannes, dispositifs de couplage, lampes, etc. sont des éléments de sortie (signaux de commande émis vers la machine, signaux de visualisation vers le pupitre).

Le nombre d'instructions traitées varie d'un automate à l'autre. Le programme est introduit à partir d'une console de programmation. Le jeu d'instruction d'un automate est orienté vers les problèmes de logique et vers les systèmes à évolution séquentielle.

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.

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 déterminent de la logique câblée et des microprocesseurs. Les produits de type cartes à microprocesseurs n'ont pas eu les développements espérés.

La situation actuelle se présente de la manière :

- le plus gros API : 10 processeurs, 10000 entrées/sorties est le MDICON 584.
- le plus petit API : 1 processeur, 1 bit, 16 entrées/sorties est le TEC 16.

II.4 L'architecture d'un automate programmable [2], [8], [6]

Un automate programmable se présente sous la forme d'un ensemble de cartes ou circuits imprimés sur lesquels sont montés des composants électriques intégrés. La structure d'un automate ressemble étrangement à celle d'un micro-ordinateur. Comme chaque fabricant a sa propre conception, on peut difficilement donner une structure précise qui est valable pour tous les types d'automates. Les éléments principaux que l'on rencontre toujours sont :

- Les blocs d'alimentation.
- Une unité centrale.
- Les modules d'entrées/sorties (ou d'interfaces d'entrées /sorties).
- Les modules spécialisés.
- Une console de programmation.

En règle générale, les automates sont conçues pour être modulaires. notamment, le nombre d'entrées et de sorties peut être augmenté (dans la limite de la capacité de l'API) tous les éléments (unité centrale, alimentation, cartes d'entrées, cartes de sorties, etc.) s'encastrent dans

un rack. Les racks sont constitués d'une structure métallique. Ceux-ci sont installés en générale à l'intérieur des armoires électriques. Il est possible d'utiliser plusieurs racks en fonction du nombre d'entrées/sorties à gérer.

Les cartes sont logées dans des paniers ou bacs qui les protègent mécaniquement, les connexions entre cartes sont réalisées par un circuit imprimé appelé bus, à l'arrière des bacs.

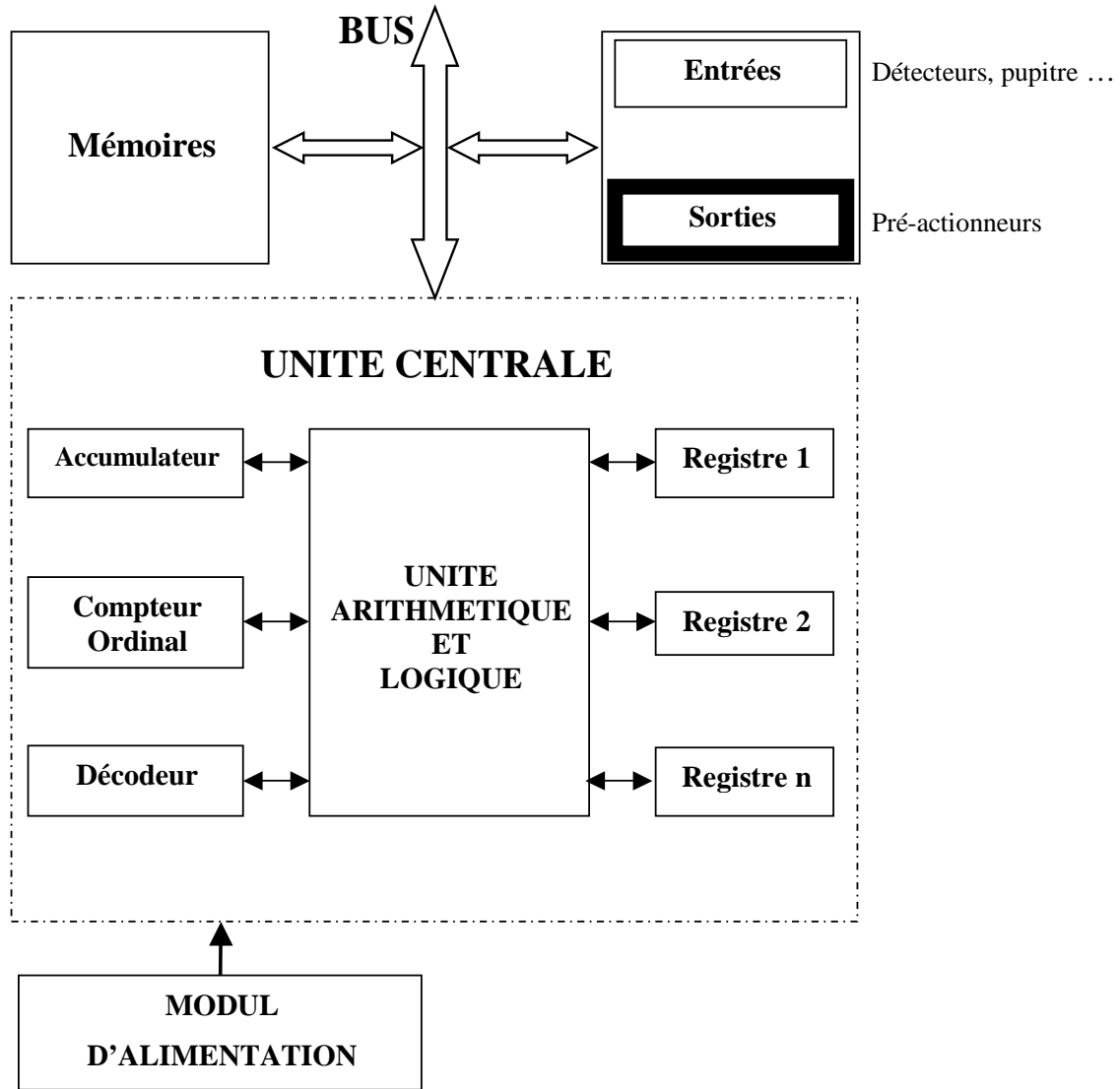


Fig II.3 Structure interne d'un API et de son organisation autour du BUS

II.4.1 L'alimentation [3]

Elle fournit une tension stable pour le fonctionnement du processeur, des modules d'entrées/sorties et de la mémoire. Les blocs d'alimentation permettent de fournir à l'automate l'énergie nécessaire à son fonctionnement. À partir d'une alimentation en 220V alternatif fournie par le réseau, ces blocs délivrent des sources de tension continues exigées par les composants électriques dont l'automate a besoin 24V, 12V ou 5V.

En règle générale, un voyant positionné sur la façade indique la mise sous tension de l'automate.

II.4.2 L'unité centrale UC [3]

Elle représente le cœur de la machine et comprend le ou les processeurs (unité de traitement logique ou numérique) et la mémoire.

II.4.2.1 Notion de BUS [3]

L'unité centrale (UC) est le siège de flux permanent d'informations empruntant un chemin commun. Le BUS, qui relie entre elles toutes les unités fonctionnelles : mémoires, processeur, coupleurs d'E/S. Matériellement le BUS se présente comme un circuit imprimé situé en fond de panier. Sur le BUS, à chaque instant, se trouvent 2 types d'informations :

- Les informations traitées.
- Les informations de service : adresse, synchronisation, control de BUS.

L'ordre de grandeur du débit sur ce BUS est de 10 MOctets/s. Pour accroître les performances, certains systèmes disposent d'un BUS secondaire d'E/S pour les échanges avec l'extérieur (typiquement 5 Mbit/s).

II.4.2.2 Le processeur [2], [3]

C'est le moteur de l'automate programmable qui lit et interprète en permanence et à grande vitesse les états logiques des signaux en provenance des capteurs périphériques (entrées), en fonction du programme stocké dans la mémoire et le moment venu, il élabore et transmet les ordres de sortie vers les actionneurs.

Les circuits à relais ont un temps de réponse lié au collage et décollage des contacts. Les éléments électroniques présentent un temps de basculement. L'automate programmable a un

temps de réponse fonction du temps de cycle. Le temps de lecture du programme est évidemment fonction du nombre des informations, mais dans la plupart des cas, il est de l'ordre de quelques millisecondes (<10ms). De ce fait, toute modification de l'état d'une entrée engendre presque instantanément un signal de sortie.

Appelé unité de traitement (UT) ou unité arithmétique et logique (UAL). Il assure le contrôle de l'ensemble de la machine et effectue les traitements demandés par les instructions du programme. Il réalise les fonctions logiques ET, OU, etc., les fonctions de temporisation, de comptage, de calcul, etc. Le processeur comporte un certain nombre de registres qui sont des mémoires associées à des circuits logiques. Le processeur comprend :

- Un compteur ordinal (pointeur).
- Des registres.
- Un accumulateur.
- Un décodeur.

Il est connecté aux autres éléments, tels que la mémoire et les interfaces entrées/sorties, par un certain nombre de liaisons parallèles appelées BUS ou cheminent les informations sous forme de bits (0,1).

Le processeur est géré par le programme système appelé aussi FIRMWARE. Le module CPU supporte des éléments internes tels des indicateurs, des temporisateurs, des compteurs et des registres de données. Les différents éléments sont accessibles au programme systèmes par l'intermédiaire d'un BUS interne. Un compteur de programme pointe les instructions successives à effectuer au fur et à mesure du déroulement du programme.

Le CPU a différents modes de fonctionnement : RUN, STOP, PROGRAMMATION, etc. Pour la programmation et autre manipulations, une console de programmation doit être branchée au CPU.

II.4.2.3 La mémoire [2], [3]

Un bit : abréviation anglaise signifiant chiffre qui désigne une variable logique caractérisée par 0 ou 1.

Un mot : association de bits qui peuvent être utilisés indépendamment ou exprimer un nombre écrit en binaire. Le mot mémoire des automates comporte généralement 8, 12, 16, 32 bits.

Une mémoire est caractérisée par la longueur d'un mot exprimé en nombre de bits et par le nombre de milliers de mots qu'elle peut contenir. La capacité de la mémoire des automates programmables est variable, de 0.25 kmots à 16 kmots (k = 1 kilo mots = 1024 mots).

Ce sont les composants électriques assurant la mémorisation du programme, des données et des actionneurs. Elles contiennent en premier lieu le programme utilisateur. Ce programme introduit par l'utilisateur, décrit toutes les fonctions que l'automate est en mesure de réaliser. Selon les applications, la mémoire peut aussi contenir des textes et des données.

- Les mémoires VIVES (RAM) :

Contraction de Random Access Memory pour mémoire à accès aléatoire. Ces mémoires sont volatiles, c-à-d qu'elles perdent les informations qu'elles contiennent en cas de coupure l'alimentation. Certaines de ces mémoires, pour éviter ces problèmes sont équipées de batteries qui sauvegardent les informations dans la limite de leur autonomie. Ces mémoires acceptent la lecture, l'écriture, les modifications, l'effacement de façon illimité.

- Les mémoires MORTES :

Le contenu de ces mémoires est figé. Ce sont des mémoires à lecture. Les informations sont conservées en permanence sans source auxiliaire.

Les mémoires *ROM* : Contraction de Read Only Memory pour mémoire à lecture. Ce sont des mémoires programmées par le fabricant et ineffaçable.

Les mémoires *PROM* : Programmable Read Only Memory pour mémoires programmables à lecture. Ce sont des mémoires vendues vierges. Elles se programment à partir d'un programmeur de *PROM*.

Les mémoires *EPROM* ou *EEPROM* : Erasable Programmable Read Only Memory pour mémoire reprogrammable à lecture. Ces mémoires sont utilisables plusieurs fois (écriture/effacement). L'effacement s'obtient en soumettant la fenêtre située au dessus du circuit intégré à un rayon ultra-violet, le temps d'effacement est compris entre 10 et 30 minutes. Ces mémoires ne peuvent être reprogrammées qu'après effacement total.

Les mémoires *EEPROM* : contraction d'Electrical Erasable Programmable Read Only Memory pour mémoire programmable effaçable électriquement. Ce sont des mémoires à lecture et leur contenu être effacé électriquement pour être reprogrammé.

Les mémoires *EAROM* : contraction d'Electrical Alterable Read Only Memory. Ces mémoires sont non volatiles et peuvent être effacées électriquement, mot à mot.

II.4.2.4 Le programme [3]

Le programme est une suite d'instructions placées dans la mémoire. Les instructions sont repérées, comme pour les données par leurs adresses. Une instruction se compose de :

- Un code d'opération (CP) : y est précisé que doit faire la machine.
- Une adresse opérande (AO) : y est précisé quoi porte l'instruction.

Une instruction peut concerner deux opérandes. Dans ce cas, l'adresse de l'un d'eux est implicite : le plus souvent, il s'agit de l'accumulateur.

Dans la machine, l'élément d'information est le bit. N bits permettent de coder 2^n combinaisons. Pour représenter une instruction en machine, il faut associer plusieurs bits : le mot. Ainsi, dans le cas d'une machine d'un mot de 16 bits, nous pourrions avoir 4 bits pour le CO (donc 16 instructions) et 12 bits pour l'AO (donc 4096 positions mémoires soit 4 kmots).

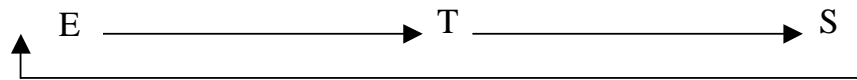
Le jeu d'instructions représente les fonctions de base à disposition pour réaliser la commande. De nombreuses fonctions n'existant pas dans le jeu d'instructions peuvent être réalisées au moyen de fonctions plus rudimentaires.

Les fonctions minimales qu'offre un automate programmable aujourd'hui sont les combinaisons logiques, les temporisations et les comptages. De nombreuses autres fonctions peuvent être réalisées en utilisant ces combinaisons logiques.

La majorité des automates actuels sont basés sur la notion de déroulement cyclique des instructions placées en mémoire.

Un cycle de traitement consiste tout d'abord en une prise en compte des entrées qui seront alors figées pour tout le cycle, puis l'automate exécute instruction par instruction jusqu'à la fin de la mémoire. Les commandes à appliquer sont alors définies et peuvent donc être placées sur les sorties. Le cycle se produit ainsi indéfiniment. Il est donc à noter qu'à chaque cycle tout le programme est exécuté. Par ailleurs lorsqu'il existe des instructions de saut (ou branchement), celles-ci ne permettent que d'incrémenter le compteur ordinal. Cette notion aura un impact important sur les méthodes d'implantation des systèmes séquentiels.

La succession « prise en compte des Entrées (E) – Traitements (T) – affectation des Sorties (S) » correspond à un cycle synchrone vis-à-vis des Entrées/Sorties. C'est la forme la plus classique qui présente le moins de risques d'aléas de fonctionnement.



II.4.2.5 Principe de fonctionnement de l'UC [3]

Compte tenu du principe de déroulement cyclique, la mémoire est pilotée par un compteur ordinal qui peut être un simple compteur. Pour les automates réalisant des sautes complexes, celui-ci s'intègre au processeur et devient un registre. Un registre est une petite mémoire dans laquelle un mot binaire est conservé provisoirement en attendant son exploitation dans le système.

La mémoire ne contient que des instructions qui se scindent en deux blocs : Une partie code opératoire, est dirigée vers le processeur ; Une autre partie, adresse est orientée vers le bloc Entrée/Sortie et indique la référence de l'opérande pour l'instruction en cours. Il est à noter que cette partie indique aussi la valeur du saut dans les automates évolués. Elle transite dans ce cas par le processeur.

Le bloc d'Entrée/Sortie sert d'organe de liaison avec la périphérie. Il mémorise les valeurs présentes sur les lignes d'entrée à l'instant de la prise en compte des entrées, il place les valeurs calculées sur les lignes de sortie.

Le processeur est l'unité de traitement logique qui exécute les calculs booléens en fonction des instructions du programme. Le CPU comporte également un ensemble de variables internes utilisable pour les mémorisations intermédiaires, des registres de temps et de comptage, registres d'index...

Notons que tout ce qui dit ici concerne le traitement sur bit. Dans le cas du traitement sur mot, les systèmes sont généralement composés de deux processeurs et de deux blocs d'Entrée/Sortie, sélectionnés en fonction du type de l'instruction.

II.4.2.6 Les interruptions [3]

Les interrupteurs sont des événements extérieurs qui provoquent l'arrêt du programme et le passage à un autre programme, ce dernier exécuté ; on reviendra au programme initial. Le processus est identique au sous-programme à la différence que le saut est provoqué non pas par

une instruction mais par la variation d'état d'une entrée spéciale. On distingue plusieurs types d'interrupteurs :

L'interrupteur secteur (défaillance du secteur) : il faut immédiatement stopper le programme en cours et préserver un certain nombre de paramètres. C'est un circuit de surveillance interne à l'API qui déclenche cette interruption.

Les interruptions externes : elles proviennent, soit de besoins d'échanges de l'automate avec ses périphériques (imprimante, écran de visualisation, compteur rapide, etc.), ces périphériques appelant l'automate pour lui parler, soit d'une information issue d'un capteur qui doit faire l'objet d'un calcul immédiat.

Niveau de priorité des interruptions : on peut imaginer qu'une interruption est en cours de traitement lorsqu'une autre survient. Il faut donc introduire une priorité dans le traitement des interruptions. Ces priorités sont fixées soit par construction (l'interruption secteur est la plus prioritaire), soit par programme (c'est à l'utilisateur de définir les niveaux de priorité).

II.4.3 Les modules d'Entrées/Sorties d'un API

II.4.3.1 Les signaux d'Entrées/Sorties [3]

De provenance et de nature diverse, tensions alternatives ou continues, polarité différente, de type logique c-à-d. « tout ou rien », numérique ou analogiques, ces signaux d'entrée doivent être transformés avant d'être introduits dans l'unité de traitement de l'automate. En outre, ils doivent être protégés contre les surtensions et les parasites dont certains de niveau élevé, pourraient être considérés comme un signal et traités comme tel.

Signaux tout ou rien : parmi ceux-ci, il y a notamment des signaux fugitifs tels que ceux délivrés par les générateurs d'impulsion (codeur rotatif délivrant 100 impulsions par tour) et les signaux digitaux. Pour l'automate, Un signal digital ne peut avoir que 2 états : Haut/Bas ; High/Low ; H/L.

Signaux analogiques : ils représentent toutes les valeurs que peut prendre une grandeur physique à évolution continue, entre deux limites. Par exemple, une température, un niveau dans un réservoir, une vitesse de rotation, etc. Le module d'entrée analogique convertit ce signal en une valeur binaire qui peut être traitée par l'automate.

II.4.3.2 Les modules d'Entrées/Sorties [3]

Ce sont eux qui permettent les échanges d'informations vers l'environnement extérieur de l'automate. Ils adaptent les signaux entrants et sortants en tension et courant, filtrent les perturbations et protègent la partie interne de l'automate des influences extérieures. Les signaux ainsi adaptés et filtrés sont accessibles au programme système par l'intermédiaire d'un bus externe au CPU.

Les modules d'Entrées/Sorties tout ou rien (TOR) [3]

Les modules d'Entrées TOR : elles permettent de raccorder à l'automate les différents capteurs logiques tels que : boutons poussoirs, pressostats, thermostats, fins de course, capteurs de proximité inductifs ou capacitifs, capteurs photo-électriques, fibres optiques, roues codeuses, etc. elles assurent l'adaptation, l'isolement, le filtrage et la mise en forme des signaux électriques.

Les modules de Sorties TOR : elles permettent de raccorder à l'automate les différents pré-actionneurs tels que : vannes, contacteurs, voyants, électrovannes, relais de puissance, afficheurs, etc.

Les modules d'Entrées/Sorties analogiques [3]

Les modules d'Entrées analogiques : les modules d'entrées analogiques convertissent des signaux analogiques en valeurs binaires qui peuvent être traitées par le CPU, tandis que les modules de sorties analogiques fournissent des signaux analogiques en fonction de valeurs qui lui sont transmises par le CPU.

L'automate ne peut pas différencier tous les états de ces signaux mais un nombre défini par la résolution du convertisseur digital-analogique utilisé.

Il existe trois types de modules d'entrées analogiques :

- Haut niveau qui accepte en tension 0/10V et en intensité 0/20 mA ou 4/20 mA.
- Pour thermocouple avec un signal d'entrée 0/20 mV, 0/50 mV, 0/100 mV.
- Pour sonde Pt 100 avec un signal d'entrée 0/100 mV, 0/400 mV.

Les modules de sorties analogiques : il existe deux grands types de cartes de sorties :

- Haut niveau avec une résolution de 8 bits en tension 0/10V ou en intensité 0/20 mA ou 4/20 mA.
- Haut niveau avec une résolution de 12 bits en tension 0/10V, 0/5V, $\pm 5V$, $\pm 10V$ ou en intensité 0/20 mA ou 4/20 mA.

Les modules d'Entrées/Sorties numériques [3]

Les Entrées/Sorties numériques sont utilisées chaque fois que l'on a à se servir de roues codeuse ou d'afficheurs.

II.4.4 Les modules spécialisés [3]

Pour des fonctions qui peuvent difficilement être réalisés par le processeur pour des raisons de complexité ou de rapidité, il existe une grande variété de modules spécialisés. Par exemple :

Module de comptage : Pour le comptage d'impulsions très rapide, il est nécessaire de disposer d'un microprocesseur qui effectue le comptage en priorité.

Module de commande pour moteur pas à pas : Ces modules sont faits pour générer des impulsions délivrées à un décodeur qui génère les signaux nécessaire à un moteur pas à pas. Suivant la puissance du moteur.

Module de commande d'axes pour moteur DC : Le positionnement d'axes fait intervenir des boucles de régulation qui doivent être traitées très rapidement. Il est donc nécessaire de disposer d'un microprocesseur sur ce genre de module.

Module de visualisation : Il permet de visualiser un processus avec plus ou moins de possibilités graphiques et de couleurs.

Module de communication : Le module de communication permet de gérer un écran ou une imprimante, ainsi que l'échange de données entre automates ou avec un ordinateur. Certains automates sont capables de piloter l'édition de messages, d'états ou de bilans de consommation sur des imprimantes. Les connexions électriques avec l'imprimante ou la visualisation sont réalisées sous forme d'une liaison série ou parallèles.

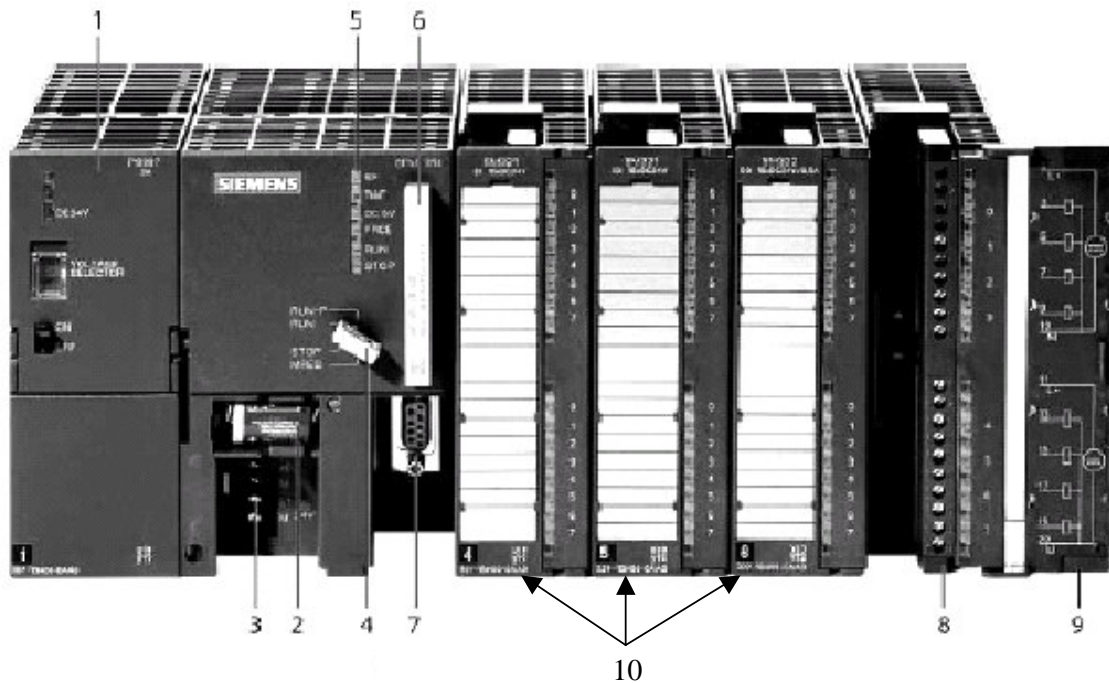


Fig II.4 Automate modulaire (Siemens)

- | | |
|---------------------------------------------|------------------------------|
| 1 Module d'alimentation | 6 Carte mémoire |
| 2 Pile de sauvegarde | 7 Interface multipoint (MPI) |
| 3 Connexion au 24V cc | 8 Connecteur frontal |
| 4 Commutateur de mode (à clé) | 9 Volet en face avant |
| 5 LED de signalisation d'état et de défauts | 10 Cartes d'Entrées/Sorties |

II.5 Périphériques d'un automate

II.5.1 Le simulateur [3]

Lors de la mise au point d'une application, pour effectuer la maintenance. Il est précieux de pouvoir simuler le comportement des Entrées/Sorties. Il s'agit de vérifier par simulation le bon fonctionnement de l'automatisme conçu en bureau d'étude. Si l'on dispose d'une console évoluée avec possibilité d'accéder aux dispositifs de forçage des E/S, cette phase essentielle de la mise au point sera menée à bien.

Autrement, on doit avoir recours à un boîtier de simulation 'SIMULATEUR' qui visualise les entrées binaires à l'aide de boutons poussoirs et visualise les sorties au moyen de lampes. Cependant, cette fonction est de plus intégrée dans d'autres outils. L'offre de telles unités a eu pour but de permettre certaines interventions sur l'API, sans pour autant être obligé de connecter

une console (sécurité).

II.5.2 L'unité de dialogue en ligne (UDEL) [3]

Elle permet à l'utilisateur de s'affranchir d'une console pour faire un certain nombre de tests, modifier des temporisateurs, des présélections de compteur. Elles sont destinées aux personnels spécialistes du procédé et non de l'automate programmable, et leur permet d'agir sur certains paramètres :

- Modification des constants, compteurs, temporisations, PID.
- Forçage des Entrées/Sorties.
- Exécution de parties de programme.
- Chargement de programmes en mémoire à partir de cassettes.
- Exécution d'autotests.

Les UDEL se présentent sous forme de boîtiers enfichables ou séparés de l'UC comprenant des touches de fonctions, des touches numériques, une visualisation numérique un dispositif de sécurité, l'ensemble est piloté par microprocesseur.

II.5.3 Les console [3]

La plupart des automates permettent le développement et le test du programme utilisateur ainsi que des opérations sur éléments internes et les Entrées/Sorties. Pour ceci, on branche une console de programmation à l'automate. La console est un outil physiquement indépendant de l'automate, elle est constituée d'un clavier et d'un dispositif de visualisation. Sur les touches du clavier sont portés les symboles nécessaires à l'écriture du programme : lettres, chiffres, signes spécifiques... L'afficheur visualise les lignes de programme qui viennent d'être frappées ou celles qui ont été enregistrées et conservées en mémoire.

II.6 Environnement d'un automate

II.6.1 Environnement physique et mécanique [3]

Ils sont caractérisés par quatre paramètres principaux :

- Les vibrations.
- Les chocs.
- L'humidité.
- La température.

Lorsque les températures sont élevées (par exemple près des fours, des réacteurs ...), il faut prévoir des systèmes de ventilation forcée.

Une humidité relative de plus de 85% provoque des condensations et accélère la corrosion. À l'inverse, une humidité relative inférieure à 30% provoque des potentiels électrostatiques pouvant perturber le système.

Les vibrations et les chocs provoquent sur l'appareil des dégâts non négligeables en agissant, soit sur des contacts, ou sur des soudures, provoquant une rupture du circuit.

II.6.2 Environnement chimique [3]

L'environnement chimique a un effet de destruction et plus particulièrement :

- Les gaz corrosifs (Cl_2 , H_2S , SO_2).
- Les vapeurs d'hydrocarbures.
- Les poussières métalliques (fonderies, aciéries,...).
- Les poussières minérales.

Tout ces facteurs entraînent une corrosion qui endommage les contacts et provoque des courts-circuits. Les moyens de protection les plus utilisés par les constructeurs sont :

- de recouvrir d'un enduit les circuits imprimés ;
- d'installer des filtres pour éliminer les poussières ou gaz.

Certains constructeurs proposent des appareils totalement étanches dans les cas d'environnement très pollués.

II.6.3 Environnement électrique [3]

Les éléments perturbateurs sont :

- les forces électromotrices, thermoélectriques (effet Peltier, quelques mV).
- les parasites d'origine électriques.
- les interférences électromagnétiques (transformateurs, postes de soudure,...).
- certains émetteurs-récepteurs à des fréquences correspondant à l'AP peuvent détériorer le processeur de celui-ci.

II.7 Sécurité de fonctionnement

II.7.1 Sécurité de l'UC [3]

Elle porte sur la bonne exécution des instructions et sur le déroulement convenable du cycle. Un chien de garde (Watch dog), déclencher au début de la phase d'exécution n'est pas délivré par le CPU au bout de temps convenable.

La surveillance du cycle, elle aussi est effectuée par un chien de garde ; un cycle anormalement long peut être synonyme de défaut du CPU. Certains automates font un test systématique en début de cycle. Un défaut peu grave est signalé au programme. En cas de débordement, c'est au programmeur de prévoir de tester ce cas et de d'y remédier. Un incident provoque un arrêt total, une mise à zéro éventuelle des sorties. L'incident est signalé à l'utilisateur par un voyant, un contact est généralement fourni.

