



Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
Département de Génie Industriel



Mémoire de Projet de fin d'études

Préparé par :

Mhamed ould RACHID et Saad ELMASSIOUI

Pour l'obtention du diplôme d'**Ingénieur d'Etat**

Spécialité : Ingénierie en Mécatronique

Intitulé :

Etude et analyse des problèmes dans l'onduleur SIMODRIVE et l'amélioration du système de manœuvre

Lieu : ONCF Fès
Réf : 012 /IMT14



Soutenu le 27 Juin 2014 devant le jury :



Pr. Idriss TAHRI, Président (Encadrant FST)
Mr. Mohammed ELALAOUI (Encadrant société)
Pr. Hassan KABBAJ (Examinateur)
Pr. Nabil ELOUAZZANI (Examinateur)

Résumé

Ce stage nous a permis de creuser dans le pilier de l'industrie, à savoir tout ce qui est onduleurs, variateurs de fréquence, commande numérique ... etc.

Dans un premier temps, on s'est familiarisé avec 1 machine CNC (commande numérique par ordinateur). Cette dernière assurant l'usinage des roues d'une manière automatique via le ordinateur SINUMERIK.

En ce qui concerne la partie du problème rencontré au niveau de l'onduleur SIMODRIVE, on a commencé tout d'abord avec une définition de l'onduleur et son principe de fonctionnement, ainsi que les différents types de commandes : commande en onde pleine et la commande en MLI (modulation de largeur d'impulsion). Après on a défini la méthode de réalisation des onduleurs MLI des locomotives, et puis on a passé à la description technique de l'onduleur MLI SIMODRIVE où on a expliqué l'avantage de l'utilisation des onduleurs MLI pour l'entraînement des axes d'avance de la machine outils, ainsi que son utilisation et son fonctionnement.

On a passé après à la description du problème rencontré sur l'onduleur SIMODRIVE : « l'endommagement fréquent de ses cartes de puissance et d'alimentation », pour cela on a divisé le travail en trois parties: premièrement la bonne utilisation normalisée de l'onduleur avec son entretien, puis la recherche des incidents qui peuvent intervenir sur l'onduleur et la cause principale qui détruit ses cartes et finalement la solution efficace proposée.

Puis on a cherché à améliorer le système de manœuvre, dont le problème fréquemment rencontré fut l'endommagement du variateur de fréquence. On a procédé en premier lieu comme suit : faire un diagnostic sur ce variateur mais la complexité de son circuit électronique était pour nous un obstacle. Puis après une discussion profonde, on a proposé aux responsables l'ALTIVAR312 de SHNEIDER ELECTRIQUE.

Mots clés : Machine CNC.. Onduleur SIMODRIVE... Variateur de fréquence.. Altivar 312

Abstract

This project has allowed us to dig into the backbone of the industry, namely everything inverters, frequency converters, digital control ... etc..

At first, we became familiar with the CNC (computer numerical control) machine. The latter ensuring the machining of wheels in an automatic manner via the computer SINUMERIK.

As regards the part of the problem in the inverter SIMODRIVE was initially started with a definition of the inverter and its operating principle, and the various types of commands: command with full wave and command with PWM (pulse width modulation). After we have defined the method of realization of PWM inverters locomotives, and then we have passed to the technical description of the PWM inverter SIMODRIVE which we have explained the advantage of the use of PWM inverters to drive the axes in advance of the machine tools, as well as its use and functionality.

We have moved on to the description of the problem found on the inverter SIMODRIVE "frequent damage to the cards and power supply" for this, we have divided the work into three parts: first, the good standardized use of the inverter



with its maintenance, then the search for incidents that may occur on the inverter and the main cause that destroyed his cards and finally the proposed effective solution.

Then sought to improve the steering system, which frequently encountered problem was the damage of the inverter. Was conducted in the first place as follows: make a diagnosis on the drive but the complexity of the electronic circuit was for us an obstacle. Then after a deep discussion, it was proposed to the leaders of ALTIVAR312 SHNEIDER ELECTRIC.

Keywords : CNC machine .. SIMODRIVE Inverter ... Inverter Altivar 312 ..



DÉDICACES

À mes parents, les êtres qui me sont les plus chers,

À mes frères et sœurs

À l'âme de mon aimable sœur que Dieu lui bénisse

À mes adorables neveux

À mes chers amis avec qui j'ai partagé énormément de choses,

À tous mes professeurs,

À tous ceux qui m'ont aidé,

À tous ceux que j'aime,

Je dédie ce travail...

Mhamed ould RACHID ould SALEH



DÉDICACES

*À ma très chère mère, À mon père affectueux,
Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que Dieu le tout
puissant vous préserve et vous procure santé et longue vie.*

*À mes frères, pour l'amour, le respect et le courage qu'ils m'ont toujours
octroyé;*

À ma petite et grande famille ;

À mes enseignants ;

À tous mes amis ;

*Je vous dédie ce travail, expression de mon profonde affection, avec tous
vœux de bonheur et de succès dans votre vie...*



ELMASSIOUI Saad.



Remerciements

C'est avec le plus grand plaisir que nous exprimons notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, près ou de loin, à l'accomplissement de ce humble travail.

Nous adressons nos sentiments de reconnaissance et de respect à notre parrain industriel à l'ONCF, Monsieur ELALAOUI pour son aide et ses directives précieuses durant le déroulement du projet.

Nous remercions vivement notre encadrant de La FST, Monsieur Idriss TAHRI pour ses précieux conseils, son aide et sa collaboration.

Nos remerciements s'adressent, également, à tout le personnel de l'ONCF et à tous ceux qui ont contribué, de quelque manière que ce soit, à l'aboutissement de ce modeste projet.

Que tous les membres du jury retrouvent ici l'expression de notre reconnaissance pour avoir accepté d'évaluer notre travail.



Sommaire :

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>DÉDICACES</i> | 4 |
| <i>DÉDICACES</i> | 5 |
| <i>Remerciements</i> | 7 |
| <i>Introduction Générale</i> | 12 |
| <i>CHAPITRE 1: PRÉSENTATION DE L'ONCF ET DU CENTRE DE MAINTENANCE ET DE FORMATION DES TRAINS DE LIGNE DE FÈS</i> | 13 |
| 1. <i>L'historique de l'ONCF</i> | 14 |
| 2. <i>Organigramme Général de l'ONCF</i> :..... | 15 |
| 3. <i>Programme d'investissement</i> | 16 |
| 3.1 <i>Programme 2005-2009</i> :..... | 16 |
| 3.2 <i>Programme 2010-2015</i> :..... | 16 |
| 4. <i>Centre de Formation et de Maintenance des Trains de Ligne</i> | 18 |
| 4-1. <i>Organigramme du CMFTLF (centre de maintenance et formation des trains de ligne de Fès)</i> | 20 |
| 4-2. <i>Fonctions CMFTLF</i> | 21 |
| 4-2-1- <i>Fonction Maintenance du Parc</i> | 21 |
| 4-2-2- <i>Fonction Exploitation</i> | 21 |
| 4-2-3- <i>Fonction Ressources Humaines</i> | 21 |
| 4-3 <i>Présentation des unités de production de CMFTLF</i> | 22 |
| Unité de production n°1 | 22 |
| Unité de production n°2 | 22 |
| Unité de production n°3 | 23 |
| <i>CHAPITRE: 2 ÉTUDE DE LA PROBLÉMATIQUE RENCONTRÉE SUR L'ONDULEUR SIMODRIVE DE LA MACHINE CNC ET LA SOLUTION PROPOSÉE</i> | 24 |
| 1. <i>Généralités</i> | 25 |
| 1.1. <i>Les convertisseurs</i> | 25 |
| 1.2. <i>Les interrupteurs</i> | 26 |
| I. <i>Exploitation des onduleurs dans la traction ferroviaire</i> | 28 |



| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | Introduction | 28 |
| 2. | Les Onduleurs..... | 28 |
| 3. | Principe de fonctionnement..... | 29 |
| 4. | Choix des interrupteurs | 31 |
| II. | <i>Méthode de réalisation des onduleurs MLI auxiliaires</i> Des | |
| | <i>Locomotives</i> | 32 |
| 1. | Introduction:..... | 32 |
| 2. | Etude des grandeurs obtenues..... | 34 |
| 2.1. | Méthode de transformation de la tension | 34 |
| 2.2. | Exemples pour différents rapports cycliques : | 34 |
| 2.3. | Application à la commande en onde pleine : | 35 |
| 3. | Création des signaux de commande des interrupteurs | 36 |
| 4. | Principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé | 37 |
| 5. | Composant de puissance utilisé | 38 |
| III. | <i>Description technique de l'onduleur à modulation de largeur</i> d' | |
| | <i>Impulsions –SIMODRIVE 60CS6101-4A-Z</i> | 39 |
| 1. | Introduction | 39 |
| 2. | Description de l'onduleur MLI à transistor SIMODRIVE 60CS6101-4A-Z..... | 39 |
| 2.1. | Utilisation..... | 39 |
| 2.2. | Fonctionnement | 40 |
| 2.3. | Constitution | 41 |
| V. | <i>Utilisation standard de l'onduleur</i> | 43 |
| a. | Montage:..... | 43 |
| b. | Câble de liaison moteur–onduleur MLI : | 44 |
| c. | Raccordement : | 44 |
| d. | Entretien de l'onduleur : | 44 |
| VI. | <i>Analyse des causes possibles:</i> | 45 |
| 6.1. | Les défauts les plus courants : | 45 |
| 6.1.1. | Défaut d'origine électrique:..... | 45 |
| 6.1.2. | Défaut d'origine mécanique:..... | 45 |
| 6.2. | Les causes essentielles possibles..... | 47 |



| | | |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.3. | Principes de la protection envisagée | 48 |
| VII. | <i>Solution proposée</i> | 49 |
| 1. | Relais de mesure de courant, modèle RM84871..... | 49 |
| 1.1. | Definition | 49 |
| 1.2. | Caractéristique..... | 49 |
| 2. | Principe de fonctionnement : | 49 |
| 2.1. | Contrôle de courant alternatif / continu sans mémoire | 49 |
| 2.2. | Contrôle de courant alternatif / continu avec mémoire..... | 50 |
| 2.3. | Fonction surcharge | 50 |
| 2.4. | Fonction sous-charge..... | 50 |
| 3. | Les transformateurs de courant TI..... | 50 |
| 3.1. | Caractéristiques | 51 |
| 4. | Power Meter PM800 avec afficheur intégré | 51 |
| 4.1. | Les Applications du PM800 | 51 |
| 4.2. | Raccordement..... | 52 |
| 5. | Le Schéma de raccordement proposé..... | 53 |
| 5.1. | Constitution : | 53 |
| 5.2. | Le Schéma du circuit de puissance : | 54 |
| 5.3. | Le Circuit de commande | 55 |
| 5.4. | Principe de fonctionnement : | 56 |
| | CHAPITRE 3 : AMÉLIORATION DE LA COMMANDE DU SYSTÈME DE MANŒUVRE DE TOUR EN FOSSE | 57 |
| 1. | <i>Description</i> | 58 |
| 1.1. | Moteur asynchrone : | 58 |
| 1.1.1. | Généralités : | 58 |
| 1.1.2. | Principe de fonctionnement : | 59 |
| 1.1.3. | Caractéristique du moteur asynchrone..... | 60 |
| 1.1.4. | Le bobinage..... | 61 |
| 1.2. | Variateur de vitesse | 62 |
| 1.2' | Notre situation : | 63 |
| 2. | <i>Contrainte rencontrée sur le système de manœuvre</i> | 63 |



| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Description du problème | 63 |
| 2.2. Schéma d'installation actuelle pour un seul moteur..... | 63 |
| 3. La solution proposée:..... | 65 |
| 3.1. Présentation | 65 |
| <i>Etude financière :</i> | 70 |
| CONCLUSION | 71 |
| <i>Annexes :</i> | 73 |



Introduction Générale

Afin de faire face à la concurrence, les entreprises doivent répondre aux besoins du marché ; c'est là que des approches d'amélioration de la production de l'entreprise ont vu le jour.

Respecter le temps de fabrication des roues de trains est devenu actuellement l'un des problèmes majeurs auxquels l'entreprise doit s'attaquer en premier temps. C'est précisément dans cette optique que s'inscrit notre projet

Ce projet de fin d'études a eu lieu à l'office national de chemin de fer (ONCF). Il a porté sur la fiabilisation du système de commande de l'onduleur à modulation de largeur d'impulsion à transistor SIMODRIVE pour l'entraînement des axes d'avance de la machine outils CNC du tour en fosse, permettant de donner un nouveau profil aux roues de trains, lorsque ces derniers atteints une valeur critique de diamètre pouvant provoquer des problèmes majeurs.

Cette onduleur qui permet l'entraînement des axes d'avances de la machine outils rencontre un problème qui est l'endommagement fréquent de ces cartes de puissance et la carte d'alimentation. Ceci entraîne une perte de flexibilité et par suite de production. Notre mission est de trouver une solution fiable et économique pour éviter l'apparition de ce problème au futur.

Pour ce faire, On a commencé par une présentation générale de l'ONCF (chapitre 1) dans le quel on a décrit brièvement les différents fonctions et unités du centre de formation et de maintenance des trains de ligne de Fès, puis on a définis les convertisseurs d'une manière générale et les interrupteurs de puissance utilisés dans ses convertisseurs (chapitre 2) et avant de passer a la problématique rencontrée au niveau de l'onduleur SIMODRIVE, une connaissance de l'onduleur avec son principe de fonctionnement est essentiel pour trouver la solution la plus fiable et efficace.

Un système de manœuvre permettant de déplacer le train pour l'usinage de ses différentes roues présente un problème au niveau du variateur de vitesse, on a bien traité ce problème (chapitre3) avant de proposer la solution la plus optimale afin de ne plus avoir des anomalies.



CHAPITRE 1: PRÉSENTATION DE L'ONCF ET DU CENTRE DE MAINTENANCE ET DE FORMATION DES TRAINS DE LIGNE DE FÈS



1. L'historique de l'ONCF

Historiquement, la construction du réseau des chemins de fer du Maroc remonte au début du 20ème siècle. En effet, les premières lignes construites à voie de 0,60m ont été établies à partir de 1916, et ce n'est qu'en 1923 que la construction des voies à écartement normal a été confiée à trois Compagnies concessionnaires privées. Ces dernières se partagèrent le trafic ferroviaire, en exploitant chacune la partie du réseau qui lui était concédée, jusqu'en 1963, lorsque le Gouvernement Marocain a décidé le rachat des concessions et la création de l'Office National des Chemins de Fer (ONCF).

C'est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière, et placé sous la tutelle du Ministère du Transport et de la Marine Marchande.

L'ONCF qui emploie actuellement environ 9767 agents, gère et exploite un réseau de 1.907 Km de ligne, dont 1.537 Km à voie unique (80%) et 370 Km à double voie (20%)

Ce réseau comporte également 528 Km de voie de service et 201 Km de ligne d'embranchements particuliers reliant diverses entreprises au réseau ferré national.

A noter que 53% de la longueur totale dudit réseau, soit 1003 Km, est électrifiée à 3000 volt continu, alors que 904 Km sont exploités en traction Diesel. Ainsi, le réseau ferroviaire marocain qui permet des vitesses de 160 Km/h sur certains tronçons. Se présente sous forme d'un couloir reliant le Sud (Marrakech) à l'Est (Oujda) avec des antennes vers Tanger, Safi, Oued Zem, El Jadida et Bou Aârfâ. Il dessert les grandes villes et les principaux ports du Royaume à l'exception de ceux d'Agadir au Sud et de Nador au Nord.

Pour ce qui est de l'activité de transport, l'ONCF opère sur trois marchés stratégiquement indépendants, à savoir le transport des voyageurs, le transport des marchandises diverses et le transport des phosphates.

