

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Machines électriques

Présenté par :

KEMASSI Nour El imane

GRAID Basma

Thème:

Etude d'alimentation électrique du tramway

Soutenu publiquement

Le :07 /07/2019.

Devant le jury :

M ^r BOUHAFS Ali	MAA	Président	UKM Ouargla
M ^r LOUAZENE Med Lakhdar	MCA	Encadreur	UKM Ouargla
M ^r BENALIA Khaled	MCB	Examineur	UKM Ouargla

Année universitaire 2018/2019

Dédicace

Je dédie ce mémoire:

A ma mère, le soleil de mes jours et la lumière de mes nuits.

A mon père, la pulsation de mon cœur qui m'a tout donnée pour vivre heureuse

Et mes frères Hicham ,Fares,Mohammed

et ma sœur Amira

À tous les professeurs et enseignants qui m'ont suivi durant tout mon cursus scolaire et qui m'ont permis de réussir Dans mes études.

À mes amis d'enfance

À mes amis d'étude

A tout mes respectée camarades promotion 2019

À toute personne ayant contribué à ce travail de près ou de loin.

Graid Basma



Dédicace

Je dédie ce mémoire:

À ma mère, le soleil de mes jours et la lumière de mes nuits.

A mon père, la pulsation de mon cœur qui m'a tout donnée pour vivre heureuse

Et mes frères Ahmed, Adbe alhadi

A ma tonton Nadjet

A ma famille

À tous les professeurs et enseignants qui m'ont suivi durant tout mon cursus scolaire et qui m'ont permis de réussir Dans mes études.

À mes amis d'enfance

À mes amis d'étude

A tout mes respectée camarades promotion 2019

À toute personne ayant contribué à ce travail de près ou de loin.

Kemassi Nour El imane



Remerciements

Nous Remercions Dieu d'abord

Tout-puissant pour nous donner la volonté et le courage
d'atteindre notre mémoire

Nous tenons à remercier le Dr Louazene Med Lakhdar sans
limites à ses efforts incroyables, son guide et ses assistants,
ses encouragements et sa gentillesse envers nous.

Nous remercions tous les professeurs et étudiants spécialisés
en "électrotechnique"

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué à ce
travail dans un avenir proche.

Graid Basma

Kemassi Nour Elimane

Sommaire

Liste des figures... ..	III
Liste des abréviations... ..	VI
Introduction Général.....	1

CHAPITRE I

Introduction.....	2
Les convertisseurs électriques.....	2
Redresseur.....	2
Onduleur	4
Transformateur.....	5
I.3 Machine Asynchrone.....	6

CHAPITRE II

Introduction.....	01
Historique	01
Le système de traction électrique	12
Les Sous-stations.....	01
Sous-système caténaire.....	03
II.3.2-1 La ligne aérienne de contact.....	03
II.3.2-2 Alimentations Par le Sol (APS).....	15
Sous-système SCADA	04
Les composants du tramway.....	16
Les équipements en fosse d'un élément du tramway sont illustrés	17
Les équipements en toiture d'un élément du tramway sont illustrés	22
II.5 La signalisation.....	30
II.6. Conclusion.....	31

CHAPITRE III

Introduction.....	31
Redresseur	21
Redresseur non commandé	31

Les résultats de simulation	32
Valeur moyenne.....	33
Les résultats de simulation	23
III.2.2 Redresseur commandé	24
III2.2.1 Les résultats de simulation	25
L'onduleur.....	25
III3.1.Types de commande des interrupteurs et critère de choix	26
III. 3.2. Les résultats de simulation	39
III .4. Le moteur asynchrone.....	40
III.5 Variation de vitesse.....	41
III .5.1 Sumilation d'alimentation de tramway.....	41
Les interprétation	44
Sumilation d'une MAS a fréquence variable.....	44
Conclsion général... ..	47

Liste des Figures

Figures du chapitre I

Figure I.1: Fonctionnement de la diode.....	2
Figure I.2: Redresseur non commandé.....	3
Figure I.3 Fonctionnement du thyristor.....	3
Figure I.4 Schéma explicatif d'un convertisseur DC/AC (Onduleur).....	4
Figure I-5 Transformteur	5
Figure I-6: Symboles du moteur asynchrone	6

Figures du chapitre II

Figure II-1: Schéma de principe d'un groupe redresseur traction.....	13
Figure II-2 : Transformateur sou station.....	14
Figure II-3 : La ligne aérienne de contact.....	05
Figure II-4 : Système de contrôle et d'acquisition de données	16
Figure II-5 : Les composants de la tramway.....	17
Figure II-6: Schéma d'implantation de Bogie Moteur	18
Figure II-7 : Schéma d'implantation de Centrale hydraulique	07
Figure II-8 : Schéma d'implantation de Compresseur de sablage.....	19
Figure II-9 : Schéma d'implantation de Bogie porteur	19
Figure II-10 : Schéma d'implantation de Traction.....	20
Figure II-11 : Les équipements en fosse d'un élément du tramway	21
Figure II-12 : Schéma d'implantation de Coffre équipement électrique basse tension BT	23
Figure II-13 : Schéma d'implantation de Groupe de refroidissement moteur GRF.....	24
Figure II-14: Schéma d'implantation de Coffre disjoncteur.....	25
Figure II-15: Schéma d'implantation de Pantographe.....	25
Figure II-16 Parafoudre	26
Figure II-17 : Schéma d'implantation de Group de climatisation salle.....	26
Figure II-18 : Schéma d'implantation de Rhéostat de freinage	17

Figure II-19 : Schéma d'implantation de Coffre batterie	28
Figure II-20 : Schéma d'implantation de Convertisseur statique CV	28
Figure II-21 Les équipements en toiture d'un élément du tramway	29
Figure II-22 : Circuit de voie à joints isolants, canton libre	30
Figure II-23 : Circuit de voie à joints isolants, canton occupé	30

Figures du chapitre III

Figure III.1 Montage d'un redresseur triphasé non commandé	31
Figure III.2 Courbes {Vch, V1, V2, V3}	32
Figure III.3 Courbes de Valeur moyenne	33
Figure III.4. Montage Redresseur non commandé relié à un filtre	34
Figure III.5. Courbes {Vch, V1, V2, V3}	23
Figure III.6. Montage Redresseur commandé.....	25
Figure III.7. Courbes {Vch, V1, V2, V3}	36
Figure III.8. Montage L'onduleur triphasé	38
Figure III.9. Allure du signal de sortie Va.....	39
Figure III.10. Allure du signal de sortie Vb.....	39
Figure III.11. Allure du signal de sortie Vc	31
Figure III.12. Schéma explicatif l'ensemble machine convertisseur	41
Figure III.13 Montage de l'ensemble machine convertisseur	41
Figure III.14.Courant rotorique ird en (A).....	42
Figure III.15.Courant statorique isq en (A).....	42
Figure III.16.le couple électromagnétique en (Nm)	43
Figure III.17. La vitesse mécanique en (rad/s).....	43
Figure III.18. les couple (électromagnétique ,vitesse.).....	44
Figure III.19. les couple (électromagnétique ,vitesse.).....	45
Figure III.20. les couple (électromagnétique ,vitesse).....	45

Tableaux du chapitrIII

Tab III.1. de commande des interrupteurs.....	37
---	----

Liste des abréviations

A	Ampère
SCADA	Système de contrôle et d'acquisition de données
KV	Kilovolt
CC	Courant continu
CA	Courant alternatif
HT	Haute tension
HTA	Haute tension catégorie A
RED	Redresseur
ASI	Les alimentations sans interruption
SIA	Sectionneur d'isolement automatique
LAC	Ligne aérienne de contact
SST	Sous-station de traction
APS	Alimentation par le sol
PCC	Poste de contrôle centralisé
IGBT	Insulated Gate bipolar transistor
MLI	Modulation de largeur impulsion
p	Nombre de paire de pole
N	Nombre de spires
Ω	La vitesse mécanique
ω	La vitesse angulaire
ω_s	Pulsation électrique statorique
Ce	Couple électromagnétique
Cr	Couple résistant
BM	Bogie Moteur
BP	Bogie Porteur
CVS	Convertisseur Statique
M1	Motrice1
C1	Caisse suspendue1
NP	Nacelle Porteuse
C2	Caisse suspendue2
M2	Motrice2

Introduction Générale

L'accessibilité ! Voilà un mot clef dans le monde du transport collectif urbain. Sa sémantique couvre des notions techniques, géographiques, physiques et sociales. Les accessibilités technique et géographique ont pour but de dynamiser le développement économique et culturel d'une ville, en la dotant d'équipements de transport fiables, disponibles, robustes et adaptés à ses essors. L'accessibilité physique est synonyme d'égalité dans les possibilités de déplacements pour les personnes à mobilité réduite.

Enfin, l'accessibilité sociale vise à désenclaver certains quartiers par rapport aux autres. L'architecture d'un réseau de transport collectif urbain est influencée par de nombreux facteurs d'ordre politique, historique, économique, géographique ou technique. Dans tous les cas de figure, la recherche de la fiabilité et de la disponibilité d'un réseau de transport collectif nécessite de cerner et de maîtriser son fonctionnement à tout instant. L'utilisation de nouveaux concepts ou de technologies modernes au sein de ces réseaux doit être synonyme d'agrément et de vitalité, et non de contrainte et de lourdeur. Pour ce faire, un effort de recherche et de développement doit être nécessaire, et tout projet de transport doit être mature avant d'être implanté.