II.7.2 Sécurité au niveau des échanges entre modules de CPU [3]

La procédure consiste à accompagner une information d'un bit supplémentaire, le bit de parité, dont la valeur est déterminée par le nombre de bits égaux à '1' dans l'information. En parité paire, le nombre total de bits égaux à '1' de l'information et du bit de parité doit être pair. Supposons un transfert de la mémoire vers un registre du CPU. La donnée est rangée en mémoire avec un bit de parité. L'ensemble est transmis à l'UC qui calcule à nouveau le bit de parité et le compare à celui accompagnant l'information. S'ils sont égaux, on suppose qu'il n'y a pas d'erreurs (probabilité $< 10^{-9}$).

II.7.3 Sécurité au niveau de l'alimentation [3]

Une panne d'alimentation affecte le fonctionnement de la machine. Une baisse d'alimentation déclenche une interruption prioritaire qui fait exécuter, grâce à une batterie tampon de quelques millisecondes un programme de sauvegarde des registres. Certains automates ont également un (ou des) chien de garde qui surveille les alimentations internes.

On peut exiger que toutes les fonctions doivent être accessibles manuellement si la commande est en panne. Dans les cas extrêmes, on réalisera un système redondant, c-à-d qu'une deuxième commande prend automatiquement la relève si le premier est en panne.

II.7.4 Sécurité des Entrées/Sorties [3]

Par expérience, 80 à 90% des pannes d'une logique programmée se situent au niveau des Entrées/Sorties. On s'appuie donc sur la plus grande fiabilité du CPU par rapport aux Entrées/Sorties pour le charger de reconnaître les incidents. Une première idée est de comparer une variable et son compliment. Ceux-ci sont acheminés séparément vers le CPU qui les compare (SMC). De même, certains constructeurs font ceux lectures, les comparent et ne valident que si les valeurs sont identiques. Dans le cas contraire, on recommence cinq comparaisons, si aucune n'est positive, l'entrée ou la sortie est considérée comme étant hors service (Modicon). Le même principe est appliqué aux sorties.

II.7.5 Technique de tolérance aux erreurs (Pannes) [3]

Il est possible de maintenir l'intégrité d'un système en dépit des défauts qui se manifestent inévitablement, grâce à la mise en œuvre de différentes techniques de tolérance aux pannes (Fault tolerance).

Ces techniques permettent de masquer l'effet dû aux défauts (Fault masking) au niveau des sorties du système ou de rétablir automatiquement le fonctionnement normal par commutation sur des unités de réserve lors de la détection d'un défaut. On obtient ce résultat en introduisant dans le système une certaine redondance, qui peut prendre des formes très diverses. La redondance peut être temporelle, matérielle, logicielle, ou porter sur l'information traitée.

II.8 Langages des API

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.8.1 Langages littéraux

II.8.1.1 Langages liste d'instruction IL [6], [8]

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.

```

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

```

Fig II.5 Exemple de programmation en langage liste d'instruction

II.8.1.2 Langage structuré S.T [6], [8]

