

الجامعة الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الدكتور الطاهر مولاي سعيدة

Université Saida Dr Tahar Moulay –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER

En : Automatique

Spécialité : Automatique et Systèmes

Par :

ARDJANI Aimen

DOULAT Hakim

Thème

Etude simulation des (API) : applications dans le domaine de démarrage des moteurs asynchrone triphasés avec un logiciel en langage GRAFCET

Soutenue publiquement en **28/06/2022** devant le jury composé de :

Mr.MERAH Abdelkader	Univ. Saida	Président
Mr.SEKOUR M'hamed	Univ. Saida	Rapporteur
Mr.LABAN Cherif	Univ. Saida	Examinateur

Remerciement

C'est grâce à **Dieu** tout puissant que nous sommes aujourd'hui ici et en cette importante étape de notre vie **Elhamdoulilah**.

Nous tenons à remercier tout d'abord ce qui nous ont appris à écrire et à lire, nous ont appris à aimer notre école nos enseignants et nos camarades.

Nous remercions nos parents qui nous ont soutenu moralement, financièrement tout au long de notre parcours éducatif sans leur douce nous ne sommes pas réussis.

Que **Dieu** les garde et les protège sans oublier nos sœurs et nos frères.

Nous remercions aussi nos professeurs pour leurs efforts et leur encouragement durant notre étude universitaire et tout le cadre administratif.

Nos grands remerciements nos reconnaissons à notre encadreur **Dr. M. Sekour** qui a sacrifié son temps et ces connaissances pour que ce travail soit parfait .

Merci infiniment.

Messieurs les jurés veillez accepter nos remerciements et notre profond respect.

Dédicace

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

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

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

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

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous mes professeurs.

Table des matières

<u>II.</u>	<u>Résumé</u>	i
<u>II.</u>	<u>Liste des symboles</u>	ii
<u>II.</u>	<u>Liste des figures</u>	iii
<u>II.</u>	<u>Liste des tableaux</u>	vi
<u>II.</u>	<u>Introduction générale</u>	1

Chapitre I : Les automates programmables industriels (A.P.I)

I.1	<u>Introduction</u>	2
I.2	<u>Historique</u>	2
I.3	<u>Définition et caractéristique</u>	3
I.4	<u>L'architecture d'un automate programmable</u>	4
I.4.1	<u>Organisation générale</u>	5
I.4.2	<u>Echange des informations (BUS)</u>	5
I.4.3	<u>Unité centrale (UC)</u>	5
I.4.3.1	<u>Processeur</u>	6
I.4.3.2	<u>La mémoire centrale</u>	7
I.4.4	<u>Fonctionnement cyclique des A.P.I</u>	8
I.4.5	<u>Les entrées-sorties (E/S)</u>	9
I.4.5.1	<u>Coupleurs numériques</u>	10
I.4.6	<u>Sureté de fonctionnement</u>	11
I.5	<u>L'environnement des A.P.I</u>	11
I.5.1	<u>Terminaux de réglage, de programmation et d'exploitation</u>	12
I.5.2	<u>Auxiliaires</u>	12
I.6	<u>Les langages des A.P.I</u>	13
I.6.1	<u>Les divers types de langages</u>	13
I.6.1.1	<u>Le langage LADDER (LD : Ladder Diagram)</u>	13
I.6.1.2	<u>Le langage GRAFCET (SFC : Sequential Function Chart)</u>	14
I.7	<u>Conclusion</u>	15

Chapitre II : Mode des démarrages d'un asynchrone triphasé

<u>II.</u>	<u>Mode des démarrages d'un asynchrone triphasé</u>	14
<u>II.1</u>	<u>Introduction</u>	14
<u>II.2</u>	<u>Généralité sur les moteurs asynchrones</u>	14
	<u>II.2.1 Historique sur les machines asynchrones</u>	14
	<u>II.2.2 Constitution des machines asynchrones</u>	14
	<u>II.2.2.1 Le stator</u>	15
	<u>II.2.2.2 Le Rotor</u>	16
	<u>II.2.2.2.1 Rotor à bagues</u>	16
	<u>II.2.2.2.2 Rotor à cage</u>	16
	<u>II.2.2.3 Entrefer</u>	17
	<u>II.2.3 Symboles</u>	17
	<u>II.2.4 Propriétés et équations principales d'un moteur asynchrone</u>	17
	<u>II.2.5 Couplage des moteurs asynchrones</u>	18
	<u>II.2.6 Les avantages et les inconvénients du moteur asynchrone</u>	18
	<u>II.2.6.1 Les avantages du moteur asynchrone</u>	18
	<u>II.2.6.2 Les inconvénients du moteur asynchrone</u>	19
	<u>II.2.7 Choix d'un démarreur</u>	19
<u>II.3</u>	<u>Démarrage des moteurs à cage</u>	19
	<u>II.3.1 Constitution</u>	20
	<u>II.3.2 Fonctionnement</u>	20
	<u>II.3.3 Les modes de démarrage des moteurs à cage</u>	20
	<u>II.3.3.1 Démarrage direct</u>	20
	<u>II.3.3.2 Démarreur inverseur direct</u>	22
	<u>II.3.3.3 Démarrage des moteurs à enroulements partagés «part-winding»</u>	24
	<u>II.3.3.4 Démarrage étoile –triangle</u>	25
	<u>II.3.3.5 Démarrage statorique à résistances</u>	28
	<u>II.3.3.5.1 Démarreur inverseur statorique</u>	28
<u>II.4</u>	<u>Démarrage des moteurs à bagues</u>	30
	<u>II.4.1 Fonctionnement et Constitution</u>	30
	<u>II.4.2 Les modes de démarrage des moteurs à bagues</u>	31
	<u>II.4.2.1 Démarrage rotorique à résistances</u>	31
	<u>II.2.2.1 Démarrage rotoriques (1 sens de marche)</u>	32
<u>II.5</u>	<u>Conclusion</u>	33

Chapitre III : Application schéma à relais

<u>III. Application schéma à relais</u>	36
<u>III.1 Introduction</u>	36
<u>III.2 Partie Automgen</u>	36
<u>III.2.1 Démarrage direct</u>	36
<u>III.2.1.1 Circuit de commande</u>	36
<u>III.2.1.2 Listes des Entrées/Sorties</u>	36
<u>III.2.1.3 Simulation</u>	37
<u>III.2.2 Démarrage inverseur direct</u>	38
<u>III.2.2.1 Circuit de commande</u>	38
<u>III.2.2.2 Listes des Entrées/Sorties</u>	39
<u>III.2.2.3 Simulation</u>	39
<u>III.2.3 Démarrage part-winding</u>	42
<u>III.2.3.1 Circuit de commande</u>	42
<u>III.2.3.2 Listes des Entrées/Sorties</u>	42
<u>III.2.3.3 Simulation</u>	43
<u>III.2.4 Démarrage « étoile – triangle » deux sens de marche</u>	45
<u>III.2.4.1 Circuit de commande</u>	45
<u>III.2.4.2 Listes des Entrées/Sorties</u>	45
<u>III.2.4.3 Simulation</u>	46
<u>III.2.5 Démarreur inverseur statorique</u>	51
<u>III.2.5.1 Circuit de commande</u>	51
<u>III.2.5.2 Listes des Entrées/Sorties</u>	52
<u>III.2.5.3 Simulation</u>	52
<u>III.2.6 Démarrage par élimination des résistances rotoriques</u>	58
<u>III.2.6.1 Circuit de commande</u>	58
<u>III.2.6.2 Listes des Entrées/Sorties</u>	58
<u>III.2.6.3 Simulation</u>	59
<u>III.3 Partie Automgen avec API</u>	63
<u>III.3.1 Démarrage direct</u>	63
<u>III.3.2 Démarrage inverseur direct</u>	64
<u>III.3.3 Démarrage part-winding</u>	65
<u>III.3.4 Démarrage « étoile – triangle » deux sens de marche</u>	65
<u>III.3.5 Démarreur inverseur statorique</u>	66

<u>III.3.6 Démarrage par élimination des résistances rotoriques</u> -----	66
<u>III.4 Préparation du panneau et application sur TIA PORTAL v.14</u> -----	67
<u>III.4.1 Préparation du panneau</u> -----	67
<u>III.4.2 Application</u> -----	69
<u>III.4.2.1 Commande marche - arrêt d'un moteur par API et interface IHM</u> -----	69
<u>III.4.2.2 Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé contrôlé par API et par interface IHM</u> -----	73
<u>III.4.2.3 Démarrage étoile-triangle par API et interface IHM</u> -----	79
<u>III.4.2.4 Démarrage par résistance statoriques contrôlé par API et par interface IHM</u> -----	85
<u>III.4.2.5 Démarrage par résistances rotoriques contrôlée par API et par interface IHM</u> -----	92
<u>III.5 Conclusion</u> -----	98
<u>Conclusion générale</u> -----	99
<u>Bibliographie</u> -----	101

Résumé

Dans ce travail de fin d'étude Master en Automatique, Notre intérêt s'est porté sur l'étude et l'automatisions des modes de démarrage d'un moteurs asynchrones, car ces derniers sont les principaux actionneurs électriques utilisés en industrie. Cette étude nous a permis d'une part d'acquérir de nouvelles connaissances concernant les moteurs asynchrones ainsi que La validation par le simulateur d'API « Automgen8.9 » TIA PORTAL.

Mots clés : **MODE DE DEMARRAGE MOTEUR ASYCHRONE AUTOGEN8.9, TIA PORTAL.LADER, GRAFCET**

Abstract

In this work of end of study Master in Automatic, our interest focused on the study and the automation of the starting modes of an asynchronous motor, because the latter are the main electric actuators used in industry. This study allowed us on the one hand to acquire new knowledge concerning asynchronous motors as well as validation by the API simulator “Automgen8.9” TIA PORTAL.

Keywords: **AUTOGEN8.9 ASYCHRONOUS MOTOR STARTING MODE, TIA PORTAL.LADER, GRAFCET**

ملخص

في هذا العمل الخاص بنهاية دراسة Master in Automatic ، ركز اهتمامنا على دراسة وأتمتة أنماط البدء لمحركات غير متزامنة ، لأن الأخيرة هي المحركات الكهربائية الرئيسية المستخدمة في الصناعة. سمحت لنا هذه الدراسة من ناحية باكتساب معرفة جديدة فيما يتعلق بالمحركات غير المتزامنة بالإضافة إلى التحقق من الصحة بواسطة محاكي API “Automgen8.9” TIA PORTAL.

الكلمات الرئيسية: **GRAFCET ,TIA PORTAL.LADER , MODE AUTOGEN8.9** المحركات غير متزامنة

Liste des symboles

PO : Partie Opérative

PC : Partie Commande

API : Automate Programmable industriel

SIMATIC : Siemens Automatique

E/S : Entrée / Sortie

CPU : Unité centrale de l'automate (Central processing unit)

TOR : Tout Ou Rien

CONT : Le Langage à Base de Schémas de Contacts.

LOG : Langage à Base de Logigramme

LIST : langage de liste d'instructions

FB : Bloc de fonction

FC : Fonction

DB : Bloc de Donné (Data Bloc)

OB : Bloc Organization (Organization Bloc)

HMI : Human Machine Interface

Liste des figures

Chapitre I : Les automates programmables industriels (API)

Fig. I.1 Structure de l'UC d'un A.P.I -----	5
Fig. I.2 Fonctionnement cyclique des API -----	7
Fig. I.3 L'environnement des API -----	10
Fig. I.4 Exemples de programmation LADDER -----	12
Fig. I.5 Exemples de programmation Grafset niveau 2 -----	13
Fig. I.6 Exemples de programmation Grafset niveau 2 -----	13

Chapitre II : Mode des démarrages d'un asynchrone triphasé

Fig. II.1 principe du moteur asynchrone -----	14
Fig. II.2 Machine asynchrone -----	15
Fig. II.3 stators d'une machine asynchrone -----	15
Fig. II.4 rotor bobiné -----	16
Fig. II.5 une cage d'écureuil -----	17
Fig. II.6 symboles d'une machine asynchrone -----	17
Fig. II.7 couplages en étoile -----	18
Fig. II.8 couplages en triangle -----	18
Fig. II.9 moteur asynchrone à cage -----	19
Fig. II.10 fonctionnements d'un moteur asynchrone à cage -----	20
Fig. II.11 Circuit du puissance Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé un seul sens -----	21
Fig. II.12 Circuit du commande Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé un seul sens -----	21
Fig. II.13 Circuit du puissance Démarrage inverseur direct d'un moteur asynchrone triphasé -----	22
Fig. II.14 Circuit du commande Démarrage inverseur direct d'un moteur asynchrone triphasé -----	22
Fig. II.15 Circuit du puissance Démarrage part-winding d'un moteur asynchrone triphasé -----	24
Fig. II.16 Circuit du commande Démarrage part-winding d'un moteur asynchrone triphasé -----	24
Fig. II.17 Circuit du puissance Démarrage étoile-triangle d'un moteur asynchrone triphasé -----	26
Fig. II.18 Circuit du commande Démarrage étoile-triangle d'un moteur asynchrone triphasé -----	26

Fig. II.19 Circuit du puissance Démarrage inverseur statorique d'un moteur asynchrone triphasé -----	28
Fig. II.20 Circuit du commande Démarrage inverseur statorique d'un moteur asynchrone triphasé -----	28
Fig. II.21 Moteur asynchrone à bagues -----	30
Fig. II.22 Principe de l'ensemble de résistants -----	31
Fig. II.23 Circuit du puissance Démarrage rotoriques d'un moteur asynchrone triphasé -----	32
Fig. II.24 Circuit du commande Démarrage rotoriques d'un moteur asynchrone triphasé -----	32

Chapitre III : Application schéma à relais

Fig. III.1 Schéma de commande -----	34
Fig. III.2 Schéma à Grafset -----	34
Fig. III.3 Fermeture manuelle de Q1 -----	35
Fig. III.4 Impulsion sur le bouton de start S2. -----	35
Fig. III.5 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1. -----	36
Fig. III.6 Schéma de commande -----	36
Fig. III.7 Schéma à Grafset -----	37
Fig. III.8 Fermeture manuelle de Q1 -----	37
Fig. III.9 Impulsion sur le bouton de start S2 (sens 1). -----	38
Fig. III.10 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1. -----	38
Fig. III.11 Impulsion sur le bouton de start S3 (sens 2). -----	39
Fig. III.12 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1. -----	39
Fig. III.13 Schéma de commande -----	40
Fig. III.14 Schéma à Grafset -----	40
Fig. III.15 Fermeture manuelle de Q1. -----	41
Fig. III.16 Impulsion sur le bouton de start S2. -----	41
Fig. III.17 Fermeture de KA1 après 10s. -----	42
Fig. III.18 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1. -----	42
Fig. III.19 Schéma de commande -----	43
Fig. III.20 Schéma à Grafset -----	43
Fig. III.21 Fermeture manuelle de Q1. -----	44
Fig. III.22 Impulsion sur le bouton de start S2 (Grafset). -----	44
Fig. III.23 Impulsion sur le bouton de start S2. -----	45
Fig. III.24 Fermeture de KM4 (couplage Triangle) (Grafset) -----	45
Fig. III.25 Fermeture de KM4 (couplage Triangle) -----	46

Fig. III.26 Impulsion sur le bouton de stop S1 -----	46
Fig. III.27 Impulsion sur le bouton de start S3 (Grafset). -----	47
Fig. III.28 Impulsion sur le bouton de start S3. -----	47
Fig. III.29 Fermeture de KM4 (couplage Triangle) (Grafset) -----	48
Fig. III.30 Fermeture de KM4 (couplage Triangle) -----	48
Fig. III.31 Impulsion sur le bouton stop S1. -----	49
Fig. III.32 Schéma de commande-----	49
Fig. III.33 Schéma à Grafset-----	50
Fig. III.34 Fermeture manuelle de Q1. -----	50
Fig. III.35 Impulsion sur le bouton de start S2 (Grafset). -----	51
Fig. III.36 Impulsion sur le bouton de start S2. -----	51
Fig. III.37 Fermeture de KM4 (Grafset) -----	52
Fig. III.38 Fermeture de KM4-----	52
Fig. III.39 Impulsion sur le bouton de stop S1-----	53
Fig. III.40 Impulsion sur le bouton de start S3 (Grafset). -----	53
Fig. III.41 Impulsion sur le bouton de start S3. -----	54
Fig. III.42 Fermeture de KM4 Grafset) -----	54
Fig. III.43 Fermeture de KM4 -----	55
Fig. III.44 Impulsion sur le bouton stop S1. -----	55
Fig. III.45 Schéma de commande -----	56
Fig. III.46 Schéma à Grafset -----	56
Fig. III.47 Fermeture manuelle de Q1 -----	57
Fig. III.48 Impulsion sur le bouton de start S2 (1er temps) (Grafset). -----	57
Fig. III.49 Impulsion sur le bouton de start S2 (1er temps). -----	58
Fig. III.50 Fermeture de KA1 après (2éme temps) (Grafset). -----	58
Fig. III.51 Fermeture de KA1 après (2éme temps). -----	59
Fig. III.52 Fermeture de KA2 après (3éme temps) (Grafset). -----	59
Fig. III.53 Fermeture de KA2 après (3éme temps). -----	60
Fig. III.54 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1. -----	60
Fig. III.55 Fermeture manuelle de Q1. -----	61
Fig. III.56 Impulsion sur le bouton de start S2. -----	61
Fig. III.57 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1. -----	62
Fig. III.58 Démarrage inverseur direct -----	62
Fig. III.59 Demurrage part-winding -----	63
Fig. III.60 Démarrage « étoile – triangle » deux sens de marche -----	63

<i>Fig. III.61</i> Démarreur inverseur statorique -----	64
<i>Fig. III.62</i> Démarrage par élimination des résistances rotoriques -----	64
<i>Fig. III.63</i> Schéma électrique avec d'application de l'API. -----	65
<i>Fig. III.64</i> Branchements sur le panneau. -----	66
<i>Fig. III.65</i> listes des Entrées/Sorties. -----	67
<i>Fig. III.66a</i> Commande marche-arrêt d'un moteur -----	68
<i>Fig. III.66b</i> Commande marche-arrêt d'un moteur -----	68
<i>Fig. III.66c</i> Commande marche-arrêt d'un moteur -----	69
<i>Fig. III.66d</i> Commande marche-arrêt d'un moteur -----	70
<i>Fig. III.67a</i> Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé -----	71
<i>Fig. III.67b</i> Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé -----	72
<i>Fig. III.67c</i> Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé -----	73
<i>Fig. III.67d</i> Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé -----	74
<i>Fig. III.67e</i> Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé -----	75
<i>Fig. III.68a</i> Démarrage étoile-triangle -----	77
<i>Fig. III.68b</i> Démarrage étoile-triangle -----	78
<i>Fig. III.68c</i> Démarrage étoile-triangle -----	79
<i>Fig. III.68d</i> Démarrage étoile-triangle -----	80
<i>Fig. III.68e</i> Démarrage étoile-triangle -----	81
<i>Fig. III.69a</i> Démarrage par résistance statoriques -----	83
<i>Fig. III.69b</i> Démarrage par résistance statoriques -----	84
<i>Fig. III.69c</i> Démarrage par résistance statoriques -----	85
<i>Fig. III.69d</i> Démarrage par résistance statoriques -----	86
<i>Fig. III.69e</i> Démarrage par résistance statoriques -----	87
<i>Fig. III.69f</i> Démarrage par résistance statoriques -----	88
<i>Fig. III.70a</i> Démarrage par résistances rotoriques -----	90
<i>Fig. III.70b</i> Démarrage par résistances rotoriques -----	91
<i>Fig. III.70c</i> Démarrage par résistances rotoriques -----	92
<i>Fig. III.70d</i> Démarrage par résistances rotoriques -----	93
<i>Fig. III.70e</i> Démarrage par résistances rotoriques -----	94
<i>Fig. III.70f</i> Démarrage par résistances rotoriques -----	95

Liste des tableaux

Tab III.1 listes des Entrées/Sorties -----	34
Tab III.2 listes des Entrées/Sorties -----	37
Tab III.3 listes des Entrées/Sorties -----	40
Tab III.4 listes des Entrées/Sorties -----	43
Tab III.5 listes des Entrées/Sorties -----	50
Tab III.6 listes des Entrées/Sorties -----	56
Tab III.7 listes des Entrées/Sorties -----	65

Introduction générale

L'automatique est devenue indispensable dans l'industrie. Il a pour objectif de concevoir et d'étudier les divers automatismes en mettant en œuvre les actionneurs électriques et pneumatiques et hydrauliques. Chaque système automatisé possède une partie commande et une partie opérative.

Dans la partie commande, l'automate programmable représente l'élément principal de la machine ou de l'installation, car c'est celui qui renferme le programme et doit procéder à son exécution en fonction de l'état des entrées et des sorties, mais la partie opérative représente en général les moteurs, les pompes, les agitateurs ou bien les paramètres gérés.

L'automatisation a pris une grande place dans le milieu industriel. Elle est devenue la nouvelle stratégie de production choisie par les plus grandes entreprises actuelles, en particulier le secteur de la production pétrolière qui joue un rôle très important dans notre pays.

Cette mémoire est composée de trois chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur l'automatisme industriel ainsi les automates programmables industriels (API).

Dans le deuxième chapitre, nous présenterons les différents modes des démarrages d'un moteur asynchrone triphasé.

Dans le troisième chapitre nous avons entamé les simulations des différents modes de démarrages par logiciel Automgen V8.9 avec TIA Portal V14 via SIMATIC Manager avancé.

Le travail sera terminé par une conclusion générale effectué suivie de perspectives pour les travaux futurs.

Chapitre I

Les automates programmables industriels (API)

I.1 Introduction [1], [2], [3], [4]

Aujourd'hui, 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 nombreux d'automatismes. Dans l'industrie, ils sont dispensables : 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 pour fondements théoriques les mathématiques, la théorie du signal et l'informatique théorique.

L'automatique permet l'automatisation de tâches par des machines fonctionnant sans intervention humaine. On parle alors de système asservi ou régulé. L'état désiré du système est nommé la consigne. Les hommes de l'art en automatique ou automatisme se nomment automaticiens.

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

- Eliminer les tâches dangereuses et pénibles, en faisant exécuter par la machine les tâches humaines complexes ou indésirables.
- Améliorer la productivité en asservissant la machine à des critères de production, de rendement ou de qualité.

- Piloter une production variable, en facilitant à l'homme le passage d'une production à une autre.

- Renforcer la sécurité, en surveillant et contrôlant les installations et les machines.

Dans toute la panoplie d'appareils utilisés pour commander les automatismes et les procédés de fabrication, l'automate programmable industriel (API), occupe une très importante.

La création du premier API remonte à la fin des années 60, l'industrie automobile en est la principale instigatrice et la première utilisatrice. Jusqu'alors, la commande des automatismes industriels était réalisée à l'aide d'armoires de commande à relais. Les changements annuels de modèle de voiture impliquaient des modifications fréquentes des chaînes de montage et de leurs armoires de commande. Comme ces dernières étaient complexes, leurs modifications étaient difficiles et comportaient un risque élevé d'erreur de branchement. L'industrie automobile a donc amené la création d'un appareil programmable capable de remplacer les armoires de commande.

Ce fut alors le début d'une grande aventure pour plusieurs compagnies. Les ordinateurs qui étaient principalement utilisés pour faire de la comptabilité furent modifiés afin de répondre aux exigences de la commande industrielle. Petit à petit, la technique s'améliora et gagna plus d'adeptes, il fallut cependant attendre une bonne décennie avant que le concept soit introduit de façon systématique dans l'industrie.

Aujourd'hui, L'API est le principal système de commande utilisé dans l'industrie. On dénombre environ 45 fabricants qui ensemble offrent plus de 200 modèles.

I.2 Historique [2]

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

- Industrie de la métallurgie et sidérurgie. (Chargement de hauts fourneaux, coulée, etc...).

- Industrie automobile, mécanique. (Chaînes d'usinage, de montage etc...).

- Industrie chimique et pétrolière et pharmaceutique. (Procès de fabrication etc...).

- Industrie alimentaire et agricole. (Mélange et conditionnement de produits etc...).
- Transport, manutention, emballage et conditionnement.
- Bâtiment. (Gestion des énergies, de la sécurité etc...).
- Industrie électrique, textile, des matières plastiques, du papier.

I.3 Définition et caractéristique [1], [2], [3], [6]

L'A.P. I est un appareil électrique qui comporte une mémoire programmable par un utilisateur automatien (et non informaticien) à l'aide d'un langage adapté, pour le stockage interne des instructions composant les fonctions d'automatisme. Les programmes des API sont traités selon un cycle précis : acquisition de toutes les entrées (recopie dans une mémoire image) - traitement des données (calculs) - mise à jour des sorties. Le temps d'un cycle d'API varie selon la taille du programme, la complexité des calculs et de la puissance de l'API. Le temps de cycle est généralement de l'ordre d'une vingtaine de millisecondes et est protégé par un chien de garde (informatique). Les API se caractérisent par rapport aux ordinateurs par leur fiabilité et leur facilité de maintenance. Les modules peuvent être changés très facilement et le redémarrage des API est très rapide. Pour l'automatisation d'un procédé, l'A.P. I est en concurrence avec d'autres solutions technologiques que sont : La logique câblée, les dispositifs à microprocesseurs et les microordinateurs. 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.

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

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

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

I.4 L'architecture d'un automate programmable

I.4.1 Organisation générale [5]

Un A.P.I. est, comme les architectures à microprocesseur décrites dans le fascicule précédent, constitué d'une Unité centrale (U.C.), de mémoires (mortes et vives) et d'entrées/sorties. Les automates d'entrée de gamme que les constructeurs appellent "modules programmables" tels que le ZELIO de Schneider ou le LOGO de Siemens sont architectures autour d'un microcontrôleur CMS (HD64F3644 de la famille H8/300L d'HITACHI) pour le ZÉLIO. L'ensemble des cartes, clavier et afficheurs sont implantés dans un boîtier compact de dimensions standard, ce sont les 4 relais et les optocoupleurs qui occupent le plus d'espace.

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

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

I.4.2 Echange des informations (BUS) [6]

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

I.4.3 Unité centrale (UC) [1], [3], [6]

Leur unité centrale est généralement un microprocesseur associé à des mémoires. On y retrouve donc toutes les fonctions de l'UC d'un microprocesseur (Registres, compteur ordinal, piles). Ce qui différentie l'API, c'est soit le fait que sa mémoire morte contient un programme d'interprétation d'instructions dédiées au traitement d'automatismes, soit le compilateur associé.

Tout se passe alors comme si nous disposions d'un processeur spécialisé. L'automate traite ses instructions de la même manière que l'UC d'un microprocesseur c'est à dire comme suit :

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

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

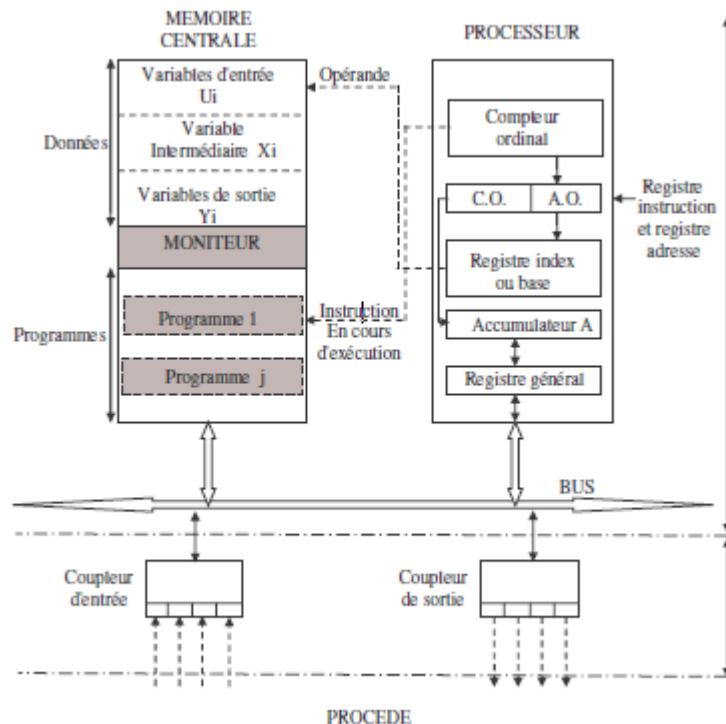


Fig. I.1 Structure de l'UC d'un A.P.I.

I.4.3.1 Processeur [6]

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

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

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

Il existe trois technologies de réalisation :

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

I.4.3.2 La mémoire centrale [5], [6]

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

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

I.4.4 Fonctionnement cyclique des A.P.I [5], [6], [2]

Le déroulement d'un programme s'effectue au rythme d'une horloge qui traite les instructions une à une. Sans précaution particulière, les opérations effectuées à partir de l'état des entrées se feraient dans l'ordre des instructions du programme. Ceci risquerait d'amener des aléas de fonctionnement dus au fait qu'entre un traitement et un autre, une entrée physique peut avoir changé d'état ; pour une entrée donnée.

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

Un cycle s'effectue comme suit :

Traitement interne Lecture des entrée TRAITEMENT Rafraîchissement des sorties.

De cette manière, le programmeur n'a pas à tenir compte du fait que ses N équations sont traitées de manière asynchrone par l'UC. Cet avantage conduit à un temps de retard potentiel à la prise en compte d'un changement d'état qui peut atteindre 1 cycle complet [6].

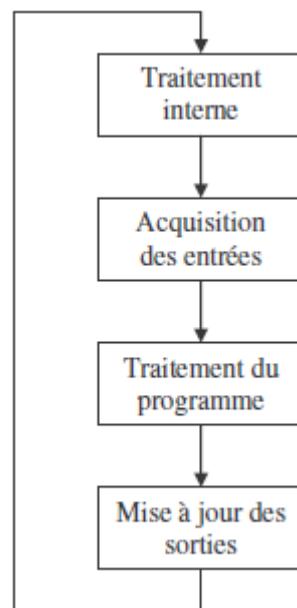


Fig. I.2 Fonctionnement cyclique des API

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

- **Acquisition des entrées** : Le processeur "photographie" l'état des entrées, l'image de cet état est stockée dans une partie de la mémoire des données.
- **Traitement du programme** : Les opérations définies par le programme utilisateur sont traitées dans l'ordre, les unes après les autres, en utilisant les images mémorisées dans la mémoire programme ; le résultat du traitement conduit à la mise à jour d'une mémoire image des sorties.
- **Mise à Jour des sorties** : En fin de cycle le contenu de la mémoire image des sorties est recopié sur les sorties physiques.

Si un temps de cycle de quelques dizaines de ms n'est pas gênant pour les procédés lents, il interdit le suivi de grandeurs plus rapides telles que les impulsions d'un codeur sur axe rapide.

Pour cela les A.P.I. font appel à des procédures prioritaires (en interruption du programme principal) appelés **tâches rapides** ou prioritaires.

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

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

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

I.4.5 Les entrées-sorties (E/S) [5], [6], [7]

Les entrées-sorties des A.P.I. font très naturellement l'objet d'études importantes de la part des industriels, c'est l'atout le plus important face aux autres technologies et aux concurrents.

C'est pourquoi les fabricants proposent des modules d'entrée-sortie variés et bien adaptés aux problèmes industriels.

Les entrées-sorties industrielles courantes :

- Tout Ou Rien binaires.
- Compteurs Temporisations.
- E-S Analogiques.
- Numériques.
- Entrées à seuils ajustables.
- Analyse d'images.

- Interfaces pour codes à barres.
- Boîtes à cames.
- Régulation PID.
- Pesage.
- Commandes d'axes numériques.
- Commandes de Positionnement.
- Cartes pour moteurs pas à pas.
- Etc...

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

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

- Directement à 1TJ.C. (Elles sont dans le même rack) en mode parallèle,
- À distance en mode parallèle (dans un rack déporté vers l'application) à quelques mètres.
- À distance en mode série les entrées-sorties peuvent alors être déportées à plusieurs centaines de mètres.

I.4.5.1 Coupleurs numériques [5], [7]

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

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

- Sorties à relais
- Sorties statiques.

Coupleurs comportent :

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

➤ Moyenne vitesse

➤ Sens avant/arrière.

I.4.6 Sureté de fonctionnement [7]

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

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

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

I.5 L'environnement des A.P.I [6]

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

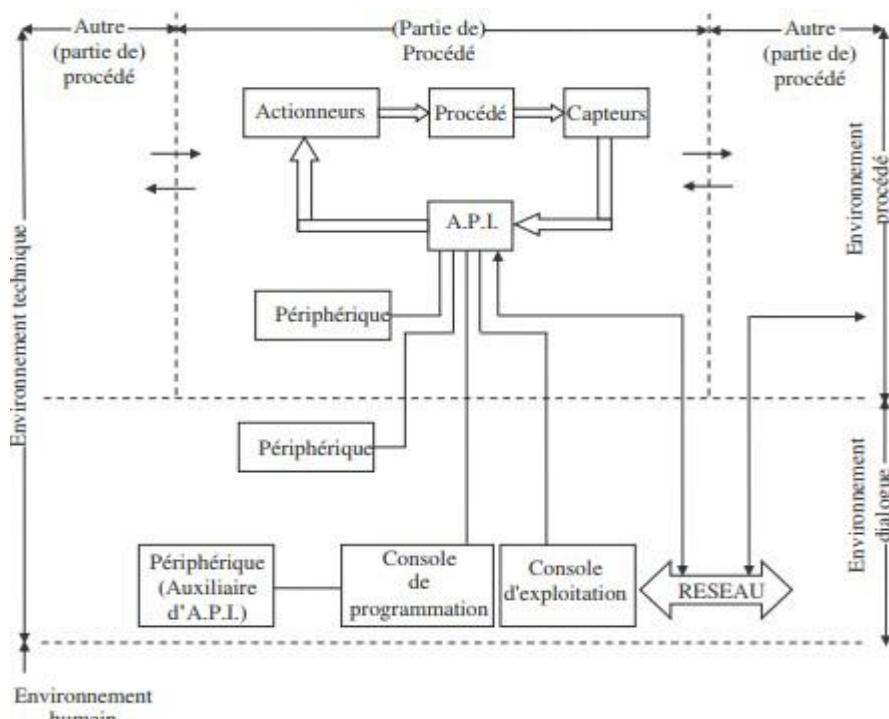


Fig. I.3 L'environnement des API

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

La console de programmation a trois rôles principaux :

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

I.5.1 Terminaux de réglage, de programmation et d'exploitation [7]

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

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

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

I.5.2 Auxiliaires [2], [5], [7]

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

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

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

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

I.6 Les langages des A.P.I [7]

Les langages des A.P.I. sont des langages intermédiaires entre le langage évolué et le langage machine.

Ils ont l'avantage d'avoir un jeu d'instructions incluant uniquement les fonctions logiques, cela a comme conséquences, une meilleure compréhension par les automaticiens et une simplification du compilateur de la console de programmation et du logiciel constructeur.

I.6.1 Les divers types de langages

Malheureusement il n'y a pas eu d'unicité chez les constructeurs quant au langage de programmation.

Néanmoins 4 langages sont parmi les plus utilisés (norme CEI 61131-3) :

- Le langage LADDER (LD : Ladder Diagram)
- Le langage booléen (FBD : Function Bloc Diagram)
- Le langage GRAFCET (SFC : Sequential Function Chart)
- Le langage mnémonique (IL : Instruction list)

I.6.1.1 Le langage LADDER (LD : Ladder Diagram) [8]

Appelé aussi langage à contact, langage à relais ou réseau en échelle, il a été développé par les américains en pensant qu'il semblerait plus familier aux automaticiens.

Ce langage utilise les symboles graphiques tels que : contacts, relais, bobine et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels). C'est le plus utilisé.

Nom	Elément graphique	Fonction	Nom	Elément graphique	Fonction
Contact à ouverture	— —	Contact passant lorsque l'objet bit de contrôle se trouve à l'état 1.	Bobine directe	—()—	L'objet bit associé prend la valeur du résultat de la zone de test.
Contact à fermeture	— —	Contact passant lorsque l'objet bit de contrôle se trouve à l'état 0.	Bobine inverse	—(/)—	L'objet bit associé prend la valeur du résultat inverse de la zone de test.
Contact de détection d'un front montant	— —	Front montant : détecte le passage de 0 à 1 de l'objet bit de contrôle.	Bobine d'enclenchement	—(S)—	L'objet bit associé est réglé sur 1 lorsque le résultat de la zone de test est 1.
Contact de détection d'un front descendant	— —	Front descendant : détecte le passage de 1 à 0 de l'objet bit de contrôle.	Bobine de déclenchement	—(R)—	L'objet bit associé est réglé sur 0 lorsque le résultat de la zone de test est 1.

Nom	Elément graphique	Fonction
Connexion horizontale	—	Relie en série les éléments graphiques de test et d'action entre les deux barres verticales.
Connexion verticale		Relie les éléments graphiques de test et d'action en parallèle.

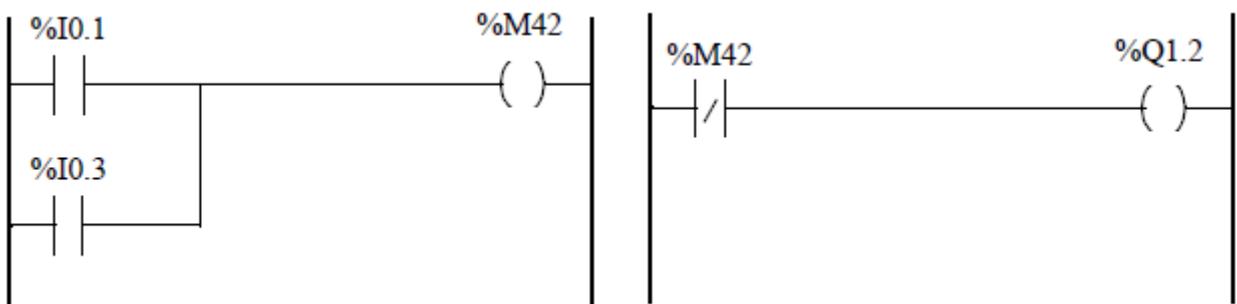


Fig. I.4 Exemples de programmation LADDER

I.6.1.2 Le langage GRAFCET (SFC : Sequential Function Chart) [8]

C'est un langage graphique qui permet de tracer directement le schéma Grafcet de l'automatisme considéré. Dans ce cas, pour plus de facilité, on construit un Grafcet niveau 3 qui est le même que le niveau 2, mais les variables d'E/S du niveau 2 sont remplacés par les adresses de l'automate (appelés références).

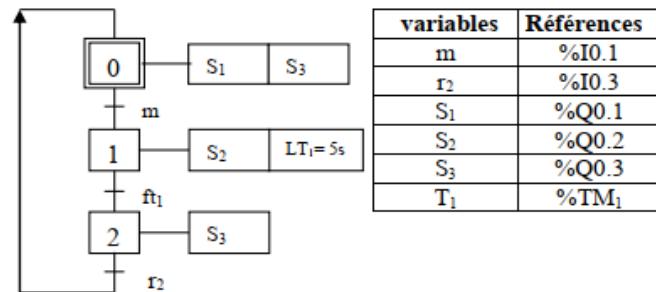


Fig. I.5 Exemples de programmation Grafset niveau

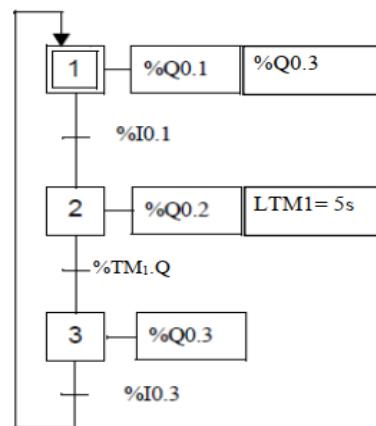


Fig. I.6 Exemples de programmation Grafset niveau 2

I.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné une description générale sur les automates programmables ainsi que leur structure interne et leur fonctionnement avec différents langages.

Chapitre II

Mode des démarriages d'un asynchrone triphasé

II.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.

II.2 Généralité sur les moteurs asynchrones

II.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 ;"Tératisme on Electricité and 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).

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

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

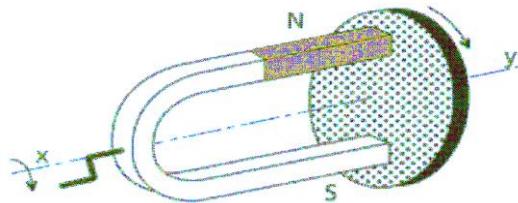


Fig. II.1 principe du moteur asynchrone

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]

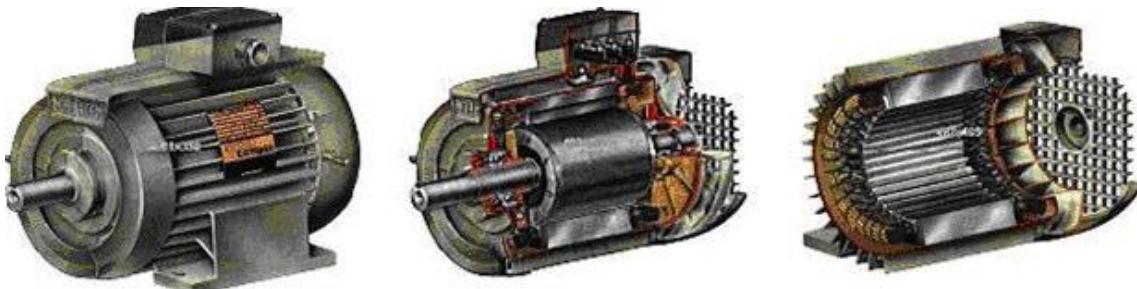


Fig. II.2 Machine asynchrone

II.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 périphérique 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. II.3 stator d'une machine asynchrone

II.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 types de rotor.

II.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, ce rhéostat qui est mise en marche normale et permet d'assurer des meilleures conditions de démarrage.

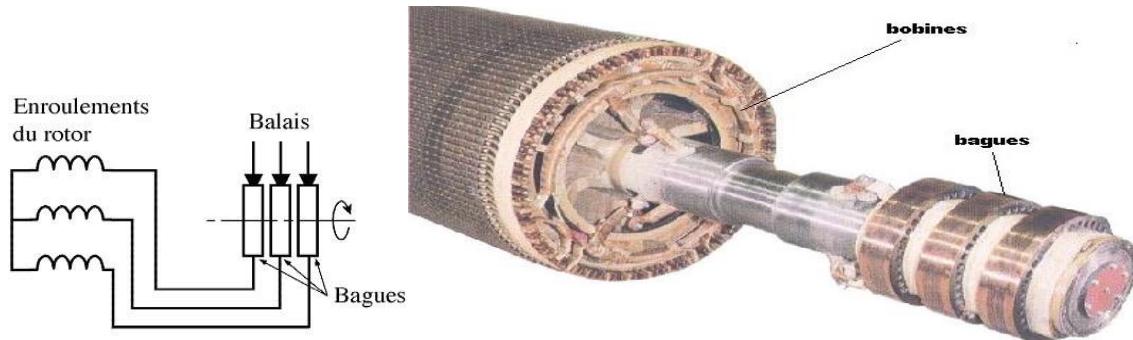


Fig. II.4 rotor bobiné

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.

II.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 à un champ $2P$ pôles.