Les transports en commun sont une solution pour limiter la consommation énergétique et les dépenses liées au transport. C'est tout particulièrement le cas du tramway qui est devenu un moyen de transport que plusieurs villes adoptent de nos jours. C'est un moyen de transport écologique qui offre une alternative intéressante notamment pour désengorger les centres villes.

Le déplacement de tramway est basé sur la traction électrique assurée par des moteurs électrique associés à des variateurs de vitesse[1].

Ce mémoire comprend (3) chapitres :

Le premier chapitre est consacré à L'étude des convertisseurs électriques (onduleur – Redresseur – Transformateur) et la machine électrique asynchrone

Le deuxième chapitre représente le système et les composants d'alimentation du tramway.

Dans le troisième chapitre , on présente la Simulation de redresseur , onduleur et association machine –convertisseur.

Chapitre I

Les convertisseurs et les machines électriques

Introduction

Le but essentiel des machines électriques est la transformation de l'énergie d'une forme à une autre, l'une au moins de ces formes étant électrique, l'autre pouvant être électrique ou mécanique.

On peut classer les machines électriques en trois catégories principales :

1. **Les machines génératrices**
2. **Les moteurs électriques**
3. **Les machines transformatrices**

Dans ce chapitre on présente les convertisseurs électriques (onduleur – redresseur-transformateur) et le moteur électrique asynchrone

Les convertisseurs électriques

Redresseur

✚ Définition

Un redresseur, également appelé **convertisseur alternatif/continu** sont généralement alimentés par un réseau triphasé alternatif à fréquence fixe (50 Hz). La fonction du redresseur est de transformer la tension triphasée alternative ou monophasée en tension continue. Cette opération se réalise par l'utilisation :

- Soit d'un pont de diodes, le redresseur est « non-commandé »,
- Soit d'un pont de thyristors ou mixte, alors le redresseur est « commandé » [2].

✚ Le Redresseur non commandé

Comme le montre la figure ci-dessous, des deux alternances d'une tension monophasée alternative (positive et négative), seule l'alternance positive passe à travers la diode entre les électrodes couramment appelées « anode » et « cathode »; on dit que la diode est « passante » [3].

La valeur moyenne de sortie est un constant

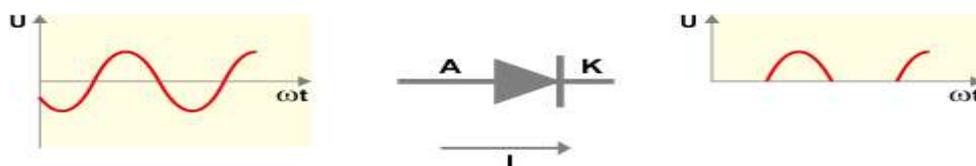


Figure I.1: Fonctionnement de la diode

Pour obtenir une tension continue à la sortie du redresseur, il est nécessaire de trouver un système qui permette d'exploiter les deux alternances; c'est le pont de diodes.

Dans un redresseur triphasé non-commandé, le pont de diodes permet, comme le montre la figure ci-dessus, de générer une tension continue en redressant l'alternance négative de chaque une des trois tensions composées. On voit que la tension de sortie n'est pas tout à fait continue et comporte une ondulation résiduelle [2].

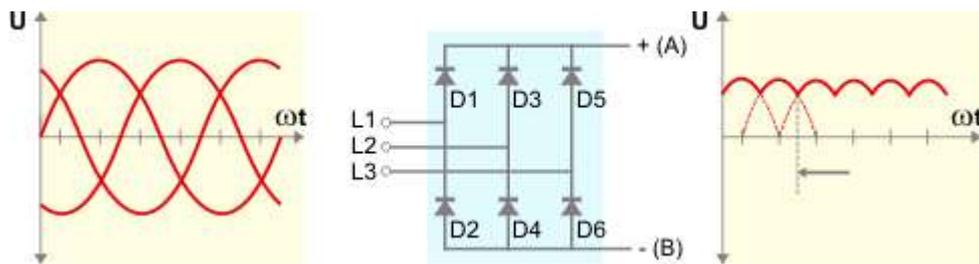


Figure I.2:Redresseurs non-commandés.

✚ Redresseur commandé

Dans le redressement commandé d'une tension alternative, la diode est remplacée par le thyristor qui possède la particularité de pouvoir contrôler le moment où il deviendra « passant » dans l'alternance positive. C'est la troisième électrode, appelée « gâchette », qui, lorsqu'elle est alimentée sur commande par la régulation du redresseur, devient conductrice. Tout comme la diode, le thyristor est « bloquant » durant l'alternance « négative » [2].

La valeur moyenne de sortie est un réglable

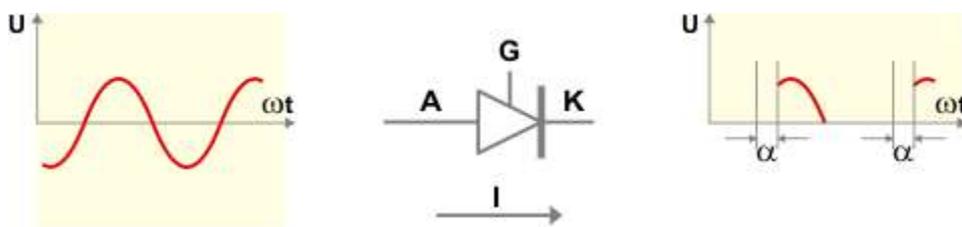


Figure I.3:Fonctionnement du thyristor

Onduleur

+ Définition

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance permettant de délivrer des tensions et des courants alternatifs à partir d'une source d'énergie électrique continue [3].

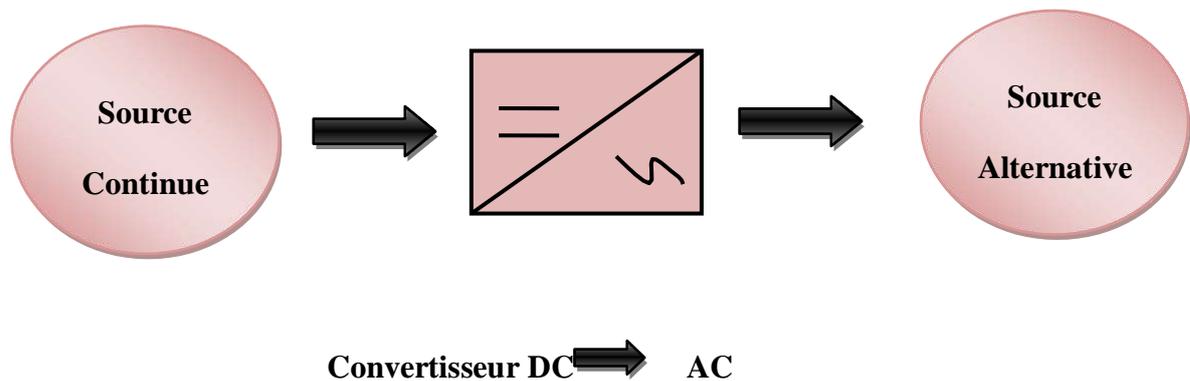


Figure I.4: Schéma explicatif d'un convertisseur DC/AC (Onduleur)

+ Principe de L'onduleur

Les onduleurs sont basés sur une structure en pont en H, constituée le plus souvent d'interrupteurs électroniques tels que les IGBT, transistors de puissance ou thyristors. Par un jeu de commutations commandées de manière appropriée (généralement une modulation de largeur d'impulsion), on module la source afin d'obtenir un signal alternatif de fréquence désirée.

Il existe différents types d'onduleurs :

- les onduleurs de tension et les onduleurs de courant
- les onduleurs autonomes et les onduleurs non autonomes [4].

Domaines d'application

-La variation de vitesse : Comme nous l'avons vu sur les cours des machines asynchrones et synchrones, la façon la plus efficace de régler la vitesse de ces machines et d'agir sur la fréquence de leur tension d'alimentation. Pour répondre à ce besoin, on conçoit donc un redresseur triphasé qui fournit une tension continue et on place un onduleur à la suite qui crée le réseau de tension triphasé sinusoïdal à une amplitude et de fréquence permettant le fonctionnement désiré.

-Les alimentations sans interruption (ASI) : Certaines applications sensibles (hôpitaux, serveurs informatiques....) ne peuvent supporter la moindre panne d'alimentation. Pour réaliser une alimentation sécurisée, on a la même structure que précédemment avec des batteries sur le bus continu, ce qui permet de continuer à fournir de l'énergie et donc une tension sinusoïdale le temps qu'un groupe électrogène prenne le relais. (Rq : onduleurs plus souvent en monophasé)[5].

Transformateur

Définition

Un transformateur est un appareil permettant de transformer une tension alternative à une tension alternative de même fréquence. Il se compose d'un circuit magnétique fait de tôles magnétiques sur lequel on a placé des bobines de fil de cuivre isolé par du verni. La bobine où arrive le courant est appelée "enroulement primaire", celle qui produit une autre tension est appelée "secondaire". Certains transformateurs possèdent plusieurs enroulements secondaires pour fournir plusieurs tensions en sortie [6].

Principe de fonctionnement

Le courant alternatif qui circule dans l'enroulement primaire génère un flux magnétique variable dans le noyau. Cette variation de flux induit dans le secondaire un autre courant ou, si le circuit secondaire n'est pas raccordé à un récepteur, y induit une tension. On dit que le transformateur est à vide quand le circuit secondaire est ouvert. Il ne débite alors aucun courant. L'enroulement primaire se comporte dans ce cas comme une self en courant alternatif, une simple inductance qui s'oppose au passage du courant.