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 des boucles et de branchements conditionnels grâce à ses commandes évoluées ST s'avère donc approprié, entre 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

```

Fig II.6 Exemple de programmation en langage structuré

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.

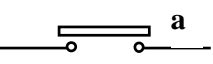
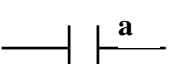
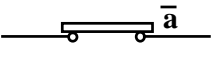

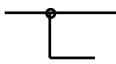
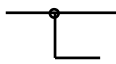
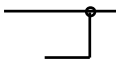
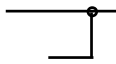
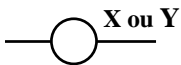
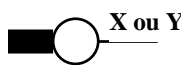
Les blocs ne sont générés et stockés dans le programme utilisateur que lors de la compilation du fichier source correspondant.

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.

II.8.2 Langages graphiques

II.8.2.1 Le langage de relais [8]




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.

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

Tab II.1 Les constituants des schémas à relais

II.8.2.2 Le langage à contacts (LADDER) [6], [8]

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.

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

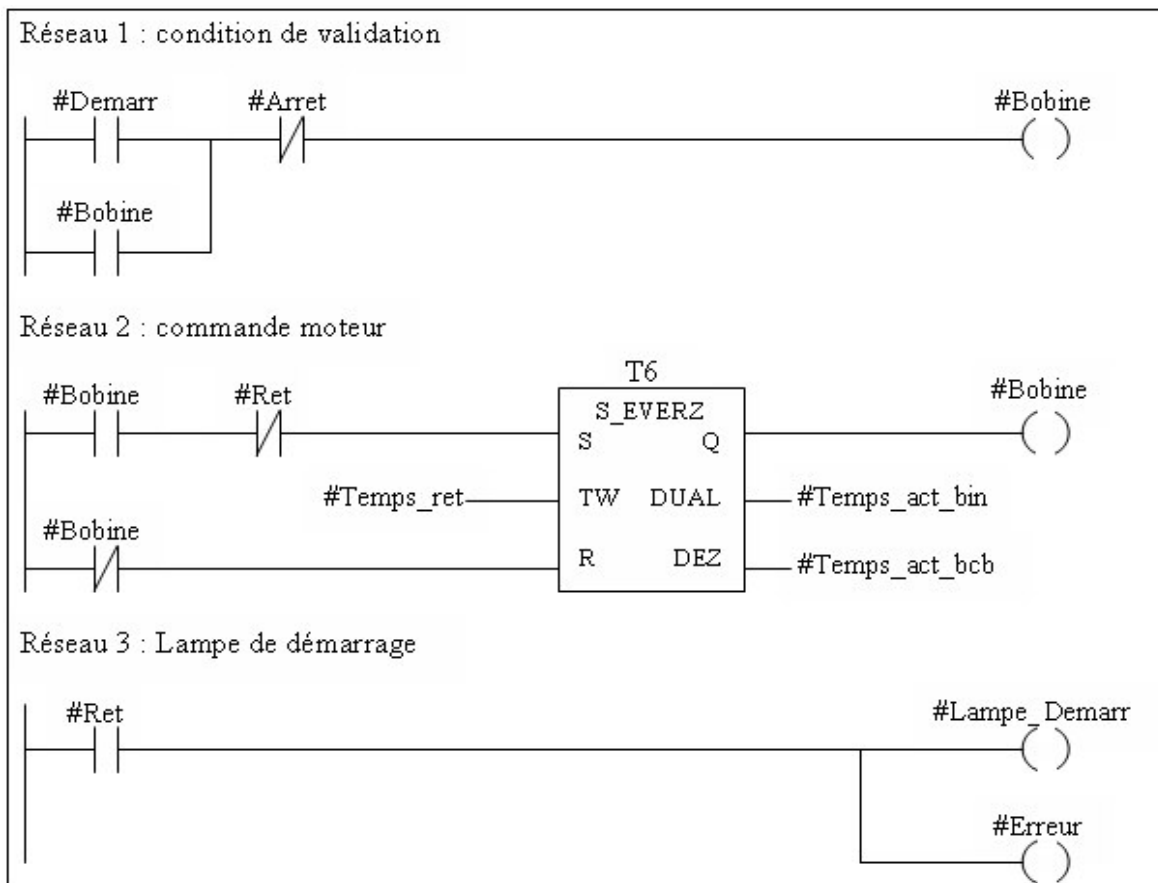


Fig II.7 Exemple de programmation en langage à contacts (LADDER)

II.8.2.3 Le langage à logigramme [8]

Le langage à logigramme utilise les boîtes fonctionnelles graphiques de l'algèbre booléenne pour représenter des éléments logiques. (En langue allemande, Entrée = Eingang).

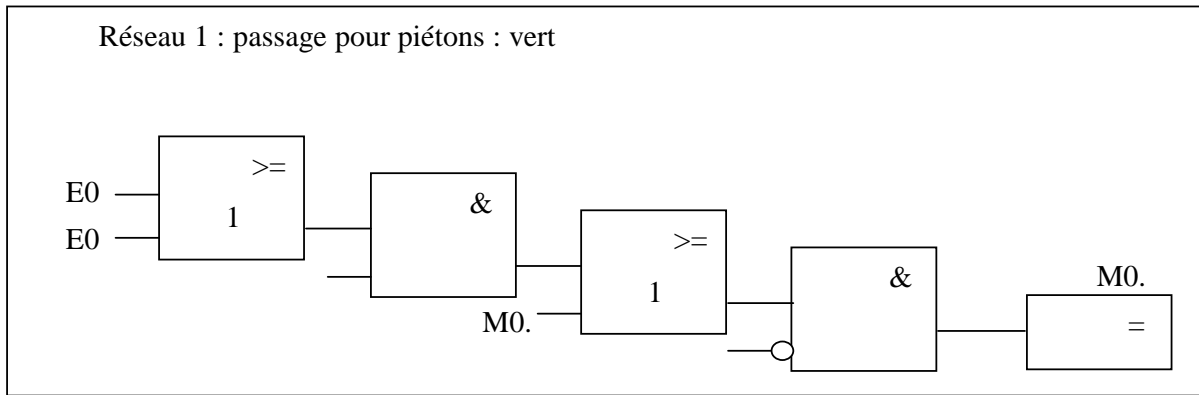


Fig II.8 Exemple de programmation en langage à logigramme

II.8.2.4 Le GRAFCET

II.8.2.4.1 Définition [9]

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.4**).

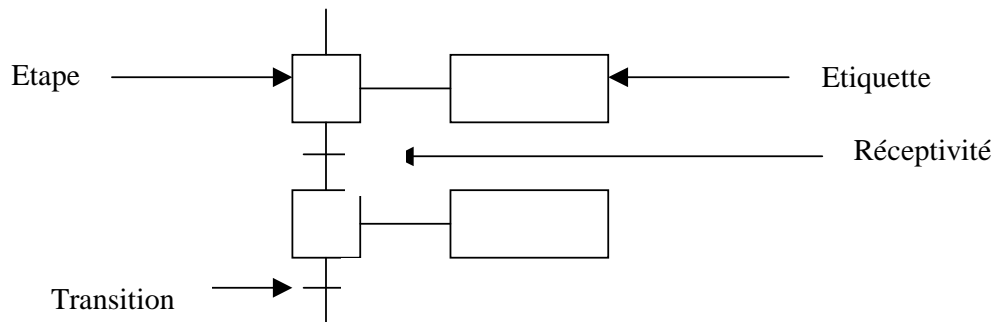


Fig II.9 : Les composants d'un GRAFCET

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. À chaque transition est associée une condition logique appelée réceptivité.

II.8.2.4.2 Règles d'évolution [9]

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

Règle 1

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

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

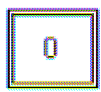


Fig II.10 Etape initiale

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.

Règle 3

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et désactivation de toutes les 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.6 explique cette règle.

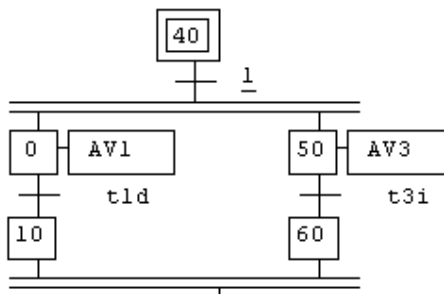


Fig II.11 Le franchissement d'une transition

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.

II.9 Les automates programmables face aux autres technologies [3]

Pour réaliser la partie commande d'un automatisme industriel, on dispose d'un certain nombre de moyens technologiques : il y'a bien sûr les relais électromagnétiques, les cellules logiques pneumatiques, électriques ou électroniques et les séquenceurs. L'ensemble de ces outils constitue le domaine de la logique câblée. Il y'a par opposition la logique programmée, famille dans laquelle on trouve les automates programmables industriels, les mini-ordinateurs et les microprocesseurs. Pour comparer des divers outils vis-à-vis des API, il faut considérer un certain nombre de critères.

- Critère « volume de l'installation et complexité de l'automatisme »

On a pour habitude de représenter le volume d'une installation par la somme des entrées et des sorties de l'automatisme. Il faut ajouter la complexité qui elle tient compte du traitement nécessaire sur ces entrées et sorties.

- Critère « spécialisation »

L'automatisation d'une installation fait appel à des compétences dans le procédé mis en œuvre et dans l'outil technologique employé. Les degrés de compétence sont très différents suivant les technologies employées. Alors que les microprocesseurs font appel à un électronicien et demandent une information de plusieurs mois à leur utilisation, les automates programmables ne demanderont aucune connaissance de base et la formation ne durera pas plus de quelques semaines. Ainsi l'utilisateur pourra se consacrer à la connaissance du procédé à automatiser et maîtrisera ainsi entièrement l'automatisation.

- Critère économique

La prise de revient d'une automatisation n'est pas seulement fonction du prix d'achat des matériels et équipements nécessaires. Au contraire, celui-ci cache bien souvent un coût de

développement important. Il faut tenir compte du cout de la mise au point, de la facilité de maintenance et de modification.

- Critère de fiabilité

Dans une ambiance industrielle, les API sont sans concurrence par rapport aux mini-ordinateurs ou aux microprocesseurs. Si on les compare aux logiques classiques, on montre qu'après 25 millions de manœuvres, un reliage classique est pratiquement inutilisable alors qu'un dispositif statique programmé n'est pas altéré.

Nature de technologie	Cout d'achat unitaire	Etudes	Mise au point	Maintenance	Modification
Logique câblée	Moyen	Assez longues on n'a pas d'outil Méthode adapté	Complexe	Moyen	Demande le plus souvent une réfection totale
Automate programmable	Moyen	Rapides, la Grafcet est directement utilisable	L'API est très bien adaptée à la mise au point (aide de la console et des signalisations)	Conçu pour être entretenu par l'utilisateur	Souple en matériel et en logiciel