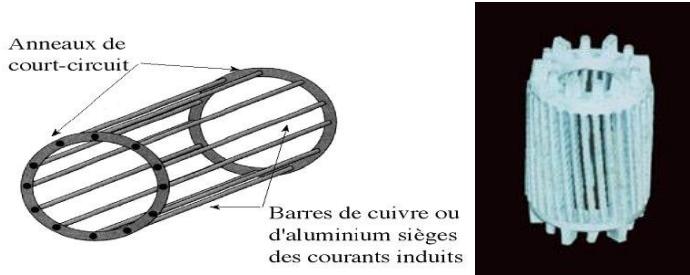


Fig. II.5 une cage d'écureuil

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.

II.2.2.3 Entrefer [15]

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

II.2.3 Symboles [6]

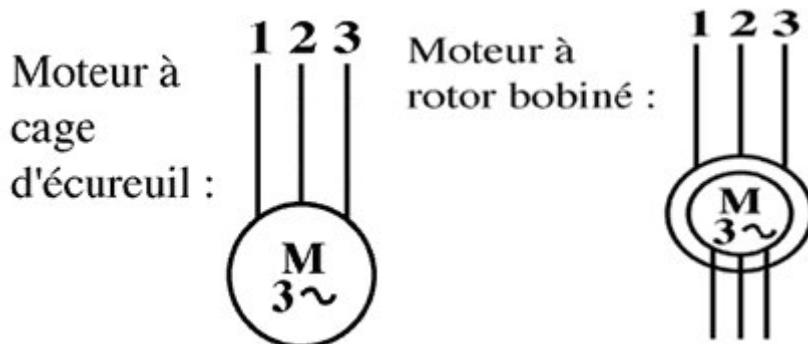


Fig. II.6 symboles d'une machine asynchrone

II.2.4 Propriétés et équations principales d'un moteur asynchrone [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..... $N_s = 60.f / p$. (II.1)

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

Puissance électrique absorbée $P_a = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi$

Puissance mécanique utile... $P_u = T_u \cdot \Omega$. « T_u : couple utile [Nm], Ω : vitesse angulaire [rd/s] » (II.3)

Rendement : Le rendement du moteur n'est pas constant, il est maximum pour un point proche du point de fonctionnement nominal $\eta = P_u / P_a$. (II.4)

II.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.

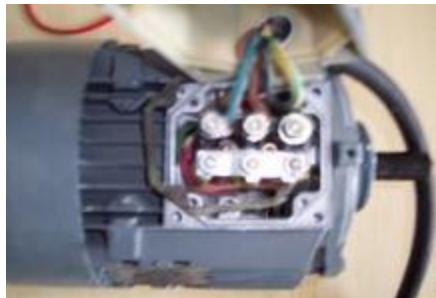
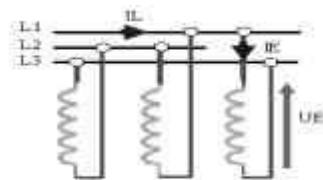
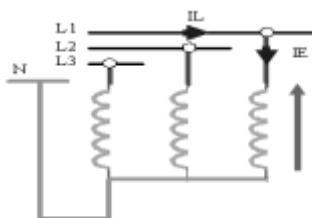


Fig. II.7 couplages en étoile.



Fig. II.8 couplages en triangle

II.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.

II.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.

II.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.

II.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 « souplesse 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.

II.3 Démarrage des moteurs à cage [6]

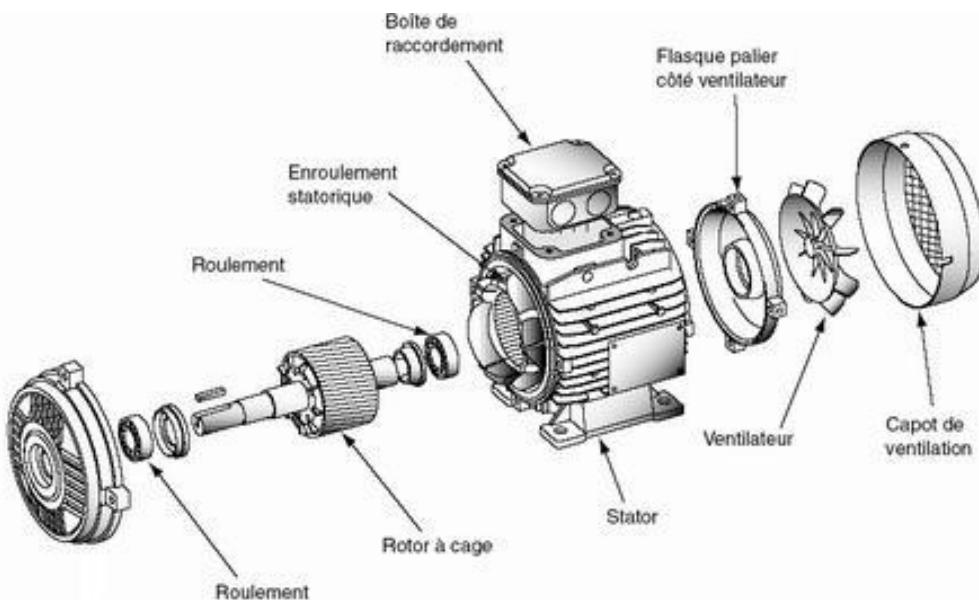


Fig. II.9 moteur asynchrone à cage

II.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).

II.3.2 Fonctionnement [16]

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

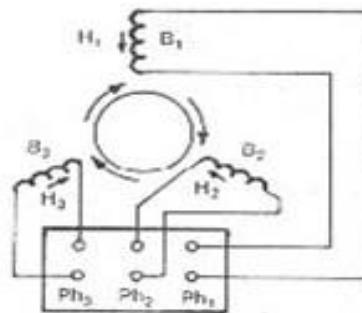


Fig. II.10 fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage

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.

II.3.3 Les modes de démarrage des moteurs à cage

II.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.

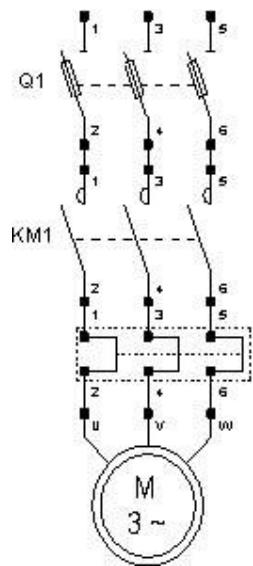


Fig II.11 Circuit du puissance Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé un seul sens

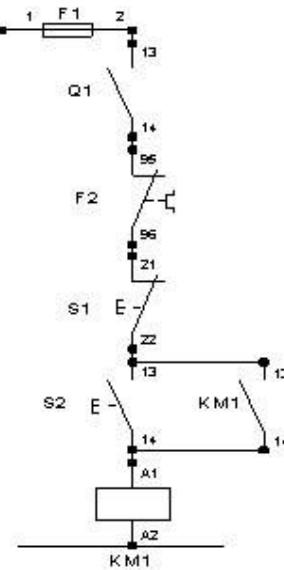


Fig II.12 Circuit du commande Démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé un seul sens

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.

Les différentes équations

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

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

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

$$\Rightarrow Q1 = M1.$$

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

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

Inconvénients

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

II.3.3.2 Démarrage inverseur direct [16]

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

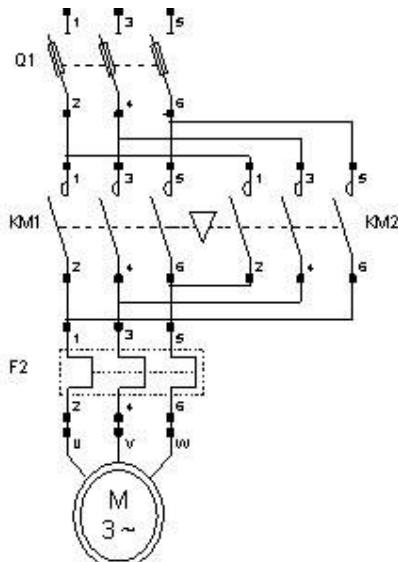


Fig II.13 Circuit du puissance Démarrage inverseur direct d'un moteur asynchrone triphasé

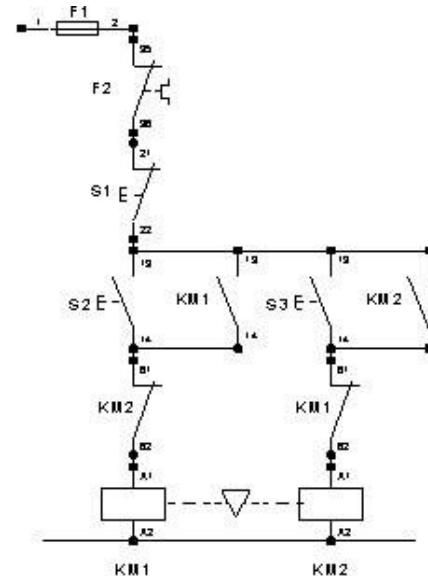


Fig II.14 Circuit du commande Démarrage inverseur direct d'un moteur asynchrone triphasé

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.

Les différentes équations

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

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

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

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

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

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

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

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

Protection

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

Emploi

- Machine outils.
- Palans.

II.3.3.3 Démarrage des moteurs à enroulements partages «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.

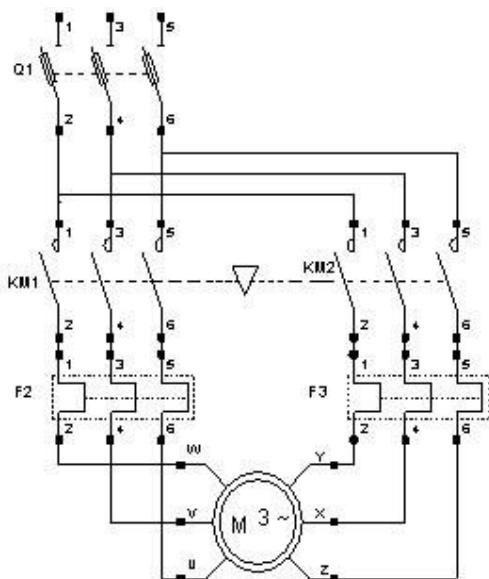


Fig II.15 Circuit du puissance Démarrage part-winding d'un moteur asynchrone triphasé

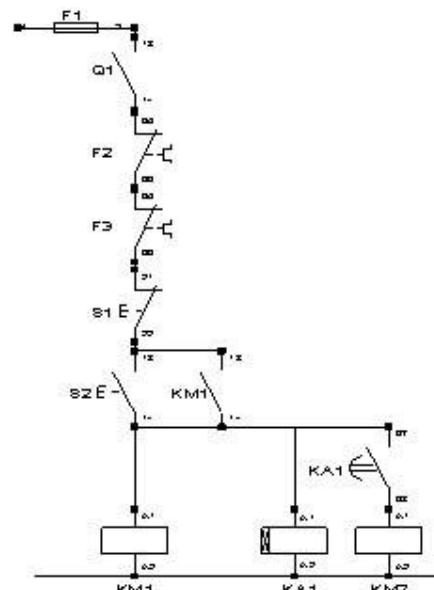


Fig II.16 Circuit du commande Démarrage part-winding d'un moteur asynchrone triphasé

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.

Les différentes équations

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow Q1 = M1.$$

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

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 2ème couplage le moteur n'est pas séparé du réseau.
- Faible glissement.

II.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 $\sqrt{3}$ 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).

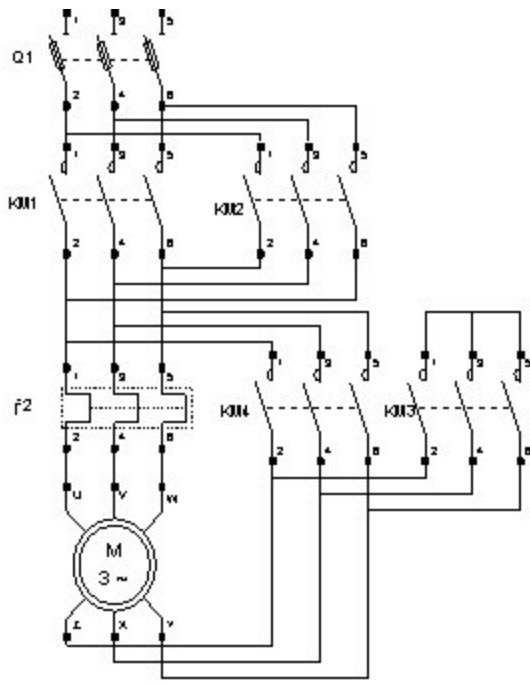


Fig II.17 Circuit du puissance Démarrage étoile-triangle d'un moteur asynchrone triphasé

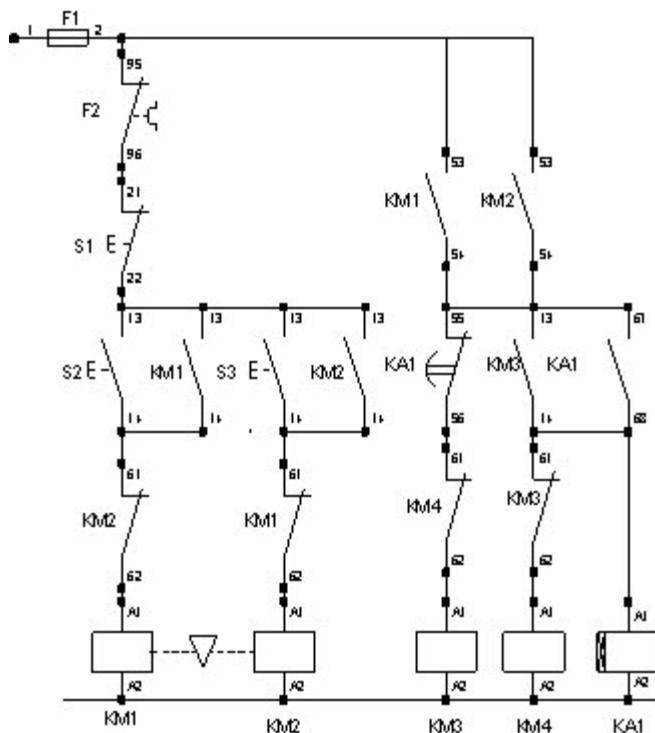


Fig II.18 Circuit de commande Démarrage étoile-triangle d'un moteur asynchrone triphasé

Principe de fonctionnement

Circuit de puissance

- Fermeture manuelle de Q1.
- Fermeture de KM 3 : couplage étoile.
- Fermeture de KM 1 ou 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.

Les différentes équations

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow T01 = M4.$$

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.

II.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 **0.75Cn**) pour une pointe de courant encore importante (valeur typique : **4.5In**)

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.

II.3.3.5.1 Démarrage inverseur statorique [13]

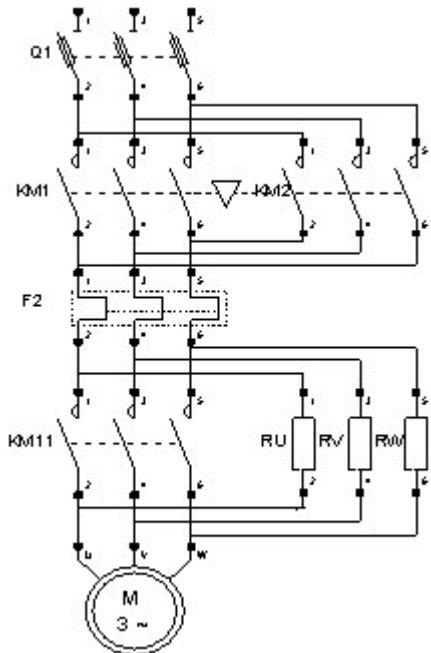


Fig II.19 Circuit du puissance Démarrage inverseur statorique d'un moteur asynchrone triphasé

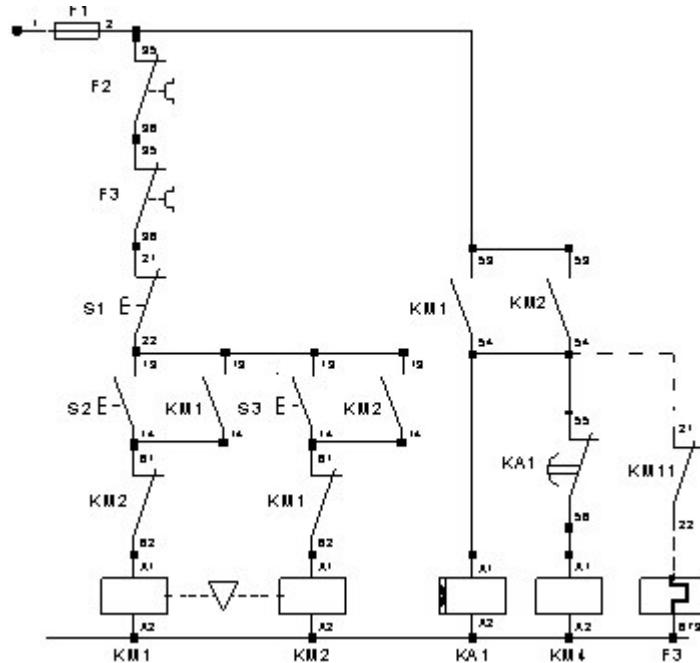


Fig II.20 Circuit du commande Démarrage inverseur statorique d'un moteur asynchrone triphasé

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.

Les différentes équations

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Rightarrow T01 = M3.$$

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

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

Protection

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

II.4 Démarrage des moteurs à bagues

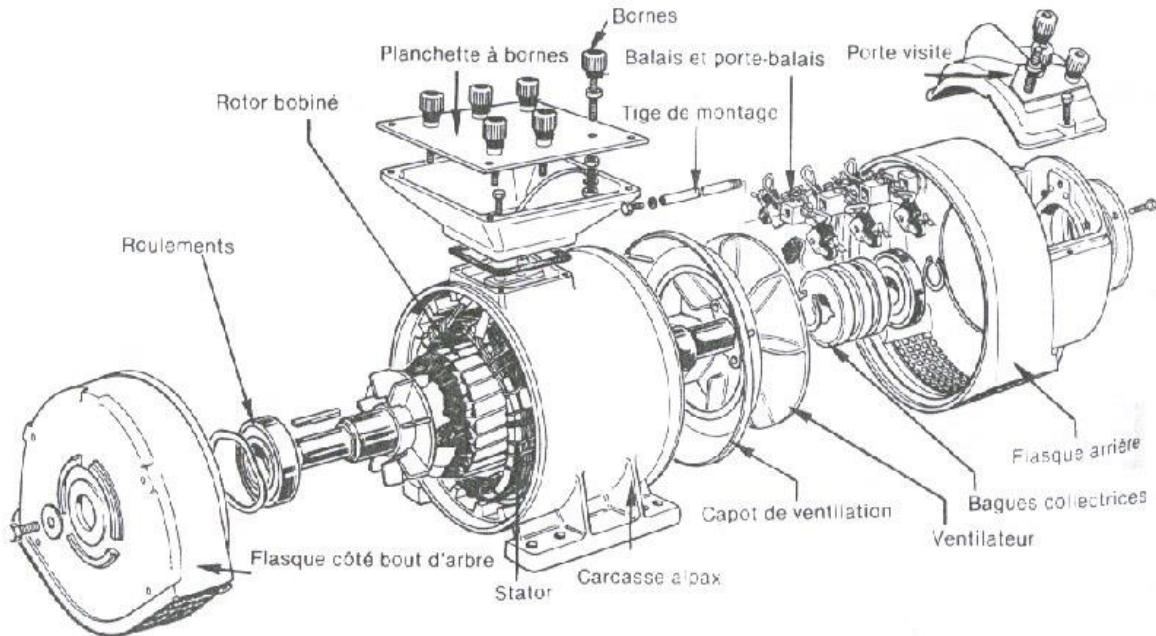


Fig II.21 Moteur asynchrone à bagues

II.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.

II.4.2 Les modes de démarrage des moteurs à bagues

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

Un moteur à bagues ne peut démarrer en un temps, enroulements rotoriques court-circuited, 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-circuité 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.

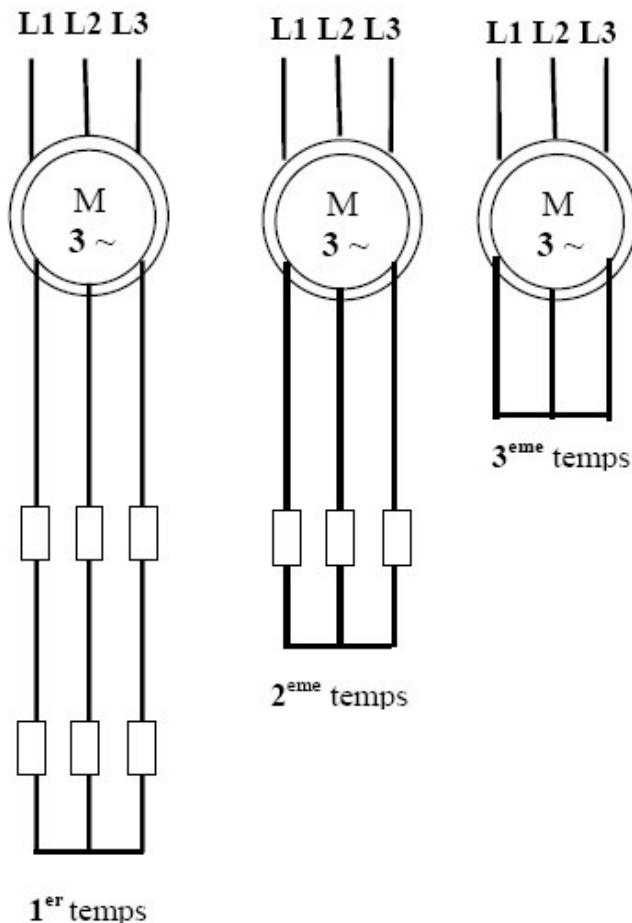


Fig II.22 Principe de l'ensemble de résistants

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

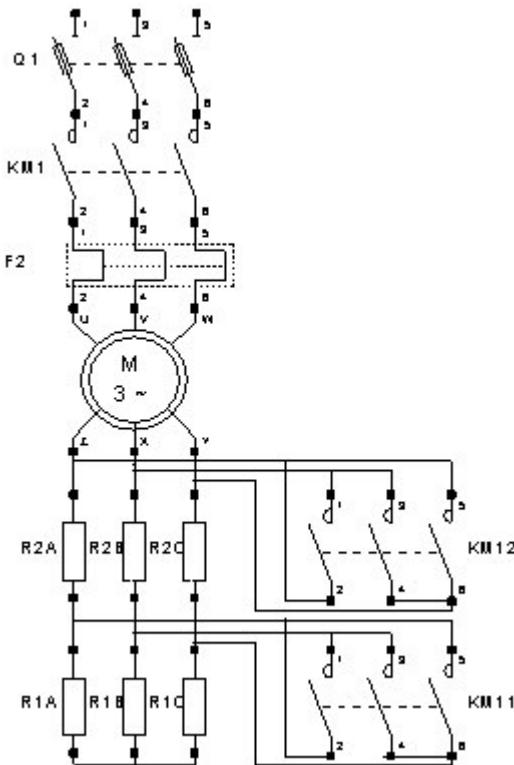


Fig II.23 Circuit du puissance Démarrage rotoriques d'un moteur asynchrone triphasé

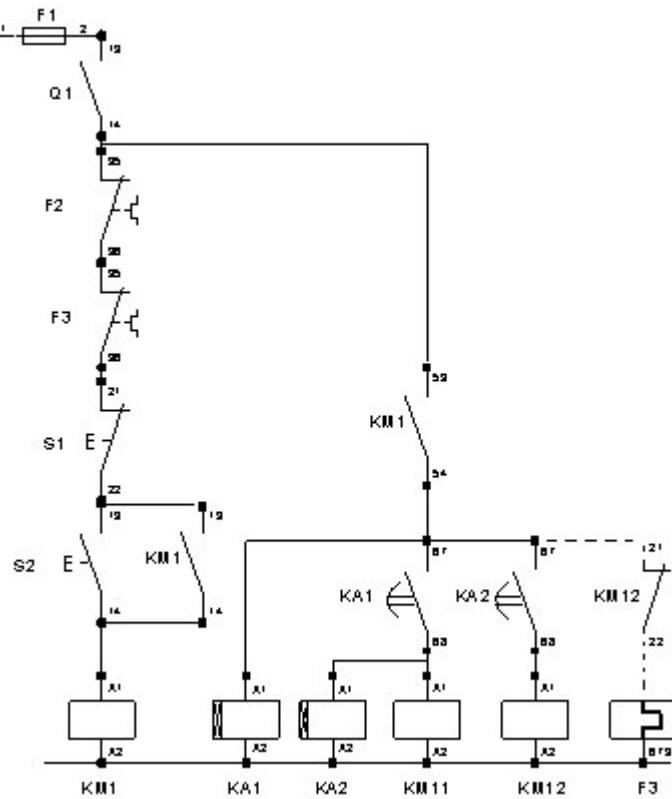


Fig II.24 Circuit du commande Démarrage rotoriques d'un moteur asynchrone triphasé

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.

Les différentes équations

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

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

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

$$KA1 = KM1.$$

$$KM11 = KM1 \cdot KA1.$$

$$KA2 = KM1 \cdot KA1.$$

$$KM12 = KM1 \cdot KA2.$$

$$T01 = Q1.$$

$$T02 = Q1 \cdot T01.$$

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

$$Q3 = Q1 \cdot T02.$$

Protection

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

Emploi

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

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

II.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).

Chapitre III

Application schéma à relais

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, notre objectif est de créer un programme d'une simulation à l'aide du logiciel Automgen V8.9 avec TIA Portal V14, 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 programmée 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.

III.2 Partie Automgen

III.2.1 Démarrage direct

III.2.1.1 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.

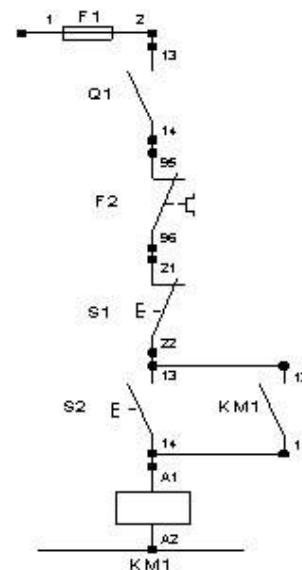


Fig III.1 Schéma de commande

III.2.1.2 Listes des Entrées/Sorties

Symbols	Variabl...	Comments
S2	I1	Bouton start
S1	I2	Bouton stop
Q1	I3	Disjoncteur
KM1	O1	relais de réseau

Tab III.1 listes des Entrées/Sorties

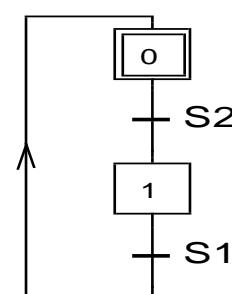


Fig III.2 Schéma à Grafcet

III.2.1.3 Simulation

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

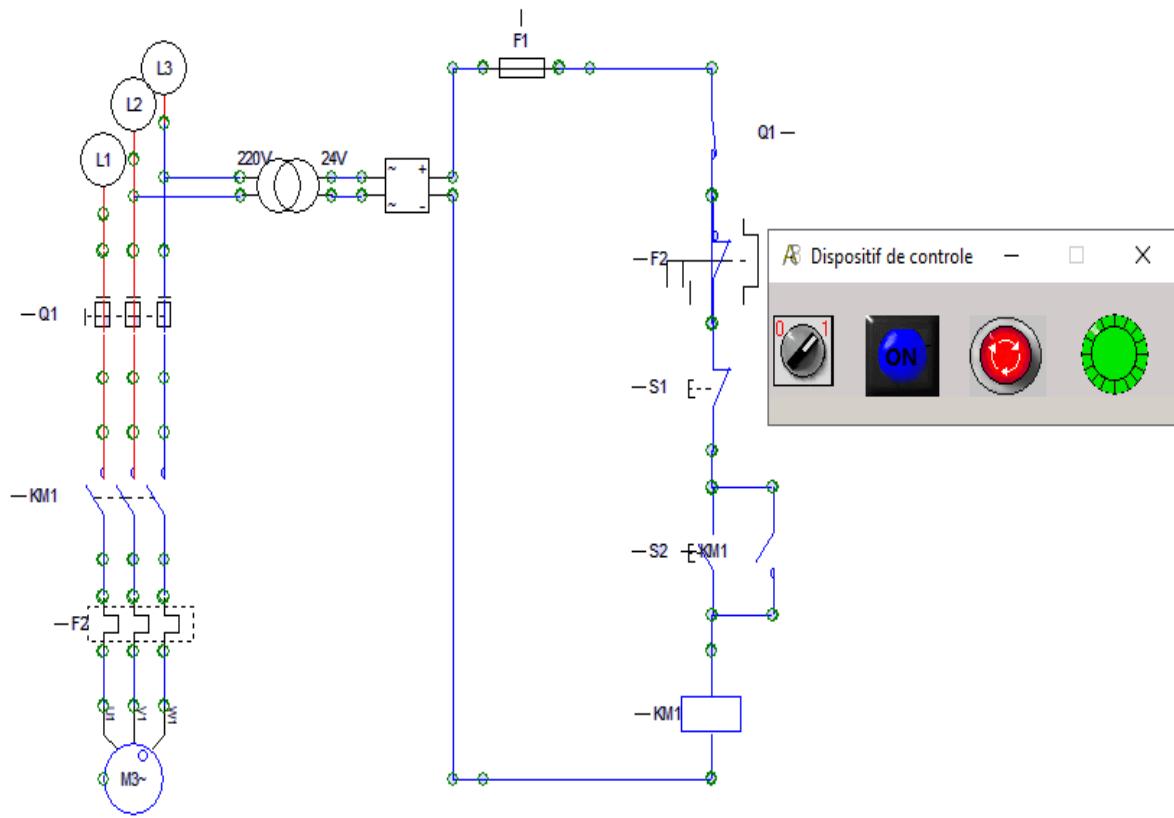


Fig III.3 Fermeture manuelle de Q1

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

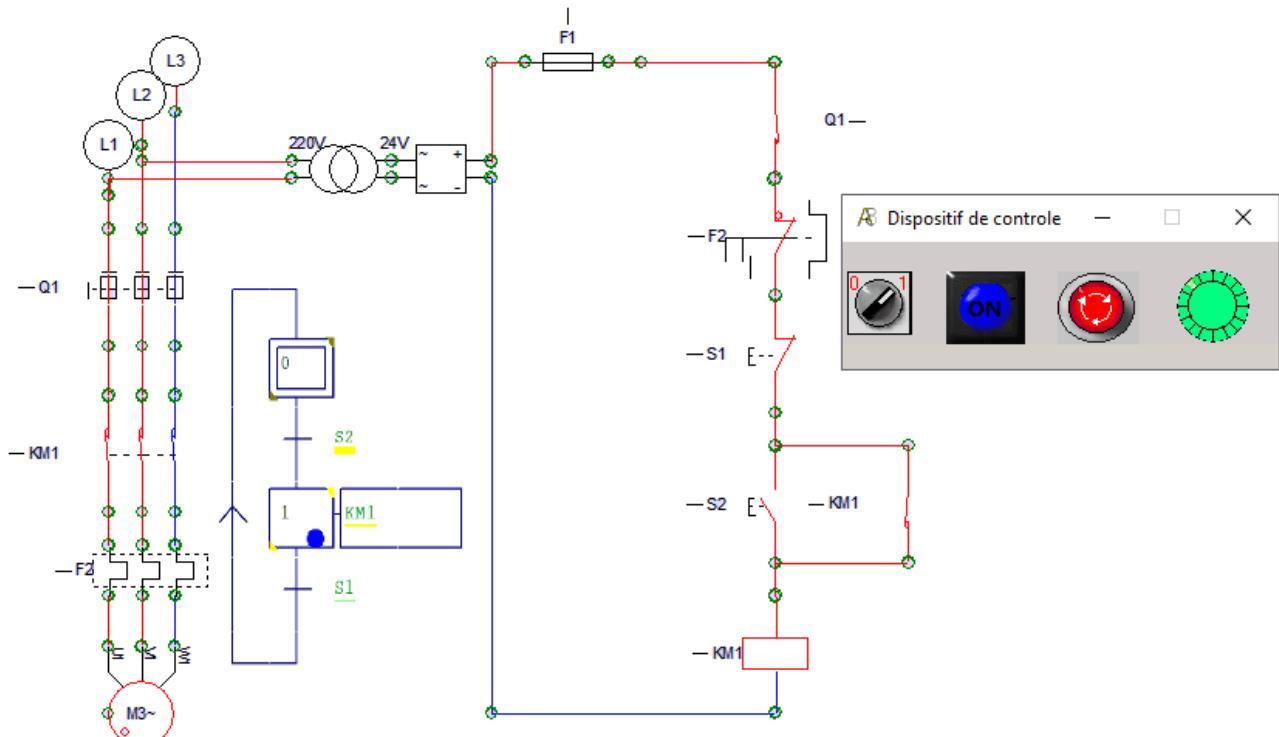


Fig III.4 Impulsion sur le bouton de start S2.

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

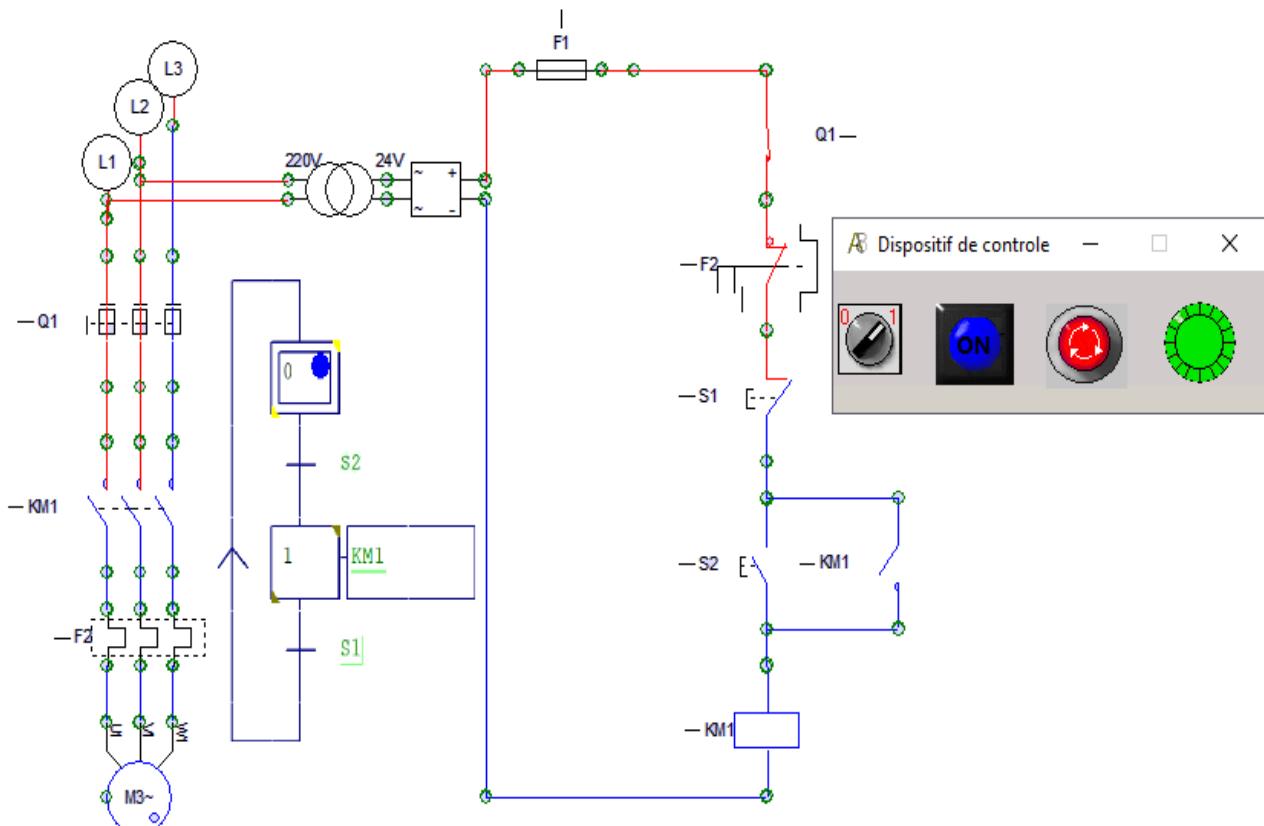


Fig III.5 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.

III.2.2 Démarrage inverseur direct

III.2.2.1 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).

Arrêt :

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

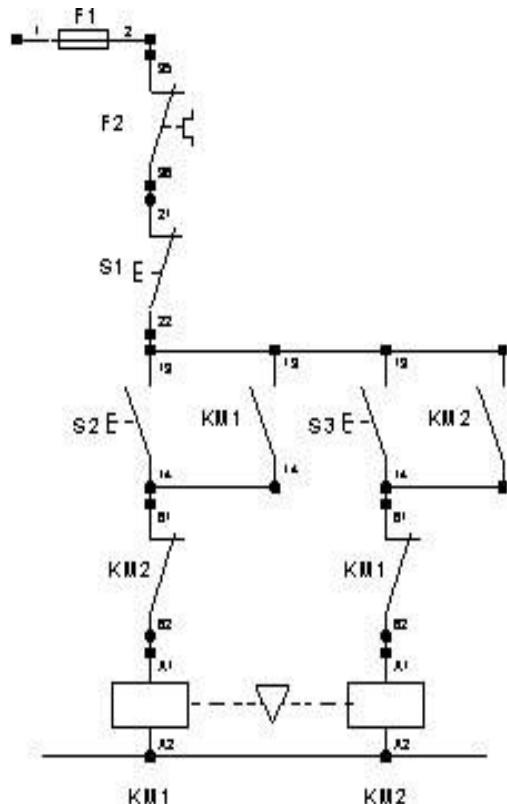


Fig III.6 Schéma de commande

III.2.2.2 Listes des Entrées/Sorties

Symbols	Variables	Comments
S2	I1	Bouton start sens 1
S1	I2	Bouton stop
S3	I3	Bouton start sens 2
Q1	I4	Disjoncteur
KM1	O1	relais de réseau sens 1
KM2	O2	relais de réseau sens 2

Tab III.2 listes des Entrées/Sorties

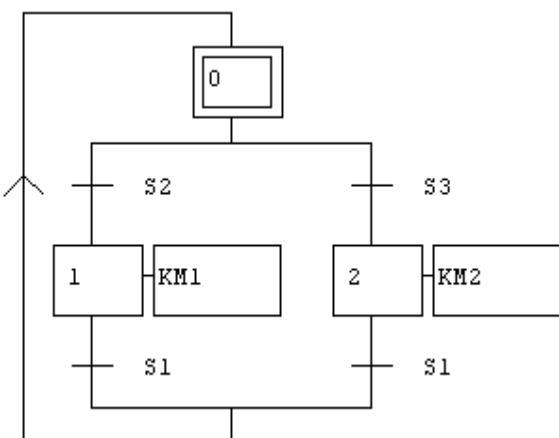


Fig III.7 Schéma à Grafcet

III.2.1.3 Simulation

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

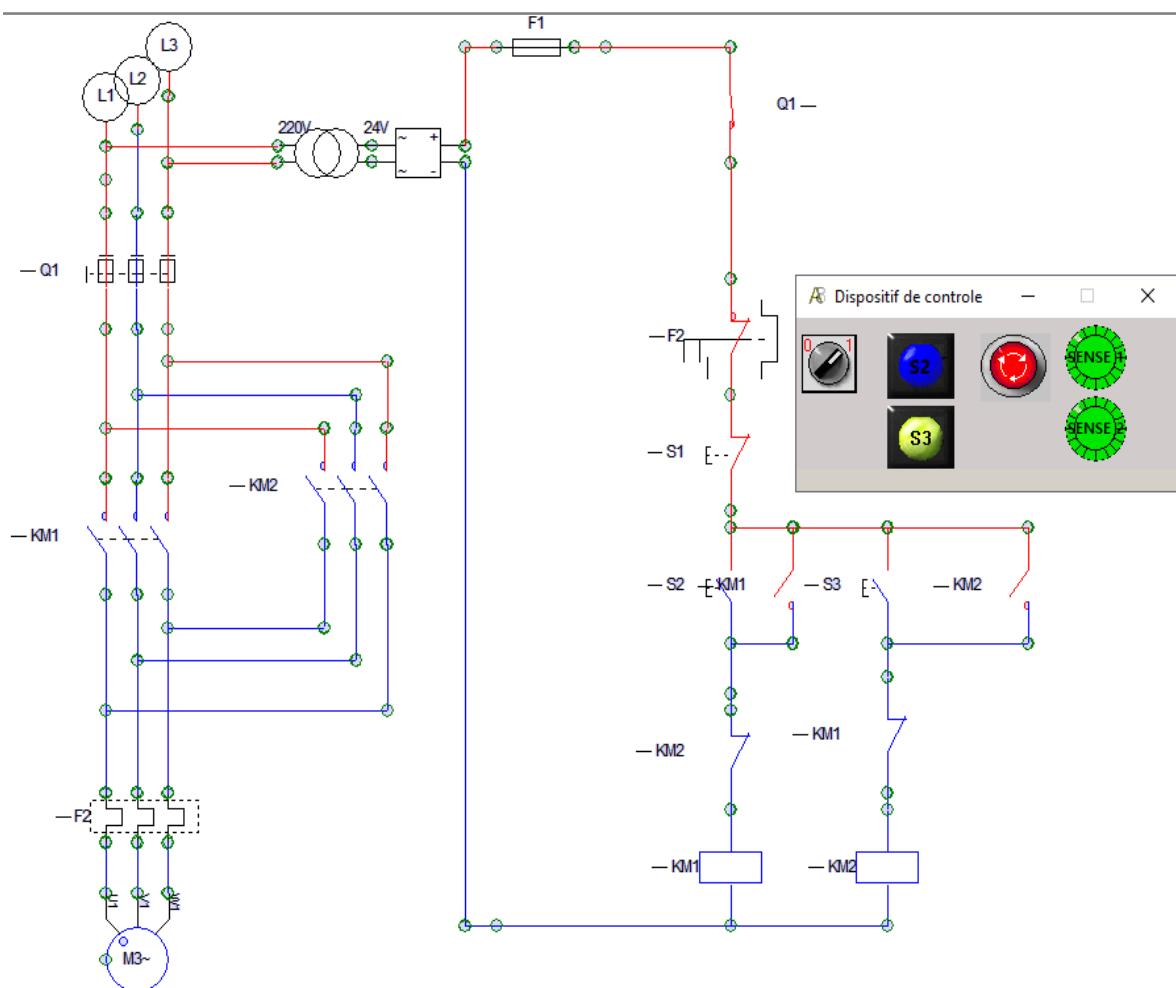


Fig III.8 Fermeture manuelle de Q1.