Le transformateur fonctionne en charge quand un récepteur est raccordé à sa sortie. Le courant débité par le secondaire crée alors un champ magnétique opposé au

champ produit par le primaire. Il s'ensuit une augmentation du courant dans le primaire et en fin de compte

Il y a égalité quasi parfaite entre la puissance que génère le secondaire et la puissance consommé par l'enroulement primaire. En toute rigueur, il y a bien quelques pertes entre la puissance que consomme l'enroulement primaire et celle qui sort du secondaire mais, en théorie du moins, on peut dire que :

$$P_1 = P_2$$

Les transformateurs ont un très bon rendement, de l'ordre de 99%

Les flux magnétiques produit par les courants primaires et secondaires s'annulent. Le flux généré par une bobine étant proportionnel au courant et au nombre de spires, on peut comprendre que

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \quad [6]$$

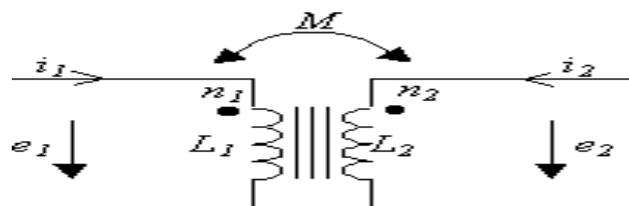


Figure I-5: Transformateur

Machine Asynchrone

✚ Définition

On appelle moteur asynchrone, une machine électrique de vitesse variable, à courant alternatif, qui à deux enroulements dont un seul (le primaire) est alimenté par un réseau électrique de pulsation ω ; alors que la deuxième (le secondaire) est fermé sur lui-même ou sur des résistances électriques[7].

Le moteur asynchrone est le moteur le plus utilisé dans l'ensemble des applications industrielles, du fait de son faible cout, de son faible encombrement, de son bon rendement et de son excellente fiabilité[8].

Autrefois, sa mise en œuvre (démarrage et variation de vitesse) se révélait compliqué mais tout cela s'est résolu grâce aux progrès de l'électronique de puissance.

La conséquence de ce développement de l'électronique de commande fait que le moteur asynchrone est maintenant utilisée dans des domaines très variés :

- Transport (TGV, tramways)
- Industrielle
- Production d'énergie (éolienne)[8].

✚ Structure

Ce type de moteur est basé sur l'enroulement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant et comportant deux armatures coaxiales l'une est fixe appelée stator et l'autre est mobile appelée rotor ; entre les deux armatures il y a l'entrefer.

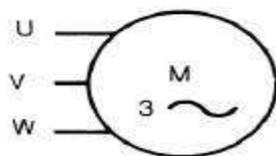
- un stator triphasé comportant p paires de pôles par phase.
- un rotor constitué de conducteurs mis en circuit fermé [7].

On rencontre deux types de rotor :

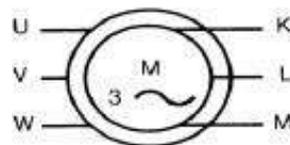
- ✓ Un rotor bobiné : l'enroulement, semblable à celui du stator, comporte p paires de pôles par phase ; les trois paires sont reliées à trois bagues qui permettent d'insérer un rhéostat dans le circuit rotorique. Ce moteur est aussi nommé moteur à bagues.
- ✓ Un rotor à cage : le rotor est constitué de barreaux de cuivre ou d'aluminium reliés aux deux extrémités par deux couronnes conductrices. Ce modèle (en forme de cage d'écureuil) peu coûteux et très robuste est le plus répandu [7].

✚ Symboles

Voici les différents symboles employés pour représenter le moteur asynchrone [8]:



(a) Symbole du moteur asynchrone
à cage d'écureuil.



(b) Symbole du moteur asynchrone
à rotor bobiné

Figure I-6: Symboles du moteur asynchrone

✚ Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone

L'enroulement statorique (primaire) reçoit de l'énergie électrique du réseau de pulsation ω , ce qui crée un champ tournant à la vitesse angulaire synchrone $\Omega = \omega/p$. Ce champ, en balayant les enroulements rotoriques (secondaires) y induit des f.é.m et donc des courants, car les spires sont fermées sur elles-mêmes. Ces courants induits produiront à leur tour un champ qui sera de sens opposé au champ du stator. La réaction du courant secondaire sur le champ primaire provoquera un couple moteur qui entrainera la mise en mouvement du rotor dans les sens du champ tournant primaire. A fin et à mesure que le rotor augmentera sa vitesse de rotation, la différence entre la vitesse angulaire du champ tournant et la vitesse angulaire du rotor diminuera. Et la pulsation des courants secondaires diminuera aussi [8].

✚ Variation de vitesse d'une machine asynchrone

$$g \frac{\omega_s}{p} = \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} \Omega_s = \Omega_s - \Omega \quad [1]$$

- La vitesse $g=1-(n/ns)$ $ns/n=1-g$ $n=ns(1-g)$

$$C_m = 3 \frac{P}{\omega_s} V_s^2 \frac{\frac{R'_r}{g}}{\left(\frac{R'_r}{g}\right)^2 + (N'_r \omega_s)^2} \quad [2]$$

- Au démarrage :
- A vide :

Le réglage de la vitesse de la machine asynchrone est donc obtenu en agissant sur le **couple** qu'elle produit, soit, si l'on se réfère à son expression ci-dessus : le **nombre de paires de pôles** de la machine, la **tension** d'alimentation, le **glissement** ou la **fréquence** d'alimentation de la machine [9].

Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons exhibé un aperçu général sur les convertisseurs Électriques (redresseur-onduleur-transformateur) et la moteur le plus utilise (MAS) en suite nous avons donné une image globale sur son principe de fonctionnement et ses structure.

Chapitre II
**Les système d'alimentation
électrique des tramways**

II-1- Introduction

Les systèmes électriques sont utilisés principalement pour alimenter les équipements principaux de tramway.

Dans ce chapitre on a représenté l'Ensemble de la production d'énergie de traction et les composants, les équipements principaux d'alimentation du tramway et Notion de signalisation. Nous commençons tout d'abord par une première partie d'historique.

II-2- Historique

Les premiers tramways sont apparus aux États-Unis durant la première moitié du XIXe siècle, ils sont alors tractés par des animaux, en général des chevaux. Ils circulent en 1832 sur la ligne de New York à Harlem et en 1834 à La Nouvelle-Orléans .

Le premier tramway de France est construit dans le département de la Loire sur la route entre Montrond-les-Bains et Montbrison. Long de 15 kilomètres, il est mis en service dès 1838. Les tramways pour voyageurs et marchandises, à traction hippomobile ou mécanique, sont institués par la loi de 1880.

Les premiers rails, en U saillant, créent une gêne importante et provoquent quelques accidents. Ils sont supplantés, à partir de 1850, à New York, par des rails à gorge, puis, en 1852, par des rails dénués de saillant (inventés par le français Alphonse Loubat). Plus tard, en 1853, en prévision de l'exposition universelle de 1855, une ligne d'essai est présentée sur le Cours la Reine, dans le 8e arrondissement de Paris. Lors de l'exposition de 1867, une desserte était effectuée par des tramways à traction hippomobile et était surnommée « chemin-de-fer américain ».

Le tramway se développe alors dans de nombreuses villes d'Europe (Londres, Berlin, Paris, Milan, etc.). Plus rapides et confortables que les omnibus (circulant sur les voies carrossables), les tramways ont un coût d'exploitation élevé du fait de la traction animale. C'est pourquoi la traction mécanique est rapidement développée : à vapeur dès 1873, à air comprimé (système Mékarski) et à eau surchauffée (système France) dès 1878, puis tramways électriques à partir de 1881 (présentation de la traction électrique par Siemens à l'exposition internationale d'Électricité de Paris). Le développement de l'alimentation électrique, complexifiée par l'interdiction des lignes aériennes dans

certaines grandes villes, ne prend une véritable ampleur qu'à partir de 1895 à Paris et en région parisienne (tramway de Versailles).

États-Unis, le premier tramway à vapeur a été utilisé à Philadelphie, en 1875-1876. Ces tramways à vapeur étaient dotés d'une quarantaine de places, pesaient environ seize tonnes et bénéficiaient d'une puissance de traction de 200 à 300 tonnes en pente .

La modernité technique que représente l'électricité et surtout les faibles nuisances engendrées par celle-ci facilitent son adoption rapide, une fois que les difficultés liées à la production et au transport de l'électricité furent résolues. Le premier tramway électrique est mis en exploitation à Sarajevo (Empire austro-hongrois) en 1885, tandis qu'en Suisse, la première ligne (Vevey-Montreux-Chillon), sur la Riviera vaudoise, est ouverte en 1888. En France, il circule pour la première fois à Clermont-Ferrand en 1890 .

Aux États-Unis, la longueur des voies et le nombre de voies exploitées avec des tramways électriques dépassent ceux des tramways hippotractés en 1892 et 1893. Les tramways des États-Unis ne sont pas des tramways à impériale afin d'améliorer la fluidité d'accès aux voitures [4].

Le nombre de voyageurs par véhicule n'y était pas limité. La tarification y bénéficiait d'un système de classe unique avec un tarif de cinq centimes de dollar [4].

II-3- Le système de traction électrique

Le système de traction électrique se compose des trois sous systèmes suivants:

- ❖ Sous stations.
- ❖ Sous systèmes caténaires.
- ❖ Sous système SCADA [10] [11].

