



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Filière : Electrotechnique
Spécialité : commande électrique

Réf. :

Présenté et soutenu par :
MOUNIB Yasmine et YUCEF Soumia

Le : mardi 3 juin 2025

La rénovation de la commande électrique d'un tour industriel au niveau du hall de technologie de l'université Biskra

Jury :

Pr	ZOUZOU Salaheddine	Pr	Université de Biskra	Président
Pr	BOUMAARAF Rabia	Pr	Université de Biskra	Examineur
Pr	GHAMRI Ahmed	Pr	Université de Biskra	Rapporteur



Année universitaire : Choisissez une année

Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commande électrique

Réf:

La Rénovation de la Commande électrique d'un tour industriel au niveau du hall de technologie de l'université Biskra

Le : 03/06/2025

Présenté par :
YOUCEF Soumia
MOUNIB Yasmine

Avis favorable de l'encadreur :

Pr. Ghamri Ahmed

Signature Avis favorable du Président du Jury

Remerciements

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre professeur encadrant « **GHAMRI Ahmed** », pour ses précieux conseils, son suivi attentif et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce travail. Ses orientations ont grandement contribué à la réussite de ce projet.

Nous adressons également nos remerciements les plus sincères à Monsieur le Doyen de la faculté « **GHODHBAN Hatem** », pour son appui permanent et pour avoir mis à notre disposition toutes les conditions favorables à l'achèvement de ce projet dans les meilleures conditions.

Nos remerciements tout particulièrement le responsable du laboratoire du hall technologique « **AJAL Hamza** », pour son accueil chaleureux, sa collaboration fructueuse, ainsi que pour la mise à disposition des équipements techniques nécessaires à la réalisation de la partie pratique de ce travail.

Nous n'oublions pas le personnel technique et administratif, ces véritables "soldats de l'ombre" « **Rabeh, Walid et Wahid** » qui œuvrent avec discrétion et dévouement, et dont la contribution a été fondamentale dans le bon déroulement de ce projet.

Enfin, nous remercions chaleureusement nos familles pour leur soutien moral constant et leurs encouragements, qui ont été une source importante de motivation tout au long de ce travail.

Dédicace

À ma chère mère (**NADIA**) bien-aimée, source de tendresse et de paix, qui m'a appris la patience... Sans toi, je ne suis rien.

À le meilleur père (**ABDELOUAHAB**), modèle et source d'inspiration, qui ne m'a jamais rien refusé, et qui a toujours été mon premier soutien et mon pilier. Que Dieu te garde à mes côtés.

À mes chères sœurs (**AHLAM/ZAKIA/MALIA/ZIZOU**), compagnes de route, qui m'ont soutenue par leurs paroles et leurs prières, à celles qui ont été un appui à chaque étape. Je les aime d'un amour qui dépasse toute imagination. Vous êtes les meilleures des sœurs.

À mon unique frère (**WALID**), au cœur généreux, toujours présent et plein de soutien, merci pour ton appui et ton silence si chargé de sens...

À mes nièces (**ALAA/ZINA/MAYAM**) et neveux (**MOAM/SALEH/ANES/SOBBAN/SABRE**) qui illuminent ma vie de leur innocence et de leurs rires. une part de mon âme, ma grande source de bonheur. Je vous aime, mes filles et garçons adorés.

À mes beaux-frères (**HALIM/HAKIM/FOAD/IMAD**) qui ont toujours fait partie de la famille avec respect et bienveillance.

À ma meilleure amie (**YASMINE**), qui n'a jamais hésité à m'apporter conseils et soutien, et qui a toujours été là dans les moments faciles comme dans les plus difficiles. Tu as été présente à chaque étape, dans les joies comme dans les épreuves, telle une sœur.

À la famille de mon amie, Merci du fond du cœur pour votre accueil, votre gentillesse et votre respect. Vous êtes comme une deuxième famille pour moi (**TATA KARIMA/AMO MOHAMED/SABRINE**).

À tous mes amies (**AROUA/ZINEB/SOUMIA/...**) qui ont partagé ce chemin avec moi et ont laissé une empreinte précieuse dans ma mémoire

À mon ami (ALI) qui a été à la fois un compagnon et un ami, je te remercie d'être présent dans ma vie.

Je vous dédie à tous le fruit de cet effort. Et enfin, je dédie ma réussite à ma mère et à mon père.

YOUCEF Soumia

Dédicace

Avec une immense gratitude et une profonde affection, je dédie ce travail à ceux qui ont été ma source d'inspiration de soutien et d'encouragement tout au long de mon parcours.

À mon cher père « **Mohamed** » et ma tendre mère « **Karima** » piliers de ma vie, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux et leur soutien sans faille.

À ma sœur « **Sabrine** » source de joie.

Ma deuxième famille « **khalti Nadia** » et « **Amo hiba** », et mes sœurs d'une autre mère **Zahra, Malia, Zakia** et **Ahlem**.

À ma meilleur sœur et amie que Dieu m'a donnée « **Soumia** » ma sœur de cœur et mon alliée de toujours. Merci d'avoir été là, dans les moments de doute comme dans les instants de joie. Ta présence, tes mots et ton énergie m'ont portée bien plus que tu ne l'imagines.

À ma tante, mon amie et ma sœur aînée « **Dida** » tu es celle qui m'a encouragé dans cette réussite.

À mes amie et mes précieuses : **Aroua, zineb**

Et à mes amis aussi : **Hicham, Ali et Mohamed** qui a été à la fois un compagnon et un ami, je te remercie d'être présent dans ma vie.

MOUNIB Yasmine

Sommaire

Introduction générale.....	13
----------------------------	----

Chapitre I :Généralité sur les machines-outils

I.1- Introduction :	3
I.2- Définition de la machine-outil :	3
I.3- Principe de la machine-outil :	3
I.4- Les différents types de machines-outils :	3
I-4-1-La fraiseuse :	4
I-4-2-La rectifieuse :	4
I-4-3- Le perçage :	5
I-4-4- Les machines-outils à commande numérique CNC :	5
I-4-5- La raboteuse :	6
I-4-6-Le tour :	6
I.5- Tour parallèle :	7
I.5.1- Définition :	7
I-5-2 : Principe de fonctionnement :	8
• Partie électrique :	8
I.6- Conclusion :	9

Chapitre II : Moteur asynchrone Triphasé et appareillage électrique

II.1-Introduction :	12
II.2- Définition :	12
II.3- Constitution :	13
II.3-1 : Le stator :	13
II.3-2 : Le rotor :	14
II.3-3 : La plaque à bornes :	15
II.4- Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone :	15
II.5- Bilan des puissances :	16
II.6- : Connexion au réseau :	16
II.6.1 : Couplage étoile :	16

Sommaire

II.6.2 : Couplage triangle :	17
II.7- Choix du couplage :	18
II.8- : Procèdes de démarrage d'un moteur asynchrone :.....	19
II.8.1-Démarrage direct :.....	19
• Fonctionnement du démarrage :.....	20
II.8.2 : Démarrage étoile-triangle :.....	21
• Fonctionnement du Démarrage :.....	23
II.9- : Les procèdes de freinage des MAS :	23
II.9.1- Les procèdes mécaniques :.....	24
II.9.2- Les procèdes électriques :	24
• II.9.2.1-Freinage par contre-courant :	24
• II.9.2.2-Freinage par injection de courant continu :.....	26
II.10- Généralité sur l'appareillage électrique	27
II.10.1-Introduction :	27
II.10.2-Choix et classifications de l'appareillage :	27
II.10.3 : Appareillage d'un circuit de puissance :	29
• II.10.3.1 : Disjoncteur :	29
• II.10.3.2 : Sectionneur :	29
• II.10.3.3 : Porte Fusible :	30
• II.10.3.4 : Contacteur :	30
• Blocs auxiliaires temporisés :	33
• II.10.3.5 : Relais thermique :	36
• II.10.3.6 : La défaillance de phase et Séquence de phases :	39
II.10.4 : Appareillage d'un circuit de commande :	40
• II.10.4.1 : Bouton poussoir :	40
• II.10.4.2 : contact auxiliaire :	41
• II.10.4.4 : Bloc temporisé au repos :	42
• II.10.4.5 : micro-rupteurs (Fin de course) :	42

Sommaire

II.10.4.6 : Lampes de signalisation :	43
Chapitre III : Rénovation de l'armoire électrique de commande du tour	
III.1-Introduction :	45
III.2- Présentation du hall de Technologie :	46
III.3-Description des ensembles principaux du Tour SN50 :	47
• Partie mécanique :	48
III.4- Simulation du fonctionnement du montage de l'armoire électrique :	49
III.5- Présentation de l'armoire électrique existante :	51
III.6-Démontage de l'ancienne armoire :	53
III.7- Description du fonctionnement de l'équipement électrique :	60
III.8-Essai préliminaire en laboratoire après la simulation :	62
III.9- Les essais expérimentaux :	64
III.10- Description les différentes parties du banc de test :	65
III.10.1- Source électrique :	65
III.10.2- Moteur asynchrone :	66
III.10.3- Capteur de vitesse (génératrice tachymétrique) :	66
III.10.4- Capteur de courant :	67
III.10.5- Capteur tension :	67
III.10.6- Oscilloscope :	68
III.11- Résultats expérimentaux :	68
III.12- Etat de l'armoire de commande électrique après la rénovation :	72
III.13-Améliorations fonctionnelles supplémentaires :	74
III.14- Essais de mise en service après rénovation :	76
III.14.1-Etapes réalisées :	76
III.14.2-Résultat :	77
III.15- Essai réel sur une pièce usinée :	77
Conclusion Générale	79
Références bibliographique	81

Liste de figure

Chapitre I :

Figure I.1:La fraiseuse:.....	4
Figure I.2:La rectifieuse.	4
Figure I.3:Le perçage.	5
Figure I.4:Les machines-outils à commande numérique CNC	6
Figure I.5:La raboteuse.....	6
Figure I.6:: Tour à métaux.....	7
Figure I.7:Tour parallèle.....	7
Figure I.8:Organes électrique d'un tour parallèle en vue arrière.....	9
Figure I.9:Organes électrique d'un tour parallèle en vue avant.	9

Chapitre II:

Figure II.1:Le stator du moteur asynchrone.	14
Figure II.2:Le rotor du moteur asynchrone.	14
FigureII.3:Moteur triphasé en vue détaillée.	15
Figure II.4:Bilan des puissances de MAS.	16
Figure II.5 :couplage étoile.	17
Figure II.6:Couplage triangle.	17
Figure II.7:Choix du couplage.	18
Figure II.8:Schéma de démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à cage. ...	19
Figure II.9:Schéma de démarrage étoile-triangle d'un moteur asynchrone triphasé..	22
Figure II.10:circuit de puissance et commande d'un freinage par contre-courant.	25
Figure II.11:circuit de puissance et commande d'un freinage par injection de courant continu.	26
Figure II.12: Disjoncteur et symbole.....	29
Figure II.13:Sectionneur et symbole.	29
Figure II.14:Port Fusible et Symbole.:	30
Figure II.15:Contacteur et symbole.....	30
Figure II.16:Contacteur auxiliaire.	33
Figure II.17:Blocs auxiliaires temporisés	33
Figure II.18:Relais thermique et symbole.	38
Figure II.19:La défaillance de phase et Séquence de phases et symbole.....	40
Figure II.20:Bouton poussoir NO et symbole	40
Figure II.21:Bouton poussoir NC et symbole	41
Figure II.22:Contact auxiliaire et symbole.....	41
Figure II.23: Bloc ON delay et symbole.	42
Figure II.24:Bloc OF delay et symbole.....	42
Figure II.25:Fin de course et symbole.....	43

Liste de figure

Figure II.26:Lampes de signalisation et symbole.	43
---	----

Chapitre III:

Figure III.1:L'armoire de commande du tour avant la rénovation	45
Figure III.2:Organes mécaniques d'un tour parallèle.	47
Figure III.3:Organes électrique en vue arrière.	48
Figure III.4:Organes électrique en vue avant.	49
Figure III.5:Fenêtre de logiciel CAdE_SIMU.	50
Figure III.6:L'état du tour avant la rénovation.....	52
Figure III.7:étiquetage des câbles avant le démontage.	53
Figure III.8:étiquetage des câbles dans la boîte de freinage.	54
Figure III.9:démontage l'ancienne appareils.....	54
Figure III.10:Nettoyage de l'armoire	55
Figure III.11:La plaque signalétique de moteur M1.	56
Figure III.12:La plaque signalétique de moteur M2.	56
Figure III.13:La plaque signalétique de moteur M3.	57
Figure III.14:schéma proposé de tour SN50	59
Figure III.15:prototype de l'armoire rénovée pour la commande du tour	63
Figure III.16: Plateforme expérimentale du tour (labo électrotechnique)	64
Figure III.17:Alimentation triphasé.....	65
Figure III.18:Moteur asynchrone couplé avec une tachymétrie	66
Figure III.19:Capteur de vitesse (génératrice tachymétrie).	66
Figure III.20:Capteur de courant.....	67
Figure III.21Capteur de tension:	67
Figure III.22:Oscilloscope.....	68
Figure III.23:Allure des courbes :a- Démarrage b- régime permanent c-Arrêt sans freinage	69
Figure III.24:Allures de la tension Vdc et du courant Idc (de redresseur).	70
Figure III.25:Courbe de démarrage et régime permanent et arrête avec freinage	71
Figure III.26:Vues de l'armoire électrique après la rénovation.	73
Figure III.27:Le circuit de freinage après la rénovation.	73
Figure III.28:Une prise et un lampe témoin pour indique que le tour est en marche. 74	
Figure III.30:Lampes témoins en cas de surcharge.....	75
Figure III.31:Un voyant jaune indique la position 0 ou 1 de l'interrupteur général	75
Figure III.32:Le fonctionnement de tour après la rénovation	77
Figure III.33:Un essai pratique sur une pièce réelle.	78

Liste des tableaux

Tableau II. 1:Choix du couplage en fonction du réseau	19
Tableau II.2:Types de contacteurs.	32
Tableau II.3:Catégories d'emploi des contacteurs.....	34

Résumé

Résumé :

Ce mémoire porte sur la rénovation de la commande électrique d'un tour industriel situé dans le hall de technologie. Le projet a pour objectif de moderniser l'armoire de commande pour garantir un fonctionnement plus fiable, sécurisé et conforme aux normes actuelles. Il comprend l'étude de l'état initial du système, la conception d'une nouvelle solution électrique (schémas de commande et de puissance), le choix de nouveaux composants adaptés, ainsi que la mise en œuvre de l'installation. Cette rénovation vise à améliorer la performance de la machine, assurer la sécurité des utilisateurs et prolonger la durée de vie du tour.

Summary :

This thesis focuses on the renovation of the electrical control system of an industrial lathe located in the technology hall. The aim of the project is to modernize the control cabinet to ensure more reliable, safer operation that meets current standards. The work involves studying the initial condition of the system, designing a new electrical solution (control and power diagrams), selecting appropriate new components, and carrying out the installation. This renovation seeks to improve the machine's performance, ensure user safety, and extend the lathe's service life.

ملخص :

تتناول هذه المذكرة موضوع تجديد نظام القيادة الكهربائية لمخرطة صناعية موجودة في البهو التكنولوجي. يهدف المشروع إلى تحديث لوحة التحكم لضمان تشغيل أكثر موثوقية وأماناً ووفقاً للمعايير الحالية. يشمل العمل دراسة الحالة الأصلية للمنظومة، وتصميم حل كهربائي جديد (مخططات التحكم والقوة)، واختيار مكونات جديدة مناسبة، بالإضافة إلى تنفيذ التركيب. يهدف هذا التجديد إلى تحسين أداء الماكينة، وضمان سلامة المستخدمين، وإطالة عمر المخرطة.

Introduction

Générale

Dans un contexte industriel en constante évolution, la fiabilité et la performance des équipements de production sont devenues des priorités majeures. Parmi ces équipements, le tour industriel joue un rôle essentiel dans les opérations d'usinage, en assurant une précision et une efficacité indispensables à la fabrication de pièces mécaniques. Le présent projet s'inscrit dans le cadre de la modernisation des installations du hall de technologie, à travers la rénovation de la commande électrique d'un tour industriel. Ce dernier présentait un système de commande obsolète, limitant ses performances et sa sécurité d'exploitation.

L'objectif principal de ce travail est donc de concevoir et de mettre en œuvre une nouvelle solution de commande électrique, adaptée aux exigences actuelles en termes de fiabilité, de sécurité et de facilité de maintenance. À travers cette étude, nous allons analyser le fonctionnement du tour, diagnostiquer les insuffisances de l'ancien système, proposer une architecture de commande modernisée, puis procéder à son implantation pratique et à son évaluation.

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les machines-outils, en présentant leurs types et leur importance dans le domaine industriel.

Le deuxième chapitre traite du moteur asynchrone triphasé, en détaillant son principe de fonctionnement, ses caractéristiques ainsi que ses différentes méthodes de démarrage.

Le troisième chapitre est dédié à l'étude et à la réalisation de la rénovation de la commande électrique du tour SN50, en exposant les différentes étapes de la démarche entreprise, de l'analyse de l'existant à la mise en service du nouveau système.

Chapitre I :

Généralité sur les machines-outils

I.1- Introduction :

Les machines-outils sont des équipements indispensables dans l'industrie manufacturière. Elles permettent la transformation des matériaux bruts (comme le métal ou le plastique) en pièces finies aux formes précises, grâce à des opérations telles que le tournage, le fraisage, le perçage ou encore le meulage. Apparues au début de la révolution industrielle, les machines-outils ont connu une évolution considérable, passant de mécanismes simples à des systèmes complexes, souvent automatisés. Leur rôle est de garantir précision, rapidité et répétabilité dans la production, tout en réduisant l'effort humain. Aujourd'hui, qu'elles soient classiques ou à commande numérique, les machines-outils restent au cœur de tous les secteurs industriels modernes.

I.2- Définition de la machine-outil :

Une machine-outil est un équipement mécanique destiné à exécuter un usinage, ou autre tâche répétitive, avec une précision et une puissance adaptées.[1]

I-3- Principe de la machine-outil :

La machine-outil fonctionne sur un principe de base simple : elle enlève le matériau de la pièce à usiner jusqu'à ce que la forme désirée soit obtenue. Ce processus, appelé usinage, peut être accompli de diverses manières, notamment par tournage, fraisage, perçage, alésage, brochage, rectification, entre autres. [2]

I-4- Les différents types de machines-outils :

Il existe plusieurs types de machines-outils, chacune étant conçue pour accomplir une tâche spécifique. Nous citerons quelques-uns de ces types :

I-4-1-La fraiseuse :

Cette machine sert à façonner un bloc de matière par enlèvement. L'outil permettant de réaliser cette opération est la fraise. Elle se présente sous différentes formes : cylindre, cône, tore.... Par rotation, les dents de la fraiseuse vont usiner la pièce suivant la forme désirée. [3]

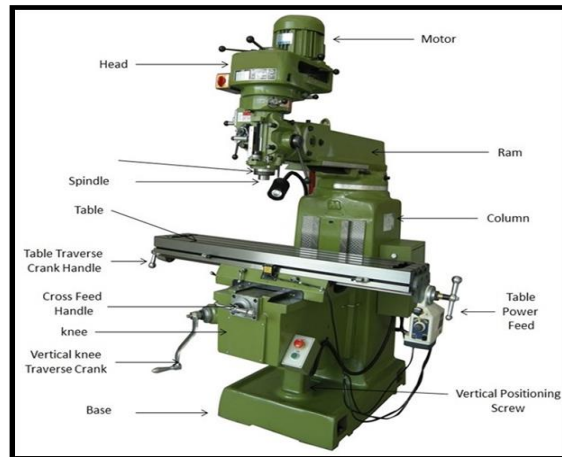


Figure I.1: La fraiseuse.