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

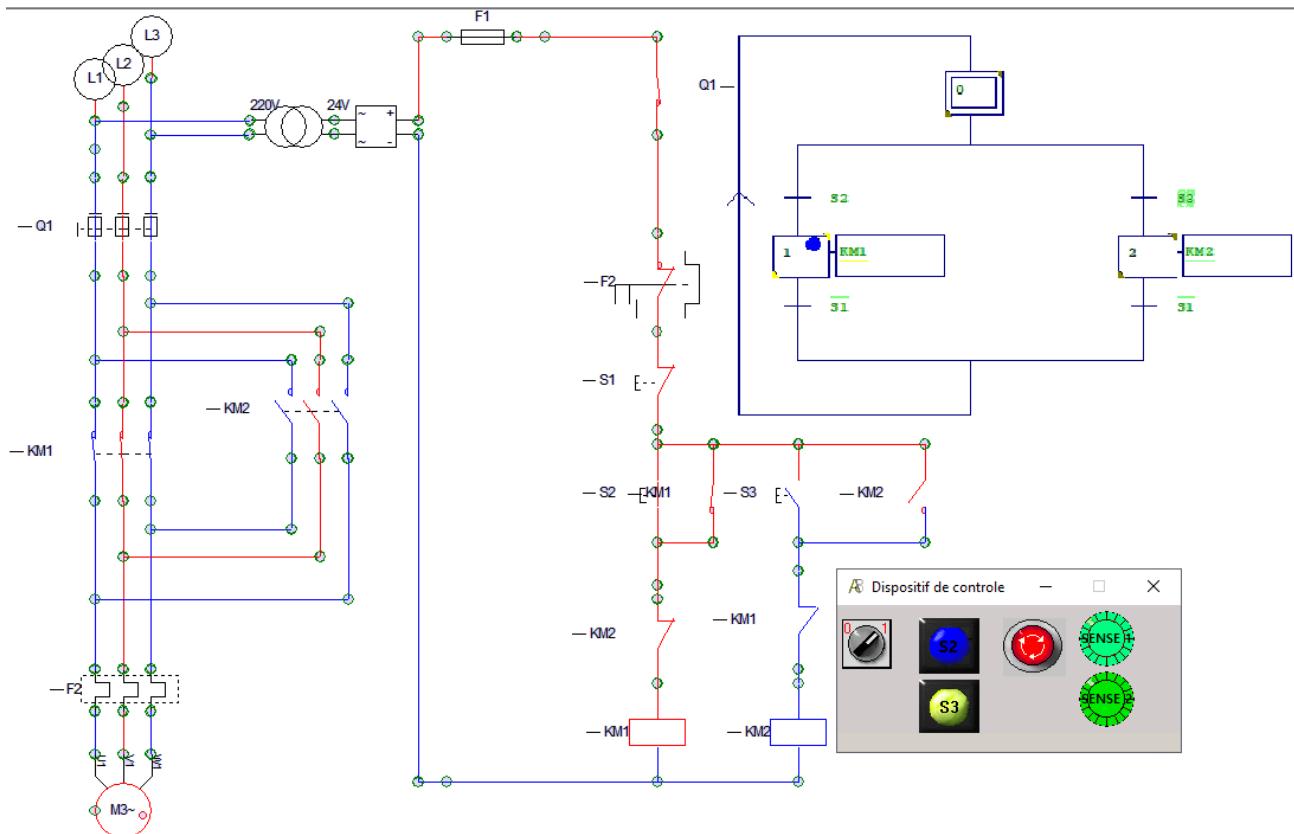


Fig III.9 Impulsion sur le bouton de start S2 (sens 1).

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

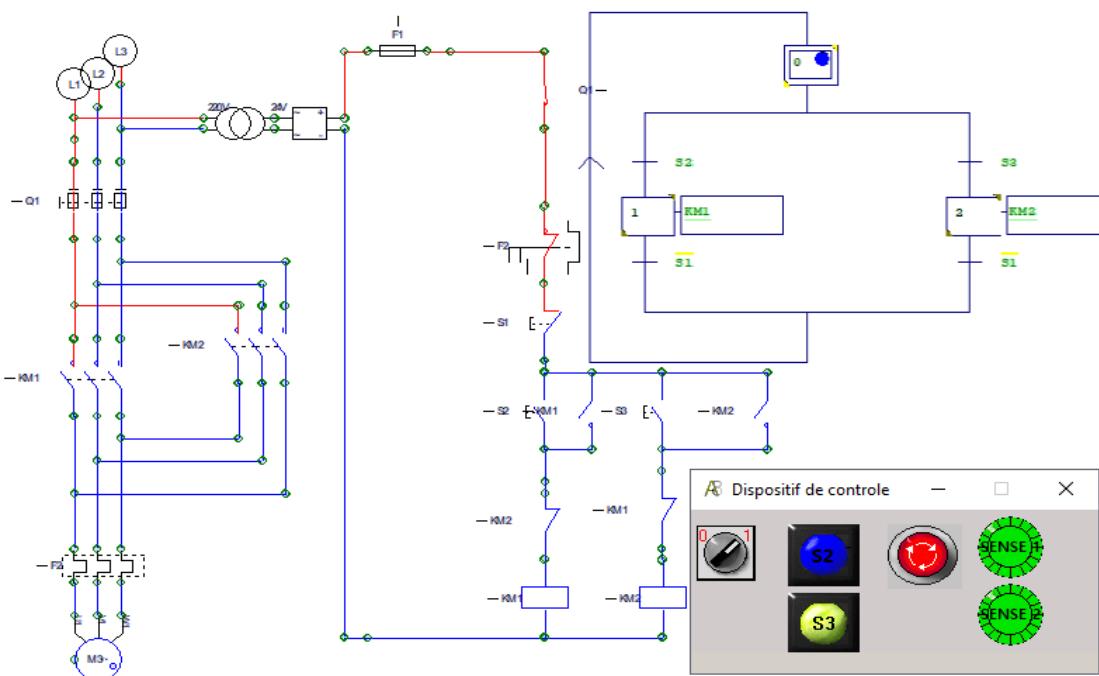


Fig III.10 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.

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

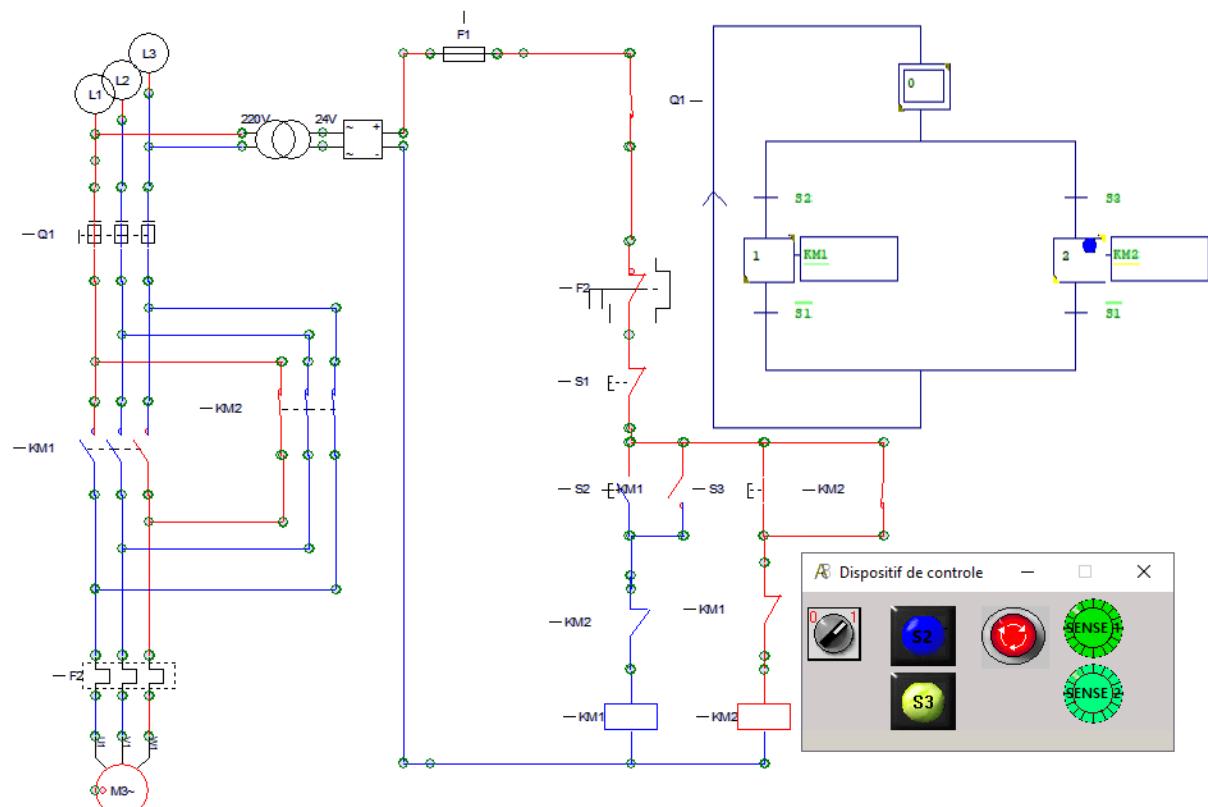


Fig III.11 Impulsion sur le bouton de start S3 (sens 2).

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

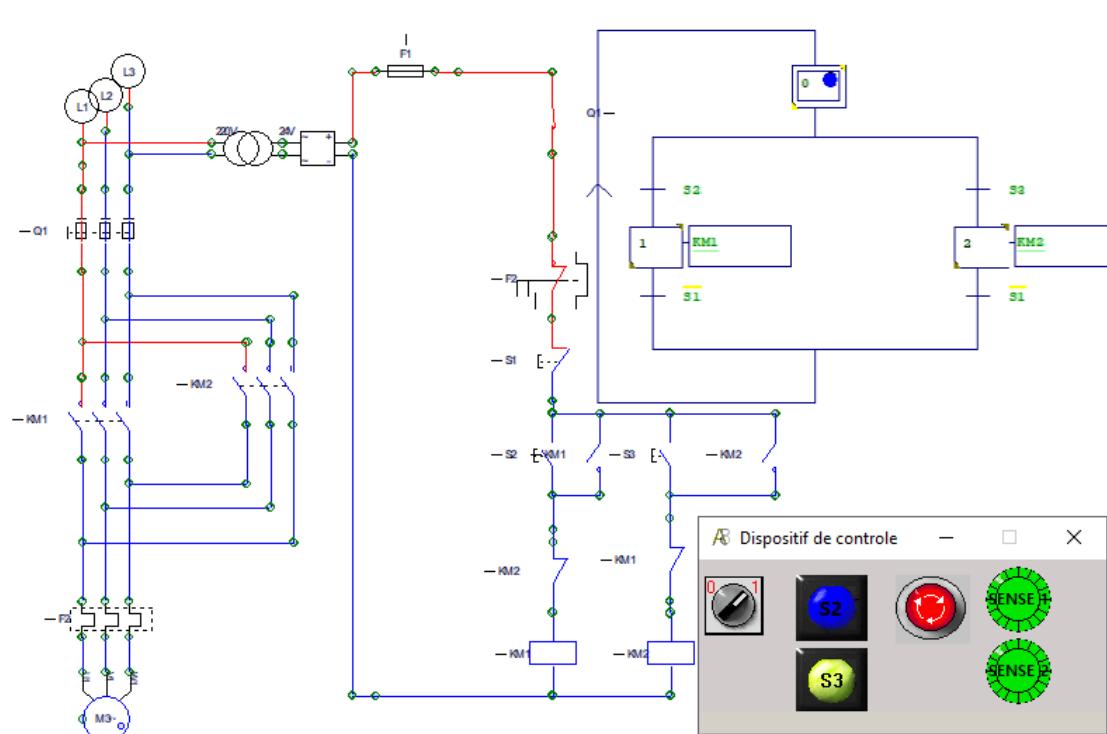


Fig III.12 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.

III.2.3 Démarrage part-winding

III.2.3.1 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.

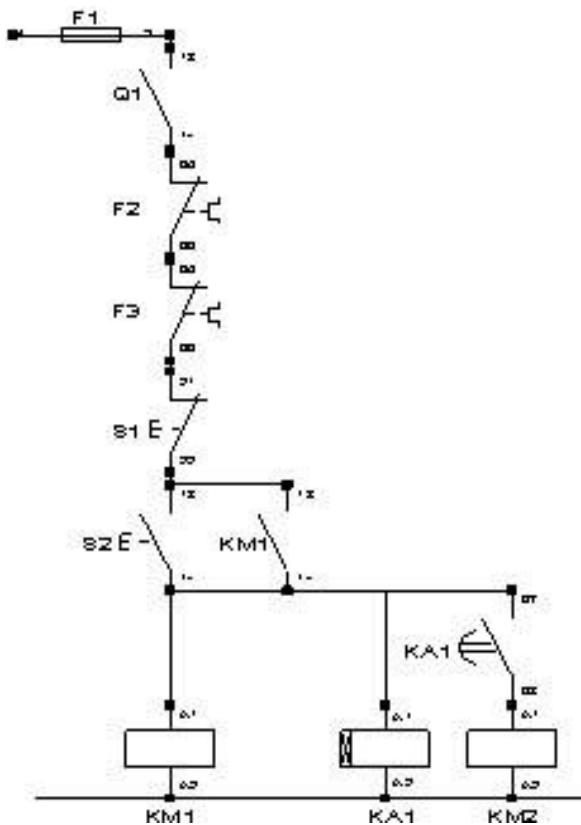


Fig III.13 Schéma de commande

III.2.3.2 Listes des Entrées/Sorties

Symbols	Variables	Comments
S1	I1	Bouton stop
S2	I2	Bouton start
KM1	O1	relais de réseau
KM2	O2	relais de réseau
KA1	O3	Relais temporisé
100/X1%T	T0	

Tab III.3 listes des Entrées/Sorties

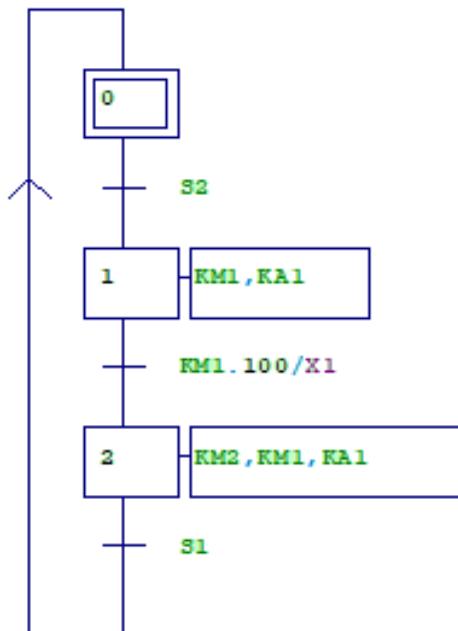


Fig III.14 Schéma à Grafcet

III.2.3.3 Simulation

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

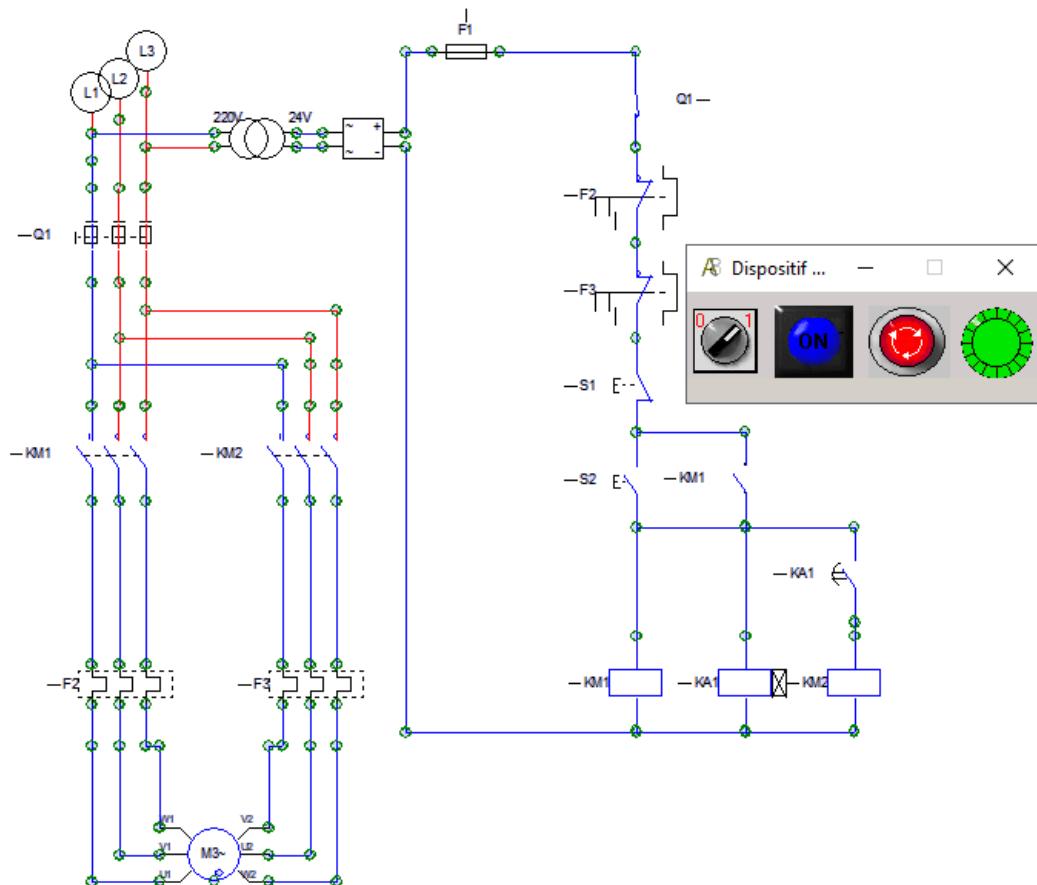


Fig III.15 Fermeture manuelle de Q1.

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

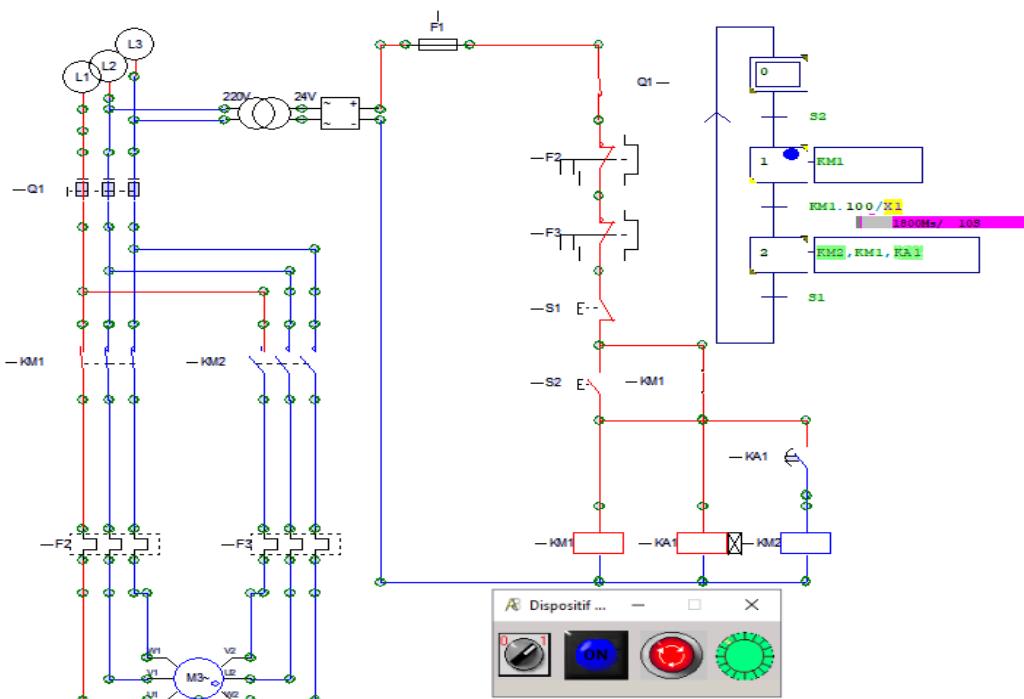


Fig III.16 Impulsion sur le bouton de start S2.

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

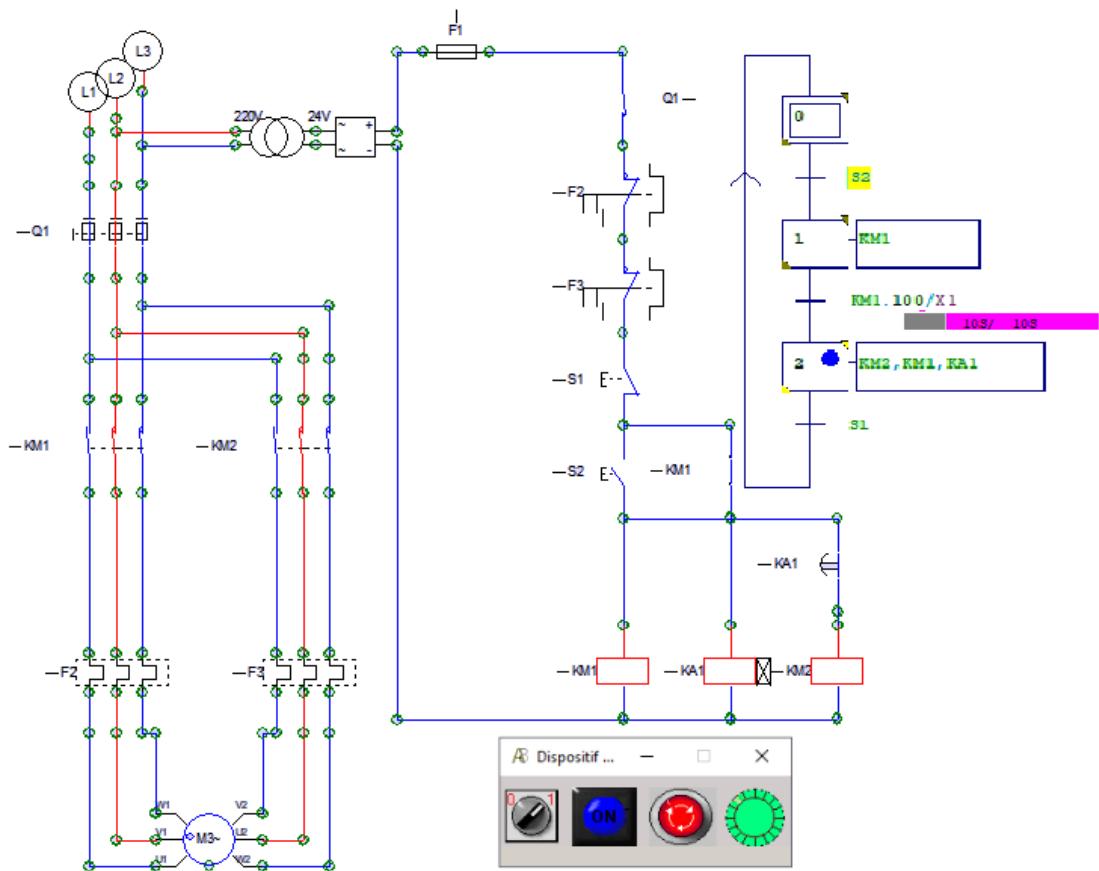


Fig III.17 Fermeture de KA1 après 10s.

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

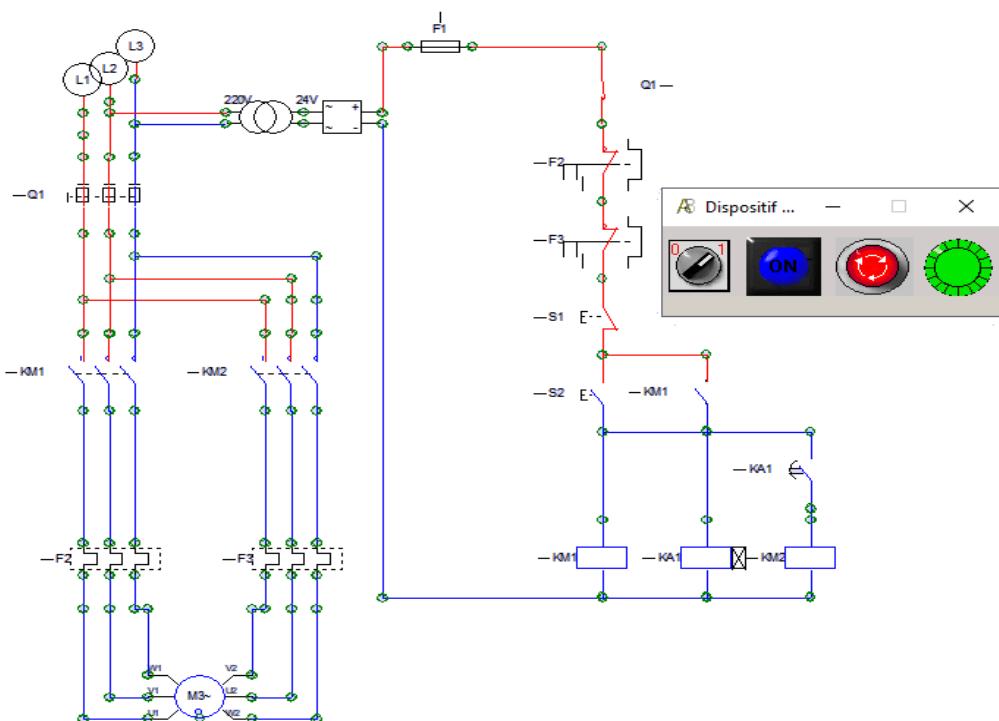


Fig III.18 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.

III.2.4 Démarrage « étoile – triangle » deux sens de marche

III.2.4.1 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.

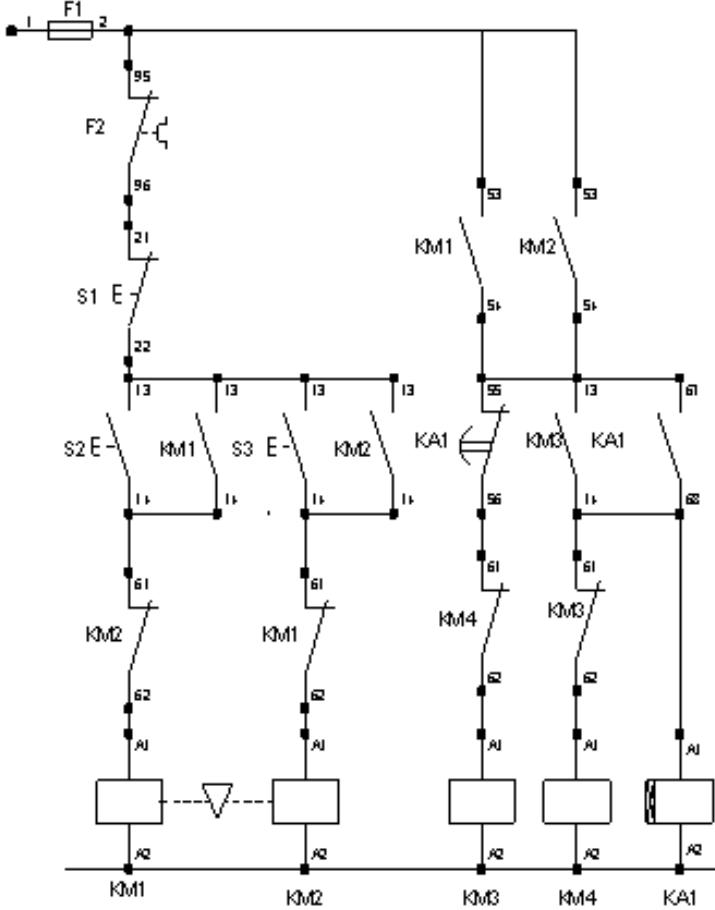


Fig III.19 Schéma de commande

III.2.4.2 Listes des Entrées/Sorties

Symbols	Variables	Comments
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
Q1	I4	
100/X1%T	T0	
100/X3%T	T1	

Tab III.4 listes des Entrées/Sorties

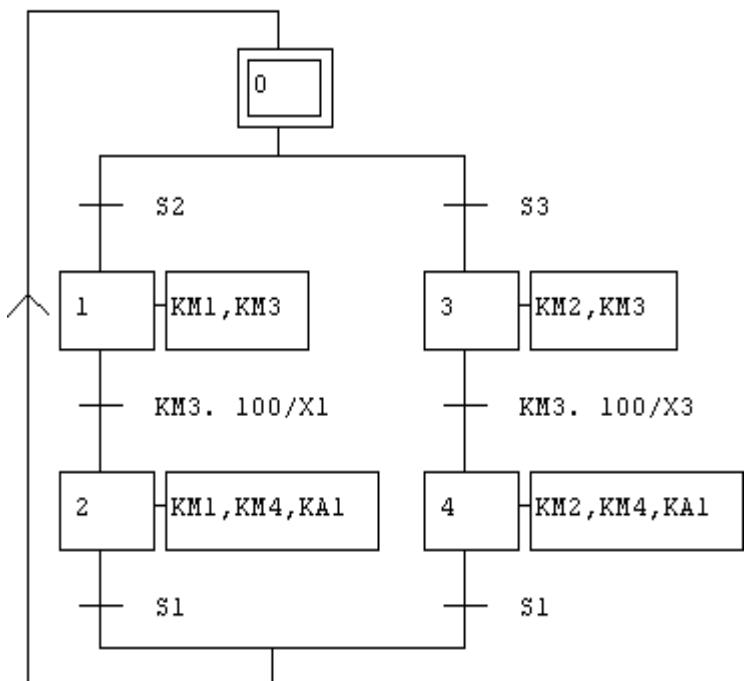


Fig III.20 Schéma à Grafcet

IV.2.4.3 Simulation

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

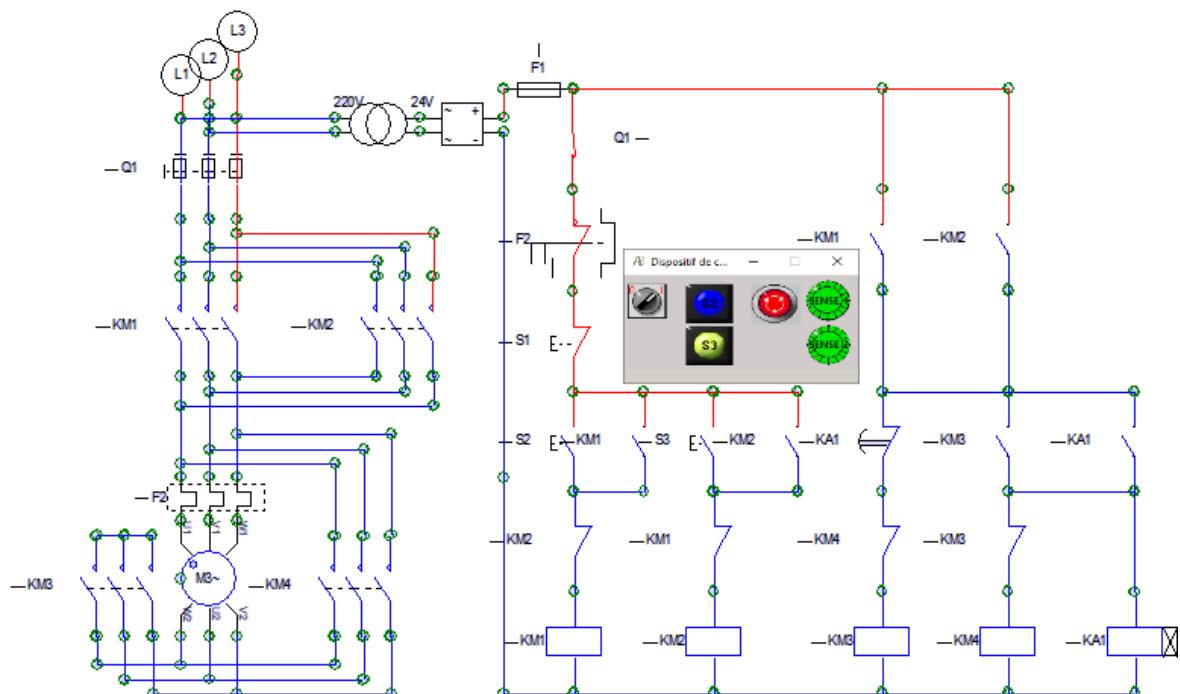


Fig III.21 Fermeture manuelle de Q1.

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

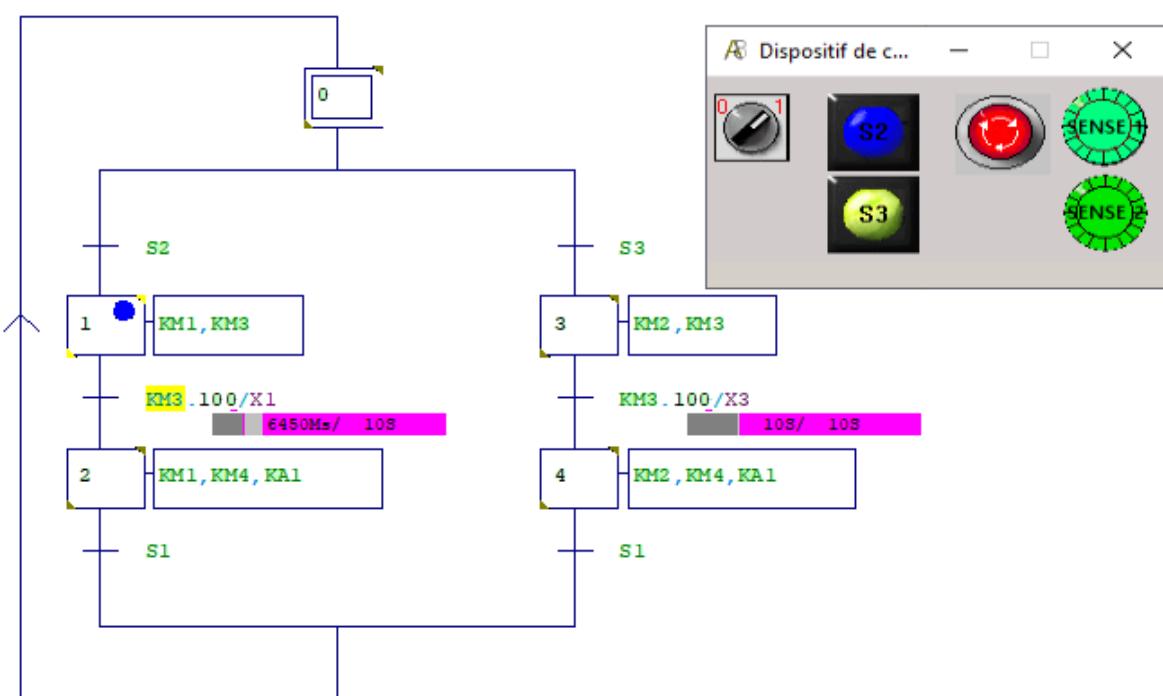


Fig III.22 Impulsion sur le bouton de start S2 (Grafset).

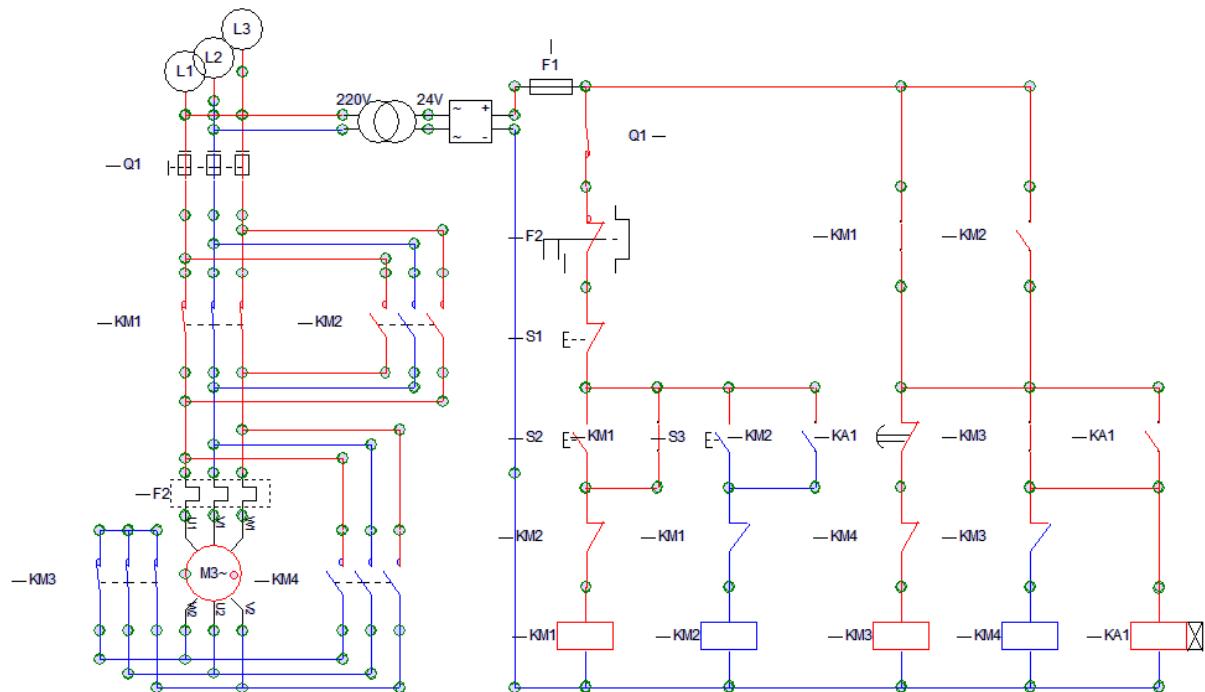


Fig III.23 Impulsion sur le bouton de start S2.

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

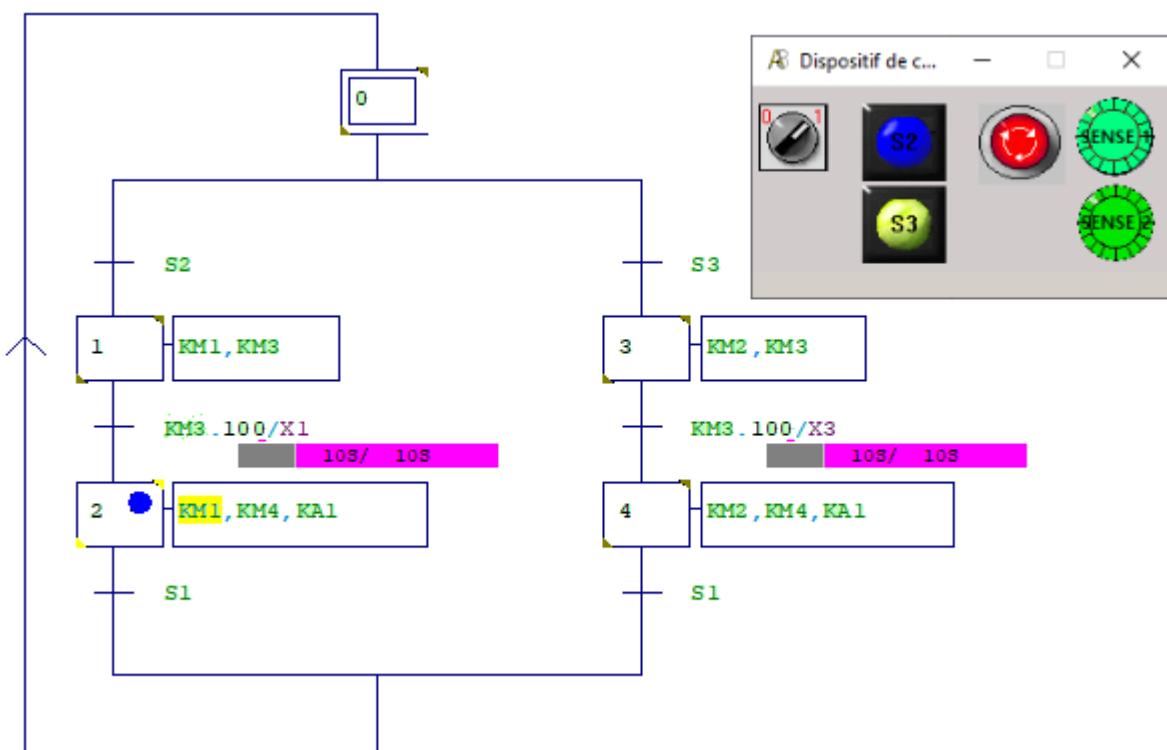


Fig III.24 Fermeture de KM4 (couplage Triangle)(Grafset)

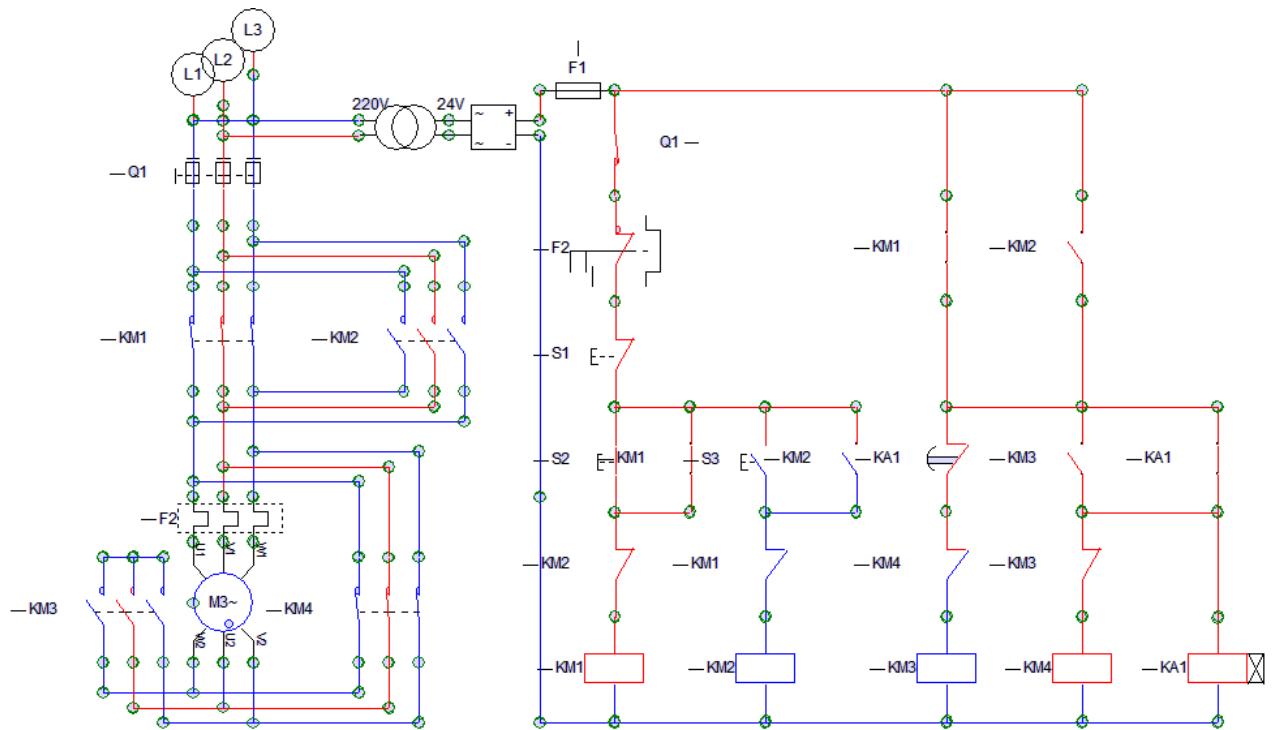


Fig III.25 Fermeture de KM4 (couplage Triangle)

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

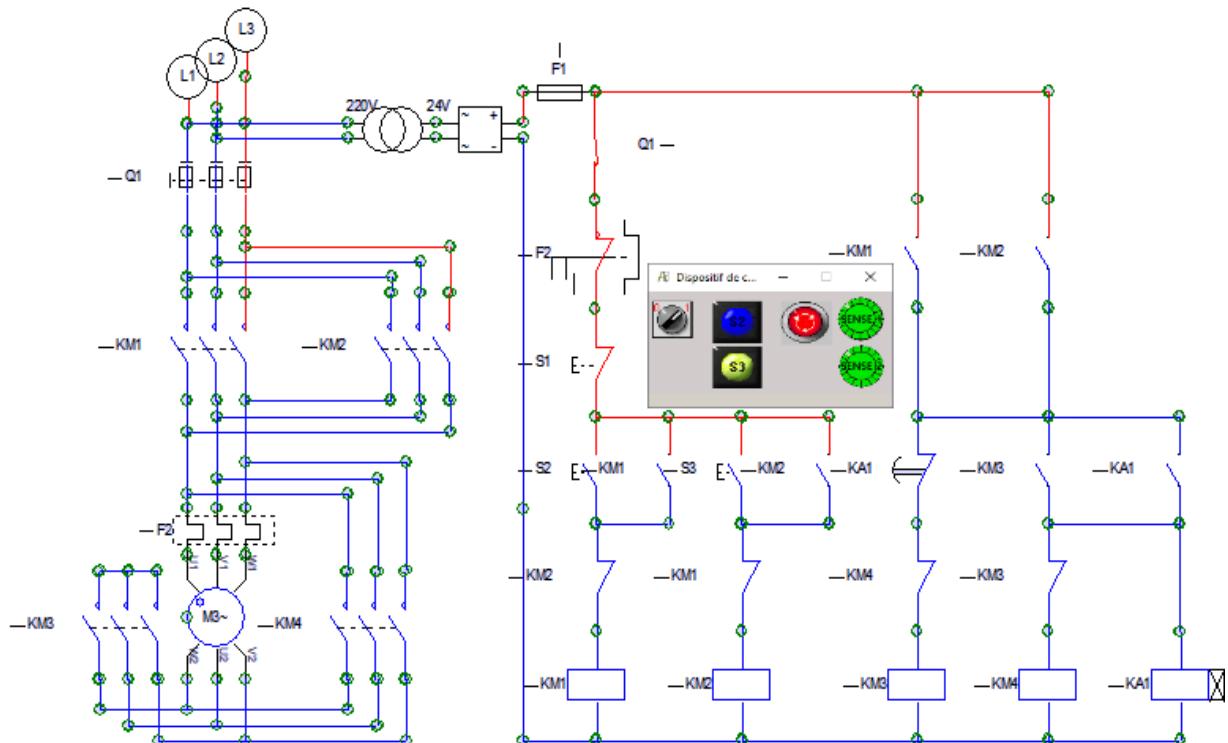


Fig III.26 Impulsion sur le bouton de stop S1

5ème cas : Impulsion sur le bouton de start S3 (sens 2).