II-3-1- Les Sous-stations

Les sous-stations électriques permettent l'alimentation en énergie électrique d'une section de ligne ferroviaire. Elle est raccordée au réseau haute tension (220kV, ou 60 kV), et a pour rôle transformer et convertir la tension triphasée primaire CA en une tension de traction CC.

Chaque sous-station comprend un groupe redresseur de traction (figure II-1). Ce groupe redresseur de traction est composé d'un transformateur de traction, qui va abaisser le niveau de tension, et d'un redresseur à pont de diode qui va redresser la tension alternative en tension continue.

Cette sous-fonction est assurée par l'ensemble de ces équipements :

- disjoncteur - DHTA-R
- transformateur de traction – TRT : de 60 KV AC à 750 V AC
- redresseur – RED : de 750 V AC à 750 V CC
- sectionneur d'isolement automatique –SIA [11] [12].

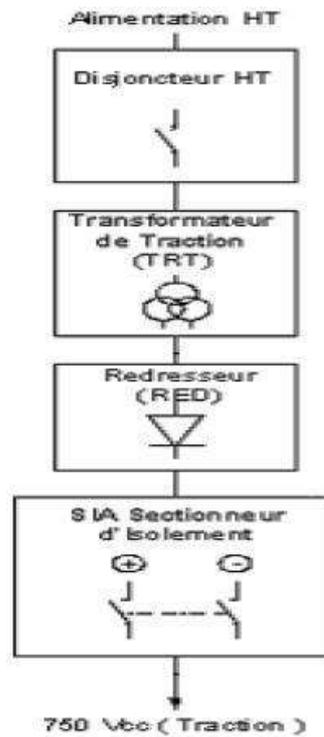


Figure II-1: Schéma d'un groupe redresseur de traction.

Transformateur Sous Station

Dans le monde des tramways et des métros, les transformateurs de sous-station assurent le raccordement des ponts redresseurs triphasés (associés éventuellement en série ou en parallèle) au réseau alternatif amont. Modélisation des transformateurs est importante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les différents bobinages (au primaire et au secondaire) qui les composent peuvent être légèrement déséquilibrés. Sur un réseau de tramway ou de métro, la signature harmonique d'un tel défaut note l'apparition de raies à des multiples pairs du fondamental sur les courants et tensions DC. Ensuite, les couplages des transformateurs (triangle, étoile, zig-zag) apportent des propriétés harmoniques particulières aux systèmes électriques. Pour ces deux principales raisons citées (déséquilibre des enroulements et couplage), il est nécessaire de modéliser les transformateurs utilisés dans les sous-stations [1].

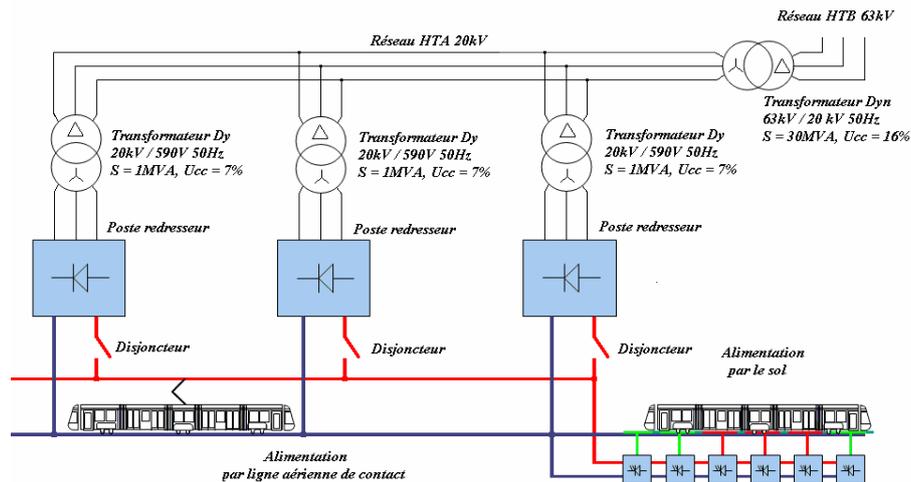


Figure II-2 : Transformateur sou station

II-3-2- Sous-système caténaire :

Le système caténaire est un ensemble de câbles permet de répartir le courant fourni par les sous stations et de l'acheminer jusqu'à la motrice

Il y a deux catégories de sous-système caténaire sont :

II-3-2-1- La ligne aérienne de contact

La Ligne Aérienne de Contact (LAC) est le sous-système permettant l'acheminement de l'énergie électrique depuis les postes redresseurs situés dans les sous-stations de traction (SST) jusqu'aux rames du matériel roulant (figure II-3).

Une LAC est constituée de :

- Fils de Contact,
- Câbles d'alimentation et connexions électriques,
- Supports et ancrages LAC,
- Equipements/Armements (Isolateurs, Consoles, Transversaux, Suspensions, Rappels, Parafoudres, Feux de Présence Tension...),
- Protections (Parafoudres...) [13].



Figure II-3 : La ligne aérienne de contact .

II-3-2-1- Alimentations Par le Sol (APS)

Initialement introduite à la fin du 19ème siècle, l'alimentation électrique des tramways par le sol avait été abandonnée pour des raisons de sécurité. Des câbles de puissance étaient placés au fond d'un caniveau, et un capteur situé sous chaque tramway y descendait afin d'établir le contact électrique [14].

II-3-3- Sous-système SCADA :

Le système SCADA (système de contrôle et d'acquisition de données) est un système de télégestion à grande échelle permettant de traiter en temps réel un grand nombre de télémesures et de contrôler à distance les installations de circuit électrique ferroviaire (figure II-4) [11].



Figure II-4 : Système de contrôle et d'acquisition de données.

Les composants du tramway

Le tramway est une rame composée de 2 éléments, elle se décompose de la manière suivante

- Deux motrices M1.
- Deux caisses suspendues C1.
- Deux nacelles porteuses NP.
- Deux caisses suspendues C2.
- Deux motrices M2

Le tramway est porté par des bogies. Un bogie est une sorte de chariot à quatre roues auquel la rame de tramway est liée par une liaison. Les bogies assurent le guidage et l'appui au sol de la rame, ainsi que sa motorisation dans le cas des bogies moteurs. Le tramway étudié ici comporte 2 bogies moteurs (4 roues motrices) et 1 bogie central porteur. Tous les bogies comportent des freins. Les tramways modernes font appel aux multiples ressources de l'électronique de puissance et l'on obtient de la sorte un fonctionnement satisfaisant des moteurs de tractions, notamment en termes de niveau sonore et de souplesse d'emploi [15].

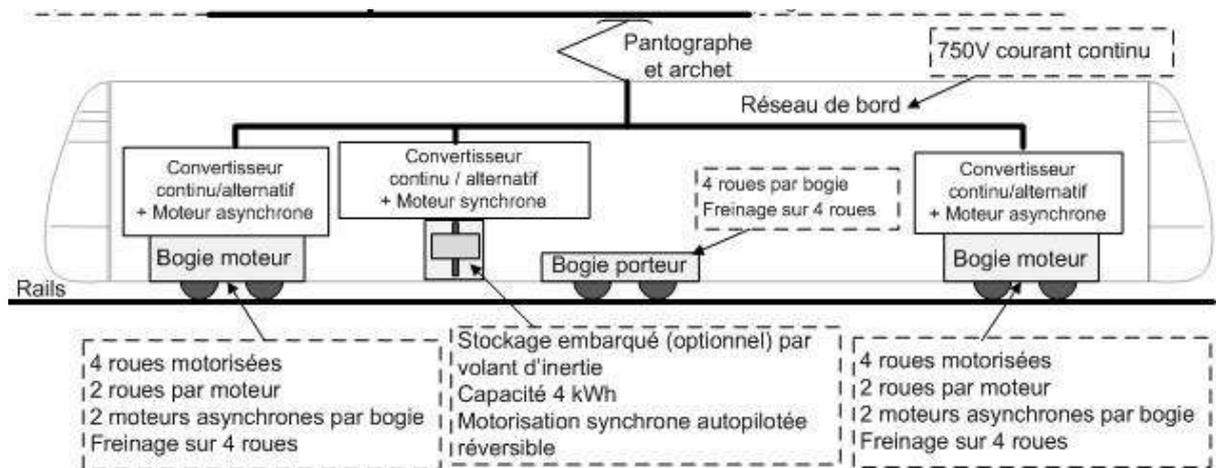


Figure II-5 : Les composants du tramway

Les équipements en fosse d'un élément du tramway sont illustrés ci-dessous soit [13]

En motrices M1 et M2 :

- ❖ Quatre bogies moteurs
- ❖ Quatre centrales hydrauliques
- ❖ Quatre compresseurs de sablage

En nacelle porteuse NP :

- ❖ Un bogie porteur
- ❖ Une centrale hydraulique

✚ En motrices M1 et M2

❖ Bogie moteur

Le bogie moteur est équipé de deux moteurs asynchrones triphasés à refroidissement par eau, d'une masse de 335 Kg, et d'une puissance de 175KW. Leur vitesse de rotation maximale est de 4550Tr/min. Il est utilisé dans le cas d'une traction directe ou indirecte et aussi pour le freinage. Il existe un bogie moteur pour chaque motrice M1 et M2 [7].