2. Organigramme Général de l'ONCF :

La figure ci-dessous représente l'organigramme général de l'ONCF avec ses différentes directions :

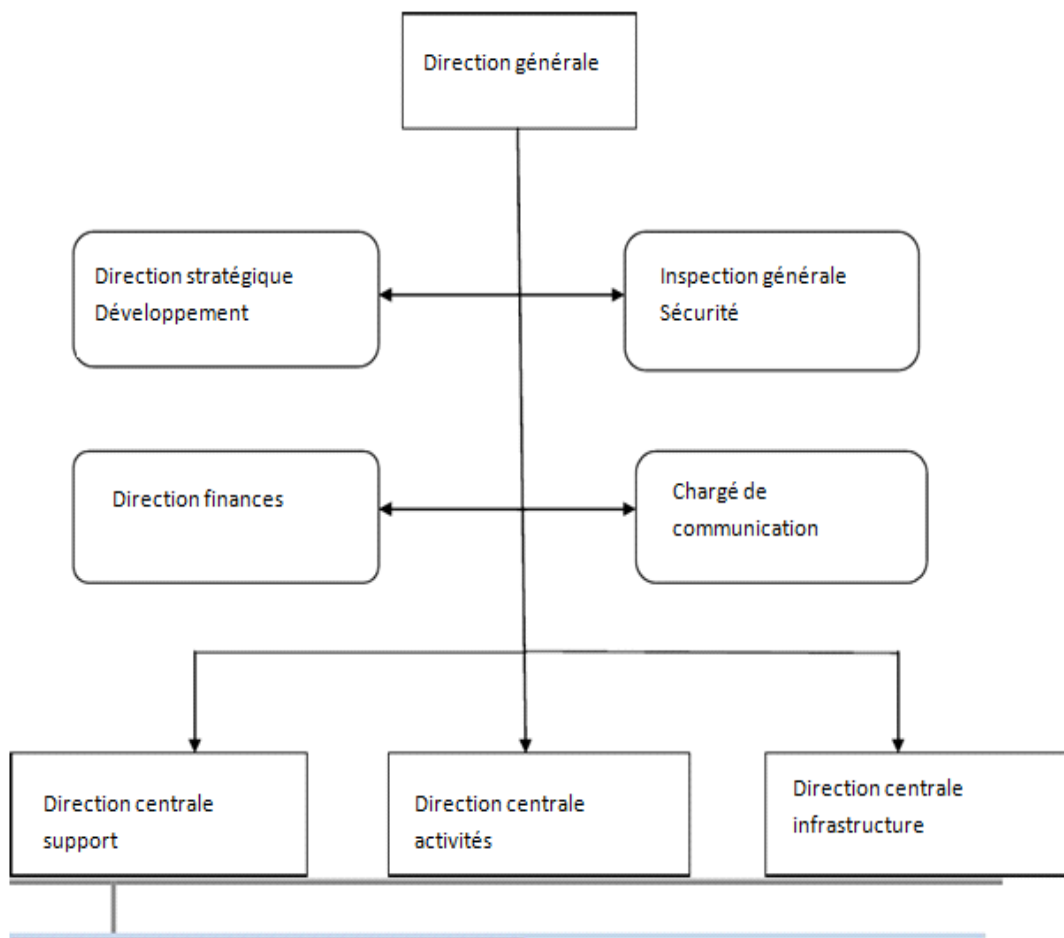


Figure1 : Organigramme générale de l'ONCF



3. Programme d'investissement

3.1 Programme 2005-2009:

Pour concrétiser la vision orientée « client » de l'ONCF, un ambitieux programme de développement de l'outil ferroviaire a été mis en place. Couvrant la période 2005-2009, il totalise une enveloppe conséquente de 18 milliards de dirhams et a été engagée en totalité. Il consiste en la construction de 400 km de nouvelles voies ferrés au profit de pôles économiques non rattachés au rail, le renouvellement de 400 km de voie et caténaires, l'électrification de 300 km, la modernisation des gares pour les hisser au rang de centres multiservices, l'acquisition de nouvelles rames et locomotives,...

C'est dire qu'il s'agit d'un portefeuille de projets visant :

- La mise à niveau du réseau ferré actuel, son extension et l'amélioration des conditions de son exploitation ;
- la modernisation des installations d'accueil à travers un programme ambitieux d'aménagement et d'équipement des gares ;
- L'acquisition d'un nouveau matériel de transport de réhabilitation du parc actuel.

3.2 Programme 2010-2015 :

Le programme d'investissement de l'ONCF pour la période 2010-2015 est en cours de finalisation avec les pouvoirs publics dans le cadre du prochain Contrat Programme Etat-ONCF. Comme principales finalités assignées à ce programme, citons ce qui suit :

- être en phase avec la stratégie de développement du secteur des transports au Maroc ;
- Donner un nouvel élan à la compétitivité du rail au Maroc ;
- Se doter d'un réseau plus performant répondant aux attentes des clients et aux aspirations des opérateurs économiques ;



- Rehausser le niveau de la qualité des prestations offertes ;
- Améliorer la productivité de l'appareil de production: rentabilité, efficacité, optimisation des coûts.

Ce programme s'articule autour de trois types d'opérations en phase avec les axes stratégiques définis par le Ministère de l'Équipement et des Transports, à savoir :

- Des grands chantiers structurants à fortes retombées, visant à pérenniser et à accroître la compétitivité du rail, comme la construction du TGVM Casablanca-Tanger ;
- L'augmentation de la capacité de la ligne entre Casablanca-Kénitra ;
- Le doublement partiel de la voie entre Settat-Marrakech ;
- La mise à niveau de la ligne de l'Oriental et l'acquisition de matériel roulant ;
- Des projets de compétitivité logistique comme la création de nouvelles gares fret ;
- Réalisation d'embranchements particuliers et l'acquisition du matériel roulant ;
- Des projets de mobilité et de transport durable à savoir la mise à niveau de l'infrastructure ;
- La modernisation des gares;
- L'amélioration de l'environnement du travail et la réhabilitation du matériel roulant.



4. Centre de Formation et de Maintenance des Trains de Ligne

L'établissement est sous la direction de Mr BELOUCHI qui dirige à la fois l'unité de gestion des ressources humaines, l'unité technique et le centre de maintenance voyageurs Fès. Ce dernier a comme fonction la réalisation des différentes visites de maintenance sur l'ensemble des voitures et locomotives de la rame :

- Visite limité (VL) : c'est une visite électrique dans laquelle l'opérateur est amené à :
 1. Consulter le tableau de bord ;
 2. Visiter et vérifier l'appareillage (selon les manuels de maintenance) des fourgons générateurs.

Autre travaux systématiques (ATS) : sur les voitures climatisées 3ème, 4ème et 5ème série.

- Visite générale (VG) : concernant tout ce qui est climatisation, éclairage, sonorisation, caisse, confort, sanitaire et infrastructure ;
- Visite à l'arrivée (VA) : sur climatisation, éclairage, sonorisation, caisse, confort, sanitaire et infrastructure est concerne :
 - les voitures climatisées 3ème , 4ème et 5ème série.
 - les voitures ordinaires.
 - les fourgons générateurs.

Cette visite se fait à l'aide de la consultation d'un carnet de bord qui contient l'enregistrement des anomalies constatées par l'agent d'accompagnement (ACR).





4-1.Organigramme du CMFTLF (centre de maintenance et formation des trains de ligne de Fès)

L'organigramme du centre de maintenance et formation des trains de ligne de Fès avec l'ensemble des supports techniques et administratifs, les unités de production du centre sont présentés sur la figure2 :

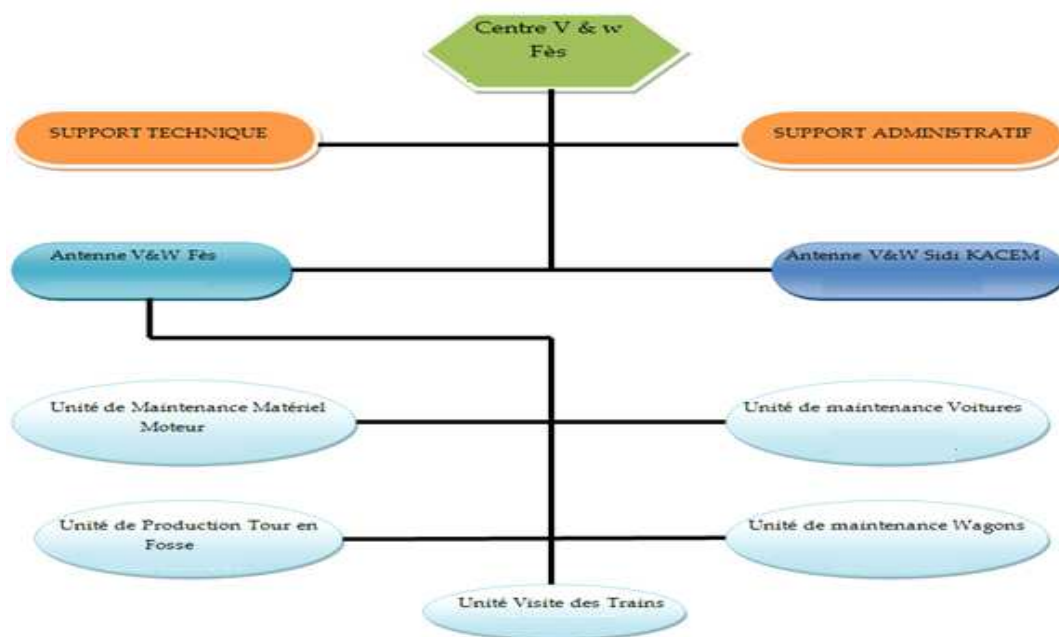


Figure2 : Organigramme du centre de maintenance et de formation des trains de ligne de Fès



4-2. Fonctions CMFTLF

Le CMFTLF assure plusieurs fonctions telles que :

4-2-1- Fonction Maintenance du Parc

Elle est chargée de :

- ✓ Elaborer et mettre en œuvre le plan Maintenance ;
- ✓ Définir les besoins en pièces de rechange.

4-2-2-Fonction Exploitation

Cette fonction a comme finalité :

- ✓ La création opérationnelle du matériel roulant ;
- ✓ D'élaborer et suivre la réalisation des roulements du personnel de Conduite, s'assurer de la disponibilité du matériel voyageur.

4-2-3-Fonction Ressources Humaines

L'objectif principal de cette fonction est :

- ✓ Assurer la gestion prévisionnelle des ressources humaines ;
- ✓ Rationaliser l'affectation des ressources ;
- ✓ Participer à l'élaboration du plan de Formation.

4-2-4-Fonction Comptabilité :

La fonction comptabilité se charge de :

- ✓ Elaborer le budget d'Exploitation et suivre son exécution ;
- ✓ Elaborer la comptabilité de l'établissement ;
- ✓ Assurer les achats locaux.

4-2-5-Missions de CMFTL

Les missions du centre se résument comme suit:

- ✓ La maintenance et la préparation des rames à Voyageur destinées Aux trains nobles qui font la liaison Fès Marrakech pour un parcours de 600Km ;
- ✓ La visite à l'arrivée des locomotives électriques et la maintenance de quatre locomotives diesel de manœuvre ;



- ✓ La gérance d'un service Mouvement qui comprend 27 Mécaniciens (agents de conduite machines) et 23 CTR (Chefs de Train), coiffé par un chef de traction dépôt et d'un chef de traction ligne.

4-3 Présentation des unités de production de CMFTLF

Unité de production n°1

L'unité de production des matériels à voyageurs est une unité de maintenance et d'entretien des matériels à voyageurs de grande vitesse (GV) à partir d'une visite à l'arrivée VA.

Visite à l'arrivée VA : est une visite effectuée chaque jour pour s'assurer du bon fonctionnement du matériel à voyageurs. On visite les parties suivantes :

- ✓ Partie climatisation;
- ✓ Partie éclairage / sonorisation;
- ✓ Partie caisse / Confort/ sanitaire;
- ✓ Partie essai de frein;
- ✓ Partie visite mécanique.

Unité de production n°2

L'unité de production du matériel moteur est une unité de maintenance et d'entretien du matériel moteur à partir d'une visite à l'arrivée VA. On distingue deux types de locomotives (moteur) :

- ✓ Loco électrique;
- ✓ Loco diesel.

Les travaux à effectués en VA sont:

- ✓ Essai de frein;
- ✓ Graisseur boudin et rail;
- ✓ Essais réalisés après visites;
- ✓ Partie électrique: Mise sous tension et essais (recherche d'anomalie), enregistrement Des travaux (l'agent se renseigne sur les conformités des fourgons générateurs) ;
- ✓ Relevé dimensionnel des roues;
- ✓ Partie mécanique: maintenance du matériel remorqué à voyageurs partie confort,



mécanique bogie et travaux de reprofilage.

Unité de production n°3

Le Tour en Fosse est une machine d'usinage des roues et des disques de frein des essieux montés. L'usinage se fait automatiquement. Cette opération est assistée et contrôlée par une commande CNC du type SINUMERIK 850T.

La commande CNC (commande numérique par ordinateur) est l'élément primordial de la machine qu'il faut traiter et entretenir avec les plus grands soins possibles.

Différents types de Tour en Fosse de l'ONCF :

- Tour en fosse de Fès type 106 CNC 850 T de Fabrication Allemande.
- Tour en fosse de JORF type E.G.D 150 N de Fabrication Polonaise.
- Tour en fosse de KENITRA type U.G.E 150 N de Fabrication Polonaise.



CHAPITRE: 2 ÉTUDE DE LA PROBLÉMATIQUE RENCONTRÉE SUR L'ONDULEUR SIMODRIVÉ DE LA MACHINE À COMMANDE NUMÉRIQUE ET LA SOLUTION PROPOSÉE



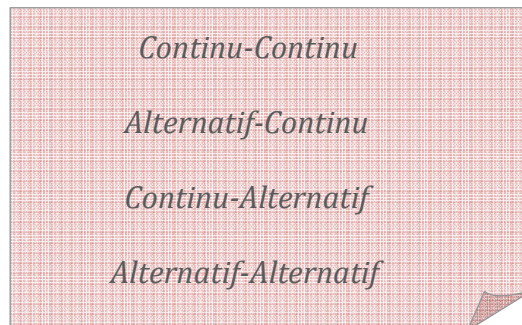
I. Généralités

L'électronique de puissance, que l'on devrait d'ailleurs nommer " électronique de conversion d'énergie" a connu un tel essor qu'aujourd'hui près de 15% de l'énergie produite est convertie sous une forme ou une autre.

1 . Les convertisseurs

Le convertisseur agit sur l'énergie pour la changer en une autre forme pour

On distingue généralement quatre convertisseurs de l'électronique



satisfaire la charge.
fonctions des
de puissance :

Conversion :

Mais en plus de ses dénominations purement fonctionnelles, des noms particuliers ont été donnés à certains convertisseurs.

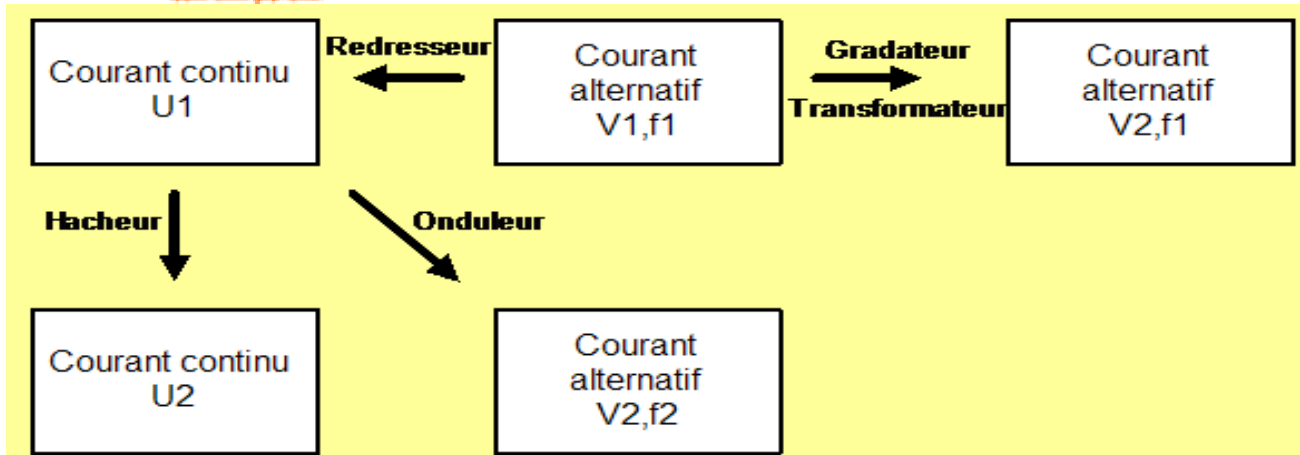


Figure3: Les différents convertisseurs

Ces convertisseurs sont constitués par des interrupteurs permettant de modifier la forme de la tension d'une source de tension Continu ou Alternatif, par des commutations spontanées ou commandées des interrupteurs d'une manière appropriée.

(voir annexe A)

2. Les interrupteurs

Les semi-conducteurs de puissance actuels peuvent être classés en trois catégories :

1. Diodes. États fermés ou ouverts contrôlés par le circuit de puissance (blocage spontané et amorçage spontané), figures (4-1, 4-2).