I-4-2-La rectifieuse :

Cette machine-outil sert à rectifier la surface des pièces usinées. Plusieurs types de rectifieuses existent : la rectifieuse plane, cylindrique ou de profil. [3]



Figure I.2:La rectifieuse.

I-4-3- Le perçage :

La machine de perçage est un équipement d'atelier pour percer et forer des matériaux industriels tels que le métal, acier, plastique, bois ou stratifié. Elle peut prendre des formes différentes en fonction du process dans lequel elle est employée.

Sur colonne, elle permet de procéder à des opérations ponctuelles réalisées par un opérateur. [4]

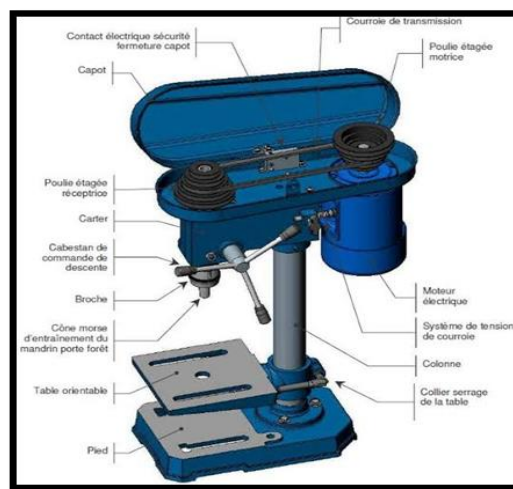


Figure I.3:Le perçage.

I-4-4- Les machines-outils à commande numérique CNC :

Une machine-outil à commande numérique (MOCN), ou simplement une machine à commande numérique (CN), est une machine équipée d'un système de commande numérique, piloté par un microprocesseur.

La commande numérique désigne l'ensemble des éléments matériels et logiciels ayant pour rôle de transmettre les instructions de mouvement à tous les organes d'une machine-outil. [5]



Figure I.4: Les machines-outils à commande numérique CNC

I-4-5- La raboteuse :

La raboteuse est une machine-outil pour l'usinage de pièces lourdes et des grandes dimensions, basé sur la génération de surfaces planes. [5]



Figure I.5: La raboteuse.

I-4-6- Le tour :

Le tour est une machine-outil destinée à usiner des surfaces de révolution principalement par enlèvement de matière, en utilisant un outil fixe pendant que la pièce tourne. Il peut réaliser des opérations comme le tournage, le filetage, le perçage, etc. [6]



Figure I.6:Tour à métaux.

I.5- Tour parallèle :

I.5.1- Définition :

Le tour parallèle figure représente la base des machines de tournage. Comme les autres équipements dédiés à cette opération, il permet l'usinage des pièces par enlèvement de matière avec une grande facilité. Il est principalement utilisé pour les travaux unitaires ainsi que pour les petites et moyennes séries, notamment sur des pièces de géométrie simple. Les différentes opérations sont effectuées manuellement par un opérateur, qui est chargé de régler les paramètres d'usinage et de lancer le cycle de travail. [5]



Figure I.7:Tour parallèle.

I-5-2 : Principe de fonctionnement :

La pièce à usiner est maintenue dans le mandrin à l'aide de mors de serrage.

La rotation du mandrin, fixé sur la broche, est assurée par un moteur principal.

L'outil de coupe est monté dans un porte-outil, lui-même fixé solidement à l'aide de vis sur une tourelle porte-outil.

Les déplacements de l'outil sont réalisés grâce aux mouvements du chariot transversal et du chariot longitudinal, entraînés par des moteurs d'avance.

La contre-pointe, située en face de la broche, permet d'effectuer des opérations telles que le pointage, le centrage, le perçage et l'alésage en bout de pièce. [10]

- **Partie électrique :**

La partie électrique est la partie la plus importante de notre travail, où nous mettrons dans les prochains chapitre l'accent sur l'étude de la partie commande du tour à étudier. Généralement cette partie contient essentiellement des moteurs asynchrones à cage et une armoire de commande pour faire fonctionner ces moteurs.

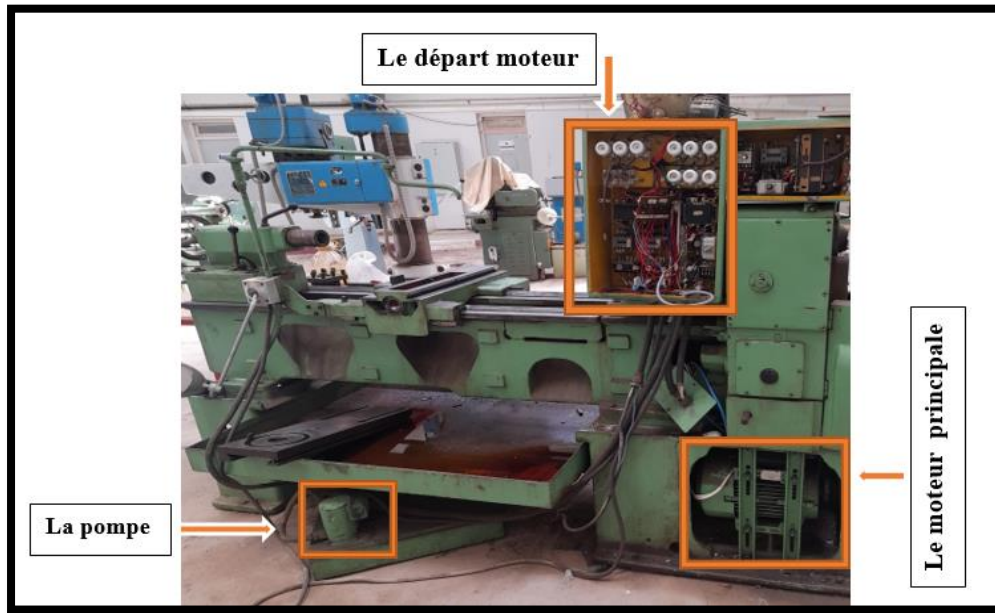


Figure I.8:Organe électrique d'un tour parallèle en vue arrière.

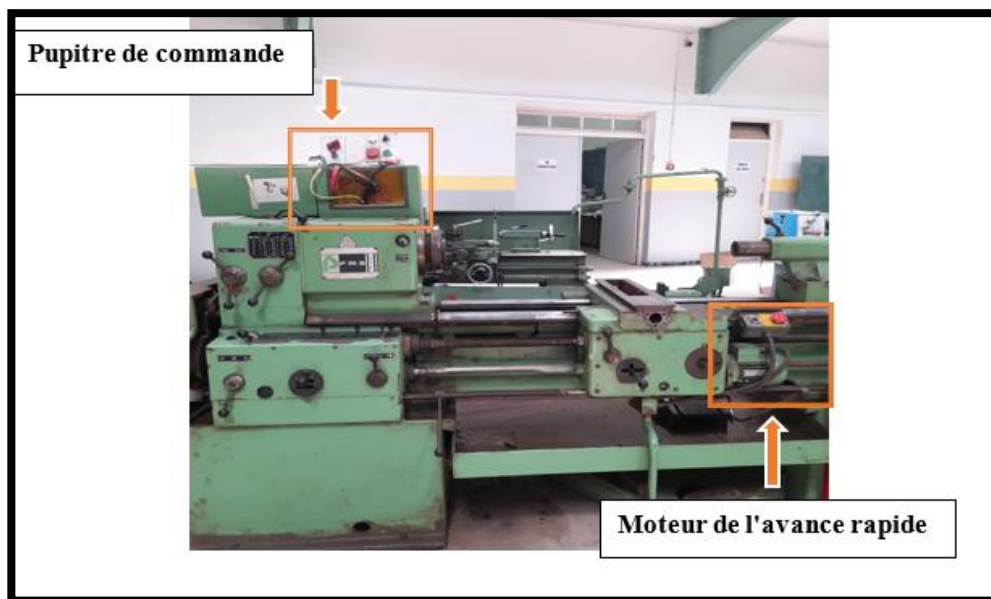


Figure I.9:Organe électrique d'un tour parallèle en vue avant.

I.6- Conclusion :

Dans ce chapitre un état de l'art des machines-outils, du point de vue définition, principe de fonctionnement et différents types a été présenté.

Nous avons mis l'action sur le tour parallèle qui nous intéresse dans notre projet de rénovation et essentiellement sa partie électrique.

Comme presque toutes ces machines-outils et en particulier le tour parallèle fonctionnent essentiellement en utilisant un ou plusieurs moteurs asynchrones, alors il s'avère nécessaire de donner une description simplifiée de ce moteur. Sa constitution, son principe de fonctionnement, le mode de couplage, son démarrage, et son freinage seront exposés dans le deuxième chapitre.

Également l'appareillage électrique associé à ces moteurs pour la commande électrique de la machine-outil a été examiné dans ce deuxième chapitre.

Chapitre II :

Moteur asynchrone Triphasé et appareillage électrique

II.1-Introduction :

Le moteur asynchrone, aussi appelé moteur à induction, est l'un des moteurs électriques les plus utilisés dans les installations industrielles et tertiaires. Son principe repose sur l'interaction entre un champ magnétique tournant, produit par le stator, et des courants induits dans le rotor, ce qui génère un couple électromagnétique. Contrairement au moteur synchrone, la vitesse du rotor est toujours légèrement inférieure à celle du champ tournant, d'où le terme "asynchrone".

On distingue principalement deux types :

- ✓ Le moteur à rotor bobiné
- ✓ Le moteur à cage d'écureuil, ce dernier étant le plus répandu en raison de sa simplicité, sa fiabilité, et son faible coût d'entretien.

Grâce à leurs performances stables, les moteurs asynchrones sont largement utilisés dans les systèmes de ventilation, les pompes, les compresseurs, les machines-outils et les convoyeurs.

Ce chapitre a pour objectif d'explorer la structure, le principe de fonctionnement, les différents procédés de démarrage et de freinage du moteur asynchrone.

II.2- Définition :

Une machine asynchrone est une machine fonctionnant en courant alternatif, caractérisée par une différence de vitesse entre le rotor et le champ magnétique tournant généré par le stator. Le rotor tourne toujours à une vitesse inférieure à celle du champ statorique. On parle également de machine à induction, car le transfert d'énergie entre le stator et le rotor s'effectue par induction électromagnétique. Son rôle principal est de convertir l'énergie électrique fournie par le courant alternatif en énergie mécanique sous forme de rotation. [13]

II.3- Constitution :

La machine asynchrone est constituée de deux parties principales : une partie fixe appelée stator et une partie mobile appelée rotor. Contrairement aux machines synchrones et à courant continu, seuls les enroulements du stator sont alimentés directement par le réseau électrique, dont la tension et la fréquence déterminent l'état magnétique de l'entrefer.

Les enroulements du rotor, quant à eux, ne sont pas connectés à une source externe mais sont bouclés sur eux-mêmes. Le moteur asynchrone ne comporte donc ni enroulement d'excitation ni aimants permanents. Le flux magnétique rotorique, nécessaire à la production du couple électromagnétique, est généré par induction à partir du champ tournant statorique. [14]

II.3-1 : Le stator :

Le stator constitue la partie fixe du moteur. Il est généralement logé dans une carcasse en fonte ou en alliage léger, qui abrite une couronne constituée de fines tôles en acier au silicium. Ces tôles sont isolées entre elles, soit par oxydation, soit par un vernis isolant, afin de limiter les pertes par hystérésis et par courants de Foucault. Ce feuilletage constitue le circuit magnétique du stator. Des encoches usinées dans ces tôles accueillent les enroulements statoriques, dont le rôle est de générer le champ magnétique tournant. Dans le cas d'un moteur triphasé, on retrouve trois enroulements distincts, chacun composé de plusieurs bobines. Le mode de couplage de ces bobines détermine le nombre de paires de pôles, et donc la vitesse de rotation du moteur. [14]



Figure II.1: Le stator du moteur asynchrone.

II.3-2 : Le rotor :

Le rotor est la partie mobile du moteur. Il est constitué d'un empilement de fines tôles isolées entre elles, formant un cylindre monté sur l'arbre moteur à l'aide d'une clavette. En fonction de sa construction, on distingue deux types principaux de rotors : le rotor à cage, également appelé "cage d'écureuil", et le rotor bobiné, équipé de bagues collectrices.

L'entrefer, espace amagnétique très mince situé entre le stator et le rotor (de l'ordre du millimètre), joue un rôle essentiel dans le couplage magnétique.^{14]}



Figure II.2: Le rotor du moteur asynchrone.

II.3-3 : La plaque à bornes :

Fixée sur la carcasse, elle contient six bornes permettant le raccordement des bobinages du stator à l'alimentation électrique. Elle sert également à réaliser les différents types de couplage. [13]

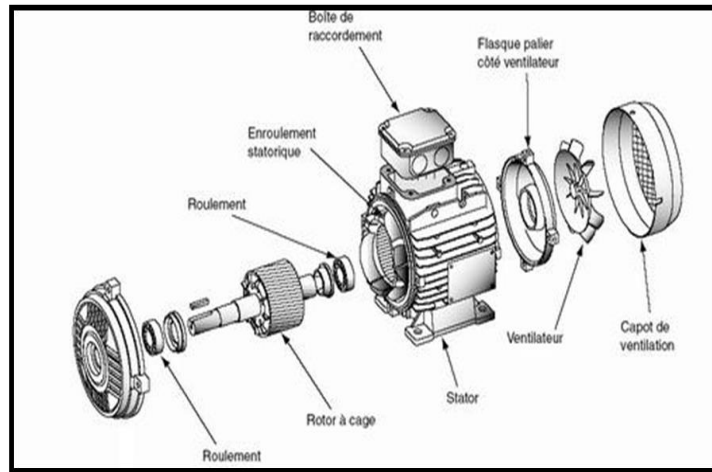


Figure II.3:Moteur triphasé en vue détaillée.

II.4- Principe de fonctionnement d'une machine asynchrone :

Le fonctionnement de la machine asynchrone repose entièrement sur la loi de l'induction électromagnétique. Lorsque le stator est alimenté par un système triphasé, il génère un champ magnétique tournant. Les conducteurs du rotor sont traversés par ce champ, ce qui induit une force électromotrice selon la loi de Faraday.

Comme les enroulements du rotor sont en court-circuit, cette force électromotrice engendre un courant dont l'intensité dépend de l'impédance rotorique. L'interaction entre ce courant et le champ magnétique tournant produit des forces sur les conducteurs du rotor. Ces forces génèrent un moment électromagnétique (couple) autour de l'axe ce qui entraîne la rotation de la machine.

La vitesse de rotation du champ (vitesse synchronique) est donnée par la relation : $n_1 = \frac{f}{p}$

p : représente le nombre de pair de pôles.

Le rapport :

$g = \frac{n_1 - n}{n_1}$ est appelé glissement de la machine asynchrone. [14]

n : Vitesse du rotor.

II.5- Bilan des puissances :

L'objectif de la MAS consiste à transmettre une puissance absorbée (électrique) vers une puissance utile (mécanique) nécessaire à l'entraînement d'une charge mécanique. Ce transfert de puissance passe par quelques étapes comme sur la Figure ci-dessous : [14]

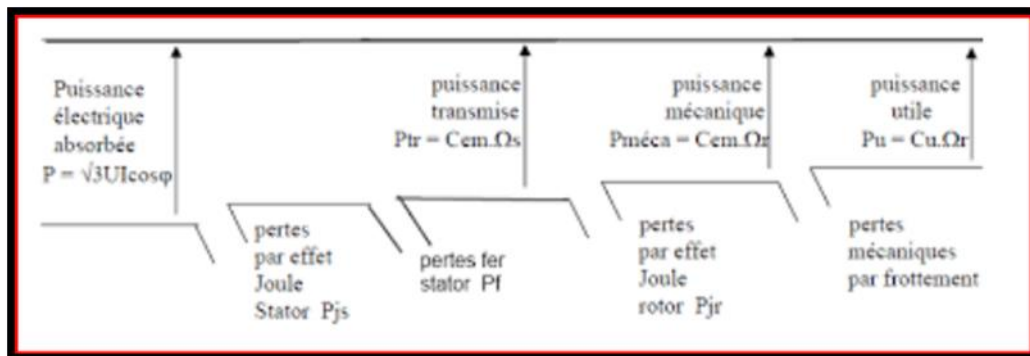


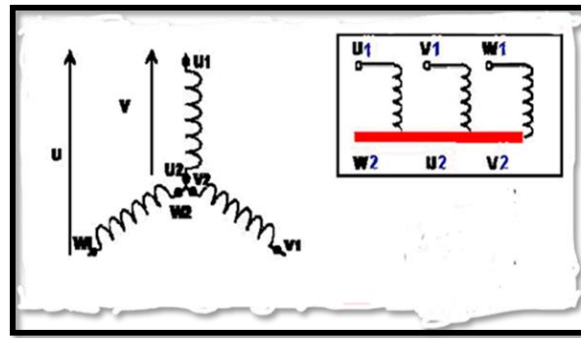
Figure II.4:Bilan des puissances de MAS.

II.6- : Connexion au réseau :

Le stator des moteurs asynchrones standards est constitué de trois enroulements, raccordés à une plaque à bornes comportant six connexions identifiées par U1, V1, W1 et U2, V2, W2. Ces enroulements sont câblés de manière à ce que la tension d'alimentation du réseau corresponde à la tension nominale supportée par chaque enroulement du moteur. [15]

II.6.1 : Couplage étoile :

Dans un couplage étoile, chaque enroulement du moteur est soumis à la tension simple (tension entre phase et neutre). Lorsque la tension la plus élevée indiquée sur la plaque signalétique du moteur correspond à la tension entre phases du réseau, le couplage étoile est alors le plus adapté [15]



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

Figure II.5: Couplage étoile.

II.6.2 : Couplage triangle :

Dans un couplage triangle, chaque enroulement est connecté entre deux phases et est donc soumis à la tension composée U (tension entre phases). Lorsque la plus petite tension indiquée sur la plaque signalétique du moteur correspond à la tension du réseau, on opte pour un couplage triangle. [15]

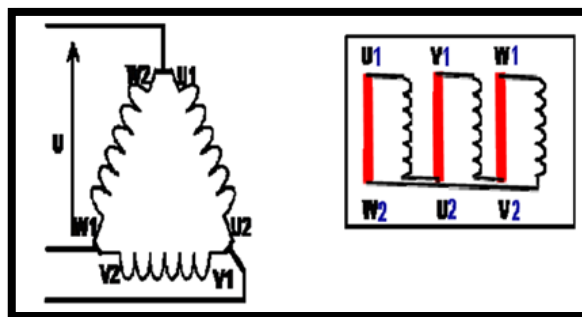


Figure II.6: Couplage triangle.