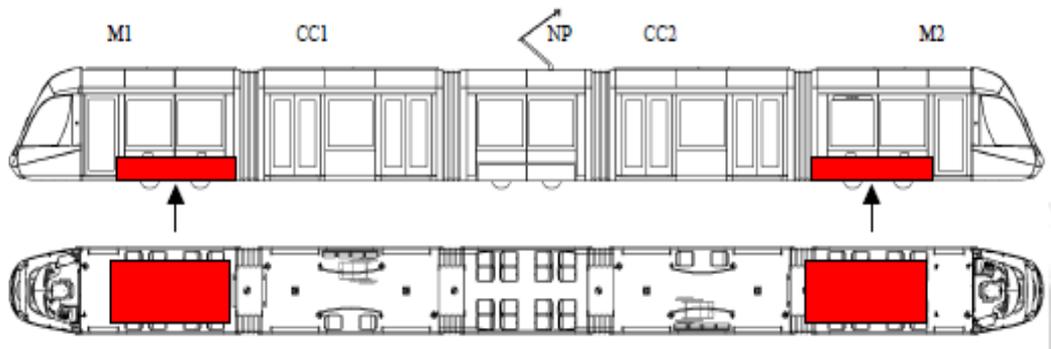


Figure II-6: Schéma d'implantation de Bogie Moteur

❖ Centrale hydraulique

La centrale est un organe hydraulique utilisé dans certaines phases de freinage (de service, d'urgence, de secours, d'immobilisation et de parking).

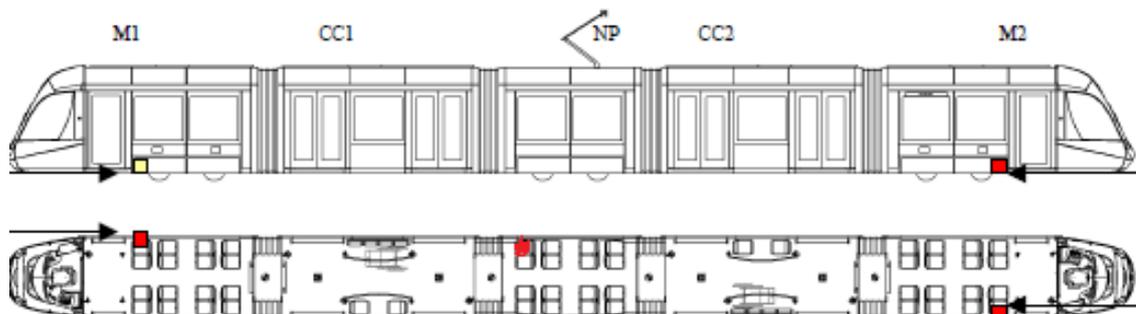


Figure II-7 : Schéma d'implantation de Centrale hydraulique

❖ Compresseur de sablage

Le compresseur permet la production d'air comprimé utilisé pour la mise en œuvre du sablage, il est utilisé dans le cas où il y a le patinage ou l'enrayage.

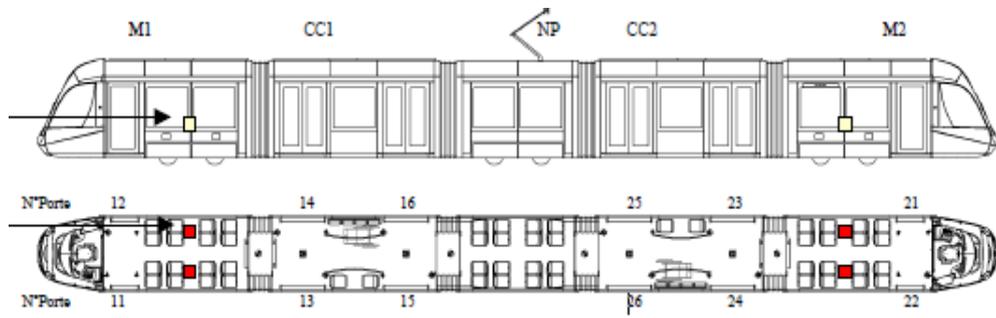


Figure II-8 : Schéma d'implantation de Compresseur de sablage

✚ En nacelle porteuse NP

❖ Bogie porteur

Le bogie porteur est généralement utilisé pour le freinage et assure la répartition des charges et le guidage. Il existe un seul bogie porteur dans la nacelle porteuse NP, son fonctionnement est tout à fait le contraire pour le bogie moteur.

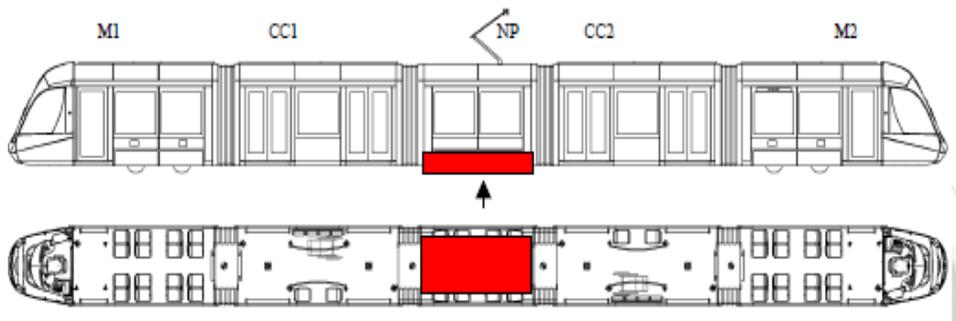


Figure II-9 : Schéma d'implantation de Bogie porteur

❖ Traction

Les moteurs de traction sont de type asynchrone triphasés et à cage d'écureuil, fermé et refroidit par fluide caloporteur à partir de 750V, un onduleur individuel à IGBT alimente chaque moteur.

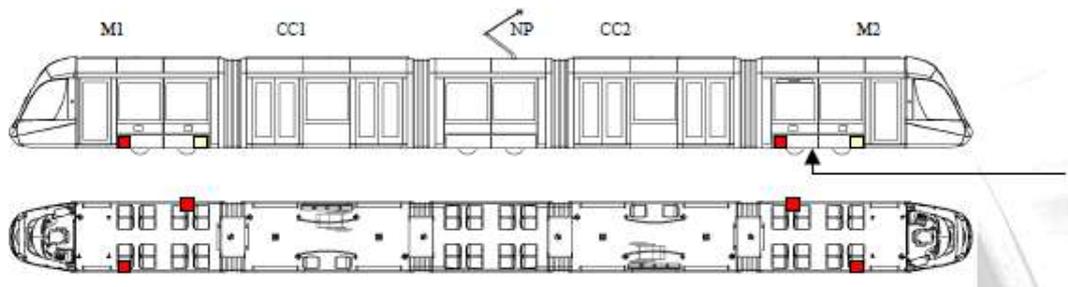


Figure II-10 : Schéma d'implantation de Traction

✚ Les types et les modes de freinage

Le freinage est assuré par plusieurs dispositifs. Tout d'abord, on trouve sur les bogies moteurs le freinage électrodynamique à récupération et rhéostatique qui assure un effort de retenue de 3675 daN par bogie. Le freinage rhéostatique se substitue automatiquement à la récupération en cas d'absence de tension dans la caténaire. Ensuite, chaque essieu est équipé d'un disque de freinage en fonte ventilée de 400 millimètres de diamètre et de 60 millimètres d'épaisseur sur lequel viennent appuyer des plaquettes en matériaux composites. Les plaquettes sont montées sur des étriers assurant le serrage des freins par ressort. En service, le desserrage est assuré par pression grâce à un circuit hydraulique. Ce freinage par friction assure un effort de retenu maximum de 3410 daN sur les bogies moteurs et de 4980 daN sur le bogie porteur [13].

Enfin, chaque bogie est équipé de 2 patins électromagnétiques pouvant venir s'appliquer sur les rails. En freinage de service, sont sollicités, à l'aide du manipulateur traction-freinage, les systèmes électrodynamique et mécanique avec une régulation des efforts en continu en fonction de la charge par un anti-enrayeur. En freinage d'urgence, déclenché, soit par le passage du cran spécial du manipulateur, soit par la rupture de la boucle d'urgence, les trois systèmes de frein sont sollicités avec un réglage des efforts en continu. Enfin, en freinage de sécurité, commandé, soit par le coup-de-poing, soit

par l'ouverture de la boucle de sécurité, le courant est coupé aux moteurs de traction empêchant tout freinage électrodynamique. Dans ce cas, le freinage mécanique et les patins électromagnétiques sont sollicités à leur maximum de puissance, sans régulation. Il existe indépendamment des autres systèmes, pour le stationnement de longue durée, un frein de parking à ressort sur les essieux moteurs de la rame [16].



Bogie Moteur



Bogie Porteur



Capteur de vitesse Bogie Moteur



Compresseur de sablage



Centrale hydraulique

Figure II-11 : Les équipements en fosse d'un élément du tramway

II-4-2 Les équipements en toiture d'un élément du tramway sont illustrés ci-dessous soit [13]**✓ En motrices M1 et M2 :**

- ❖ Un coffre équipement électrique basse tension.
- ❖ Un coffre équipement traction/freinage
- ❖ Un group de refroidissement moteur.
- ❖ Un groupe de climatisation cabine (dans M1).

✓ En nacelle porteuse NP :

- ❖ Un coffre disjoncteur.
- ❖ Un pantographe.
- ❖ Un parafoudre.

✓ En caisse suspendue C1 :

- ❖ Un groupe de climatisation salle.
- ❖ Un rhéostat de freinage.
- ❖ Un coffre batterie (dans C1).
- ❖ Un convertisseur statique (dans C2).