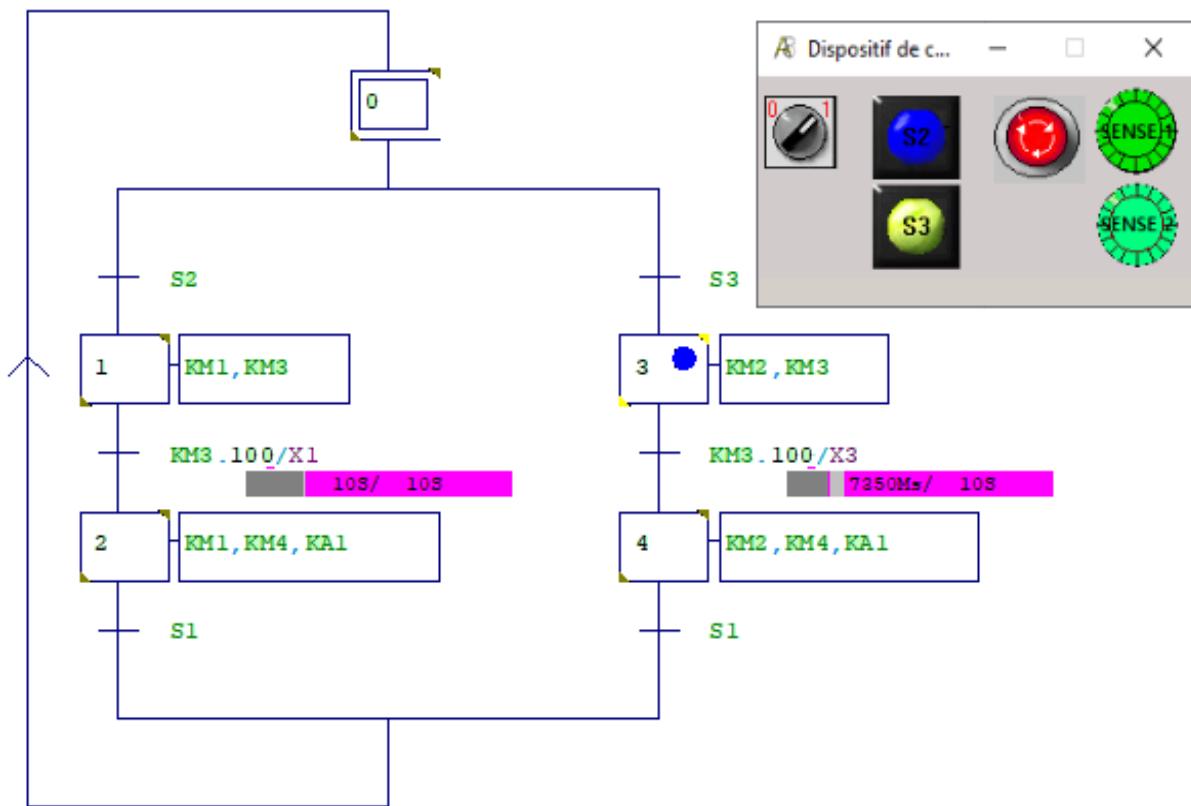


Fig III.27 Impulsion sur le bouton de start S3 (Grafcet).

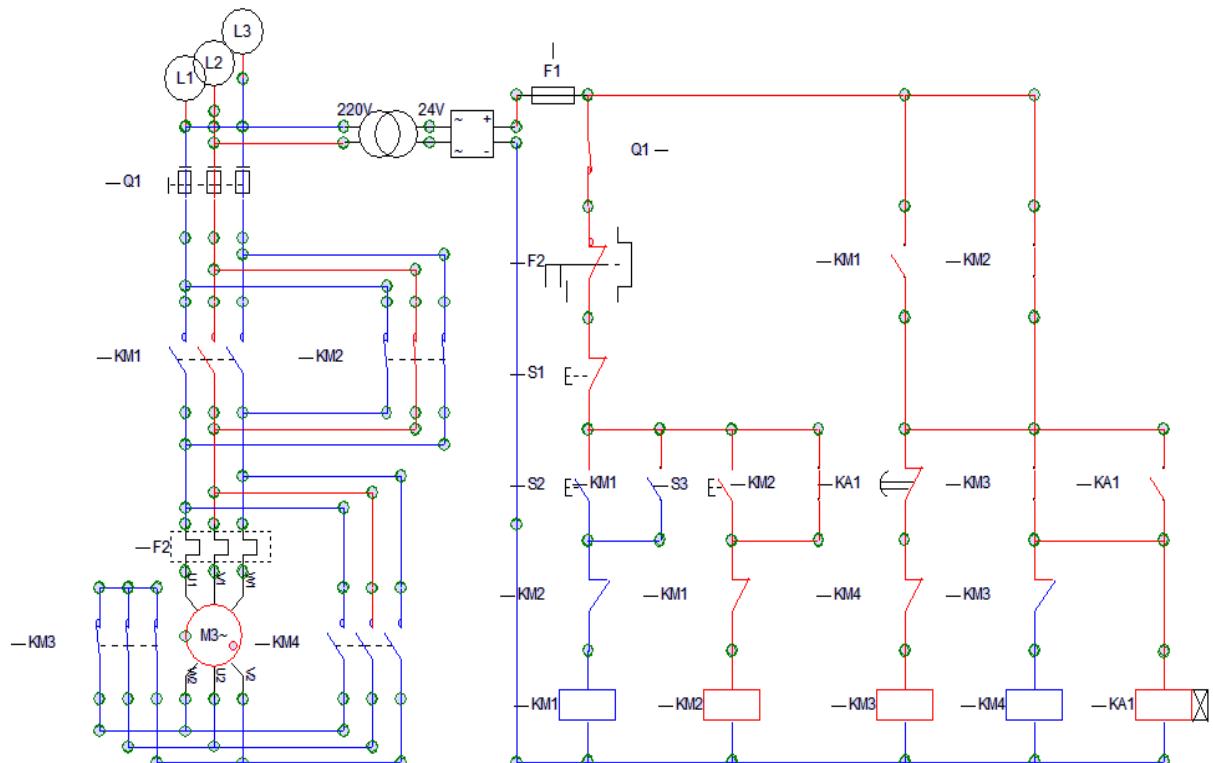


Fig III.28 Impulsion sur le bouton de start S3 .

6ème cas : Fermeture de KM4 après 10s (couplage Triangle).

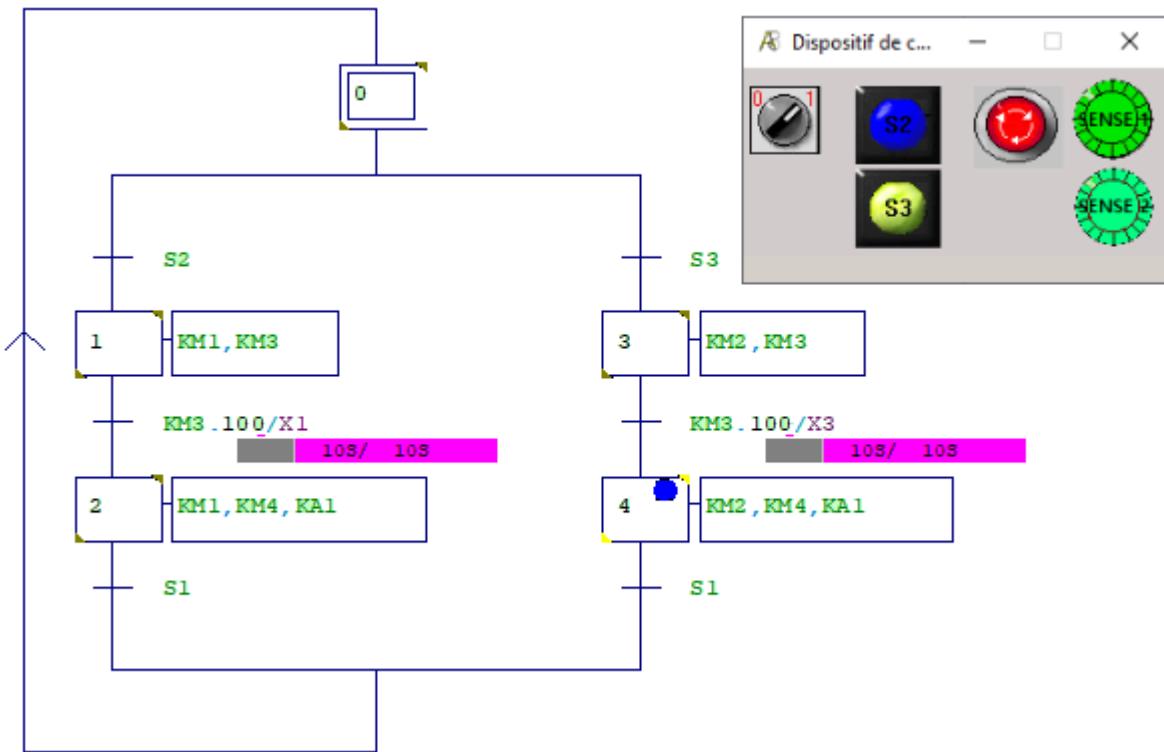


Fig III.29 Fermeture de KM4 (couplage Triangle)(Grafcet)

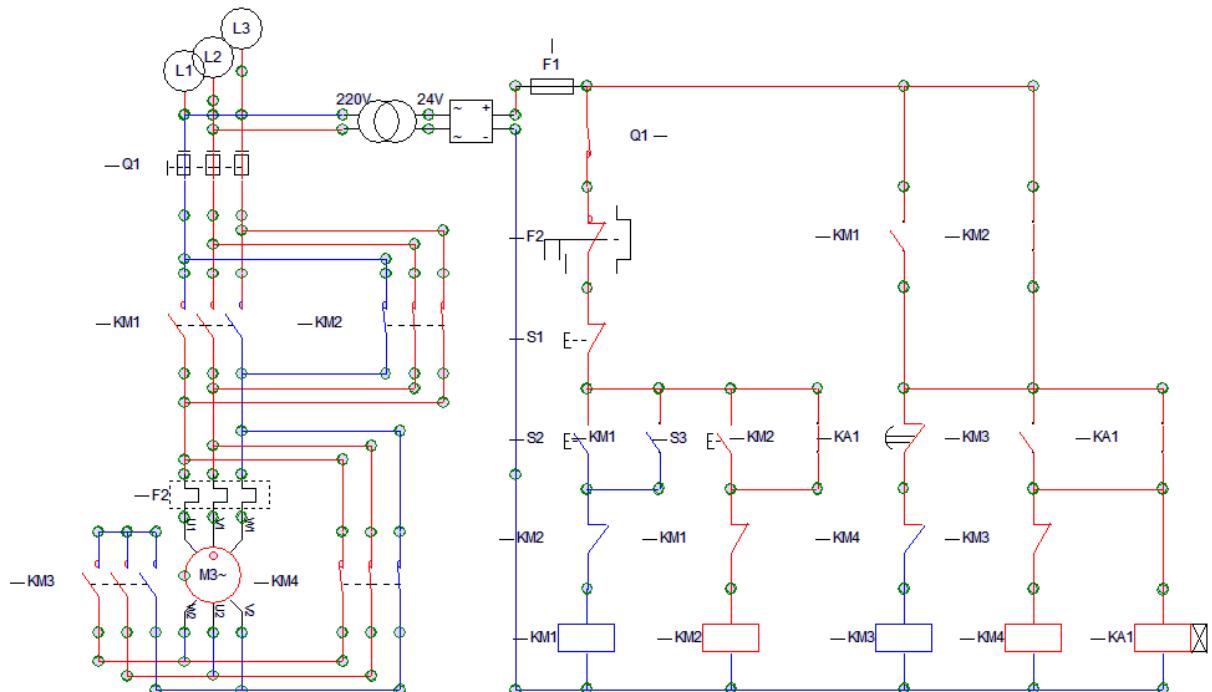


Fig III.30 Fermeture de KM4 (couplage Triangle)

7ème cas : Impulsion sur le bouton stop S1.

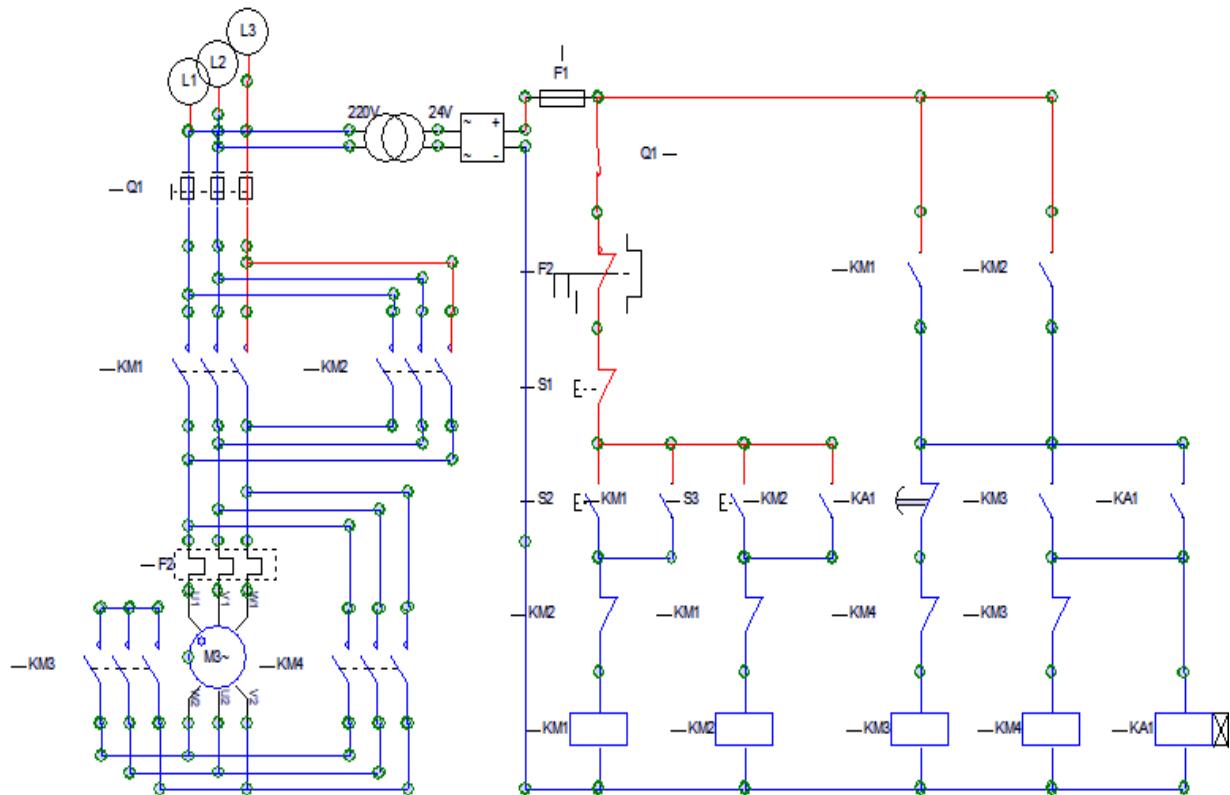


Fig III.31 Impulsion sur le bouton stop S1.

III.2.5 Démarreur inverseur statorique

III.2.5.1 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 (53-54).
- Excitation de KM11 par KA1 (67-68).

Arrêt :

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

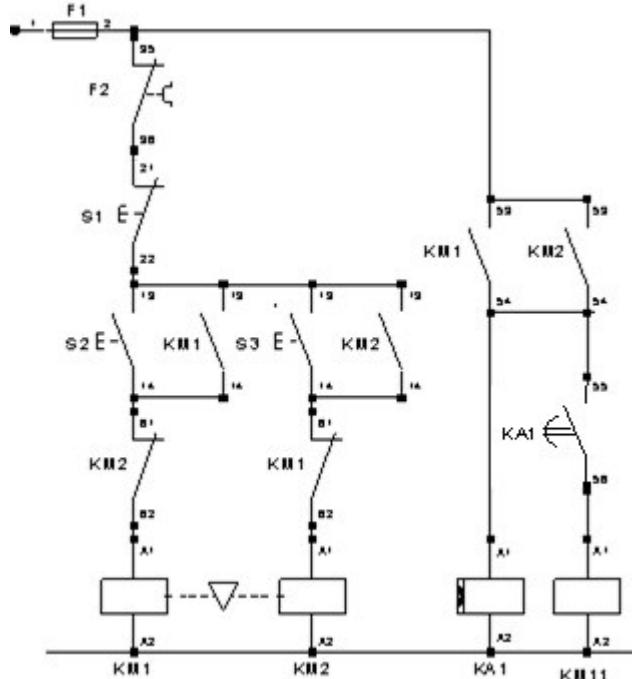


Fig III.32 Schéma de commande

III.2.5.2 Listes des Entrées/Sorties

Symbols	Variables	Comments
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
KM11	O3	Relais de réseau
KA1	O4	Relais temporisé
Q1	I4	
100/X1%T	T0	
100/X3%T	T1	

Tab III.5 listes des Entrées/Sorties

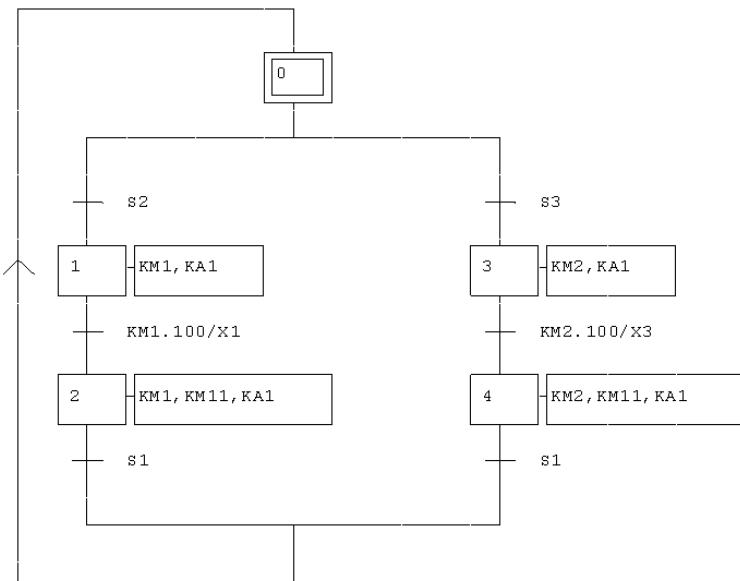


Fig III.33 Schéma à Grafset

III.2.1.3 Simulation

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

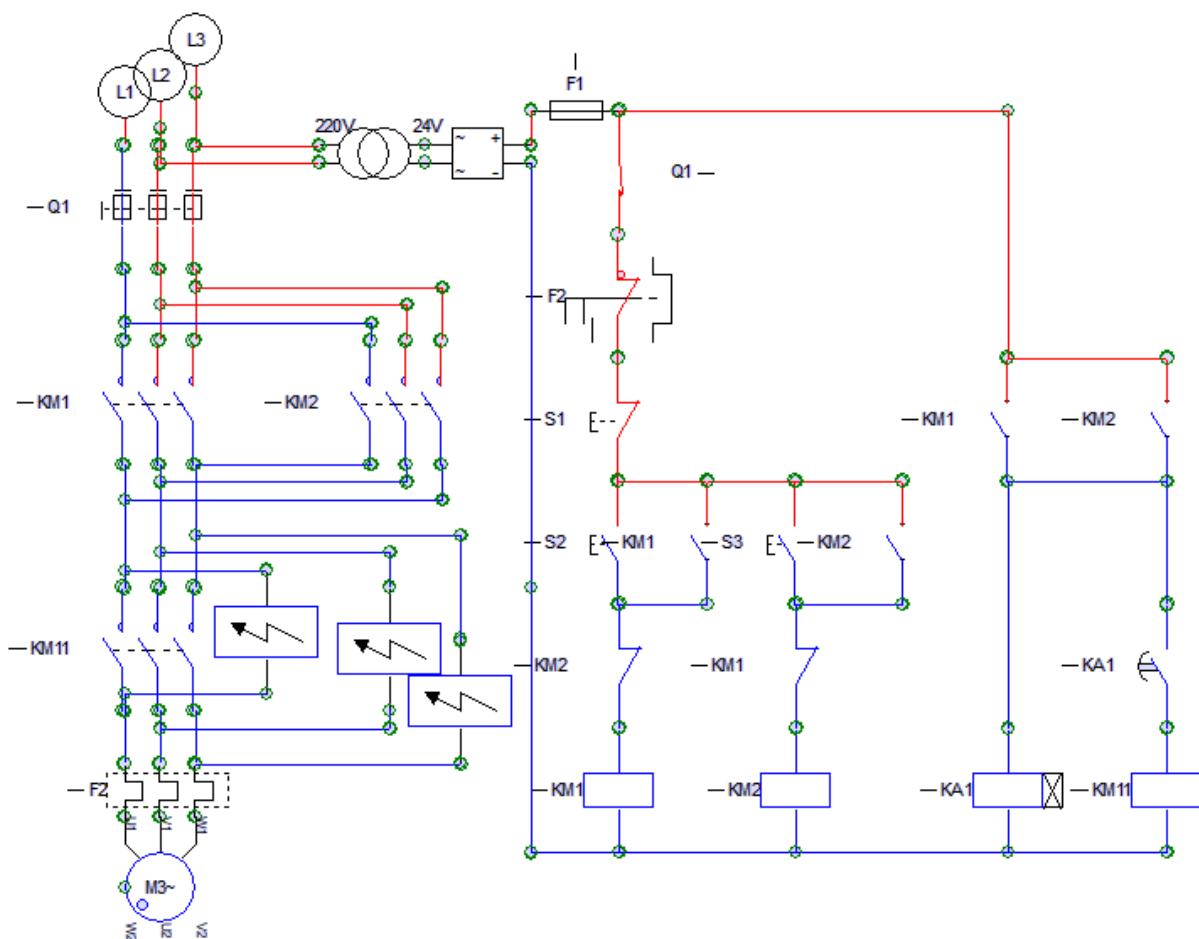


Fig III.34 Fermeture manuelle de Q1.

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

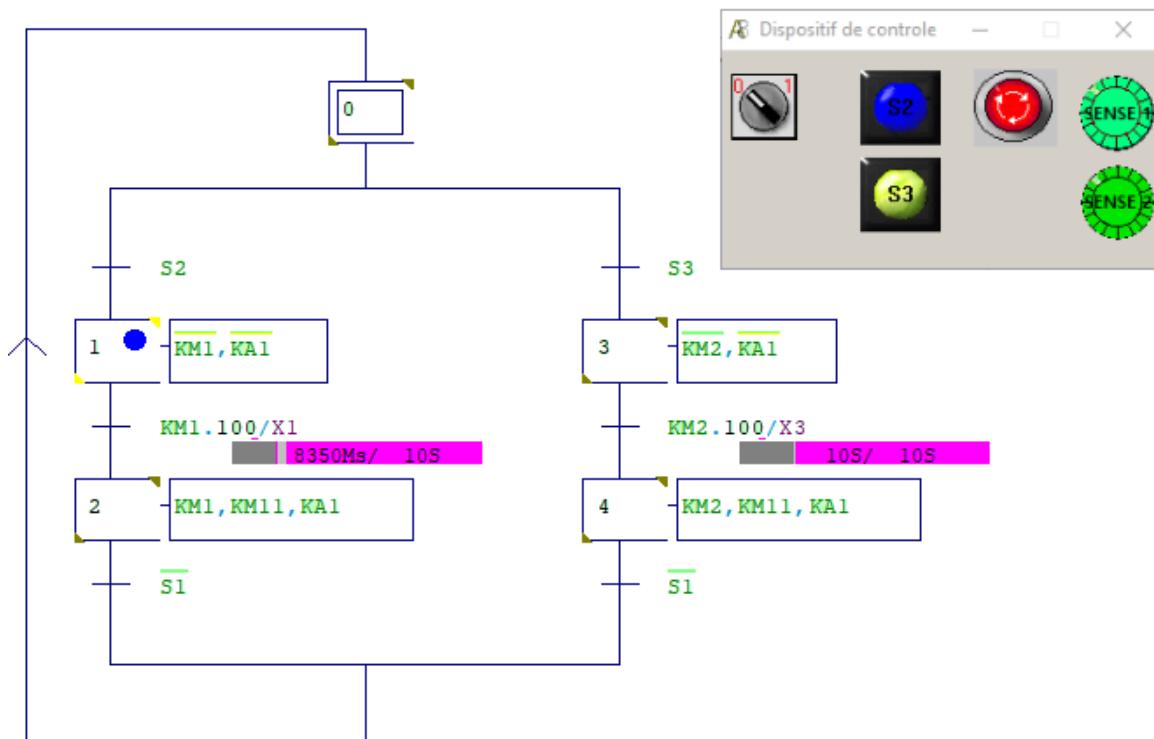


Fig III.35 Impulsion sur le bouton de start S2 (Grafcet).

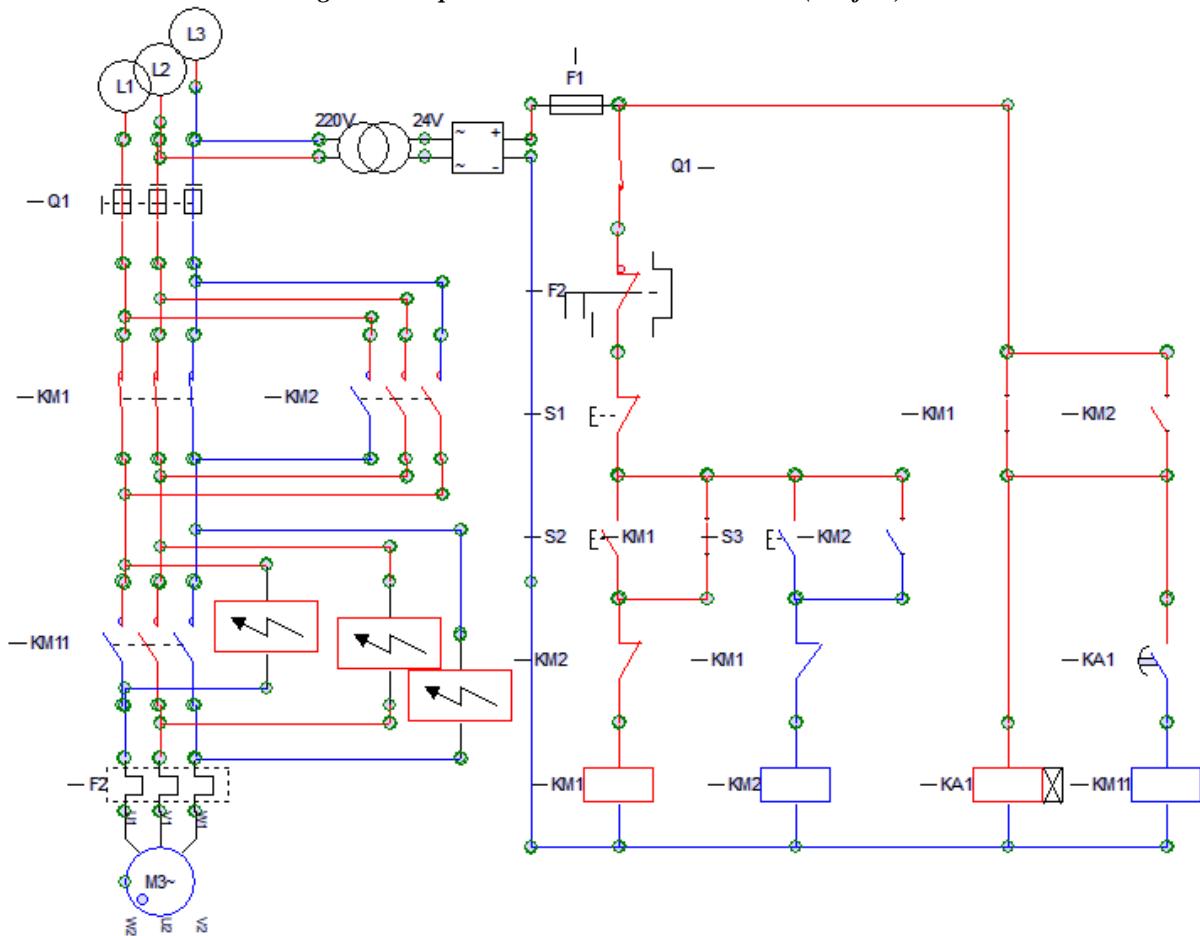


Fig III.36 Impulsion sur le bouton de start S2.

3^{ème} cas : Fermeture de KM4 après 10s.

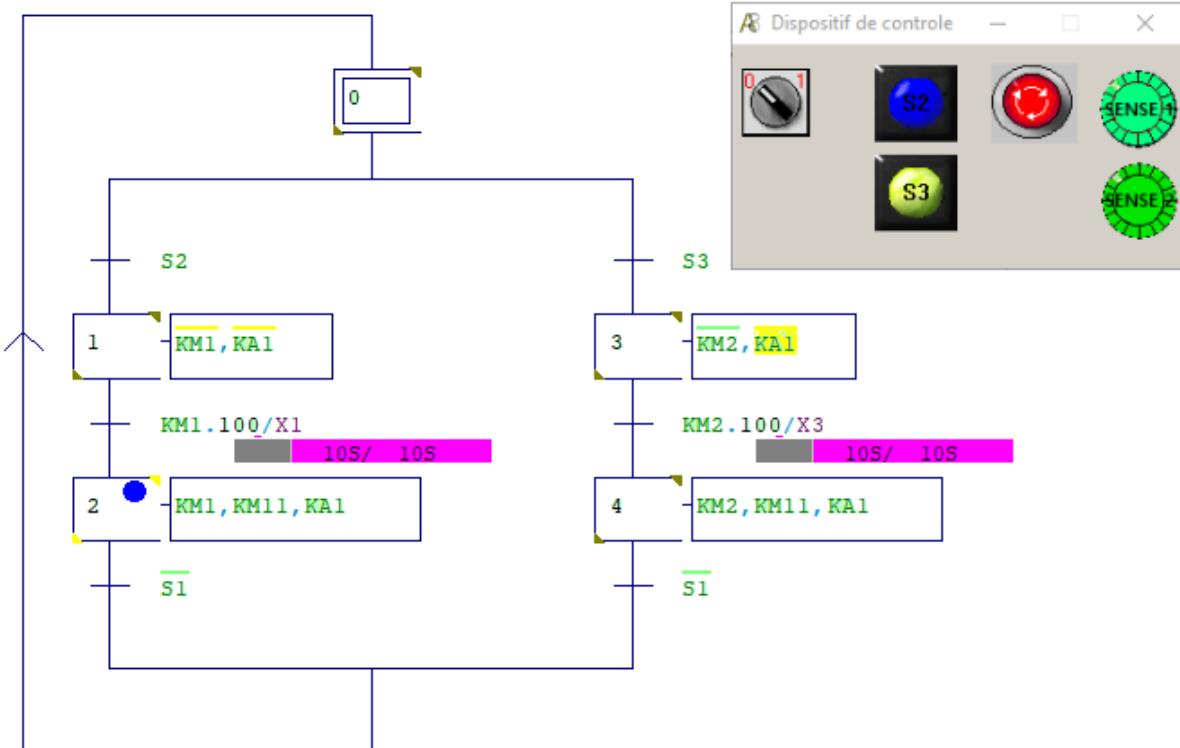


Fig III.37 Fermeture de KM4 (Grafcet)

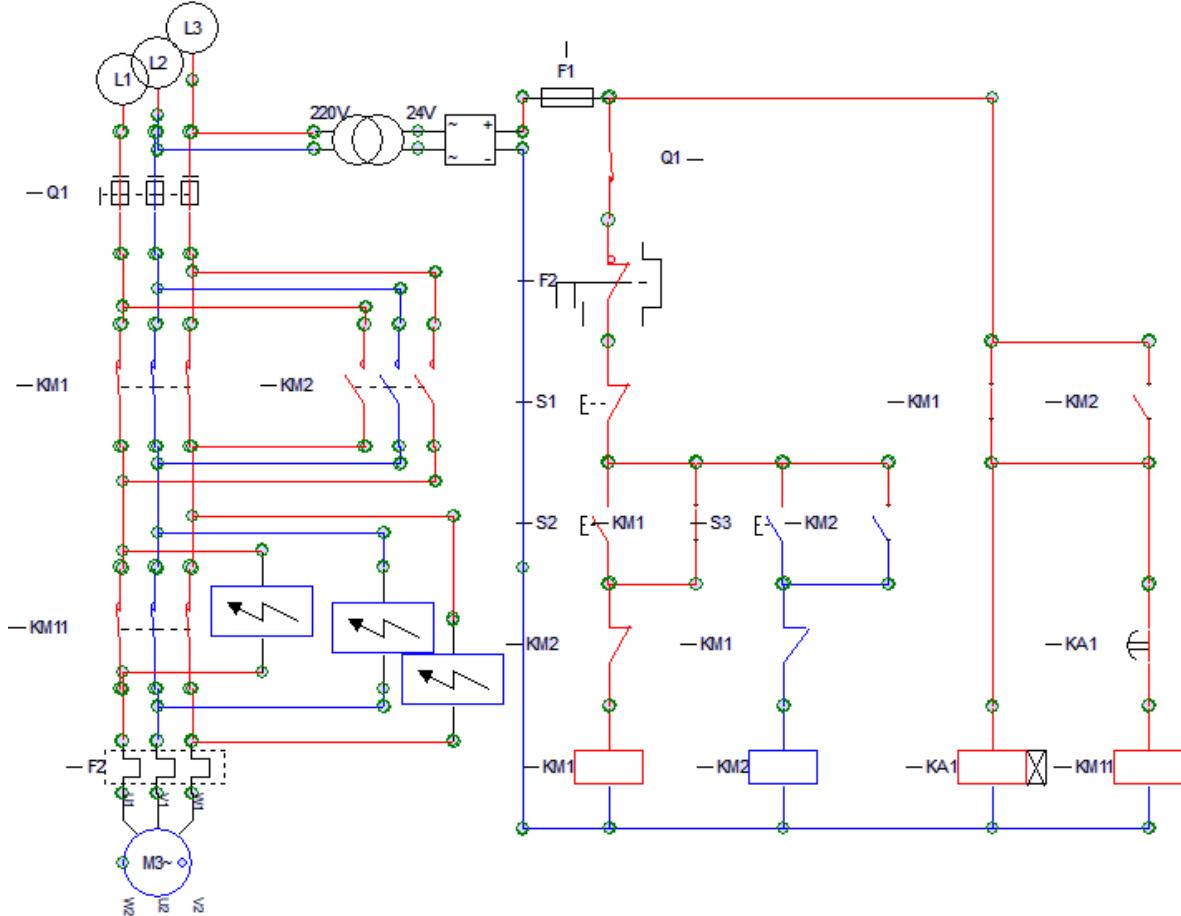


Fig III.38 Fermeture de KM4

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

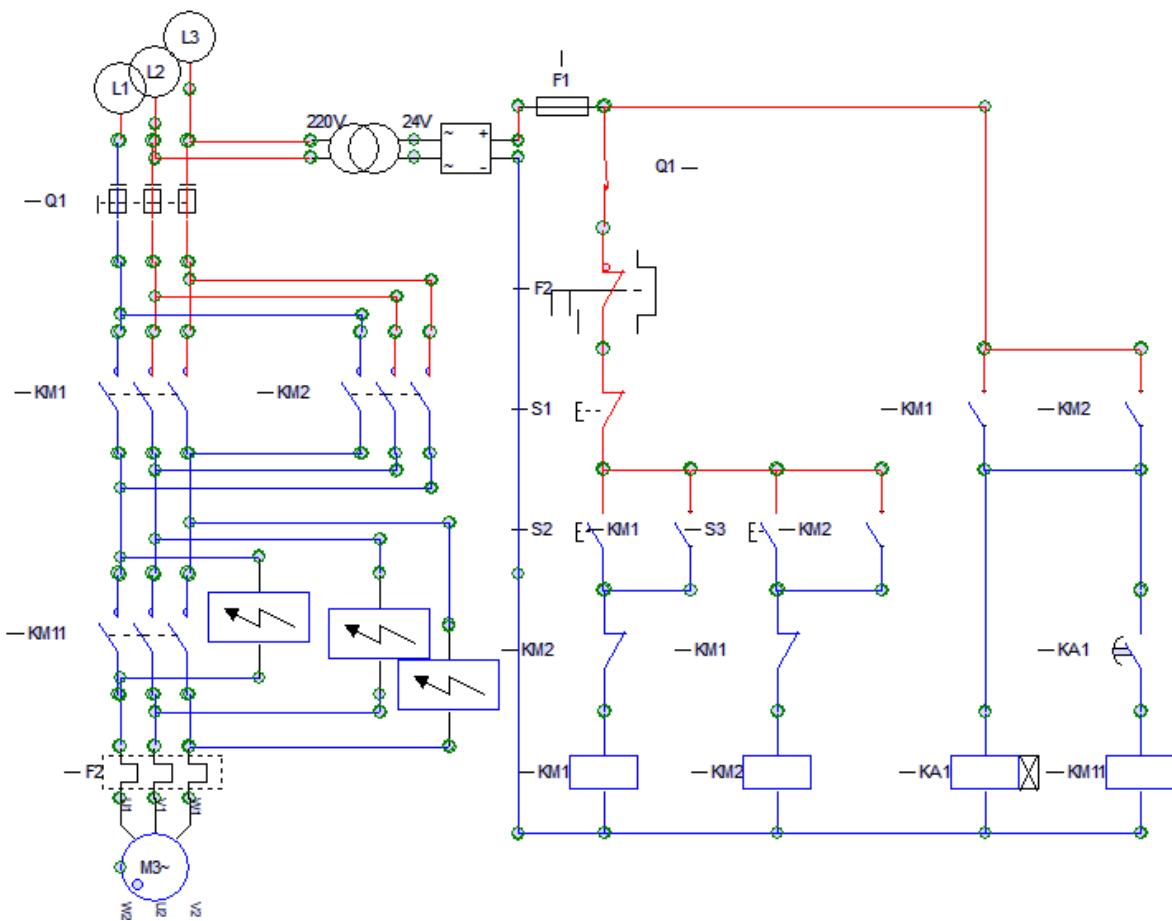


Fig III.39 Impulsion sur le bouton de stop S1

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

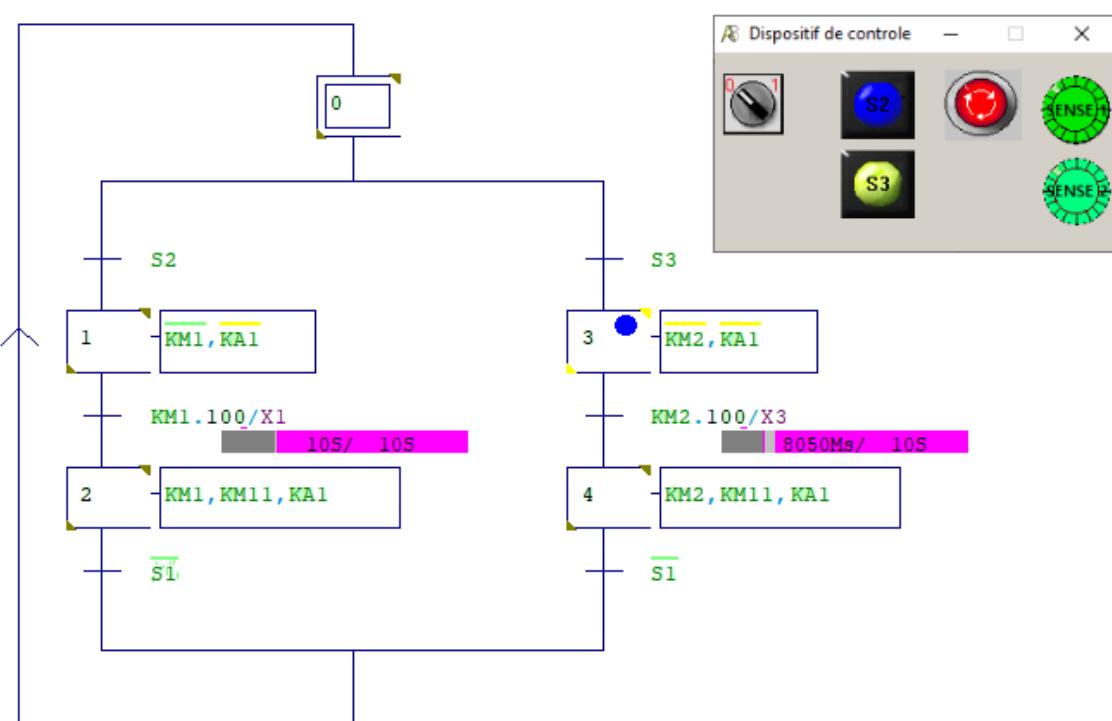


Fig III.40 Impulsion sur le bouton de start S3 (Grafcet).