Micro-processeur	Peu coûteux	Longues, nécessitent une formation et un outil de développement	Pas très facile ni sur le plan du matériel ni sur celui du logiciel	Demande des connaissances électroniques du matériel	Pas très souple sur le plan matériel
Mini-processeur	Cher	Assez rapide	Assez facile	Impose l'intervention des services extérieurs	Très simple

Tab II.2 Comparaison entre API et divers outils

Pour la résolution des problèmes de commande, le choix se porte de plus en plus sur les API. Il s'agit non seulement d'une question de prix, mais bien davantage de gain de temps, de souplesse accrue dans la manipulation, de haute fiabilité, de localisation et d'élimination rapide des erreurs.

II.9.1 Choix d'un automate programmable [3]

Le choix d'un automate programmable est en premier lieu le choix d'une société ou d'un groupe et les contacts commerciaux et expériences vécues sont déjà un point de départ. Les grandes sociétés privilégieront deux fabricants pour faire jouer la concurrence et pouvoir "se retourner" en cas de "perte de vitesse" de l'une d'entre elles.

Le personnel de maintenance doit toutefois être formé sur ces matériels et une trop grande diversité des matériels peut avoir de graves répercussions. Un automate utilisant des langages de programmation de type GRAFCET est également préférable pour assurer les mises au point et dépannages dans les meilleures conditions.

La possession d'un logiciel de programmation est aussi source d'économies (achat du logiciel et formation du personnel). Des outils permettant une simulation des programmes sont également souhaitables.

Il faut ensuite quantifier les besoins :

- Nombre d'entrées / sorties : le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées / sorties nécessaires devient élevé.
- Type de processeur : la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- Fonctions ou modules spéciaux : certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettront de "soulager" le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, ...).
- Fonctions de communication : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision ...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus ...).

II.10 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.

III.1 Introduction

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien.

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.

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 [11]

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 ;"Traité de l'électricité et du magnétisme".

Mais ce n'est qu'à partir de (1870) que l'électrotechnique industrielle s'affirma notamment grâce à 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 à courants alternatifs polyphasés par la conception et la construction des machines d'induction ou asynchrones en (1888).

III.2.2 Constitution des machines asynchrones [6], [10], [12]

Le principe du moteur asynchrone triphasé est basé sur l'expérience ci-dessous.

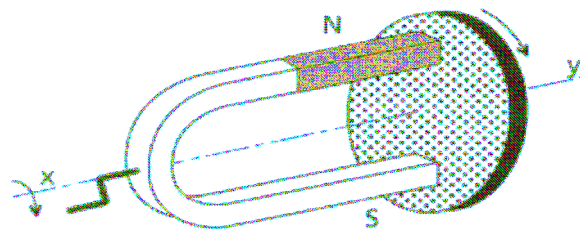


Fig. III.1 principe du moteur asynchrone

L'expérience montre que si l'on entraîne en rotation autour d'un axe xy un aimant permanent, un disque de cuivre libre en rotation sur cet axe est entraîné en rotation, mais il tourne moins vite que l'aimant. C'est la raison pour laquelle un moteur fonctionnant selon ce principe est appelé "moteur asynchrone" car la vitesse du disque (ou rotor) est inférieure à celle du champ magnétique tournant.

Dans la réalité, l'aimant permanent tournant est remplacé par trois bobines fixes décalées de 120 degrés et alimentées par un système équilibré de trois tensions triphasées constituant le stator du moteur. Le rotor, qui remplace le disque, est constitué de barres d'aluminium (ou de cuivre) dont les extrémités sont reliées entre elles en formant une cage. Ce type de moteur porte le nom de moteur à cage d'écureuil ou de moteur à rotor en court circuit. Si au niveau du rotor les barres sont remplacées par un bobinage le moteur porte le nom de moteur à rotor bobiné. [17]

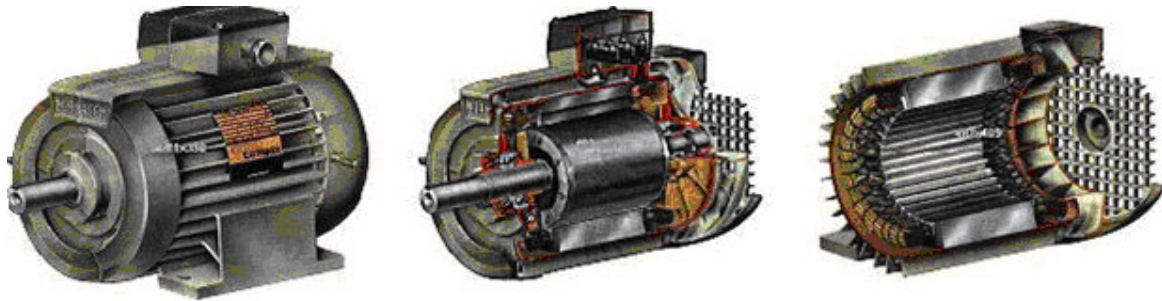


Fig. III.2 machine asynchrone

III.2.2.1 Le stator [14]

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.

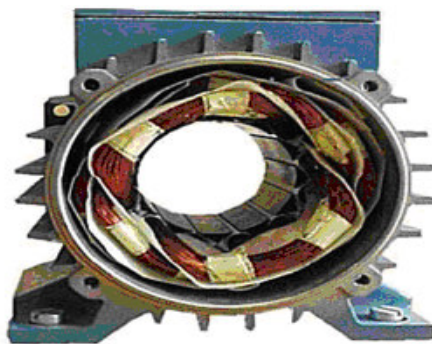


Fig. III.3 stator d'une machine asynchrone

III.2.2.2 Le Rotor [12]

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.

III.2.2.2.1 Rotor à bagues [6], [12]

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.

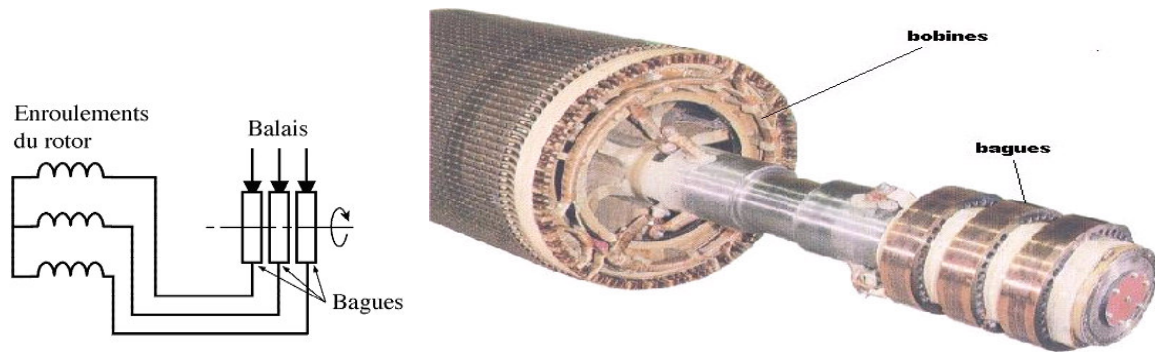


Fig. III.4 rotor bobiné

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.

III.2.2.2.2 Rotor à cage [6], [12]

L'enroulement est remplacé par des barres de cuivre ou d'aluminium logées dans des encoches, et réunies 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.5 une cage d'écureuil

Par comparaison avec les moteurs à bagues, les moteurs à cage ont l'avantage d'être robustes et du coût plus faible. Il n'est pas possible de faire varier la résistance de leur rotor. Ce qui rend défavorable les conditions de démarrage quand on l'alimente à tension et à fréquence constantes.

III.2.2.3 Entrefer [15]

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

III.2.3 Symboles [6]

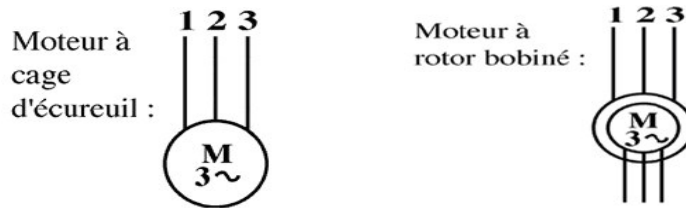


Fig. III.6 symboles d'une machine asynchrone

III.2.4 Propriétés et équations principales d'un moteur asynchrones [6]

Sens de rotation : L'inversion du sens de rotation d'un moteur asynchrone se fait en inversant deux phases de l'alimentation.

Vitesse de rotation : La vitesse de rotation est définie par la fréquence de l'alimentation (50hz) et le nombre de paires de pôles du moteur $N_s = 60.f / p$. (III.1)