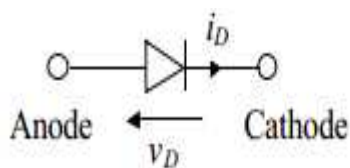


Figure 4-1 : symbole électrique d'une Diode idéalisée

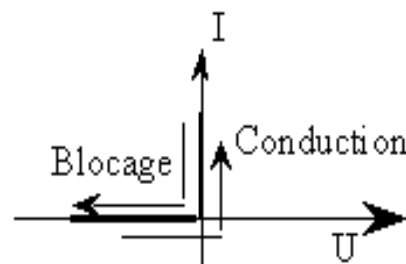


Figure 4-2 : caractéristique statique

2. Thyristors. Fermé par un signal de commande, mais doit être ouvert par le circuit de puissance (blocage spontané et amorçage commandé). C'est un interrupteur électronique constitué de quatre couches semi-conductrices, il contient trois électrodes : l'Anode, la Cathode, et la gâchette, figures (5-1, 5-2).

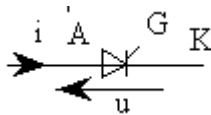


Figure 5-1 : symbole électrique du thyristor

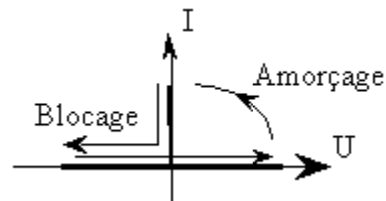


Figure 5-2 : caractéristique idéalisée

3. Interrupteurs commandables à l'ouverture et à la fermeture. Ouverts et fermés par un signal de commande (Figures 6-1, 6-2).

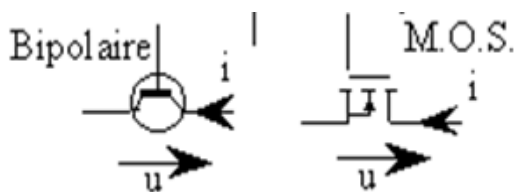


Figure 6-1 : transistor Bipolaire et M.O.S

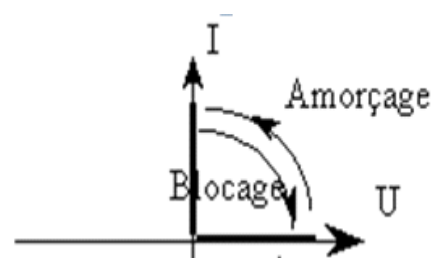


Figure 6-2 : caractéristique idéalisée du transistor

La catégorie des interrupteurs commandables inclut de nombreux types de composants :

- Transistors Bipolaires à Jonctions (Bipolar Junction Transistors - BJTs) ;



- Transistors à effet de champ Metal-Oxyde-Semiconducteur (MOSFETs) ;
- Transistors bipolaires à grille isolée (Insulated Gate Bipolar Transistors - IGBTs) ;

II. Exploitation des onduleurs dans la traction ferroviaire

1. Introduction

La Motorisation moderne des engins de traction ferroviaire fait appel à la technologie asynchrone et le pilotage des moteurs triphasés via des onduleurs de tension. L'adaptation de la tension et/ou du courant d'alimentation des onduleurs, est obtenue par des structures de convertisseurs d'entrée plus ou moins complexes.

2. Les Onduleurs

Un onduleur est un convertisseur continu-alternatif qui, à partir d'une source continue, permet d'alimenter une charge en alternatif. Ils sont généralement des



convertisseurs directs : Tension => courant ou courant => tension.

Les onduleurs étudiés ici sont autonomes : la fréquence et la forme du signal fourni à la charge sont imposées par la commande. Ils peuvent être monophasés ou triphasés selon l'application désirée.

Pour chacun d'eux on distingue deux types de commande :

- La commande en onde pleine : le signal de sortie est généralement proche d'un signal carré. Ce type d'onduleur est employé lorsque la forme du signal alternatif n'est pas primordiale (alimentation d'un système de chauffage par induction, alimentation de machines tournantes de fortes puissances...)
- La commande en MLI (modulation de largeur d'impulsions) : ce type de commande permet de générer une onde qui, après filtrage est sinusoïdale d'amplitude et de fréquence variables. Ce genre d'onduleur est employé pour générer un signal alternatif proche d'une sinusoïde (alimentation sans coupure, entraînement des machines synchrones ou asynchrones à vitesse variable...).

(Pour les caractéristiques de l'onduleur voir annexe B)

3. Principe de fonctionnement

Considérons un onduleur de tension monophasé direct qui, à partir d'une source de tension continue, alimente une charge alternativement dans un sens

et dans l'autre de façon à imposer une tension alternative en créneaux.

Le montage de la Figure 7 à quatre interrupteurs s'appelle le pont complet ou pont en H.

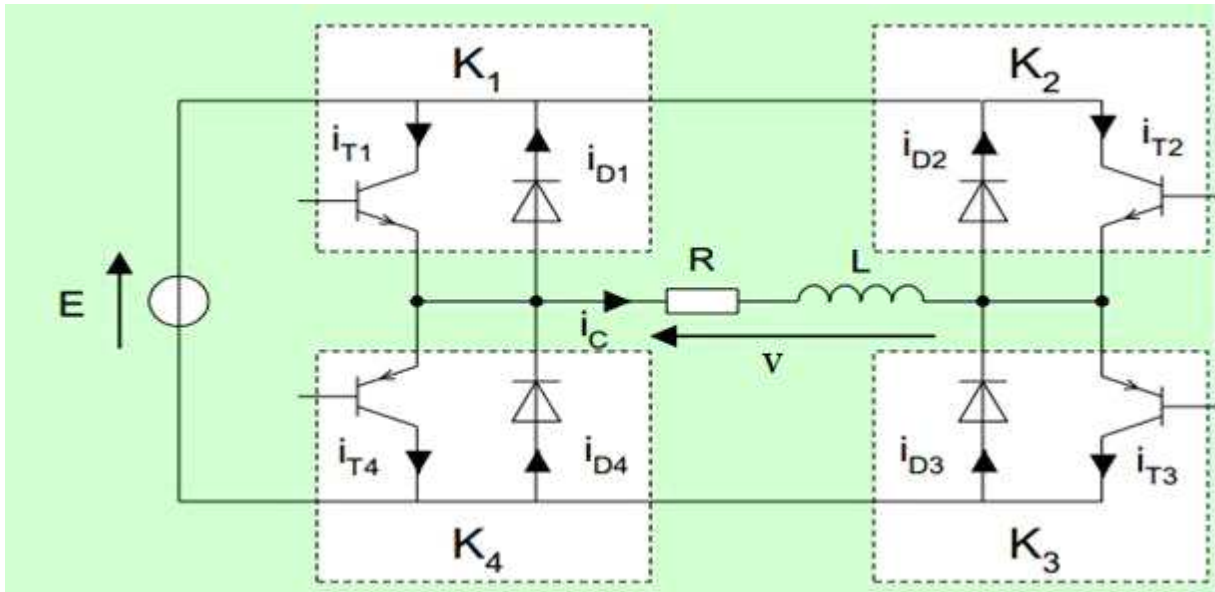


Figure 7 : onduleur de tension monophasé

Avec une logique de commande des interrupteurs, la structure de convertisseur peut avoir deux configurations :

Première configuration possible:

- K1 K3 fermés, K2 K4 ouverts : $V = +E$

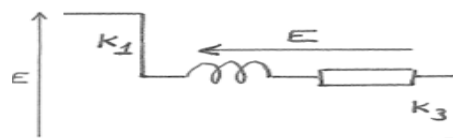


Figure 8-1

Deuxième configuration possible:

- K2 K4 fermés, K1 K3 ouverts : $V = -E$

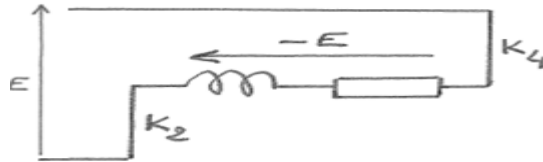


Figure 8-2

4. Choix des interrupteurs

Prenons l'exemple d'une onde rectangulaire en sortie. Dans cet exemple (Figure 8-1) sur charge inductive R-L le fondamental du courant est en retard sur celui de la tension. Pendant la première demi-période, K1 et K3 conduisent mais le courant s'inverse : les interrupteurs doivent donc être bidirectionnels en courant. L'interrupteur K2 du premier bras supporte quant à lui la tension +E de l'alimentation : les interrupteurs n'auront pas de tension inverse à supporter (unidirectionnels en tension). Ces interrupteurs pourront être simplement des transistors munis d'une diode antiparallèle (Figure 8-2).

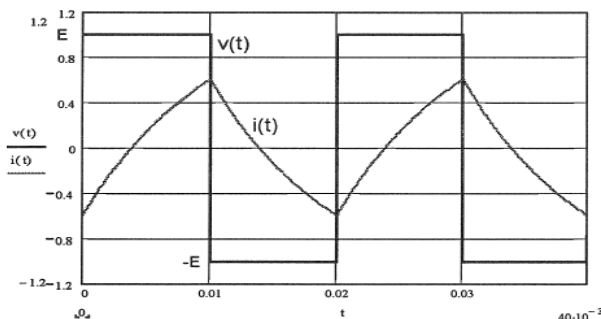


Figure 9-1 : forme d'onde

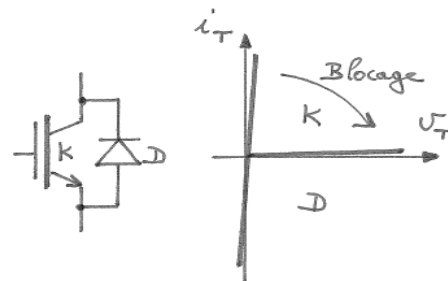


Figure 9-2 : caractéristiques statiques

L'inversion de la tension aux bornes de la charge s'effectuera grâce au blocage de K1 K3 ce qui entraîne la conduction de D2 D4. L'amorçage de K2 K4 peut alors intervenir, au plus tard lors de l'inversion de courant, généralement on maintient un temps de retard appelé « temps mort » entre le blocage d'un semi-conducteur et l'amorçage du semi-conducteur du même bras.

Dans ce cas de figure, la commande au blocage est importante et les semi-conducteurs doivent pouvoir être commandés à l'ouverture (transistors MOS ou IGBT, thyristor GTO...)

III. Méthode de réalisation des onduleurs MLI auxiliaires Des locomotives

1. Introduction:

Le convertisseur auxiliaire (Figure 9) : Il est chargé de convertir les 3000V DC (continu) de la caténaire en une tension triphasée avec neutre pour alimenter le train en électricité. Celle-ci est utilisée notamment pour les prises d'ordinateurs portables, l'éclairage, la ventilation, le chauffage ou encore, par le biais d'un redresseur, la charge de batteries. par contre le convertisseur principal d'un train quant à lui convertit la tension de la caténaire en une tension alternative destinée à piloter les moteurs du train. La fréquence de la tension de sortie est variable.

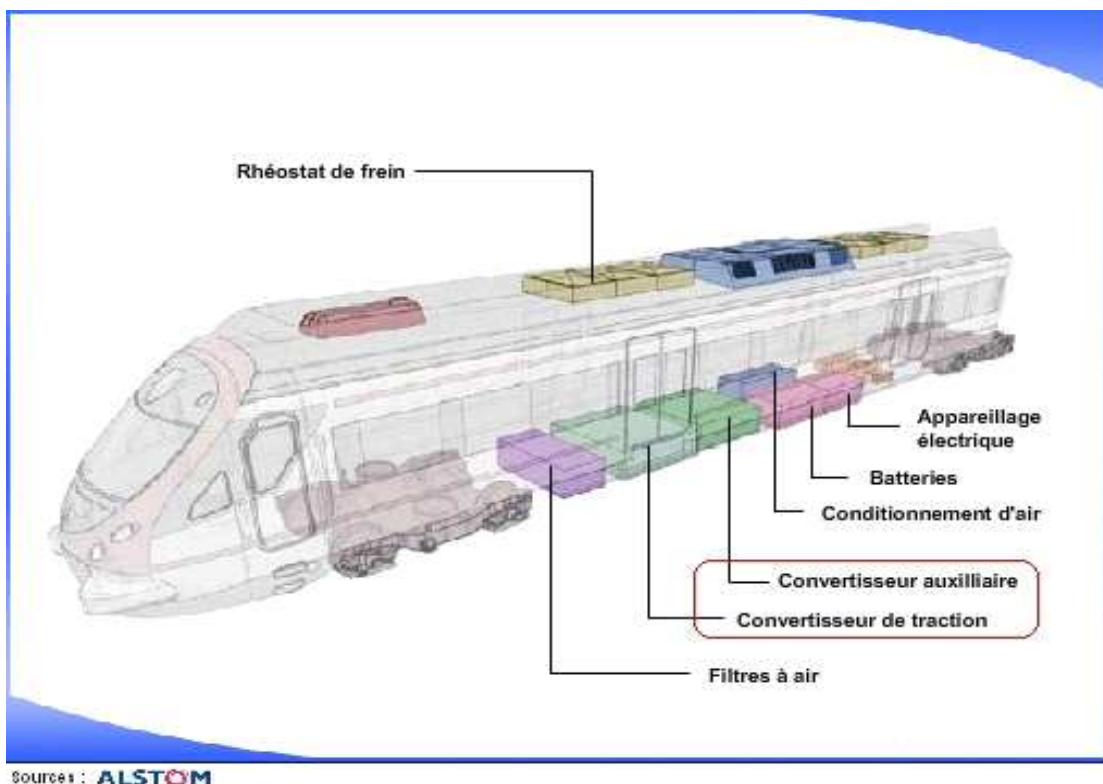


Figure 10: Convertisseur auxiliaire et convertisseur de traction.



2. Etude des grandeurs obtenues

2.1. Méthode de transformation de la tension

On transforme la tension continue en une suite d'impulsions dont la valeur moyenne correspond à la valeur de la tension continue désirée.

Imaginons que nous avons à notre disposition une source continue de 3000V mais que nous désirions alimenter un appareil électrique en 300V continu. Une solution consiste à alimenter l'appareil avec la tension de 3000V pendant un certain temps, puis de couper l'alimentation pendant un temps neuf fois plus long et de recommencer. La moyenne de la tension fournie aux bornes de l'appareil est alors de 300V, il n'y a plus de risque d'endommager le récepteur. Si c'est de 500V dont on a besoin, il suffit de changer la largeur de l'impulsion par rapport à la période.

2.2. Exemples pour différents rapports cycliques:

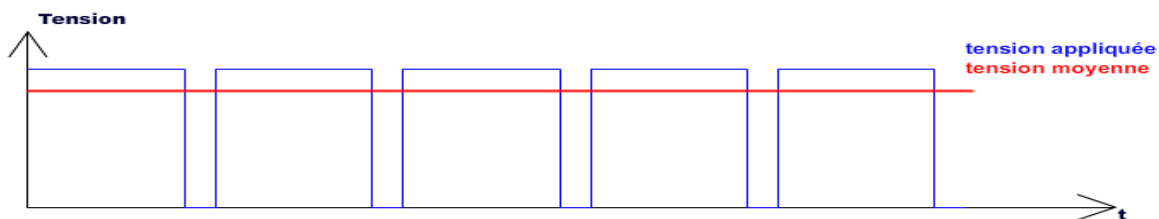


Figure 11-1: exemple rapport cyclique 1

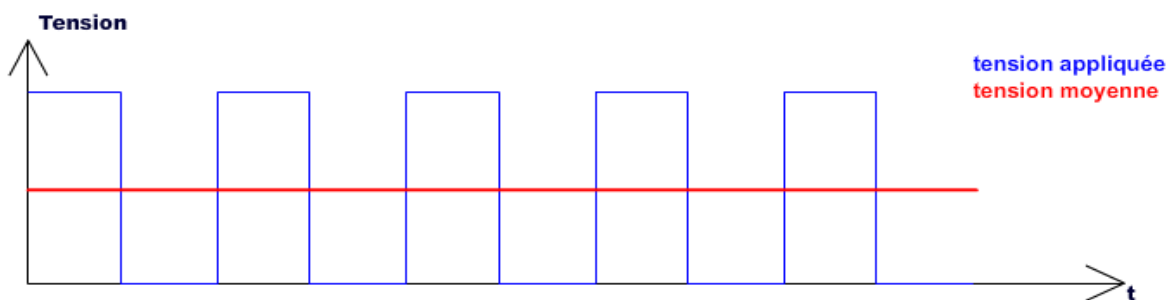


Figure 11-2: exemple rapport cyclique 2

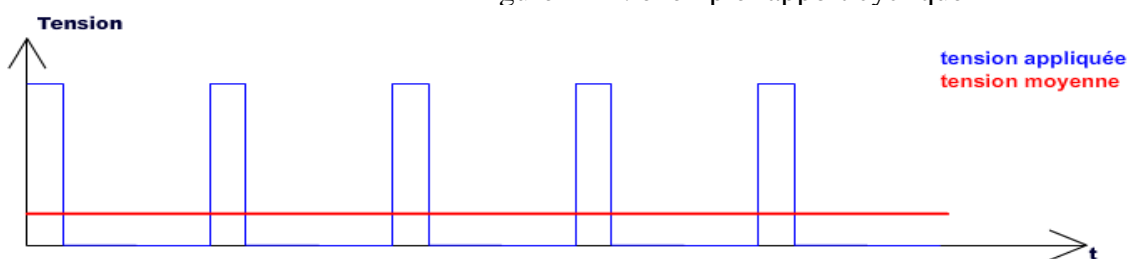


Figure 11-3 exemple rapport cyclique 3

Remarque :

Si le temps d'application de la pleine tension est trop long (une seconde par exemple), le courant dans le récepteur va suivre les variations de la tension, ce qui risque de le détruire. Par contre, si la fréquence du signal découpé augmente, 20kHz par exemple, le récepteur ne verra plus à son entrée que la moyenne du signal grâce à son aspect inductif.