✚ En motrices M1 et M2**❖ Coffre équipement électrique basse tension BT**

La batterie BT est composée de 19 cellules identiques placés en série afin d'obtenir une tension continue de 24V.

Cet équipement peut être isolé de deux façons :

- Action sur le commutateur motorisé d'isolement batterie (sous voussoir).
- Action sur le commutateur d'isolement batterie depuis la toiture (dans le coffre batterie).

Elle permet la montée et la descente du pantographe et les alimentations électriques des auxiliaires nécessaires à la phase de préparation.

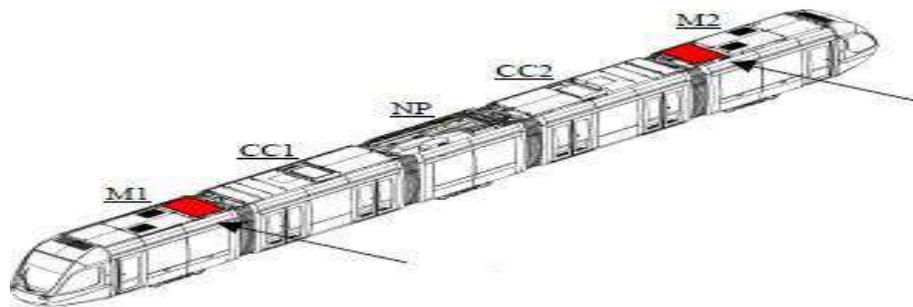


Figure II-12 : Schéma d'implantation de Coffre équipement électrique basse tension BT

❖ Groupe de refroidissement moteur GRF

Un groupe de refroidissement assure le refroidissement des moteurs de traction d'un même bogie.

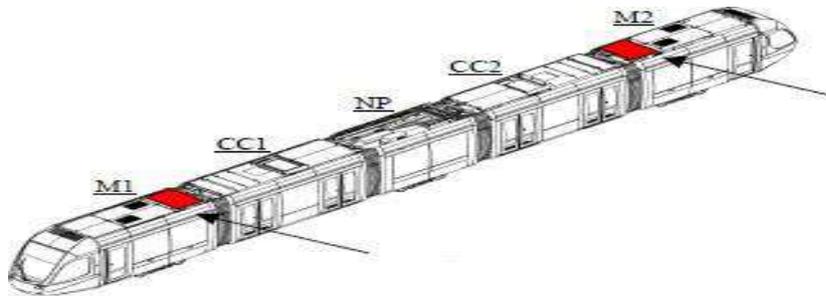


Figure II-13 : Schéma d'implantation de Groupe de refroidissement moteur GRF

❖ Groupe climatisation cabine

Le groupe de climatisation cabine a pour rôle de maintenir et d'assurer, à l'intérieur de chaque cabine de conduite une température constante prédéfinie et modifiable par l'agent de conduite.

✚ En nacelle porteuse NP

❖ Coffre disjoncteur

Le coffre disjoncteur, situé en toiture de la nacelle porteuse NP, est l'équipement qui assure la continuité électrique contre :

- D'une part, les équipements permettant la fourniture de la tension HT (pantographe, batterie HT).
- Et d'autre part, les équipements nécessitant la tension HT avec principalement les coffres de traction-freinage et les convertisseurs statique.

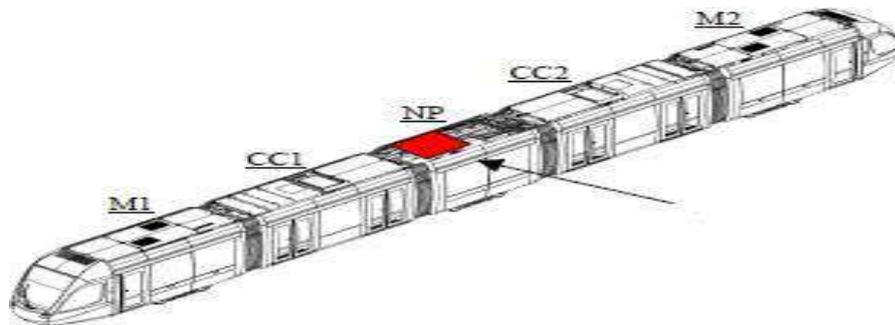


Figure II-14: Schéma d'implantation de Coffre disjoncteur

□ **Pantographe**

Le pantographe est un ensemble mécanique articulé, qui capte le courant sur la caténaire et l'achemine jusqu'à la ligne de conduite. Équipement du tramway dépliable, situé au-dessus du véhicule et permettant de capter le courant. Les organes de commandes permettent la montée ou la descente du pantographe.

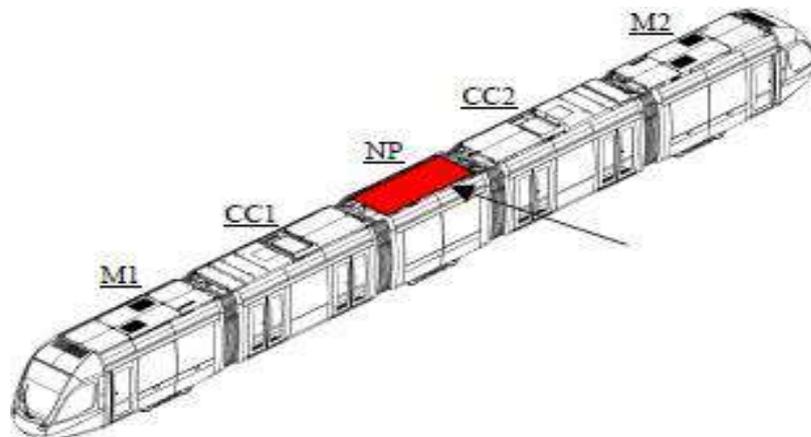


Figure II-15: Schéma d'implantation de Pantographe

- **Parafoudre**



Figure II-16:Parafoudre

Le parafoudre assure la protection de la rame contre les surtensions du matériel alimenté sous une tension nominale de 750v en courant continu en cas d'orage.

- ✚ **En caisse suspendue C1**

- **Groupe de climatisation salle**

Le groupe de climatisation salle voyageurs a pour rôle de maintenir et d'assurer à l'intérieur de salles voyageurs une température constante.

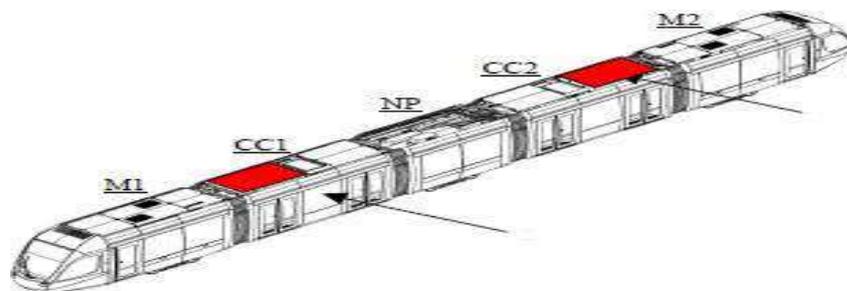


Figure II-17 : Schéma d'implantation de Group de climatisation salle

❖ Rhéostat de freinage

Le rhéostat de freinage permet de dissiper l'énergie fournie par les moteurs, en effet en phase de freinage les moteurs se comportent comme des générateurs et injectent de l'énergie sur la caténaire mais lorsque celle-ci n'est plus réceptive le flux d'énergie est envoyé dans les rhéostats.

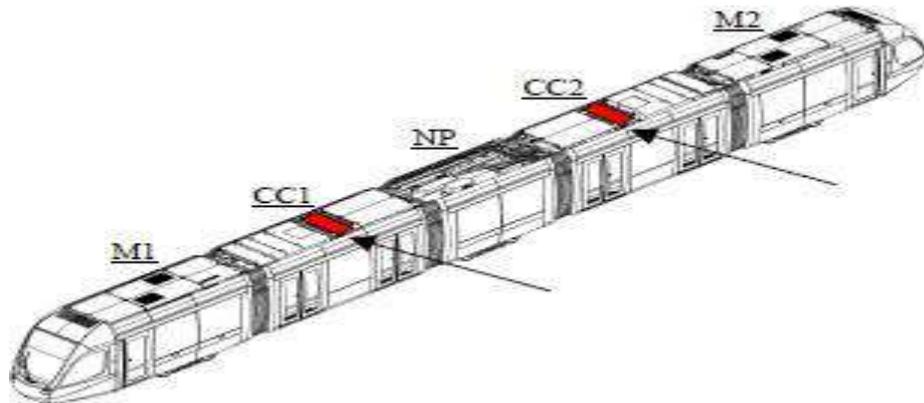


Figure II-18 : Schéma d'implantation de Rhéostat de freinage

□ Coffre batterie

Ce réseau est utilisé principalement pour alimenter les fonctions qui doivent rester disponibles quand le véhicule dé-préparé (par exemple : feux de garage (fanaux)). C'est la raison pour laquelle il est continuellement alimenté par la batterie tant que cette dernière n'est pas déchargée (ou par le convertisseur statique lorsqu'il fonctionne). et remorque /poussage, ce réseau de l'élément secouru n'est pas alimenté par l'élément secourant.