Glissement : le glissement représente l'écart en pour-cent entre la vitesse de synchronisme (champ tournant) et la vitesse de rotation du rotor $g = (N_s - N_r) / N_s$. (III.2)

Puissance électrique absorbée $P_a = \sqrt{3} . U . I . \cos\phi$. (III.3)

Puissance mécanique utile... $P_u = T_u . \Omega$. « T_u : couple utile [Nm], Ω : vitesse angulaire [rd/s] » (III.4)

Rendement : Le rendement du moteur n'est pas constant, il est maximum pour un point proche du point de fonctionnement nominal $\eta = P_u / P_a$. (III.5)

III.2.5 Couplage des moteurs asynchrones [6]

Les moteurs asynchrones possèdent une plaque à bornes composées de trois enroulements que l'on peut coupler en étoile ou en triangle.

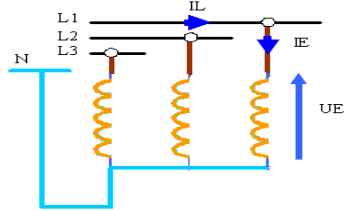


Fig III.7 couplage en étoile.

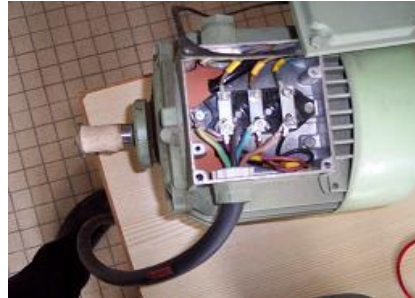
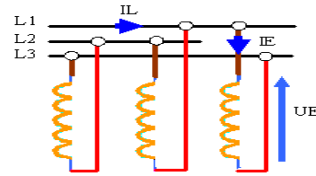


Fig III.8 couplage en triangle

III.2.6 Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone [12]

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.2.6.1 Les avantages du moteur asynchrone [12]

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.

III.2.6.2 Les inconvénients du moteur asynchrone [12]

À 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.

III.2.7 Choix d'un démarreur

Le choix est guidé par des critères économiques et techniques qui sont :

- les caractéristiques mécaniques.
- les performances recherchées.
- la nature du réseau d'alimentation électrique.
- l'utilisation du moteur existant dans le cas d'un rééquipement.
- la politique de maintenance de l'entreprise.
- le coût de l'équipement.

Le choix d'un démarreur sera lié :

- au type d'utilisation « souple au démarrage ».
- à la nature de la charge à entraîner.
- au type de moteur asynchrone.
- à la puissance de la machine.
- à la puissance de la ligne électrique.
- à la gamme de vitesse requise pour l'application.

III.3 Démarrage des moteurs à cage [6]

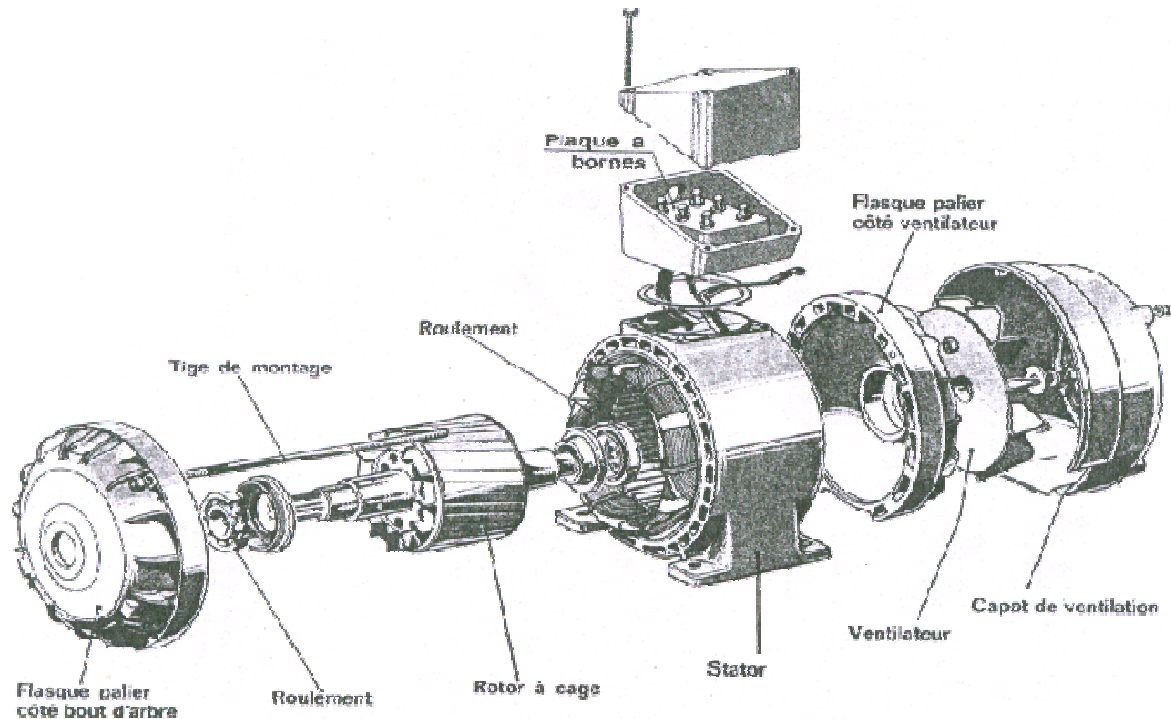


Fig. III.9 moteur asynchrone à cage

III.3.1 Constitution [16]

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. À 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).

III.3.2 Fonctionnement [16]

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

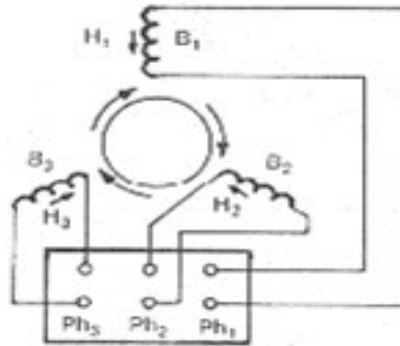


Fig. III.10 fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage

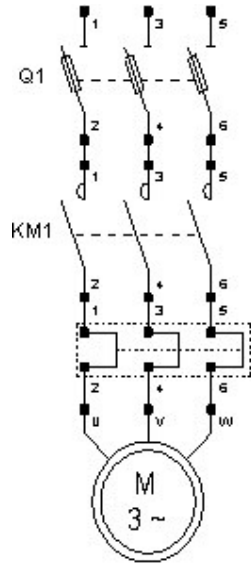
Les barres métalliques constituant la cage d'écureuil sont coupées par le champ tournant produit par le stator, ce qui donne naissance à des courants induits intenses dans ces barres (loi de Lenz). Ces courants réagissent sur le champ tournant en donnant naissance à un couple moteur qui provoque la rotation 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.

III.3.3 Les modes de démarrage des moteurs à cage

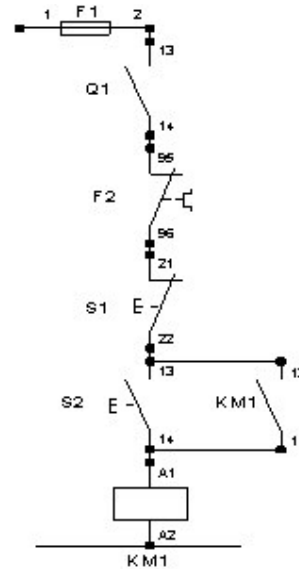
III.3.3.1 Démarrage direct

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



Principe de fonctionnement [13]

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.

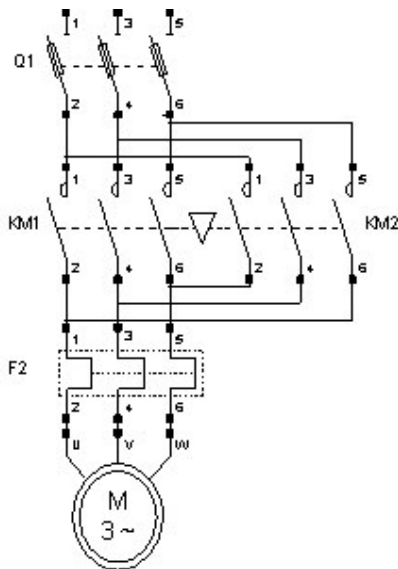
Inconvénients

- Pointe de courant très importante.
- Le réseau doit pouvoir admettre cette pointe.
- Démarrage brutal.

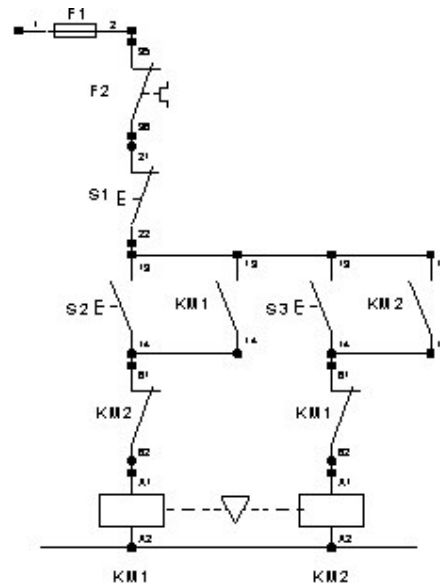
III.3.3.2 Démarreur inverseur direct [16]

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

Circuit de puissance



Circuit de commande



Principe de fonctionnement [13]

Circuit de puissance


Marche avant

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM1 mise sous tension du moteur dans le 1^{er} sens de marche.

Marche arrière

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM2 mise sous tension du moteur dans le 2^{ème} 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 .
- 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

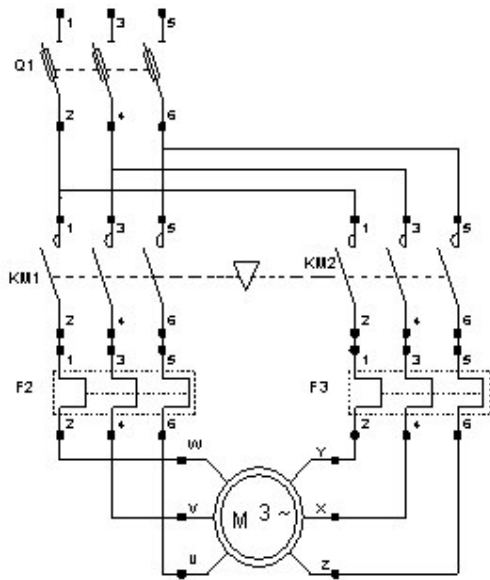
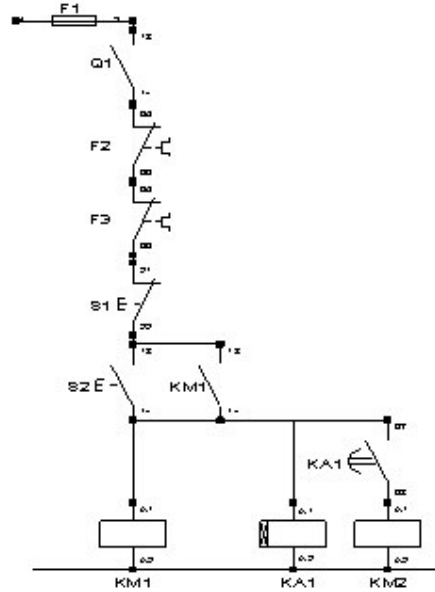
- Machine outils.
- Palans.

III.3.3.3 Démarrage des moteurs à enroulements partagés «part-winding» [13]

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 du 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.

À 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.

Circuit de puissance**Circuit de commande****Principe de fonctionnement****Circuit de puissance**

- Fermeture manuelle 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^{ème} couplage le moteur n'est pas séparé du réseau.
- Faible glissement.

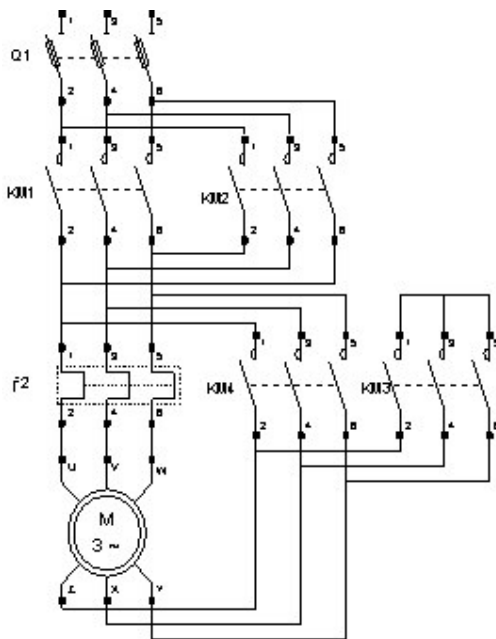
III.3.3.4 Démarrage étoile –triangle [13]

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.

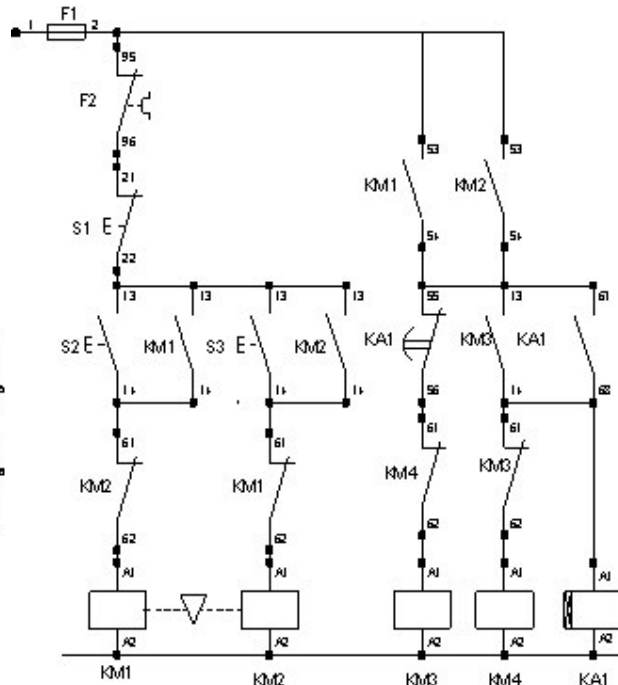
Lors du couplage étoile, chaque enroulement est alimenté sous une tension $\frac{1}{\sqrt{3}}$ fois plus faible, de ce fait, le courant et le couple sont divisés par 3. Lorsque les caractéristiques courant ou couple sont admissibles, on passe au couplage triangle.

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



Principe de fonctionnement

Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM 3 : couplage étoile.

- Fermeture de KM 1 où KM2 : alimentation de moteur.
- Ouverture de KM 3 : élimination de couplage étoile.
- Fermeture de KM 4 : 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.

III.3.3.5 Démarrage statorique à résistances [13]

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 au 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 $0.75C_n$) pour une pointe de courant encore importante (valeur typique : $4.5I_n$)

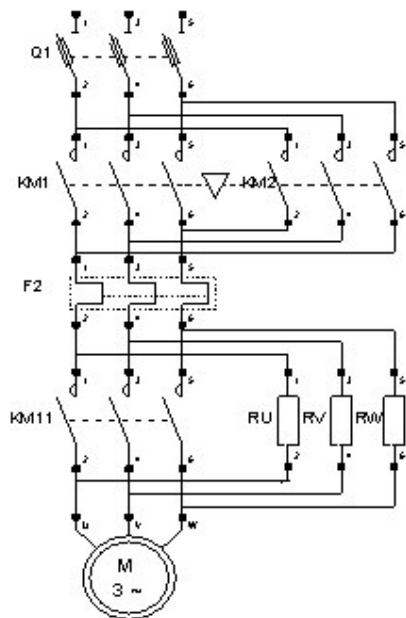