«On dit qu'un système est inductif, lorsqu'il s'oppose à une variation brusque de courant». Il est représenté par une inductance ou self (bobine). Tous les composants, même une résistance (comme une ampoule par exemple) possèdent une inductance qui va empêcher le courant de varier brusquement à fréquence élevée.

2.3. Application à la commande en onde pleine :

La tension réelle "vue" par le récepteur correspond à la tension moyenne des impulsions sortant de l'onduleur, pour autant que la fréquence des impulsions soit élevée:

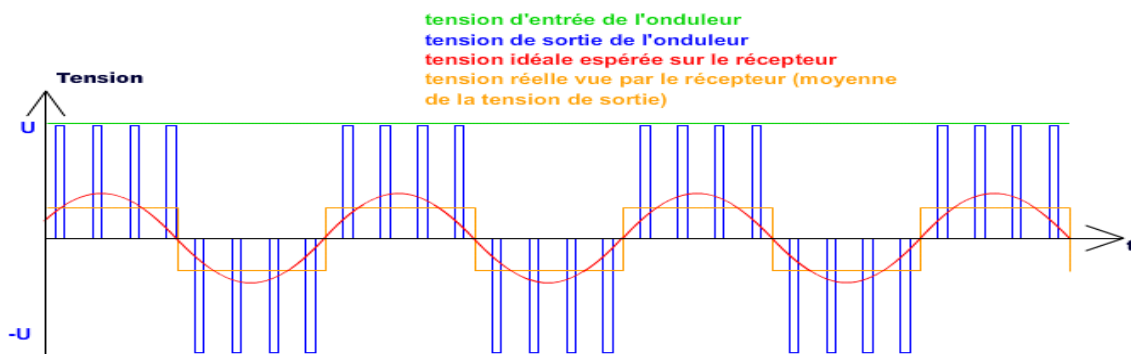


Figure 12 : commande en onde pleine

Nous avons réussi à obtenir une tension de sortie alternative dont la valeur est désormais modifiable. Cependant, cette tension reste un signal carré et non sinusoïdal comme espéré. Les signaux carrés sont mauvais car ils contiennent des harmoniques gênantes entraînant des pertes de puissance non négligeables.

- Puisqu'il est possible, avec des impulsions de largeur bien déterminée, de changer la valeur moyenne, on peut donc modifier ce rapport cyclique de manière à ce que les valeurs moyennes des différentes tension de sortie décrivent une sinusoïde. C'est le principe de la Modulation de Largeur d'Impulsion: MLI ou PWM (Pulse Width Modulation).

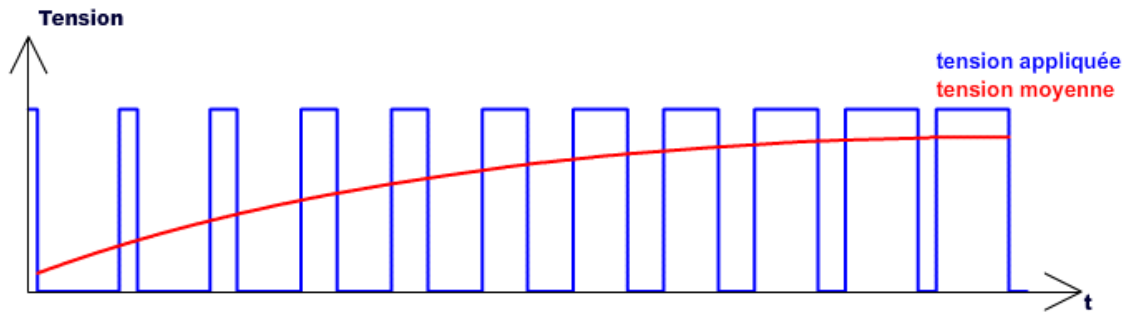


Figure 13-1 : tension de sortie sous forme d'une sinusoïde

Il ne reste plus qu'à appliquer ce principe à l'onduleur et ainsi ne plus avoir une tension "carrée" vue par le récepteur mais bien une tension sinusoïdale.

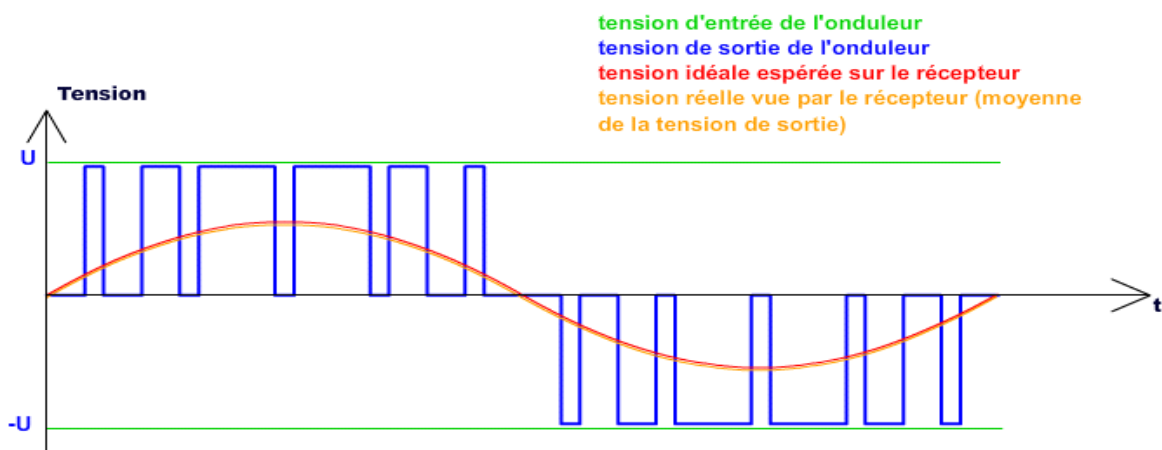


Figure 13-2 tension sinusoïdale vue par le du récepteur

En pratique, le courant reçu par un récepteur en sortie de l'onduleur n'est pas aussi lissé qu'un courant sinusoïdal idéal. Cependant, il l'est suffisamment pour pouvoir alimenter correctement.

3. Création des signaux de commande des interrupteurs

Il est nécessaire de savoir comment on peut créer en pratique les signaux de commande des interrupteurs (en PWM), pour obtenir une tension aux bornes de la charge comme décrits ci-dessus. la valeur moyenne des signaux de commande des interrupteurs est de l'ordre de quelques volts (12 V).

Un signal en forme de triangle (en bleu) à la fréquence du signal PWM de l'onduleur est comparé à une sinusoïde (en rouge). Elle correspond à la sinusoïde dont on cherche le signal PWM. A la sortie du comparateur est obtenu directement ce signal PWM (en vert) qui va commander les interrupteurs de puissance.

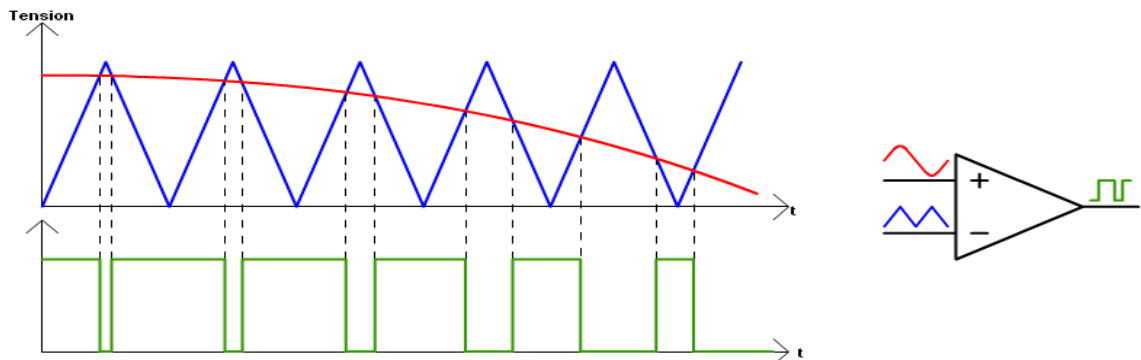


Figure 14: signal de commande des interrupteurs

4. Principe de fonctionnement de l'onduleur triphasé

Le schéma ci-dessous représente le principe de l'onduleur triphasé. Chaque phase (appelées R, S et T) est reliée soit à la masse (0V), soit à la pleine tension suivant la séquence en PWM qui commande deux interrupteurs par phase. Il y a deux possibilités:

- Soit l'interrupteur du haut est fermé (il laisse passer le courant) et celui du bas est ouvert : La phase reçoit la pleine tension.
- Soit l'interrupteur du haut est ouvert et celui du bas est fermé : La phase reçoit la tension nulle.

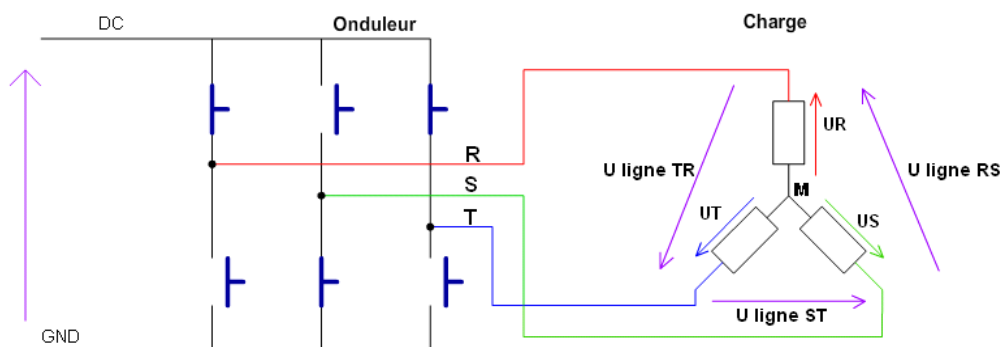


Figure 15 : Principe de l'onduleur triphasé.

5. Composant de puissance utilisé

Le transistor bipolaire à grille isolée IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) est un dispositif [semi-conducteur](#) de la famille des [transistors](#) qui est utilisé comme interrupteur électronique, principalement dans les montages de l'[électronique de puissance](#).

L'IGBT est un transistor hybride, regroupant un transistor à effet de champ du type MOSFET en entrée et un transistor bipolaire en sortie. Il est ainsi commandé par la [tension](#) de grille (entre [grille](#) et [émetteur](#)) qui lui est appliquée, mais ses caractéristiques de conduction (entre collecteur et émetteur) sont celles d'un bipolaire.

Le schéma équivalent du transistor IGBT ci-contre (Figure 3) montre un troisième transistor, qui représente en fait une propriété parasite responsable du *latching* (*verrouillage*).

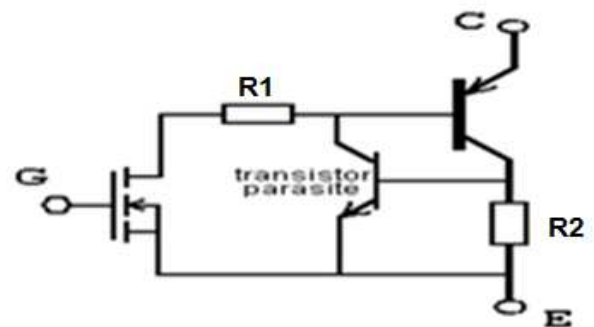


Figure 15 : Schéma équivalent du transistor

Cette structure lui donne le faible coût énergétique de commande d'un MOSFET, avec des pertes de [conduction](#) plus faibles (à surface de puce donnée) d'un bipolaire. De plus, les IGBT peuvent gérer une tension bien plus élevée que celle gérée par les MOSFET.

C'est ce transistor qui est utilisé dans le convertisseur auxiliaire.

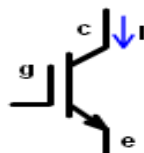


Figure 16 : transistor IGBT (caractéristiques voir annexe C)

IV. Description technique de l'onduleur à modulation de largeur d'Impulsions — SIMODRIVE 60CS6101-4A-Z

1. Introduction

Les onduleurs à source de tension génèrent des tensions et des courants dont la composante harmonique est relativement élevée. Ces harmoniques produisent des couples pulsatifs. Quand le moteur tourne à une vitesse relativement élevée, ces pulsations sont amorties par l'inertie mécanique. Cependant, à basse vitesse, elles peuvent produire une vibration considérable. Dans certaines applications, comme les machines outils, ces vibrations sont inacceptables si la haute précision est recommandée. Dans ce cas, un système d'entraînement utilisant un onduleur à modulation de largeur d'impulsion (MLI) est la solution.

2. Description de l'onduleur MLI à transistor SIMODRIVE 60CS6101-4A-Z

2.1. Utilisation

Les onduleurs à modulation de largeur d'impulsions à transistors sont utilisés, en liaison avec le servomoteur triphasé pour l'entraînement des axes d'avance de machine à outils. Ils régulent la vitesse d'entraînement d'avance en fonctionnement dans les quatre quadrants.

Ils s'adaptent aux exigences les plus élevées de comportement dynamique de régulation.



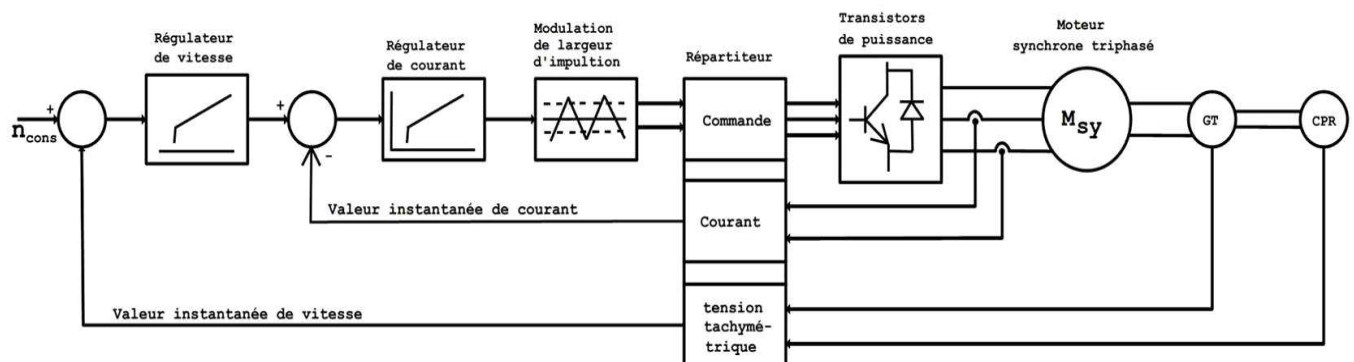
Figure 17 : Onduleur à modulation de largeur d'impulsion à transistors pour entraînements d'avance triphasée 6SC61-4A-Z

2.2. Fonctionnement

La structure du circuit de régulation de l'entraînement d'avance triphasé est de type cascade avec deux boucles de régulation de vitesse et de courant. Le signal de sortie du régulateur de courant est appliqué à un modulateur de largeur d'impulsions. Ce dernier convertit la valeur analogique continue en un signal binaire dont le rapport cyclique est proportionnel à l'amplitude du signal d'entrée. La valeur de consigne de la tension sous forme d'impulsions modulées en largeur commande les transistors de l'onduleur qui produisent une tension proportionnelle à la valeur de consigne et dont la valeur moyenne est réglée par le rapport cyclique.

Dans le cas des entraînements triphasés, la fonction du collecteur électromécanique est assurée par un commutateur électronique. Les signaux du capteur de position du rotor permettent la commande du commutateur électronique et ainsi de l'onduleur du variateur.

La valeur instantanée de la vitesse est mesurée à l'aide d'une génératrice. Tachymétrique triphasée sans balais.