II.7- Choix du couplage :

Avant de brancher un moteur il faut connaître son réseau. Un réseau électrique est caractérisé par le nombre de conducteur (phases) qu'il possède.

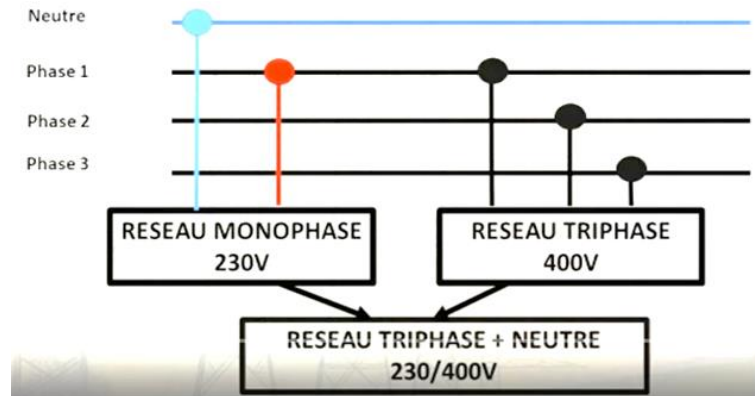


Figure II.7:Choix du couplage.

Il y a deux possibilités pour coupler un moteur asynchrone :

- 1- Soit la plaque signalétique du moteur nous indique directement comment coupler le moteur en fonction du réseau.
- 2- Aucune indication sur la plaque signalétique du moteur sauf la valeur de deux tensions. Pour ce cas il faut prendre la plus petite tension inscrite dans cette plaque et regarder avec la tension du réseau. Et coupler le moteur de telle sorte que la tension correspond à la tension admissible aux bornes d'un enroulement. **Tableau II.1** récapitule le couplage à adopter en fonction des tensions du moteur et du réseau.

Moteur Réseau	127V / 230V	230V / 400V	400V / 690V
127V / 230V	Etoile	Triangle	Aucun
230V / 400V	Aucun	Etoile	Triangle
400V / 690V	Aucun	Aucun	Etoile

Tableau II.1: Choix du couplage en fonction du réseau.

En conclusion on doit adopter un couplage adéquat pour d'une part, ne pas grillé le bobinage du moteur, et d'autre part le moteur fonctionne normalement.

II.8- : Procèdes de démarrage d'un moteur asynchrone :

II.8.1-Démarrage direct :

C'est le mode de démarrage le plus simple dans lequel le stator est directement couplé sur le réseau. Le moteur démarre sur ses caractéristiques naturelles. [15]

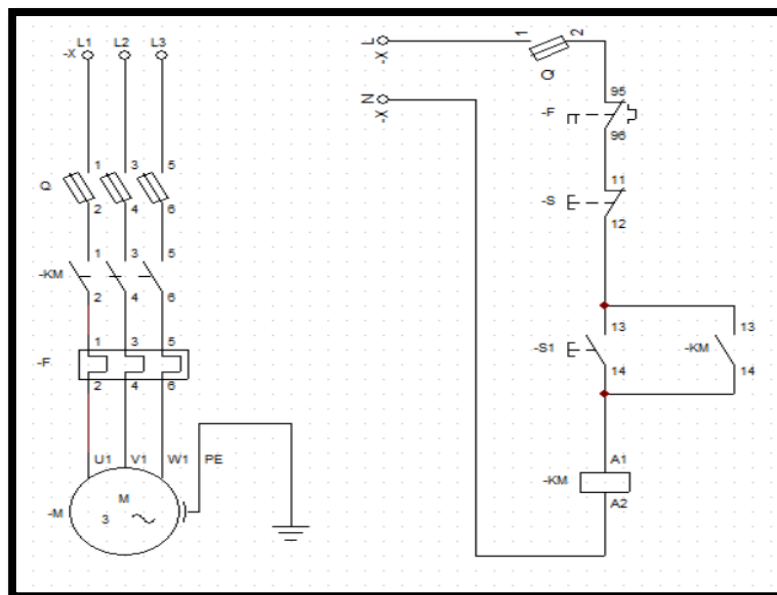


Figure II.8: Schéma de démarrage direct d'un moteur asynchrone triphasé à cage.

L1, L2, L3 : alimentation triphasée **F** : contact auxiliaire du relais thermique

Q : fusible sectionneur

S : bouton poussoir arrêt

KM : contacteur principal

S1 : bouton poussoir marche

F : relais thermique

KM : bobine du contacteur

M : moteur triphasé

KM : contact auxiliaire du **contacteur**

Fonctionnement du démarrage :

Si l'on appuie sur le bouton-poussoir **S1** « marche » la bobine **KM** est alimentée, ce qui provoque la fermeture des contacts de puissance **KM** dans le circuit de puissance, et du contact auxiliaire **KM** placé en parallèle avec le bouton-poussoir **S1**. Le sectionneur **Q** étant fermé, le moteur démarre.

En relâchant le bouton-poussoir **S1** « marche » la bobine demeure alimentée par le biais de son contact auxiliaire **KM** qui joue le rôle de maintien de l'alimentation de la bobine. Les contacts de puissance **KM** restent alors fermés et le moteur continue de tourner.

Si l'on appuie sur le bouton-poussoir **S** « arrêt » on coupe l'alimentation de la bobine **KM**. Par conséquent, ses contacts de puissance et de maintien sont relâchés, causant l'ouverture des circuits de commande et de puissance. Le moteur s'arrête.

Dans tous les cas, si une surcharge apparaît, le contact **F** du relais thermique s'ouvre. La bobine **KM** n'étant plus excitée, ses contacts de puissance **KM** s'ouvrent et le moteur s'arrête. Il s'arrête également lorsqu'une surintensité se produit, provoquant la fusion du fusible.

Si les bouton-poussoir de marche et d'arrêt sont actionnés simultanément, la priorité est accordée à la commande d'arrêt, car aucun courant ne peut circuler dans le circuit de commande.

- **Avantages**

- Simplicité de l'appareillage donc le Coût est réduit.
- Couple de démarrage important.
- Simplicité de mise en œuvre, ne nécessite pas de compétences particulières pour être câblé et mis en route.
- Temps de démarrage court. [15]

- **Inconvénients**

- Appel du courant important. Le Fort appel de courant à la mise sous tension du moteur peut perturber des équipements sensibles alimentés par le même départ,
- Démarrage brutal « Sur couple » au démarrage du moteur qui provoque des « à-coups » de charge entraînant une usure mécanique importante. [15]
- Utilisable seulement avec des moteurs de faible puissance (moins de 5 kW).

II.8.2 : Démarrage étoile-triangle :

Lors de la mise sous tension d'un moteur asynchrone, celui-ci provoque un fort appel de courant qui peut provoquer des chutes de tension importantes dans une installation électrique. Pour ces raisons en autres, il faut parfois effectuer un démarrage différent du démarrage direct.

Il est donc logique de limiter le courant pendant le démarrage à une valeur acceptable. Mais si l'on limite le courant, on limite du fait la tension (dans certain cas seulement). Or le couple est lié à la tension d'alimentation par la loi :

On voit bien le problème apparaître. Si on limite la tension, on limite le couple du moteur. Le fait de diminuer la tension de 3 diminue le couple par 3.

Le démarrage étoile-triangle ne peut être utilisé qu'avec un moteur sur lequel les deux extrémités de chacun des trois enroulements statoriques sont ramenées sur la plaque à bornes. Par ailleurs, le bobinage doit être réalisé de telle sorte que le couplage triangle corresponde à la tension du réseau.

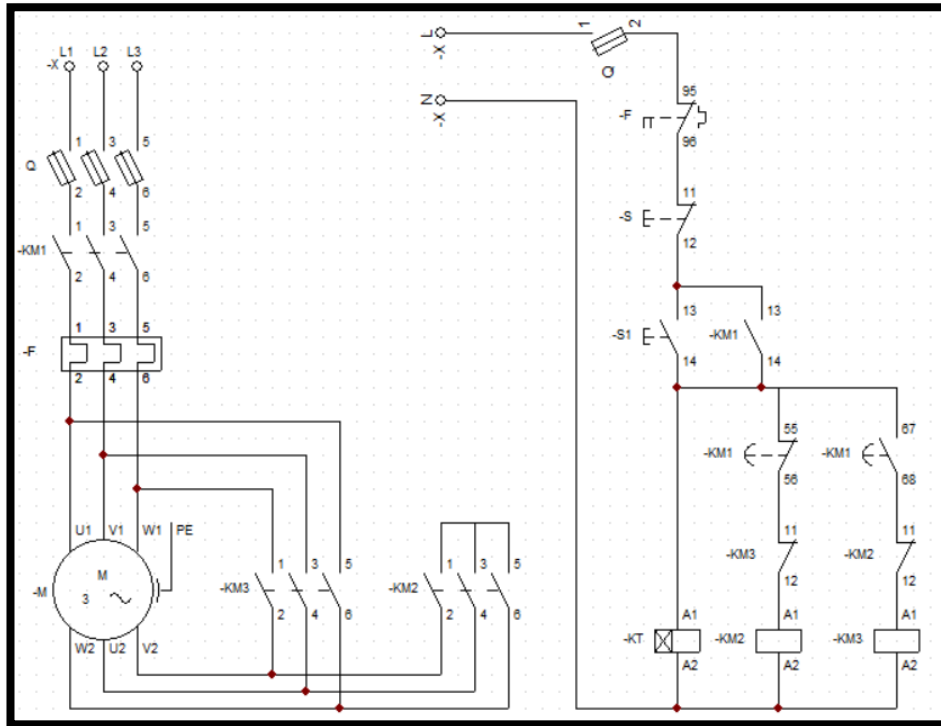


Figure II.9: Schéma de démarrage étoile-triangle d'un moteur asynchrone triphasé.

L1, L2, L3 : Les trois phases d'alimentation électrique.

Q : Disjoncteur général pour la protection et la mise hors tension.

F : Fusibles de protection contre les surintensités.

KM1 : Contacteur principal (ligne).

KM2 : Contacteur étoile (Y).

KM3 : Contacteur triangle (Δ).

M : Moteur triphasé.

F : Protection thermique (relais thermique).

S : Bouton-poussoir d'arrêt.

S1 : Bouton-poussoir de mise en marche.

KM1, KM2, KM3 : Bobines des contacteurs (commande).

KT : Relais temporisé (minuterie) qui gère le passage de l'étoile au triangle.

Fonctionnement du Démarrage :

On appuie sur **S1**, **KM1** (ligne) et **KM2** (étoile) s'enclenchent, le moteur démarre en étoile (courant réduit). Le relais temporisé **KT** commence son décompte. Passage en triangle : Après le temps réglé sur **KT**, **KM2** (étoile) se déconnecte. **KM3** (triangle) s'enclenche, le moteur fonctionne alors en triangle (pleine puissance).

Arrêt :

En appuyant sur **S** ou en cas de défaut (relais thermique **F**), tout le circuit est coupé et le moteur s'arrête.

- **Avantages**

- Appel de courant en étoile réduit au tiers de sa valeur en direct.
- Faible complication d'appareillage.

II.9- : Les procédés de freinage des MAS :

Dans un grand nombre d'applications, l'arrêt du moteur est obtenu simplement par décélération naturelle. Le temps de décélération dépend uniquement de l'inertie de la machine entraînée. Mais il est souvent nécessaire de réduire ce temps. Lorsque la sécurité l'exige, le freinage doit permettre d'obtenir un temps d'arrêt plus court que celui obtenu par un simple appui sur le bouton d'arrêt. Dans beaucoup des cas en industrie, le freinage doit être immédiat lors de l'appui sur le bouton arrêt d'urgence.

On dispose de deux types de freinage :

- Les procédés mécaniques.
- Les procédés électriques. [16]

II.9.1- Les procédés mécaniques :

Il s'agit d'un frein à disque incorpore au moteur, on appelle l'ensemble moteur frein. C'est une action effectuée sur le rotor.

Fonctionnement :

Une bobine commande le déplacement d'un disque bloque en rotation :

- Ce disque vient en contact avec un disque fixe sur le rotor du moteur.
- Le frottement des deux disques provoque le ralentissement du moteur.

II.9.2- Les procédés électriques :

C'est une action effectuée sur le stator. Il existe deux types de freinage :

- Freinage par contre-courant.
- Freinage par injection du courant continu. [16]

II.9.2.1-Freinage par contre-courant :

Le freinage par contre-courant consiste à inverser deux phases d'alimentation d'un moteur en marche pour provoquer une rotation en sens inverse, ce qui freine rapidement le moteur. Lorsque sa vitesse $n = 0$, l'alimentation est coupée pour éviter qu'il reparte à l'envers. Normalement un capteur tachymétrique va se charger de ce travail.

Ce procédé génère un fort courant, nécessitant l'ajout de résistances en série avec le stator. [16]

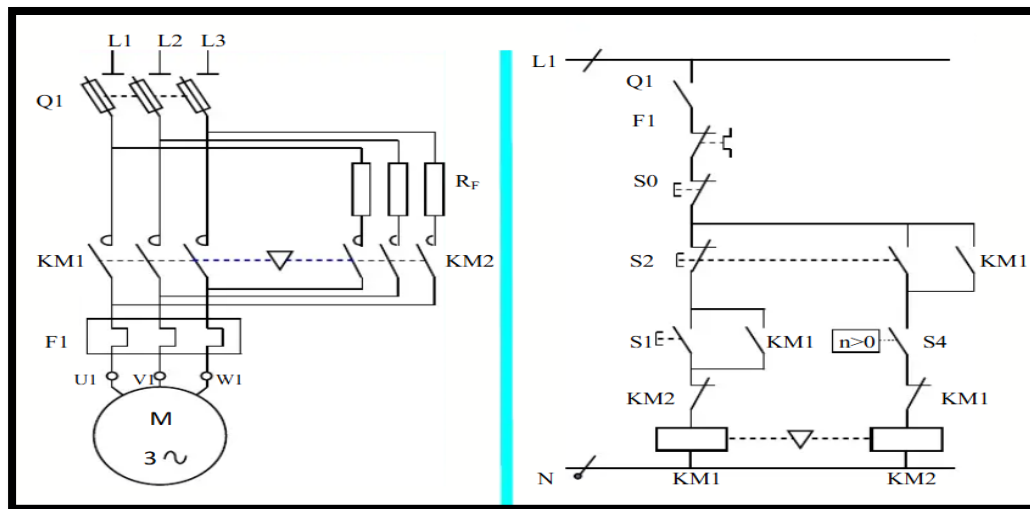


Figure II.10: Circuit de puissance et commande d'un freinage par contre-courant.

Fonctionnement du montage :

En marche normale, seul **KM1** est fermé.

En freinage, **KM1** s'ouvre et **KM2** se ferme pour inverser deux phases le moteur freine.

On Appuie sur **S2** le contacteur **KM1** s'enclenche le moteur tourne.

Lorsqu'on arrête le moteur, **S4** détecte que le moteur tourne encore **KM2** s'active pour freiner.

Quand la vitesse devient $n = 0$, **S4** s'ouvre **KM2** s'arrête fin du freinage.

Inconvénient : Ce mode de freinage a un inconvénient majeur car il implique des courants absorbés importants (environ 7 fois I_n). Le changement de sens de rotation, moteur lance, implique que le moteur doit alors vaincre un couple résistant plus important. Il va donc consommer beaucoup plus de courant. Pour limiter ce dernier, on doit placer des résistances en série avec le stator.

II.9.2.2-Freinage par injection de courant continu :

Lorsqu'on applique une tension triphasée aux bornes du stator d'un moteur asynchrone triphasé, on crée un champ tournant qui entraîne le rotor en rotation à une fréquence de rotation légèrement inférieure en raison du glissement.

Si tout en coupant l'alimentation triphasée, on applique à ce stator une tension continu, on crée alors un champ fixe. Ce champ fixe a pour effet de bloquer la rotation du rotor donc du moteur. En courant continu, il n'y a pas d'impédance et seule la résistance du bobinage limite alors le courant dans le circuit. En conséquence, la tension appliquée doit être limitée à quelques dizaines de volts afin que le courant injecté soit de l'ordre de 1.3 In. [17]

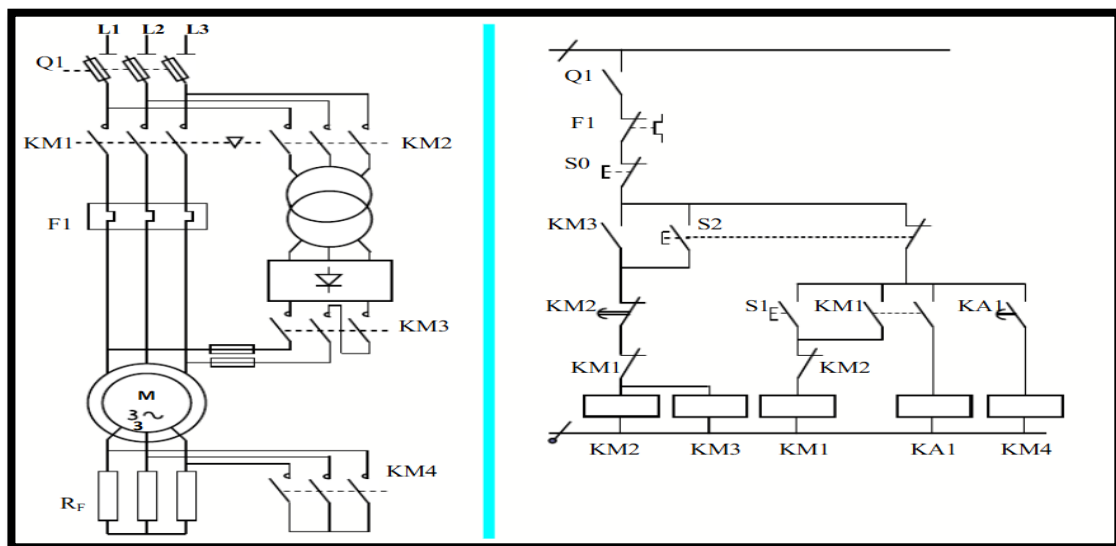


Figure II.11:Circuit de puissance et commande d'un freinage par injection de courant continu.

En marche normale :

KM1 fermé, **KM2** et **KM3** ouverts moteur alimenté normalement.

En freinage :

KM1 ouvert et **KM2** fermé pour isoler le moteur.

KM3 fermé pour injecter un courant continu dans le stator.

Le champ magnétique fixe ainsi créer arrête la rotation du rotor.

S1 enclenche **KM1** le moteur démarre.

Quand on appuie sur arrêt (ou atteint fin de course) : **KM1** se coupe, **KM2** et **KM3** s'activent pour injecter le courant continu. **KA1** peut servir à temporiser l'arrêt pour ne pas surchauffer le moteur.