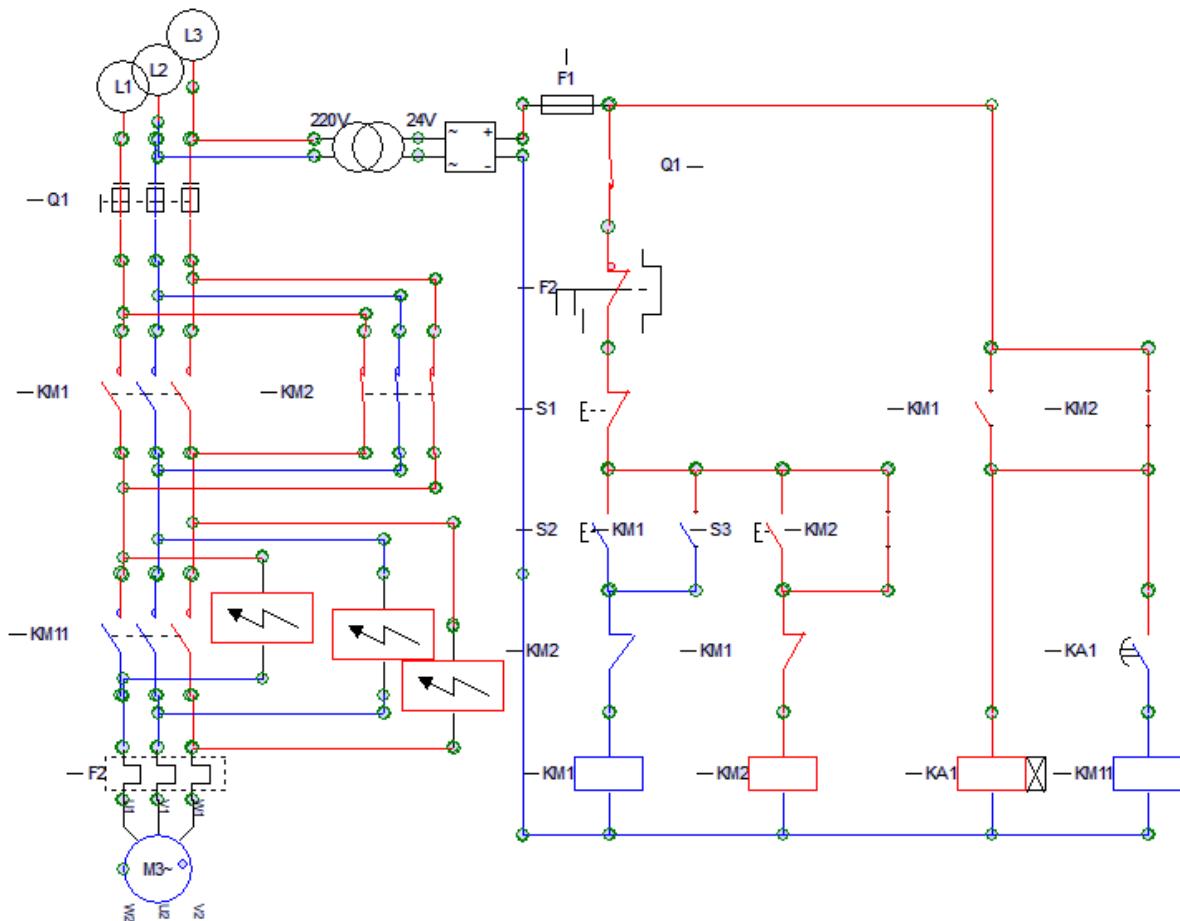


Fig III.41 Impulsion sur le bouton de start S3.

6^{ème} cas : Fermeture de KM4 après 10s.

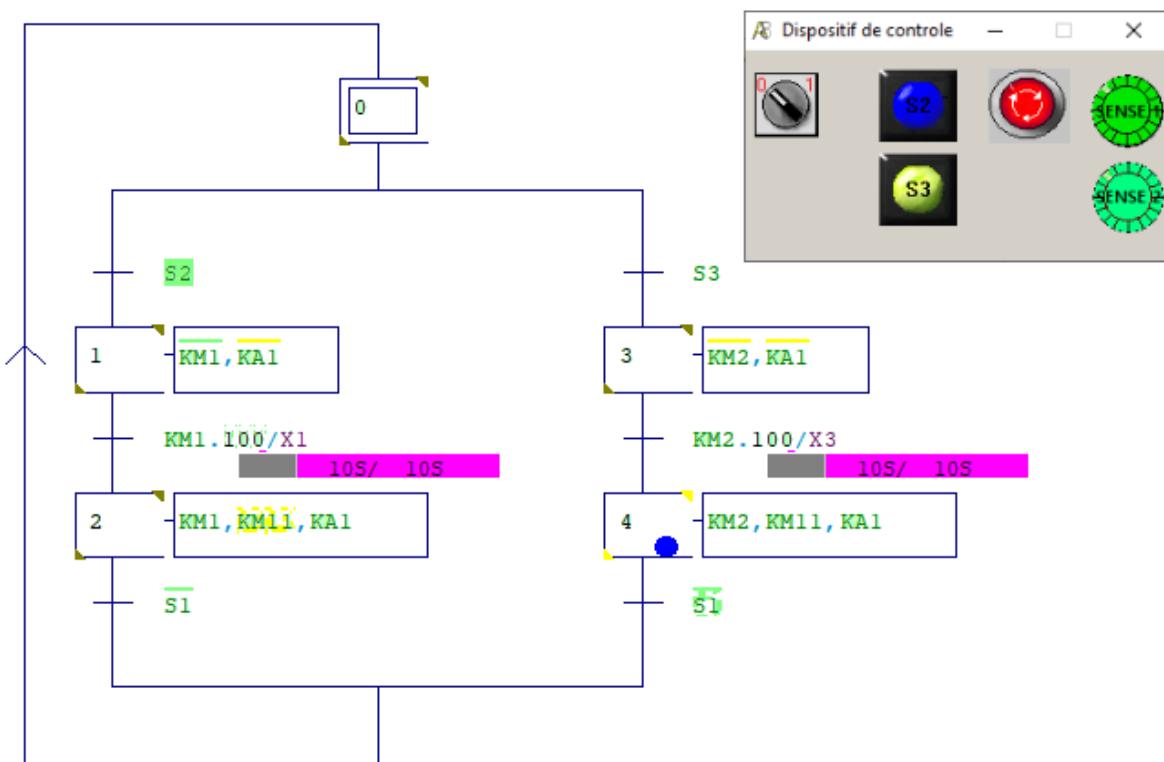


Fig III.42 Fermeture de KM4 Grafset)

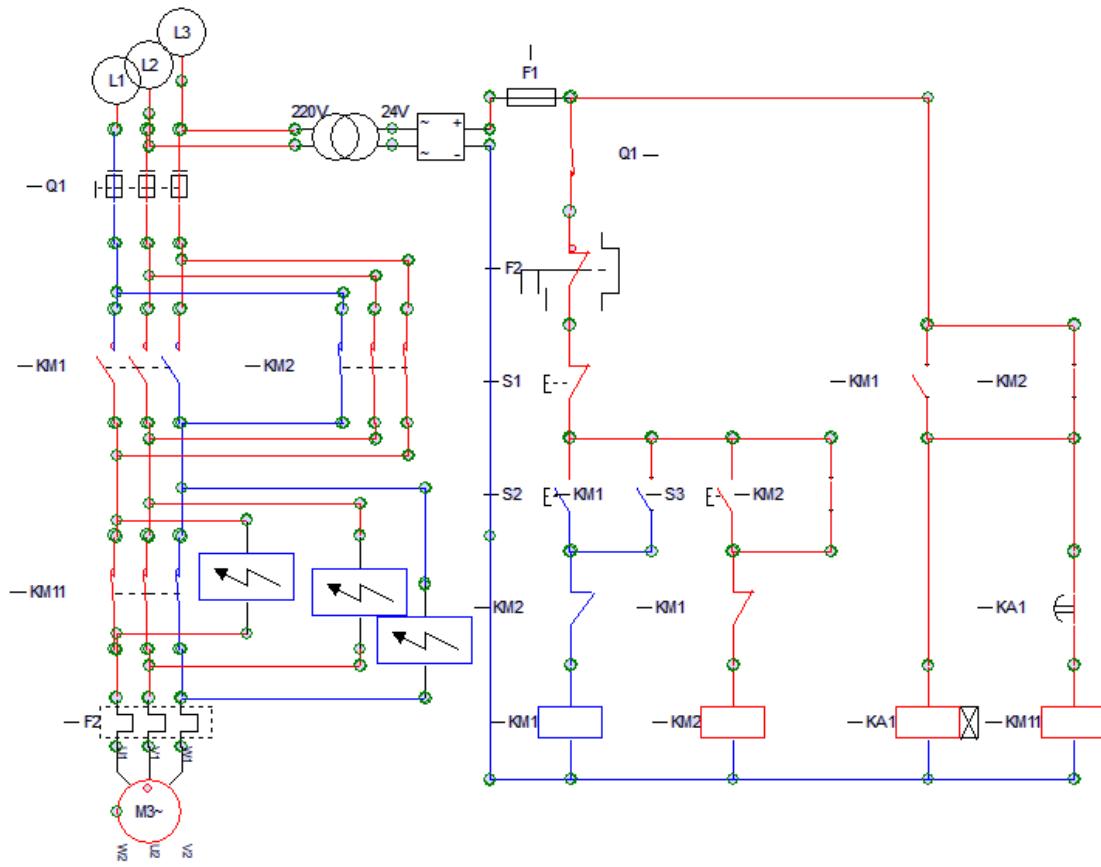


Fig III.43 Fermeture de KM4

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

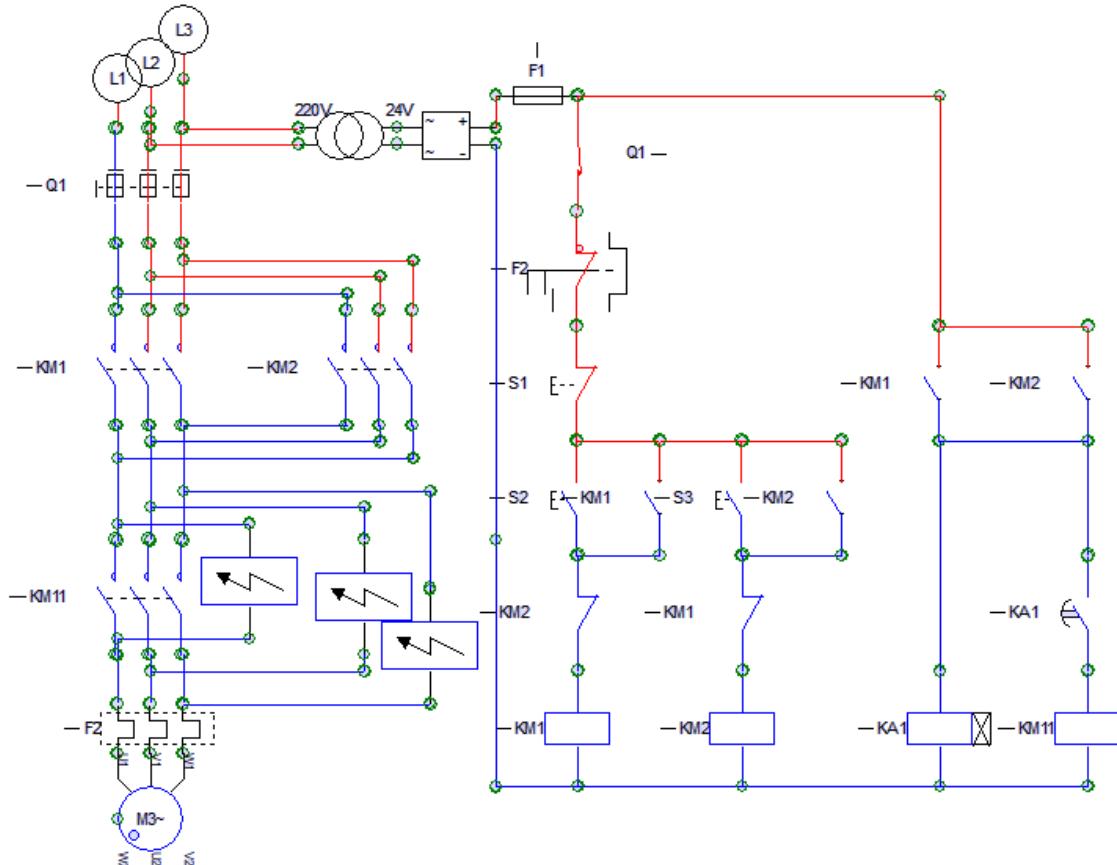


Fig III.44 Impulsion sur le bouton stop S1.

III.2.6 Démarrage par élimination des résistances rotoriques

III.2.6.1 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.

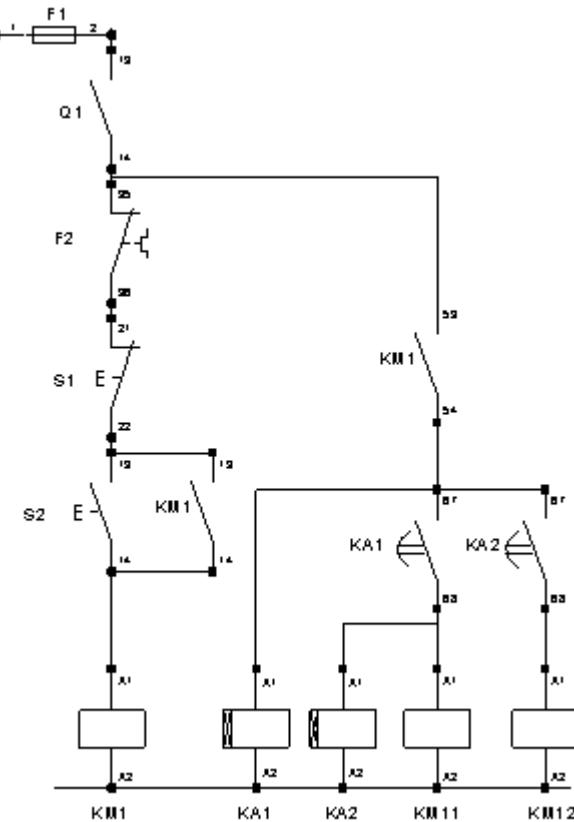


Fig III.45 Schéma de commande

III.2.6.2 Listes des Entrées/Sorties

Symbols	Variables	Comments
S1	I1	Bouton stop
S2	I2	Bouton start
Q1	I4	
KM11	O1	Relais de réseau
KM12	O2	Relais de réseau
KM1	O3	Relais de réseau
KA1	O4	Relais temporisé
KA2	O5	Relais temporisé
100/X1%T	T0	
100/X2%T	T1	
t	T2	

Tab III.6 listes des Entrées/Sorties

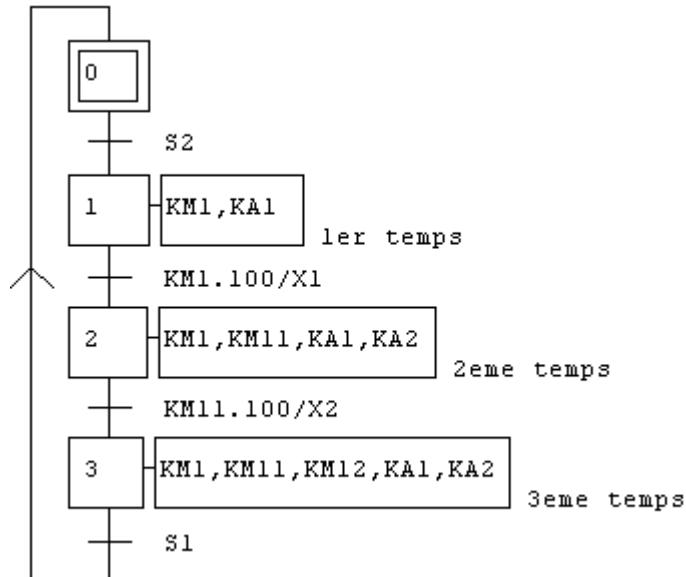


Fig III.46 Schéma à Grafset

III.2.1.3 Simulation

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

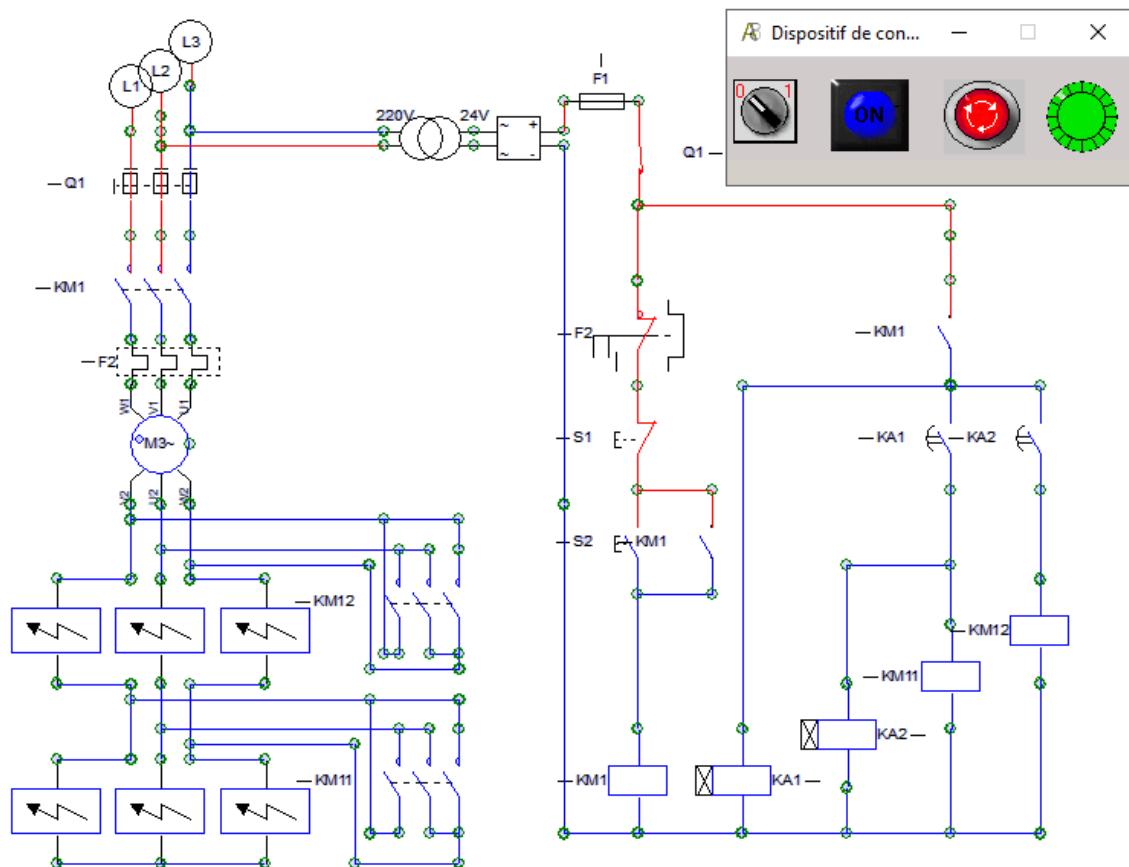


Fig III.47 Fermeture manuelle de Q1.

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

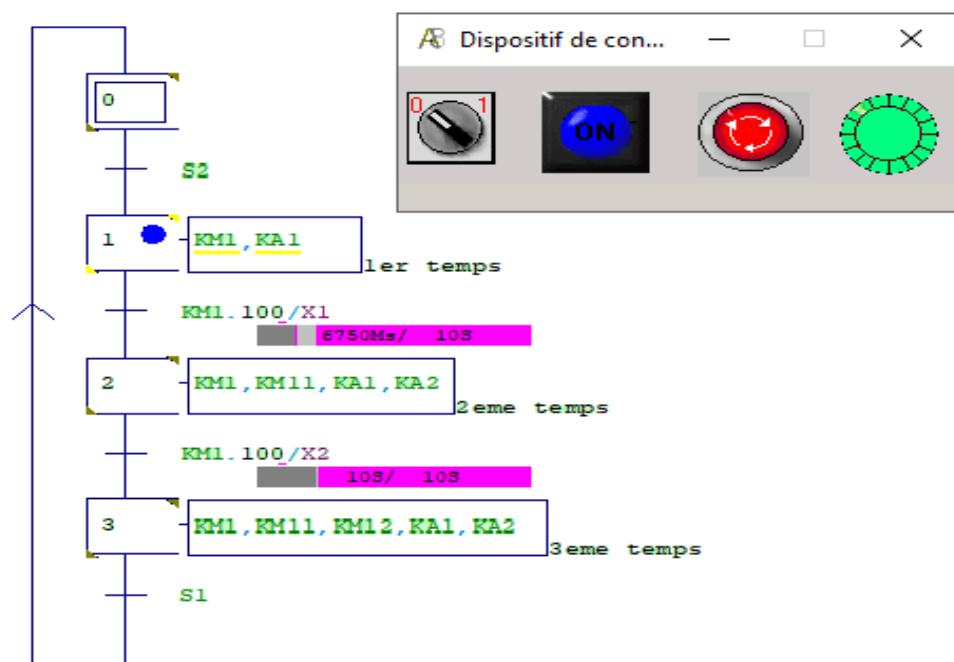


Fig III.48 Impulsion sur le bouton de start S2 (1er temps)(Grafset).

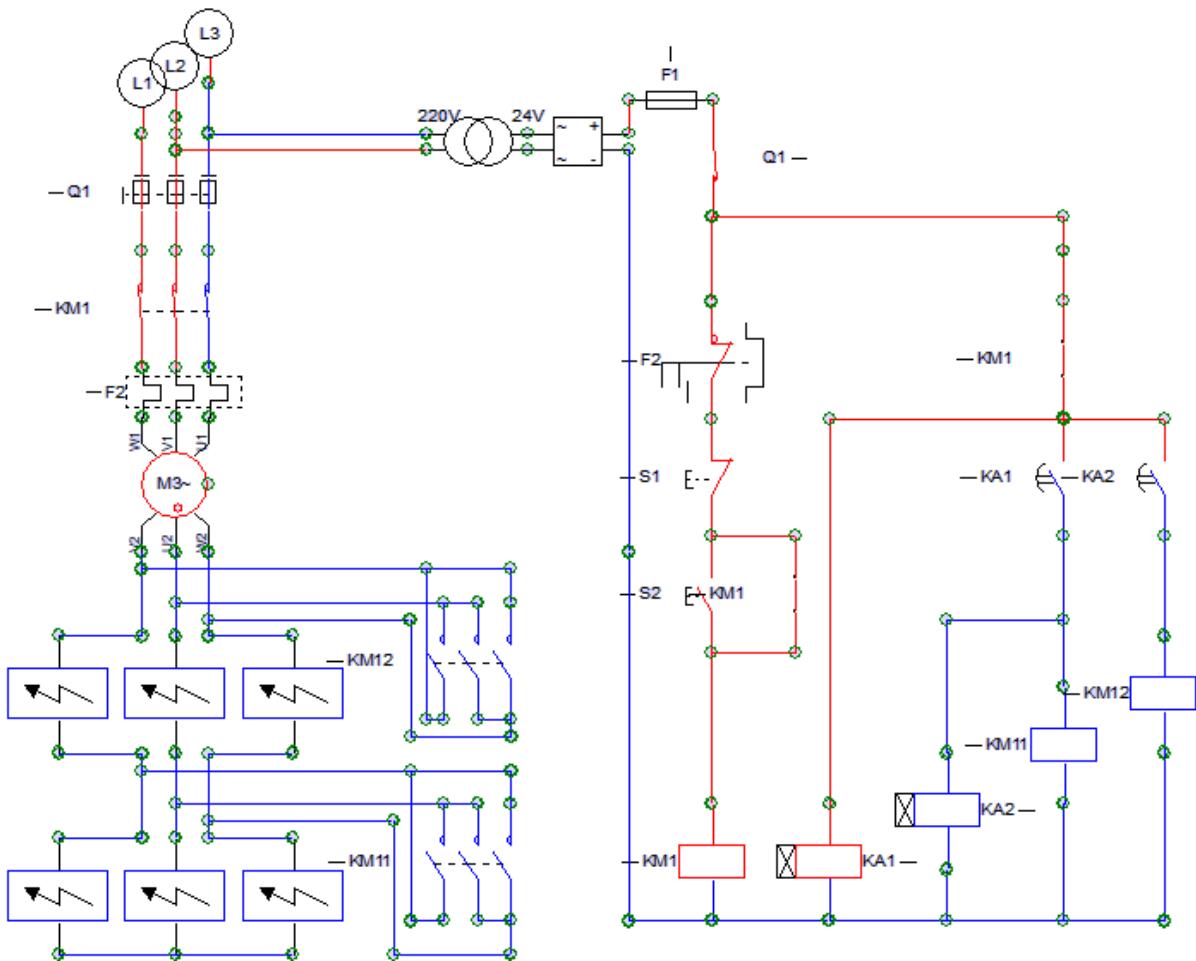
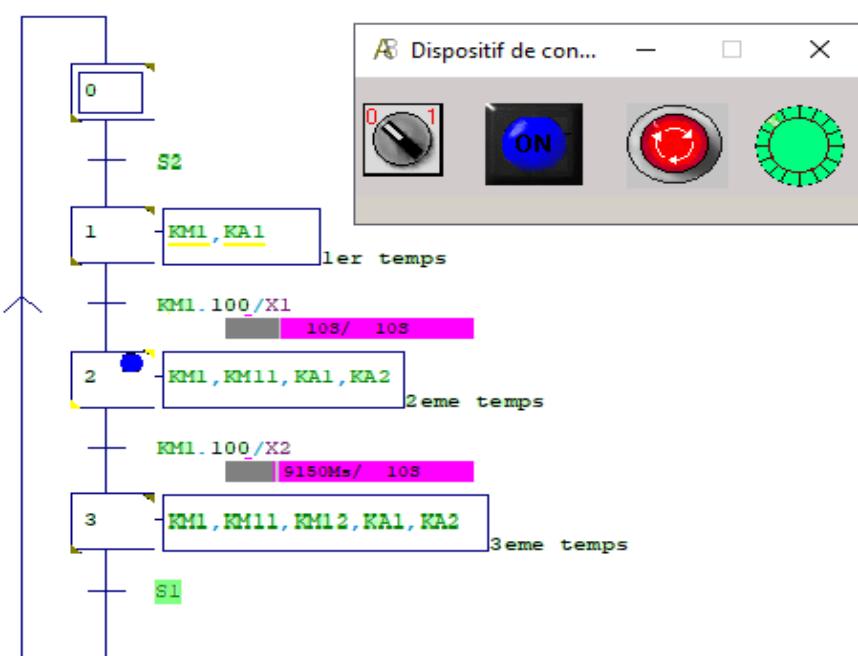


Fig III.49 Impulsion sur le bouton de start S2 (1er temps).

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

Fig III.50 Fermeture de KA1 après (2^{ème} temps) (Grafset).

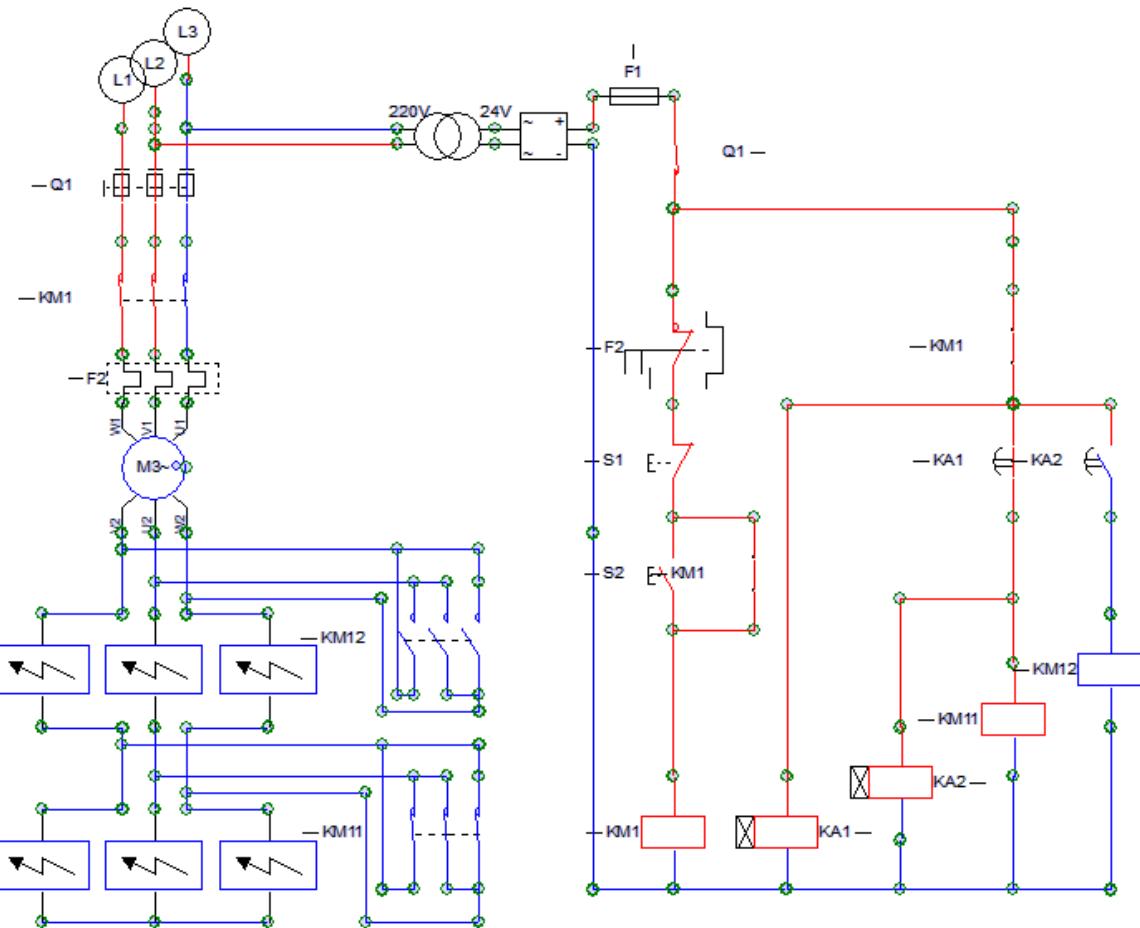


Fig III.51 Fermeture de KA1 après (2ème temps).

4ème cas : Fermeture de KA2 (3ème temps).

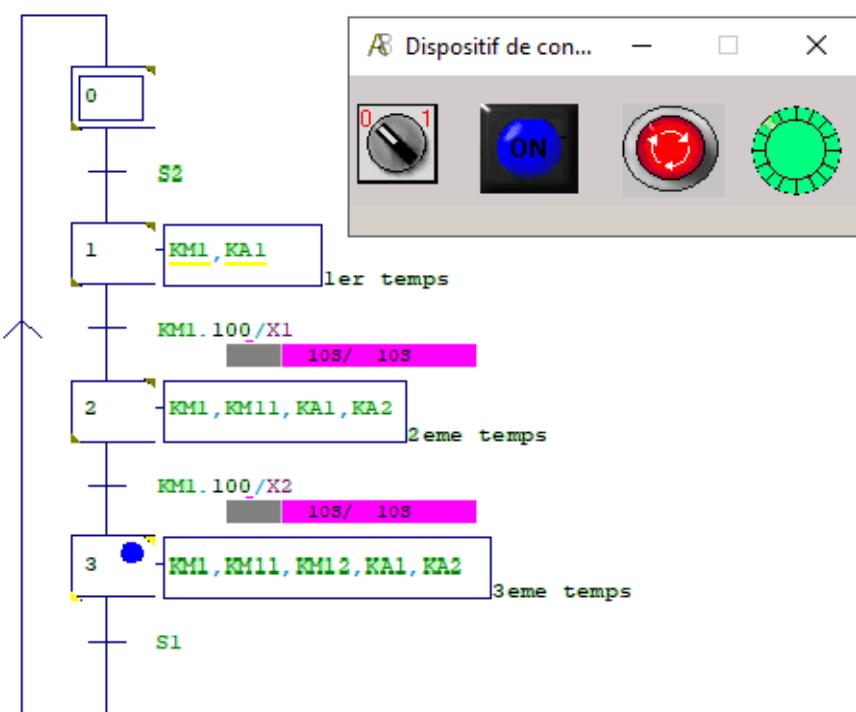


Fig III.52 Fermeture de KA2 après (3ème temps) (Grafset).

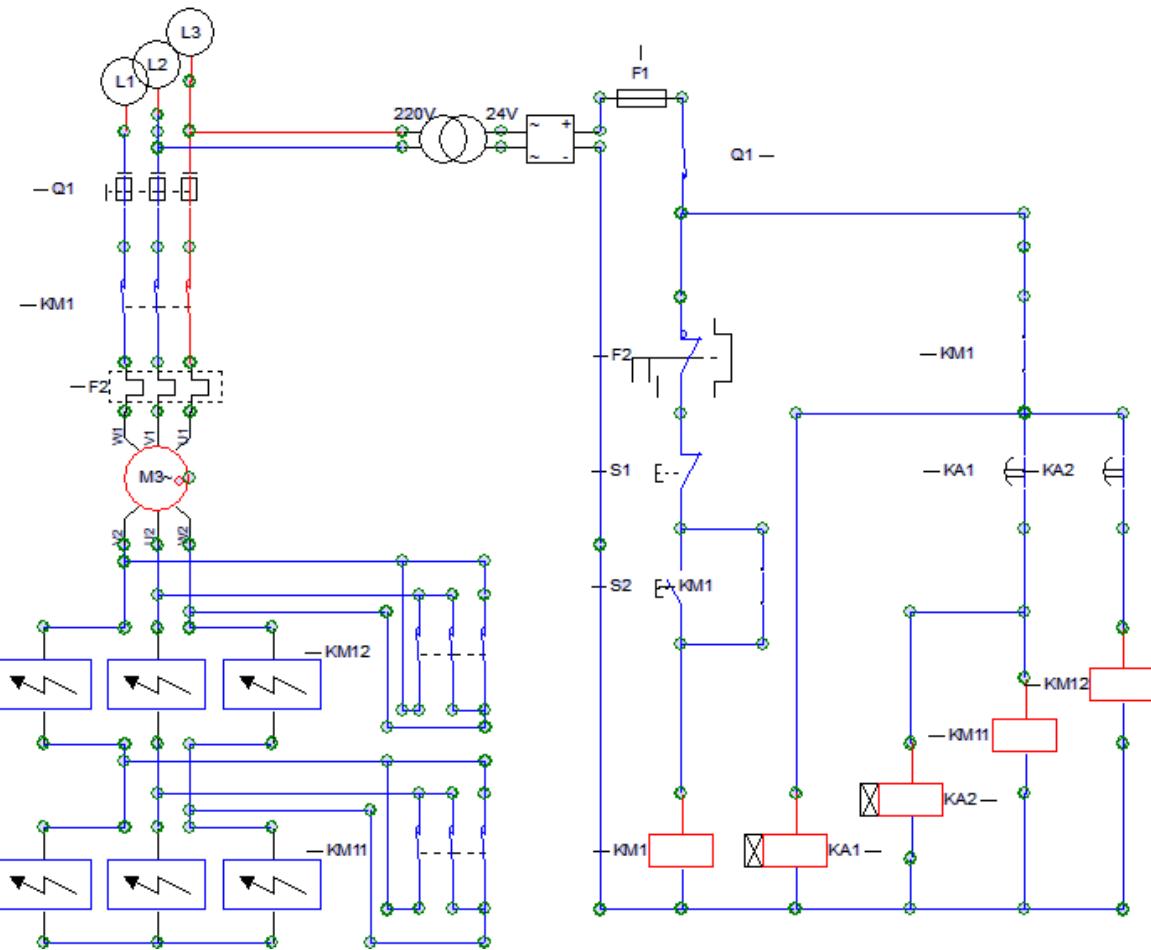


Fig III.53 Fermeture de KA2 après (3ème temps).

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

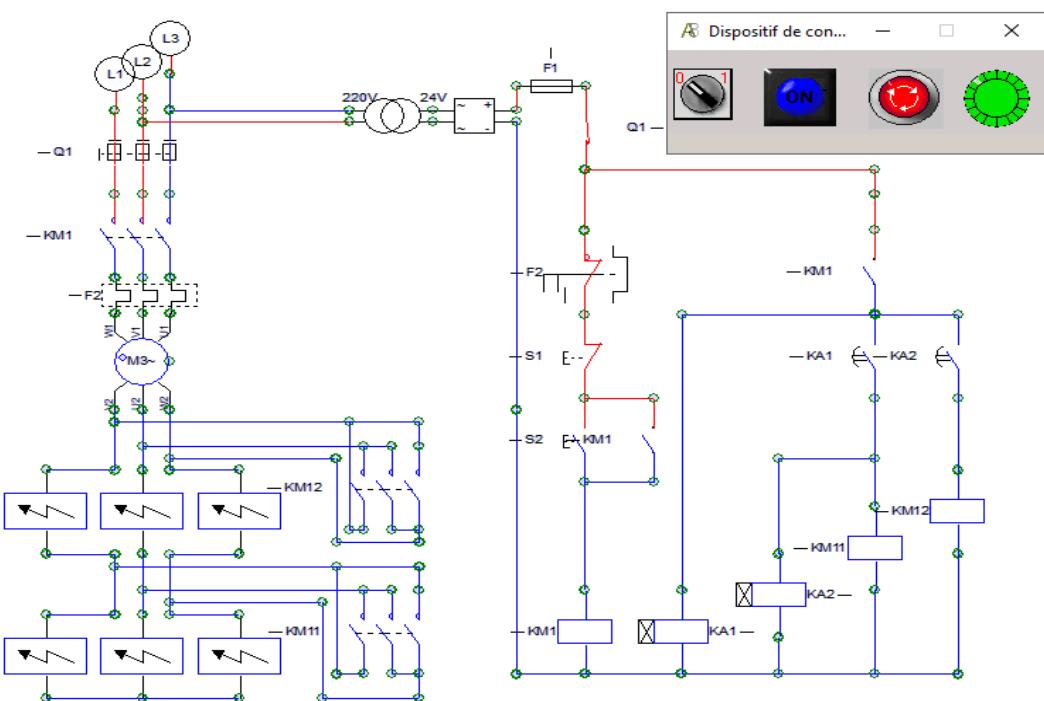


Fig III.54 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.

III.3 Partie Automgen avec API

III.3.1 Démarrage direct

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

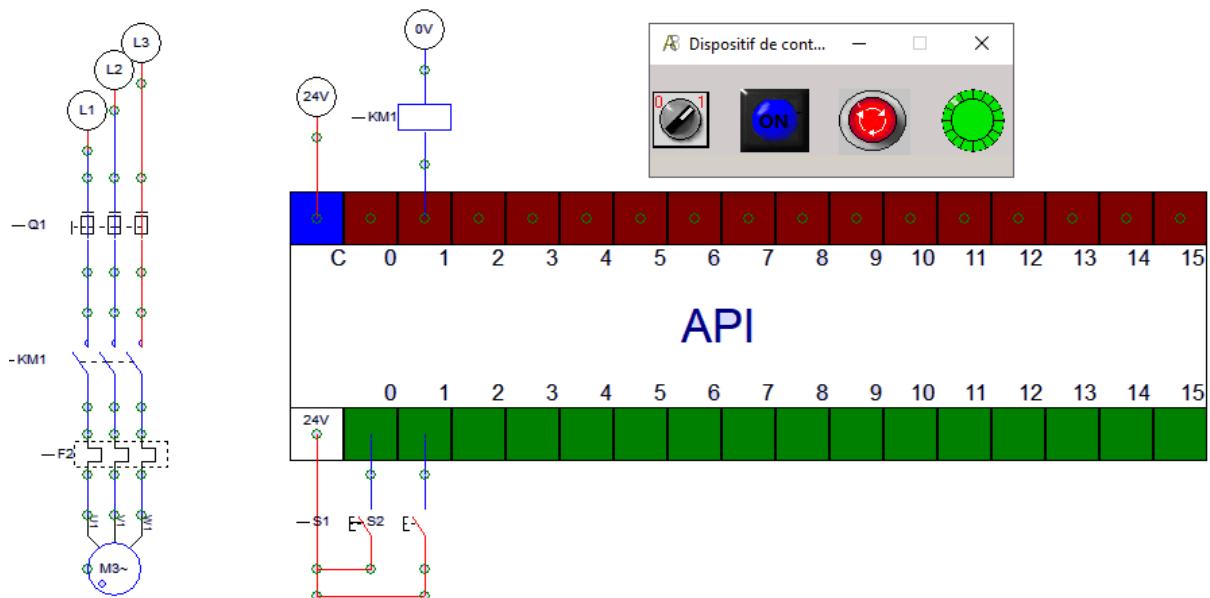


Fig III.55 Fermeture manuelle de Q1.

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

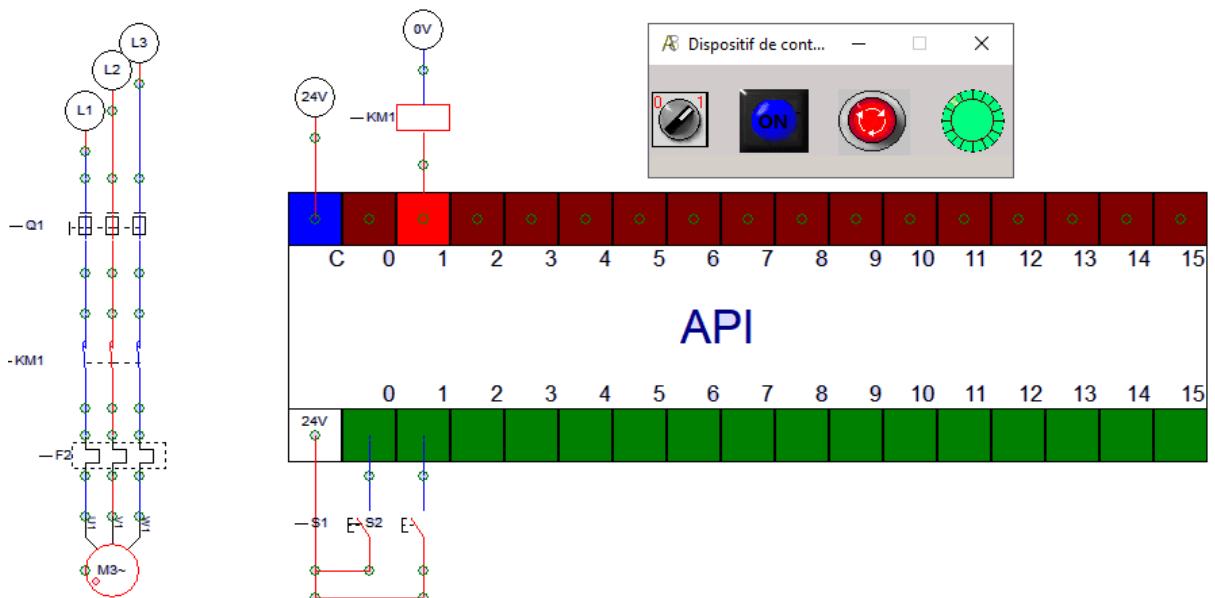


Fig III.56 Impulsion sur le bouton de start S2.