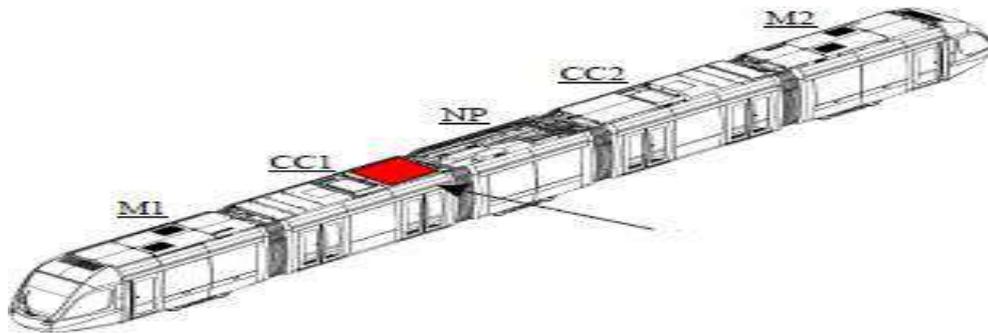


Figure II-19 : Schéma d'implantation de Coffre batterie.

□ **Convertisseur statique CVS**

La fourniture d'énergie auxiliaire est assurée par un convertisseur statique CVS. A partir de la haute tension 750 VCC délivré par un pantographe, le convertisseur statique délivre, à partir de différents modules électriques, l'énergie moyenne et basse tension utilisée sur la rame. Le CVS contient également une électronique de commande qui assure le contrôle et la commande des différents modules.

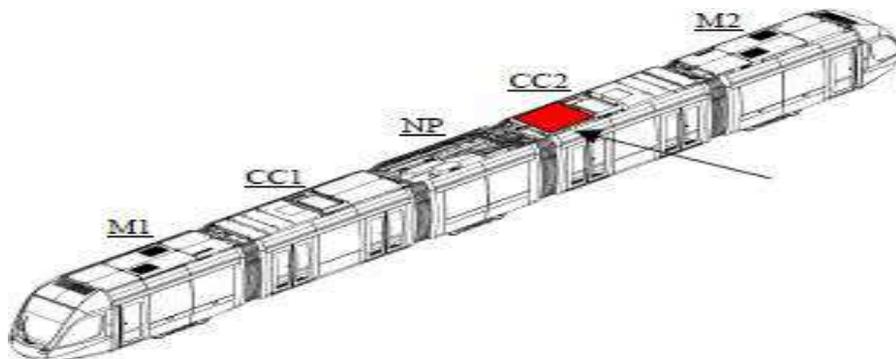


Figure II-20 : Schéma d'implantation de Convertisseur statique CVS



Groupe de refroidissement moteur GRF



Climatisation



Rhéostat de freinage



Coffre batterie



Convertisseur Statique



Coffre HT



Moteur Pantographe



Pantographe

Figure II-21 Les équipements en toiture d'un élément du tramway

La signalisation

La signalisation regroupe l'ensemble des échanges d'information liés à la circulation du matériel roulant sur son réseau. Certaines données (trafic, maintenance, secours) sont transmises par radio ou par téléphone au PCC, alors que d'autres (détection des trains, de mécanismes d'aiguillage, de passages à niveau, de relais de sécurité) transitent par les rails de roulement. La sécurité intrinsèque et la disponibilité de circulation des tramways dépendent du bon fonctionnement des appareils de signalisation. Parmi l'ensemble des appareils de signalisation, les circuits de voie ont un rôle important. Ces dispositifs servent à indiquer l'état d'occupation d'un canton. Les Figure Figure II-22 et Figure II-23 illustrent le fonctionnement d'un circuit de voie à joints isolants [1].

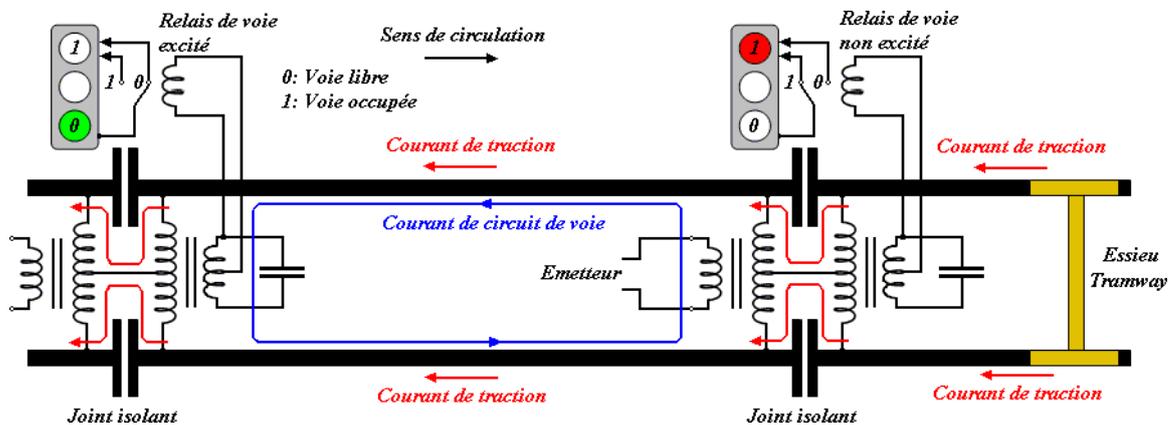


Figure II-22 : Circuit de voie à joints isolants, canton libre

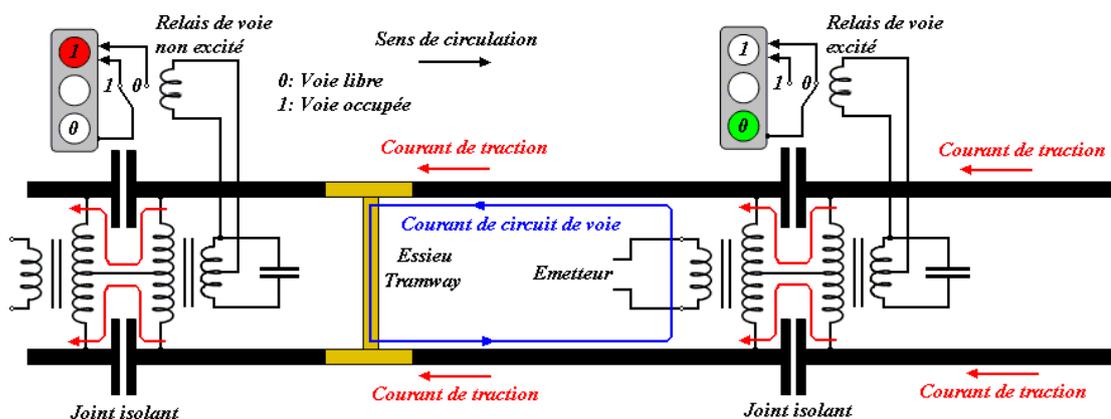


Figure II-23 : Circuit de voie à joints isolants, canton occupé

Les rails de roulement sont utilisés à la fois pour transmettre les signaux électriques entre les émetteurs et les récepteurs des circuits de voie, ainsi que pour servir de retour aux courants de traction. Des liaisons inductives (transformateurs à point milieu) sont utilisées au niveau des joints isolants entre les cantons. Le courant de traction étant censé être équilibré entre les deux rails de roulement, le flux total engendré au niveau du transformateur est nul (somme de deux flux opposés). Lorsqu'un tramway se déplace sur une voie, ses essieux court-circuitent le récepteur du circuit de voie et la présence du tramway est décelée (commutation de relais) [1].

En fonctionnement normal, lorsque le courant de traction est équilibré entre les deux rails, sa composition harmonique ne perturbe pas les circuits de voie, puisque le flux engendré dans le transformateur est nécessairement nul. Par contre, si le courant de traction n'est pas parfaitement équilibré, ou si un rail est cassé, le relais de voie peut être excité par des courants harmoniques de même fréquence que celle de l'émetteur [1]. A l'heure actuelle, ce problème tend toutefois à disparaître puisque les signaux des circuits de voie modernes sont codés : ils ne peuvent plus être perturbés par des harmoniques [1].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes attachés à l'infrastructure d'alimentation et plus particulièrement la sous-station d'alimentation ferroviaire. Cette dernière apparaît comme la source du système ferroviaire dont l'architecture est tributaire du matériel roulant à alimenter. En effet il existe principalement deux types de système d'alimentation, le premier regroupe les sous-stations d'alimentation fournissant une tension (ou un courant) continue alors que le deuxième englobe les sous-stations d'alimentation produisant une tension alternative pour alimenter la chaîne de traction.

Chapitre III

Simulation d'un variateur de vitesse

Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons la simulation de redresseur et d'onduleur, après on a simulé l'association de Mas convertisseur (onduler –redresseur) d'état et la commande décalé. Ces opérations sont représentées par des modèles SIMULINK, ensuite on représentera les différentes courbes obtenues (courant, couple, vitesse), et les résultat de variation la vitesse pour différent fréquence

Redresseur

La fonction du redresseur est de transformer la tension alternative triphasée du réseau en tension continue. En pratique, il est difficile d'obtenir une tension de sortie parfaitement continue, ce qui donne en général une tension continue comportant une ondulation résiduelle. Suivant le type de technologie utilisé, il est possible de concevoir un circuit redresseur non commandé ou commandé [17].