II.10- Généralité sur l'appareillage électrique

II.10.1-Introduction :

L'appareillage électrique est un élément qui permet d'obtenir la protection et l'exploitation sûre et ininterrompue d'un réseau électrique. Il permet d'adapter, à chaque instant, la structure du réseau aux besoins de ses utilisateurs, producteurs et consommateurs d'électricité, et de préserver, totalement ou partiellement, cette fonction en cas d'incident.

II.10.2-Choix et classifications de l'appareillage :

Pour choisir l'appareillage électrique adapté au récepteur demandé, une bonne connaissance du comportement du récepteur lors de l'utilisation normale et lors de dysfonctionnement en prenant en considération la cadence de fonctionnement, le risque de surcharge, la résistance aux courts-circuits et la résistance aux surtensions. Les constituants (appareillages) doivent être conformes aux normes correspondantes et convenir à leur application particulière en ce qui concerne la présentation extérieure de l'ensemble, leurs caractéristiques électriques et mécaniques.

L'appareillage électrique est classé en plusieurs catégories selon :

a. Sa fonction

Pour adapter la source d'énergie au comportement du récepteur, il est défini cinq grandes fonctions à remplir par l'appareillage électrique :

- le sectionnement
- l'interruption
- la protection contre les courts-circuits
- la protection contre les surcharges
- la commutation.

b. Sa tension

On distingue les domaines de tension suivants :

- La basse tension BT qui concerne les tensions inférieures à 1 kV.
- la moyenne tension MT (HTA) qui concerne les tensions entre 1 kV et 50 kV.
- la haute tension HT (HTB) qui concerne les tensions supérieures à 50 kV.

c. Sa destination

L'appareillage électrique est destiné à fonctionner dans les réseaux ou installations principaux suivants :

- installations domestiques BT (< 1 kV)
- installations industrielles BT (< 1 kV)
- installations industrielles HT (3,6 à 24 kV)
- réseaux de distribution (< 52 kV)
- réseaux de répartition ou de transport (≥ 52 kV)

II.10.3 : Appareillage d'un circuit de puissance :

II.10.3.1 : Disjoncteur :

C'est un appareil de protection qui comporte un relais magnétique qui protège contre les court-circuit.

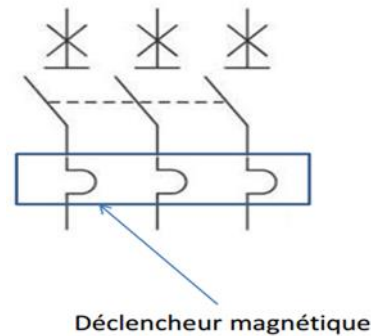


Figure II.12: Disjoncteur et symbole.

II.10.3.2 : Sectionneur :

Sa fonction : Assurer le sectionnement (séparation du réseau) au départ des équipements. Le pouvoir de coupure est le courant maximal qu'un appareil de sectionnement peut interrompre sans aucun endommagement.

Le sectionneur n'a pas de pouvoir de coupure, il doit être manipulé à vide. Dans la plupart des cas il comporte des fusibles de protection. [18]

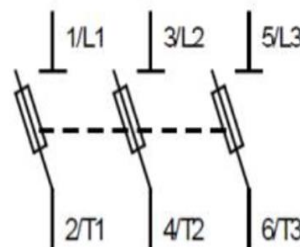
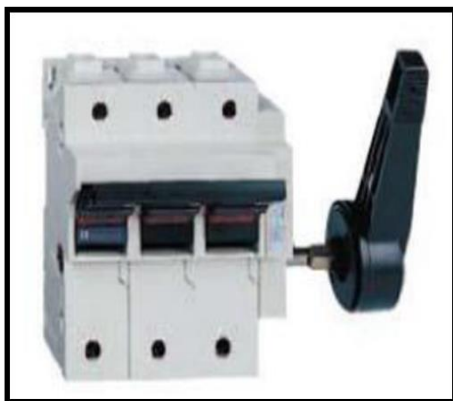


Figure II.13: Sectionneur et symbole.

II.10.3.3 : Porte Fusible :

C'est élément comportant un fil conducteur, grâce à sa fusion, il interrompt le circuit électrique lorsqu'il est soumis à une intensité du courant qui dépasse la valeur maximale supportée par le fil. [18]

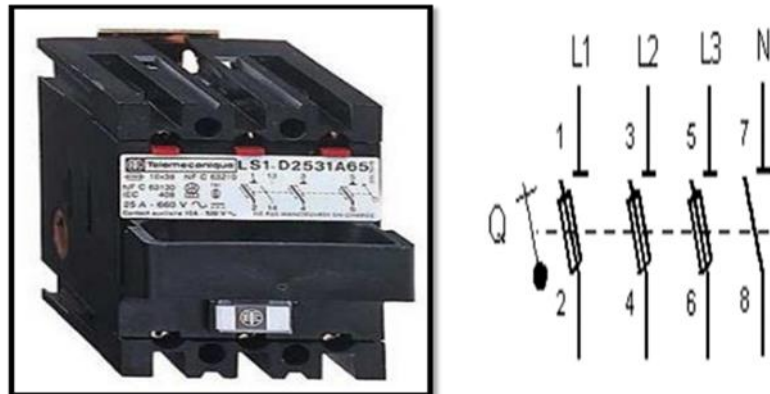


Figure II.14:Port Fusible et Symbole.

II.10.3.4 : Contacteur :

Un contacteur est un appareil électrique destiné à établir ou interrompre le passage du courant, à partir d'une commande à distance. Similaire à un relais, il est conçu pour gérer des courants plus importants.

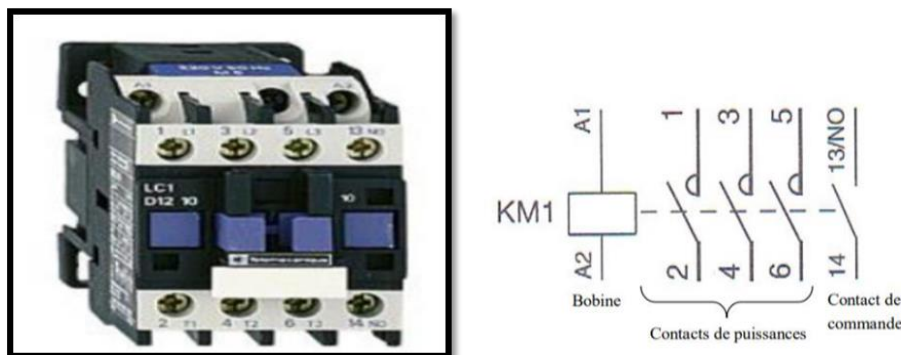


Figure II.15:Contacteur et symbole.

❖ **Fonction du contacteur :**

Il allume ou éteint la charge électrique via un faible signal de commande (généralement provenant d'un circuit de commande basse tension), permettant ainsi de contrôler en toute sécurité des charges importantes.

❖ **Principaux Composants Contacteur :**

1- Bobine :

Génère un champ magnétique lorsqu'elle est alimentée en électricité, ce qui force les contacts à conduire le courant.

2- Contacts principaux :

Ils sont traversés par des courants élevés et se ferment lorsque le contacteur est activé.

3- Contacts auxiliaires :

Utilisés dans les circuits de commande, ils indiquent l'état du contacteur (ouvert ou fermé).

4- Ressorts :

Rétablissent la position initiale des contacts lorsque l'alimentation de la bobine est coupée.

❖ **Types de contacteurs :**

- ✓ Selon le courant : charges légères, moyennes, fortes.
- ✓ Selon la tension : contacteurs avec une tension de commande de 24 V, 110 V, 220 V, etc.

❖ **Applications des contacteurs :**

- ✓ Démarrage de moteurs électriques.
- ✓ Commande d'éclairage industriel.
- ✓ Commutation entre sources d'alimentation (secteur/générateur).

- ✓ Circuits de contrôle automatisés (automates programmables, minuterie, etc.).

Un contacteur de puissance ou auxiliaire est équipé de contact **NC** dit "Normally Closed "ou de contact **NO** dit "Normally Open".

Ces contacts peuvent être utilisés dans la partie commande (contact auxiliaire) ou dans la partie puissance (contact de puissance) de l'installation en fonction de leurs caractéristiques électriques.

La différence entre contact de puissance et contact auxiliaire réside dans le fait que le contact de puissance est prévu pour résister à l'apparition d'un arc électrique issu d'un fort courant, à l'ouverture ou à la fermeture du circuit.

Le contact auxiliaire fait partie de la partie commande du montage dont les courants restent faibles face à la partie puissance.

Le contacteur est repéré KM (KM1, KMA...) aussi bien pour la bobine et les contacts.

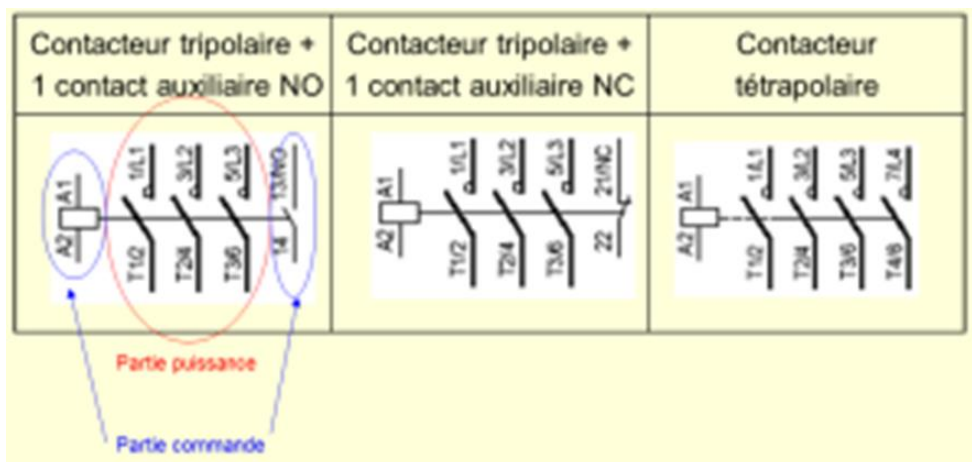


Tableau II.2:Types de contacteurs.

Le contacteur auxiliaire est utilisé dans la partie commande des circuits. Il est utilisé pour relayer les capteurs (plus de contacts), permettre de réaliser des commandes plus complexes.

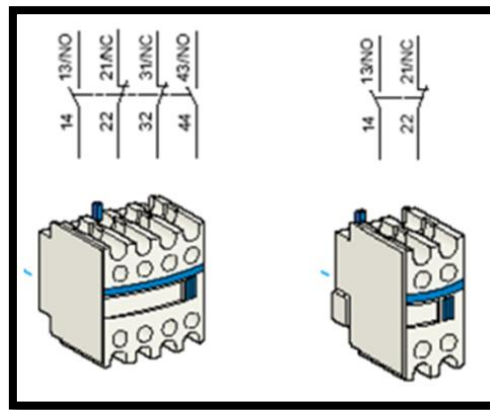


Figure II.16: Contacteur auxiliaire.

On peut ajouter au contacteur des blocs de contacts auxiliaires temporisés ou non.

Il est repéré dans les schémas par KA, (KA1, KAA...) aussi bien pour la bobine et les contacts.

❖ Blocs auxiliaires temporisés :

Ils contiennent des contacts auxiliaires temporisé. Ils ouvrent ou ferment un ou plusieurs contacts avec un retard réglable.

- Si le retard à lieu après l'alimentation du contacteur sur lequel ils sont dépendants, il s'agira d'une temporisation au travail.
- Si le retard à lieu après la coupure du contacteur sur lequel ils sont dépendants, il s'agira d'une temporisation au repos.

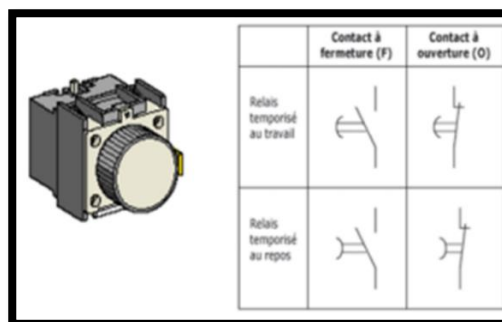


Figure II.17: Blocs auxiliaires temporisés.

❖ Choix du contacteur :

Le choix d'un contacteur s'effectue à l'aide des **tableaux II.3** et **tableaux II.4** et en fonction de la catégorie de fonctionnement (AC1 à AC4 ou DC1 à DC5).

❖ Catégories d'emploi :

Les catégories d'emploi normalisées fixent les valeurs de courant que le contacteur doit établir et couper.

Elles dépendent :

- De la nature du récepteur.
- Des conditions dans lesquelles s'effectuent fermetures et ouvertures.

	Catégorie	Récepteur	Fonctionnement
Alternatif	AC - 1	Four à résistances	Charges non inductives ou faiblement inductives.
	AC - 2	Moteur à bagues	Démarrage, inversion de marche.
	AC - 3	Moteur à cage	Démarrage, coupure du moteur lancé.
	AC - 4	Moteur à cage	Démarrage, inversion, marche par à-coups.
Continu	DC - 1	Résistance	Charges non inductives.
	DC - 2	Moteur dérivation	Démarrage, coupure.
	DC - 3	Moteur dérivation	Démarrage, inversion, à-coups.
	DC - 4	Moteur série	Démarrage, coupure.
	DC - 5	Moteur série	Démarrage, inversion, à-coups.

Tableau II.3:Catégories d'emploi des contacteurs.

Chapitre II : Moteur asynchrone triphasé et appareillage électrique

Tableau I : Courant et puissance en catégories AC3-AC4

Taille des contacteurs		LC1-LP1-K06	LC1-LP1-K09	LC1-LP1-K12	LC1-LP1-D09	LC1-LP1-D12	LC1-LP1-D18	LC1-LP1-D25	LC1-LP1-D32	LC1-LP1-D38	LC1-LP1-D40	LC1-LP1-D50	LC1-LP1-D65	LC1-LP1-D80	LC1-LP1-D95
courant d'emploi maximal en AC-3	≤ 440 V	A	6	9	12	9	12	18	25	32	38	40	50	65	95
puissance nominale	220/240 V	kW	1,5	2,2	3	2,2	3	4	5,5	7,5	9	11	15	18,5	25
	380/400 V	kW	2,2	4	5,5	4	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45
d'emploi P	415 V	kW	2,2	4	5,5	4	5,5	9	11	15	18,5	22	25	37	45
(puissances normalisées	440 V	kW	3	4	5,5	4	5,5	9	11	15	18,5	22	30	37	45
	500 V	kW	3	4	4	5,5	7,5	10	15	18,5	22	30	37	55	55
des puissances	660/690 V	kW	3	4	4	5,5	7,5	10	15	18,5	22	30	37	45	45
En catégorie AC-4															
courant coupé maxi	≤ 440 V	A	36	54	54	54	72	108	150	192	192	240	300	390	570
le maxi coupé = $6 \times$ moteur															
	220/230 V	kW	0,75	1,1	1,1	1,5	1,5	2,2	3	4	4	4	5,5	7,5	9
	380/400 V	kW	1,5	2,2	2,2	2,2	3,7	4	5,5	7,5	7,5	9	11	11	15
	415 V	kW	1,5	2,2	2,2	2,2	3	3,7	5,5	7,5	7,5	9	11	11	15
	440 V	kW	1,5	2,2	2,2	2,2	3	3,7	5,5	7,5	7,5	11	11	15	15
	500 V	kW	2,2	3	3	3	4	5,5	7,5	9	9	11	15	18,5	22
	660/690 V	kW	3	4	4	4	5,5	7,5	10	11	11	15	18,5	22	25

Tableau III : Nombre de cycles en catégorie AC4.
Commande de moteur triphasé asynchrone à cage (AC-4)
ou à bague (AC-2) avec coupure moteur calé
($U_n \leq 440$ V).
Le courant I_c coupé en AC4 est égal à six fois I_n
(I_n : courant nominal du moteur).

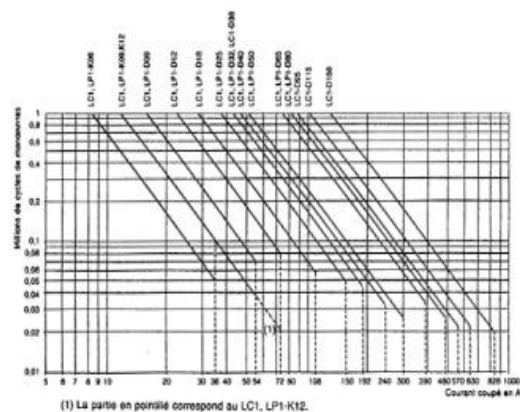
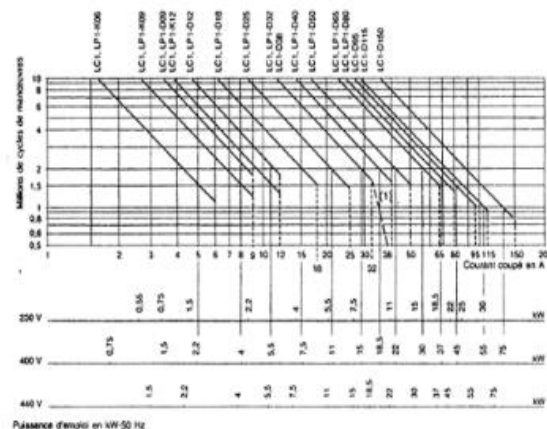


Tableau II : Nombre de cycles en catégorie AC3.
Commande de moteur triphasé asynchrone à cage
avec coupure, moteur lancé ($U_n \leq 440$ V) en AC3.
Le courant I_c coupé en AC3 est égal au courant nominal
absorbé par le moteur.



Chapitre II : Moteur asynchrone triphasé et appareillage électrique

Contacteurs tripolaires

puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3 (θ ≤ 60 °C)							courant assigné d'emploi en AC-3 440 V jusqu'à (A)	contacts auxiliaires instantanés		références de base à compléter par le repère de la tension (2) fixation (1)
220/230 V (kW)	380/400 V (kW)	415 V (kW)	440 V (kW)	500 V (kW)	660/690 V (kW)	1000 V (kW)				
raccordement par vis-étriers ou connecteurs										
2,2	4	4	4	5,5	5,5	-	9	1	1	LC1D09..
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	-	12	1	1	LC1D12..
4	7,5	9	9	10	10	-	18	1	1	LC1D18..
5,5	11	11	11	15	15	-	25	1	1	LC1D25..
7,5	15	15	15	18,5	18,5	-	32	1	1	LC1D32..
9	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	-	38	1	1	LC1D38..
22	37	45	45	55	45	45	80	1	1	LC1D80..
25	45	45	45	55	45	45	95	1	1	LC1D95..
30	55	59	59	75	80	65	115	1	1	LC1D115..
40	75	80	80	90	100	75	150	1	1	LC1D150..