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

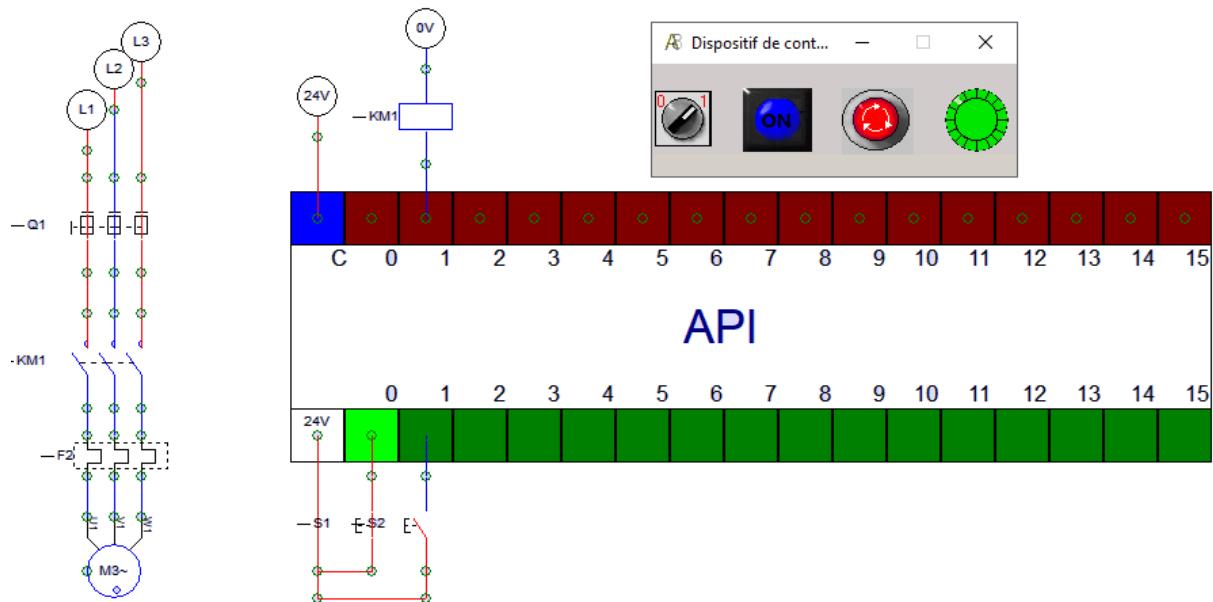


Fig III.57 l'arrêt par impulsion sur le bouton stop S1.

III.3.2 Démarrage inverseur direct

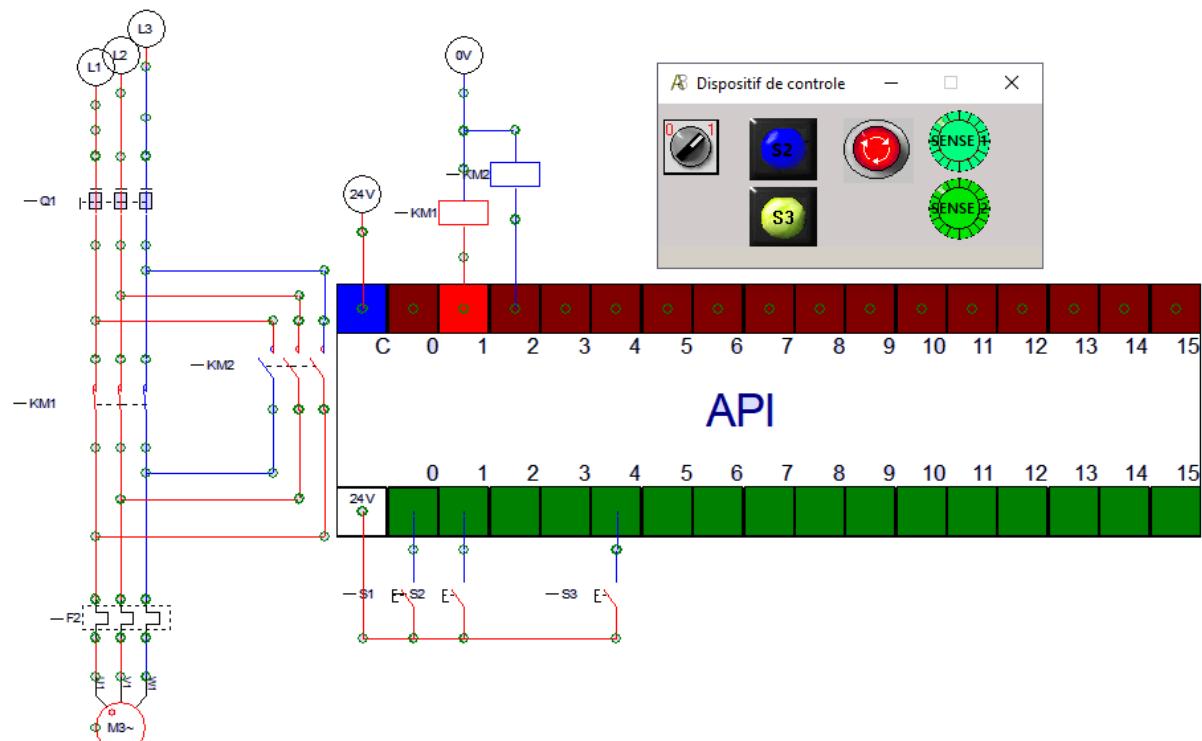


Fig III.58 Démarrage inverseur direct

III.3.3 Démarrage part-winding

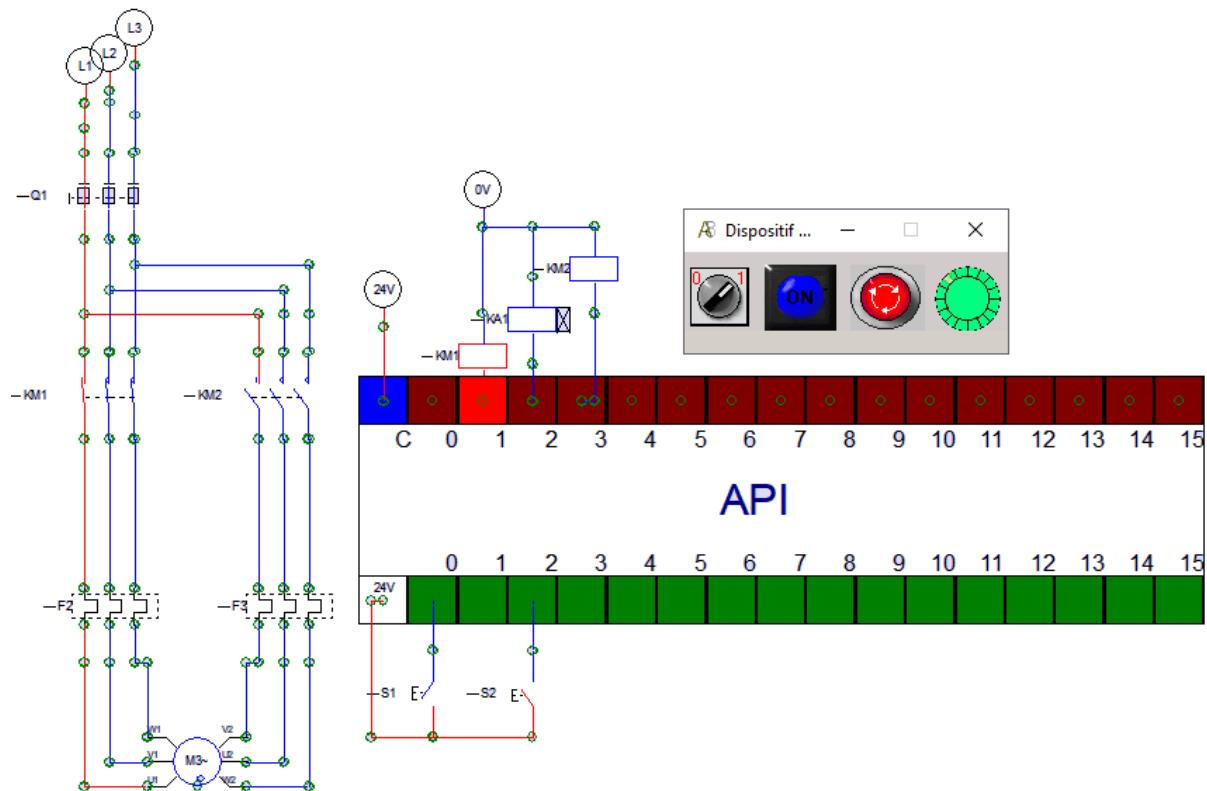


Fig III.59 Démarrage part-winding

III.3.4 Démarrage « étoile – triangle » deux sens de marche

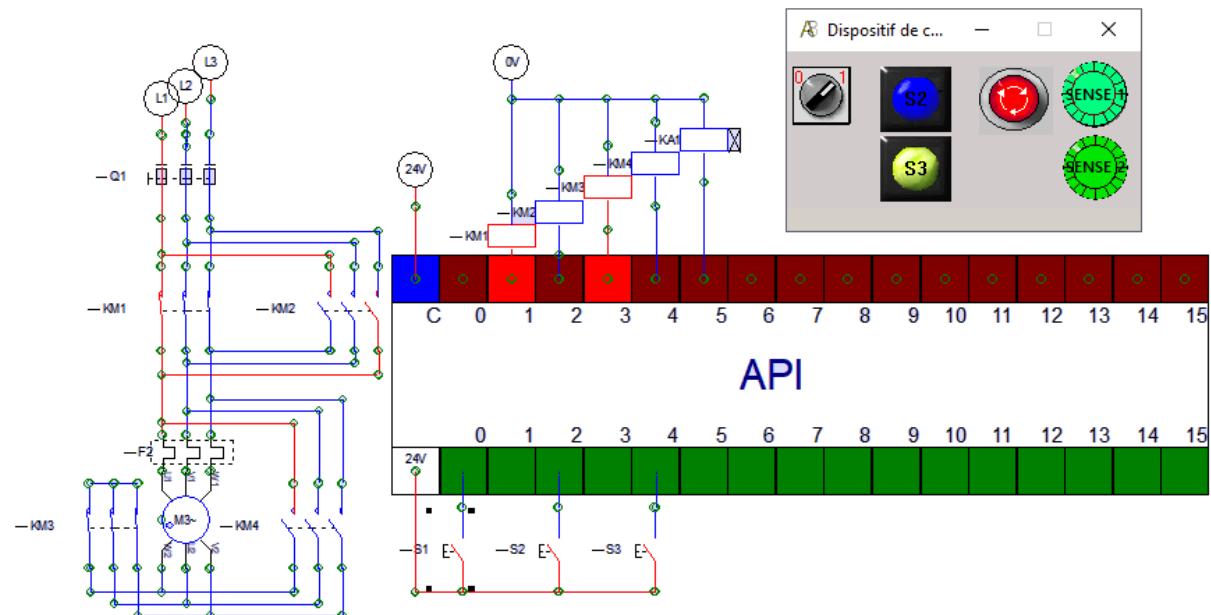


Fig III.60 Démarrage « étoile – triangle » deux sens de marche

III.3.5 Démarreur inverseur statorique

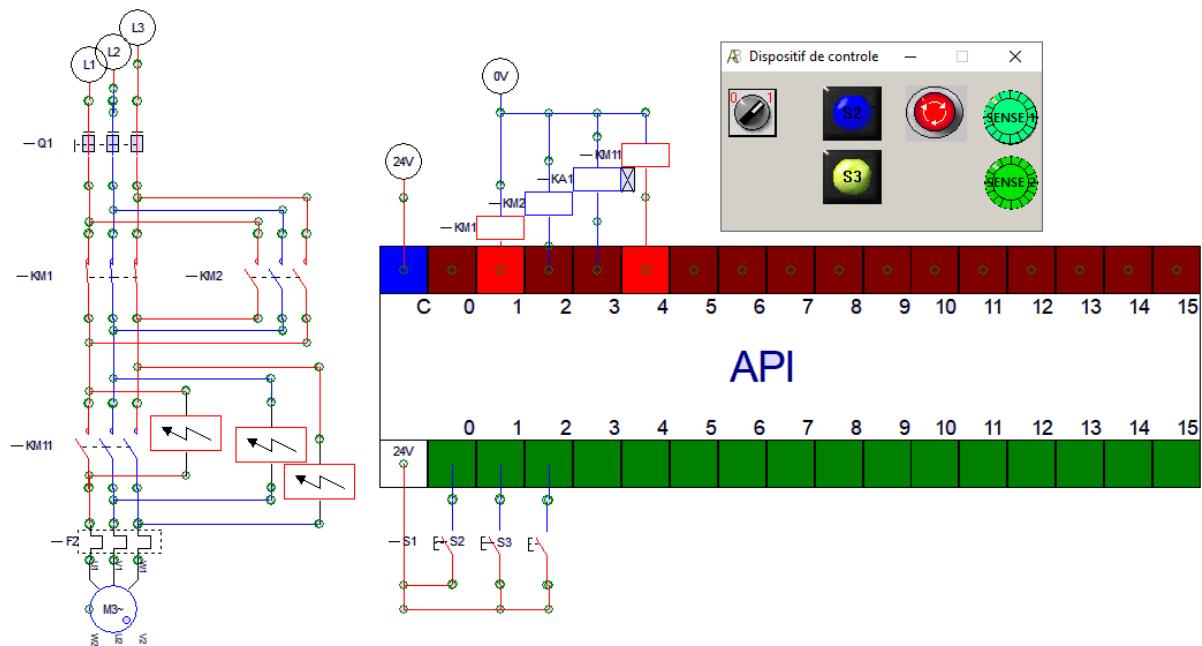


Fig III.61 Démarreur inverseur statorique

III.3.6 Démarrage par élimination des résistances rotoriques

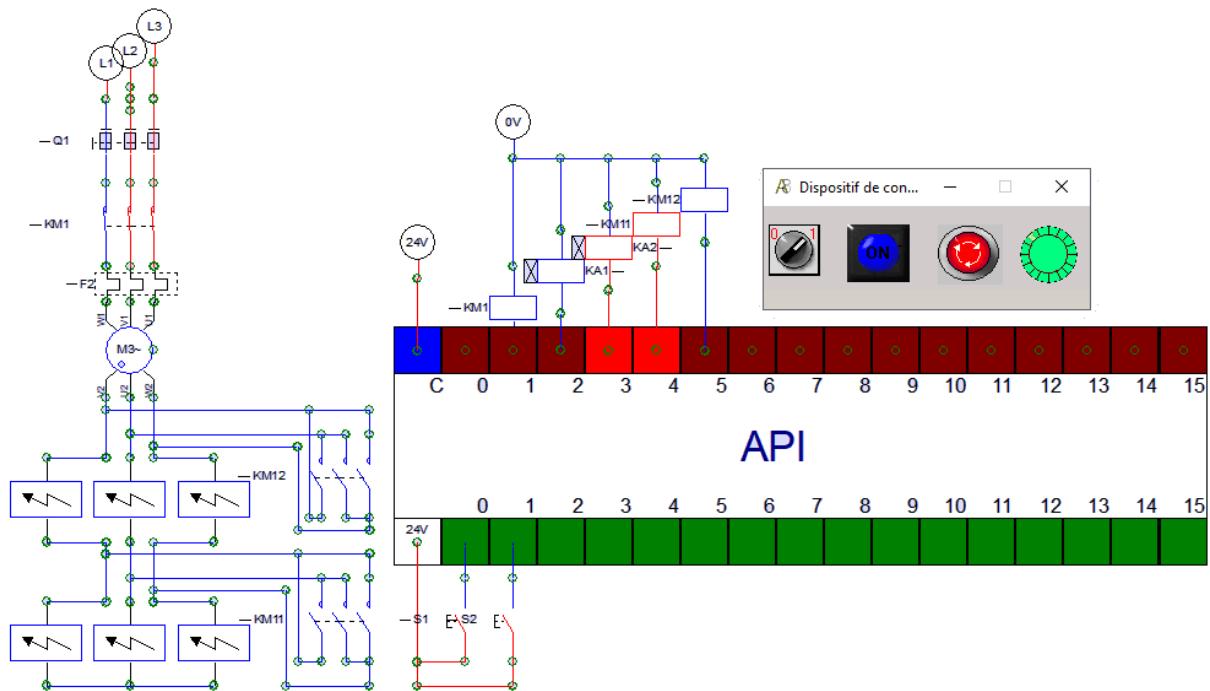


Fig III.62 Démarrage par élimination des résistances rotoriques

III.4 Préparation du panneau et application sur TIA PORTAL v.14

III.4.1 Préparation du panneau [20]

Installer le panneau sur la table de travail afin qu'il soit parfaitement stable.

Brancher les différents composants électriques selon le schéma électrique de la Fig.III.63 ou bien réaliser les branchements comme indiqué dans le schéma d'installation de la Fig.III.63.

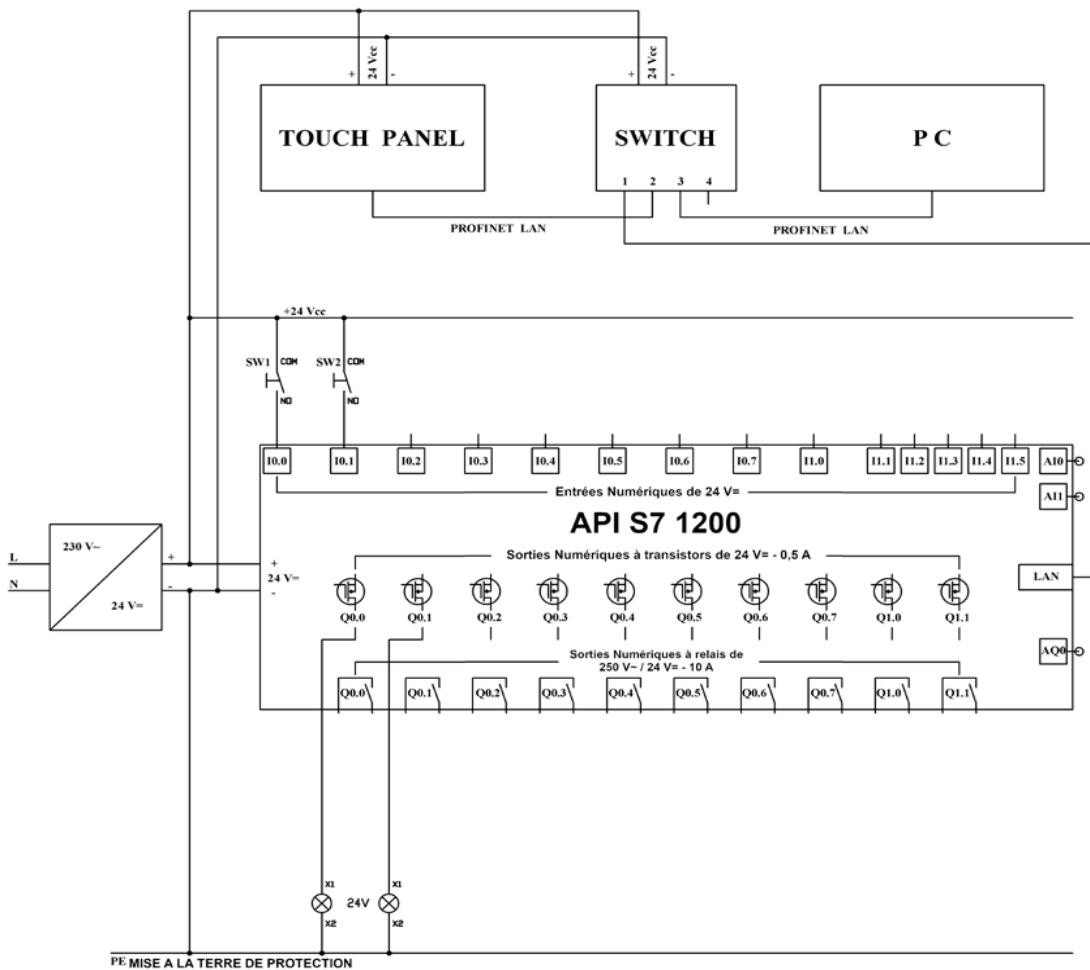


Fig III.63 Schéma électrique avec d'application de l'API.

Déclaration des variables de l'API				
	Nom	Type de données	Adresse	Commentaire
1	Entrée 1	Bool	%I0.0	Etat logique n°1.
2	Entrée 2	Bool	%I0.1	Etat logique n°2.
3	Sortie 1	Bool	%Q0.0	Signalisation d'état logique opération ET.
4	Sortie 2	Bool	%Q0.1	Signalisation d'état logique opération OU.

Tab III.7 listes des Entrées/Sorties

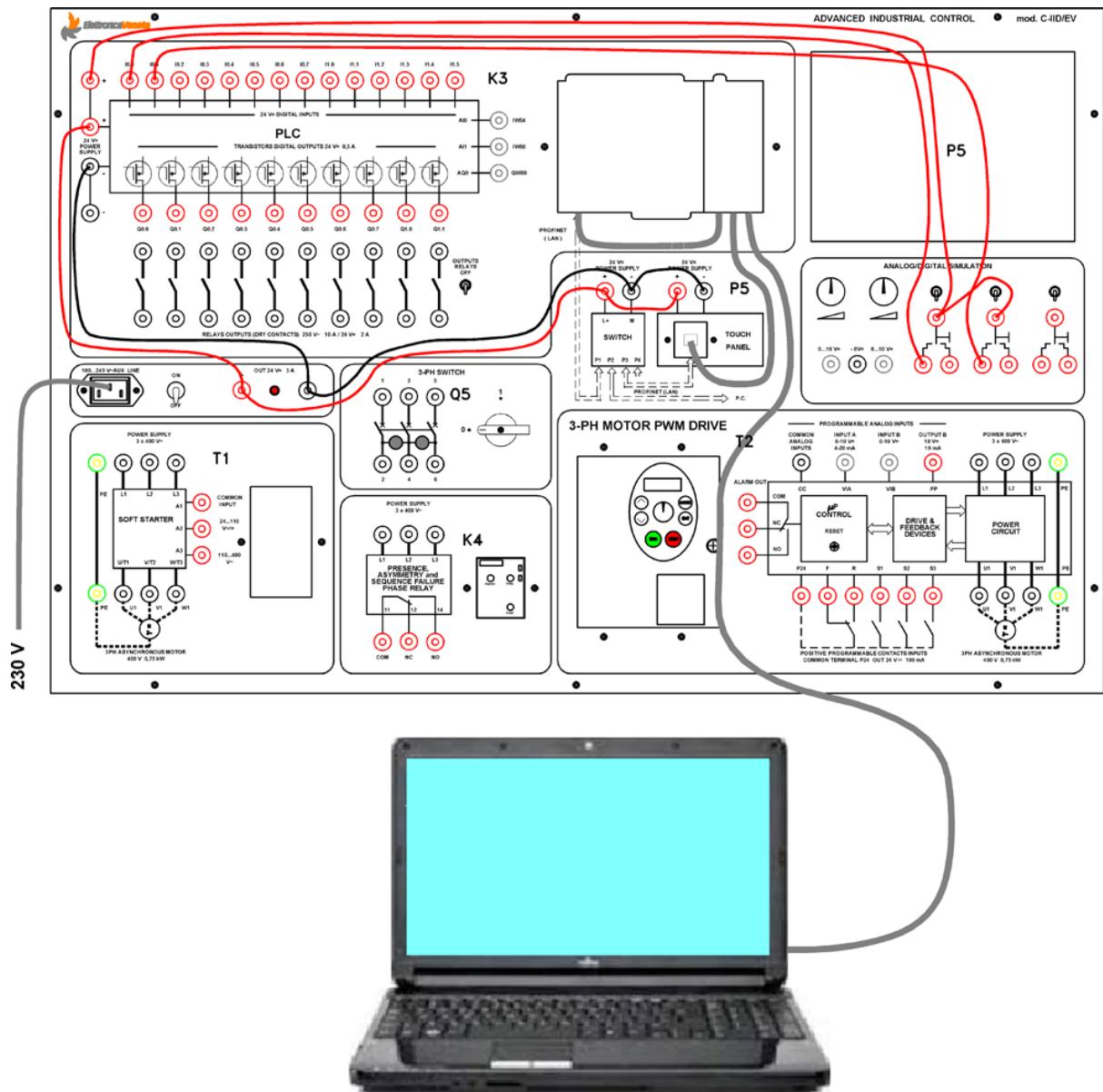


Fig III.64 Branchements sur le panneau .

Pour afficher l'état des sorties de l'API, se référer aux DEL se trouvant sur son panneau frontal.

Une solution alternative consiste à brancher deux lampes témoins du panneau C-IIC/EV, référencées à la borne – de l'alimentation de 24 Vcc de l'API (comme indiqué dans le schéma électrique), aux sorties à transistor Q0.0 et Q0.1.

Selon la tâche assignée, le tableau des Variables de l'API se transforme de la façon suivante :

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Visible...	Access...	Comment
1	INPUT1	Default tag table	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	INPUT2	Default tag table	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	OUTPUT1	Default tag table	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	OUTPUT	Default tag table	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Fig III.65 listes des Entrées/Sorties.

III.4.2 Application

III.4.2.1 Commande marche - arrêt d'un moteur par API et interface IHM

Objectif [20]

En utilisant l'API assembler une installation pour la commande marche-arrêt d'un moteur asynchrone triphasé avec discontacteur, tandis qu'on utilise l'IHM pour écrire une page indiquant l'état de fonctionnement du même moteur. Opérations à faire :

- Câbler l'installation électrique du circuit de puissance.
- Câbler le circuit de commande et les lampes témoins de signalisation contrôlée par l'API (entrées et sortie de l'API).
- Écrire le programme et le transférer dans l'API et dans l'IHM.

Composants nécessaires [20]

1 Panneau mod. C-IID/EV.

1 Panneau mod. C-IIC/EV pour les dispositifs de commande et de protection.

1 Bloc d'alimentation monophasé fixe de 220-230 Vca pour le circuit de commande.

1 Bloc d'alimentation triphasé fixe de 380-400 Vca pour le circuit de puissance.

1 Jeu de câbles pourvus de fiches de sécurité avec diamètre de 4 mm.

1 Moteur asynchrone triphasé à cage mod. M-4/EV ou P-4/EV, si disponible.

Note : si le panneau mod. C-IIC/EV n'est pas disponible, on pourra de toute façon programmer l'API et l'IHM et analyser le fonctionnement du circuit en mettant adéquatement en service les entrées de l'API.

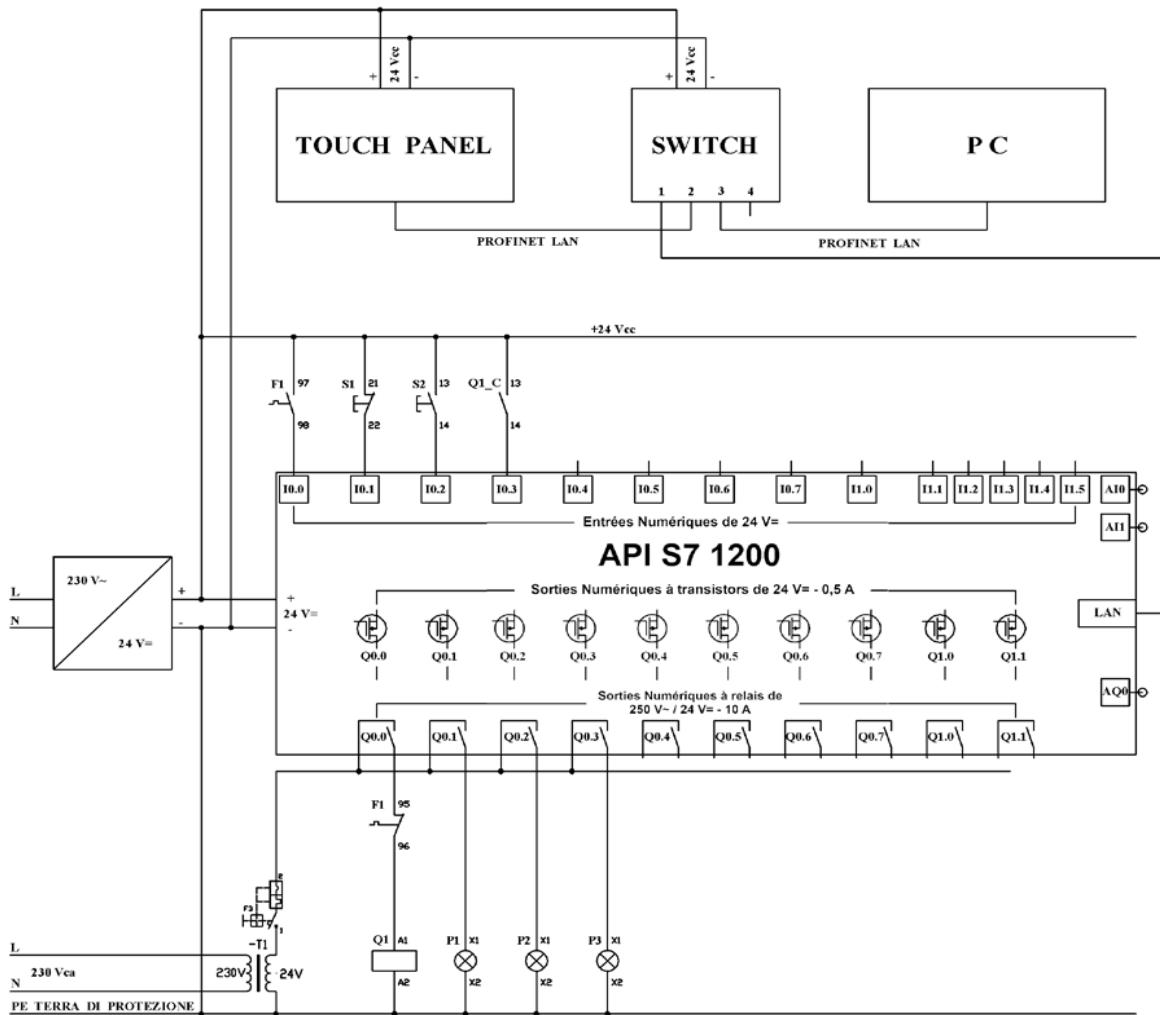


Fig III.66a Commande marche-arrêt d'un moteur

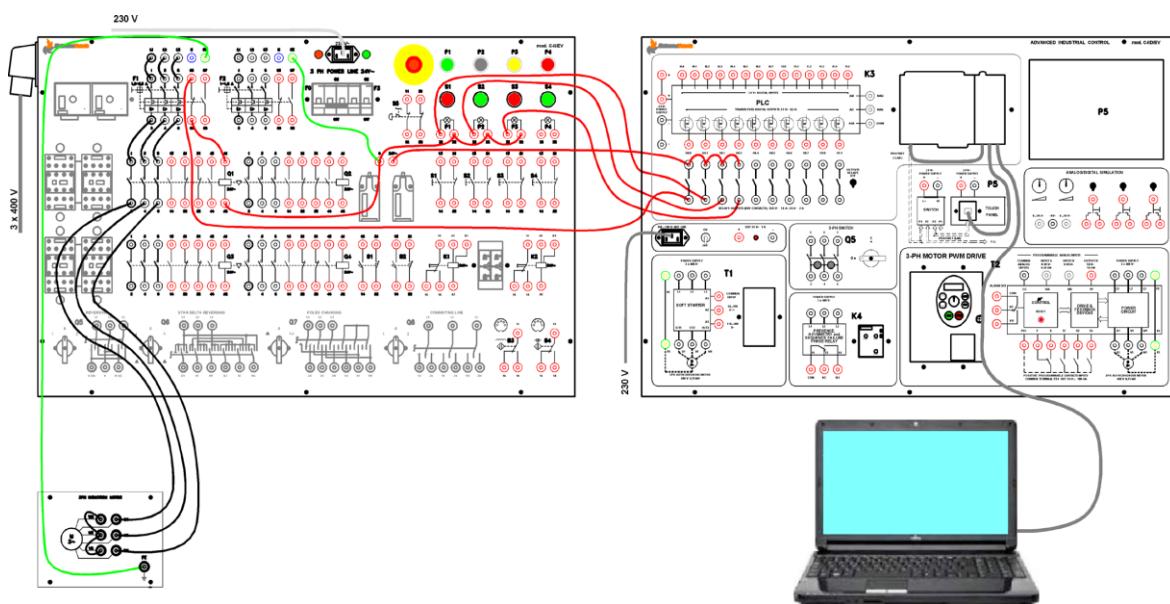


Fig III.66b Commande marche-arrêt d'un moteur

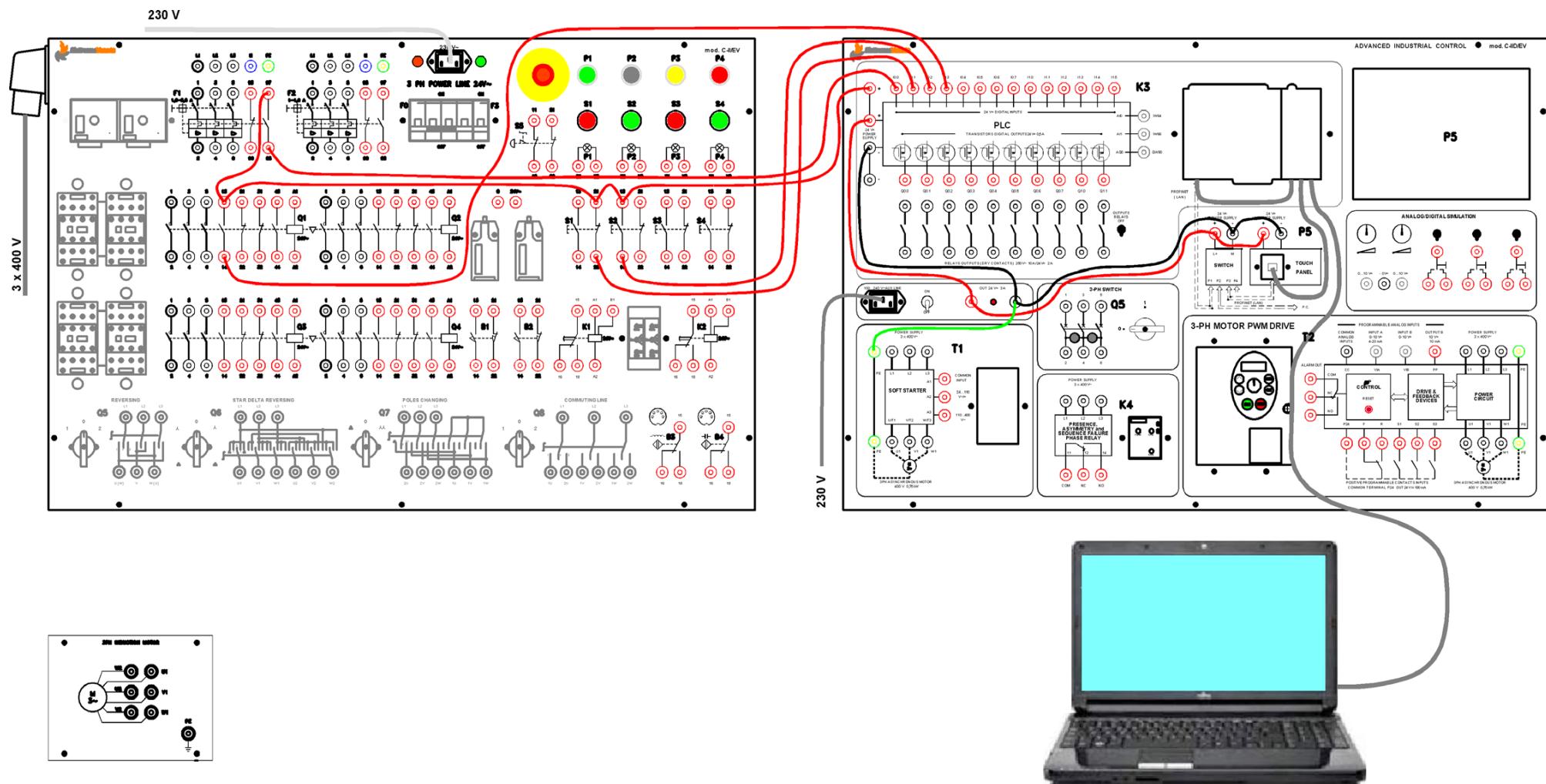


Fig III.66c Commande marche-arrêt d'un moteur

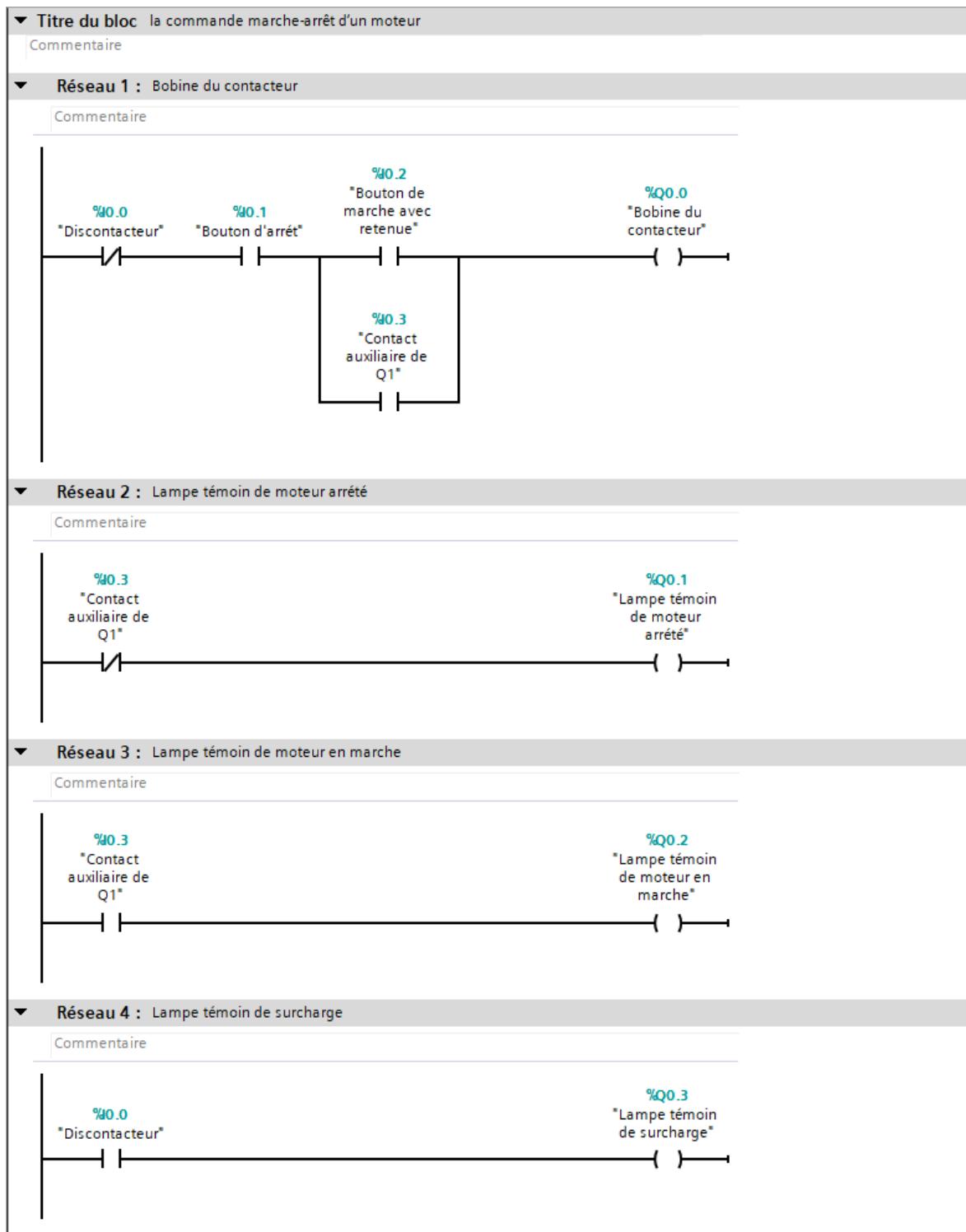


Fig III.66d Commande marche-arrêt d'un moteur

III.4.2.2 Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé contrôlé par API et par interface IHM

Objectif [20]

En utilisant l'API assembler une installation pour obtenir l'inversion de marche d'un moteur asynchrone triphasé par des télérupteurs, avec commande de marche avant - marche arrière discontacteur et avec les lampes témoins correspondantes. Par contre utiliser l'IHM pour dresser une page indiquant l'état de fonctionnement. Opérations à faire :

- Câbler l'installation électrique du circuit de puissance,
- Câbler le circuit de commande et les lampes témoins de signalisation contrôlées par l'API (entrées et sorties de l'API),
- Écrire le programme et le transférer dans l'API et dans l'IHM.

Composants nécessaires [20]

- 1 Panneau mod. C-IID/EV.
 - 1 Panneau mod. C-IIC/EV pour les dispositifs de commande et de protection
 - 1 Bloc d'alimentation monophasé fixe de 220-230 Vca pour le circuit de commande
 - 1 Bloc d'alimentation triphasé fixe de 380-400 Vca pour le circuit de puissance
 - 1 Jeu de câbles pourvus de fiches de sécurité avec diamètre de 4 mm
 - 1 Moteur asynchrone triphasé à cage de 0,3-1 kW mod. M-4/EV ou P-4/EV, si disponible.
- Note : si le panneau mod. C-IIC/EV n'est pas disponible, on pourra de toute façon programmer l'API et l'IHM et analyser le fonctionnement du circuit en mettant adéquatement en service les entrées de l'API.