GT :Génératrice tachymétrique

CPR:Capteur de position du rotor

Figure 18: schéma fonctionnel d'un entraînement d'avance triphasé

2.3. Constitution

L'onduleur MLI est constitué de :

- ✓ **deux cartes de régulation** (Figure 19) 6SC6100-0GA11 côté gauche et droit, chacune d'elle représente les axes X et Z, voir figure 22.



Figure 19: carte de régulation

- ✓ **une carte d'alimentation** (figure 20) 6SC6100-0GB00:

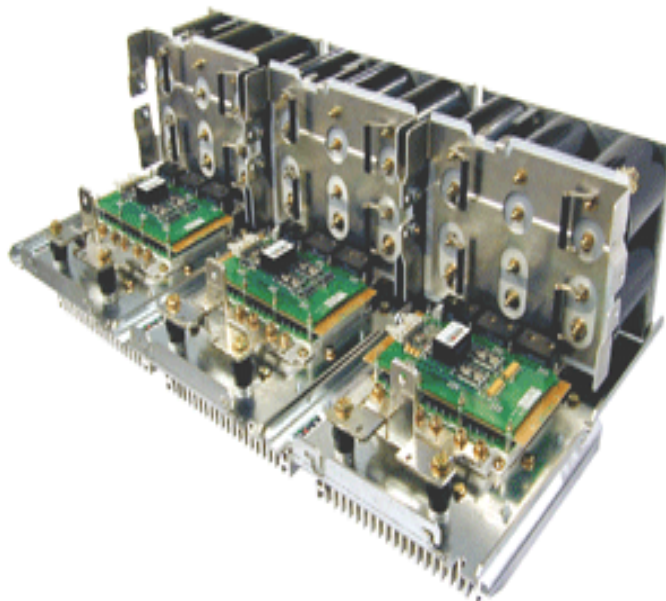


Figure 20: carte d'alimentation

- ✓ **Quatre cartes de puissances** (Figure 21) 6SC130-0FE00 telle que chaque deux cartes de puissances sont reliées à une carte de régulation et qui représente un axe.



Figure21: carte de puissance

La liaison entre ces cartes est présentée dans le schéma suivant : figure 22

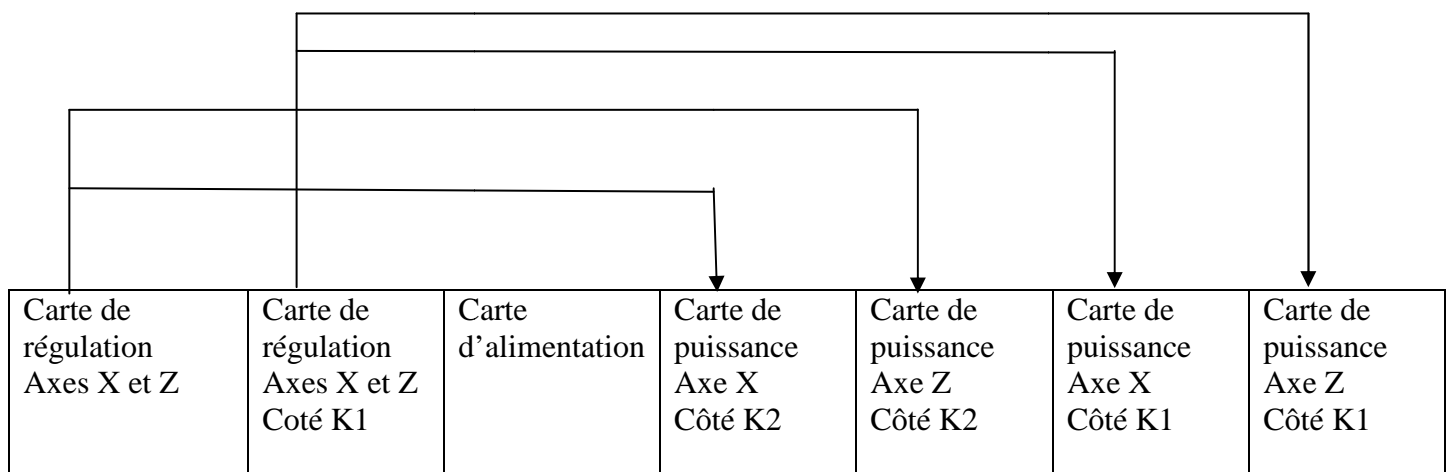


Figure 22 : liaison entre les différentes cartes

V. Description du problème rencontré sur l'onduleur SIMODRIVE 60CS6101-4A-Z

L'endommagement fréquent de ses cartes de puissances et la carte d'alimentation entraîne l'arrêt de la production (reprofilage des roues). Par conséquent, il y a un effet indésirable vue la disponibilité seulement de deux tours en fosse au Maroc responsables du reprofilage des roues de train de voyageurs, des locomotives, et des wagonnets. Donc un manque important de production, vue le cycle d'usinage effectué chaque jour.

Pour subvenir à ce problème, les cartes défectueuses sont transférées à l'atelier électronique de l'ONCF à Casablanca pour les réparer, dans le cas contraire on demande des cartes nouvelles très coûteuses auprès de la société Siemens. Donc la mission est de trouver une solution fiable et économique.

➤ Pour cela le travail se fera en trois étapes :

1. La bonne utilisation standard (Normalisée) de l'onduleur avec son entretien.
2. La recherche des incidents qui peuvent intervenir sur l'onduleur et la cause principale qui détruit ses cartes.
3. La solution efficace proposée.



VI. Utilisation standard de l'onduleur

a. Montage:

Prévoir un espace libre d'au moins 100 mm au-dessous de l'appareil pour ne pas gêner la circulation de l'air. Les appareils doivent être montés de manière qu'ils soient protégés contre les dépôts conducteurs de poussières.

b. Câble de liaison moteur-onduleur MLI :

La longueur maximale du câble est environ 50 m. Des longueurs jusqu'à environ 100 m sont possibles, mais elles entraînent éventuellement une limitation de la dynamique et une diminution de la qualité de rotation aux très basses vitesses.

c. Raccordement :

Les appareils se raccordent au réseau par l'intermédiaire d'un autotransformateur ou d'un transformateur de séparation.

Remarque :

Les conducteurs des signaux de commande doivent être blindés et séparés des conducteurs de puissance.

d. Entretien de l'onduleur :

Lorsque l'onduleur fonctionne mal, c'est toute l'installation qui en est affectée. Un entretien de l'onduleur et donc primordial pour garantir la pérennité de son bon fonctionnement :

| Défauts | Significations | Causes Possibles |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Axe ne se déplace Pas | +/- 15V en dehors de la plage de tolérance ou absence de l'alimentation. | Fusible principale externe défectueux ou pas en place, ou alimentation défectueuse. |
| | Tension de circuit intermédiaire trop élevée. | Tension de raccordement trop élevée, moment d'inertie extérieur trop élevé. |
| | Surveillance du régulateur de vitesse (régulateur en butée) est entrée en action. | Câble moteur coupé, blocage mécanique, câble de signaux défectueux, partie puissance défectueuse. |
| Axe se déplace mais déclenchements répétés de l'appareil | Surtension dans le circuit intermédiaire lors du freinage. | Moment d'inertie extérieur trop élevé, vitesse moteur supérieur à la vitesse nominale |
| | Accélération ou inversion de sens trop longue (plus de 200ms). | Limitation de courant : réglé à une valeur trop faible ou moment d'inertie extérieur trop élevé |

| Défauts | significations | Causes possibles |
|----------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mauvais état de surface de la pièce ou positionnement imprécis | | Moteur défectueux (rotation irrégulière aux faibles consignes) |
| | | Interaction entre les axes, signifie mauvais blindage ou mauvaise pose du conducteur de masse |
| Fusion de fusible | intensité dangereuse | Défaut dans la partie puissance |
| | | Défaut dans l'alimentation et la surveillance, ou dans la limitation de tension du circuit intermédiaire |

Tableau 1 : entretien de l'onduleur

VI. Analyse des causes possibles:

Une augmentation ou une diminution anormale des grandeurs dans un circuit électrique constitue un défaut ou une perturbation. Ce sont le plus souvent les variations anormales de la tension, de l'intensité et de la fréquence qui sont à l'origine de ces perturbations.

6.1. Les défauts les plus courants :

6.1.1. Défaut d'origine électrique:

Les défauts de nature électrique les plus rencontrés sont :

- Surtension,
- Chute de tension,
- Déséquilibre du système triphasé, perte de phases qui provoquent des variations sur le courant absorbé,
- Courts-circuits dont le courant peut atteindre des niveaux destructeurs pour le récepteur.

6.1.2. Défaut d'origine mécanique:

Les défauts de nature mécanique les plus rencontrés sont :

- Blocage du rotor,
- Surcharge momentanée ou prolongée qui entraînent une augmentation du courant absorbé par le moteur, d'où un échauffement.
- Frottements excessifs sur un arbre moteur.



- Efforts d'usinage trop élevés.

6.2. Les causes essentielles possibles

Après avoir consulté la documentation technique de l'onduleur SIMODRIVE et de sa protection équipée. On a constaté qu'on peut négliger les défauts : courts circuits, surtension... . Vu la méthode d'usinage on a remarqué qu'on peut rencontrer des problèmes d'origine mécanique puisqu'on travaille toujours avec des couples élevés. Par ailleurs le limiteur de courant dans le circuit intermédiaire ne fonctionne pas correctement.

Cette analyse nous permet de relever les causes essentielles possibles qui sont :

| Défauts | Origines | Effets | Conséquences sur la machine |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>Blocage du rotor</i> | <i>Problème mécanique</i> | <i>Surintensité</i> | <i>Sur-échauffement Conséquences sur les cartes d'onduleur</i> |
| <i>frottements excessifs sur un arbre moteur</i> | <i>Problème mécanique</i> | <i>Surintensité</i> | <i>Sur-échauffement Conséquences sur les cartes d'onduleur</i> |
| <i>Démarrage fréquent</i> | | <i>Surintensité</i> | <i>Sur-échauffement Conséquences sur les cartes d'onduleur</i> |
| <i>efforts d'usinage trop élevés.</i> | <i>Problème mécanique</i> | <i>Surintensité</i> | <i>Sur-échauffement Conséquences sur les cartes d'onduleur</i> |
| <i>Limiteur de courant dans le circuit intermédiaire absent ou dysfonctionné</i> | | <i>Surintensité</i> | <i>Sur-échauffement Conséquences sur les cartes d'onduleur</i> |

Tableau 2 : causes essentielles

D'où la nécessité de chercher une solution fiable pour protéger les cartes de l'onduleur contre les surintensités.

6.3. Principes de la protection envisagée

Tout dispositif de protection doit à la fois détecter la perturbation et couper le circuit qui est à l'origine de cette perturbation.

➤ **Dans le cas des surintensités on doit définir le rôle du dispositif :**

- Protection contre les surcharges.
- Protection contre les courts-circuits.
- Protection contre tous les types de surintensité.

L'autre point important est de savoir si l'appareil est capable d'éliminer sans dommage le défaut.

Il faut donc choisir un appareil de protection capable de répondre aux exigences demandées.

VII. **Solution proposée**

On a proposé d'intégrer une installation électrique au circuit de puissance et de commande qui va nous servir pour protéger l'onduleur contre l'endommagement de ses cartes de puissances et la carte d'alimentation. Cette installation contient un relais de contrôle de courant avec des transformateurs de courant en se basant sur les courants nominaux et maximaux supportés par ses cartes. Un analyseur de réseau permet de décrire le comportement du circuit électrique lors de son fonctionnement, dont les choix technologies sont :

1. Relais de mesure de courant, modèle RM84871

1.1. Définition

Le relais de courant permet de surveiller une intensité dans un circuit. Ce contrôle permet de définir des seuils de fonctionnement, de sécurité ou de réaliser des automatismes.

1.2. Caractéristique

Il permet de contrôler la perte de phase avec tension régénérée et la tension nominale (tension nominale de 208 v à 480 v, 50/60 Hz). La précision de mesure et fonctionnalités optimisées sont aussi ses qualités pour sécuriser toute installation électrique.

Contrôle: sélectionnez le mode de contrôle "Surintensité" ou "Sous-intensité" par un DIP Switch situé sous le boîtier.

Sécurité: de la même façon, choisissez d'activer ou pas la fonction mémorisation du défaut et réglez la temporisation T1 de franchissement de seuil, ainsi que la temporisation d'inhibition T2. Par ailleurs, le mode alternatif/continu est détecté.

(voir annexe D)

2. Principe de fonctionnement :

2.1. Contrôle de courant alternatif / continu sans mémoire

Lorsque la valeur du courant contrôlé, alternatif ou continu, atteint le seuil affiché en face avant, le relais de sortie change d'état à la fin du temps T1. Il revient instantanément à l'état initial lorsque le courant devient inférieur au seuil d'hystérésis, ou par coupure d'alimentation.

2.2. Contrôle de courant alternatif/ continu avec mémoire

Le relais de sortie change d'état à la fin du temps T1 et reste verrouillé dans cette position. Pour le réarmer, il faut réactiver la fonction mémoire par coupure de l'alimentation auxiliaire.

2.3. Fonction surcharge

La temporisation à la mise sous tension T2 permet d'inhiber les pointes de courant dues au démarrage de moteurs. La temporisation au franchissement croissant du seuil T1 assure une immunité aux transitoires et autres parasites, empêchant ainsi des battements intempestifs du relais de sortie.

2.4. Fonction sous-charge

La temporisation à la mise sous tension T2 permet d'inhiber d'éventuels creux de courant. La temporisation au franchissement décroissant du seuil T1 assure une immunité aux baisses aléatoires, empêchant ainsi des battements intempestifs du relais de sortie.

3. Les transformateurs de courant TI

Le transformateur de courant est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est dans les conditions normales d'emploi, a comme fonction de diviser la valeur du courant à mesurer par un facteur constant.

Ils se déclinent en deux grandes familles : les transformateurs d'intensité à câble et les transformateurs d'intensité à barre. Ils sont utilisés en association avec des appareils de mesure : ampèremètres, Wattmètre, centrales de mesure, relais de contrôle, etc.



TC
transformateur de courant

Figure 23 : transformateur de courant

3.1. Caractéristiques

- rapport de transformation 40/5 A à 6000/5 A
- tension maximale d'utilisation : 720 V CA
- Tropicalisé

4. Power Meter PM800 avec afficheur intégré

Le PowerLogic série PM800 (Figure 21) est un appareil qui a un grand nombre de fonctions évoluées Nécessaires à la mesure et à la surveillance d'une installation électrique. Tous les modèles intègrent un afficheur très lisible avec indication simultanée des mesures des trois phases et du neutre. Il possède un port de communication Modbus RS-485, une entrée logique, une sortie logique KY. il permet la mesure des taux de distorsion harmonique totale (THD) . Il a des fonctions d'alarme pour le signalement des conditions critiques.



Figure 24: Power Meter PM800

4.1. Les Applications du PM800

Il permet de faire les opérations suivantes :

- Mesure locale
- Sous-comptage, allocation des coûts et gestion de l'énergie
- Surveillance à distance de l'installation
- Analyse de la qualité d'énergie
- Vérification des factures de distributeur, optimisation du contrat et de la continuité de service.

Remarque:

Les avantages du PM800 sont :

- ✓ Montage facile ;
- ✓ Lecture simple des informations ;
- ✓ Fonctions d'alarmes personnalisables.

4.2. Raccordement

Pour le raccordement il y'a trois fils, deux transformateurs de courant, et deux transformateurs de tension. Le bloc court-circuiteur permet de protéger le transformateur de courant contre les court-circuits.