La tension appliquée aux bornes du moteur ne reste pas constante pendant la période d'accélération. Le courant, maximum lorsque le moteur est mis sous tension, diminue au fur et à mesure que le moteur accélère : la chute de tension aux bornes des résistances diminue et la tension aux bornes du moteur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

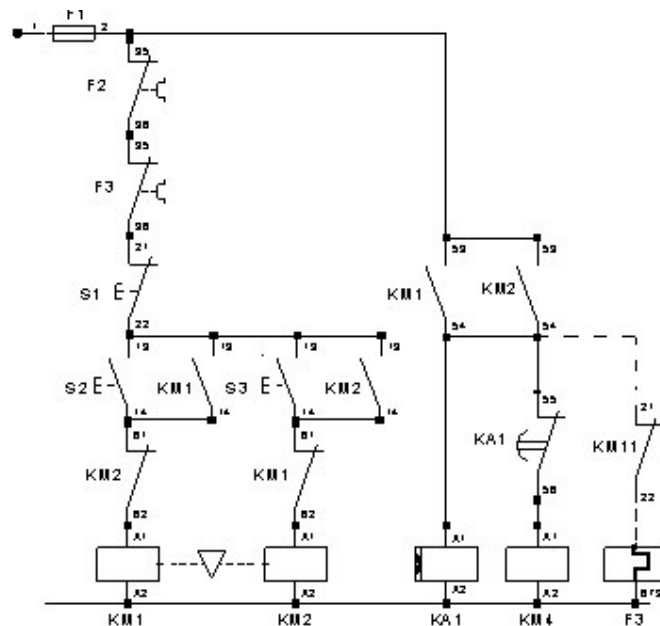
Le démarrage statorique à résistances convient donc bien pour démarrer des machines à couple résistant croissant ou voisin de la moitié du couple nominal, y compris les machines puissantes et de forte inertie.

III.3.3.5.1 Démarreur inverseur statorique [13]

Circuit de puissance



Circuit de commande



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.

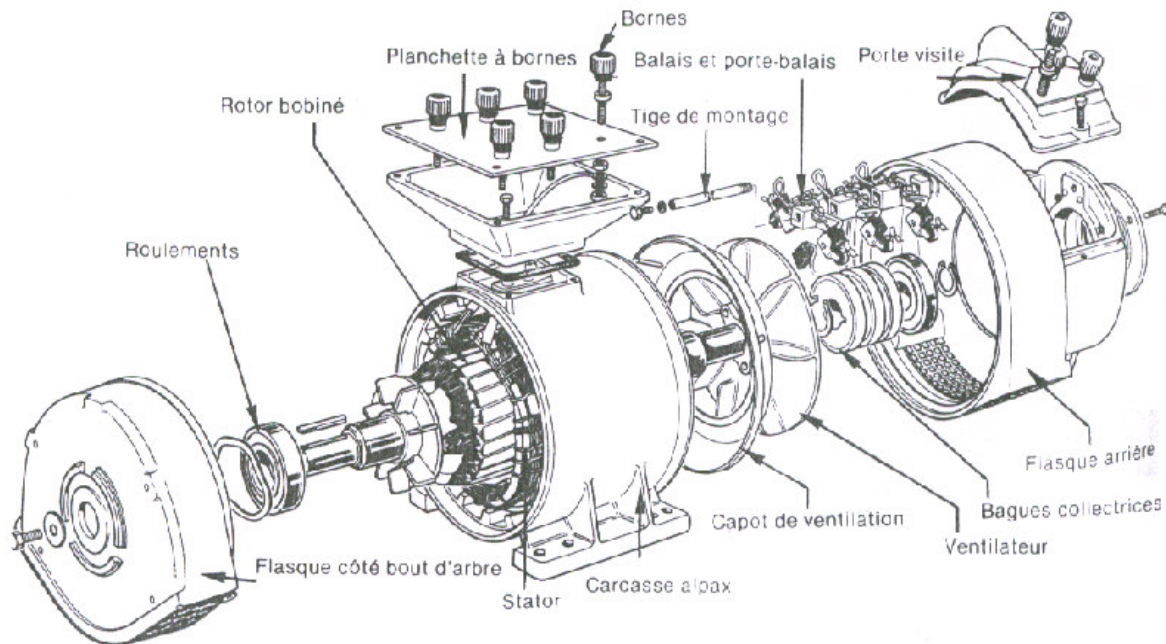
III.4 Démarrage des moteurs à bagues

Fig III.8 moteur asynchrone à bague

III.4.1 Fonctionnement et Constitution [17]

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.

III.4.2 Les modes de démarrage des moteurs à bagues

III.4.2.1 Démarrage rotorique à résistances [18], [19]

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.

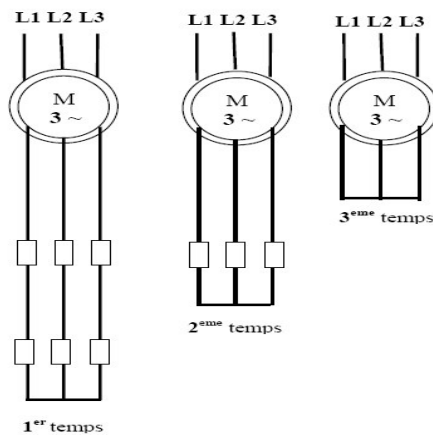


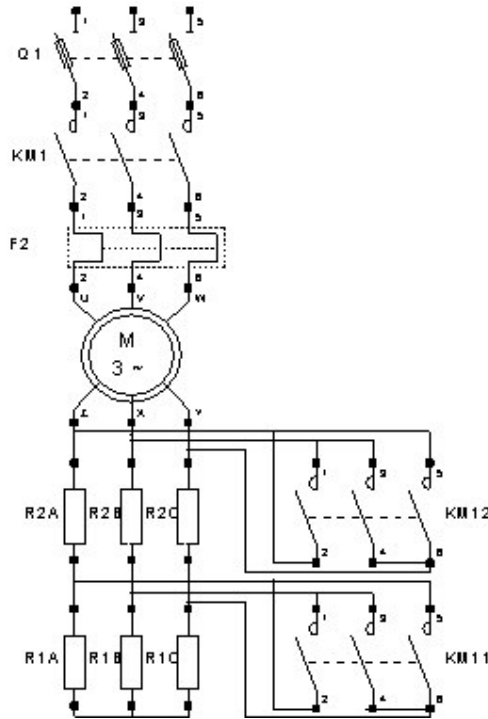
Fig III. 9 Principe de l'ensemble de résistants

Pour le choix des résistances, il faut préciser :

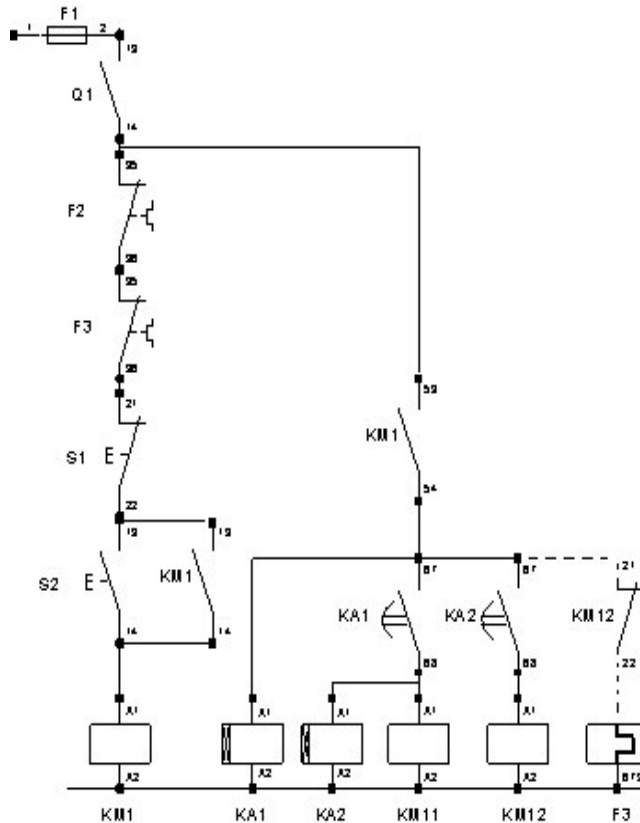
- La durée de mise sous tension de la résistance.
- Nombre de démarrage par heure et éventuellement la possibilité de freinage par contre courant.

III.4.2.1.1 Démarrage rotoriques (1 sens de marche) [13]

Circuit de puissance



Circuit de commande



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 **I_{d2}** 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.

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 Grafcet, en utilisant les automates programmables industriels (API).

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, notre objectif est de créer un programme d'une simulation à l'aide du logiciel Automgen V8.009 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 Grafcet de chaque mode de démarrage.

IV.2 Démarrage direct

IV.2.1 Circuit de commande

Principe de fonctionnement

- Fermeture manuelle de Q1.
- 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.

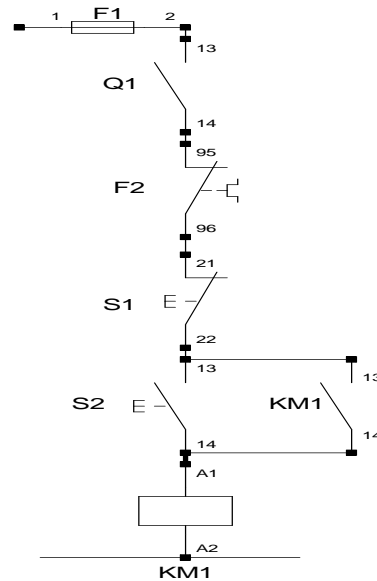


Fig IV.2.1 schéma de commande

IV.2.2 Listes des Entrées/Sorties

Symboles	Variables	Commentaires
S2	I1	Bouton start
S1	I2	Bouton stop
KM1	O1	relais de réseau

Tab IV.2.2 liste des Entrées/Sorties

IV.2.3 Simulation

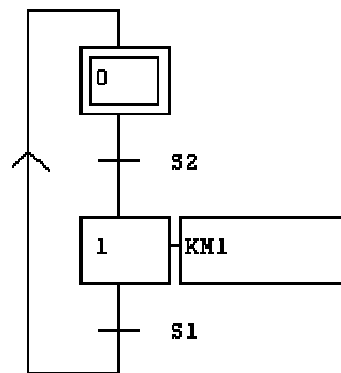


Fig IV.2.2 schéma à Grafcet

1^{er} cas : Fermeture manuelle de Q1

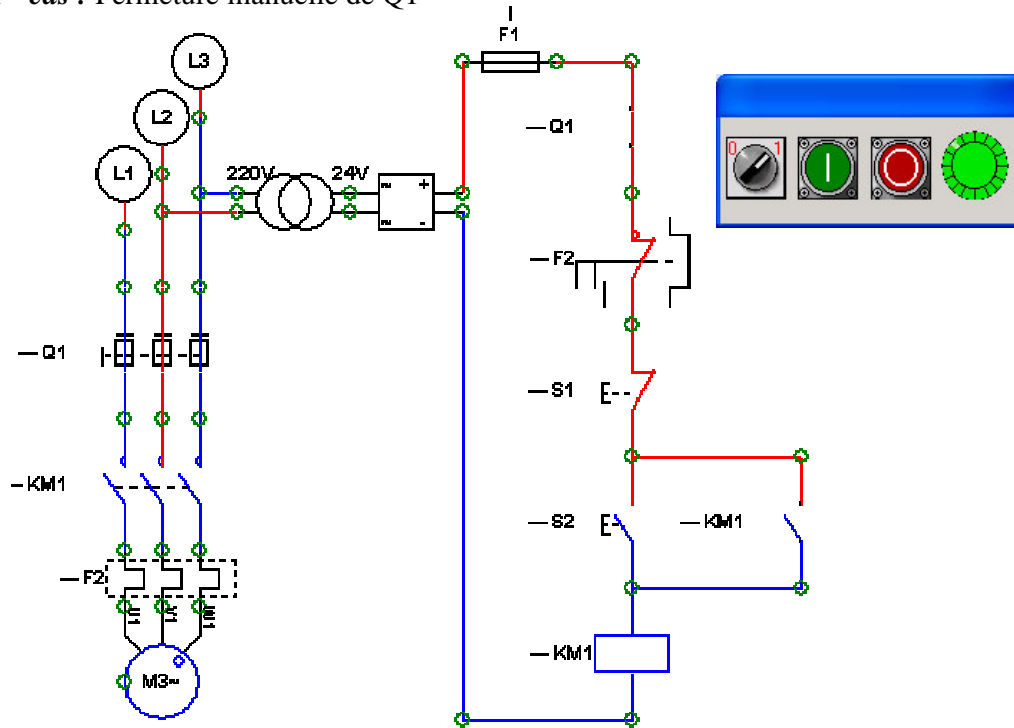


Fig IV.2.3 fermeture manuelle de Q1

2^{ème} cas : impulsion sur le bouton de start S2.

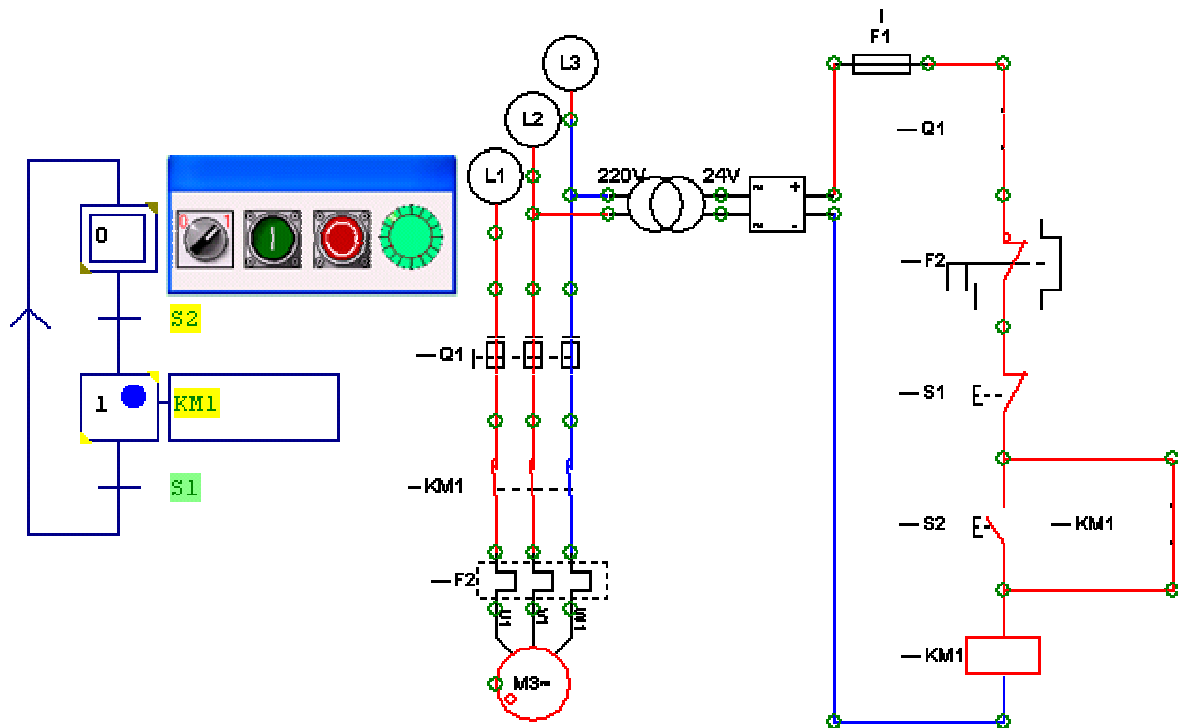


Fig IV.2.4 impulsion sur le bouton de start S2

3^{ème} cas : l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.

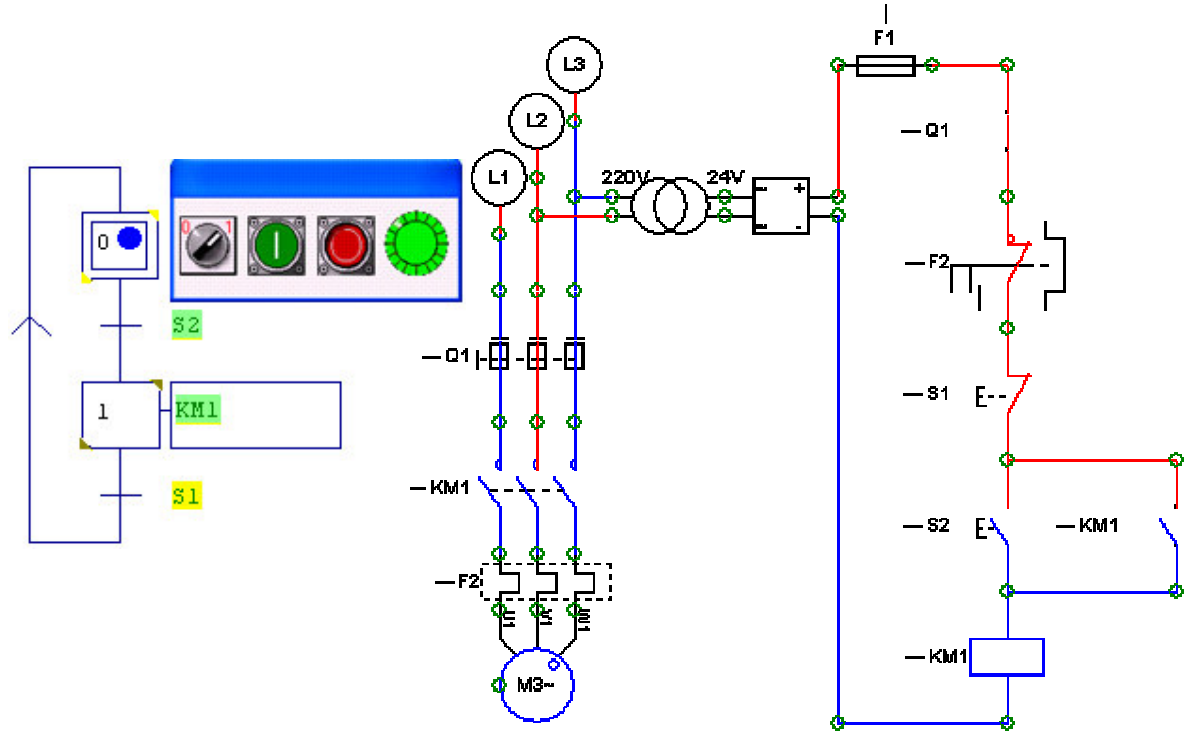


Fig IV.2.5 impulsion sur le bouton stop S1

IV.3 Démarrage inverseur direct

IV.3.1 Circuit de commande

Principe de fonctionnement

- Fermeture manuelle de Q1.
- Impulsion sur S2 (sens 1).
- 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).

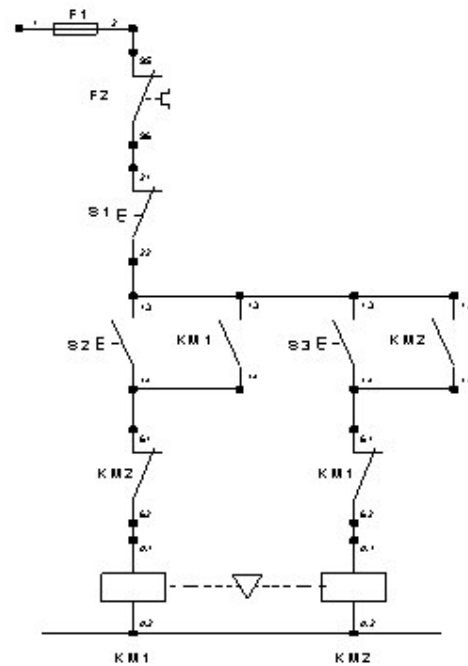


Fig IV.3.1 schéma de commande

Arrêt :

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

IV.3.2 Listes des Entrées/Sorties

Symboles	Variables	Commentaires
S1	I1	Bouton de stop
S2	I2	Bouton start sens 1
S3	I3	Bouton start sens 2
KM1	O1	Relais de réseau sens 1
KM2	O2	Relais de réseau sens 2

Tab IV.3.2 liste des Entrées/Sorties

IV.3.3 Simulation

Schéma à Grafcet

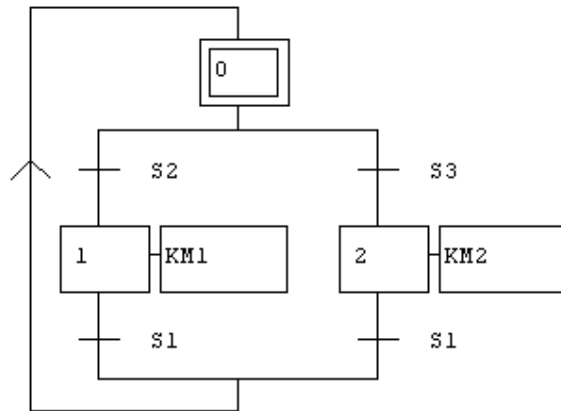


Fig IV.3.2 schéma à Grafcet

1^{er} cas : fermeture manuelle de Q1.

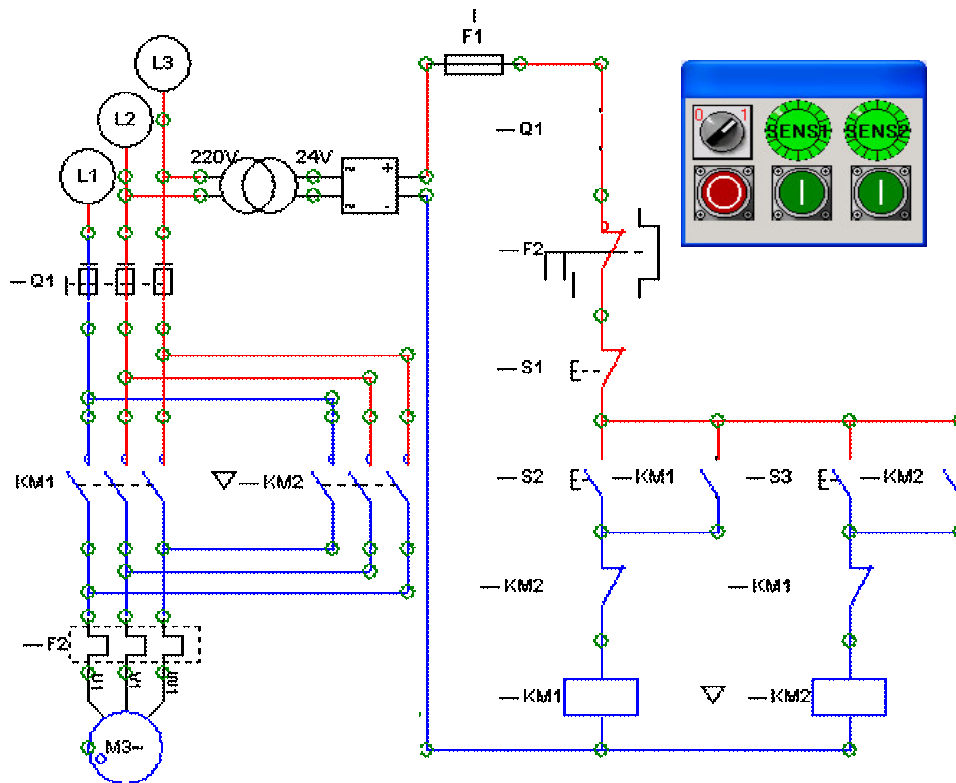


Fig IV.3.3 fermeture manuelle de Q1

2^{ème} cas : impulsion sur le bouton de start S2 (sens 1).

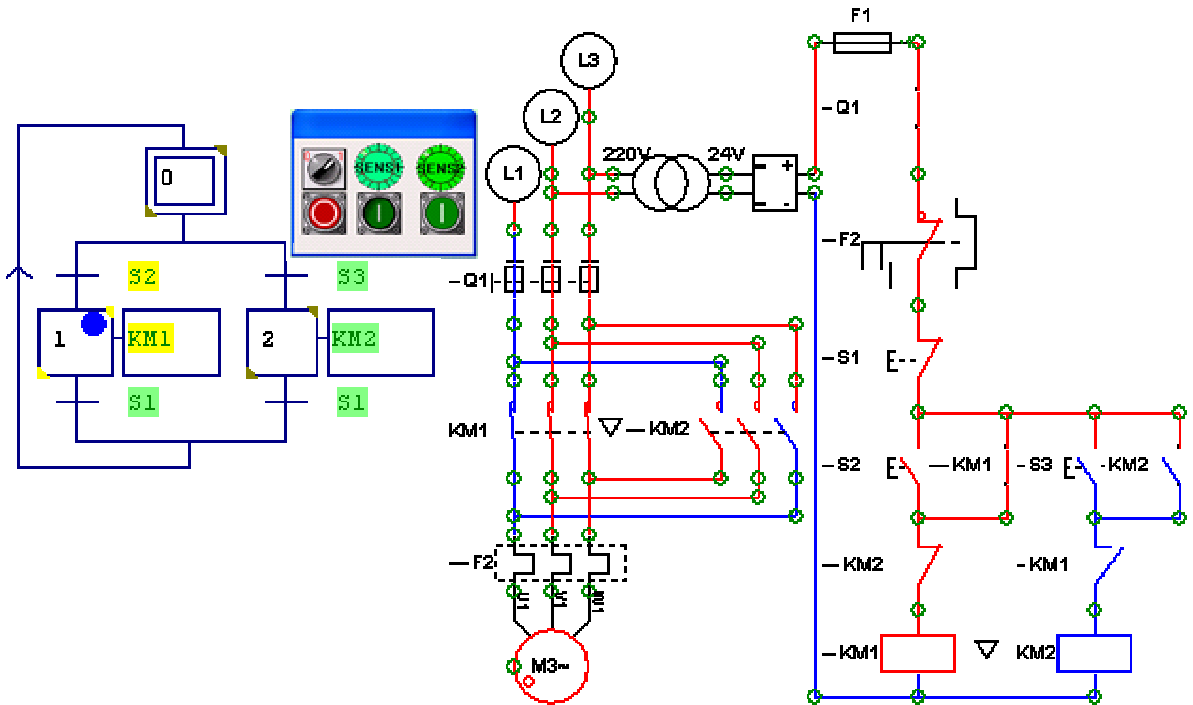


Fig IV.3.4 impulsion sur le bouton de start S2

3^{ème} cas : impulsion sur le bouton de stop S1.

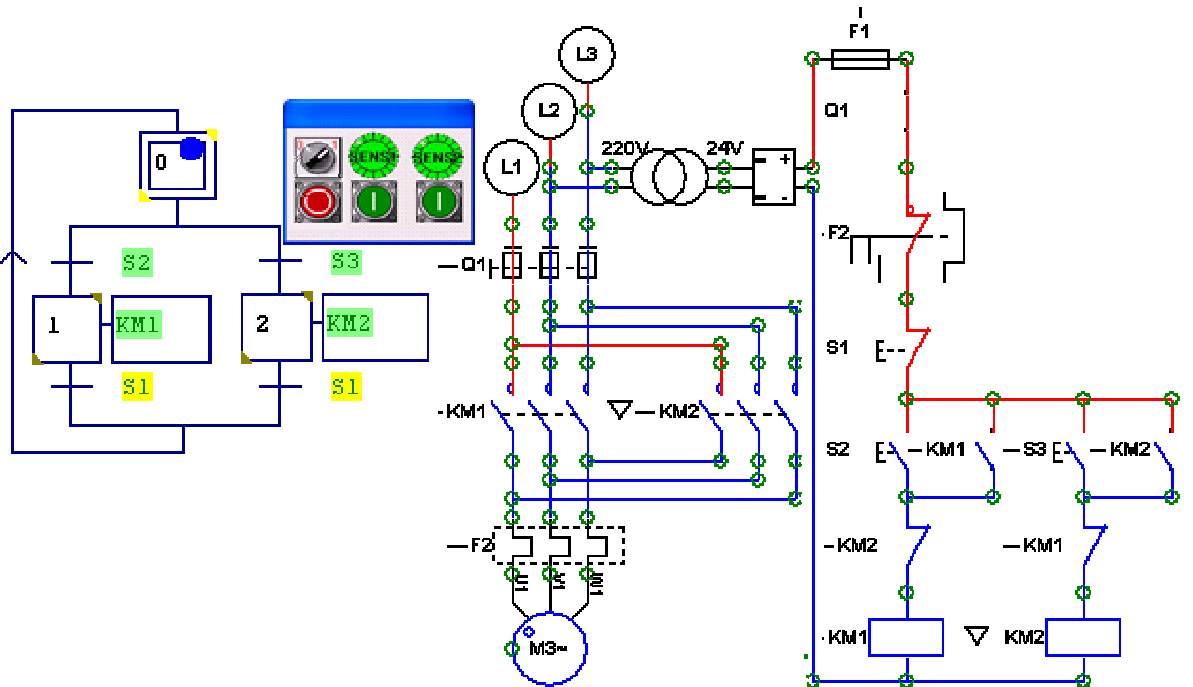


Fig IV.3.5 impulsion sur le bouton de stop S1

4^{ème} cas : impulsion sur le bouton de start S3 (sens 2).

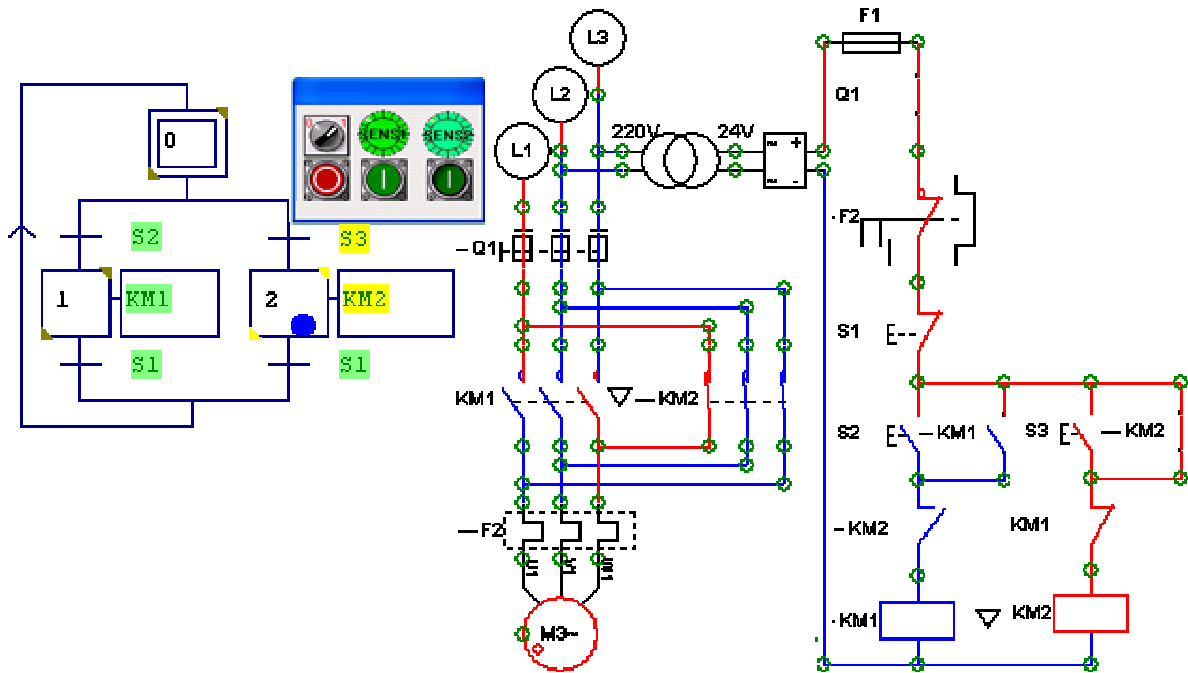


Fig IV.3.6 impulsion sur le de bouton de start S3

5^{ème} cas : l'arrêt par impulsion sur le bouton de stop S1.

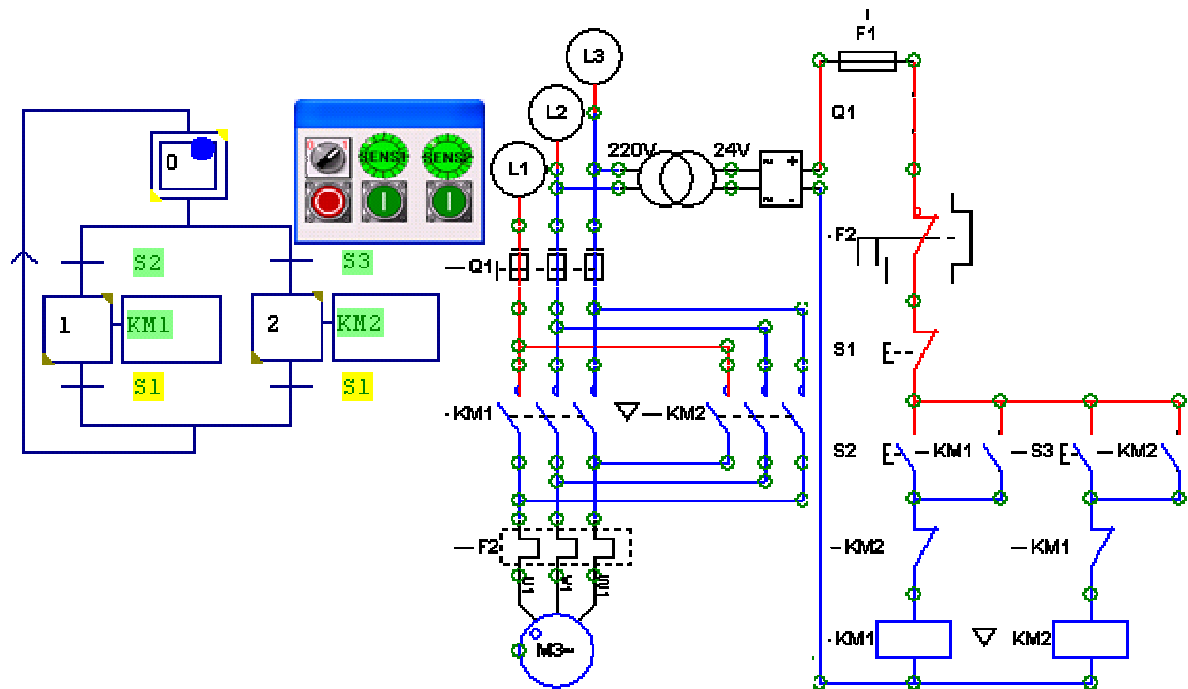


Fig IV.3.7 impulsion sur le bouton de stop S1

IV.4 Démarrage part-winding

IV.4.1 Circuit de commande

Principe de fonctionnement

- Fermeture manuelle de Q1.
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1 et KA1.
- 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.

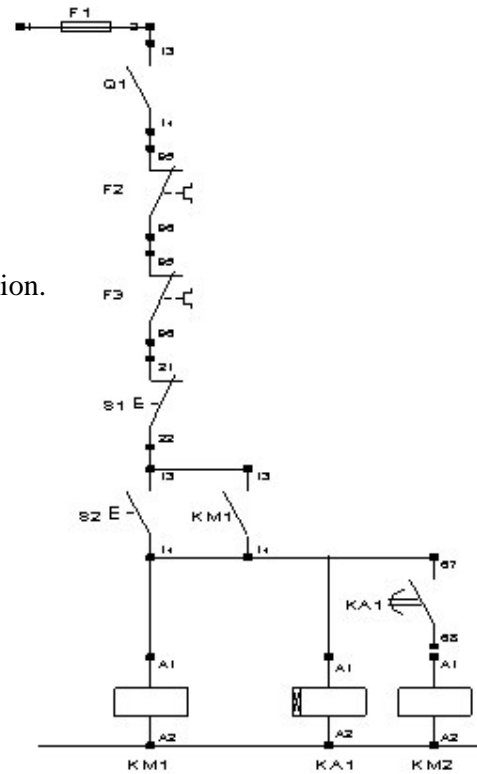


Fig IV.4.1 schéma de commande

IV.4.2 Listes des Entrées/Sortie

Symboles	Variables	Commentaires
S2	I2	Bouton start
S1	I1	Bouton stop
KM2	O2	Relais de réseau
KM1	O1	Relais de réseau
KA1	O1	Relais temporisé
100/x1xT	T0	

Tab IV.4.2 liste des Entrées/Sorties

IV.4.3 Simulation

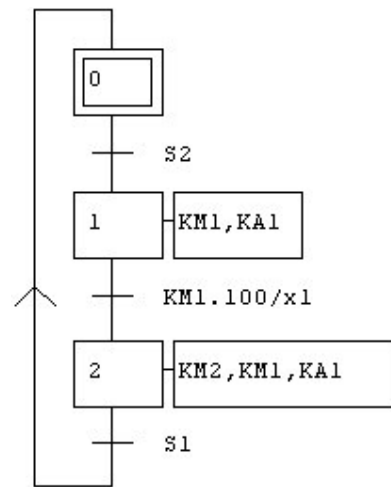


Fig IV.4.2 schéma à Grafcet

1^{er} cas : fermeture manuelle de Q1

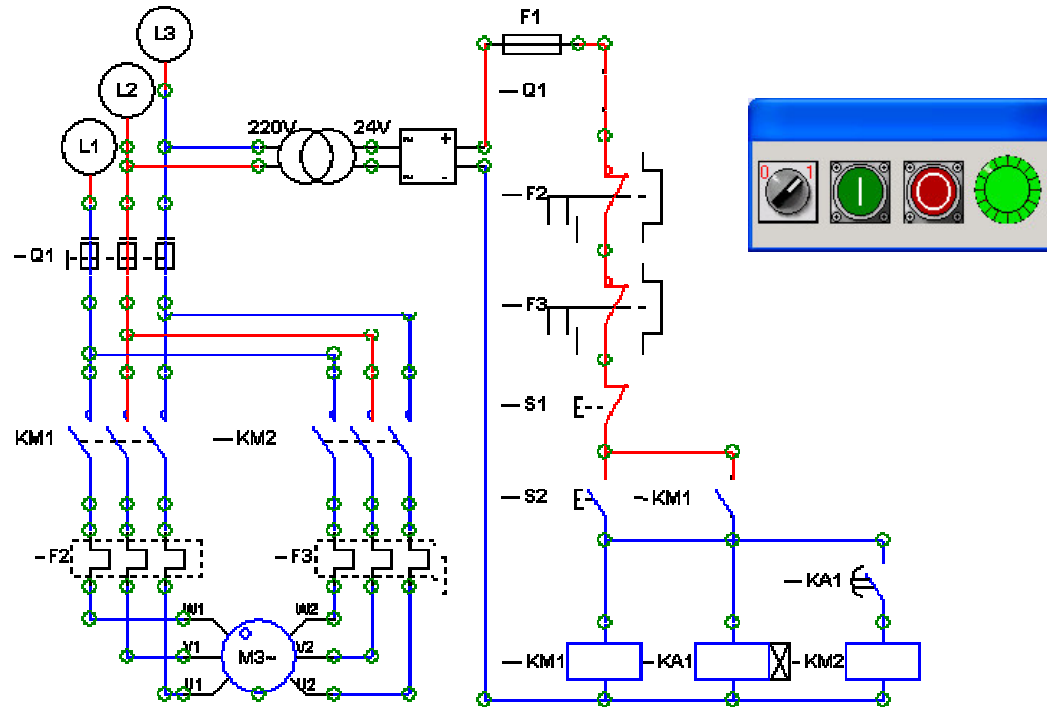


Fig IV.4.3 fermeture manuelle de Q1

2^{ème} cas : impulsion sur le bouton de start S2.

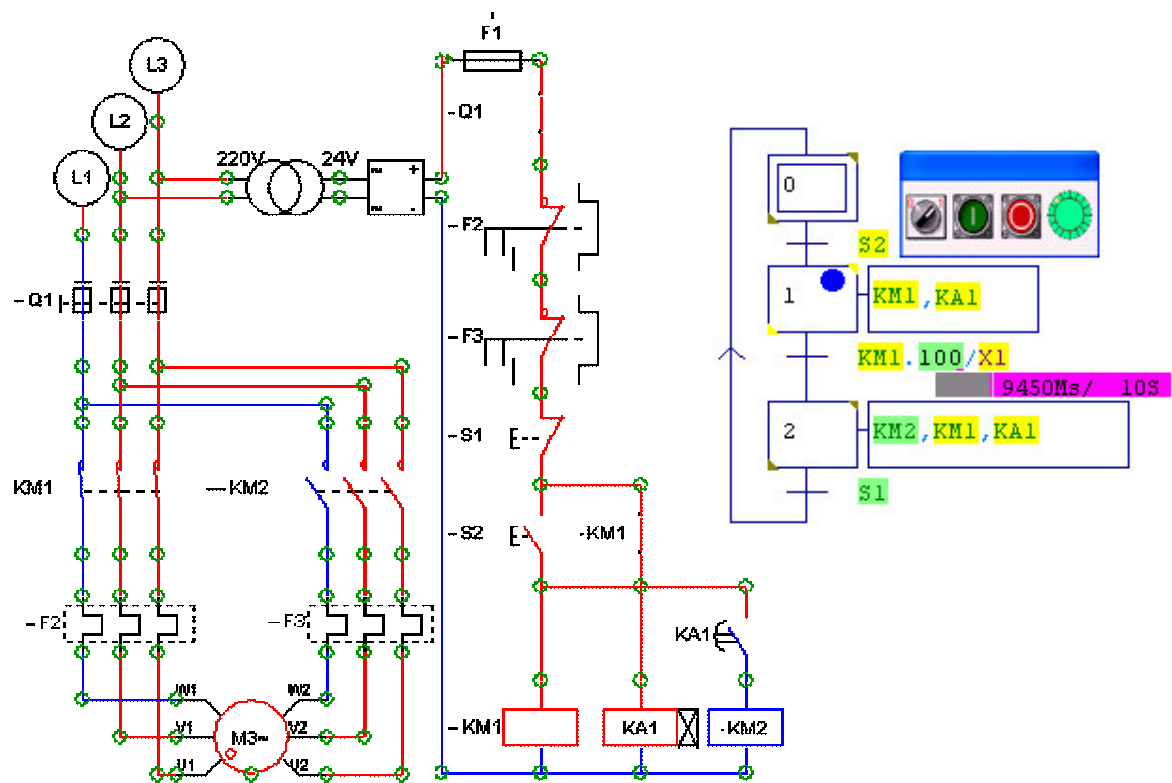


Fig IV.4.4 impulsion sur le bouton de start S2

3^{ème} cas : fermeture de KA1 après 10s.

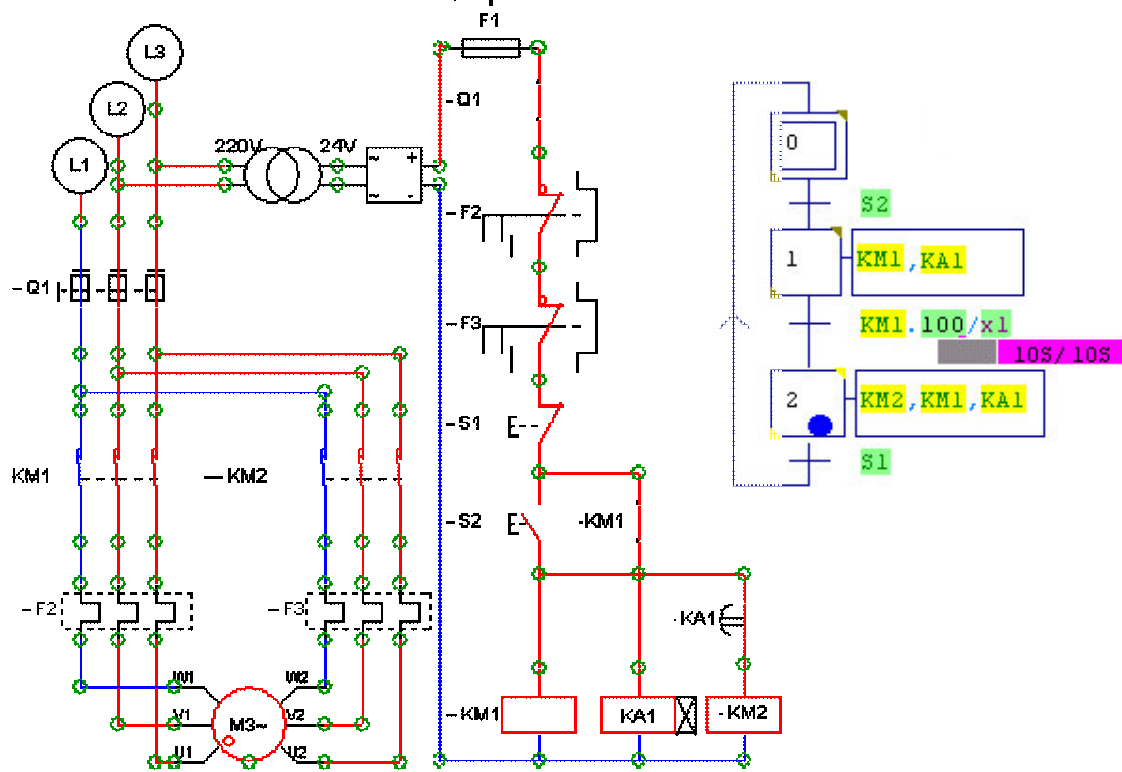


Fig IV.4.5 fermeture de KA1 après 10s.

4^{ème} cas : arrêt par impulsion sur le bouton de stop S1.

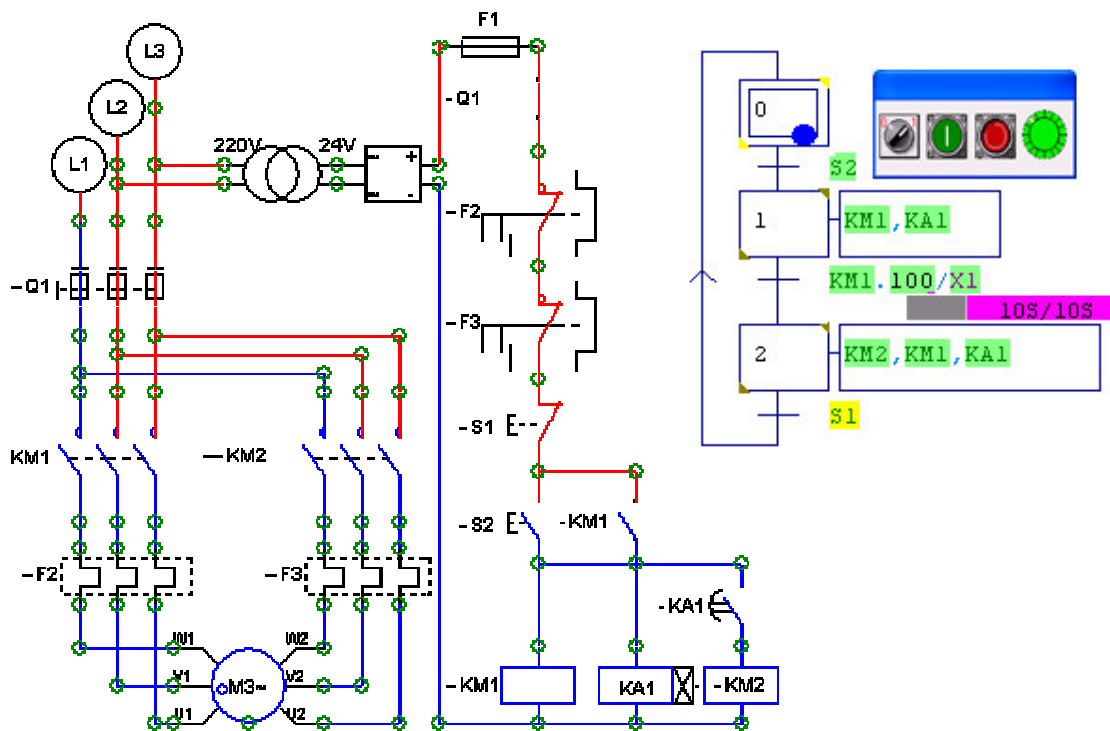