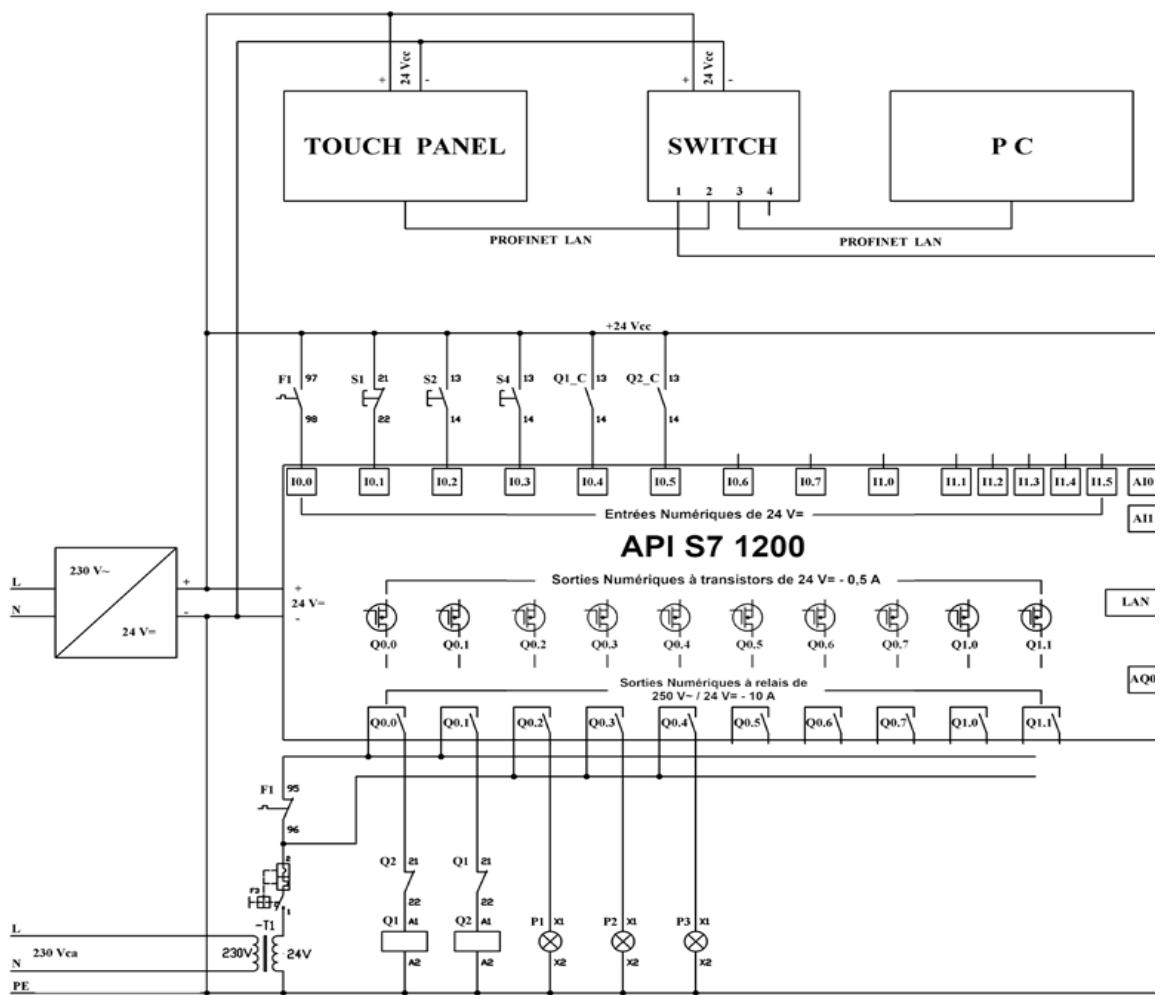


Fig III.67a Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé

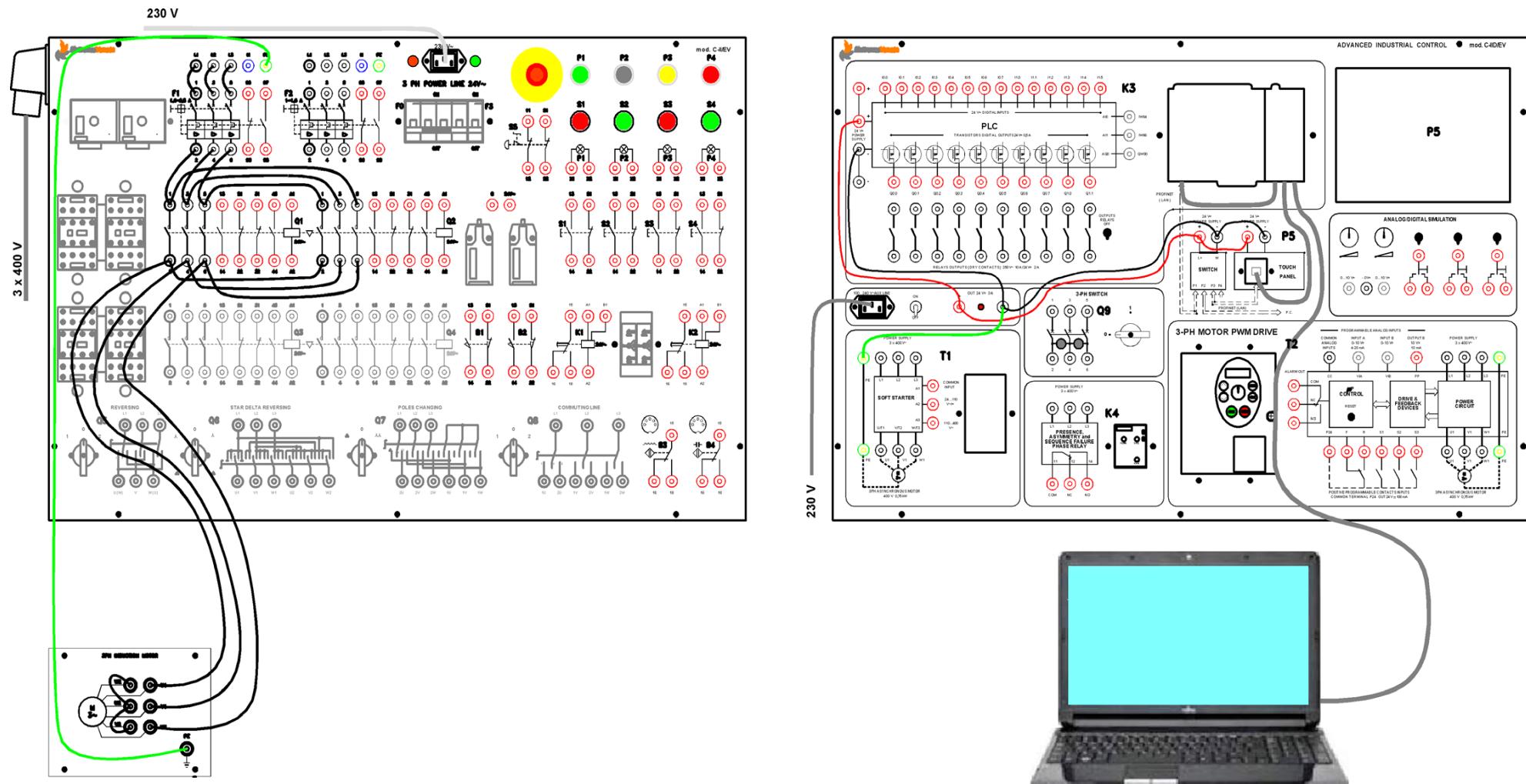


Fig III.67b Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé

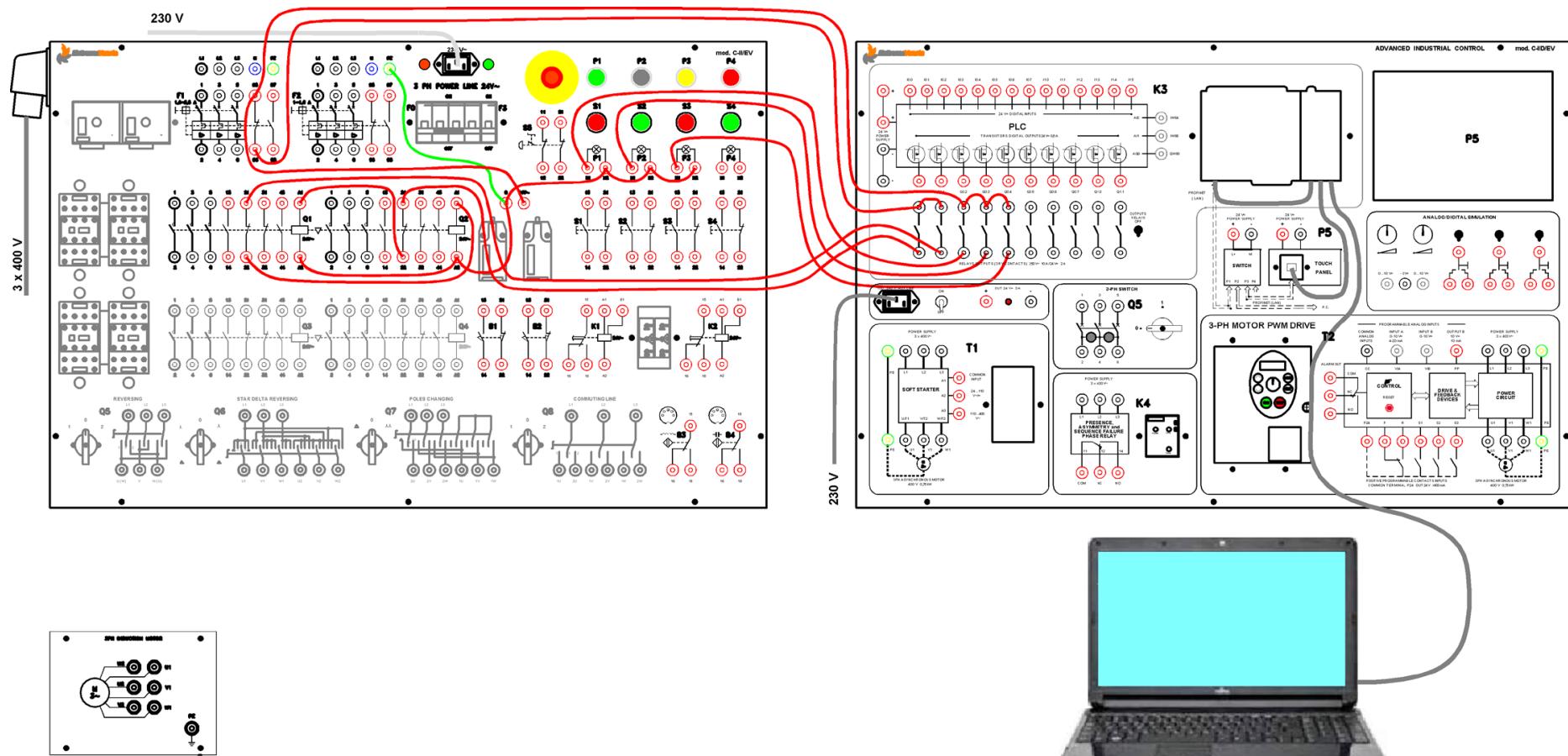


Fig III.67c Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé

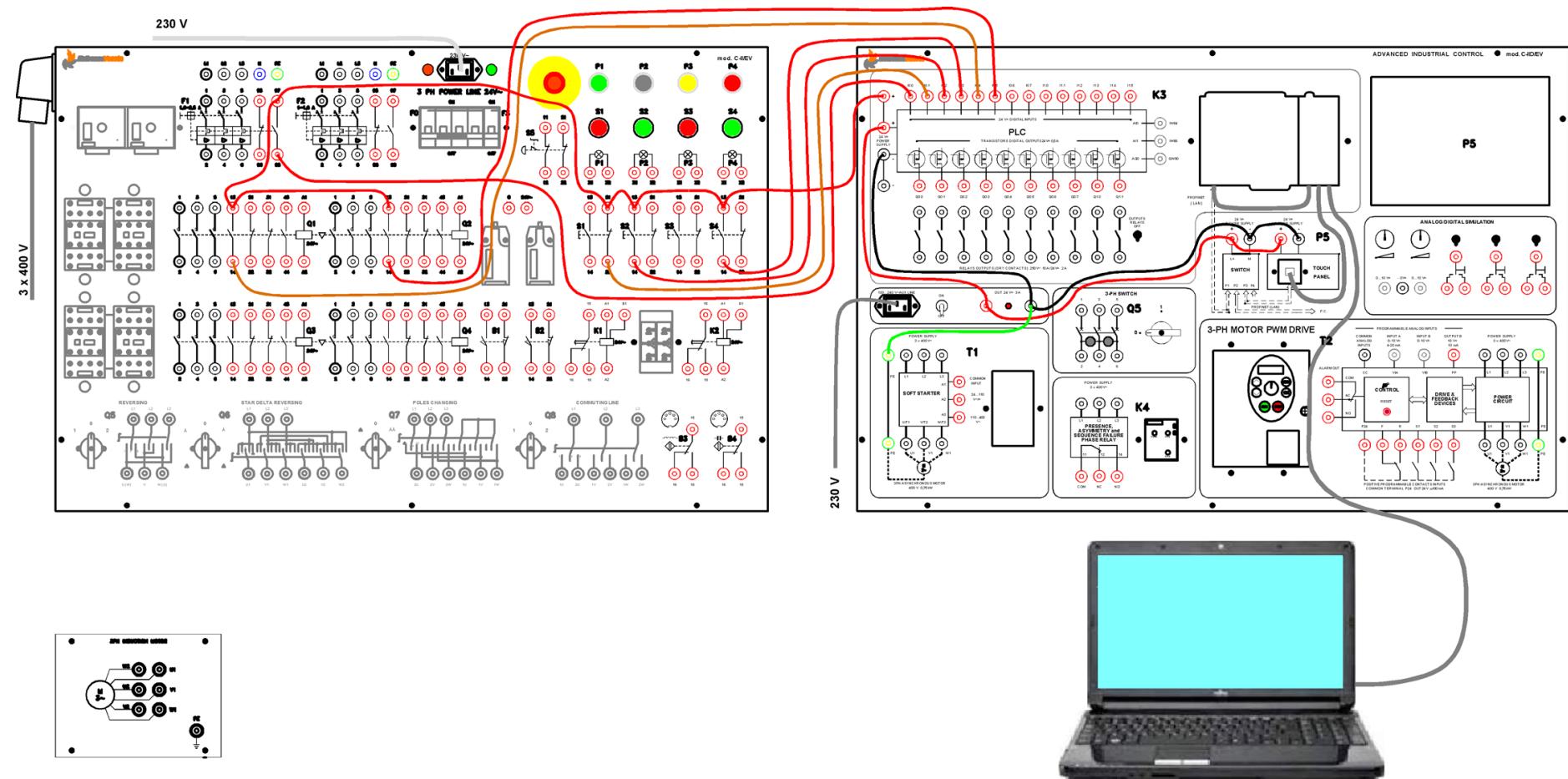


Fig III.67d Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé

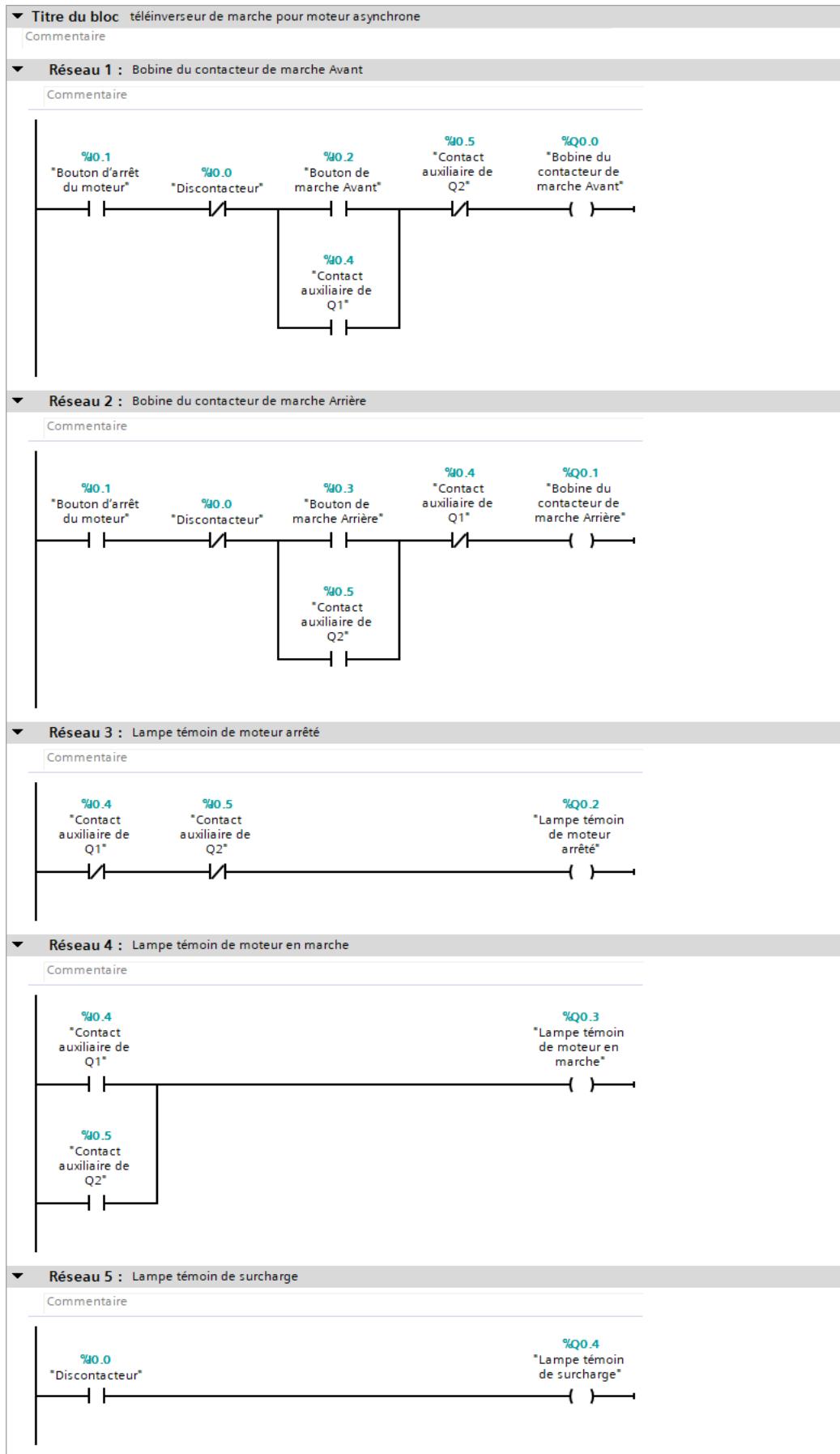


Fig III.67e Démarrage inverseur de marche pour moteur asynchrone triphasé

III.4.2.3 Démarrage étoile-triangle par API et interface IHM

Objectif [20]

Assembler une installation électrique pourvue des circuits de puissance, de commande et de signalisation se référant au démarrage Etoile-Triangle d'un Moteur Asynchrone Triphasé à cage contrôlé par API et par IHM. L'installation doit être munie de lampes de signalisation indiquant :

- Moteur à l'arrêt.
- Moteur en marche et moteur en phase de démarrage.
- Déclenchement de la protection contre les surcharges.

Opérations à faire :

- Câbler l'installation électrique du circuit de puissance,
- Câbler le circuit de commande et les lampes témoins de signalisation contrôlée par l'API (entrées et sorties de l'API).
- Écrire le programme et le transférer dans l'API et dans l'IHM.

Composants nécessaires [20]

1 Panneau mod. C-IID/EV.

1 Panneau mod. C-IIC/EV pour les dispositifs de commande et de protection

1 Bloc d'alimentation monophasé fixe de 220-230 Vca pour le circuit de commande

1 Bloc d'alimentation triphasé fixe de 380-400 Vca pour le circuit de puissance

1 Jeu de câbles pourvus de fiches de sécurité avec diamètre de 4 mm

1 Moteur asynchrone triphasé à cage de 0,3-1 kW mod. M-4/EV ou P-4/EV, si disponible.

Note : la tension d'alimentation de 380-400 V est appliquée à un moteur Y/Δ avec tension de 660-690 V / 380-400 V.

Note : si le panneau mod. C-IIC/EV n'est pas disponible, on pourra de toute façon programmer l'API et l'IHM et analyser le fonctionnement du circuit en mettant adéquatement en service les entrées de l'API.

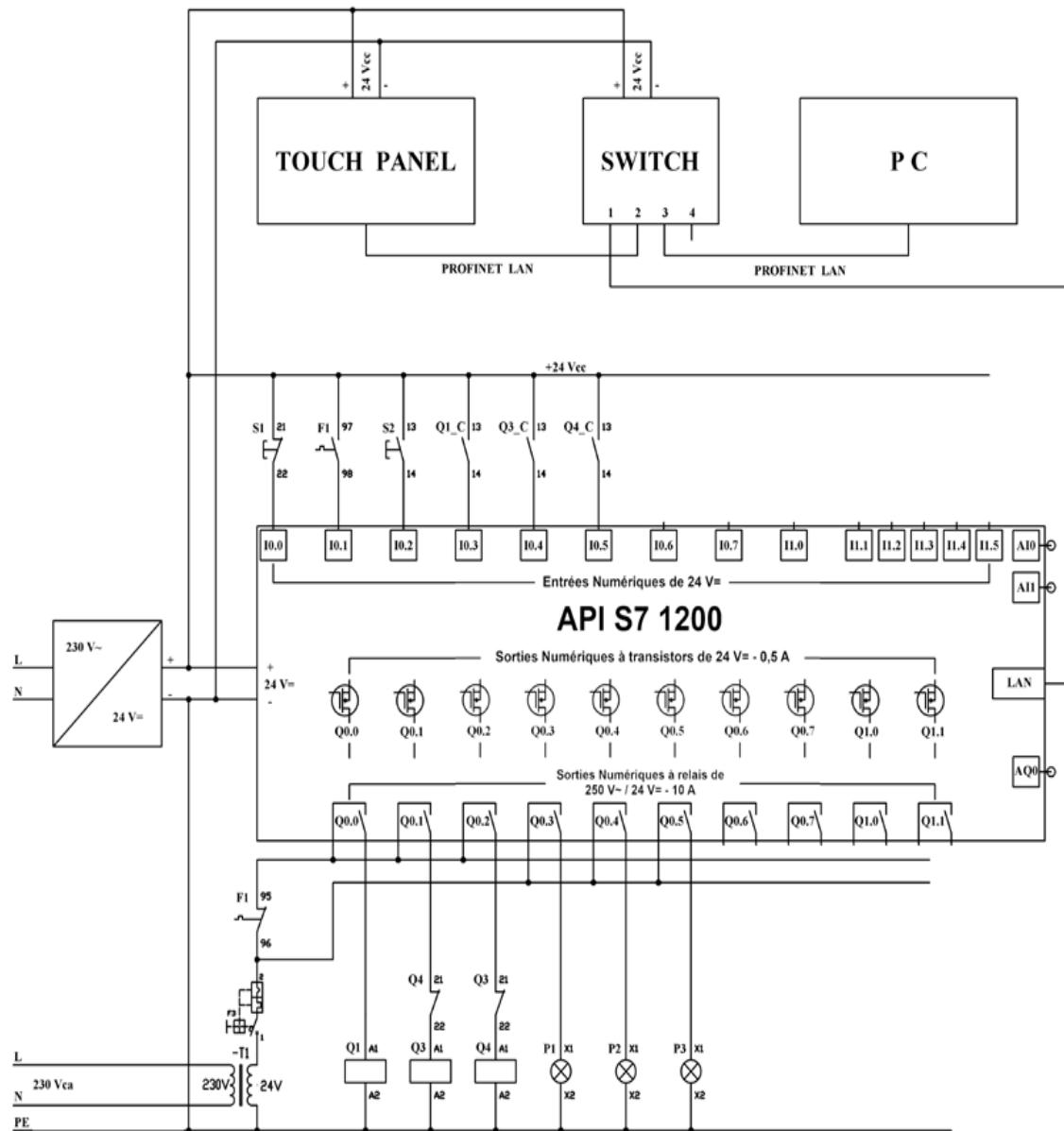


Fig III.68a Démarrage étoile-triangle

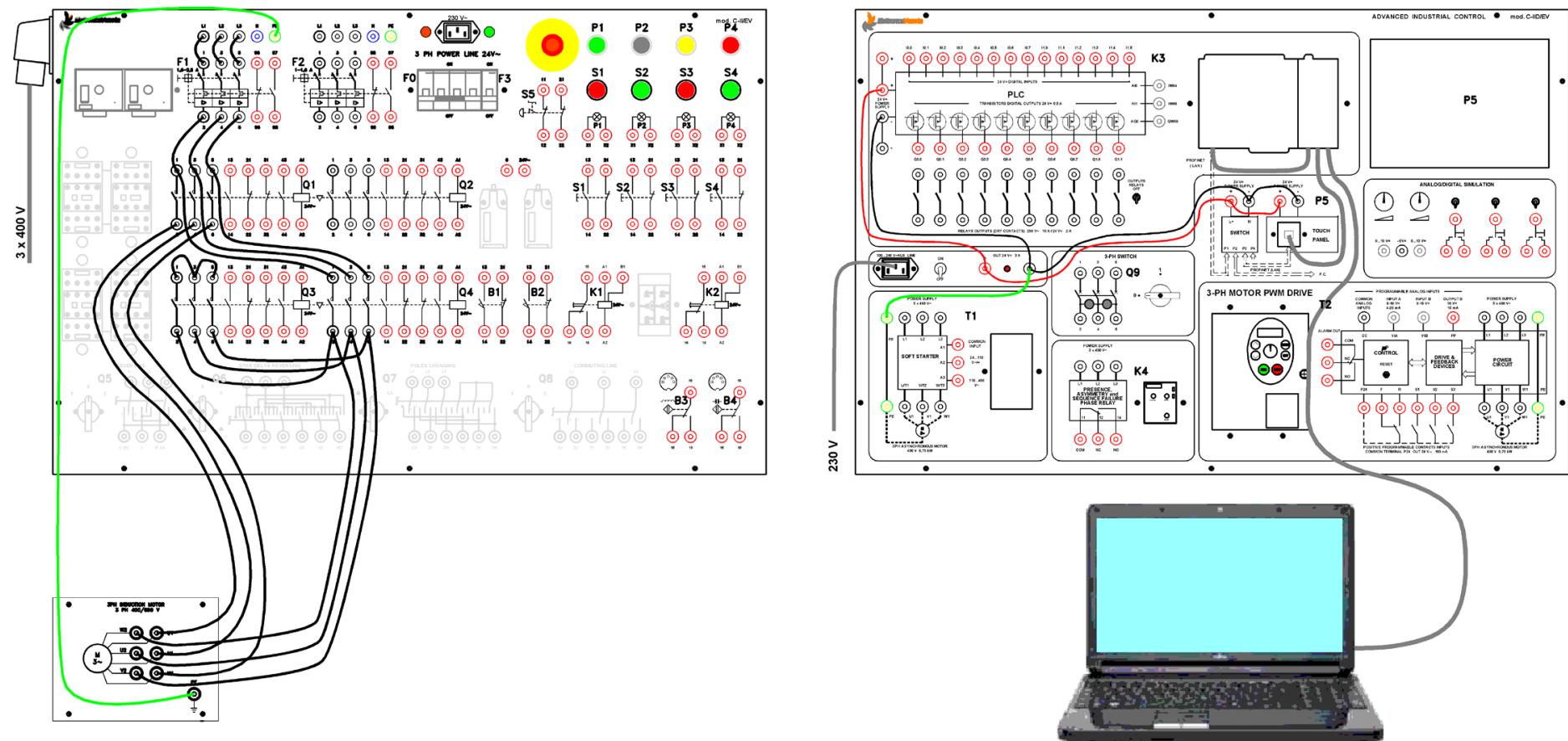


Fig III.68b Démarrage étoile-triangle

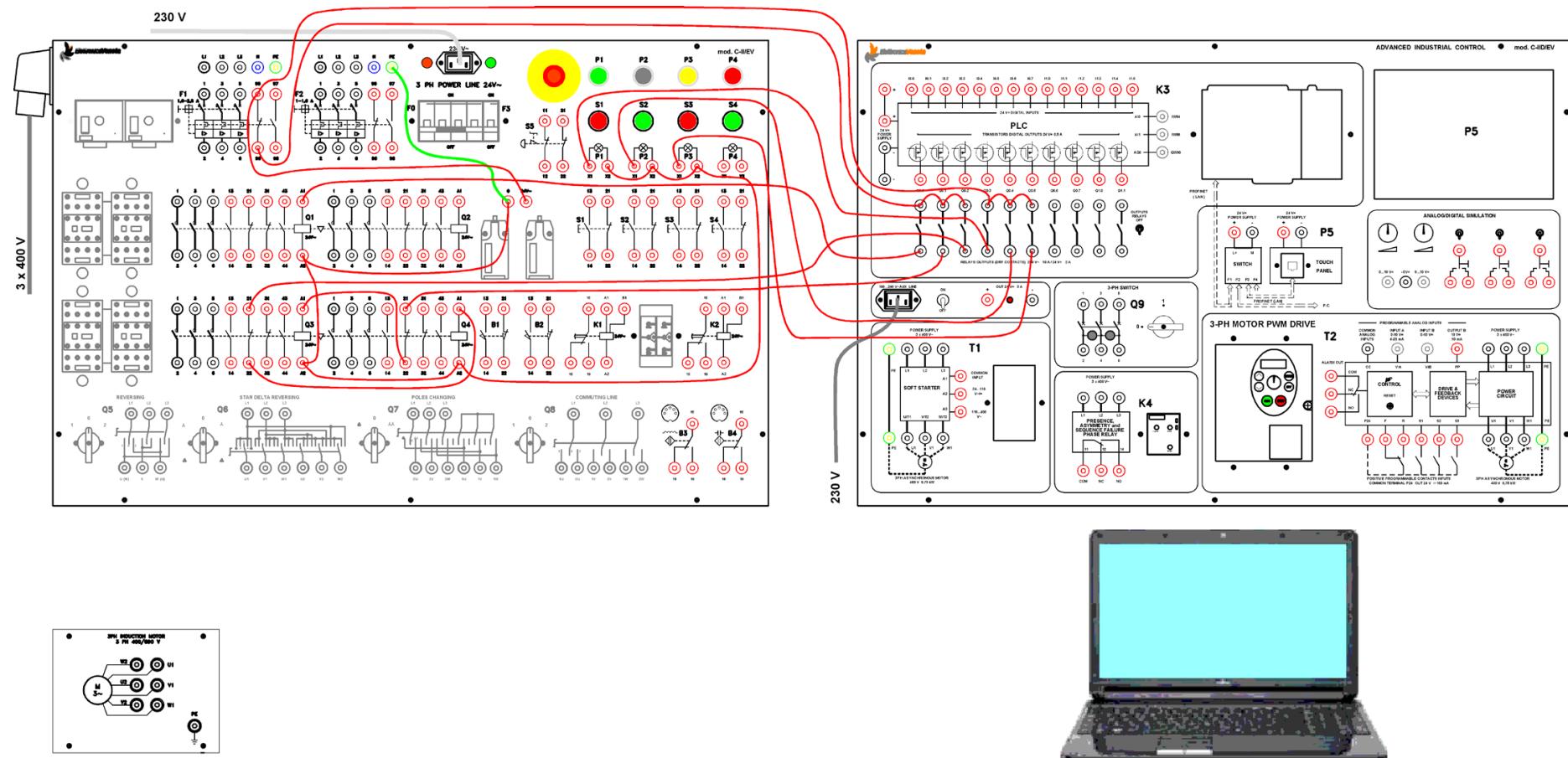


Fig III.68c Démarrage étoile-triangle

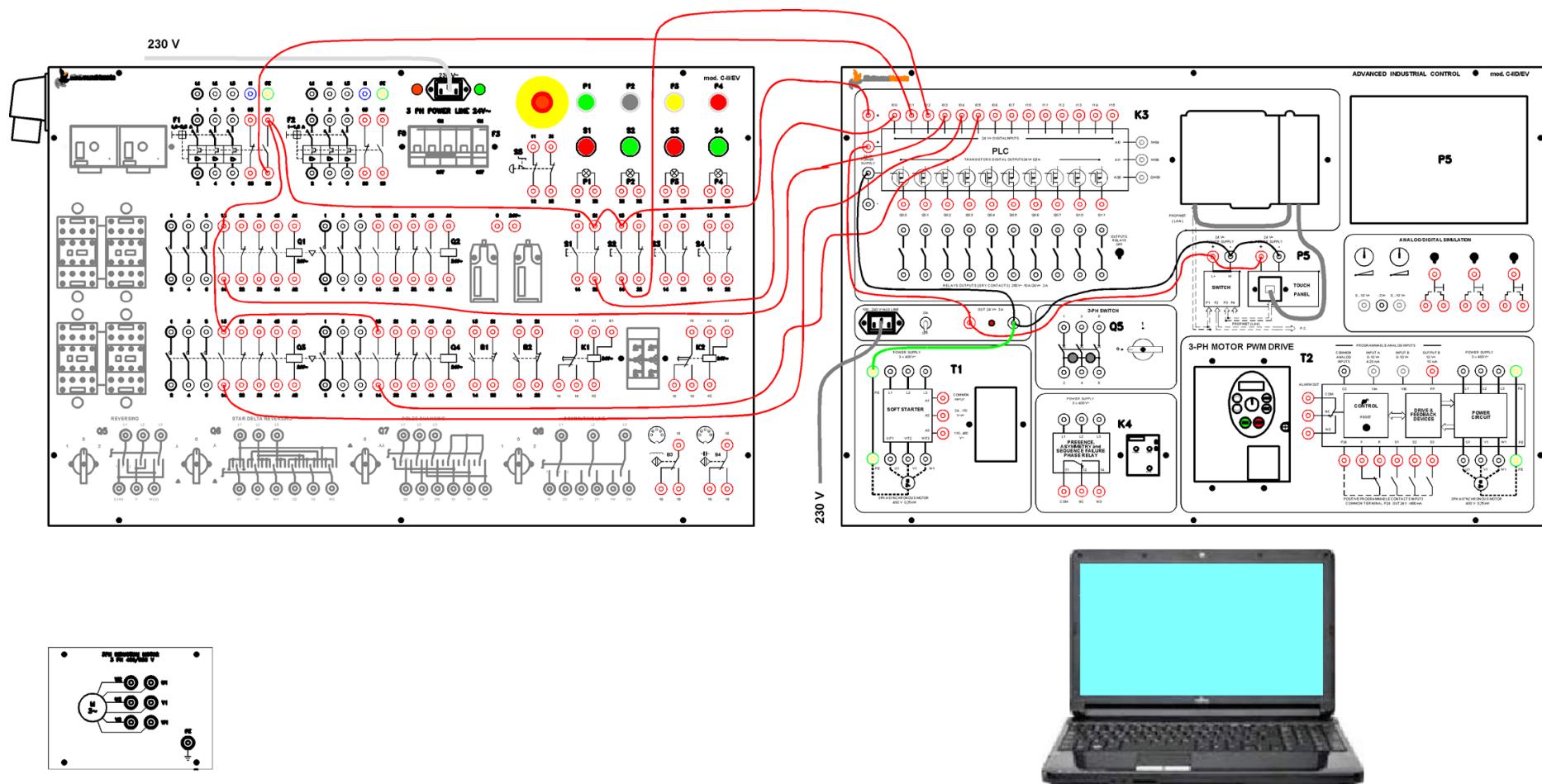


Fig III.68d Démarrage étoile-triangle

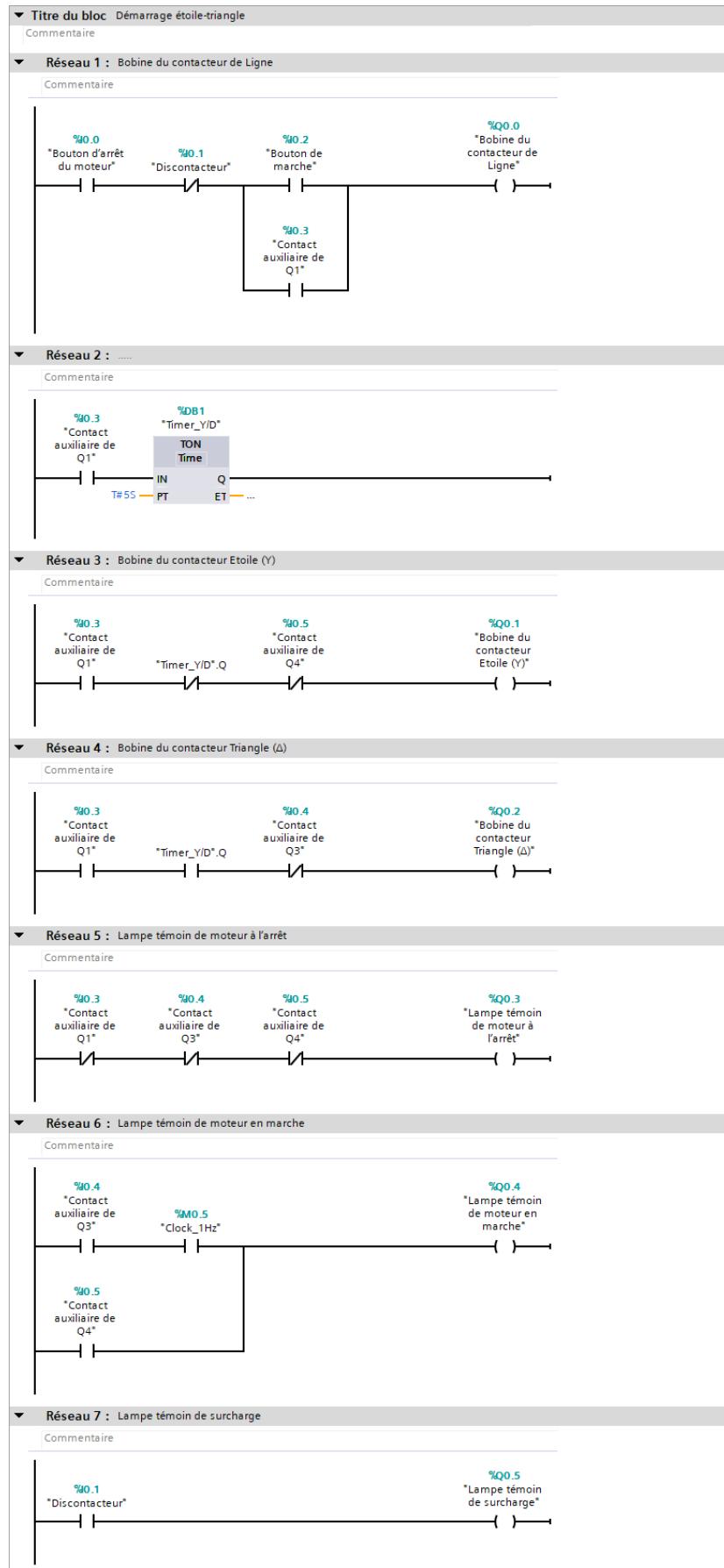


Fig III.68e Démarrage étoile-triangle

III.4.2.4 Démarrage par résistance statoriques contrôlé par API et par interface IHM

Objectif [20]

Assembler une installation électrique pourvue des circuits de puissance, de commande et de signalisation, avec API et IHM se référant au démarrage d'un Moteur Asynchrone Triphasé (MAT), par des résistances branchées en série au stator. Opérations à faire :

- Câbler l'installation électrique du circuit de puissance,
- Câbler le circuit de commande et les lampes témoins de signalisation contrôlées par l'API (entrées et sorties de l'API),
- Écrire le programme et le transférer dans l'API et dans l'IHM.

Composants nécessaires [20]

- 1 Panneau mod. C-IID/EV.
- 1 Panneau mod. C-IIC/EV pour les dispositifs de commande et de protection
- 1 Bloc d'alimentation monophasé fixe de 220-230 Vca pour le circuit de commande
- 1 Bloc d'alimentation triphasé fixe de 380-400 Vca pour le circuit de puissance
- 1 Jeu de câbles pourvus de fiches de sécurité avec diamètre de 4 mm
- 1 Moteur asynchrone triphasé à cage de 0,3-1 kW mod. M-4/EV ou P-4/EV, si disponible
- 1 Rhéostat triphasé 3 x 50 Ω – 3 x 500 W (déplacer le curseur au centre pour obtenir des secteurs ohmiques triphasés presqu'égaux), si disponible.

Note : si le panneau mod. C-IIC/EV n'est pas disponible, on pourra de toute façon programmer l'API et l'IHM et analyser le fonctionnement du circuit en mettant adéquatement en service les entrées de l'API.