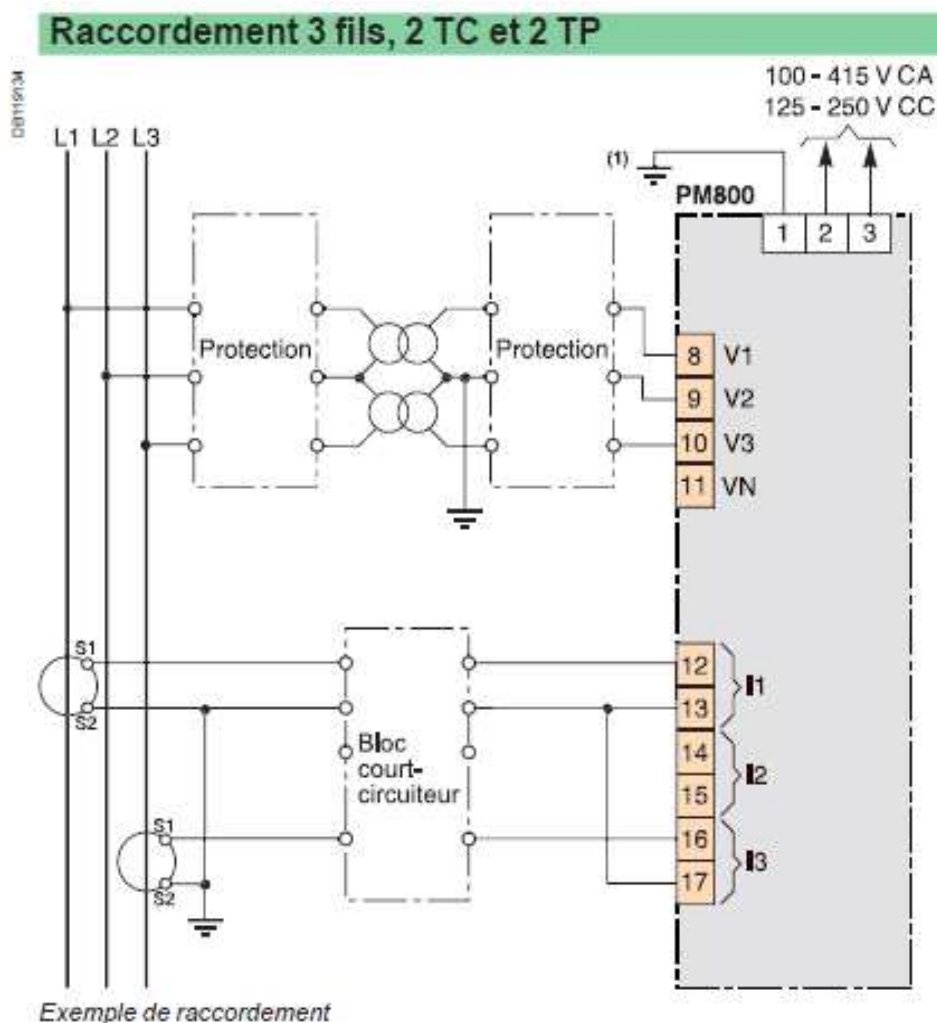


Figure 25 : raccordement du PM800

5. Le Schéma de raccordement proposé

5.1. Constitution :

- Un système triphasé avec neutre.

- Le coupe-circuit à fusible : c'est un organe de sécurité dont le rôle est d'ouvrir le circuit électrique lorsque le courant électrique dans celui-ci atteint une valeur d'intensité dangereuse, (généralement une valeur d'intensité fixée). Il fonctionne par fusion d'un filament conducteur, sous l'effet de l'élévation de température provoquer par la surintensité.

- Un transformateur : qui permet d'alimenter les relais de contrôle de courant.

- Un autotransformateur : c'est un transformateur ne disposant que d'un seul enroulement, Le secondaire étant une partie de l'enroulement primaire.

- Un redresseur : permettant de convertir la tension alternative en une tension continue, (inverse de l'onduleur), pour alimenter les cartes de l'onduleur.

- Les transformateurs de courant : basés sur les courants maximaux supportés par Les cartes de l'onduleur.

5.2. Le Schéma du circuit de puissance :

ci-dessous le schéma de puissance proposé qui permet l'alimentation des cartes d'onduleur :

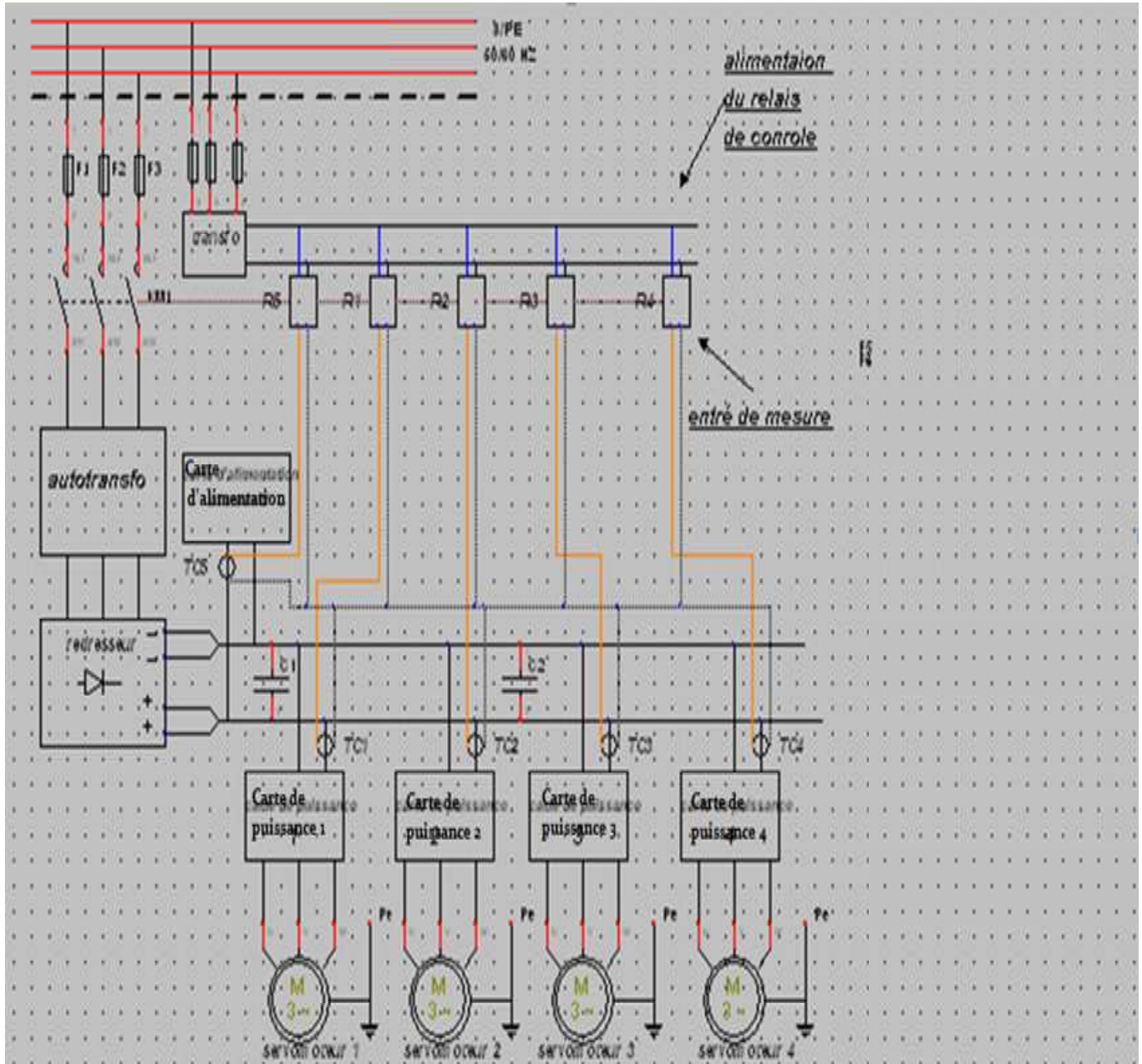


Figure 26: schéma du circuit de puissance

Cette solution permet l'alimentation des cartes de l'onduleur en les protégeant contre les surintensités. (voir page 49)

5.3. Le Circuit de commande

Le schéma qui suit représente le circuit commandant la partie puissance vue précédemment.

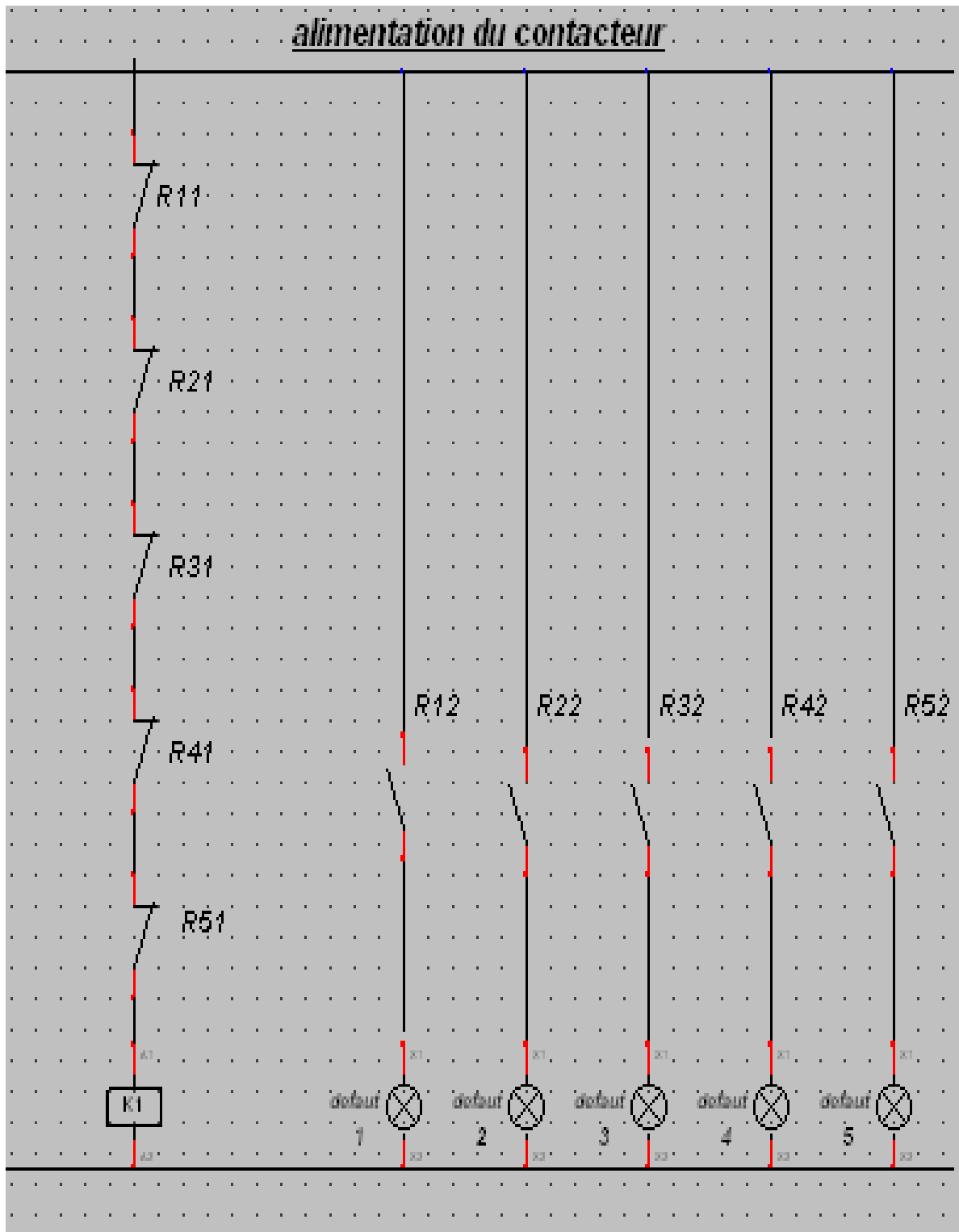


Figure 27 : schéma du circuit de commande

5.4.Principe de fonctionnement :

Dans un premier temps, on alimente les relais de contrôle de courant (R1, R2, R3, R4, R5) pour vérifier s'il n'y a pas une surintensité quelque part dans le circuit, dans ce cas les contacteurs (R11, R21, R31, R41, R51) situés au niveau de circuit de commande passeront de l'état ouvert à l'état fermé, telle que chaque contacteur représente un esclave pour chaque relais de contrôle.

La bobine K1 sera alimentée, l'interrupteur de maintien KM1 situé au niveau du circuit de puissance passera de l'état ouvert à l'état fermé (programmé de manière à passer de l'état ouvert à l'état fermé que si la bobine K1 est alimentée, et inversement lorsque la bobine K1 n'est plus excitée), le circuit de puissance sera alimenté.

Dans le cas où il y a une perturbation sous forme de surintensité quelque part dans le réseau, le relais de contrôle de courant qui détecte cette surintensité va changer d'état, le contacteur qui lui est esclave dans le circuit de commande passera quant à lui de l'état fermé à l'état ouvert, la bobine K1 ne sera plus excitée, l'interrupteur de maintien KM1 va s'ouvrir, le circuit ne sera plus alimenté, ce qui permet la protection des cartes de l'onduleur contre les surintensités.

Les contacteurs normalement ouverts (R12, R22, R32, R42, R52) situés dans le circuit de commande vont nous permettre de localiser où la surintensité a eu lieu, qui représente aussi un esclave pour chaque relais de contrôle de courant.

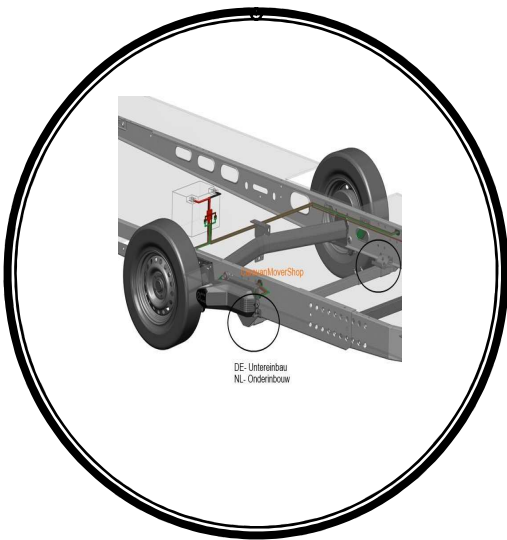
Par exemple si le voyant 1 s'allume cela indique que la surintensité a eu lieu au niveau de la Première carte de puissance.

Avantages du schéma proposé :

- ✓ Fiabilité et simplicité de fonctionnement ;
- ✓ Localisation de défaut qui permet de le résoudre en un temps court ;
- ✓ Disponibilité des appareils utilisés avec des coûts convenables.

Inconvénients :

- ✓ Modification du circuit de commande et de puissance nécessite un arrêt de production pendant un certain temps ;
- ✓ L'action instantanée des relais de protection peut occasionner certains découplages injustifiés ;
- ✓ L'autotransformateur ne dispose pas d'une isolation galvanique entre le primaire et le secondaire



CHAPITRE 3 : AMÉLIORATION DE LA COMMANDE DU SYSTÈME DE MANŒUVRE DE TOUR EN FOSSE

1. De description

Le déplacement des voitures et des locomotives au lieu de référence d'usinage se fait via un **système de manœuvre** composé de deux moteurs asynchrones triphasés. Ces derniers couplés mécaniquement avec un réducteur mécanique et des câbles de tractions.

1.1. Moteur asynchrone :

Le moteur électrique asynchrone a pour rôle de transformer l'énergie électrique apportée par le courant alternatif (distribué par EDF) en énergie mécanique de rotation.

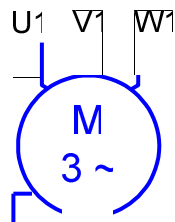
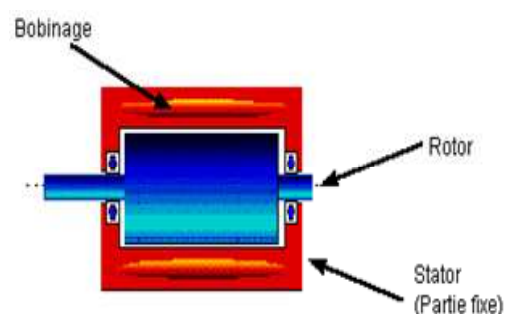


Figure 28: Schéma électrique du moteur asynchrone

(annexe E : plaque signalétique d'un moteur)

1.1.1. Généralités :

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écurieil. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont

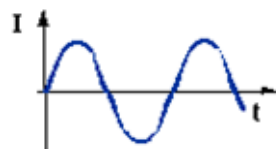
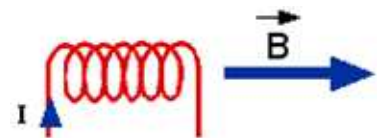


constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault.

1.1.2. Principe de fonctionnement :

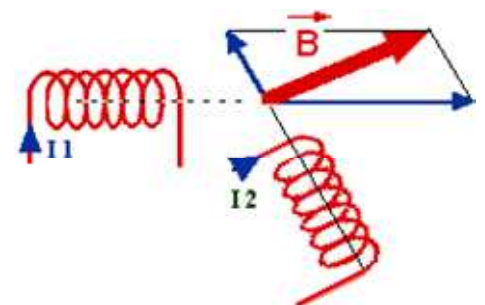
Le principe des moteurs à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives

La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique B . Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant I . C'est une grandeur vectorielle.