Fig IV.4.6 impulsion sur le bouton de stop S1

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

IV.5.1 Circuit de commande

Principe de fonctionnement

- Fermeture manuelle de Q1.
- 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.

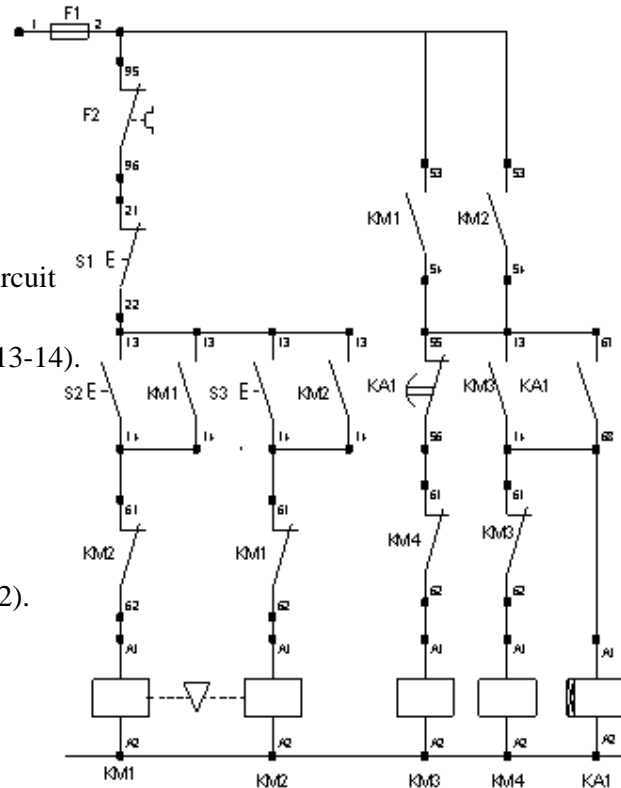


Fig IV 5.1. schéma de commande

IV.5.2 Liste des Entrées/Sorties

Symboles	Variables	Commentaires
S1	I1	Bouton stop
S2	I2	Bouton start sens 1
S3	I3	Bouton start sens 2
KM1	O1	Relais de réseau sens 1
KM2	O2	Relais de réseau sens 2
KM3	O3	Relais de réseau
KM4	O4	Relais de réseau
KA1	O5	Relais temporisé
100/X1%T	T0	
100/X3%T	T1	

Tab IV.5.2 liste des Entrées/Sorties

IV.5.5 Simulation

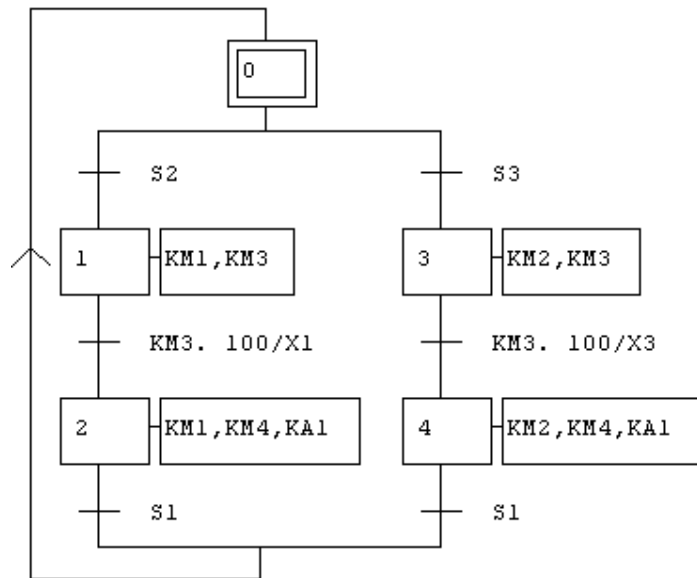


Fig IV 5.2. schéma à Grafcet

1^{er} cas : fermeture manuelle de Q1

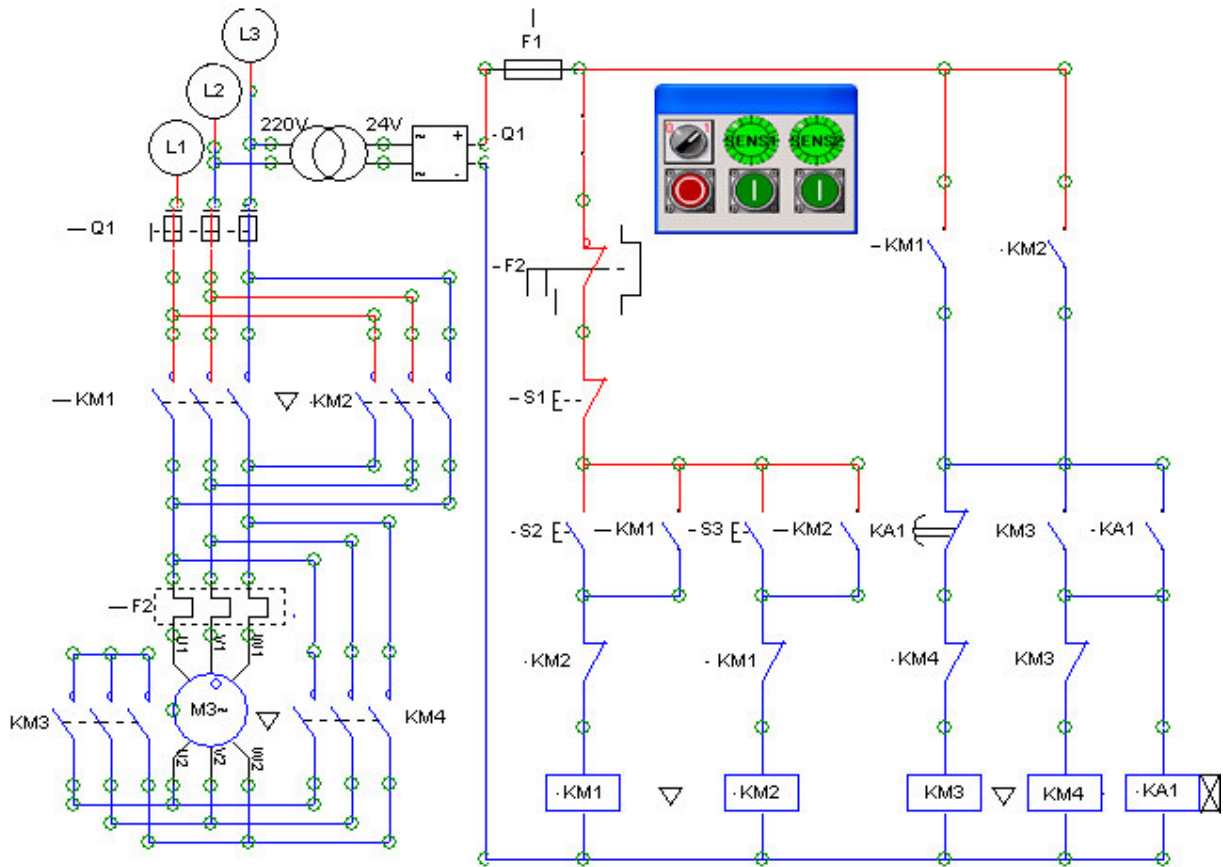


Fig IV 5.3 fermeture manuelle de Q1

2^{ème} cas : impulsion sur le bouton start S2 (sens 1).

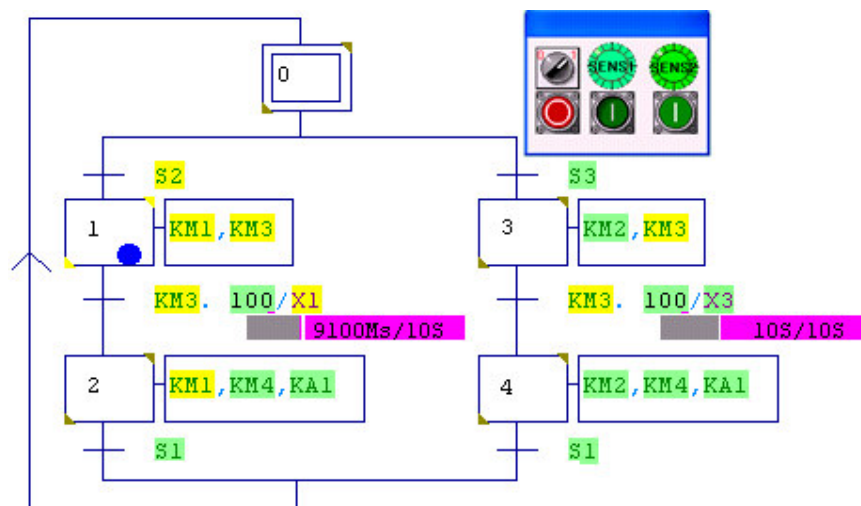


Fig IV .5.4.a impulsion sur le bouton de start S2 (Grafcet)

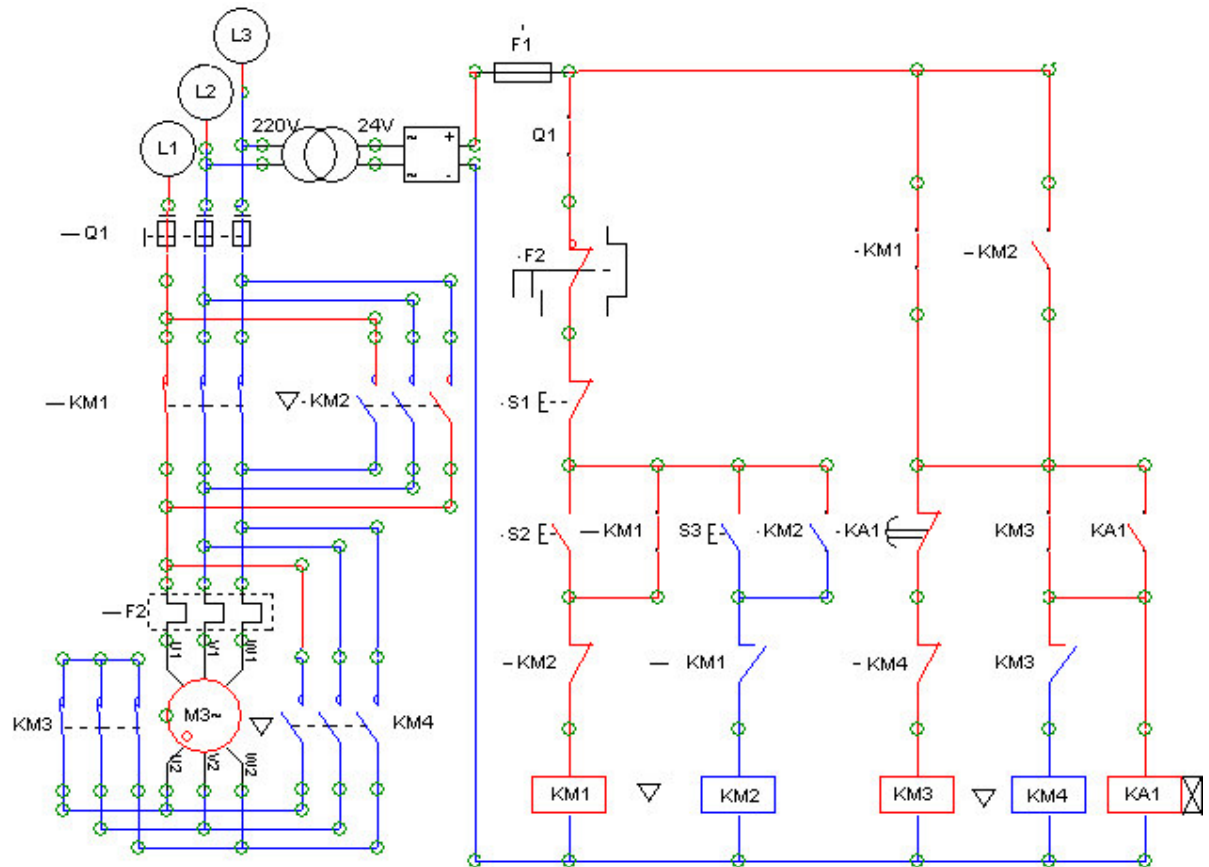


Fig IV .5.4.b impulsion sur le bouton start S2

3^{ème} cas : fermeture de KM4 après 10s (couplage Triangle).

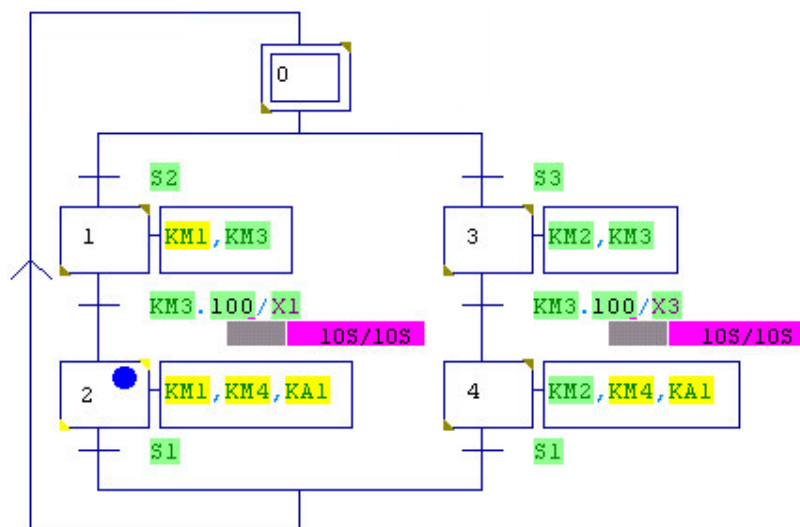


Fig IV .5.5.a fermeture de KM4 (couplage Triangle)

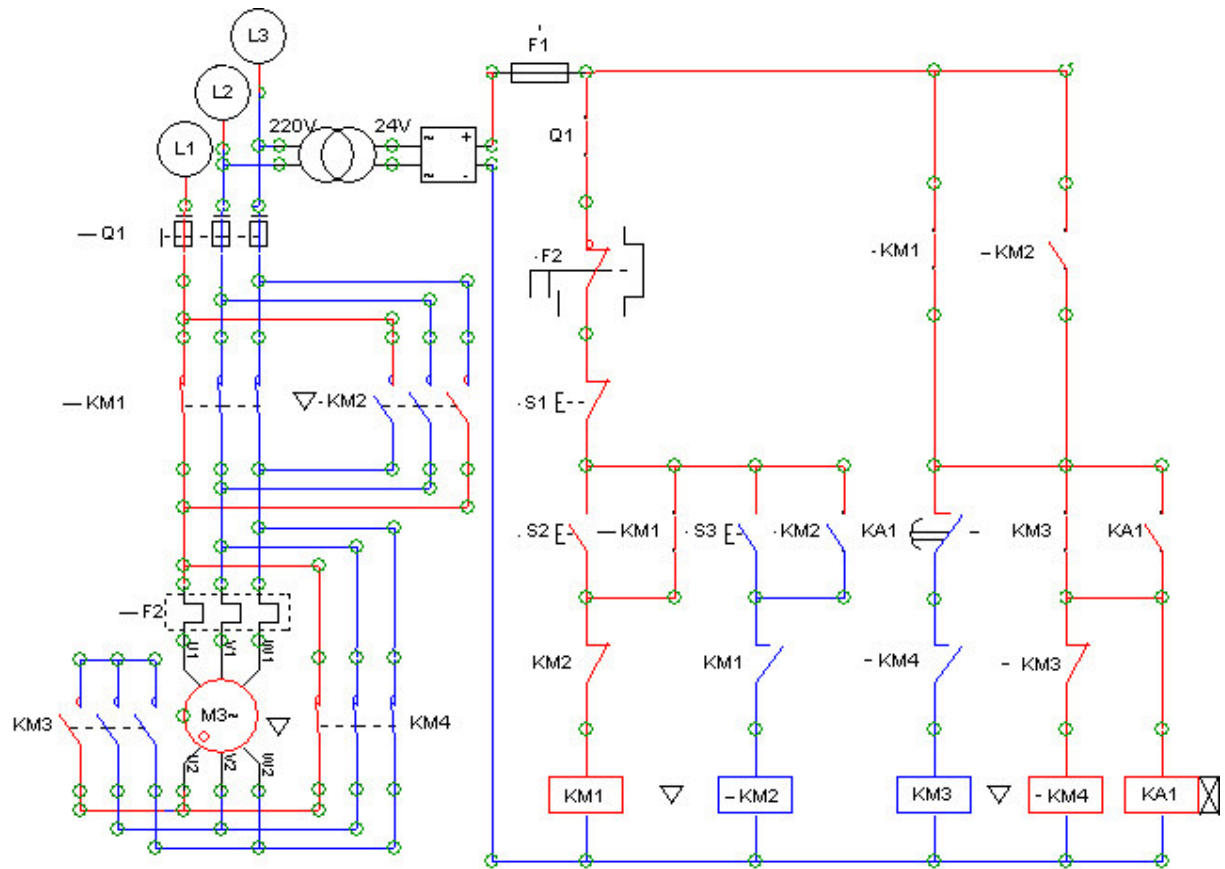


Fig IV.5.5.b fermeture de KM4 (couplage Triangle)

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

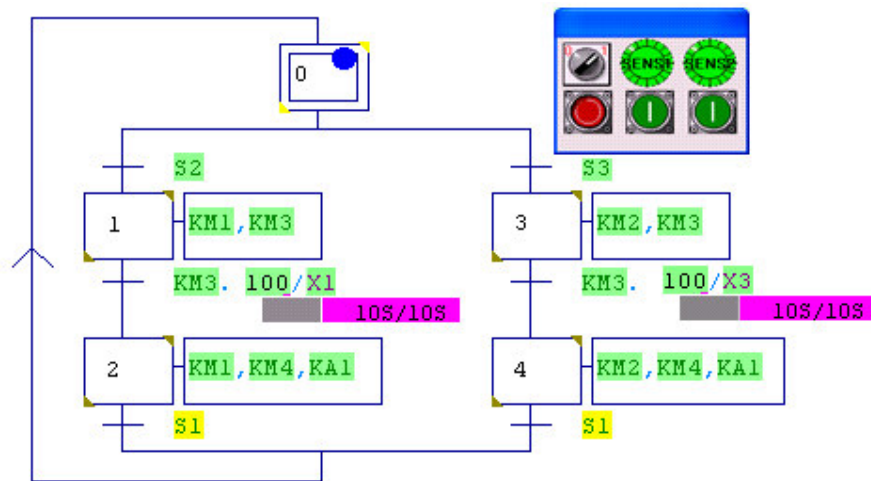


Fig IV.5.6.a impulsion sur S1 (Grafcet)

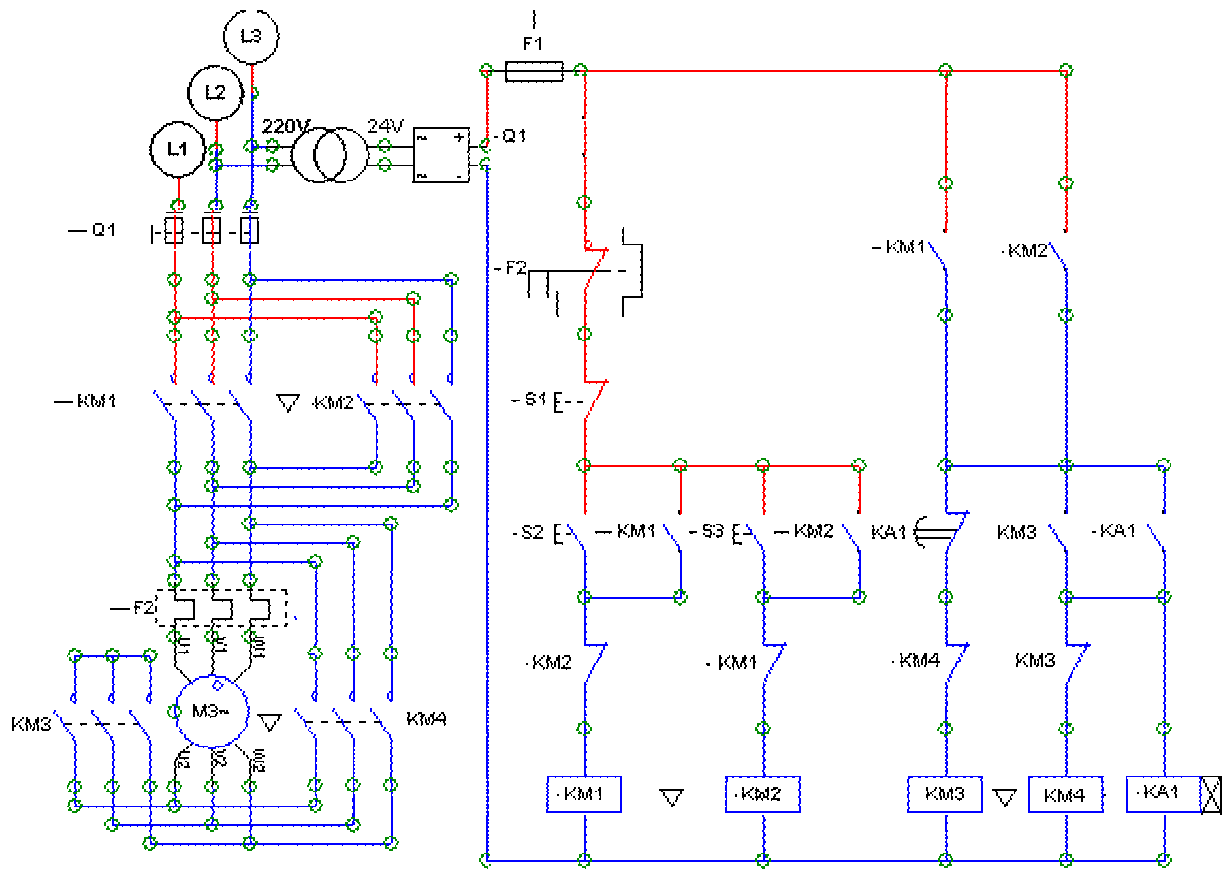


Fig IV .5.6.b impulsion sur S1

5^{ème} cas : impulsion sur le bouton de start S3 (sens 2).

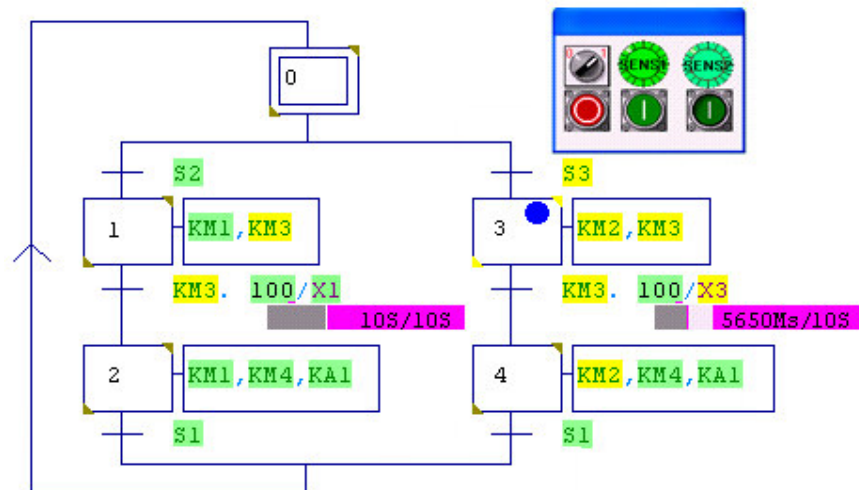


Fig IV .5.7.a impulsion sur le bouton de start S3 (Grafcet)

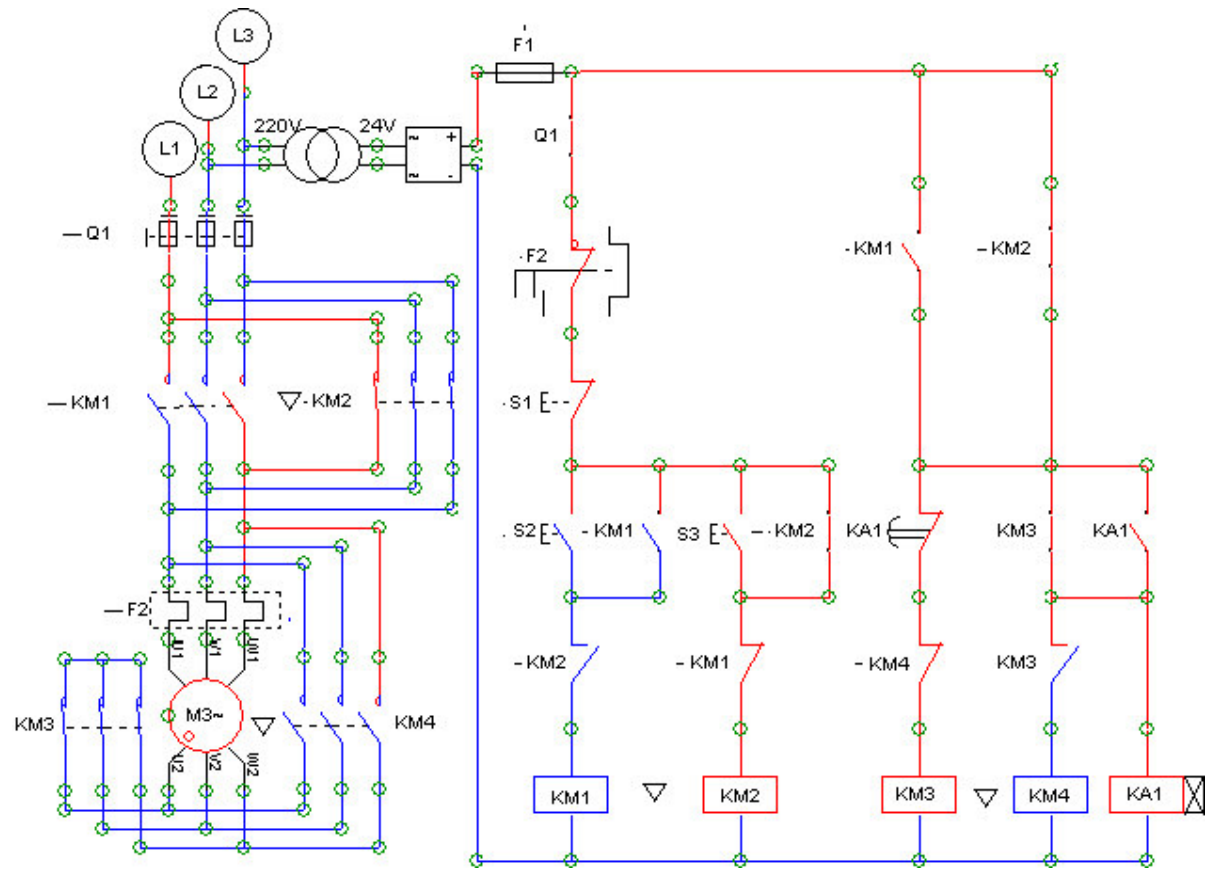


Fig IV .5.7.b impulsion sur le bouton start S3

6^{ème} cas : fermeture de KM4 après 10s (couplage Triangle).

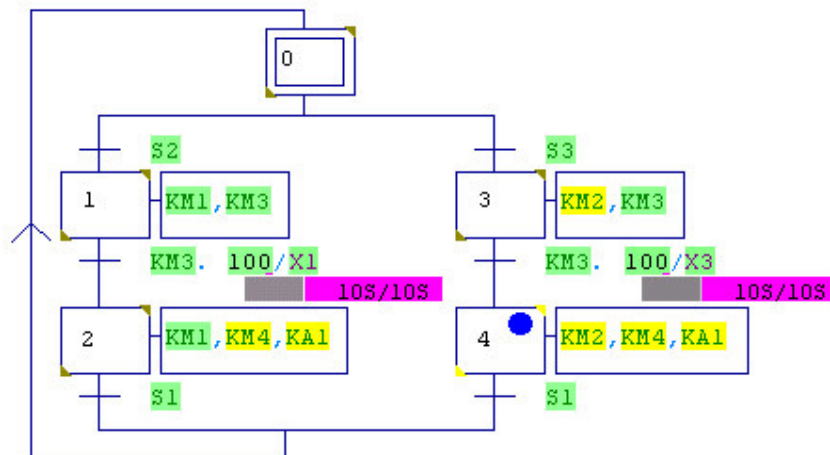


Fig IV .5.8.a fermeture de KM4 (couplage Triangle)

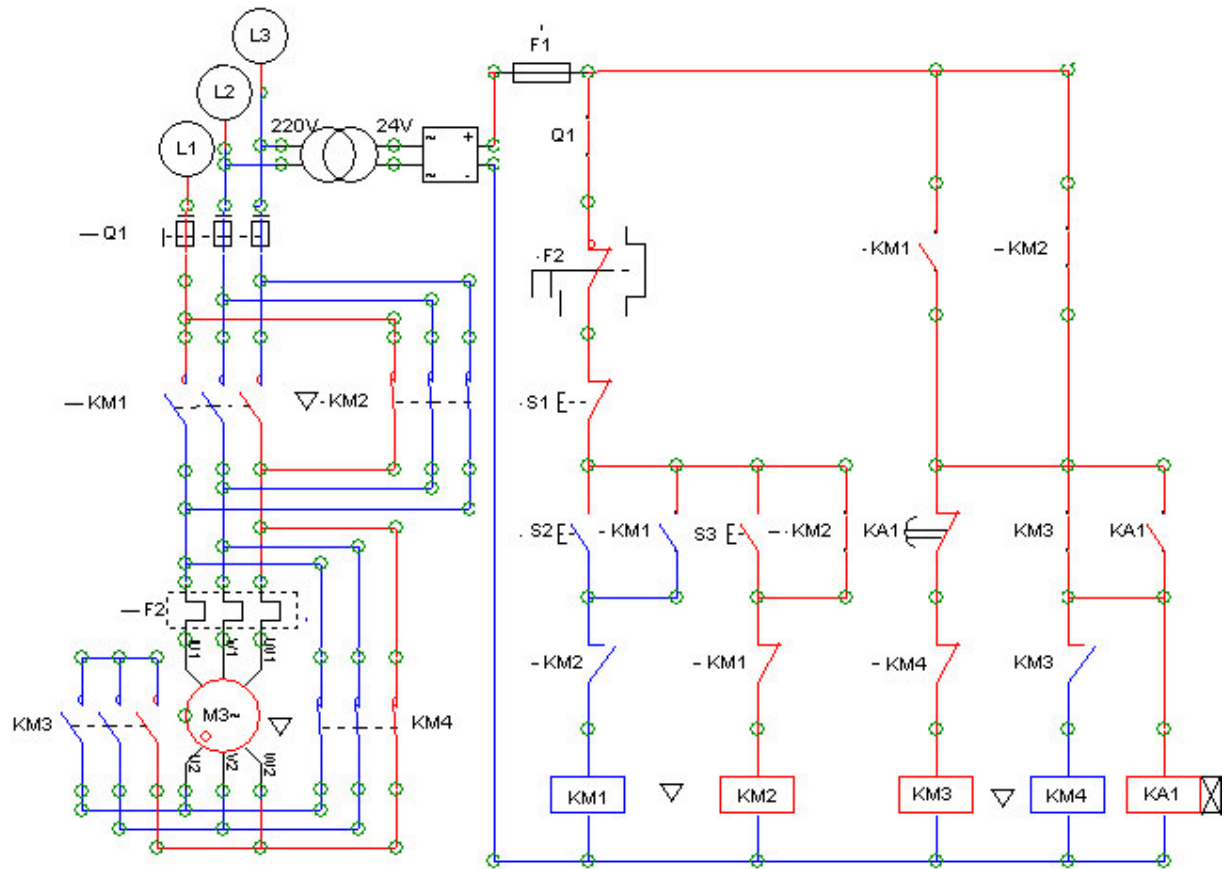


Fig IV .5.8.b fermeture de KM4 (couplage Triangle)

7^{ème} cas : impulsion sur le bouton stop S1.

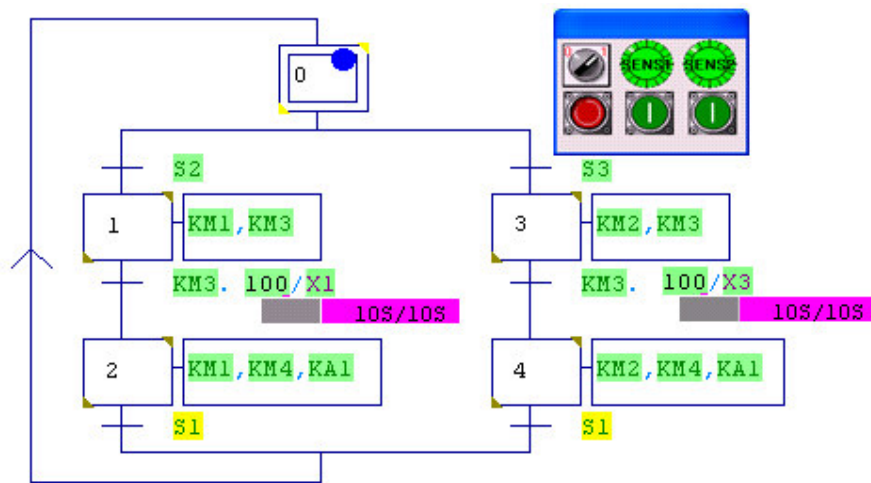


Fig IV .5.9.a impulsion sur le bouton de stop S1 (Grafcet)

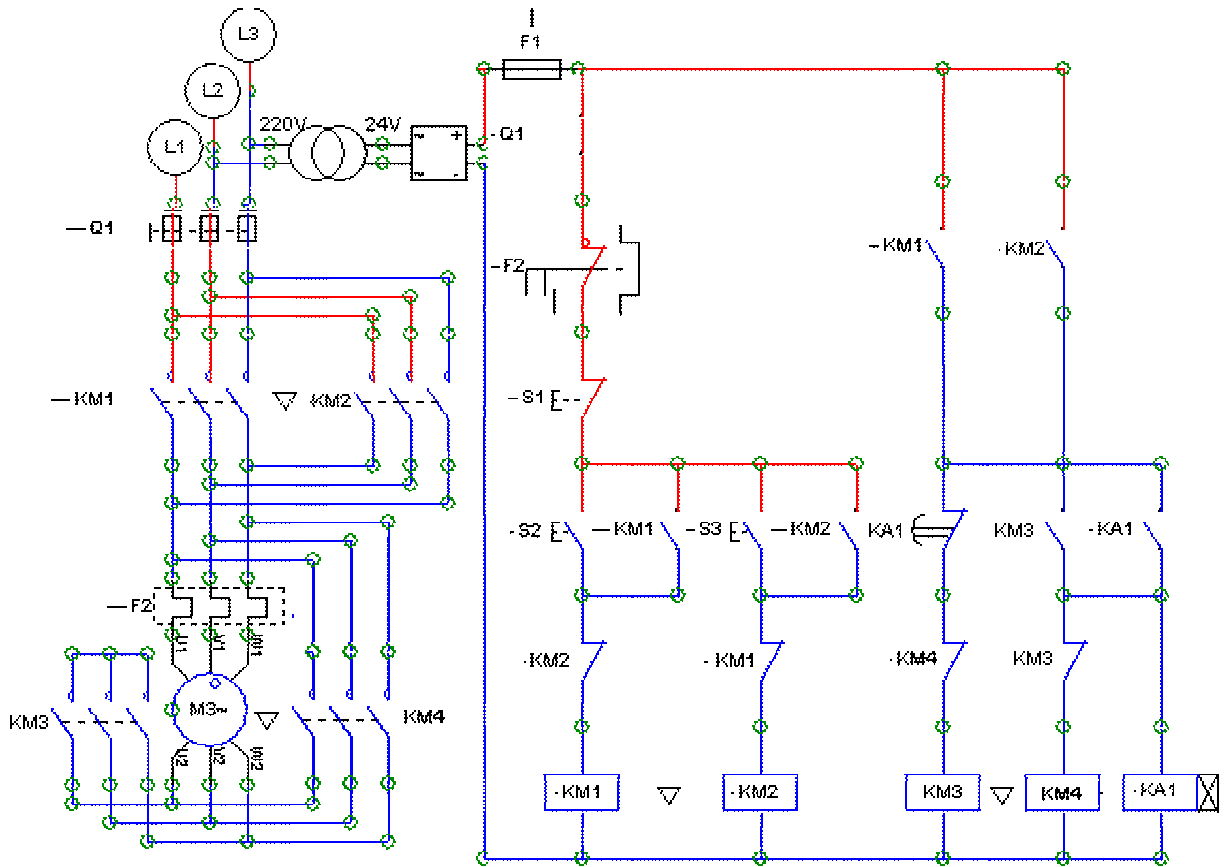


Fig IV.5.9.b impulsion sur le bouton de S1

IV.6 Démarreur inverseur statorique

IV.6.1 Circuit de commande

Principe de fonctionnement

- Fermeture manuelle de Q1.
- Impulsion sur S2 ou S3.
- Excitation de KM1 ou de KM2.
- Verrouillage de KM2 ou KM1 (61-62).
- Auto-alimentation de KM1 ou KM2(1314
- Excitation de KA1 par KM1 ou KM2 (53-
- Excitation de KM1 1 par KA1 (67-68).

Arrêt :

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

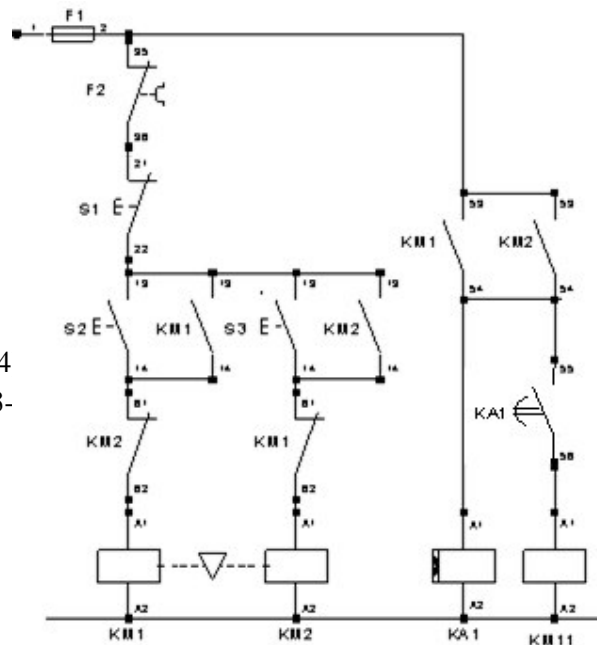


Fig IV.6.1 schéma de commande

2^{ème} cas : impulsion sur le bouton de start S2 (sens 1).

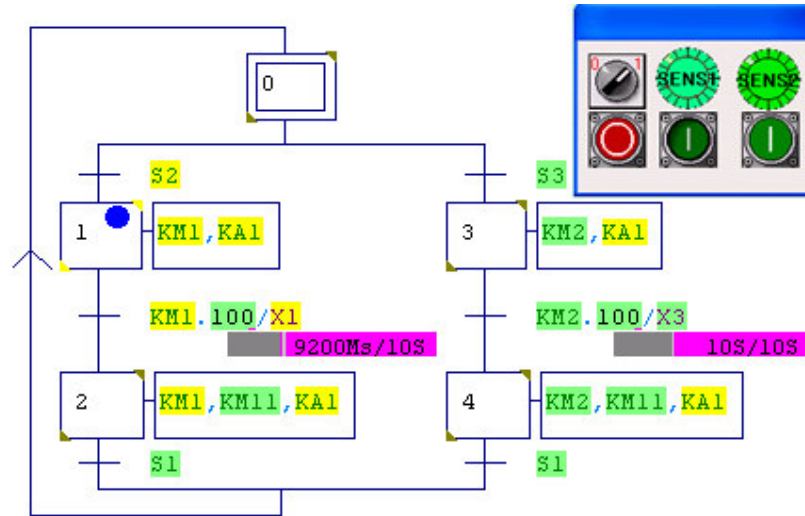


Fig IV.6.4.a impulsion sur le bouton de start S2 (Grafcet)

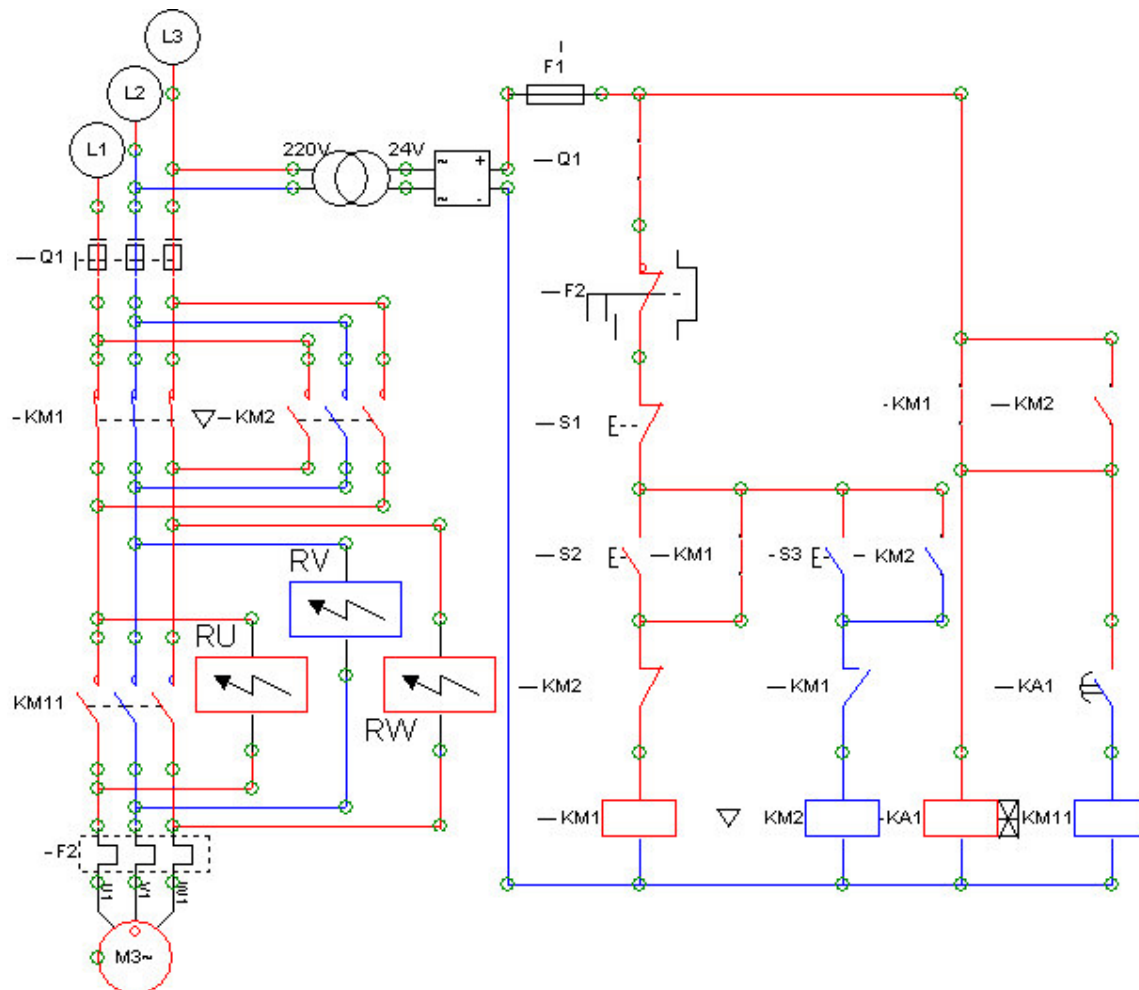


Fig IV.6.4.b impulsion sur le bouton de start S2

3^{ème} cas : fermeture de KA1 après 10s.

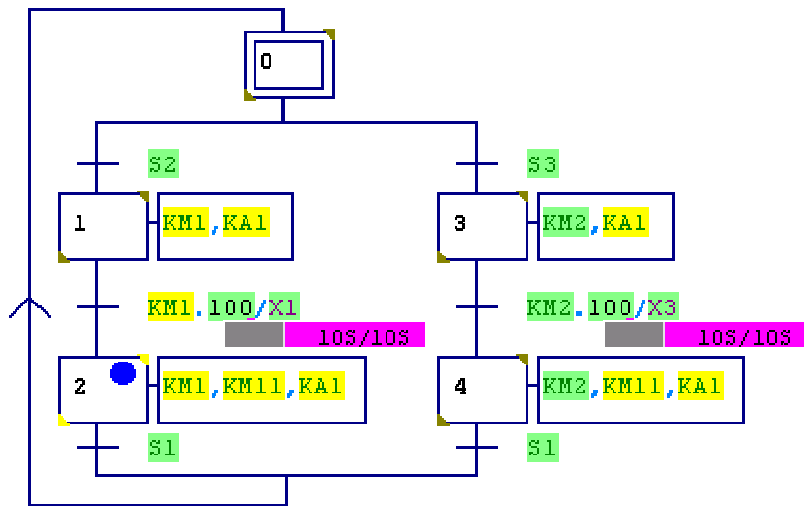


Fig IV.6.5.a fermeture de KA1 après 10s (Grafcet)

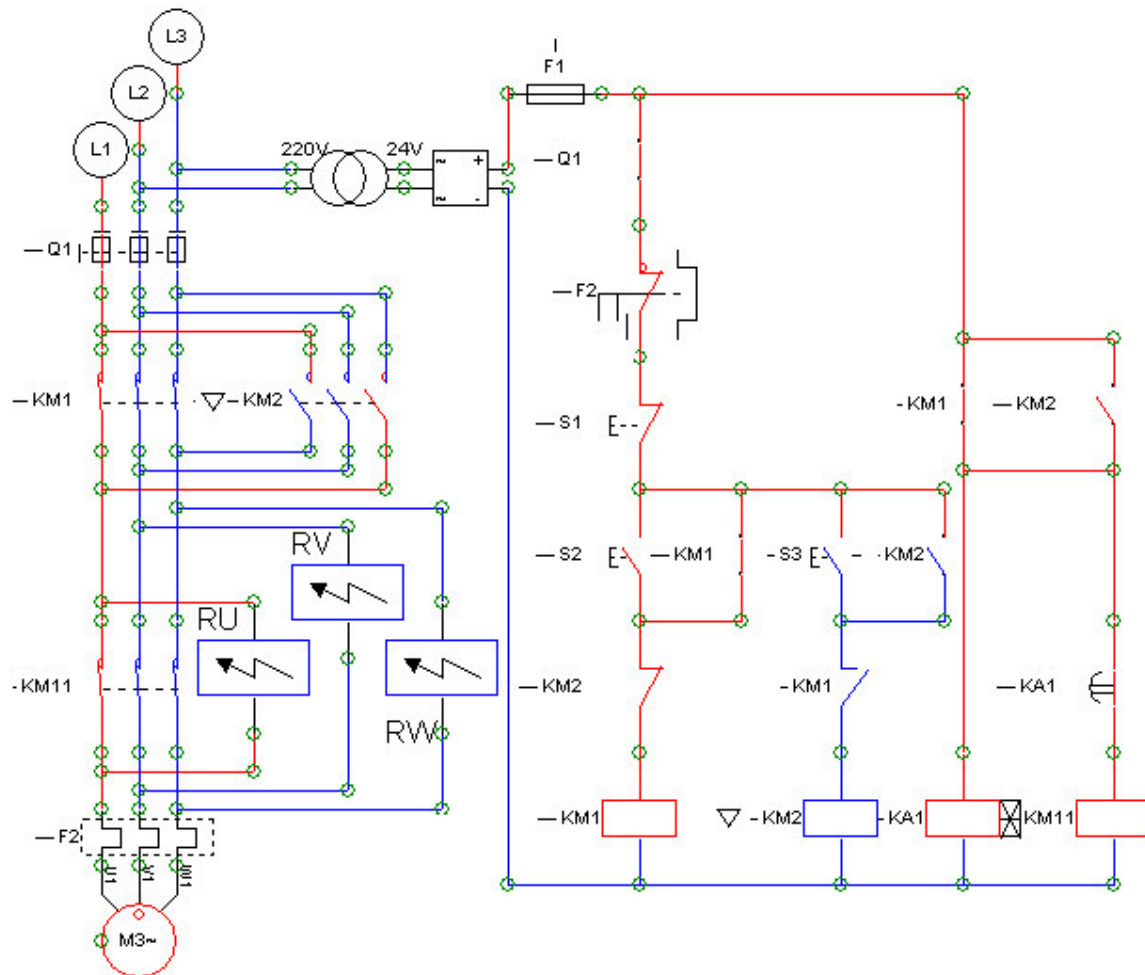


Fig IV.6.5.b fermeture de KA1 après 10s

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

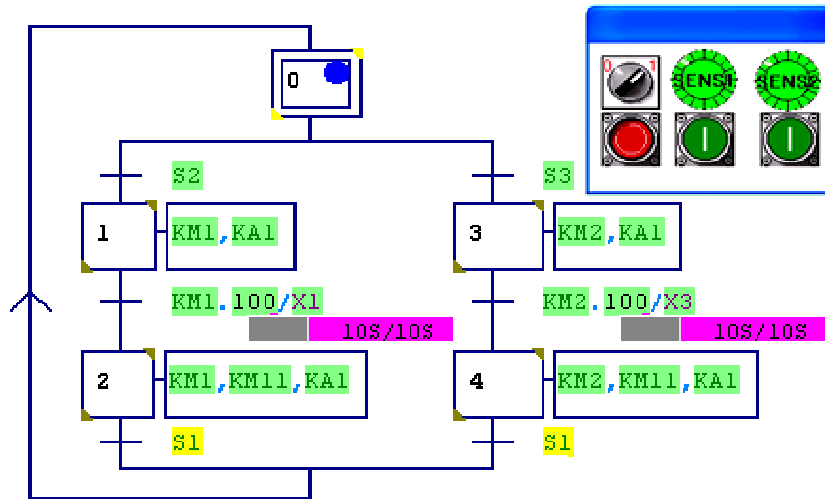


Fig IV.6.6.a impulsion sur le bouton de stop S1 (Grafcet)

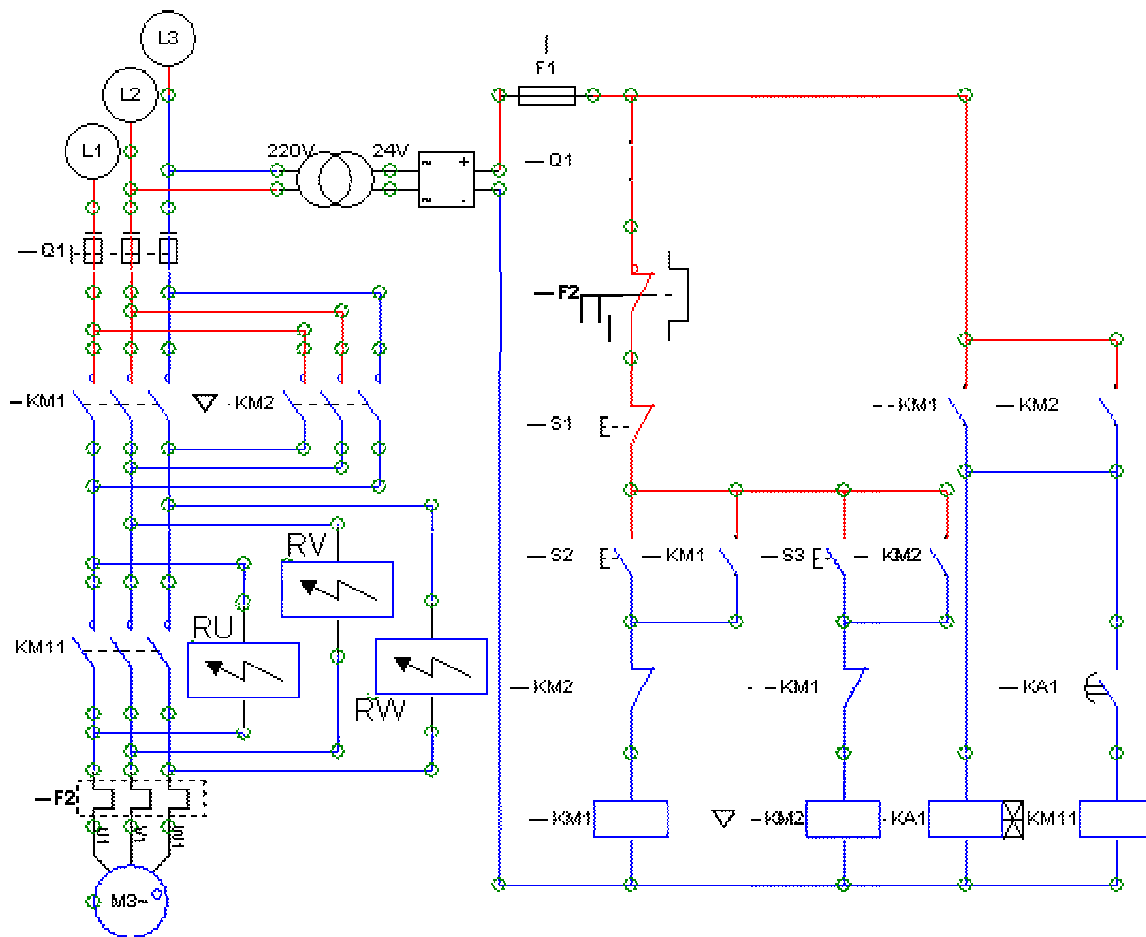


Fig IV.6.6.b impulsion sur le bouton de stop S1

5^{ème} cas : impulsion sur le bouton de start S3 (sens 2)

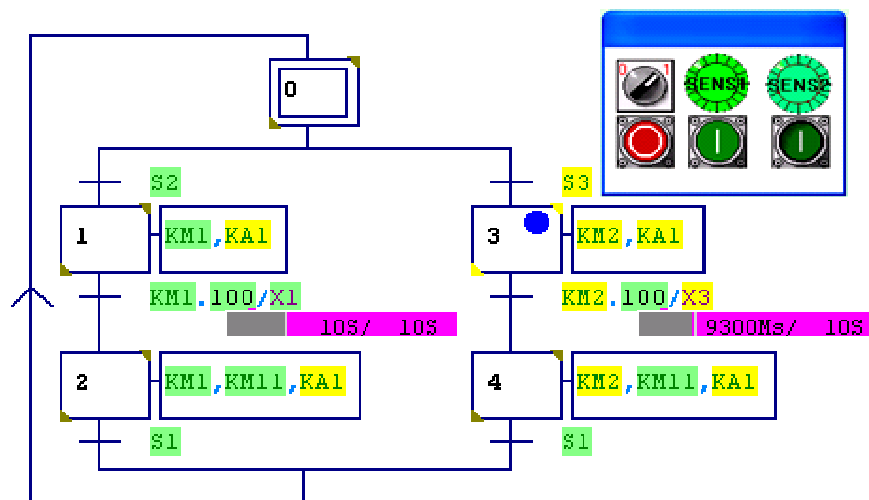


Fig IV.6.7.a impulsion sur le bouton de start S3 (Grafcet)

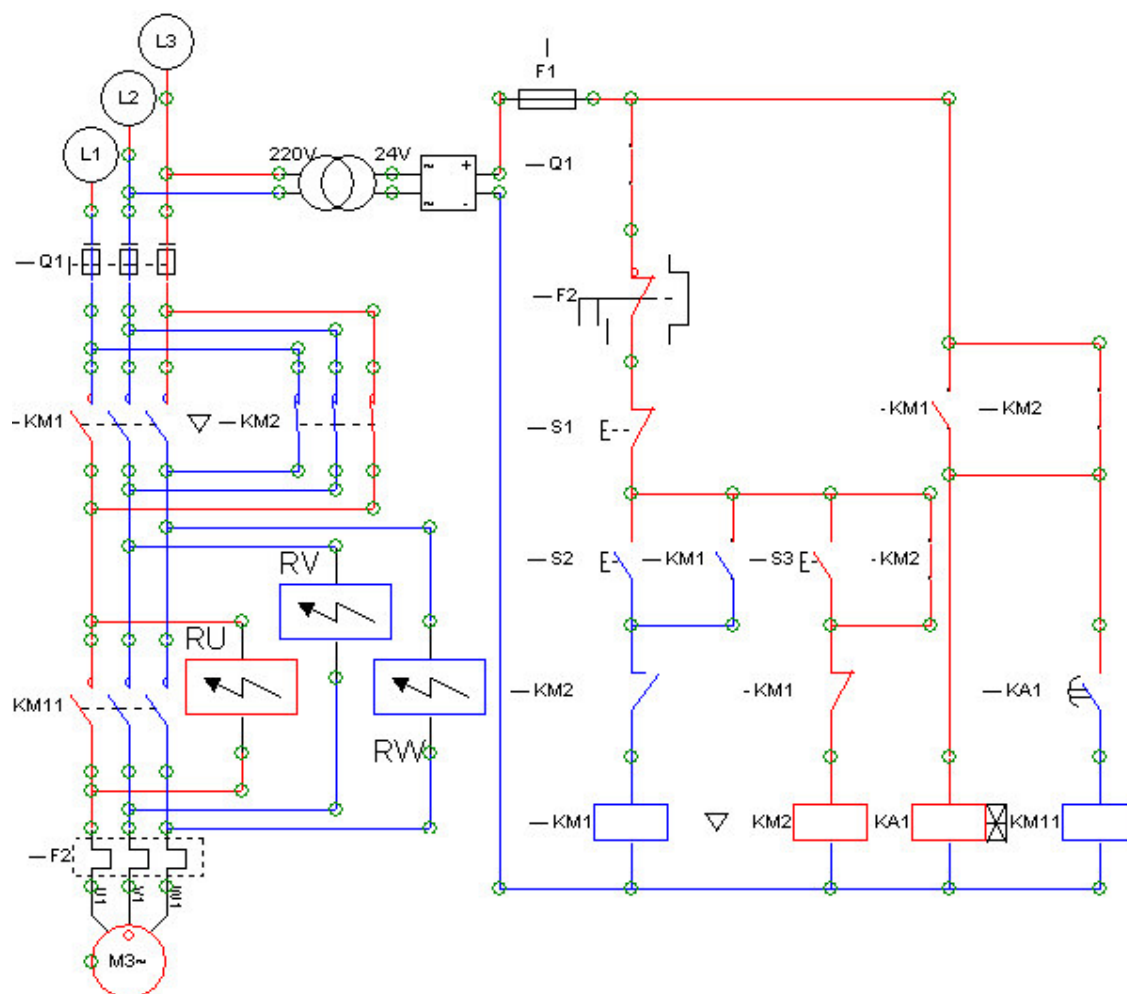


Fig IV.6.7.b impulsion sur le bouton de start S3

6^{ème} cas : fermeture de KA1 après 10s

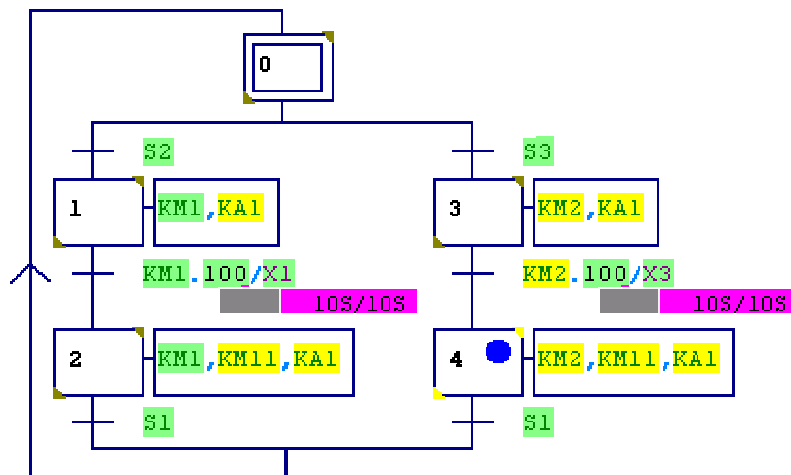


Fig IV.6.8.a fermeture de KA1 après 10s (Grafcet)

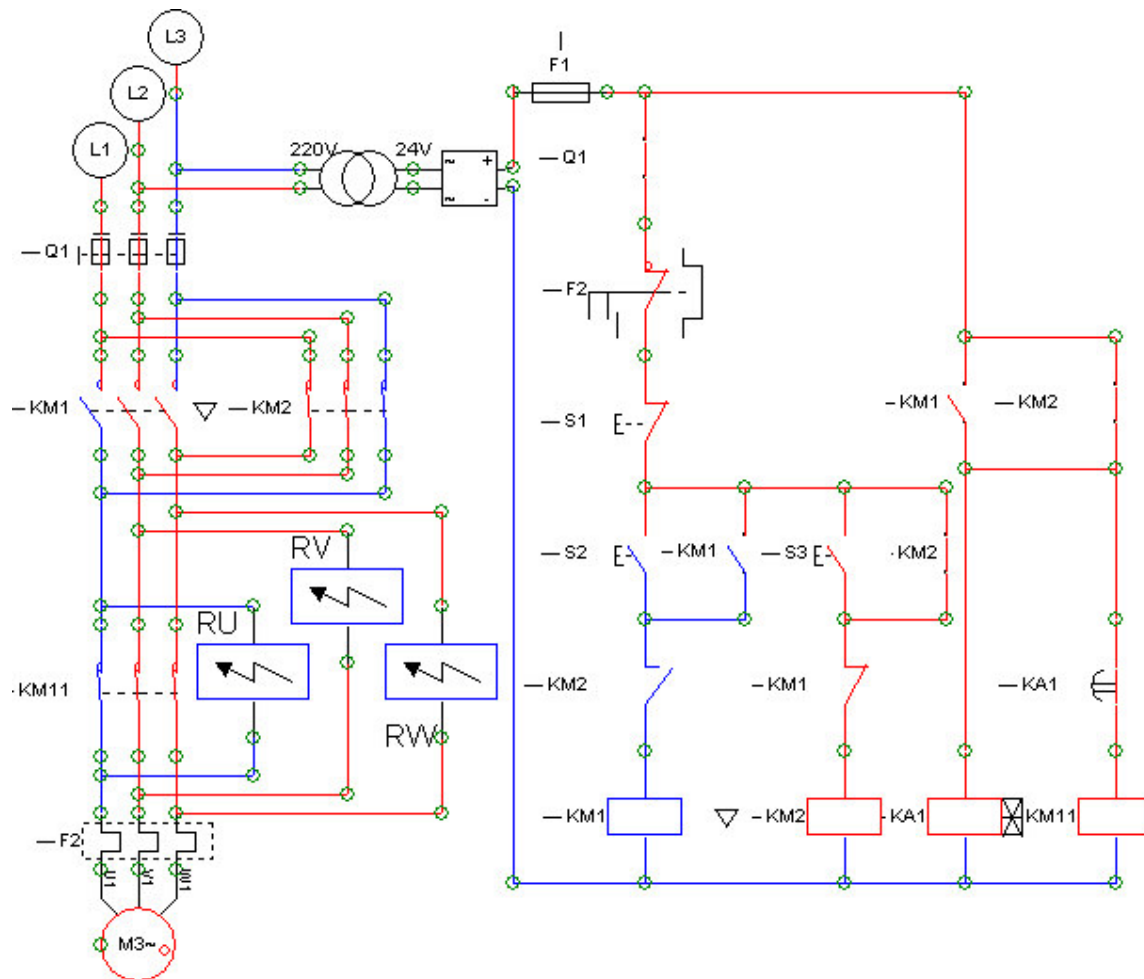


Fig IV.6.8.b fermeture de KM1 après 10s

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

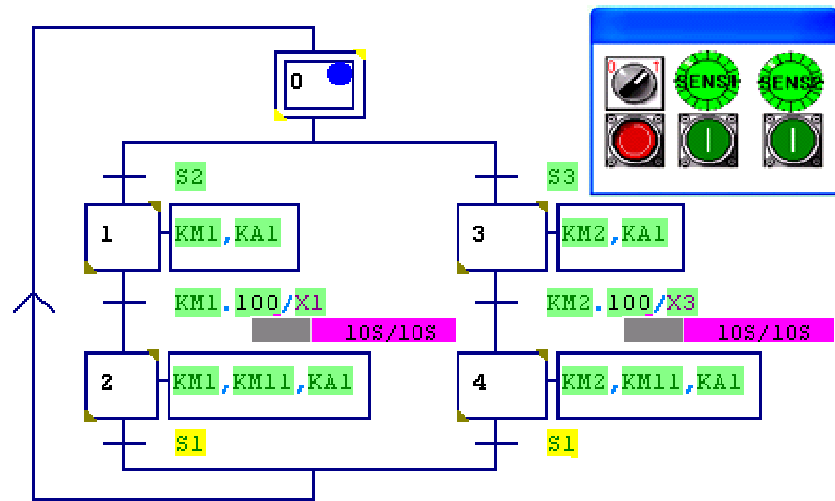


Fig IV.6.9.a impulsion sur le bouton de stop S1 (Grafcet)

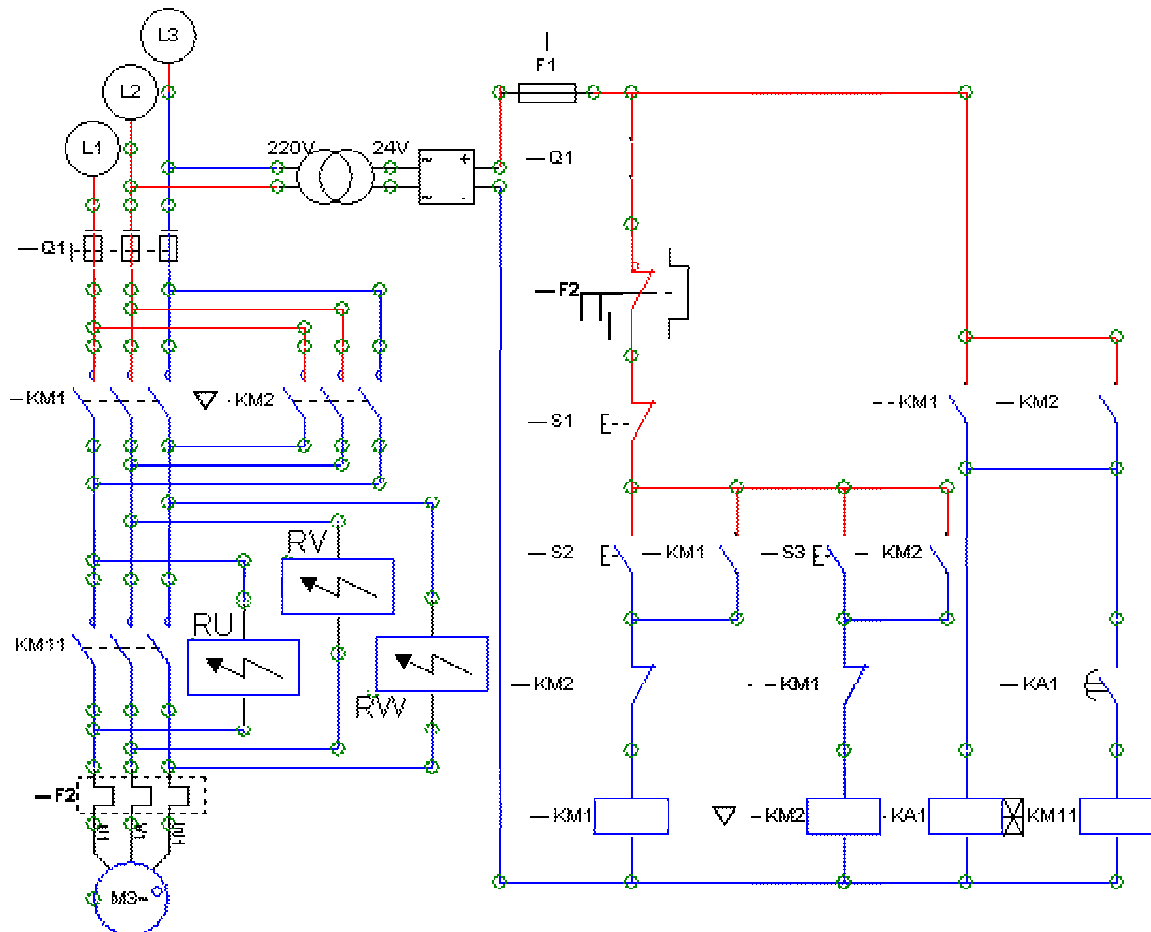


Fig IV.6.9.b impulsion sur le bouton de stop S1

IV.7 Démarrage par élimination des résistances rotoriques (1sens de marche)

IV.7.1 Circuit de commande

Principe de fonctionnement

- Fermeture manuelle de Q1.
- Impulsion sur S2.
- Excitation de KM1.
- Auto alimentation de KM1 (13-14).
- Excitation de KA1 par KM1 (53-54).
- Excitation de KM11 et KA2 par KA1 (67-68).
- Excitation de KM12 par KA2 (67-68).

Arrêt :

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

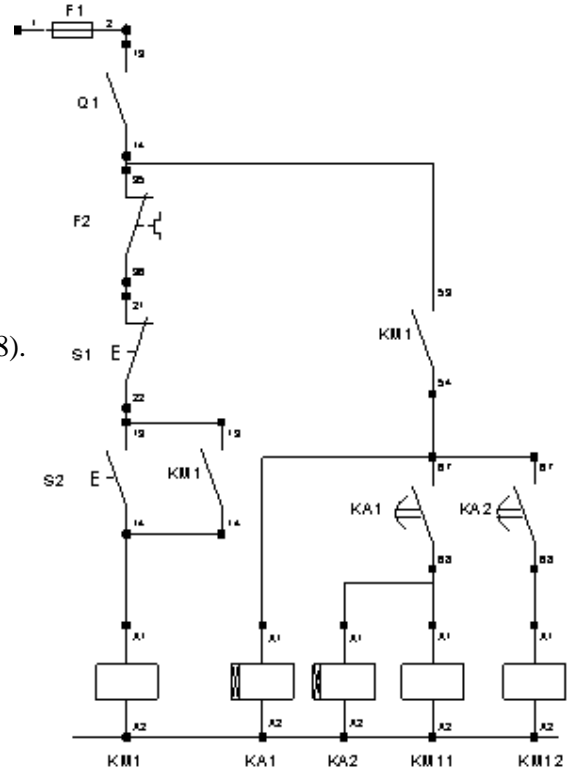


Fig IV.7.1 schéma de commande

IV.7.2 Listes des Entrées/Sorties

Symboles	Variables	Commentaires
S1	I1	Bouton stop
S2	I2	Bouton start
KM11	O1	Relais de réseau
KM12	O2	Relais de réseau
KM1	O3	Relais de réseau
KA1	O4	Relais de temporisation
KA2	O5	relais de temporisation
100/X1%T	T0	
100/X2%T	T1	

Tab IV.7.2 liste des Entrées/Sorties

IV.7.3 Simulation

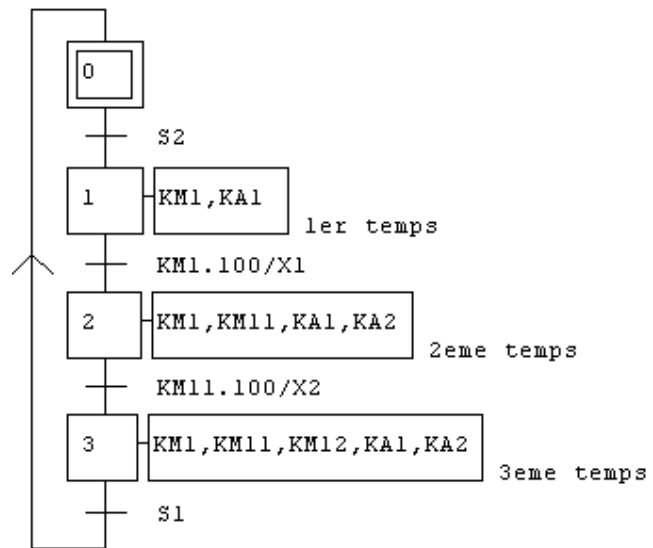


Fig IV.7.3 schéma à Grafcet

1^{er} cas : fermeture manuelle de Q1

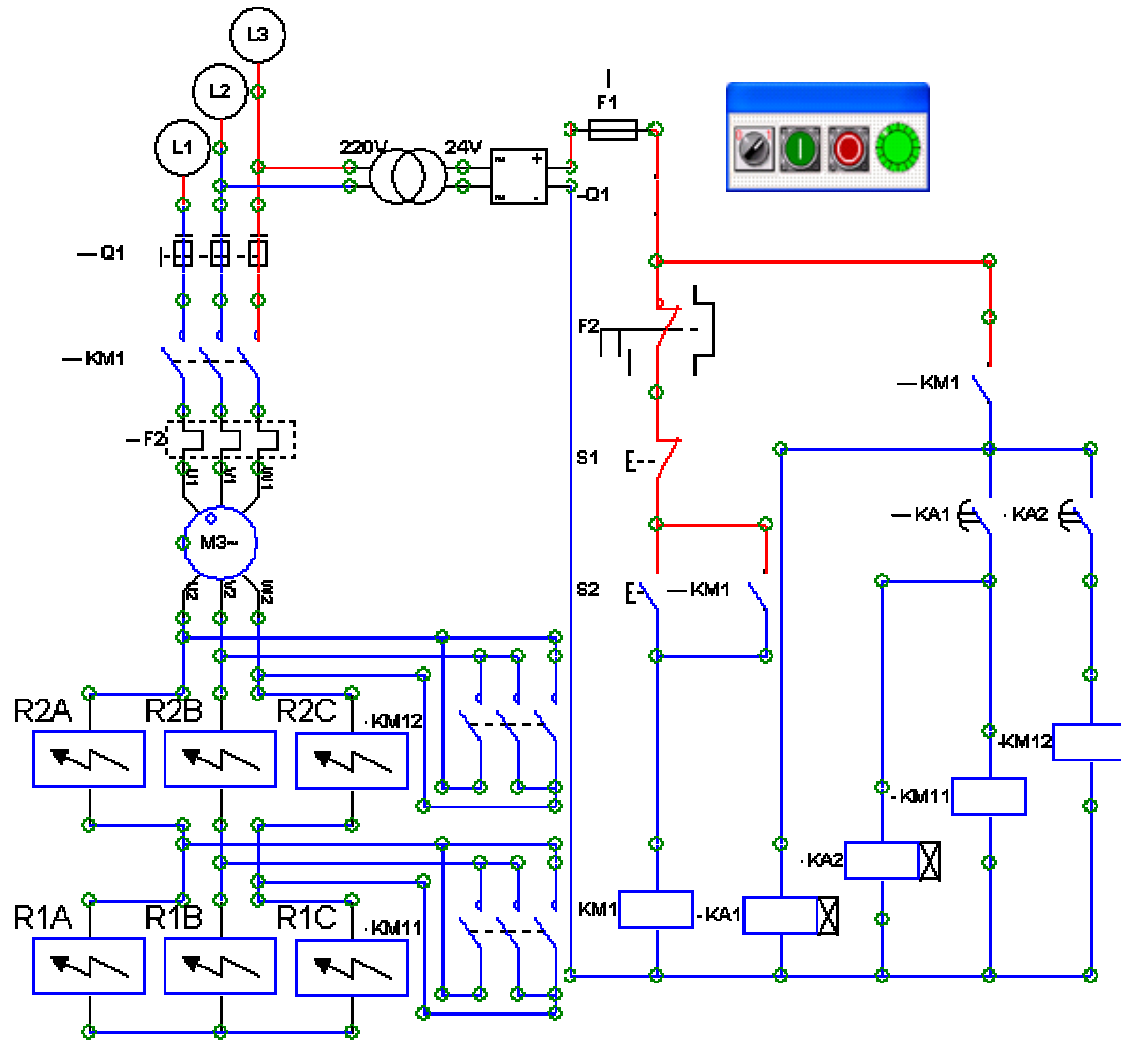


Fig IV.7.4 fermeture manuelle de Q1

2^{ème} cas : impulsion sur le bouton de start S2 (1^{er} temps)

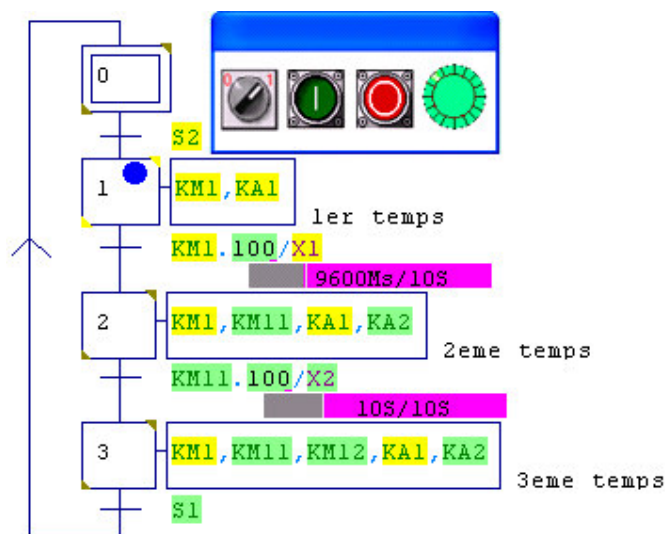


Fig IV.7.5 impulsion sur le bouton start S2 (Grafcet)

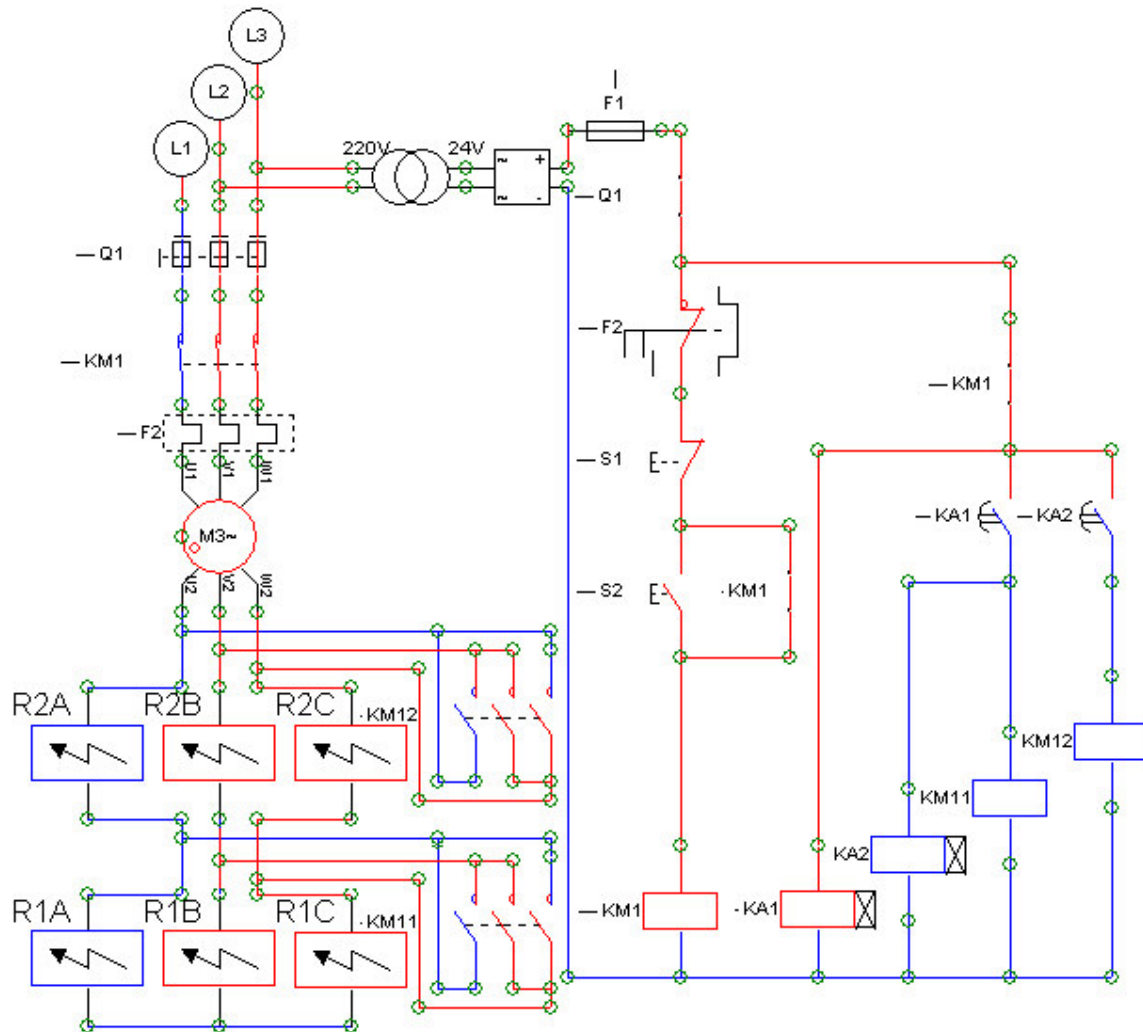


Fig IV.7.6 impulsion sur le bouton start S2