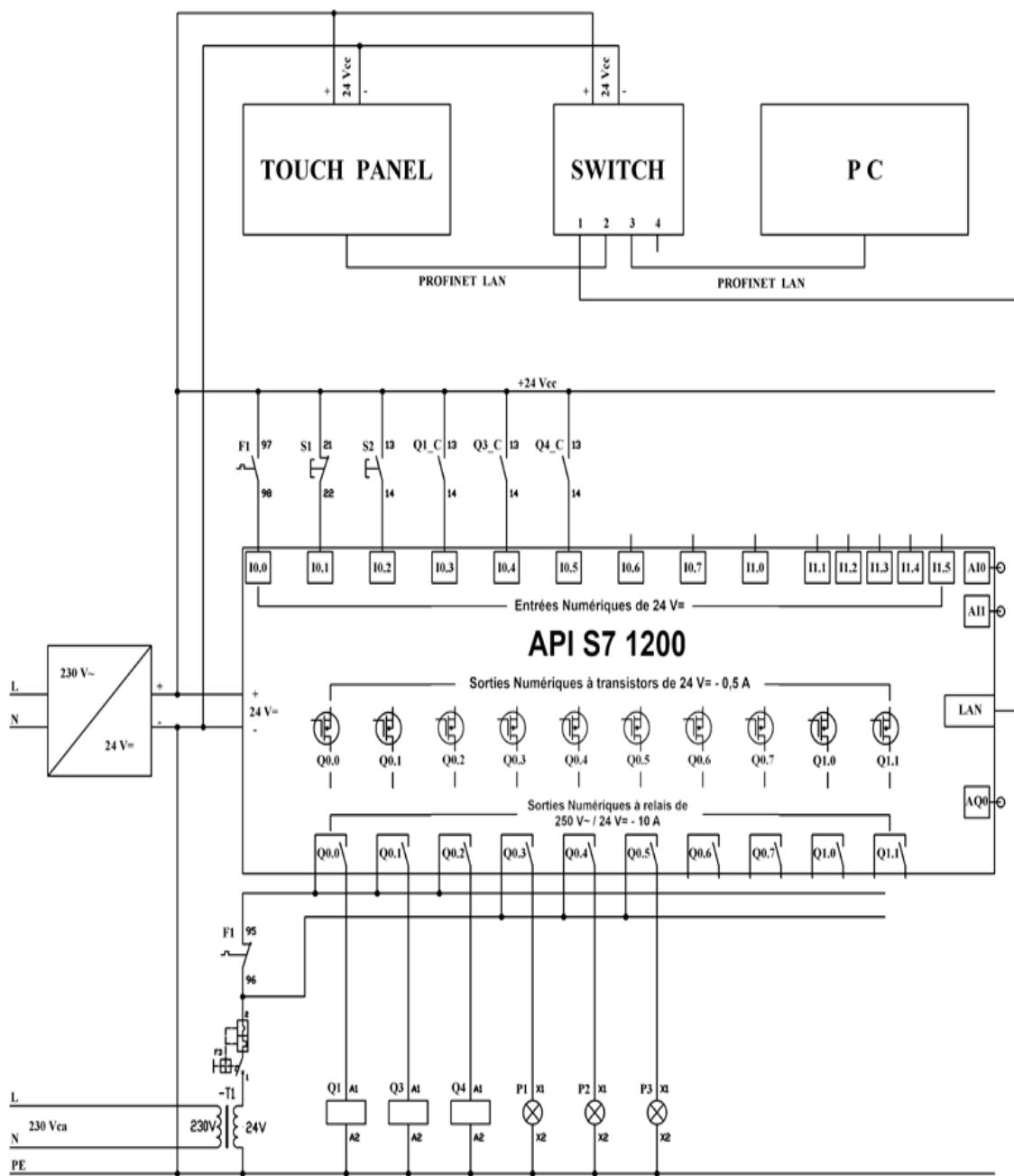


Fig III.69a Démarrage par résistance statoriques

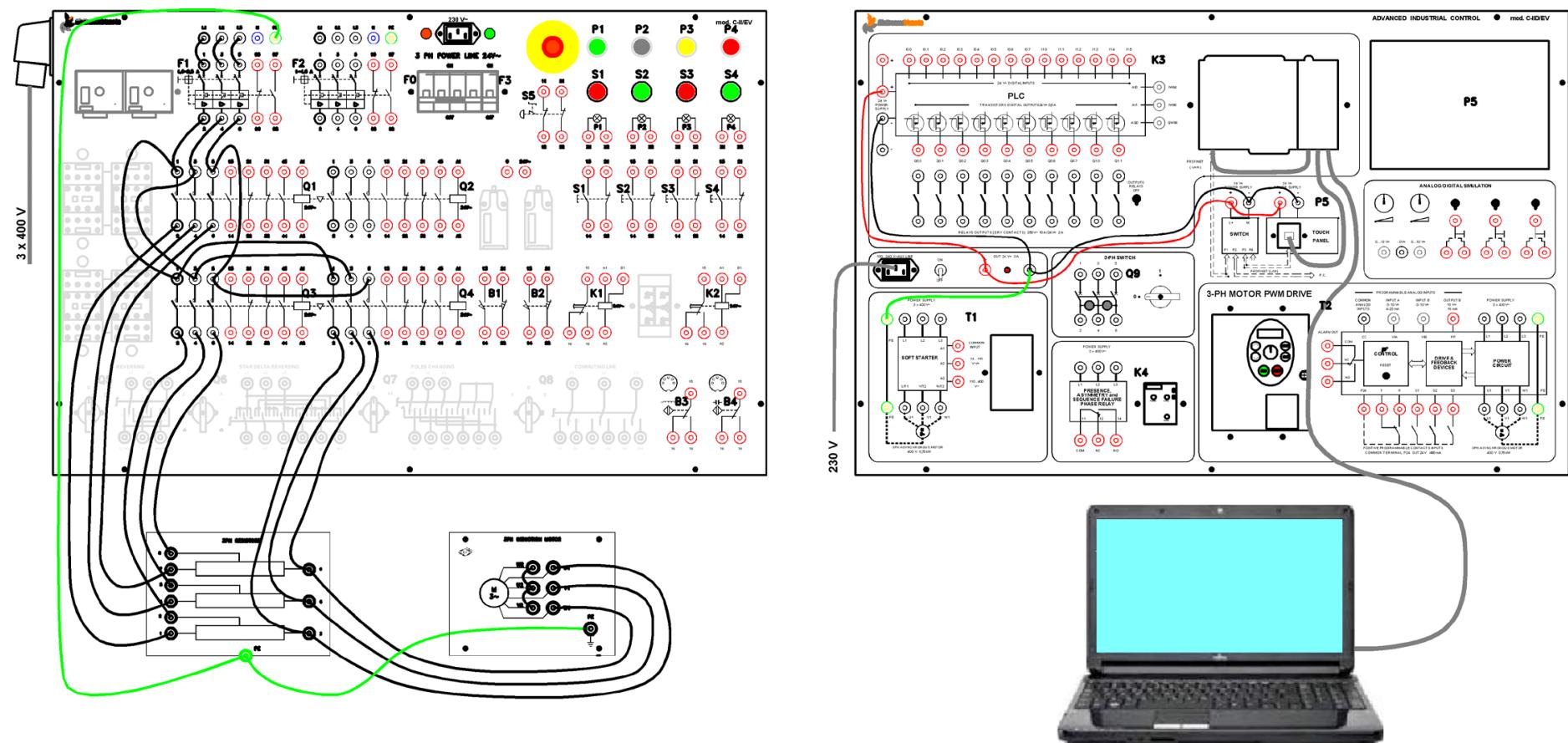


Fig III.69b Démarrage par résistance statoriques

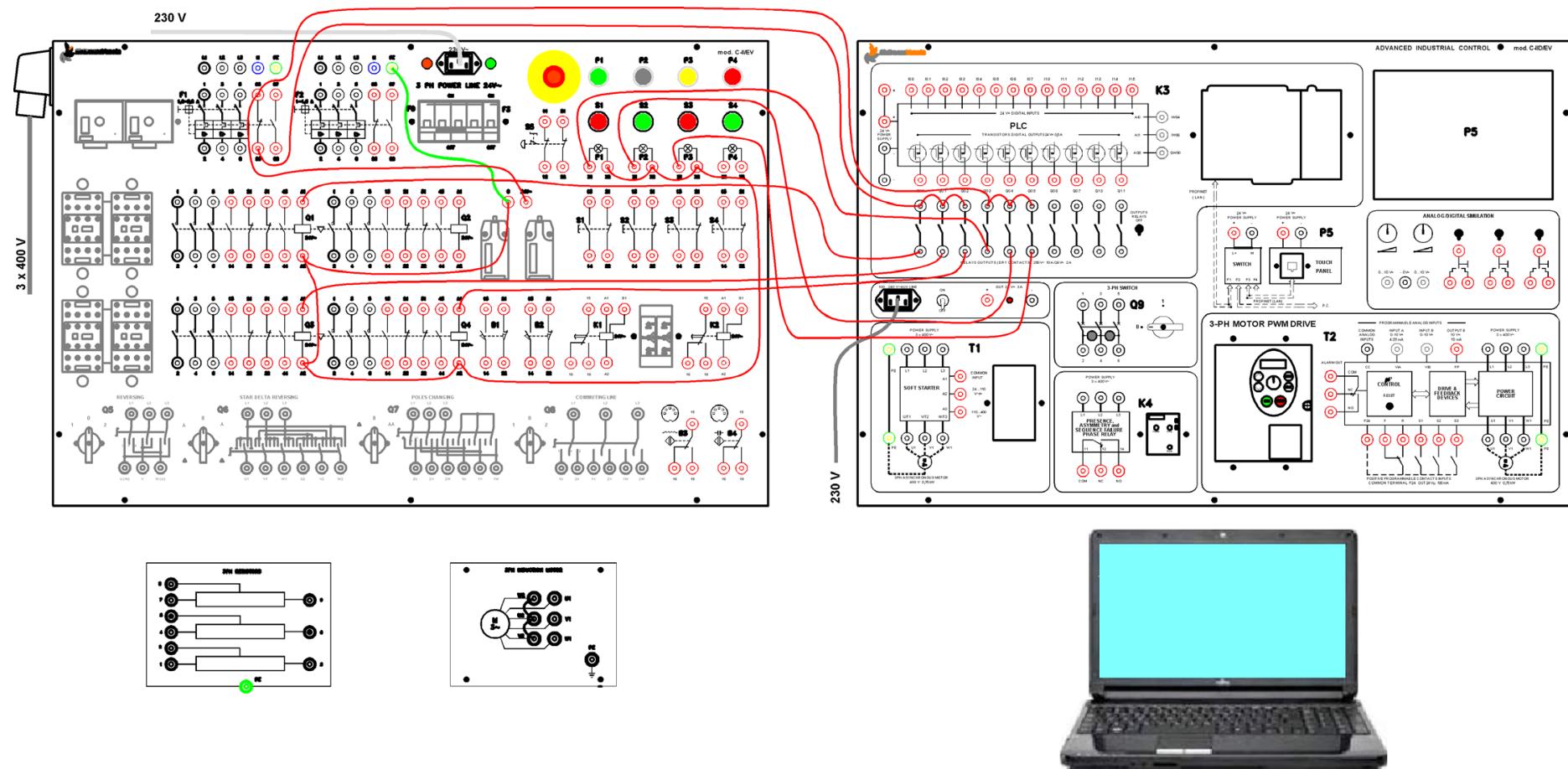


Fig III.69c Démarrage par résistance statoriques

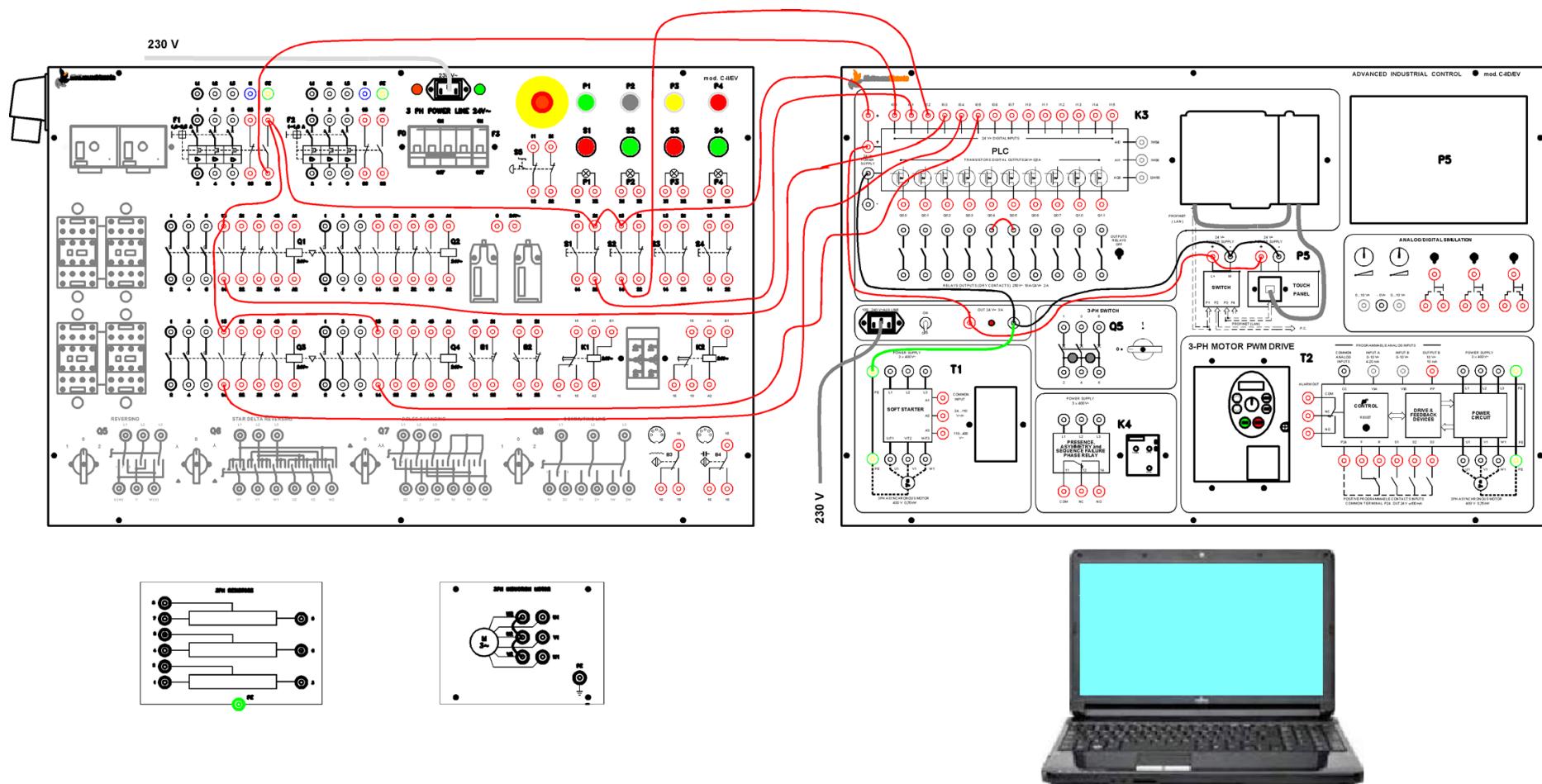


Fig III.69d Démarrage par résistance statoriques

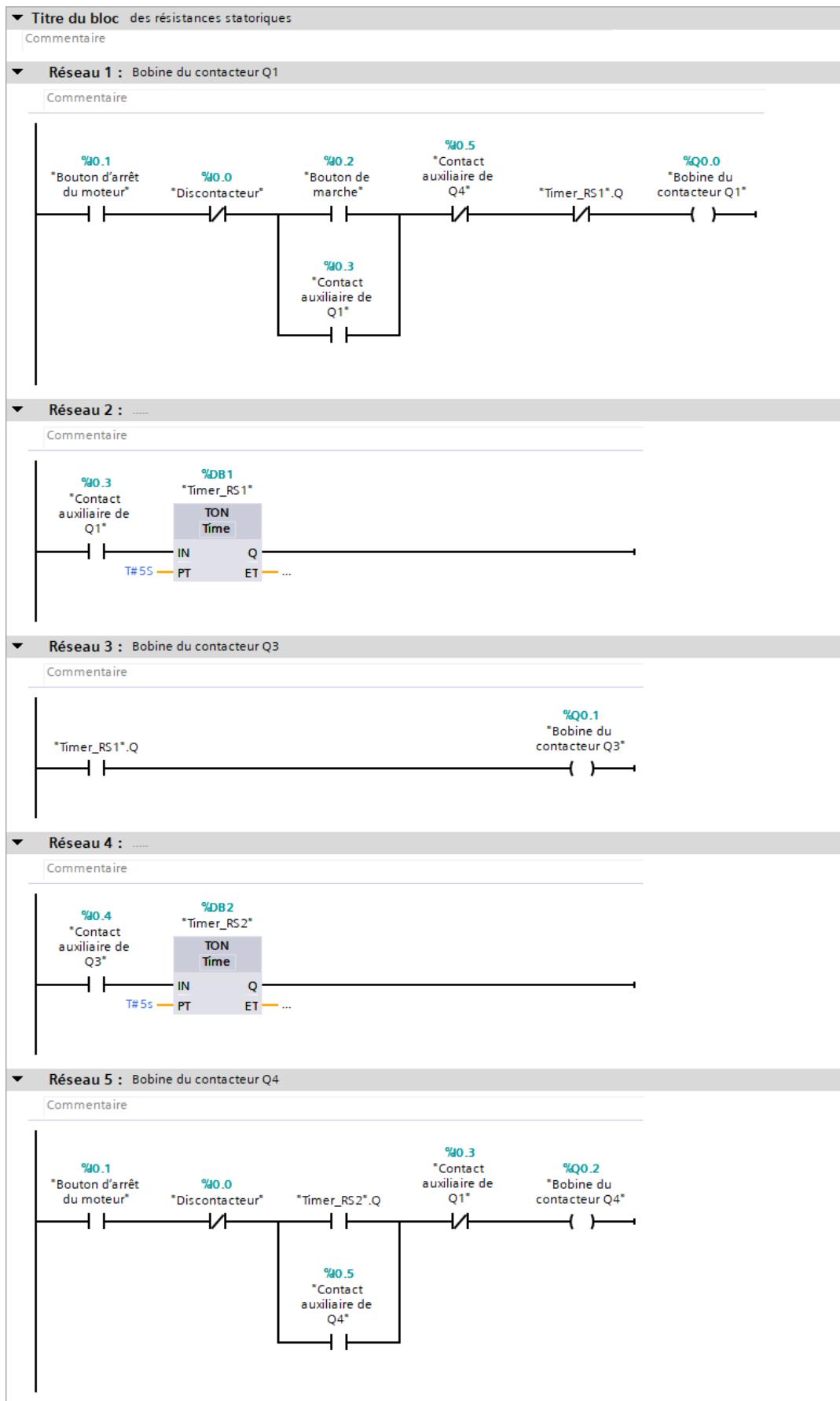


Fig III.69e Démarrage par résistance statoriques

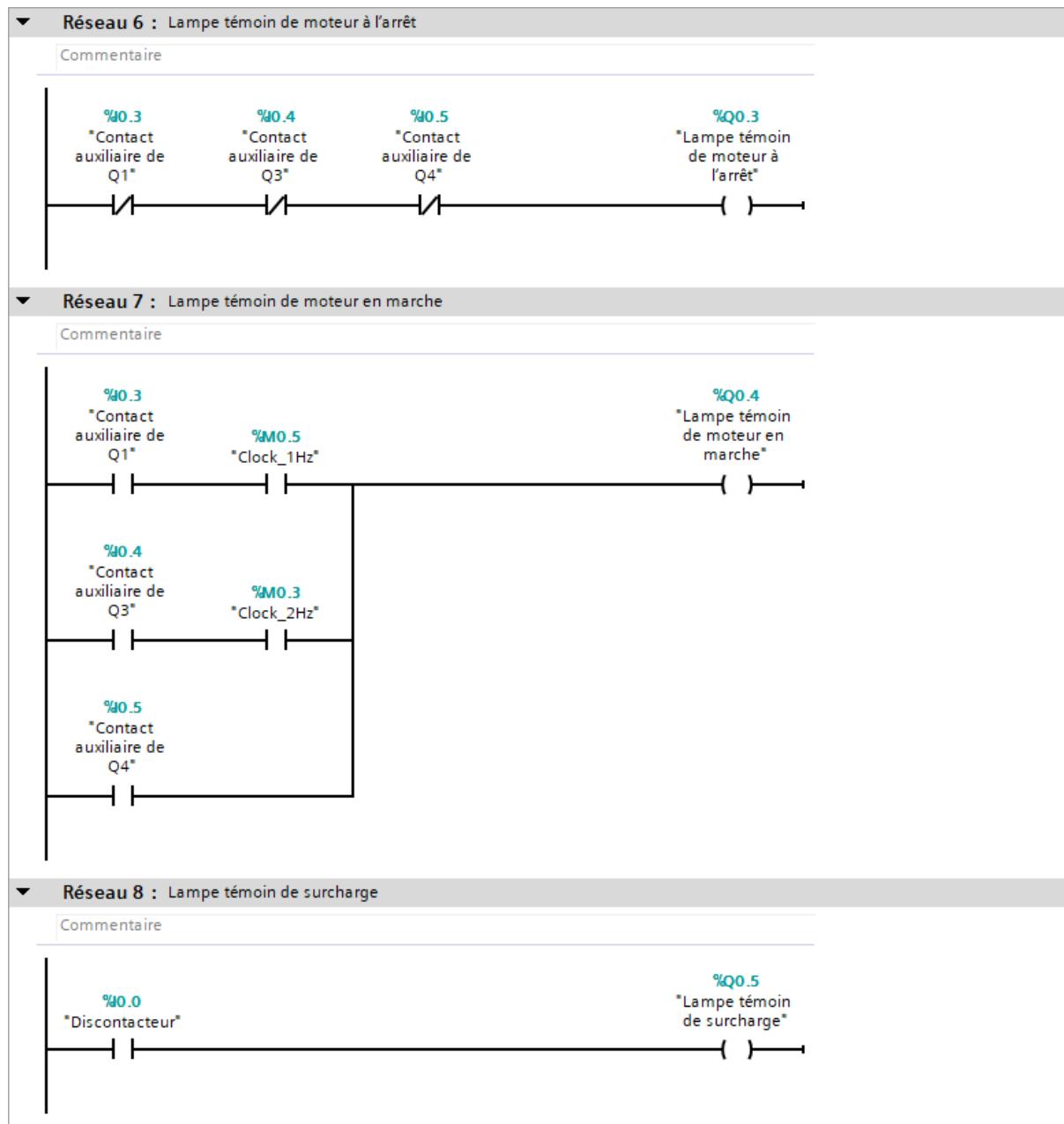


Fig III.69f Démarrage par résistance statoriques

III.4.2.5 Démarrage par résistances rotoriques contrôlée par API et par interface IHM

Objectif [20]

Assembler une installation électrique pourvue des circuits de puissance, de commande et de signalisation se référant au démarrage d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné. L'automation est réalisée par un API et par l'IHM qui contrôle l'exclusion de deux groupes de résistances.

Opérations à faire :

- Câbler l'installation électrique du circuit de puissance,
- Câbler le circuit de commande et les lampes témoins de signalisation contrôlées par l'API (entrées et sorties de l'API),
- Écrire le programme et le transférer dans l'API et dans l'IHM.

Composants nécessaires [20]

1 Panneau mod. C-IID/EV.

1 Panneau mod. C-IIC/EV pour les dispositifs de commande et de protection

1 Bloc d'alimentation monophasé fixe de 220-230 Vca pour le circuit de commande

1 Bloc d'alimentation triphasé fixe de 380-400 Vca pour le circuit de puissance

1 Jeu de câbles pourvus de fiches de sécurité avec diamètre de 4 mm

1 Moteur asynchrone triphasé à cage mod. M-5/EV ou P-5/EV, si disponible

1 Rhéostat triphasé $3 \times 50 \Omega - 3 \times 500 \text{ W}$ (déplacer le curseur au centre pour obtenir des secteurs ohmiques triphasés presqu'égaux), si disponible.

Note : si le panneau mod. C-IIC/EV n'est pas disponible, on pourra de toute façon programmer l'API et l'IHM et analyser le fonctionnement du circuit en mettant adéquatement en service les entrées de l'API.

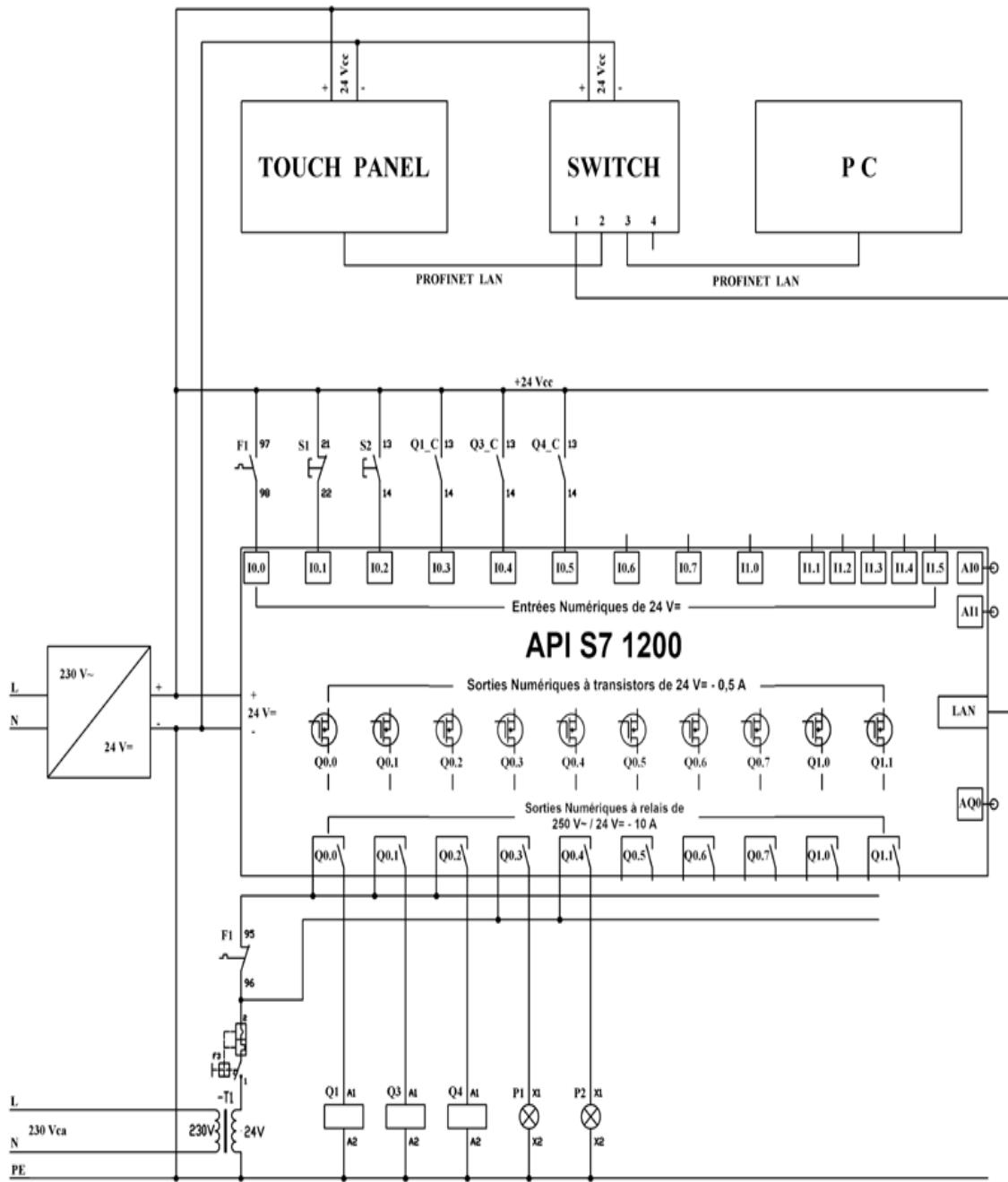


Fig III.70a Démarrage par résistances rotoriques

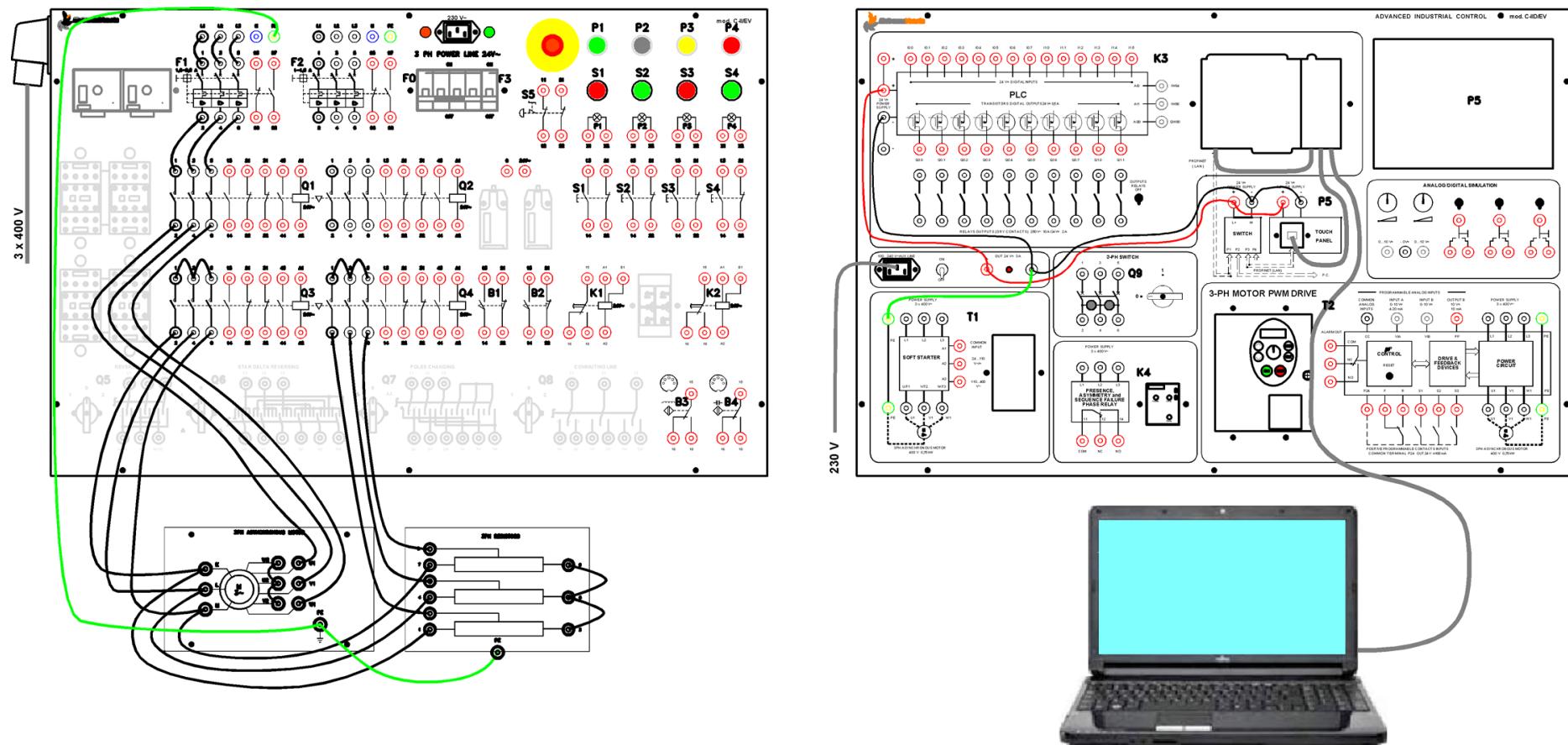


Fig III.70b Démarrage par résistances rotoriques

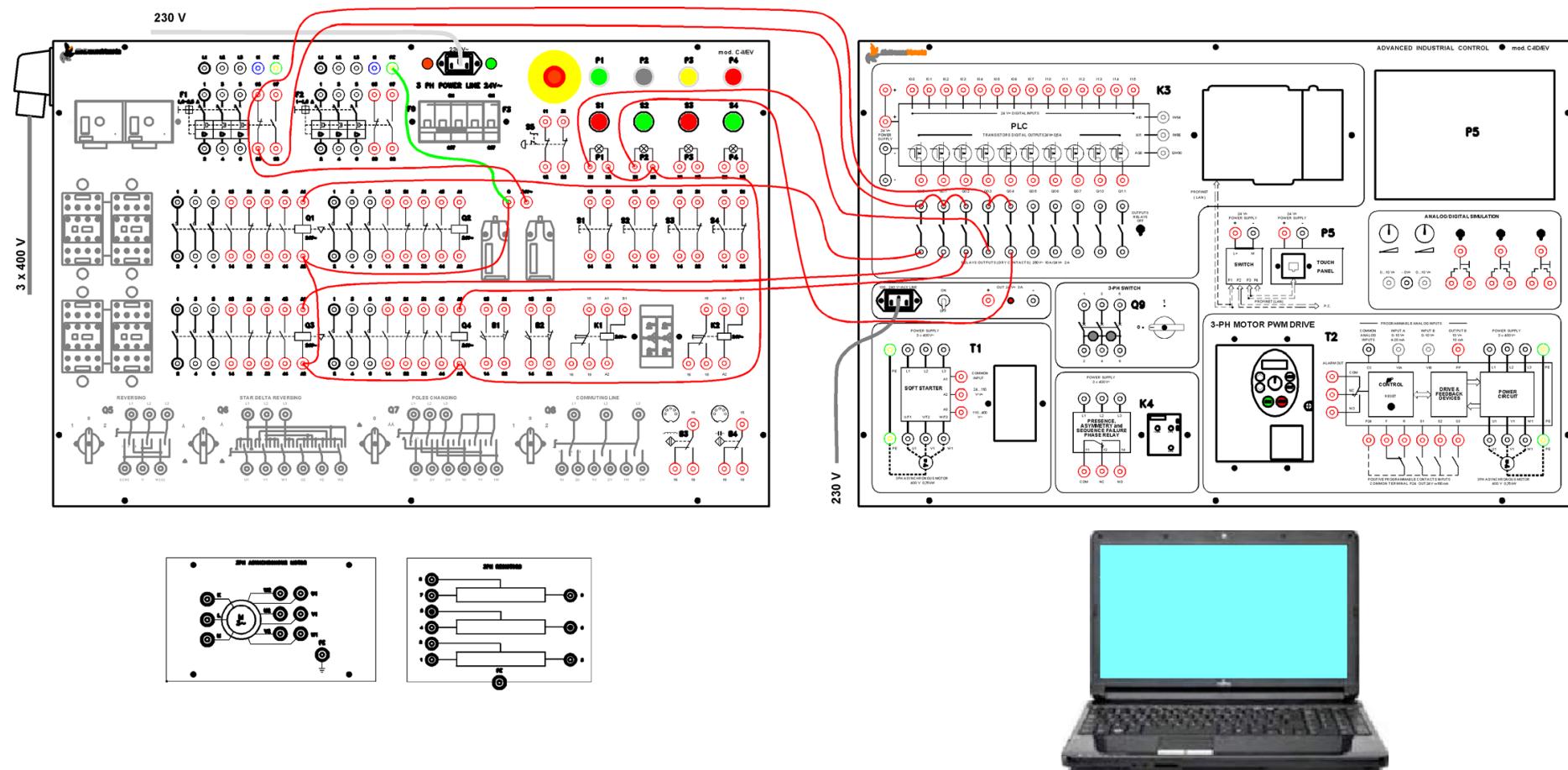


Fig III.70c Démarrage par résistances rotoriques

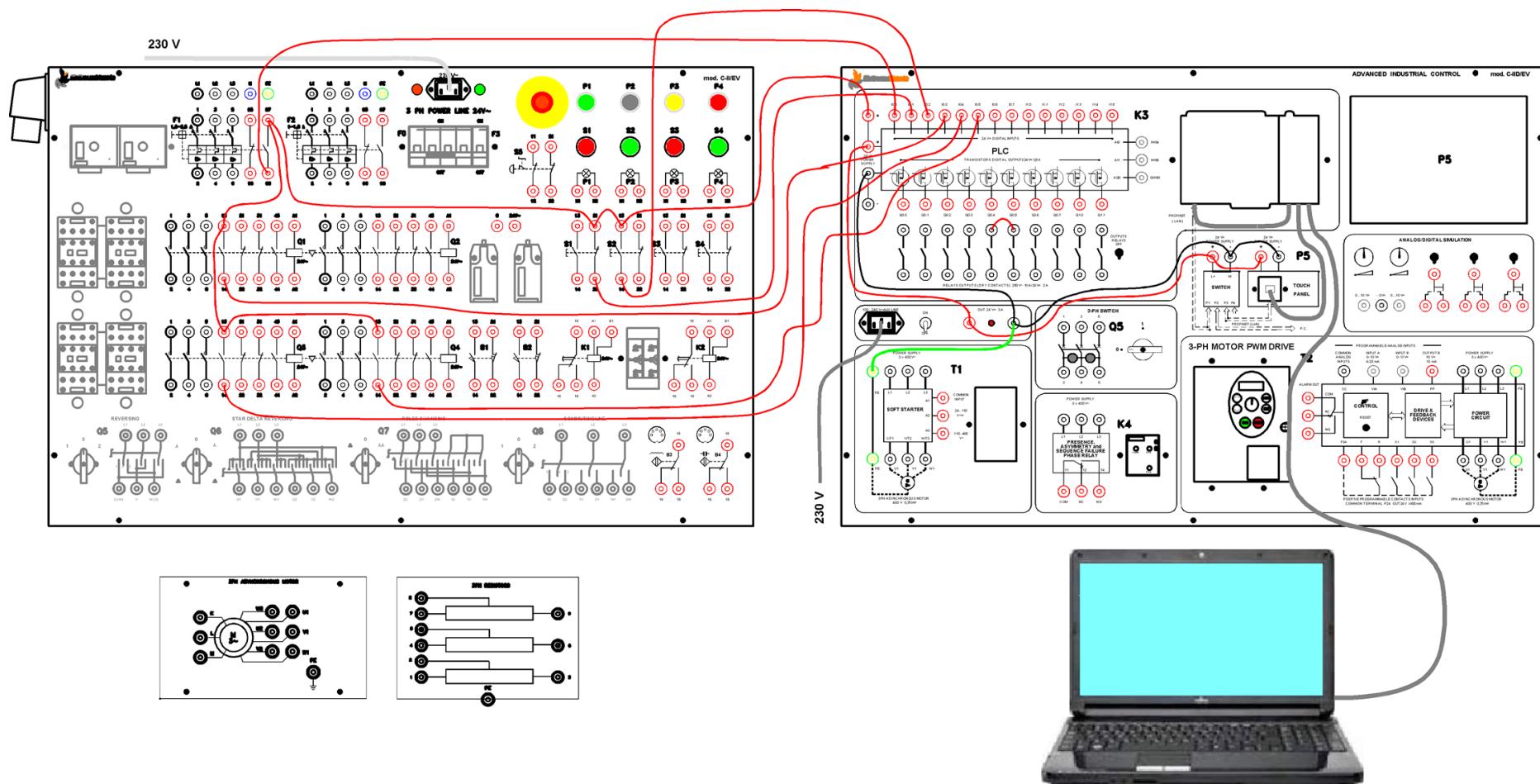


Fig III.70d Démarrage par résistances rotoriques

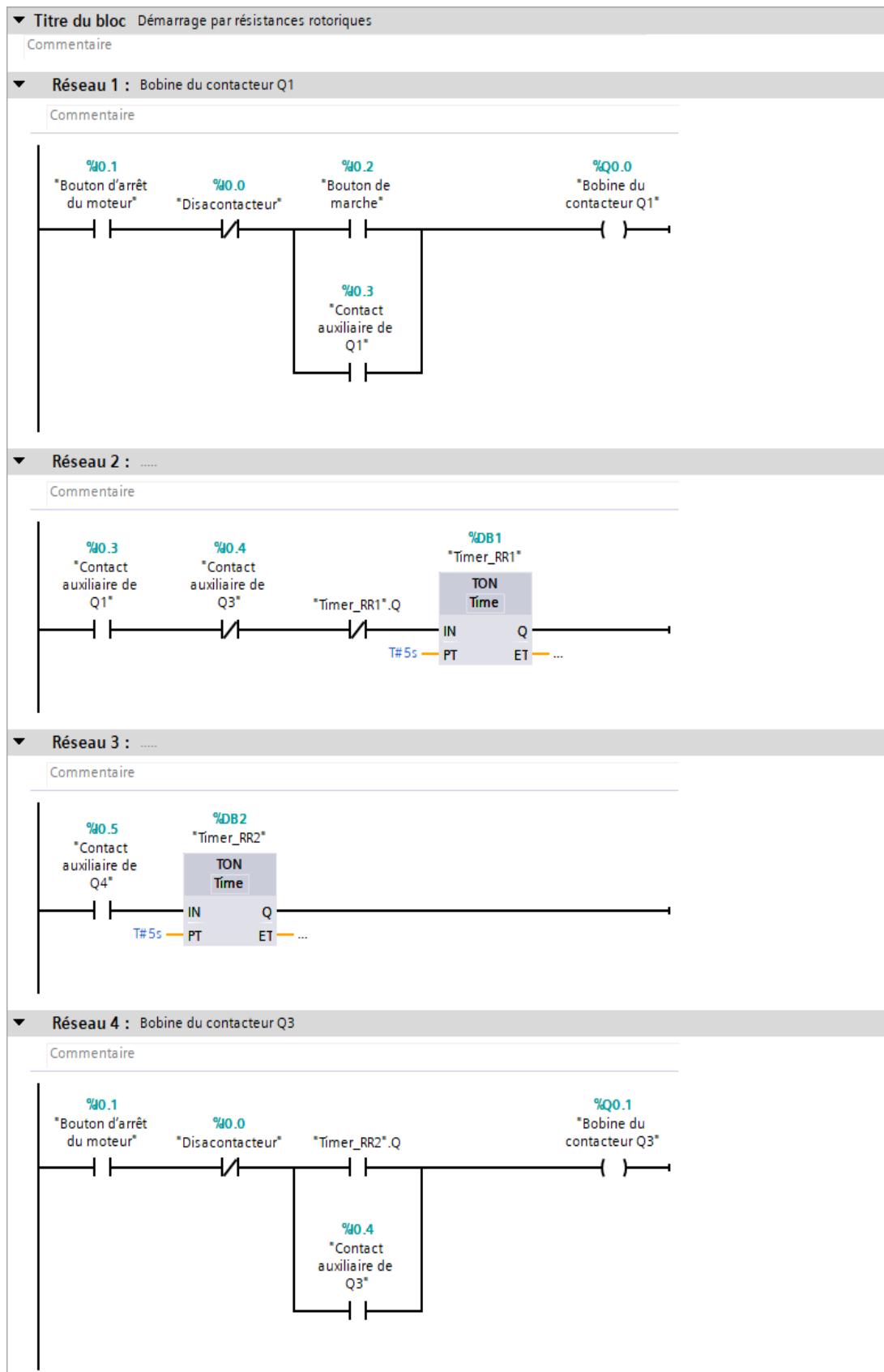


Fig III.70e Démarrage par résistances rotoriques

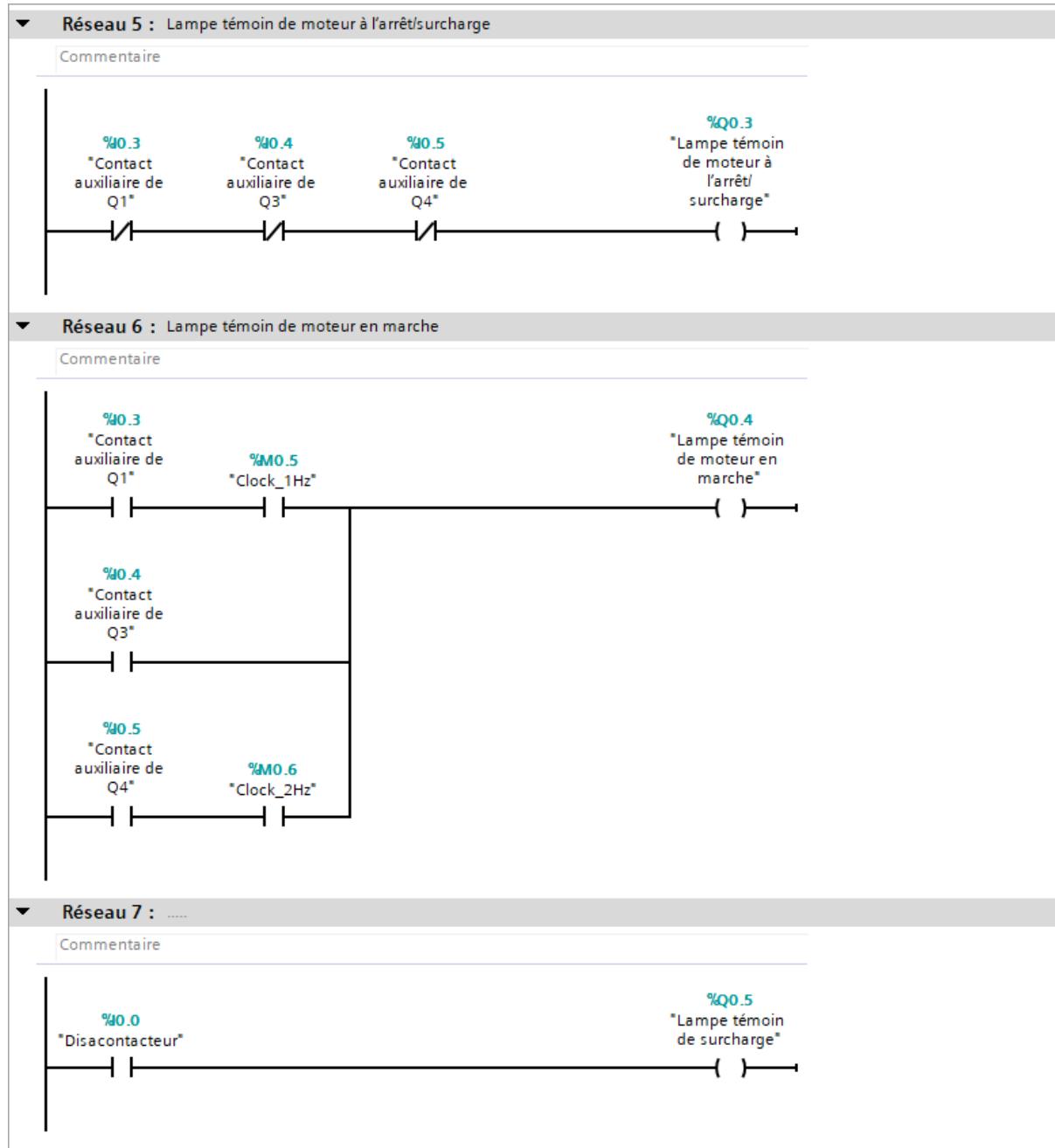


Fig III.70f Démarrage par résistances rotoriques

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons élaboré une étude de simulation à l'aide du logiciel Automgen V8.9 avec TIA Portal V14 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 démonté 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 sûr que ce temps reste le même d'un relais à l'autre. Surtout lorsque ces derniers sont usés. Dans certaines applications ou 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 croit 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

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.

Bibliographie

[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 grafct 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.

[20] ElettronicaVeneta installations électriques installations industrielles.