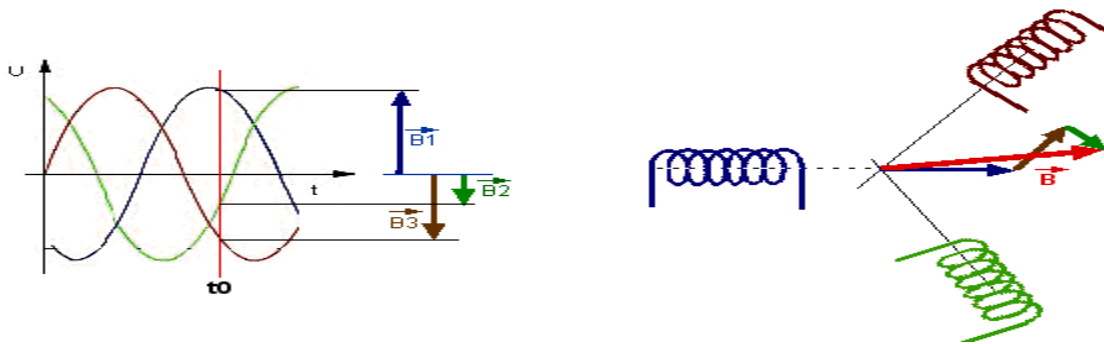
Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant.

Si deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres.



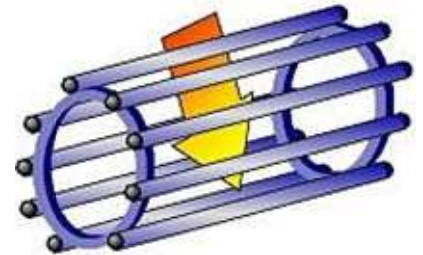
Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés (chacun à son tour passe par un maximum).

Le champ magnétique résultant tourne à la même fréquence que le courant soit 50 tr /s.



Les 3 enroulements statoriques créent donc un champ magnétique tournant, sa fréquence de rotation est nommée fréquence de synchronisme. Si on place une boussole au centre, elle va tourner à cette vitesse de synchronisme.

Cette cage est balayée par le champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants de Foucault induits. Des courants circulent dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor. D'après la loi de Lenz les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur a donné naissance. Le rotor tourne alors dans le même sens que le champ mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme de ce dernier.



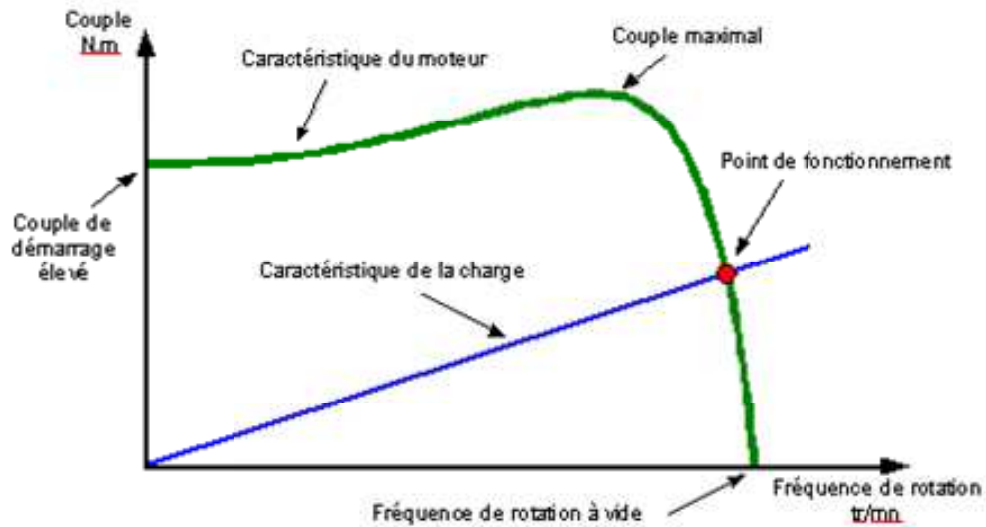
Le rotor ne peut pas tourner à la même vitesse que le champ magnétique, sinon la cage ne serait plus balayée par le champ tournant et il y aurait disparition des courants induits et donc des forces de Laplace et du couple moteur. Les deux fréquences de rotation ne peuvent donc pas être synchrones d'où le nom de **moteur asynchrone**.

Prenons l'exemple d'un moteur dont la fréquence de rotation nominale relevée sur la place signalétique est de 2840 tr/mn, ce moteur étant alimenté en courant de 50Hz, la fréquence de rotation du champ magnétique est donc de 50 tr/s soit 3000 Tr/mn. Le rotor est donc balayé par un champ magnétique qui tourne à une fréquence de rotation relative de $3000-2840=160$ tr/mn.

1.1.3 Caractéristique du moteur asynchrone

Le couple varie avec la fréquence de rotation pour le moteur et pour la charge entraînée. Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les

couples moteur et résistant sont identiques.



1.1.4 Le bobinage

Les bobines sont logées dans les encoches du stator. S'il y a une paire de pôles magnétique pour chacune des trois phases, la fréquence de synchronisme est alors de 3000 tr/mn . si on augmente le nombre de paires de pôles, il est possible d'obtenir des moteurs avec des fréquences de rotation différentes. 1 paire de pôles \Rightarrow 3000 tr/mn , 2 paires de pôles \Rightarrow 1500 tr/min



Figure 29:logement des bobines

Le branchement des bobines sur le réseau se fait au niveau de la plaque à borne située sur le dessus du

moteur.

On dispose ainsi de 6 connexions, une pour chacune des extrémités des trois bobines. Les bornes sont reliées aux bobines selon le schéma ci-contre.

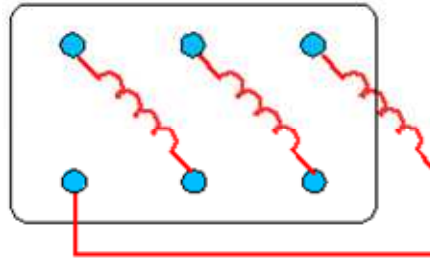


Figure 30: Branchement des bobines

1.2 : Variateur de vitesse

Malgré sa conception ancienne, le moteur asynchrone reste toujours d'actualité car l'électronique de puissance permet maintenant de faire varier sa fréquence de rotation. Pour faire varier celle-ci, il faut modifier la fréquence de rotation du champ magnétique et donc la fréquence du courant d'alimentation. Les variateurs de vitesse sont des variateurs de fréquence.

Ils permettent :

- ✓ Une gamme de vitesses de 5% à 200% de la vitesse nominale
- ✓ Une conservation du couple sur toute la gamme de vitesses
- ✓ Des rampes d'accélération et de décélération
- ✓ Deux sens de rotation



Figure 31: un variateur de vitesse

La consigne de vitesse est en général fournie sous forme d'une tension de 0 à 10V par exemple une protection du moteur est intégrée au variateur.

Le courant électrique issu du réseau est dans un premier temps converti en courant continu, il est ensuite reconverti en courant alternatif par un onduleur mais avec une fréquence différente.

Il est ainsi possible de convertir du monophasé en triphasé si c'est nécessaire.

(annexe F : schéma interne d'un variateur de vitesse)

1.2'. Notre situation :

La variation de vitesse se fait par un variateur de fréquence SIMOVERT (Siemens Motor INVERTER).

Dont la commande permet de varier la vitesse de deux moteurs dans les deux sens de marche selon le besoin de l'opérateur.

2 . Contrainte rencontrée sur le système de manœuvre

2.1. Description du problème

Le problème rencontré c'est le fait que ce variateur de vitesse est endommagé, alors pour déplacer les wagons du train, il faut les couplés via une locomotive pour les rendre au lieu de référence d'usinage. Ensuite les responsables ont pensés à faire un démarrage direct pour les moteurs dans les deux sens de marche au moins pour ignorer l'intervention de la locomotive à chaque opération d'usinage. Puisque ceci rend le travail compliqué avec une perte importante du temps de production.

2.2. Schéma d'installation actuelle pour un seul moteur

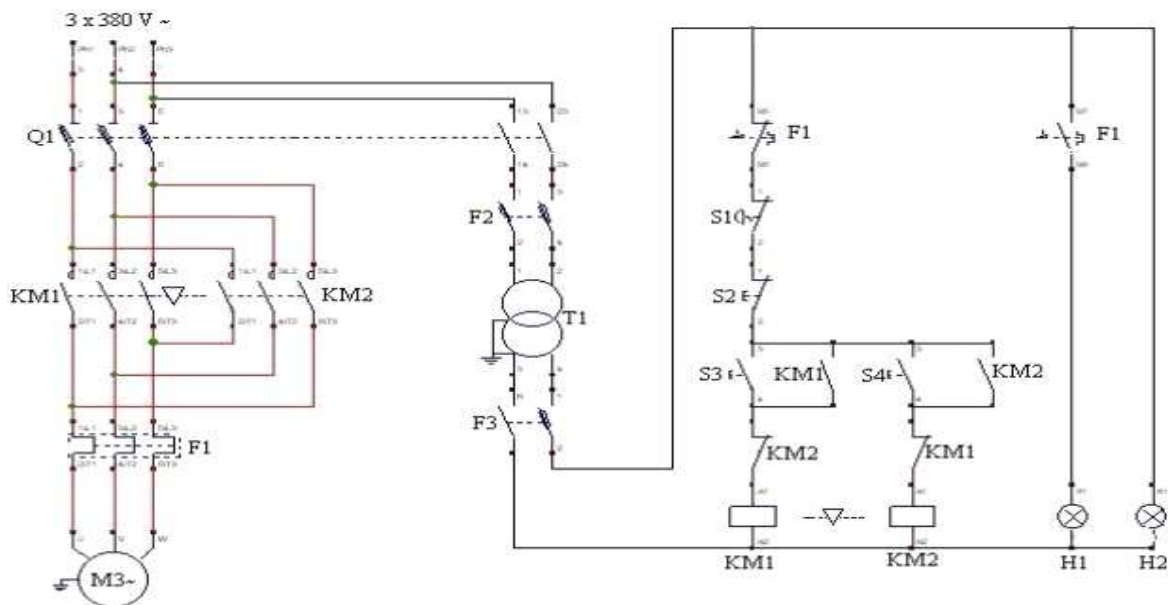


Figure 32: schéma d'installation pour un seul moteur

Mais toujours cette solution n'est pas fiable car contient plus d'inconvénients tels que :



- ✓ Déclenchement souvent de disjoncteur.
- ✓ Impossible de faire varier la vitesse pour rendre les voitures d'une façon précise au lieu de référence.
- ✓ Appel de courant au démarrage jusqu'à 6 fois le courant nominale

3. La solution proposée:

Tout d'abord on a commencé par faire un diagnostique sur le variateur SIMOVERT pour le rendre en état initial, mais la complexité de son circuit électronique rend le travail très compliqué. En effet ce variateur est installé depuis 1990 et vue l'évolution technologique sur la commande des moteurs et l'efficacité quelle présente de nos jours, on a pensé à une solution dont le choix technologique répond aux exigences demandées, fabriqué par la société **SHNIEDER ELECTRIQUE** sous référence : **Variateur de vitesse ATV312**

3.1. Présentation

Le variateur Altivar 312 est un convertisseur de fréquence pour des moteurs asynchrones triphasés 200...600 V de 0,18 à 15 kW.

Le variateur Altivar 312 est robuste, compact et facile à installer. Ses fonctions intégrées sont particulièrement adaptées pour répondre aux applications de machines industrielles simples.

3.2. Applications

Le variateur Altivar 312 intègre des fonctions répondant aux applications les plus courantes, notamment :

- ✓ manutention (petits convoyeurs, palans, ...),
- ✓ machines d'emballage et de conditionnement (petites ensacheuses, étiqueteuses, ...),
- ✓ machines spéciales (mélangeurs, malaxeurs, machines textiles, ...),
- ✓ pompe, compresseur, ventilateur.

3.3. Fonctions

Le variateur Altivar 312 dispose de six entrées logiques, de trois entrées analogiques, d'une sortie logique/analogique et de deux sorties à relais.

Les principales fonctions disponibles sont les suivantes :

- ✓ Protection du moteur et du variateur,
- ✓ Rampes d'accélération et de décélération linéaires, en S, en U ou personnalisées,
- ✓ Commande locale de la référence vitesse avec le bouton de navigation
- ✓ Plus vite/moins vite,
- ✓ Consignes et régulateur PI,
- ✓ 16 vitesses présélectionnées,

3.4. La gamme des variateurs

La gamme des variateurs Altivar 312 couvre les puissances moteur comprises entre 0,18 kW et 15 kW selon 4 types de réseaux d'alimentation :

3.5. Entraînement

- ✓ Gamme de fréquence de sortie : 0,5...500 Hz
- ✓ Type de contrôle Moteur asynchrone : Standard (tension/fréquence) Performance (contrôle Vectoriel de Flux sans capteur)

3.6. Interface Homme-Machine

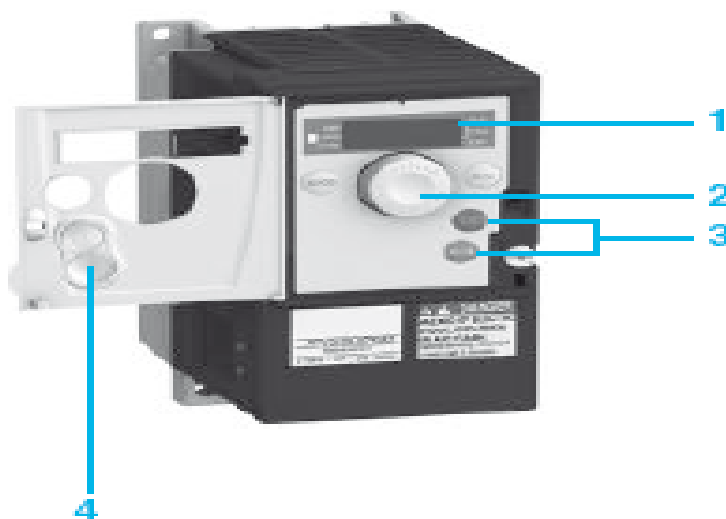


Figure 33: Interface Homme-machine

L'afficheur à 4 digits 1 permet d'afficher les états, les défauts et les valeurs des Paramètres du variateur.

Le bouton de navigation 2 permet de naviguer dans les menus, de modifier les valeurs et de modifier la vitesse du moteur en mode local.

Les touches "RUN" et "STOP/RESET" 3 permettent de commander la marche et l'arrêt du moteur en mode local. Ces deux touches peuvent être rendues accessibles en face avant en ôtant l'obturateur 4 de la porte.

3.7. Schéma de raccordement

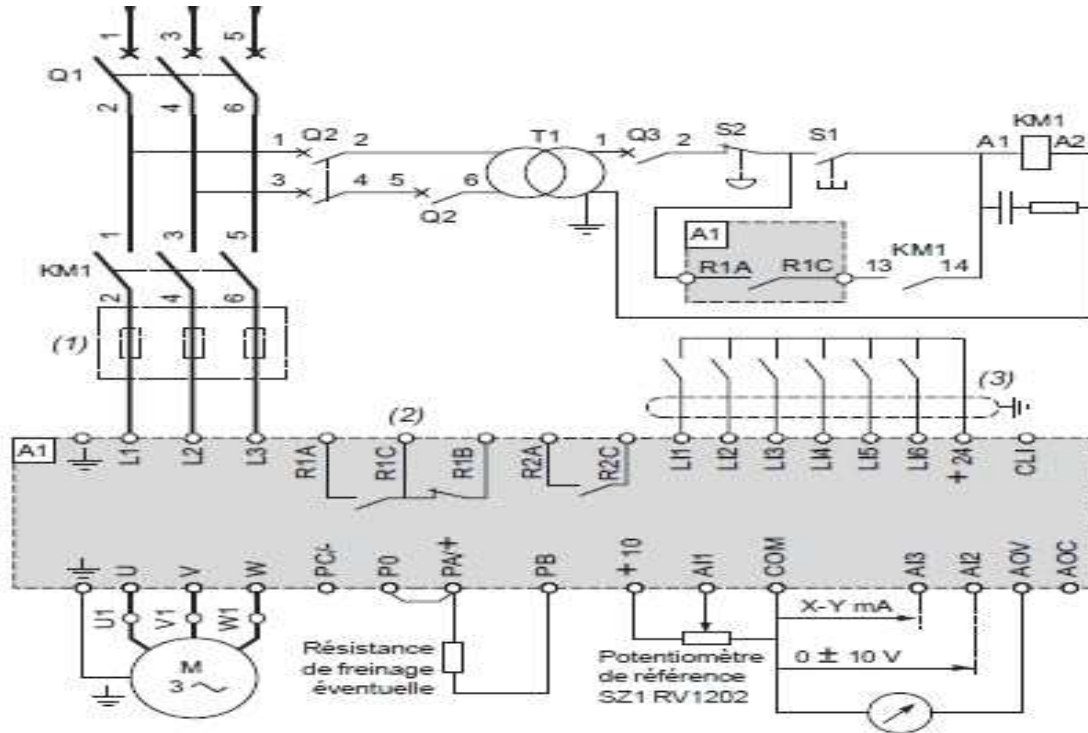


Figure 34 : schéma de raccordement

(1) Inductance de ligne (1 phase ou 3 phases).