3^{ème} cas : fermeture de KA1 après (2^{ème} temps)

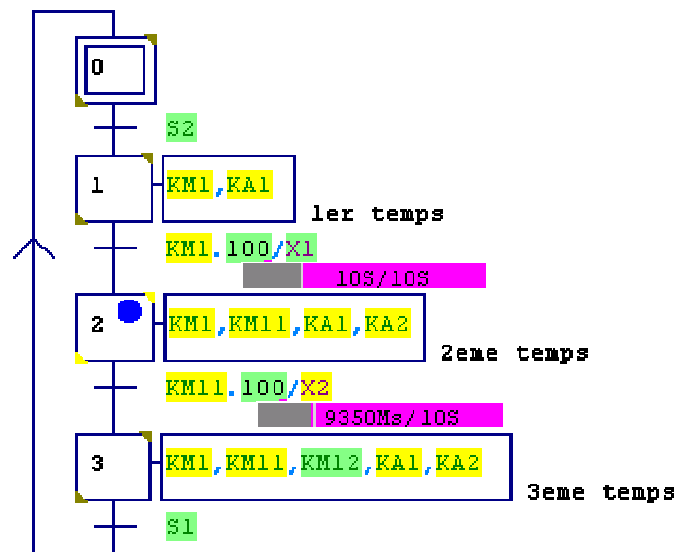


Fig IV.7.7 fermeture de KA1 (Grafcet).

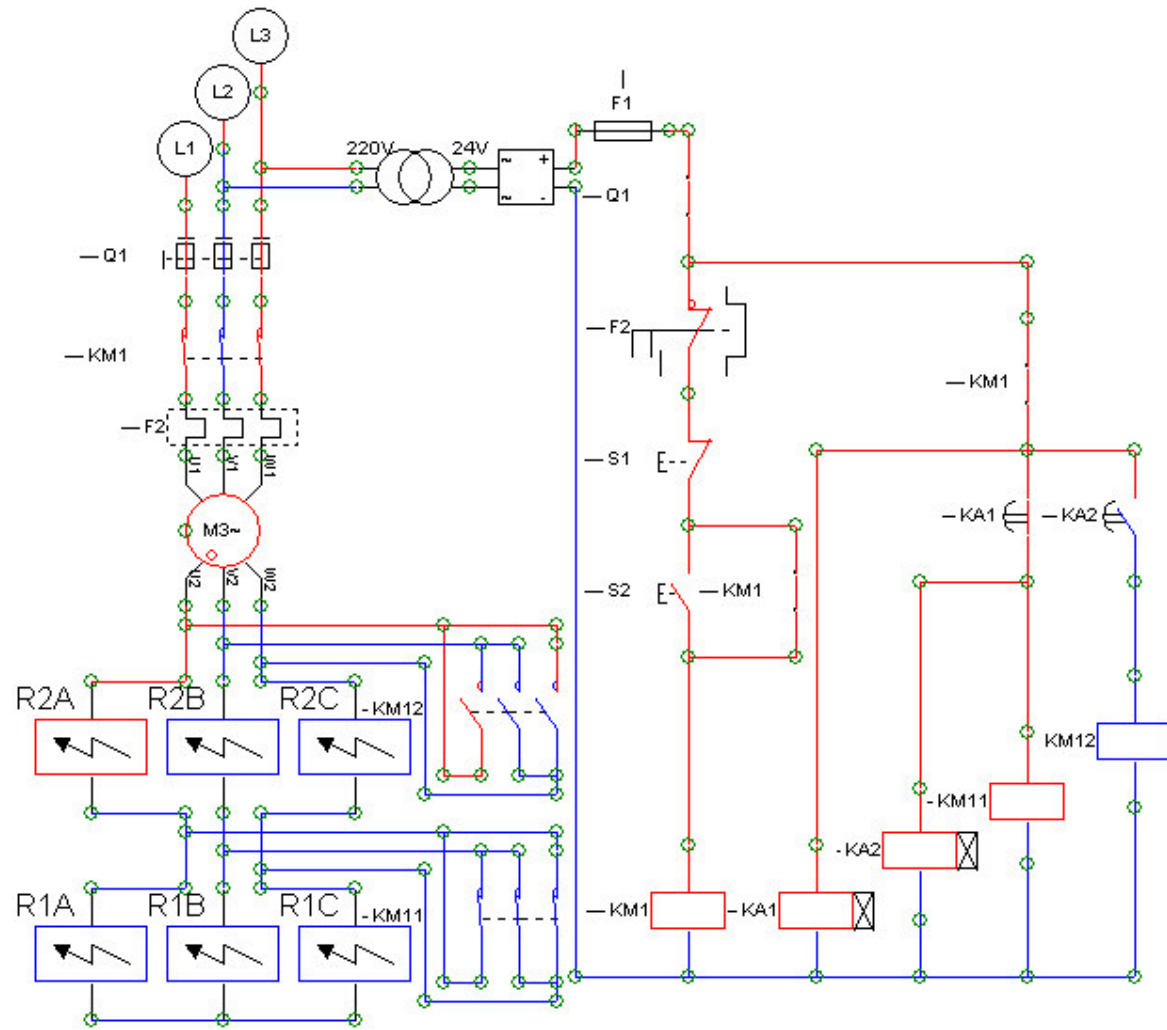


Fig IV.7.8 fermeture de KA1

4^{ème} cas : fermeture de KA2 (3^{ème} temps)

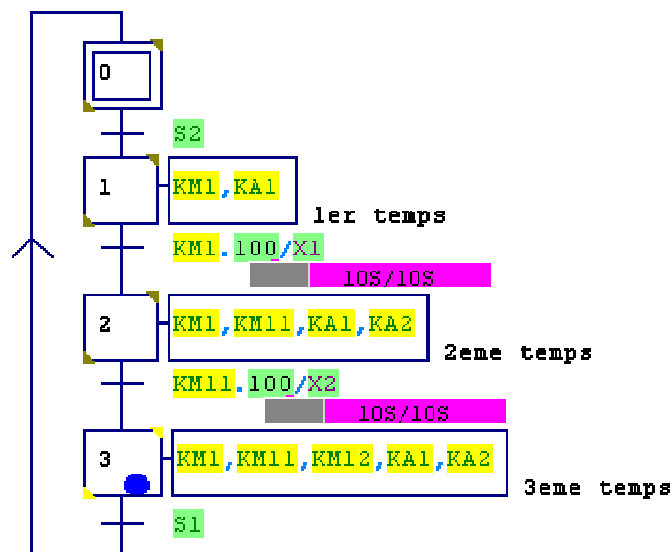


Fig IV.7.9 fermeture de KA2 (Grafcet).

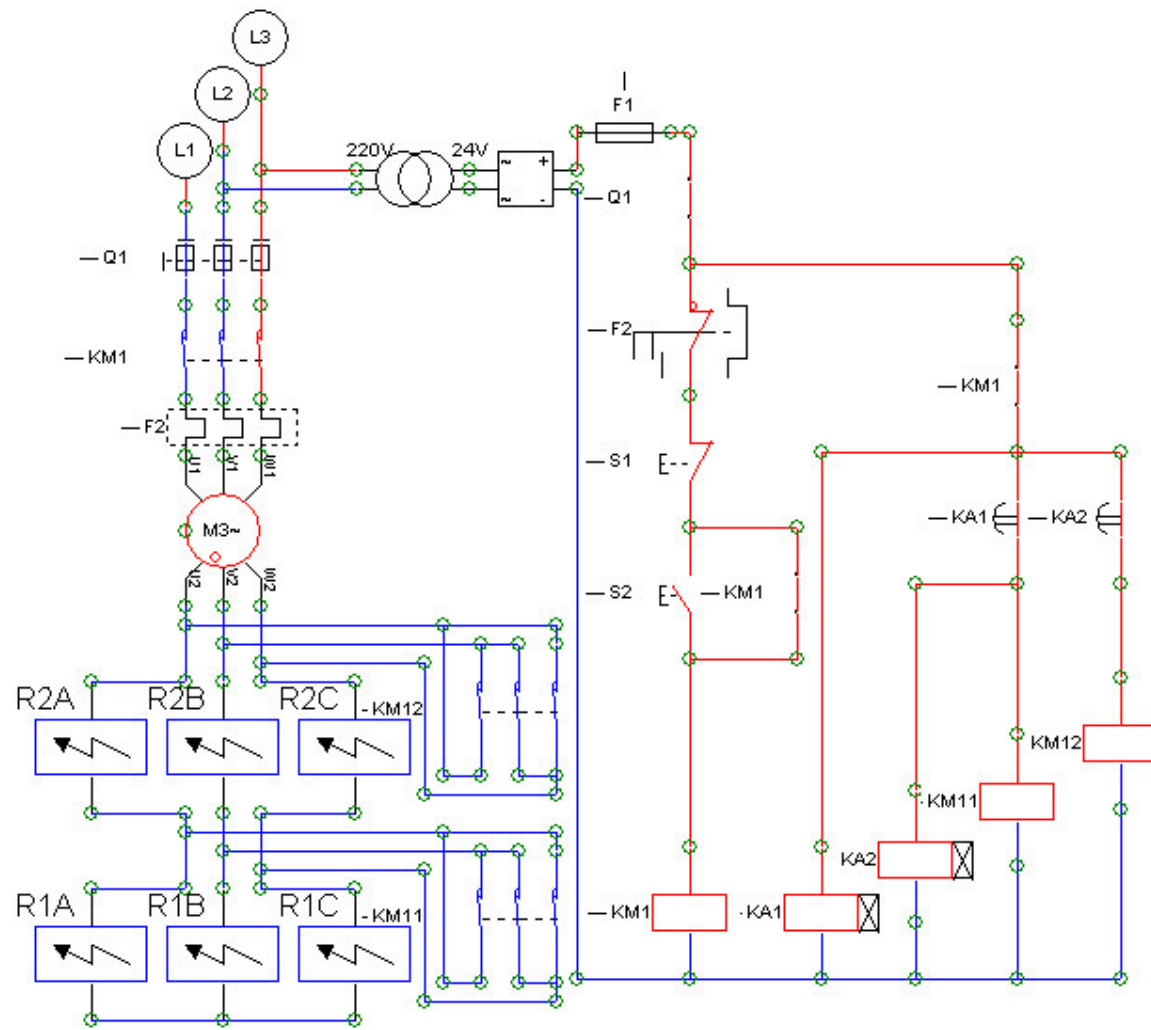


Fig IV.7.10 fermeture de KA2

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

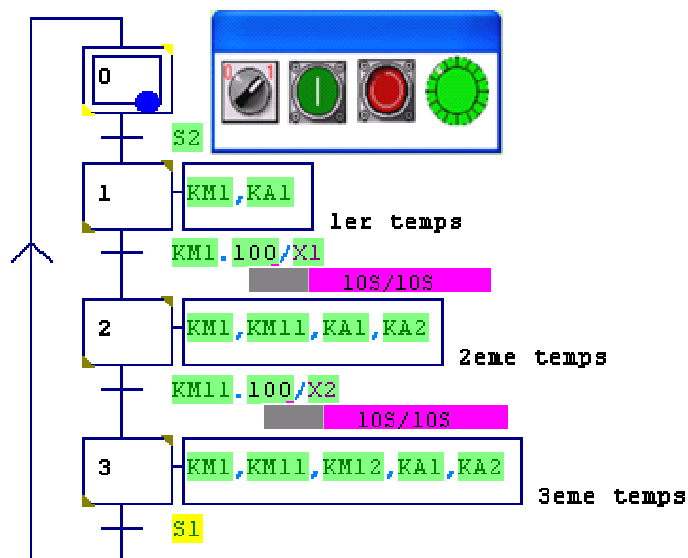


Fig IV.7.11 impulsion sur le bouton stop S1 (Grafcet)

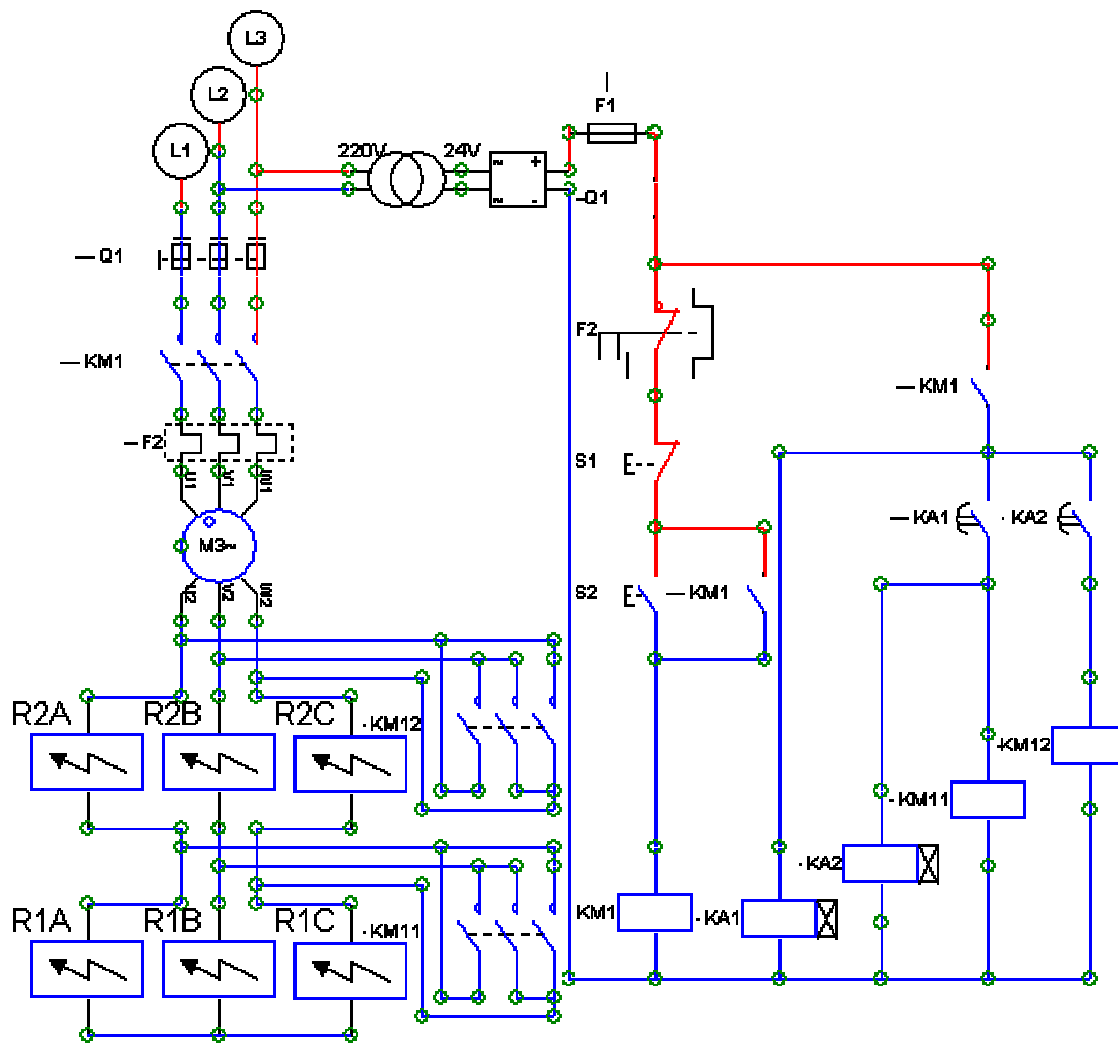


Fig IV.7.12 impulsion sur le bouton stop S1

IV.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons élaboré une étude de simulation à l'aide du logiciel Automgen V8.009 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 encombrante 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 sur 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.

Conclusion générale

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

Comment créer et simuler un schéma à **GRAF CET** avec le logiciel **Automgen V8.009** ?

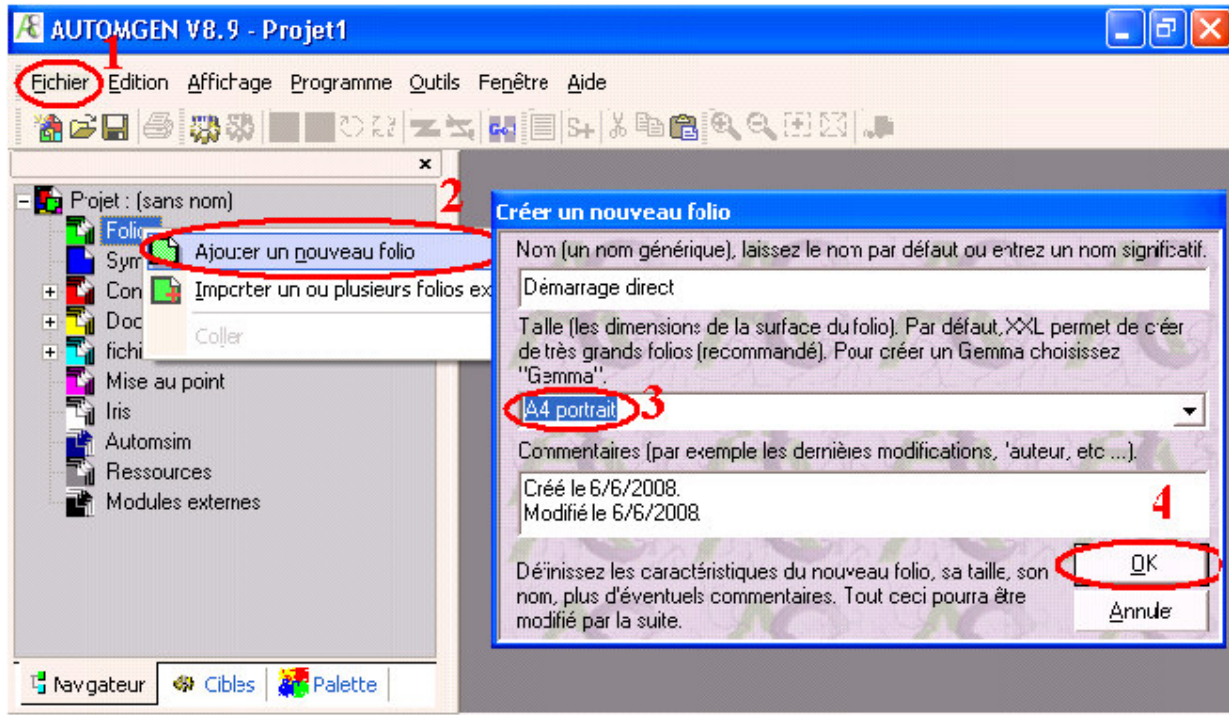
1 - Démarrer AUTOMGEN V8.009

Par Fichier

Nouveau

Folio (Clic droit de la souris)

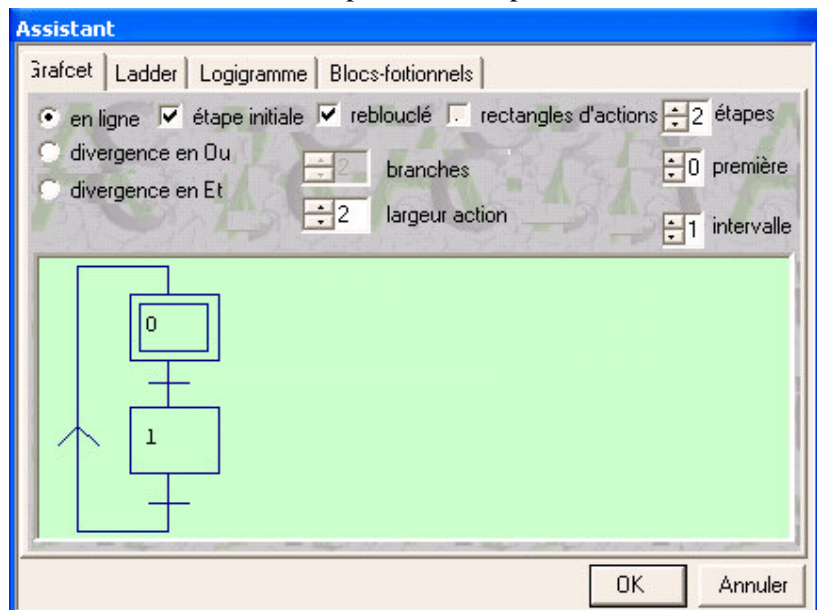
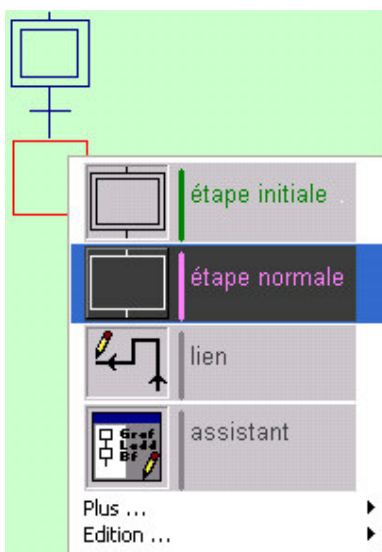
Créer un nouveau Folio en choisissant le format A4 portrait :



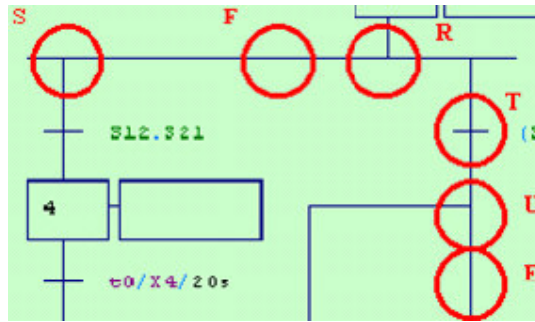
2 - Les méthodes de création d'un GRAFCET

a- L'usage de la palette d'outils par un clic droit de la souris

b- L'usage de l'assistant qui permet d'utiliser des structures prédéfinies à paramétrer :

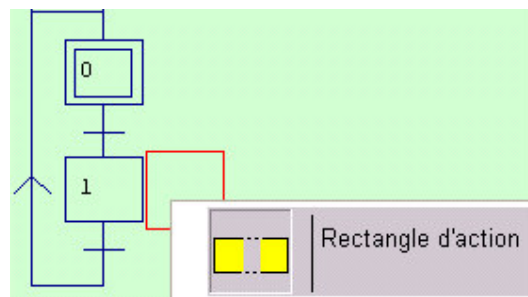


c- La connaissance des touches clavier pour tracer étapes, transitions et liaisons :



3 - Renseigner les actions :

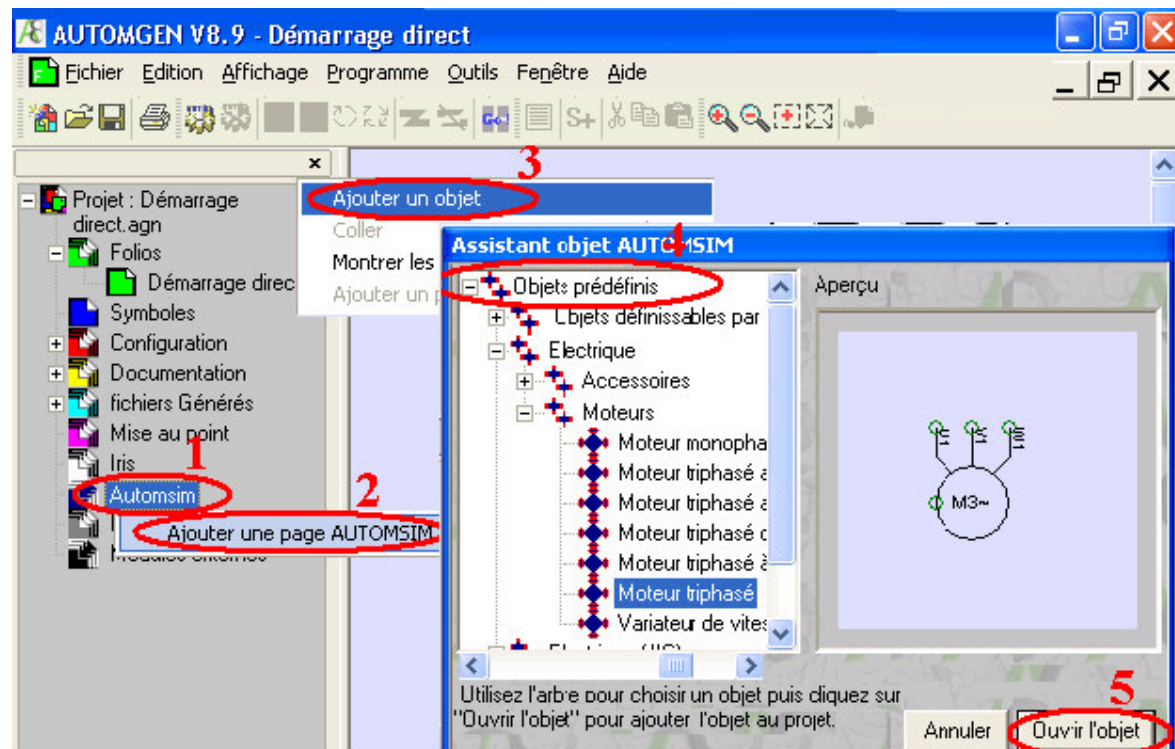
Réaliser un clic droit à l'emplacement de l'action, choisir le rectangle jaune pour obtenir le tracé du cadre puis renseigner l'action.



4 – Créer les schémas de puissance et de commande

Par Automsim (Clic droit de la souris)

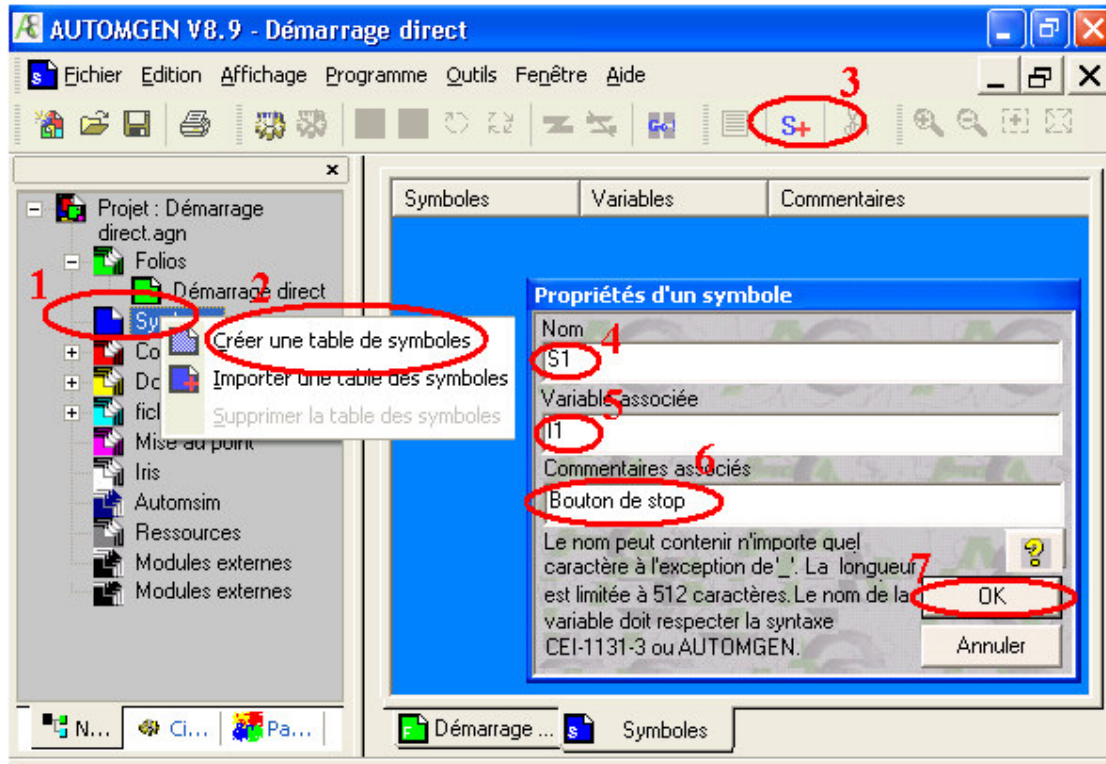
Ajouter une page AUTOSIM



5 – Créer une table des symboles

Par Symboles (Clic droit de la souris)

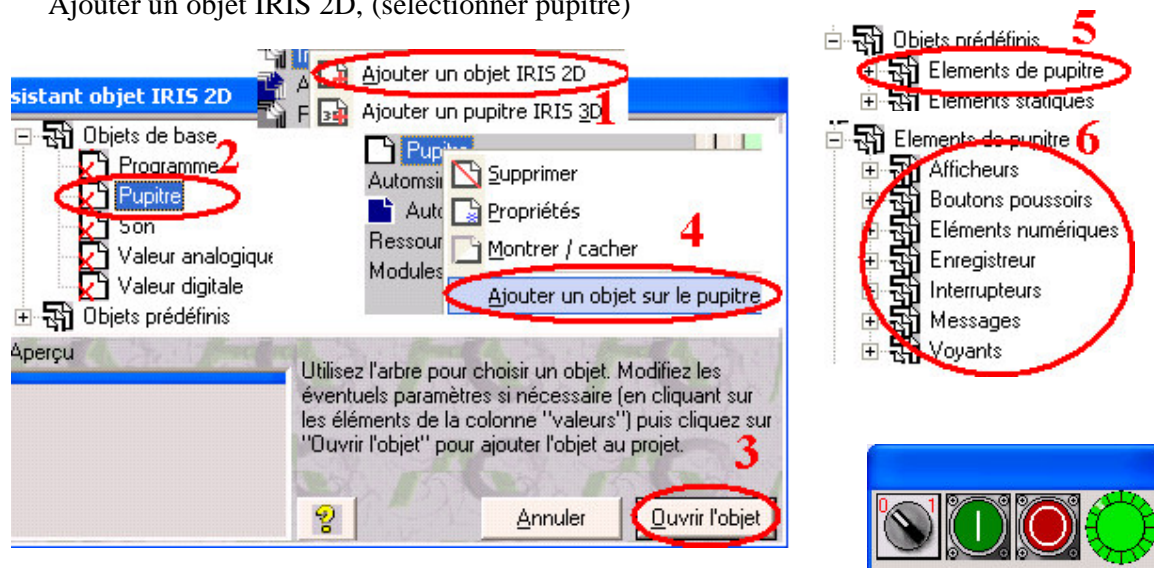
Créer une table des symboles



6 – Créer un pupitre de commande

Par Iris (Clic droit de la souris)

Ajouter un objet IRIS 2D, (sélectionner pupitre)

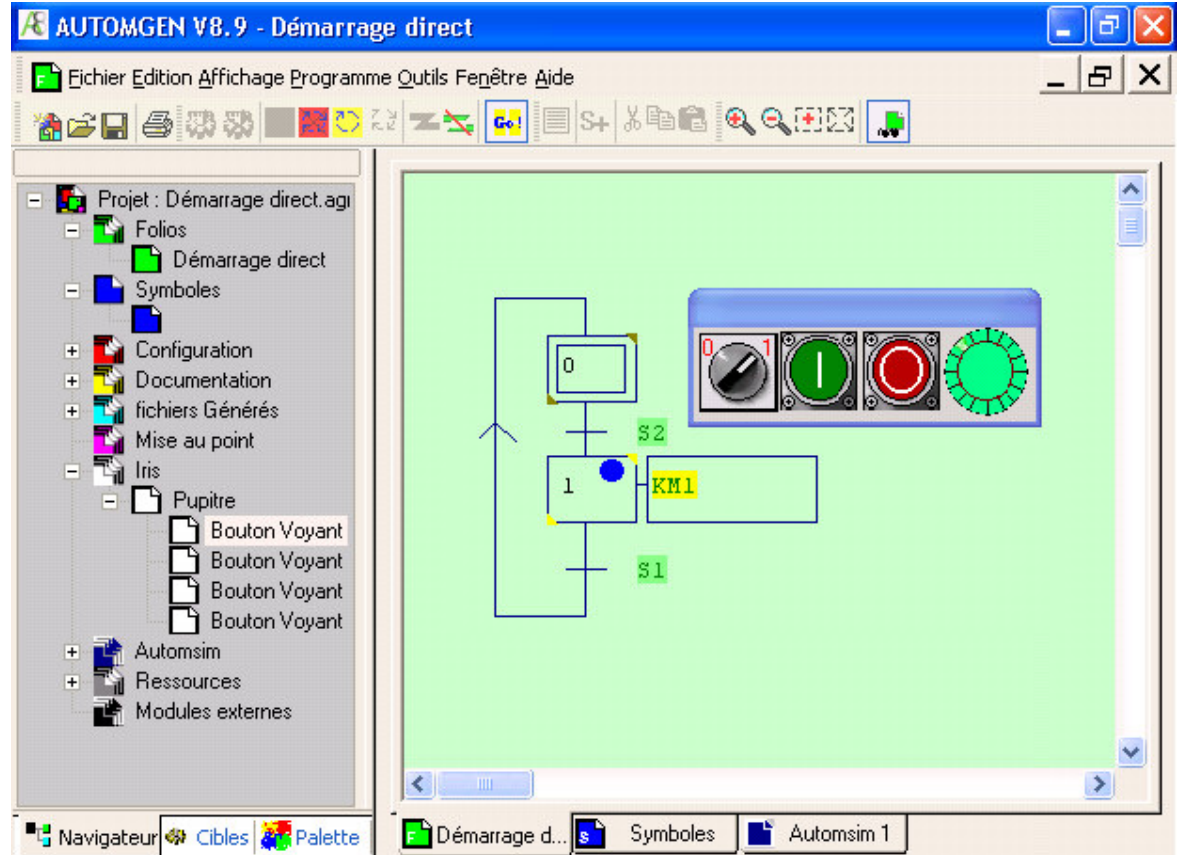
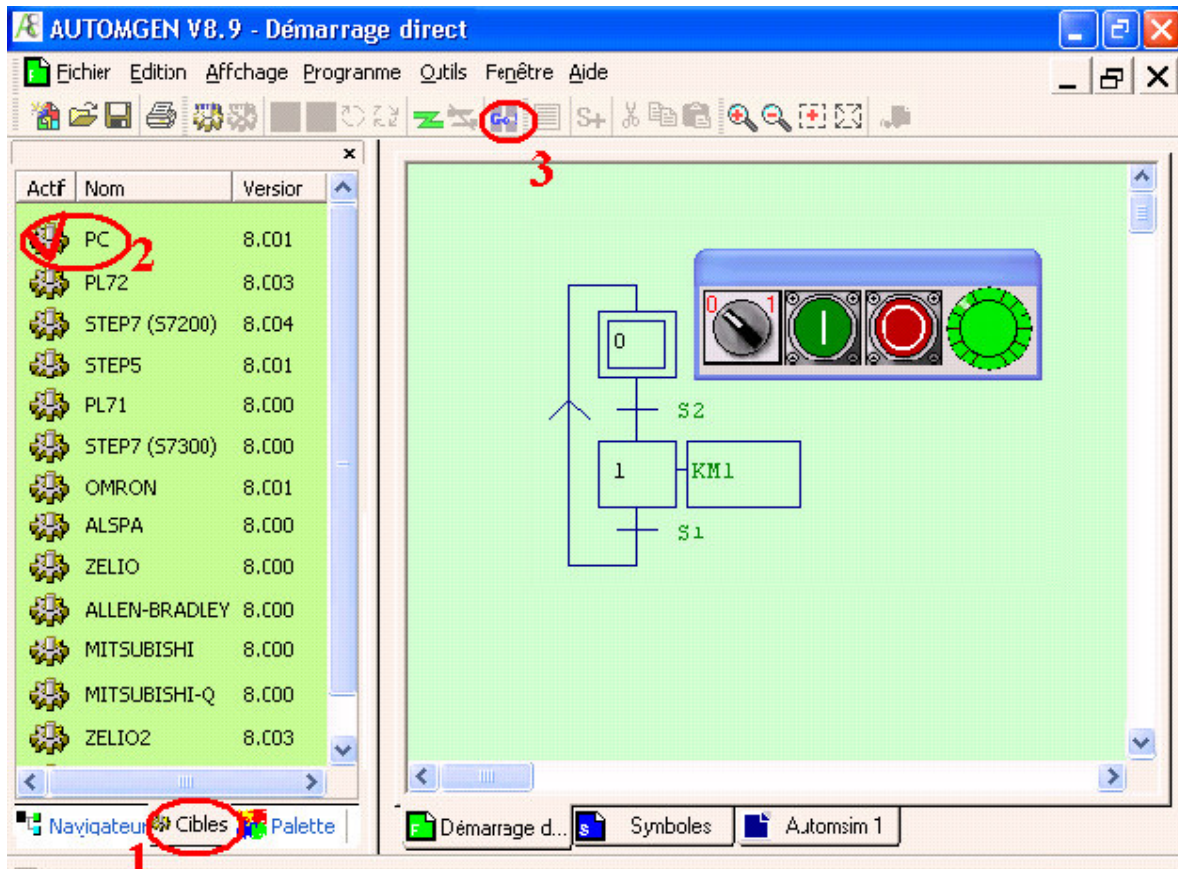


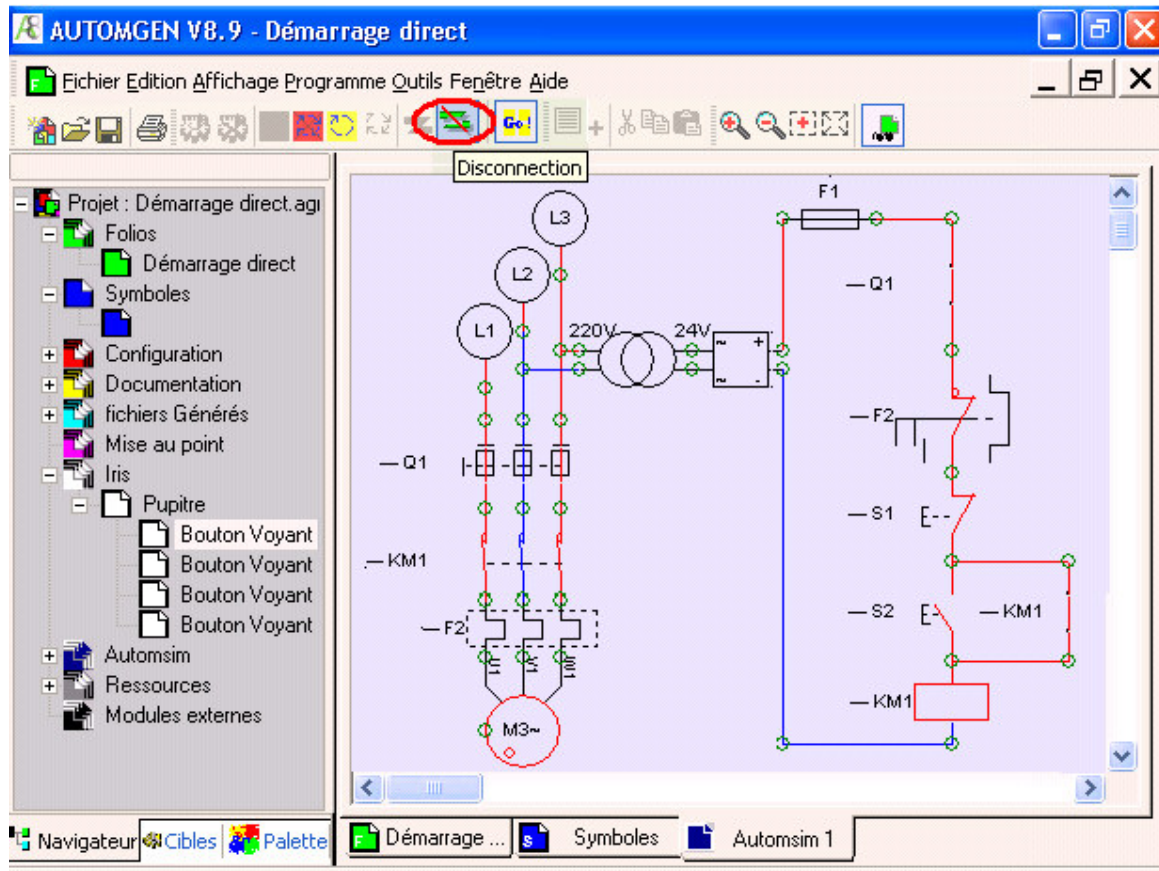
7 - Lancer la simulation sur ordinateur :

Sélectionner Cibles

Puis sélectionner PC

Clic sur GO





Bibliographies

[1] ALAIN REILLER

Analyse et maintenance des automates industriels, 1999.

[2] G. MICHEL

Les API Architecture et applications des automates programmables industriels 1988.

[3] SONATRACH, CENTRE DE PERFECTIONNEMENT DE L'ENTRPRISE (A.AMRI)

Les automates programmables industriels et les réseaux 2000.

[4] GUILLOSOU BERNARD

Technique numérique (série 1).

[5] TELEMECANIQUE

Schématique électrotechnique 1986.

[6] DIVERS DOCUMENTATIONS SUR LE WEB

[7] F.CASTELAZZI, Y. GANGLOFF, D. COGNIEL

MEMOTECH, Maintenance industrielle, CASTEILLA, 1998.

[8] GUILLOSOU BERNARD

Technique numérique ; Automate programmable industriel (série 3).

[9] J.C.BOSSY, P.BRARD, P.FAUGERE et C.MERLAUD.

«Le grafcet sa pratique et ses applications » Editons Casteilla.

[10] D. BLIN, J. DANIC, R. LE GARREC, F. TROLEZ, J. C. SEITE

Automatique et informatique industrielle, Edition casteilla paris 1995.

[11] C. CANUDAS

Schéma électrique, 1994.

[12] J. P. CARON et J.P. HAUTIER

Modélisation et commande de la machine asynchrone. Editions Technip, Paris, 1995.

[13] R.BOURGOIS, D .CONGNIEL MEMOTT

Electrotechnique 5^{ème} édition 1996.

[14] ELECTROSYSTEME, première STI - H. Ney - édition Nathan technique 1996.

[15] DELVA, LECLERCQ, TRANNOY

Physique appliquée, terminale génie électrotechnique. Édition Hachette éducation 1994.

[16] J.C.BOSSY, D.MERAT

Automatisme appliqués collection A .Capliez 1995.

[17] D.DANIC, R.LE VCARREC, D.BLIN

Automatique et informatique industrielle Edition casteilla paris 1997.

[18] FRANCAISE MILSANT :

Machine électrique Berti édition, 1993.

[19] SCHEMAS EN ELECTROTECHNIQUE, édition Dépôt légal 1999.

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

OPTION : ELECTROMECHANIQUE

Proposé et dirigé : Monsieur : *BELKHIRI Salah*

Présenté par : *TIAIBA Oussama et HALILOU Saif eddine*

Thème :

**ETUDE SIMULATION DES (API) EN VUE DE LEURS APPLICATIONS
DANS LE DOMAINE DE DEMARRAGE DES MOTEURS
ASYNCHRONE TRIPHASES AVEC UN LOGICIEL EN LANGAGE
GRAFNET**

Résumé :

Les outils câblés sont largement utilisés dans l'industrie mais ils souffrent cependant d'un certain nombre de limitations à titre d'exemples leur encombrement, la difficulté de maîtriser des problèmes complexes, la complexité de rechercher des pannes et donc du dépannage. En revanche, les outils programmés s'offre une alternative technologique à l'automaticien et lui ouvrent des possibilités nouvelles liées à la puissance de traitement des données. Parmi ces outils programmés et les API qui s'est substitué aux armoires à relais de sa souplesse.

L'objectif de ce travail est d'exposer une simulation par logiciel de production de programme à plusieurs langages pour différents procédés de démarrage des moteurs asynchrones triphasés.

Mots Clés:

API, démarreur, moteur, capteur, commande, contacteur, relais, schéma à Grafnet, simulation.