Contacteurs-inverseurs tripolaire

puissances normalisées des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3 (θ ≤ 60 °C)							courant d'emploi en AC-3 440 V jusqu'à (A)	contacts auxiliaires instantanés		contacteurs livrés avec bobines références de base à compléter par le repère de la tension (2) fixation (1)	
220/	380/				660/			par contacteur			
230 V	400 V	415 V	440 V	500 V	690 V	1000 V					
(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)					
raccordement par vis-étriers ou connecteurs											
(connexions puissance déjà réalisées. Condamnation mécanique sans verrouillage électrique)											
2,2	4	4	4	5,5	5,5	-	9	1	1	LC2D09** (3)	
3	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	-	12	1	1	LC2D12** (3)	
4	7,5	9	9	10	10	-	18	1	1	LC2D18** (3)	
5,5	11	11	11	15	15	-	25	1	1	LC2D25** (3)	
7,5	15	15	15	18,5	18,5	-	32	1	1	LC2D32** (3)	
9	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	-	38	1	1	LC2D38** (3)	
22	37	45	45	55	45	-	80	1	1	LC2D80**	
25	45	45	45	55	45	-	95	1	1	LC2D95**	
(connexions puissance déjà réalisées. Condamnation mécanique avec verrouillage électrique)											
30	55	59	59	75	80	65	115	1	1	LC2D115**	
40	75	80	80	90	100	75	150	1	1	LC2D150**	

Repère de la tension de commande pour contacteurs et contacteurs-inverseurs

courant alternatif														
volts ~	24	42	48	110	115	220	230	240	380	400	415	440	500	
Contacteurs LC•D09... D150 et LC•DT20... DT40 (bobines antiparasitées d'origine sur D115 et D150)														
50/60 Hz	B7	D7	E7	F7	FE7	M7	P7	U7	Q7	V7	N7	R7	-	
Contacteurs LC•D80... D115														
50 Hz	B5	D5	E5	F5	FE5	M5	P5	U5	Q5	V5	N5	R5	S5	
60 Hz	B6	-	E6	F6	-	M6	-	U6	Q6	-	-	R6	-	
courant continu														
volts ---	12	24	36	48	60	72	110	125	220	250	440			
Contacteurs LC•D09... D65A et LC•DT20... DT80A (bobines antiparasitées d'origine avec antiparasitage amovible)														
U de 0,7... 1,25 Uc	JD	BD	CD	ED	ND	SD	FD	GD	MD	UD	RD			
Contacteurs LC• ou LP•D80... D095														
U de 0,85... 1,1 Uc	JD	BD	CD	ED	ND	SD	FD	GD	MD	UD	RD			
U de 0,75... 1,2 Uc	JW	BW	CW	EW	-	SW	FW	-	MW	-	-			
Contacteurs LC•D115 et LC•D150 (bobines antiparasitées d'origine)														
U de 0,75... 1,2 Uc	-	BD	-	ED	ND	SD	FD	GD	MD	UD	RD			

II.10.3.5 : Relais thermique :

L'augmentation excessive de l'intensité consommé par un moteur se traduit par un échauffement des enroulements pouvant entraîner la destruction du moteur.

Les causes des surintensités sont nombreuses :

- Baisse de la tension du réseau.
- Surcharge mécanique (roulements usés, couple trop important).
- Fonctionnement sur deux phases.
- Surdébit (notamment pour les ventilateurs de soufflage, de reprise, d'extraction).
- Surcouple au démarrage.
- démarrage trop fréquent.

Les relais thermiques protègent les moteurs électriques contre les surintensités. C'est est un appareil qui protège le récepteur placé en aval contre les surcharges et les coupures de phase. Pour cela, il surveille en permanence le courant dans le récepteur.

En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un contact du relais thermique ouvre le circuit de commande d'un contacteur est le contacteur qui coupe le courant dans le récepteur.

Les surcharges mécaniques et les défauts réseaux (manque d'une phase) provoquent un échauffement excessif d'un moteur pouvant aller jusqu'à sa destruction. La protection contre les surcharges est donc assurée par un relais de protection thermique. [19]

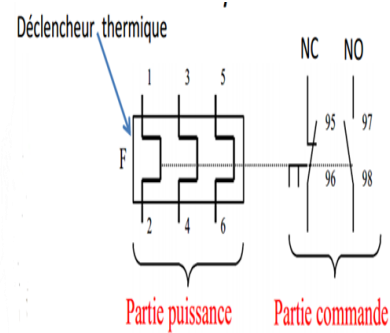


Figure II.18: Relais thermique et symbole.

Le relais thermique utilise un bilame formé de deux lames minces de métaux ayant des coefficients de dilatation différents.

Le bilame s'incurve lorsque sa température augmente.

Le relais thermique n'a pas de pouvoir de coupure, il est toujours associé à un contacteur. Il est toujours associé à un contacteur. Il coupera par le biais d'un contact auxiliaire l'alimentation du contacteur dans la partie commande.

Le relais thermique coupera par le biais d'un contact auxiliaire l'alimentation du contacteur dans la partie commande.

❖ **Le choix et le réglage du relais thermique se fait en fonction de :**

- Le courant nominal du moteur (a lire sur la plaque signalétique)
- La plage de réglage du relais thermique
- La classe de déclenchement en fonction du temps de démarrage

Relais de protection thermique différentiels

Relais à associer à des fusibles et aux disjoncteurs magnétiques GV2L ou GV3L :

- relais compensés à réarmement manuel ou automatique
- avec visualisation du déclenchement
- pour courant alternatif ou continu.

zone de réglage du relais (A)	fusibles à associer au relais choisi aM (A)	gG (A)	pour association avec contacteur LC1	références
classe 10 A (1) avec raccordement par vis-étriers ou connecteurs				
0,10...0,16	0,25	2	D09...D38	LRD01
0,16...0,25	0,5	2	D09...D38	LRD02
0,25...0,40	1	2	D09...D38	LRD03
0,40...0,63	1	2	D09...D38	LRD04
0,63...1	2	4	D09...D38	LRD05
1...1,6	2	4	D09...D38	LRD06
1,6...2,5	4	6	D09...D38	LRD07
2,5...4	6	10	D09...D38	LRD08
4...6	8	16	D09...D38	LRD10
6...8	12	20	D09...D38	LRD12
8...10	12	20	D09...D38	LRD14
10...13	16	25	D12...D32	LRD16
12...18	20	35	D18...D38	LRD21
16...24	25	50	D25...D38	LRD22
23...32	40	63	D25...D38	LRD32
30...38	40	80	D32 et D38	LRD35
17...25	25	50	D80 et D95	LRD3322
23...32	40	63	D80 et D95	LRD3363
30...40	40	100	D80 et D95	LRD3355
37...50	63	100	D80 et D95	LRD3357
48...65	83	100	D80 et D95	LRD3359
55...70	80	125	D80 et D95	LRD3361
63...80	80	125	D80 et D95	LRD3363
80...104	100	160	D80 et D95	LRD3365
95...120	125	200	D115 et D150	LRD4365
110...140	160	250	D115 et D150	LRD4367
80...104	100	160	(2)	LRD33656
95...120	125	200	(2)	LRD33676
110...140	160	250	(2)	LRD33696

zone de réglage du relais (A)	fusibles à associer au relais choisi aM (A)	gG (A)	pour association avec contacteur LC1	références
classe 20 (1) avec raccordement par vis-étriers				
2,5...4	6	10	D09...D32	LRD1508
4...6	8	16	D09...D32	LRD1510
5,5...8	12	20	D09...D32	LRD1512
7...10	16	20	D09...D32	LRD1514
9...13	16	25	D12...D32	LRD1516
12...18	25	35	D18...D32	LRD1521
17...25	32	50	D25 et D32	LRD1522
23...28	40	63	D25 et D32	LRD1530
25...32	40	63	D25 et D32	LRD1532
17...25	32	50	D80 et D95	LR2D3522
23...32	40	63	D80 et D95	LR2D3553
30...40	50	100	D80 et D95	LR2D3555
37...50	63	100	D80 et D95	LR2D3557
48...65	80	125	D80 et D95	LR2D3559
55...70	100	125	D80 et D95	LR2D3561
63...80	100	160	D80 et D95	LR2D3563



Pour un moteur consommant une intensité de 5A, on pourra choisir soit un LRD10 en classe 10 A ou un LRD1510 en classe 20 suivant le temps de démarrage du moteur.

La plage de réglage étant de 4 à 6A sur chaque relais thermique.

Les relais thermiques seront à associer à des fusibles type aM (accompagnement Moteur) de calibre 8A.

Le relais thermique sera réglé à I_n du moteur soit 5A

II.10.3.6 : La défaillance de phase et Séquence de phases :

Désigne une coupure ou une absence d'une phase dans un système triphasé, ce qui cause un déséquilibre de tension et peut empêcher le fonctionnement normal des équipements. Le dispositif de défaillance de phase détecte cette coupure et empêche la mise en marche en cas de problème.

Aussi utilisé pour vérifier l'ordre correct des phases dans un système électrique triphasé. Il détecte si la séquence des phases est correcte ou inversée. [22]

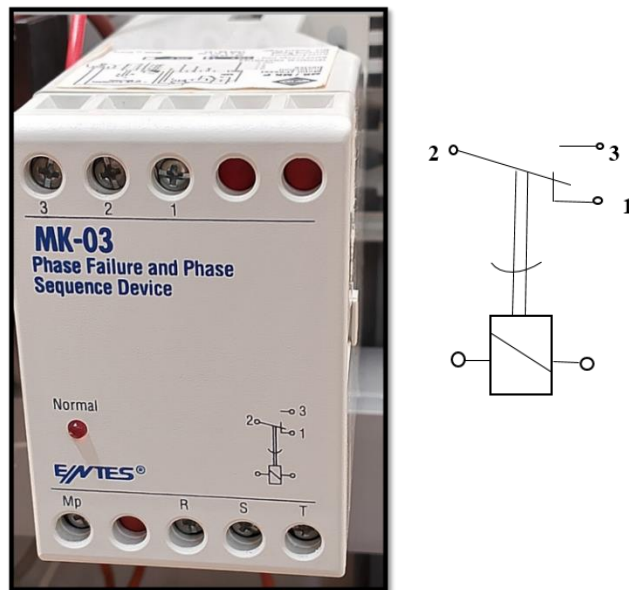


Figure II.19:La défaillance de phase et Séquence de phases et symbole.

II.10.4 : Appareillage d'un circuit de commande :

II.10.4.1 : Bouton poussoir :

Un interrupteur à bouton-poussoir NO est un type d'interrupteur qui est ouvert dans son état normal



Figure II.20: Bouton poussoir NO et symbole.

Un interrupteur à bouton-poussoir NC est un type d'interrupteur qui est fermé dans son état normal

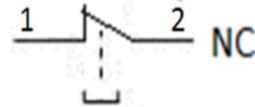


Figure II.21: Bouton poussoir NC et symbole.

II.10.4.2 : contact auxiliaire :

Le contact normalement ouvert (13-14) est le seul contact auxiliaire intégré au contacteur. Pour disposer de contacts auxiliaires supplémentaires, on peut ajouter au contacteur des blocs auxiliaires instantanés.

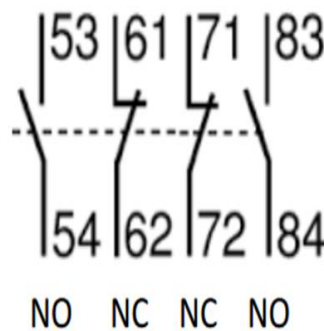


Figure II.22: Contact auxiliaire et symbole.

II.10.4.3 : Bloc temporisé au travail :

Bloc temporisé étudié est la temporisation travail qui s'active avec un retard réglable. [21]

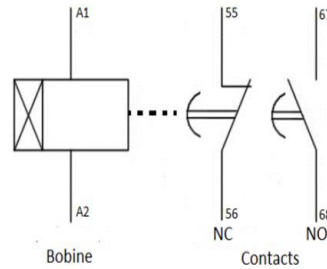


Figure II.23: Bloc ON delay et symbole.

II.10.4.4 : Bloc temporisé au repos :

Bloc temporisé est la temporisation repos qui se désactive avec un retard réglable.

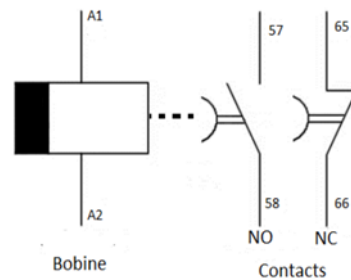


Figure II.24: Bloc OF delay et symbole.

II.10.4.5 : micro-rupteurs (Fin de course) :

Les fins de course sont utilisées pour déterminer les positions des éléments mécaniques (Chariot, rideau, portes...) [19]

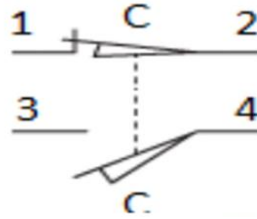


Figure II.25: Fin de course et symbole.

II.10.4.6 : Lampes de signalisation :

La signalisation permet de superviser le fonctionnement des machines, et s'avertir en cas de défauts

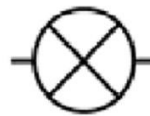


Figure II.26: Lampes de signalisation et symbole.

Chapitre III :

Rénovation de

L'armoire électrique de

commande du tour

III.1-Introduction :

Avec le temps, les systèmes de commande électrique des machines industrielles deviennent de moins en moins fiables, surtout lorsqu'ils sont basés sur des technologies anciennes. C'est le cas du tour SN50 installé dans le hall de technologie de l'université de Biskra, dont le système de commande, entièrement électromécanique, montre aujourd'hui ses limites en termes de sécurité, de performance et de maintenance.

Ce chapitre est consacré à la rénovation de l'armoire électrique de commande du tour industriel installé au niveau du hall de technologie de Biskra. Après avoir réalisé un diagnostic complet de l'état initial de la machine, nous avons constaté plusieurs anomalies au niveau du système de commande, rendant indispensable une intervention technique.

La figure suivante montre l'état de l'armoire de commande du tour en question avant sa rénovation :

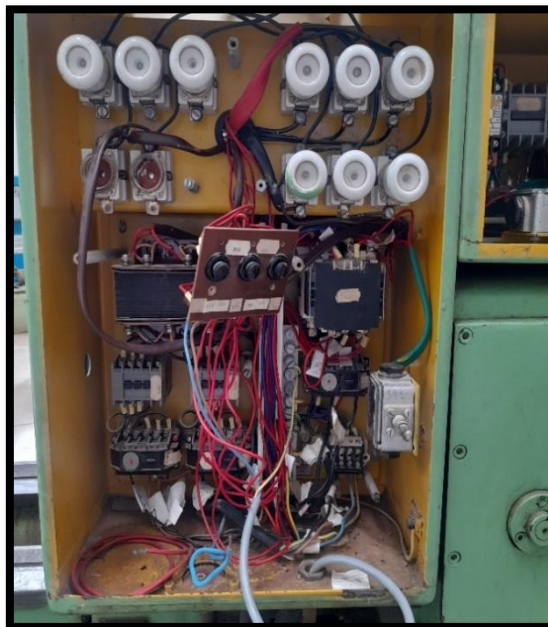


Figure III.1:L'armoire de commande du tour avant la rénovation.

La rénovation que nous proposons vise à moderniser ce système afin de garantir une meilleure fiabilité, une sécurité accrue et une adaptation aux exigences pédagogiques du hall technologique. Ce dernier, utilisé comme espace d'apprentissage et de mise en pratique, sera donc au cœur de notre intervention. Nous détaillerons les modifications prévues, les choix techniques adoptés, ainsi que les étapes de mise en œuvre de la nouvelle solution de commande :

- ✓ Réaliser l'étude d'un équipement d'un moteur asynchrone triphasé destiné à un tour électrique.
- ✓ Décoder le fonctionnement du système
- ✓ Réaliser le câblage électrique de la partie puissance et de la partie commande.
- ✓ Procéder à la mise en service de cet équipement.

III.2- Présentation du hall de Technologie :

Le Hall de Technologie de l'université de BISKRA joue un rôle primordial dans le cursus de formation des étudiants et du développement des différents services de l'université. Cette infrastructure, grâce aux machines, laboratoires et les différents équipements dont elle dispose permet de :

- ✓ Dispenser aux étudiants des travaux pratiques relevant des plans d'étude des différents cursus pour les différentes spécialités en technologie. Dont les laboratoires fonctionnels sont :
 1. Laboratoire des essais mécaniques.
 2. Laboratoire de traitement thermique.
 3. Laboratoire de mesures et instrumentation.
 4. Laboratoire de soudage.
 5. Sale de projet fin d'étude.

- ✓ Réaliser les dispositifs expérimentaux nécessaires aux projets de fin d'études (PFE) et les travaux de recherche (pour les doctorats) des différents départements ;
- ✓ Réparer les équipements des différentes structures de l'université.

Les machines disponibles aux niveaux du hall technologique :

- | | |
|--------------------------|----------------|
| - Scie mécanique de tôle | - Presse |
| - Meule | - Rouleuse |
| - Fraise universelle | - Plieuse |
| - Fraise verticale | - Etau-limeur |
| - Fraise horizontale | - Penseuse |
| - Tour parallèle | - Pont roulant |
| - Coupe tôle | - Tronçonneuse |

III.3-Description des ensembles principaux du Tour SN50 :

Ce tour SN 50 se trouvant au niveau du Hall technologie Biskra est une machine permettant d'usiner une pièce par rotation. Lorsque la pièce est en rotation, le déplacement de l'outil de coupe permet de donner forme à la pièce.

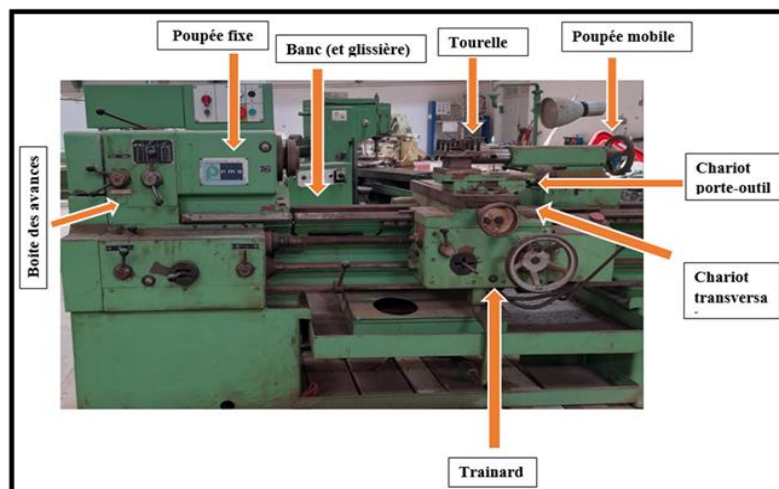


Figure III.2: Organes mécaniques d'un tour parallèle.

Les organes d'un tour parallèle sont :

- **Partie mécanique (Figure III.2) :**

- | | |
|------------------|--------------------------|
| 5- Le bâti | 1- Chariot porte-outil : |
| 6- Le banc | 2- Tourelle : |
| 7- Glissières | 3- La boîte des avances |
| 8- Poupée fixe | 4- Chariot transversal |
| 9- Poupée mobile | |

- **Entraînement :**

Le mouvement de rotation est transmis à partir de la poulie du moteur électrique à la poulie de la boîte de vitesses par l'intermédiaire de courroies trapézoïdales. Les courroies trapézoïdales sont tendues correctement. Le moteur électrique est situé dans bâti à l'avant de la machine et est protégé par un capot.