(2) Contacts du relais de défaut, permettant de signaler à distance l'état du variateur.

(3) Le raccordement du commun des entrées logiques dépend du positionnement du commutateur, voir schémas ci-dessous.

KM1 : Contacteur de ligne LC1 ppp + module d'antiparasitage LA4 DA2U.

Q1 Disjoncteur magnétique GV2 L ou Compact NSX .

Q2 Disjoncteur magnétique GV2 L calibré à 2 fois le courant nominal primaire de T1

Q3 Disjoncteur magnétothermique GB2 CB05.

S1, S2 Boutons poussoirs XB4 B ou XB5 A.

T1 Transformateur 100 VA secondaire 220 V.



Entrées logiques :

- LI1 : marche avant, commande 2 fils sur transition
- LI2 : inactive (non affectée)
- LI3 : commande traverse control
- LI4 : inactive (non affectée)
- LI5 - LI6 : inactives (non affectées)

Entrées analogiques :

- AI1 : consigne vitesse 0-10 V, inactive sur les ATV 312 (non affectée).
- AI2 : entrée sommatrice vitesse 0 ± 10 V.
- AI3 : 4-20 mA inactive (non affectée).
- Relais R1 : le contact s'ouvre en cas de défaut (ou variateur hors tension)
- Relais R2 : inactif (non affecté).
- Sortie analogique AOC : 0-20 mA, inactive (non affectée).

Schéma de puissance et de commande de l'ensemble de l'installation proposée

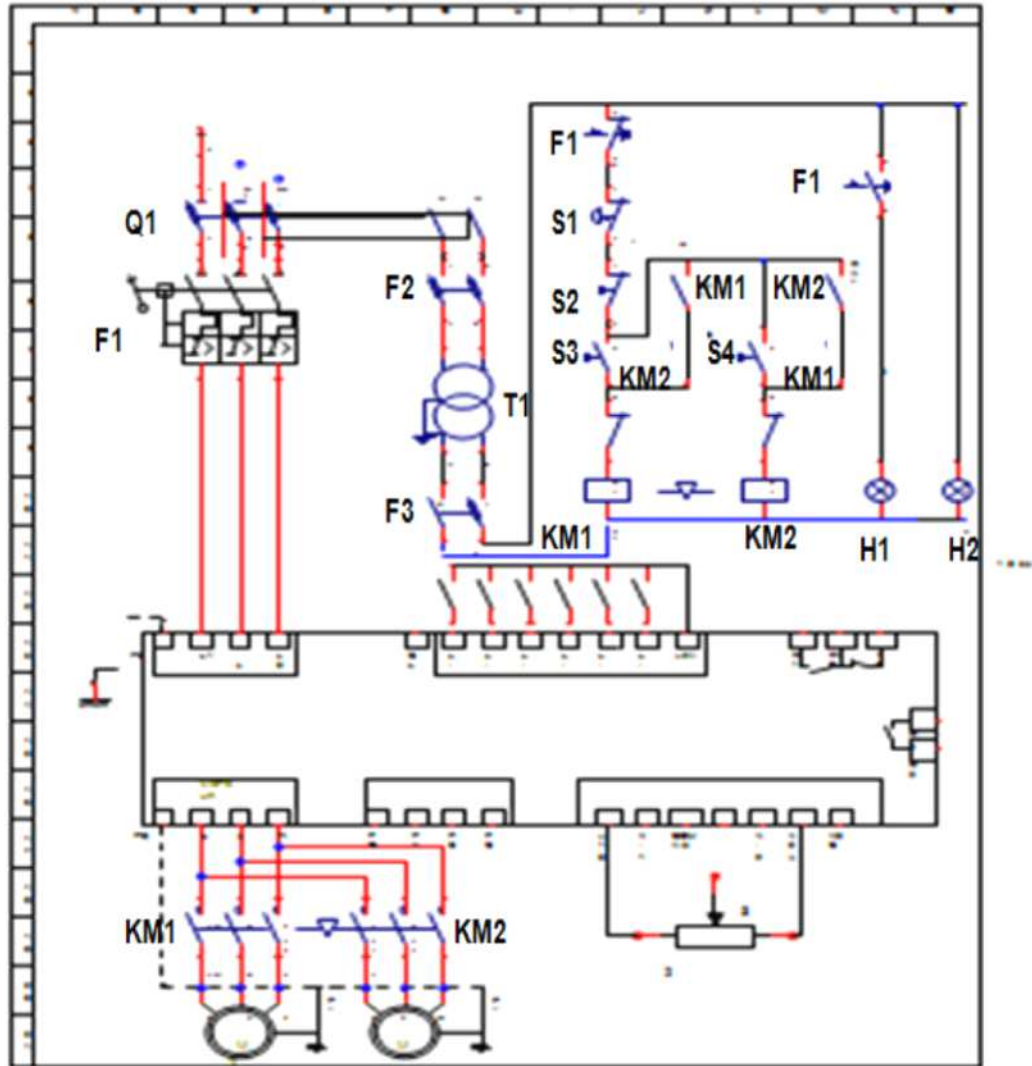


Figure 35 : schéma de puissance et de commande de l'installation proposée

Etude financière :

Concernant le coût de deux projets , on a contacté la société M-DELEC, distributeur du matériel électrique et automatisme pour un devis global sur les matériels utilisés disponibles.

| Désignation | Signification | Qté | Prix HT |
|---------------|---------------------------------|-----|----------|
| PM800 | Analyseur de réseau | 1 | 4200 Dhs |
| ATV312 HU55N4 | Variateur de vitesse Altivar312 | 1 | 6434 Dhs |
| LC1D18M7 | Contacteur | 4 | 688 Dhs |
| GV2ME | Disjoncteur | 1 | 561 Dhs |
| XB5AD33 | Commutateur 3 positions | 3 | 315 Dhs |
| INGCM65 | Coffret 600*500*260 | 1 | 600 Dhs |
| XB5E | Voyant | 5 | 175 Dhs |
| - | Accessoires de câblages | - | 700 Dhs |
| XB5AS542 | Arrêt d'urgence | 1 | 135 Dhs |

Par conséquent le coût global des appareils proposés est de **13080 DH**, et comme les cartes de puissance et la carte d'alimentation tombent en panne au moins deux fois par an. Sachant que le prix d'une carte de puissance est de **13000DH** et celui d'une carte d'alimentation est de **8500 DH**, soit un total de :
 $2*((13000*4) + 8500) = 121000DH$

**Le gain est donc de : $(121000 - 13080) = 107020$
DH**

CONCLUSION

Ce stage a été un excellent complément à notre formation. Le sujet traité durant le stage nous a permis de creuser dans un domaine plus qu'intéressant. Vu que tout ce qui concerne l'électrotechnique (onduleurs...), les variateurs de vitesse et tout : demeure comme étant le pilier de l'industrie. Il nous a permis aussi d'affronter les connaissances et les méthodes de travail que nous avons acquises tout au long de nos études, avec la réalité de l'entreprise.

Notre but fixé essentiellement concernant notre projet est d'obtenir des résultats exploitables en proposant des solutions permettant à la société de gagner un plus.

On a réussi à repérer les problèmes au niveau de l'onduleur SIMODRIVE, de mentionner les causes aussi bien ceux électriques que mécaniques. Par suite on a proposé une solution la plus économique possible, tout en gardant à l'esprit le rapport prix/qualité. En ce qui concerne le système de manœuvre on a proposé le variateur de vitesse ALT312 de Schneider électrique, vu ses performances qui permettront par la suite un fonctionnement le plus optimal.

Notre proposition fera gagner la société à peu près 107020DH annuellement, chose qui peut être amélioré au futur en agissant surtout sur les composants de l'onduleur et ceux du variateur de vitesse.



De plus, pendant ce stage nous avons pu développer des compétences relationnelles très importantes pour notre futur professionnel.

Sans oublier de mentionner le sens d'entraide et la collaboration de l'ensemble du personnel, chose que nous saluons fort. Ce stage nous a permis enfin de nous épanouir aussi bien dans le plan professionnel que personnel.



références

Bibliographie

-  Documentations techniques « machine CNC tour en fosse HEGENSHDIET » des différentes composantes de l'installation
-  Catalogue : Construction industriels

Webographie :

www.oncf.ma

www.alstom.com

[groupe de recherche en électronique de puissance pour environnement sévère](#)

<http://www.grepes.be>

www.schnieder-electrique.com



Annexes :



Annexe A

Les convertisseurs statiques fondamentaux

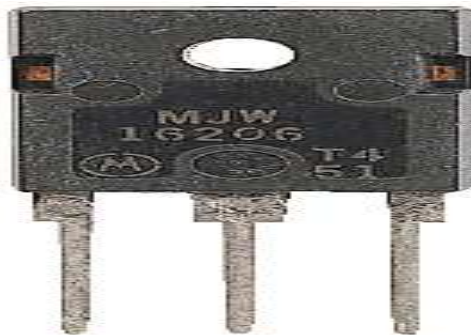


| | | | |
|---------------------------------------------------------------------|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Redresseur fixe Diode</p> | | | <p>Entrée</p> <p>Mono ou tri</p> <p>Sortie</p> <p>CC - Tension fixe</p> |
| <p>Redresseur contrôlé Thyristor + diode Tout Thyristor</p> | | | <p>Entrée</p> <p>Mono ou tri</p> <p>Sortie</p> <p>CC - Tension variable</p> |
| <p>Hacheur Transistor</p> | | | <p>Entrée</p> <p>CC - tension fixe</p> <p>Sortie</p> <p>CC - Tension variable</p> |
| <p>Onduleur Transistor Thyristor</p> | | | <p>Entrée</p> <p>CC - tension fixe</p> <p>Sortie</p> <p>Mono ou tri Tension et fréquence variable</p> |

Annexe B



Caractéristiques techniques de l'IGBT



| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Configuration | Simple |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Courant continu de Collecteur maximum | 75 A |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Dimensions | 16.26 x 5.3 x 21.46mm |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Hauteur | 21.46mm |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Largeur | 5.3mm |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Longueur | 16.26mm |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Nombre de broche | 3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Température d'utilisation maximum | +150 °C |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Température de fonctionnement minimum | -55 °C |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Tension Collecteur Emetteur maximum | 1200 V |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Tension Grille Emetteur maximum | ±20V |



| | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Type de boîtier | A-247 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Type de canal | N |

Annexe C

Caractéristiques techniques de l'onduleur

- Tension nominale de raccordement : triphasé 165V, 50/60Hz
ou
220V CC +10%,-15%.
- Tension nominale de sortie : 0 à +/- 210VCC
- Courant limite de courte durée : $2 * I_n$ (200ms)
- Rendement : environ 95%
- Nombre d'axe d'avance : 1 à 6
- Pertes PV : $P_v = P * 0,05$
- Températures ambiantes adm.



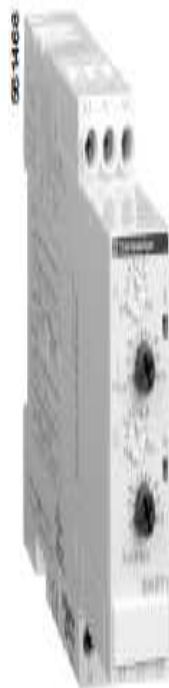
- -Température de l'air de refroidissement à l'entrée 0 °C à +60 °C
- -Température de stockage : -25 °C à +85 °C

Annexe D

Relais de mesure de courant, modèle RM8487



Références



RM 84 871 000

Relais de contrôle d'intensité

| Plage de mesure | Tension d'alimentation | Référence | Masse kg |
|-----------------------------------------------|------------------------|---------------|----------|
| 2...500 mA | ~ 24 V | RM 84 871 021 | 0,150 |
| | ~ 120 V | RM 84 871 023 | 0,150 |
| | ~ 230 V | RM 84 871 024 | 0,150 |
| 0,1...10 A | ~ 24 V | RM 84 871 031 | 0,150 |
| | ~ 120 V | RM 84 871 033 | 0,150 |
| | ~ 230 V | RM 84 871 034 | 0,150 |
| 10...100 A avec transformateur d'intensité | ~ 230 V | RM 84 871 044 | 0,150 |

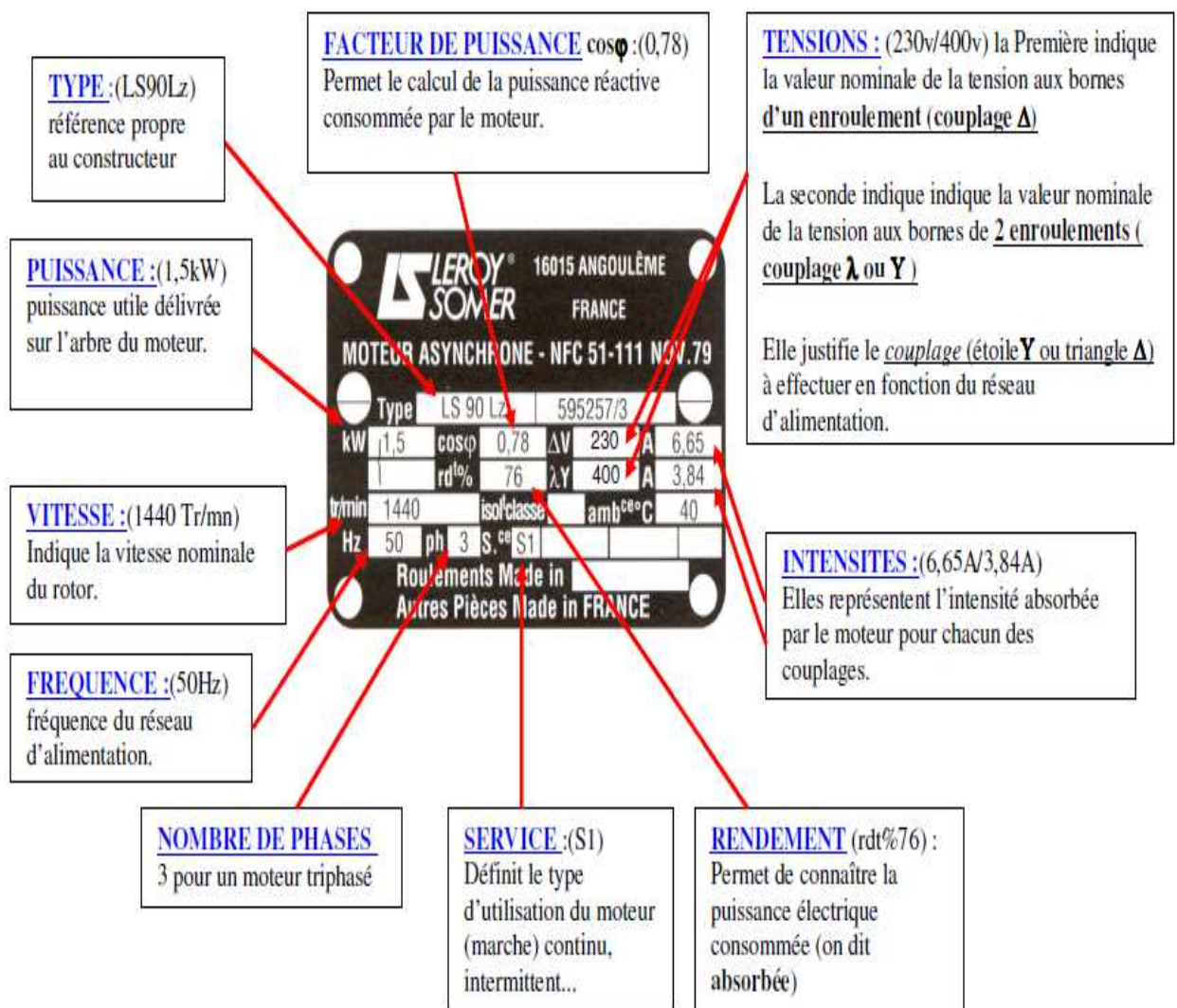
Accessoires

| Désignation | Référence | Masse kg |
|----------------------------|---------------|----------|
| Transformateur d'intensité | RM 26 852 304 | 0,065 |



Annexe E

Plaque signalétique du moteur asynchrone







Annexe F

Schéma interne d'un variateur