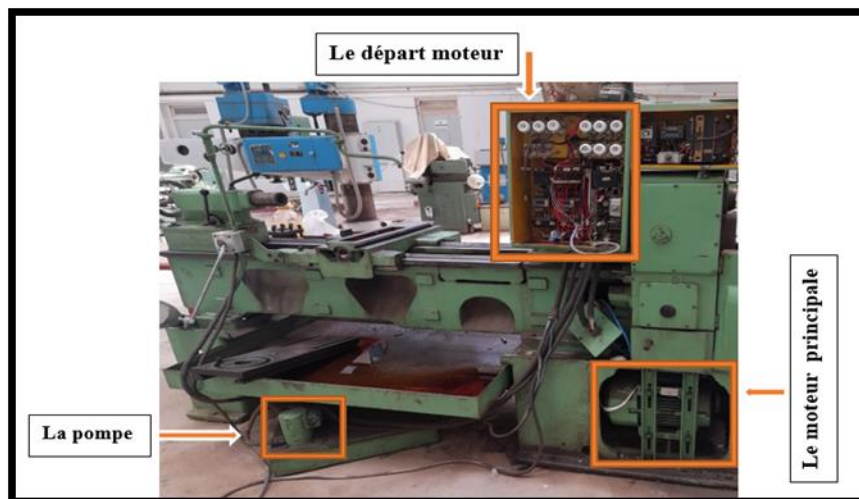


Figure III.3: Organes électrique en vue arrière.



Figure III.4: Organes électriques en vue avant.

Cette rotation est réalisée par une broche entraînée par un moteur asynchrone triphasé. La broche doit tourner dans les deux sens de rotation.

Le tour électrique est commandé par un pupitre de commande (boîte à boutons poussoirs).

L'arrêt du moteur, donc de la rotation de la pièce, est commandée par un bouton-poussoir SB.

III.4- Simulation du fonctionnement du montage de l'armoire électrique :

Dans le cadre de cette étude portant sur la rénovation de la commande électrique du tour industriel, le logiciel **CADe SIMU** sera utilisé comme outil principal de simulation des schémas électriques

Le logiciel Cade Simu est un programme didactique qui permet d'apprendre à former des schémas de commandes électriques, automatismes et pneumatiques. Il permet de concevoir un circuit en toute simplicité. On peut dessiner un schéma en insérant des symboles. Elle dispose d'un large catalogue de pièces, vous

permettant de créer presque tous les types de circuits électriques, du démarrage direct des moteurs aux moteurs de démarrage.

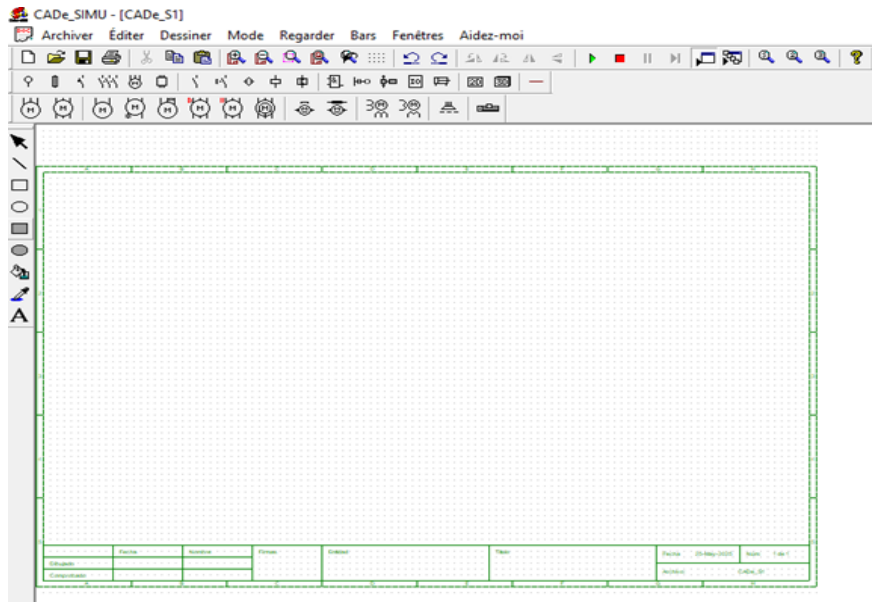


Figure III.5:Fenêtre de logiciel CAdE_SIMU.

L'application étend encore ses capacités en fonctionnant comme un simulateur pour les conceptions de circuits. On peut visualiser les circuits de commande et d'automatisation et obtenir une compréhension plus approfondie de leurs opérations. En outre, l'application représente les défaillances de conception pendant l'exécution de la simulation. Ce faisant, elle permet aux utilisateurs de détecter les problèmes éventuels qui peuvent survenir dans la conception de leur circuit. Il est également facile à utiliser, affichant chaque composant électrique instantanément une fois activé. Il permet même de mettre en évidence les conducteurs électriques lorsqu'un certain courant électrique passe. Ses fonctions principales sont :

- Création de schémas électriques (contacteurs, relais, boutons, temporisateurs, etc.).
- Simulation du fonctionnement en temps réel du circuit.

- Visualisation des états (ouvert/fermé) des contacts pendant la simulation.
- Vérification du câblage logique (commande et puissance).

Après avoir présenté le logiciel utilisé pour la simulation, nous allons désormais proposer un schéma électrique représentatif de la solution envisagée dans le cadre de la rénovation.

III.5- Présentation de l'armoire électrique existante :

Selon le responsable du Hall technologique et le staff technique le tour **SN 50** est tombé en panne depuis des années. Cette panne peut être mécanique ou électrique ou les deux à la fois. Alors ce problème nous a été présenté dans le cadre de projet de fin d'étude.

Nous avons pris en considération ce grand problème, vue qu'il y a aussi 3 autres tours en panne depuis longtemps et en plus les Tps de mécanique des étudiants sur le tour ne se font que sur le 4eme tour qui est en bon etat.

Alors nous avons décidé de prendre en charge ce sérieux problème en proposant deux solutions :

- ✓ Soit on cherche la panne électrique dans l'armoire électrique après avoir dégagé la panne mécanique.
- ✓ Soit refaire carrément l'armoire de commande de tour (la panne mécanique étant écarté).

Alors nous avons adopté pour la 2eme solution c'est à dire rénover cette armoire.

Ce choix est justifié par premièrement la recherche de la panne électrique sur un tel armoire, est parait difficile, vue son état représenté sur la **figure N°III.1** et peut être va prendre beaucoup de temps à trouver les différentes pannes électriques, que ça soit sur les câbles ou l'appareillage électrique constituant cette armoire. Deuxièmement les composants de cette armoire présentaient un niveau

d'obsolescence avancé, tant sur le plan technologique que sur celui de la disponibilité sur le marché. Ce tour est daté depuis les années 80 ou 90.



Figure III.6: L'état du tour avant la rénovation.

En effet, les éléments installés, tels que les disjoncteurs, les contacteurs et les relais, appartiennent à une ancienne génération. Ces modèles ne sont plus fabriqués ni commercialisés, ce qui rend leur remplacement en cas de panne très difficile, voire impossible. Cette situation constitue un risque important en termes de maintenance et de continuité de service.

Parmi les principales constatations relevées :

- ✓ Obsolescence des composants électriques.
- ✓ Impossibilité de trouver des pièces de rechange compatibles sur le marché.
- ✓ Absence de documentation technique à jour (schémas, étiquetage...).
- ✓ Difficulté d'adaptation ou d'évolution du système existant.
- ✓ Non-conformité partielle aux normes actuelles d'installation et de sécurité.

Face à ces limites, la décision a été prise de procéder à une rénovation complète de l'armoire, avec pour objectif principal de remplacer les composants anciens par des éléments modernes, normalisés et facilement disponibles, tout en assurant une meilleure sécurité et une maintenance facilitée.

III.6-Démontage de l'ancienne armoire :

Avant toute intervention, l'alimentation électrique de la machine a été complètement coupée, et des mesures de sécurité ont été prises pour éviter tout risque de choc électrique ou de court-circuit pendant le démontage.

Le démontage de l'armoire électrique a été réalisé en plusieurs étapes :

- ✓ Étiquetage des câbles afin de faciliter leur reconnexion ultérieure.

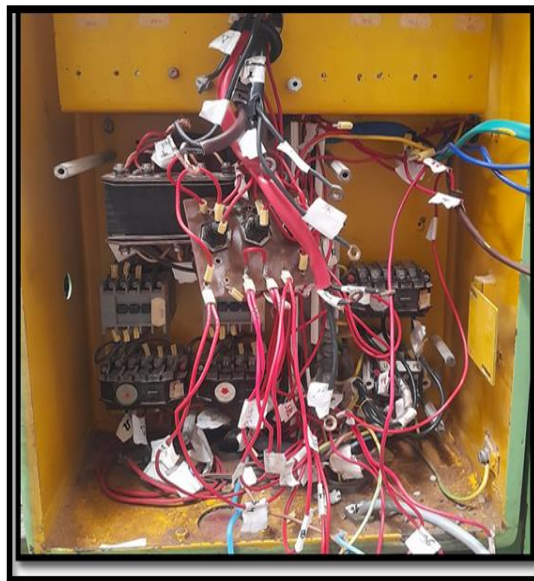


Figure III.7: Étiquetage des câbles avant le démontage.



Figure III.8: Etiquetage des câbles dans la boîte de freinage.

- ✓ Déconnexion soignée des composants, en commençant par les éléments de puissance, puis ceux de commande.
- ✓ Retrait progressif des appareils tels que les disjoncteurs, contacteurs, relais, bornes, etc.



Figure III.9:démontage l'ancienne appareils.

- ✓ Nettoyage complet de l'armoire vide, en préparation pour l'installation de la nouvelle configuration.

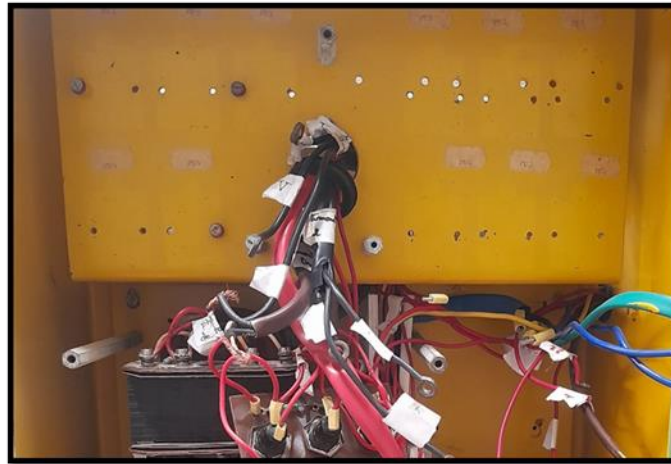


Figure III.10:Nettoyage de l'armoire.

Au cours de cette opération, une attention particulière a été portée sur l'état des composants démontés. Certains ont été conservés temporairement à des fins de comparaison, tandis que d'autres, considérés comme obsolètes, ont été éliminés en toute sécurité.

Cette étape a permis d'obtenir une armoire totalement vide et prête à recevoir la nouvelle installation, plus moderne et conforme aux exigences actuelles.

Avant d'entamer la réalisation de notre projet, nous avons familiariser d'abord avec le fonctionnement du tour se trouvant dans le hall en présence de l'équipe technique du hall.

Alors nous avons vu les exigences de travail de ce tour ainsi que la sécurité tant que pour le personnel que pour la machine.

Un état des lieux a été dressé prenant en compte les différents moteurs électriques constituant ce tour et leur fonctionnement et quel type de charge à entraîner.

Avant d'installer et câbler cette armoire électrique, un schéma électrique a été élaboré à l'aide d'un logiciel **CADe SIMU** spécialisé **figure N°III.14**, avec

une organisation ergonomique des composants à l'intérieur de l'armoire afin de faciliter l'installation et la maintenance ultérieure.

Ce tour est formé par trois moteurs asynchrones triphasés à cage :

- ✓ Le moteur principal **MA1** qui fait tourner la broche.
- ✓ Le moteur de l'avance rapide **MA2** qui fait avancer le charriot.
- ✓ Le moteur de la pompe d'arrosage **MA3** responsable de lubrification de la pièce pendant l'usinage.

Les caractéristiques des ces trois moteurs sont : respectivement selon leur plaque signalétique :

- Moteur M1 :



Figure III.11: La plaque signalétique de moteur M1.

- Moteur M2 :



Figure III.12: La plaque signalétique de moteur M2.

▪ Moteur M3 :

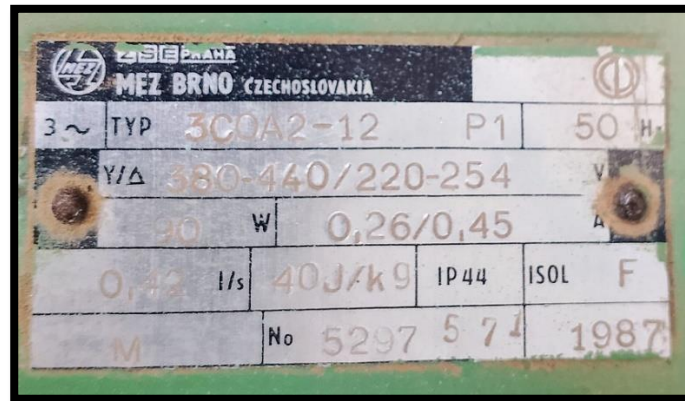


Figure III.13:La plaque signalétique de moteur M3.

Selon ces trois plaques signalétiques, et comme mentionner au chapitre deux, le couplage de ces trois moteurs est un couplage étoile puisque la tension de réseau est de 380V.

Pour pouvoir réaliser le câblage de cette armoire un certain nombre de conditions ont été respectées à savoir :

- ✓ Le démarrage de ces trois moteurs est alors un démarrage direct.
- ✓ Comme le moteur M1 absorbe un courant important au démarrage, alors il est nécessaire de ne pas le démarrer en plein charge mais à vide. À cet effet un levier d'embrayage qui fait mettre le moteur en charge empêche le démarrage direct si le moteur est en charge, et le moteur ne démarre que si le levier en position point mort.
- ✓ Les deux moteurs peuvent être démarrer en charge, mais après que le moteur principal M1(qui est responsable de la rotation de la broche) démarre.
- ✓ Pour arrêter le tour un simple bouton poussoir ne suffit pas. La sécurité est un besoin fondamental de tout être humain. Le bouton d'urgence est une solution indispensable pour quiconque prend au sérieux sa sécurité personnelle et souhaite se sentir protégé dans des situations potentiellement dangereuses ou lorsqu'il travaille seul. Alors ce tour doit être équipé de bouton d'urgence dans des endroits

bien définis. A cet fin un système de freinage pour arrêter définitivement le moteur principal a été mis en place. Le procédé de freinage utilisé pour ce tour est le freinage par injection du courant continu.

✓ Les boutons d'urgence utilisés doivent couper l'alimentation du moteur d'une part et actionner le circuit de freinage d'autre part.

✓ De plus pour la sécurité des utilisateurs de ce tour, et pour que ces derniers n'ouvrent pas la porte de l'armoire de commande ni le capot du moteur principal où se trouvent les courroies, des fins de course ont été déposés, pour ne pas démarrer le moteur M1 ou l'arrêter s'il tourne.

En tenant compte de toutes ses exigences un schéma électrique a été élaboré par le logiciel **CADe SIMU** et simuler par ce même logiciel :

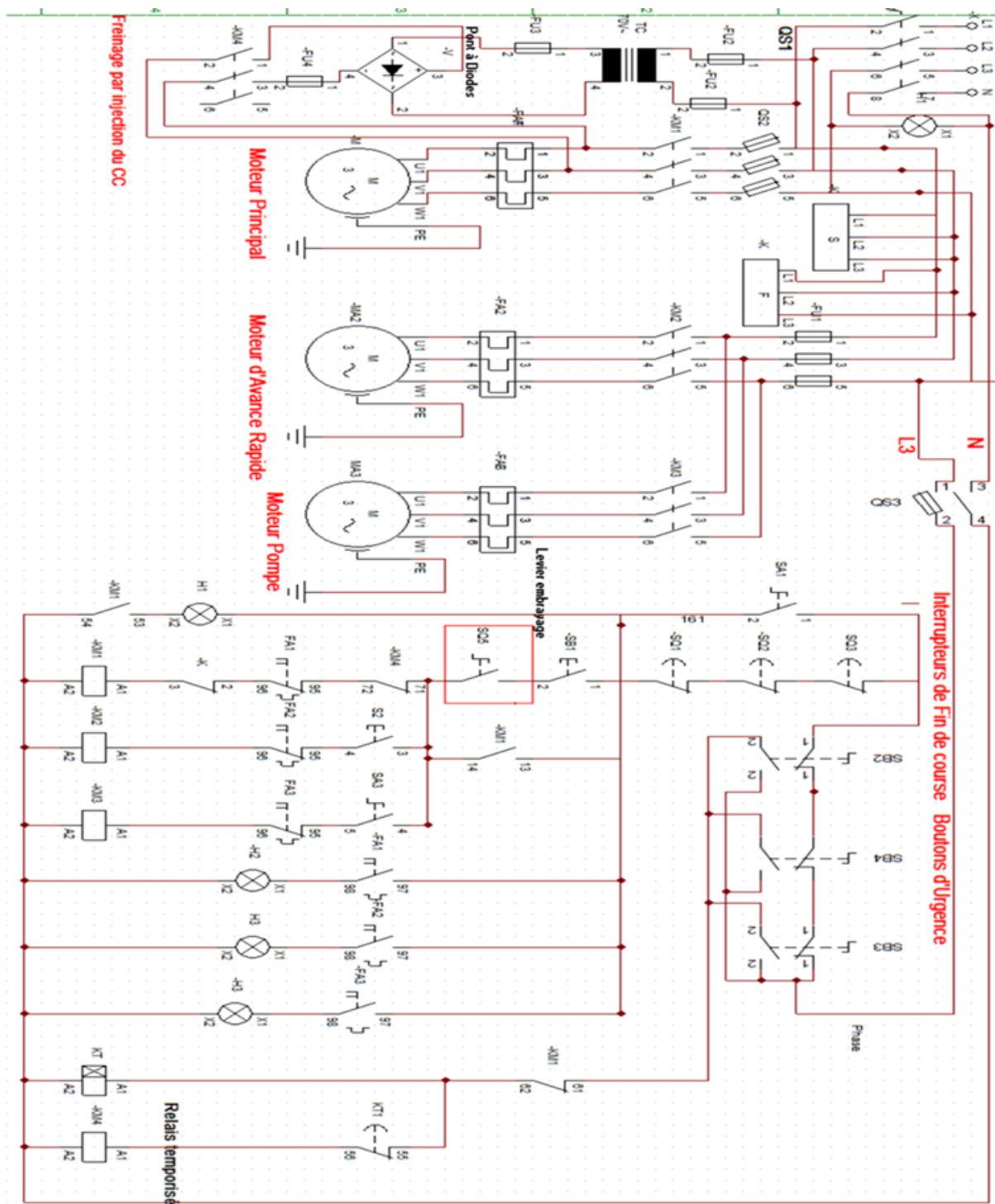


Figure III.14:Schéma proposé de tour SN50.

III.7- Description du fonctionnement de l'équipement électrique :

Le fonctionnement de l'équipement électrique de la machine est représenté sur le schéma de puissance et de commande représentée sur la (**Figure III.1**).

La description du fonctionnement de l'équipement électrique est et de circuits de sécurité et d'arrêt d'urgence avec freinage dynamique est décrite ci-après :

La machine est raccordée au réseau par enclenchement du disjoncteur **QS1** (celui-ci ne peut être enclenché que s'il est débloqué par une serrure à clé) une lampe de signalisation (jaune) indique la mise sous tension. Le circuit de commande est actionné par le disjoncteur monophasé **QS3**.

Pour mettre en fonctionnement le moteur principal **MA1**, et par conséquent, aussi le moteur de l'avance rapide **MA2** et le moteur du système d'arrosage **MA3**, il faut remplir les conditions suivantes (voir plus haut) :

- 1- Les portes de sécurité de l'armoire électrique principale et de l'armoire électrique du circuit de freinage et le capot du moteur principal **MA1**, doivent être fermés.
- 2- Le levier d'embrayage doit être en position moyenne (l'interrupteur **SQ5** est en position fermé).
- 3- Les boutons poussoirs Arrêt d'urgence **SB2**, **SB3** et **SB4** doivent être débloqués.

Si les conditions ci-dessus sont remplies, la machine est prête à fonctionner. Autrement, il n'est pas possible de mettre la machine en marche.

- ✓ Le moteur principal **MA1** démarre en appuyant sur le bouton-poussoir **SB1**.

- ✓ Le moteur de l'avance rapide **MA2** se met en fonctionnement en appuyant sans relâcher le bouton-poussoir **S2**. Sinon le moteur s'arrête et ce pour l'exigence du fonctionnement du Tour.
- ✓ La pompe d'arrosage **MA3** se met en marche à l'aide de l'interrupteur **SA3** sur la position I.
- ✓ L'éclairage de la machine est allumé au moyen de l'interrupteur **SA2** situé sur le corps de la lampe.
- ✓ La machine peut être arrêtée par l'intermédiaire des arrêts d'urgence **SB2**, **SB3**, **SB4** ou par le disjoncteur **QS1** ou **QS3**.

Les circuits de sécurité comportent 03 Fin de course :

- **SQ1** situé sur le capot coté Moteur principal **MA1**.
- **SQ2** situé sur la porte de l'armoire électrique du circuit de freinage.
- **SQ3** situé sur la porte de l'armoire électrique principale
- **SQ4** qui est commandé mécaniquement par le levier d'embrayage du Tour

Si l'on ouvre n'importe quel capot, le moteur principal **MA1** est déconnecté et par conséquent les autres moteurs **MA2** et **MA3** seront déconnectés.

- Le contact de l'interrupteur de fin de course **SQ4**, est connecté en série avec le bouton-poussoir Marche **SB1**. Ceci assure le blocage du circuit d'arrêt, c'est-à-dire, si le levier d'embrayage n'est pas dans sa position neutre, il n'est pas possible de démarrer le moteur principal, et par conséquent, les autres moteurs.

Le circuit de freinage dynamique par le procédé d'injection du courant continu est constitué du contacteur **KM4**, du relais temporisé **KT** et, dans les circuits de puissance, du transformateur **TC** et du bloc de redressement à 4 diodes.

Lorsqu'on appuie sur le bouton-poussoir d'un des arrêts d'urgence **SB2**, **SB3** ou **SB4** le contacteur **KM1** du moteur principal **MA1** se déclenche. Par l'intermédiaire du contact en série **SB2**, **SB3** ou **SB4** (en fonction du bouton poussoir commandé), le contacteur **KM4** s'enclenche. Les contacts du contacteur **KM4** alimentent le moteur **MA1** en courant continu pendant une période qui dépend du temps réglé au moyen du relais temporisé **KT**. Quand celui est fermé, le circuit du contacteur **KM4** est déconnecté. Le temps d'action du relais **KT** est réglé de telle manière que le relais soit appelé pendant 1 secondes après l'arrêt du moteur principal qui est fonction de la vitesse de rotation maximale de la broche.

La machine ne pourra être redémarrée qu'après le déblocage du bouton-poussoir d'arrêt d'urgence (**SB2**, **SB3** ou **SB4**).

Notons enfin que, afin que le personnel d'entretien puisse mettre la machine en route même si la porte des boîtiers électriques doit rester ouverte, il y a un interrupteur à serrure **SA1** prévu sur un côté de l'armoire électrique, qui doit être fermé à clé pendant l'entretien. Pendant le fonctionnement le contact de celui-ci doit être ouvert.

Une simulation de ce schéma électrique ainsi réalisé avec ce même logiciel cité ci-dessus, a montré le bon fonctionnement des trois moteurs ainsi que le respect des exigences et des conditions mentionnées ci-dessus.

III.8-Essai préliminaire en laboratoire après la simulation :

Après avoir finalisé la mise en œuvre du projet sur le logiciel de simulation, nous avons décidé de passer à une phase d'essai en laboratoire, en tant qu'étape préparatoire avant l'exécution réelle. Cet essai a pour objectif de vérifier la validité des connexions, de comprendre le fonctionnement du système en

conditions réelles, et de détecter d'éventuels problèmes qui pourraient ne pas apparaître lors de la simulation.

Nous avons câblé le schéma électrique ci-dessus en utilisant une armoire didacticiel au niveau du laboratoire de génie électrique.

Ce prototype de l'armoire électrique a été testé avec un moteur asynchrone triphasé se trouvant au laboratoire pour satisfaire le cahier de charge imposé ci-dessus. Un ensemble de test ont été réaliser pour valider la simulation et mettre en œuvre la vraie armoire du tour.

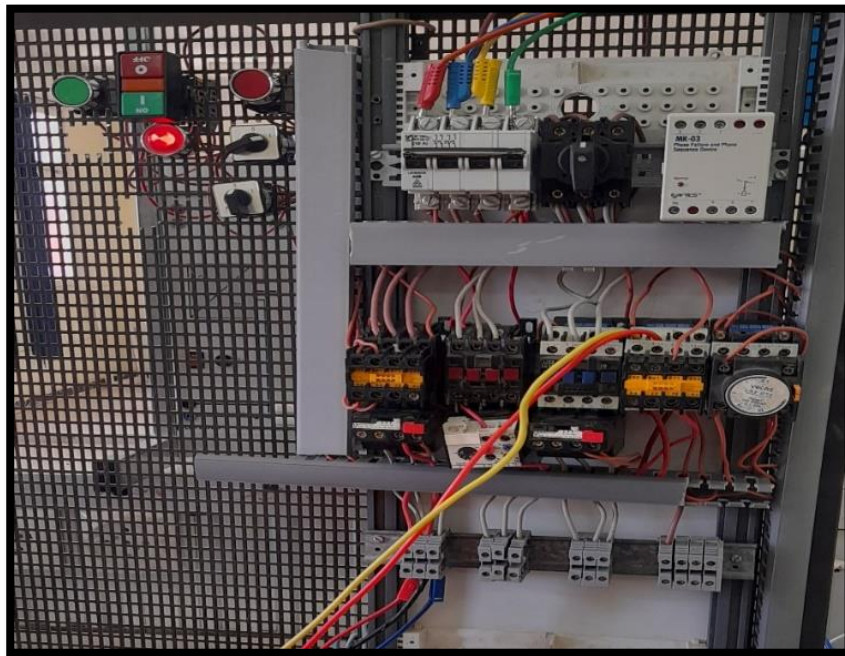


Figure III.15:Prototype de l'armoire rénovation pour la commande du tour.

Le premier test est de faire fonctionner tout d'abord le prototype de l'armoire ainsi câblé en utilisant un moteur asynchrone triphasé se trouvant au laboratoire qui remplace le moteur M1.

Les deux autres moteurs ont été simulés en utilisant comme charge des lampes.

Nous avons constaté que le moteur tourne parfaitement en appuyant sur le bouton poussoir marche et que les lampes s'allument si en appuie sur les interrupteurs concernés. Les trois contacteurs ça fonctionnent parfaitement.

Les conditions de fonctionnement ci-dessus sont également testées et par conséquent le prototype de l'armoire peut être copié sur l'armoire du tour.

Nous avons aussi utilisé un appareil appelé à la fois séquenceur de phases et manque de phase.

Cet appareil est utilisé pour contrôler la séquence de phase de réseau et pour détecter le manque de phase sur le réseau.

Ces deux anomalies sont très importantes pour les trois moteurs, puisque ceux-ci tournent pour le tour dans un seul sens et ne permettent pas de tourner dans l'autre sens.

Le manque de phase pour les moteurs est un dysfonctionnement pour ces moteurs.

Cet appareil doit être installé dans l'armoire électrique ainsi rénové, pour surveiller ces deux phénomènes précités et empêche que les moteurs fonctionnent.

III.9- Les essais expérimentaux :

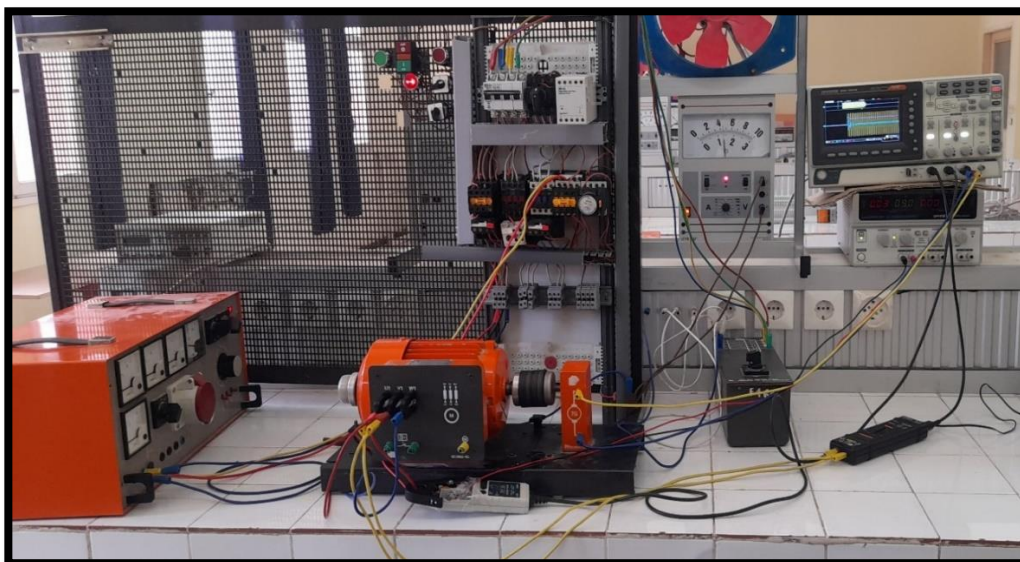


Figure III.16: Plateforme expérimentale du tour (labo électrotechnique)

Au cours de cette phase, nous avons mené une série d'essais, dans le but de voir d'une part, le bon fonctionnement du prototype de l'armoire électrique ainsi réalisé, et d'autre part étudier le phénomène de freinage par injection du courant continu sur un moteur similaire à celui de tour. Ces essais ont été réalisés en utilisant des instruments de mesure, notamment un capteur de courant, ainsi qu'un capteur de tension et un oscilloscope à 4 voies qui est nécessaire pour visualiser les courbes des grandeurs du moteur.

Les appareils ont été connectés de manière à permettre un enregistrement en temps réel des signaux électriques courant et tension et mécaniques la vitesse de rotation du moteur. Ceci qui nous a permis d'obtenir des résultats significatifs sur le plan technique.

III.10- Description les différentes parties du banc de test :

III.10.1- Source électrique :

Une source triphasée permettant de fournir un courant alternatif pour alimenter l'armoire électrique (prototype). De plus une source continue est intégrée à la source triphasée utilisée pour alimenter le circuit de freinage pour freiner le moteur. Le courant continu(redressé) est obtenu en utilisant un pont à diodes, alimenté par une tension réduite.



Figure III.17:Alimentation triphasé.

III.10.2- Moteur asynchrone :

C'est un moteur asynchrone triphasé de 1 KW couplé avec un capteur de vitesse (génératrice tachymétrique) pour mesurer et enregistrer la vitesse de rotation.

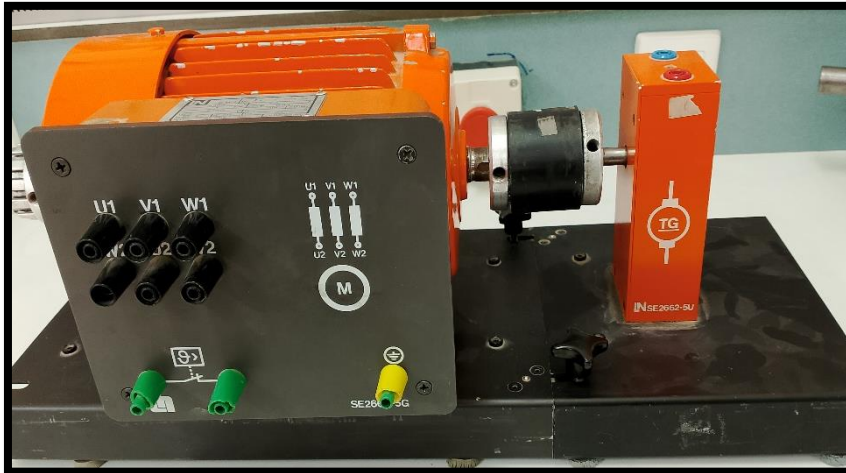


Figure III.18:Moteur asynchrone couplé avec une tachymétrie.

III.10.3- Capteur de vitesse (génératrice tachymétrique) :

Il est principalement utilisé dans les systèmes de contrôle industriels et d'ingénierie pour mesurer la vitesse de rotation du moteur, le rapport de transformation est de 1000tr/min pour 1V.



Figure III.19:Capteur de vitesse (génératrice tachymétrique).

III.10.4- Capteur de courant :

Ce capteur utilise le principe de l'effet Hall pour mesurer le courant. Il est alimenté par une tension de 9V. Ce capteur est spécifiquement utilisé pour obtenir une représentation du courant statorique en utilisant l'effet Hall. Il a une capacité de mesure maximale de 20A. sa sensibilité est de 100mV/A



Figure III.20:Capteur de courant.

III.10.5- Capteur tension :

Elle permet de mesurer la différence de potentiel entre deux points d'un circuit électrique, souvent à des tensions élevées, tout en protégeant l'oscilloscope et l'utilisateur.



Figure III.21 :Capteur de tension:

III.10.6- Oscilloscope :

Un oscilloscope est nécessaire pour visualiser les courbes des grandeurs du moteur, il génère le graphique d'un signal électrique avec une qualité appréciable dans notre travail.

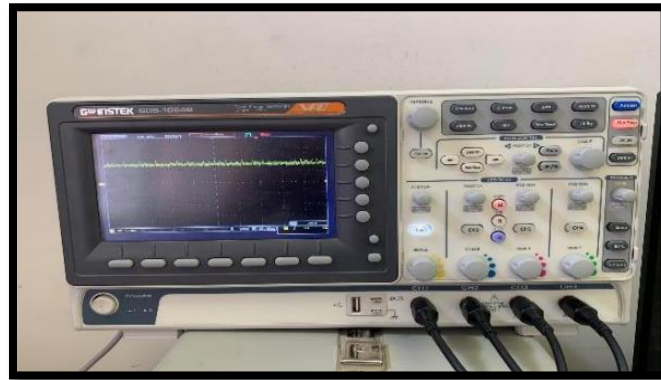


Figure III.22:Oscilloscope

III.11- Résultats expérimentaux :

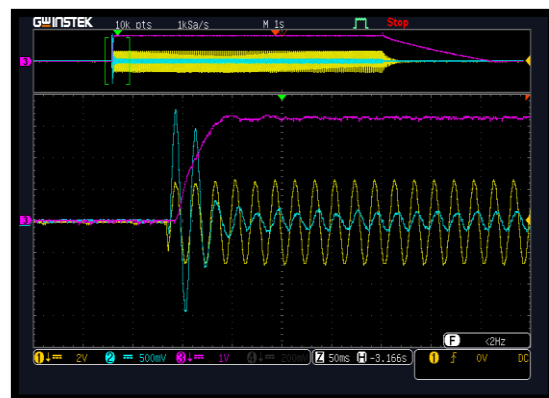
III.11.1- Essais sans freinage du moteur fonctionnant à vide :

En appuyant sur le bouton marche le moteur démarre. Puis il est arrêté par un simple appuie sur le bouton arrêt.

La figure..... Montre la phase de démarrage suivi d'un régime permanent et d'un arrêt naturel du moteur (sana freinage).



a)



b)



c)

Figure III.23: Allure des courbes : a- Démarrage. b- régime permanent. c- Arrêt sans freinage.

1. Tension du réseau
2. Courant absorbé par le moteur
3. Vitesse de rotation

On remarque une forte montée du courant lors de l'application de la tension. Cela correspond à l'appel de courant de démarrage, qui est nettement supérieur au courant nominal. La vitesse augmente progressivement jusqu'à atteindre sa valeur de régime permanent. Lorsque le régime est établi, le courant moteur se stabilise à une valeur du courant à vide. La phase de démarrage dure environ 0.1 seconde. Au régime permanent, la tension et le courant se stabilisent, indiquant un fonctionnement normal du moteur. La vitesse reste constante.

Après la coupure de la tension, le courant chute rapidement. Le moteur ralentit, la vitesse quant à elle, diminue progressivement du fait de la forte inertie, et le moteur s'arrête complètement au bout de 2.25s.

Donc en absence de freinage nous remarquons que le moteur a mis un certain temps pour s'arrêter.

III.11.1- Essais sans freinage du moteur fonctionnant à vide :

Avant de brancher le circuit de freinage au moteur on a alimenté le pont redresseur avec une tension réduite.

Figure III.24 montre la tension et le courant continu (redressé) qu'on va injecter pendant le freinage du moteur.

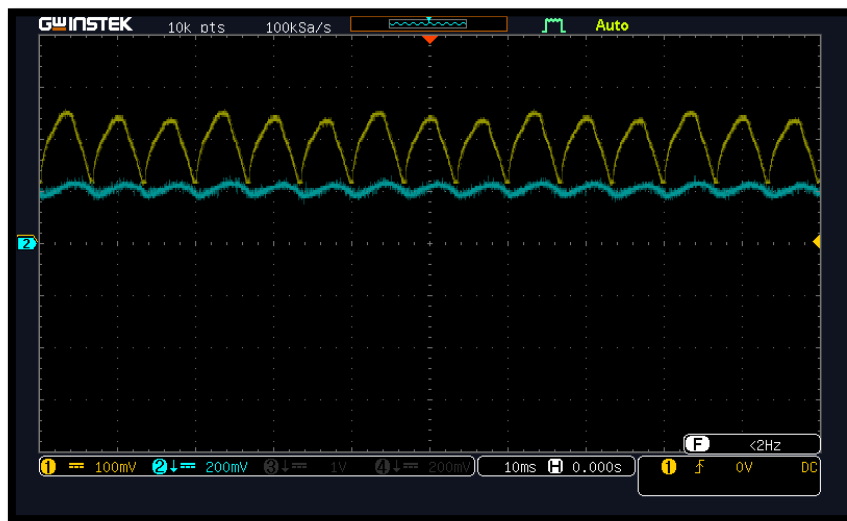


Figure III.24: Allures de la tension V_{dc} et du courant I_{dc} (de redresseur).

Phase d'arrêt avec freinage par injection de courant continu

On fait démarrer le moteur comme précédemment, puis l'alimentation du moteur est coupée et en même temps que le circuit de freinage injecte le courant continu pendant 0.3s. Le courant de freinage a été réglé de telle sorte sa durée d'injection dépasse de peu le temps de ralentissement. Nous constatons que le moteur s'arrête au bout de 0.25 s environ.

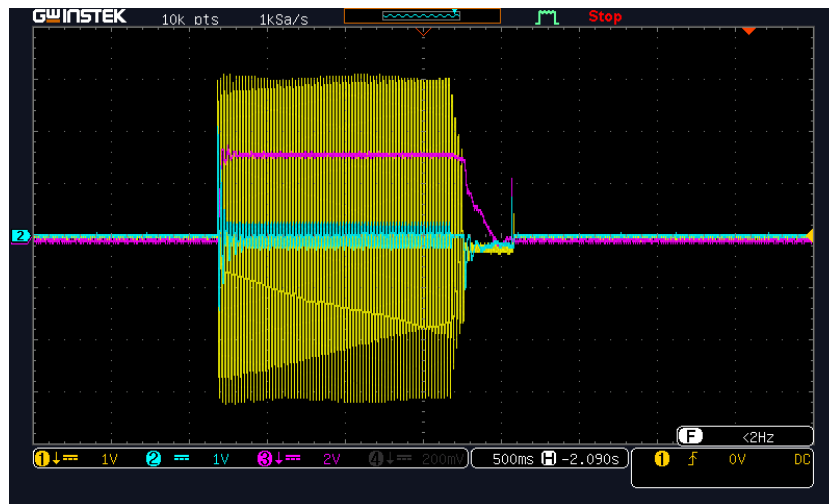


Figure III.25: Courbe de démarrage et régime permanent et arrêt avec freinage.

La **figure III.25** illustre l'évolution de la tension, du courant et de la vitesse pendant les différentes phases de fonctionnement d'un moteur asynchrone.

Comment précédemment au début, un courant de démarrage élevé apparaît au moment de la mise en marche du moteur, en même temps que l'application de la tension, tandis que la vitesse commence à augmenter progressivement.

Au régime permanent, le courant et la tension se stabilisent, et la vitesse atteint une valeur constante

Lors de la phase d'arrêt, on observe une chute rapide et soudaine de la tension et du courant, suivie d'une forte diminution de la courbe de vitesse, ce qui montre que le moteur a été freiné par injection de courant continu que permettant un arrêt rapide du moteur (moins de temps dans le cas sans freinage).

❖ Exécution de la Rénovation de l'armoire électrique du tour

Après avoir terminé l'étape de simulation du circuit dans le logiciel **CADe SIMU**, ainsi que l'élaboration du schéma de câblage (schéma de puissance et de commande), et suite à la vérification des principes de fonctionnement dans le laboratoire à l'aide de maquettes d'essai, nous étions prêts à passer à la phase concrète de la rénovation.

Ce passage du travail de la simulation et des essais sur la maquette à la réalisation pratique, marque une étape clé dans le projet de rénovation, où chaque décision prise en amont trouve son application directe sur la machine.

III.12- Etat de l'armoire de commande électrique après la rénovation :

Une fois toutes les étapes de câblage terminées, l'armoire électrique a été remise en état de fonctionnement optimal, avec une organisation claire et conforme aux normes professionnelles. Les composants ont été répartis de manière logique selon leurs fonctions :

- En partie supérieure, un disjoncteur triphasé de protection a été installé pour le moteur principal.
- Un disjoncteur monophasé pour le circuit de commande
- Une porte fusible pour les moteurs de chariot et la pompe.
- Les différents contacteurs fixés proprement sur rail, accompagnés de contact auxiliaire, pour uniquement le contacteur du moteur principal, assurant les fonctions de commande complémentaire.

Le câblage est rangé dans des goulottes, avec des repères clairs pour chaque fil, facilitant l'entretien et le diagnostic.

Le module, de séquence de phases et de manque de phase, est positionnée de façon visible et accessible, garantissant la protection contre les inversions ou manque de phases.

Cette configuration assure non seulement une sécurité renforcée et un fonctionnement fiable, mais elle facilite également les opérations de maintenance et prolonge la durée de vie du système électrique.

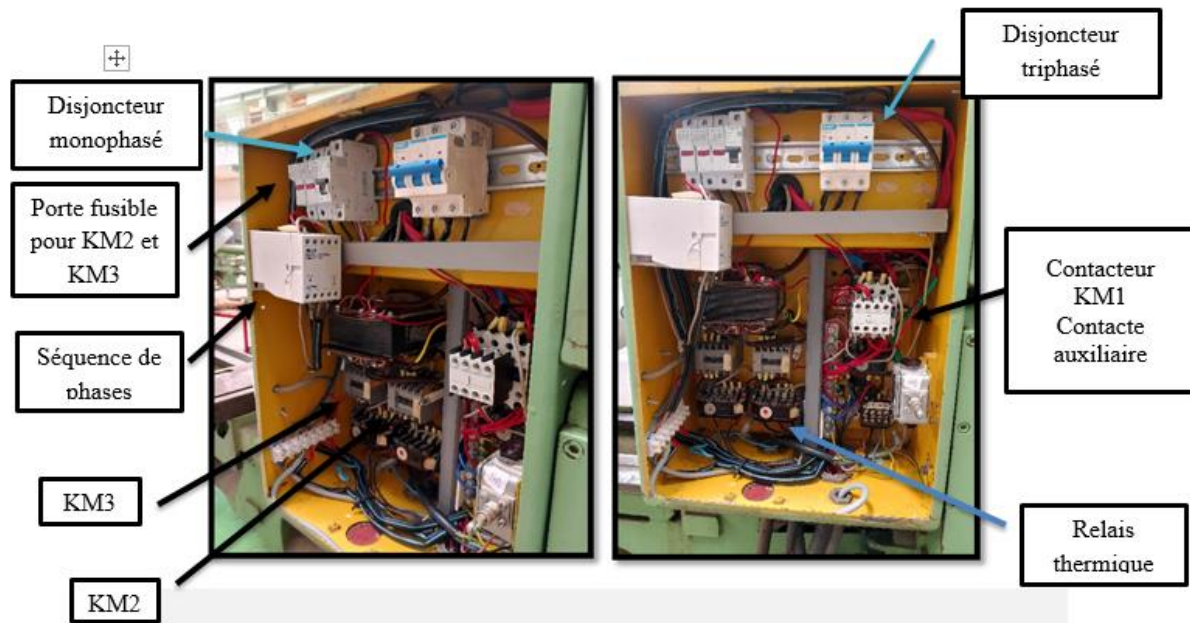


Figure III.26: Vues de l'armoire électrique après la rénovation.

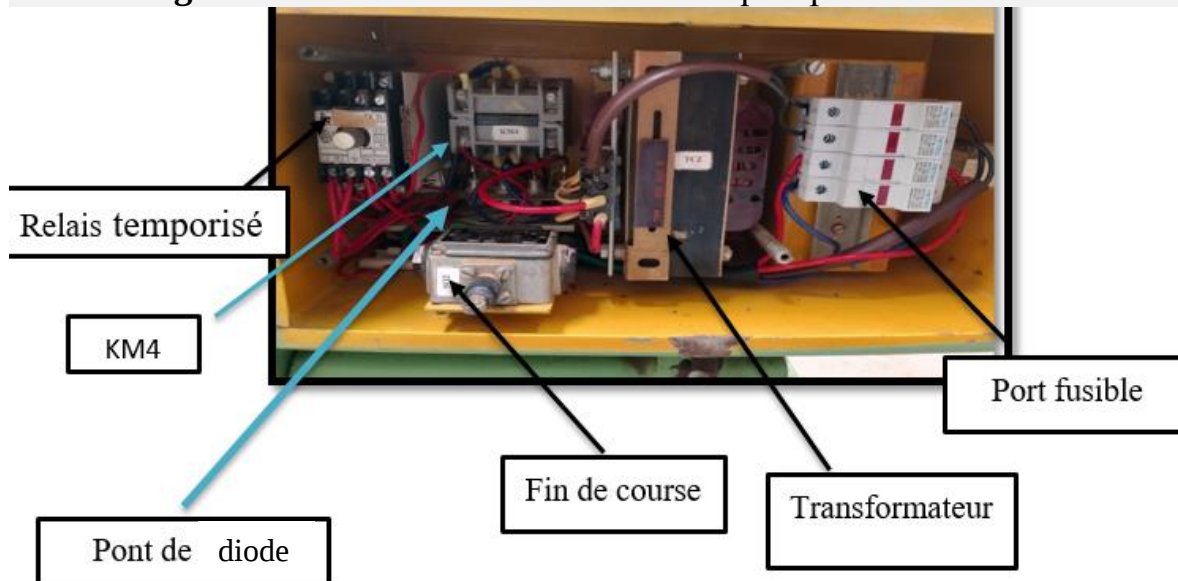


Figure III.27: Le circuit de freinage après la rénovation.

III.13-Améliorations fonctionnelles supplémentaires :

En plus du remplacement des composants principaux, nous avons ajouté plusieurs améliorations qui renforcent la sécurité, la facilité d'utilisation et le diagnostic visuel des pannes :

- Ajout d'un témoin de fonctionnement : Une lampe rouge a été installée et s'allume lorsque le tour parallèle est en marche, permettant à l'opérateur de connaître l'état de fonctionnement d'un simple coup d'œil.



Figure III.28: Une prise et un lampe témoin pour indique que le tour est en marche.

- Installation d'une prise électrique : Une prise industrielle a été fixée au niveau de l'armoire électrique, fournissant une source d'alimentation supplémentaire pour l'utilisation d'outils externes en cas de besoin, tels qu'un appareil de mesure ou un outil de maintenance, ce qui accroît la flexibilité du système électrique dans l'atelier.

- Installation d'un témoin d'alarme de surcharge : 03 lampes rouges reliées au relais thermique a été ajoutée, qui s'allume en cas de surcharge, offrant une intervention rapide pour éviter d'endommager les trois moteurs.



Figure III.29: Lampes témoins en cas de surcharge.

- Ajout d'un témoin lumineux jaune au niveau de l'interrupteur général : Un voyant jaune a été installé pour indiquer la position de l'interrupteur général, facilitant ainsi la vérification visuelle de l'état d'alimentation électrique de la machine.



Figure III.30: Un voyant jaune indique la position 0 ou 1 de l'interrupteur général.

- Ajout d'un témoin lumineux rouge indiquant qu'une anomalie de phase a été détecté ce qui prouve que le séquenceur de phases a travaillé et a empêcher le fonctionnement du tour.

Ces ajouts pratiques contribuent à améliorer l'efficacité de fonctionnement de la machine, à réduire les risques de pannes, ainsi qu'à faciliter la surveillance et l'intervention en cas de nécessité.

III.14- Essais de mise en service après rénovation :

Après l'installation complète de tous les composants électriques selon les schémas validés, nous sommes passés à la phase cruciale de mise en service. Cette étape permet de s'assurer que le nouveau système fonctionne correctement, en toute sécurité et conformément aux exigences techniques.

III.14.1-Etapes réalisées :

1. Vérification initiale : Contrôle de toutes les connexions pour s'assurer qu'aucun fil n'est mal serré ou mal connecté.
2. Mesures d'isolement : Test de la résistance d'isolement entre les phases et la terre afin de détecter d'éventuelles fuites électriques.
3. Essai à vide : Mise sous tension sans les moteurs connectés, pour vérifier le fonctionnement des disjoncteurs, contacteurs et circuits auxiliaires.
4. Le Séquenceur de phases: Vérification de sa capacité à détecter l'inversion ou la perte de phase et à empêcher tout démarrage risqué.
5. Mise en marche du moteur principal : Après validation des tests initiaux, le moteur principal a été alimenté progressivement, sous surveillance thermique et auditive.
6. Essai des moteurs secondaires (chariot et pompe) : Les moteurs auxiliaires ont été testés via la nouvelle interface de commande, assurant une réponse précise aux ordres.

III.14.2-Résultat :

- ✓ Tous les composants ont fonctionné sans anomalies.
- ✓ La réponse aux commandes était fluide et précise.
- ✓ Le système a démontré une stabilité et une sécurité optimales en fonctionnement réel.



Figure III.31: Le fonctionnement de tour après la rénovation.

III.15- Essai réel sur une pièce usinée :

Après l'achèvement de toutes les étapes d'installation et de mise en service, un essai pratique a été réalisé sur une pièce réelle, afin de valider les performances du système rénové dans des conditions de travail concrètes.

- La pièce a été fixée au mandrin fixé à la broche cette dernière est entraînée par le moteur principal, et celui a démarré sans problème.
- Les nouvelles commandes ont été utilisées avec fluidité, avec une réponse immédiate des moteurs du chariot et de l'inclinaison.
- Aucun dysfonctionnement ni interruption n'a été constaté.

Cet essai réel a confirmé que les améliorations apportées à l'armoire électrique sont entièrement opérationnelles, et que la machine est désormais prête à être utilisée en environnement industriel en toute sécurité et fiabilité.



Figure III.32:Un essai pratique sur une pièce réelle.

Conclusion Générale

Dans le cadre de ce projet la rénovation de la commande électrique d'un tour industriel au niveau du hall de technologie, nous avons entrepris une démarche complète allant de l'analyse de l'existant jusqu'à la mise en œuvre d'une nouvelle solution de commande plus moderne, fiable et sécurisée.

Les différentes étapes réalisées de l'étude théorique, en passant par la simulation, jusqu'aux essais pratiques en laboratoire nous ont permis de mieux comprendre les exigences techniques d'un système de commande industriel, ainsi que les contraintes liées à la rénovation d'équipements anciens.

Grâce à l'utilisation d'outils comme l'oscilloscope, nous avons pu observer le comportement réel du moteur avec et sans freinage, ce qui a confirmé la cohérence entre nos résultats simulés et expérimentaux.

Ce travail nous a permis non seulement de renforcer nos compétences en électrotechnique et en automatisme, mais aussi d'aborder une problématique réelle avec une approche professionnelle.

Le premier chapitre introductif nous a permis de découvrir le rôle des machines-outils dans le domaine industriel, leur classification, ainsi que leur mode de fonctionnement. Cette étude nous a naturellement conduits à nous concentrer sur le tour parallèle, équipement au cœur de notre projet.

Le deuxième chapitre a mis en lumière le fonctionnement du moteur asynchrone triphasé, composant essentiel du tour. L'analyse de ses caractéristiques et de ses méthodes de commande nous a permis de mieux appréhender son importance dans la chaîne de commande et de poser les bases nécessaires pour la phase de rénovation.

Le dernier chapitre de notre travail a porté sur la réalisation concrète de la rénovation. Nous avons présenté l'état initial, les choix techniques adoptés, les étapes de câblage et les essais effectués. Cette intervention a abouti à une solution fiable, conforme aux normes, et mieux adaptée aux exigences d'un environnement industriel.

Références bibliographique

Références bibliographiques

[1] Chapitre I : Généralités sur les machines-outils. Transféré par Hichem Tazir. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/501029970/Chapitre-I-Generalites-sur-les-machines-outils-1>

(Le Mar 31, 2021).

[2] Machine-outil : principe, fonctionnement et avantages. Zettaoctet. Disponible sur :

<https://zettaoctet.fr/technologie/machine-outil/>

[3] Les typologies de machine-outils. Anjou Machines Outils. Disponible sur : <https://www.amoutils.com/typologies-machines-outils>

[4] Machine de perçage | Perceuse industrielle | Taraudeuse. POP INDUSTRIE. Disponible sur : <https://www.pop-industrie.com/machine-de-percage-equipement-724>

[5] AZZIZI Nadjib, « Maintenance et réparation d'un tour parallèle », mémoire master, Université de BATNA, 2020.

[6] Jacques Perreault. Technologie générale des machines-outils. Éditions Casteilla, 1998.

[7] Jet. (n.d.). JWL-1440V et Nova Comet II : Tours à bois utilisés pour le façonnage et la sculpture du bois. Documentation technique.

[8] Harrison M300, Emco Maximat. (n.d.). Référence : Le tour traditionnel avec un outil de coupe se déplaçant parallèlement à l'axe de la pièce. Document technique.

[9] ELHAMEL Lamri, « Etude et réparation d'un boîte d'avance d'un tour parallèle », mémoire (D.E.U.A), Université de BISKRA, juin 2002.

[10] Ghezali Amina « Etude et maintenance d'une boîte de vitesse d'un tour parallèle « 16D25 » », mémoire master UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA, 2021.

[11] Fabrication mécanique tournage les organes d'un tour parallèle, 2016. Consulté Avril 2021.

[12] TRENS SN50 ou TOS SN50 (n.d) :

Références bibliographiques

<https://www.trens.sk/en/product-lines/sn50-classic>

[13] Moteur asynchrone triphasé. (2016). « Document de cours, Université d'Ibn Khaldoun – Tiaret.

[14] BELAIDI Mehdi, « La modélisation de la machine asynchrone en vue de sa commande » mémoire de Licence, Université Badji Mokhtar - Annaba – Algérie.

[15] Athmane BIR « Démarrages et Protection des Moteurs Asynchrones Triphasés » Mémoire de Fin d'Etudes de master PROFESSIONNEL, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2016.

[16] BOUBIR Messaoud « DIFFÉRENTS DÉMARRAGES/ FREINAGES DES MOTEURS ASYNCHRONES » support de cours, Université Batna 2, 2022/2023.

[17] Sakhri mohamed essadek « Étude moteur asynchrone » mémoire de LICENCE, Université bedji Mokhtar sidi Ammar Annaba, 2021.

[18] SEDKI Hamza « Procédés de démarrage des moteurs asynchrones » Compte rendu, Ecole national supérieur d'art et métier, université Moulay Smail, 2023.

[19] PDF : Mr ABDALLAH Issam « Appareillage d'un départ Moteur ».

[20] <https://fr.led-tact-switch.com/news/what-is-the-no-or-nc-push-button-switch-66241806.html>

[21] <https://electrotoile.eu/bloc-temporisation-travail-on-delay-et-repos-off-relay.php>

[22] <https://www.camsco.com.tw/fre/phase-voltage-protection-relay/phase-sequence-phase-failure-relay-PF-002.html>

[23] M.Germeroth, Three-phase Multifunction Machines, Lucas-Nülle GmbH, 2017.