Redresseur non commandé

✓ Schéma bloc

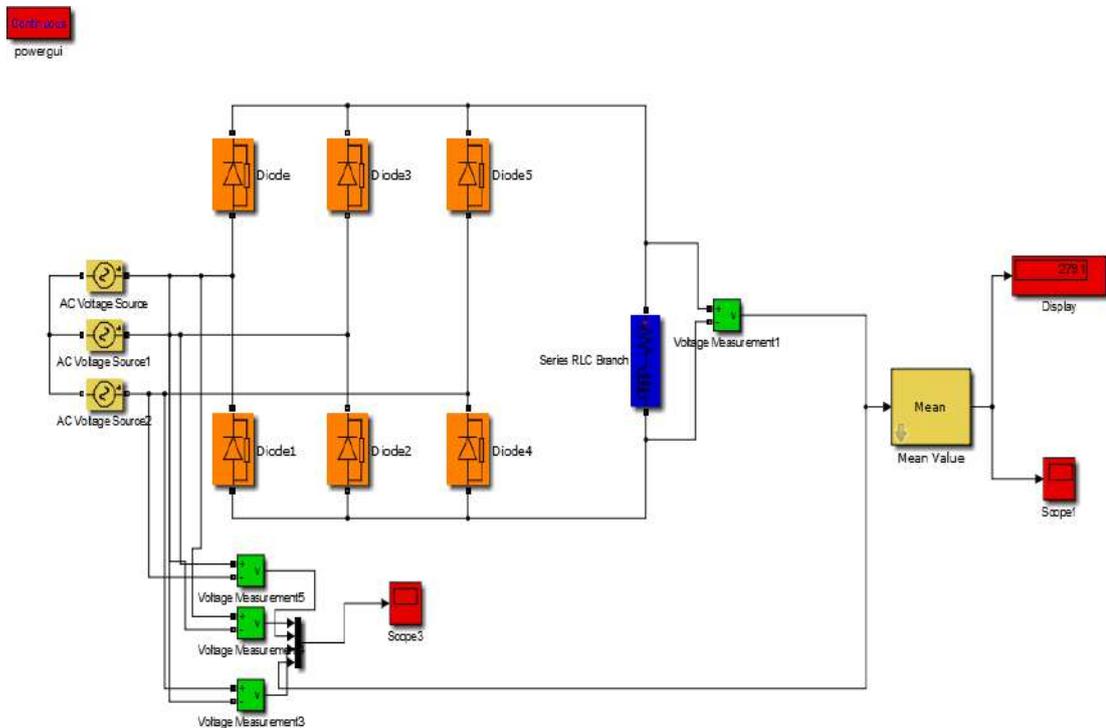


Figure III.1 Montage d'un redresseur triphasé non commandé.

Dans un redresseur triphasé non-commandé, le pont de diodes permet, comme le montre la figure ci-dessus, de générer une tension continue en redressant l'alternance négative de chacune des trois tensions composées. On voit que la tension de sortie n'est pas tout à fait continue et comporte une ondulation résiduelle.

III.2.1.1 Les résultats de simulation

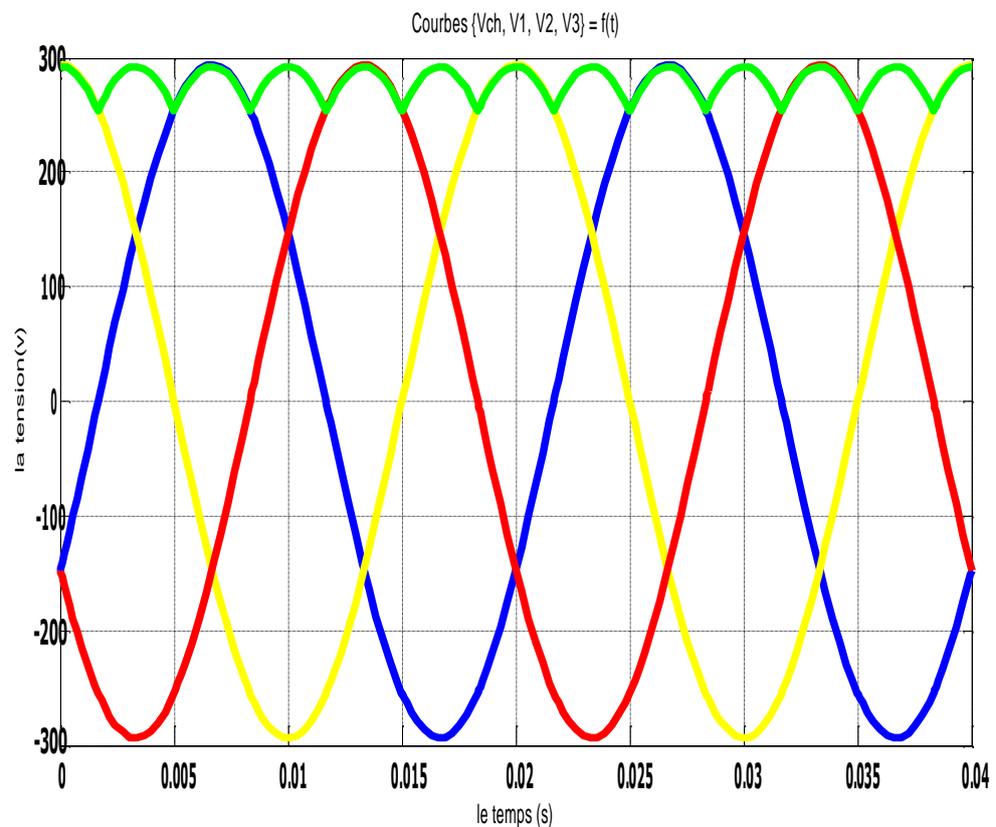


Figure III.2 Courbes des tensions $\{V_{ch}, V_1, V_2, V_3\}$

Avec : $V_{eff} = 220$ volt ;

Interprétation

Chaque diode conduit ainsi pendant un tiers de période (on dira que l'indice de commutation de ce montage est $q = 3$) tandis que la tension redressée se compose de six portions de sinusoïdes par période T (on dira que l'indice de pulsation est $p = 6$) ; ces deux indices avaient des valeurs égales dans le cas des montages parallèles simples.

Valeur moyenne

La tension à ondulation résiduelle sortant du redresseur a une valeur moyenne de l'ordre de 1,35 fois la tension du réseau [4].

$$V_{\text{moy}} = 279.1(\text{v})$$

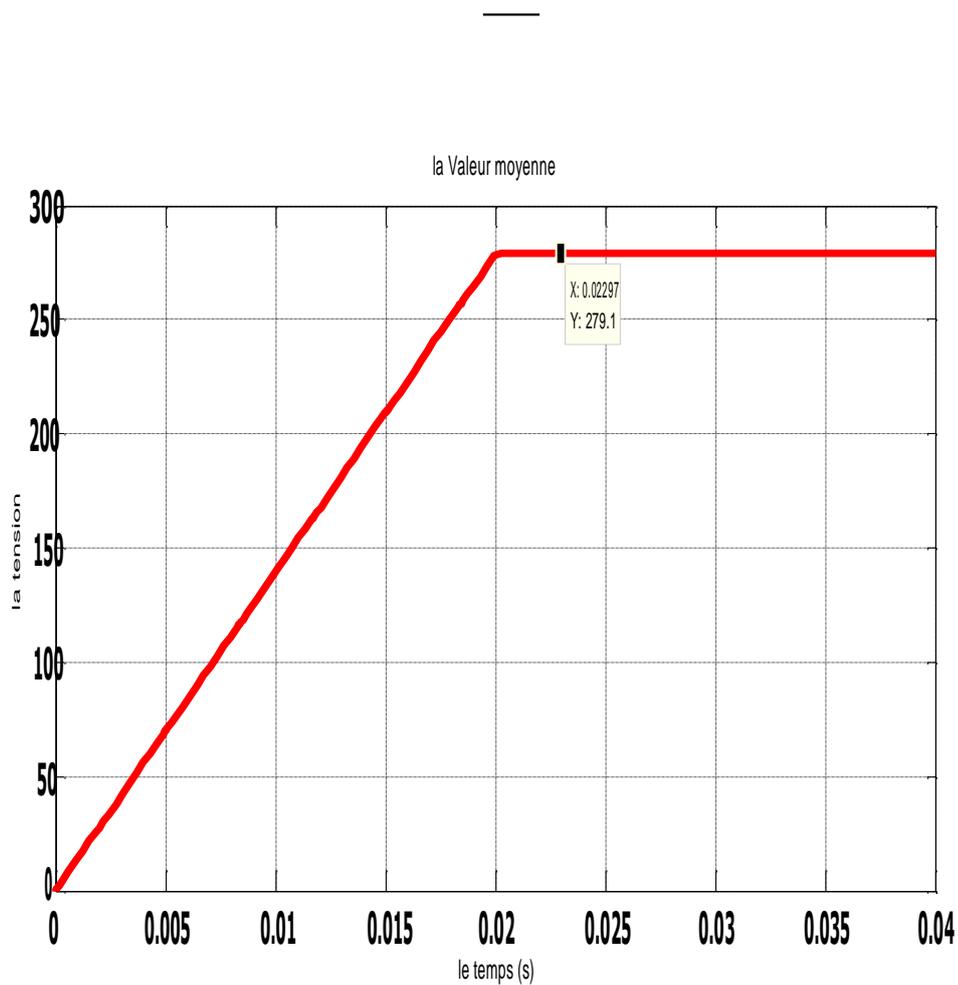


Figure III.3 Courbe de valeur moyenne

Ce résultat montre clairement que la tension obtenue est continue mais elle présente des ondulations, reste à lisser cette tension en introduisant un étage de filtrage composé principalement d'une capacité.

Le redresseur fournit au circuit intermédiaire (circuit de filtrage) la tension continue présente à sa sortie.

✓ **Shéma bloc**

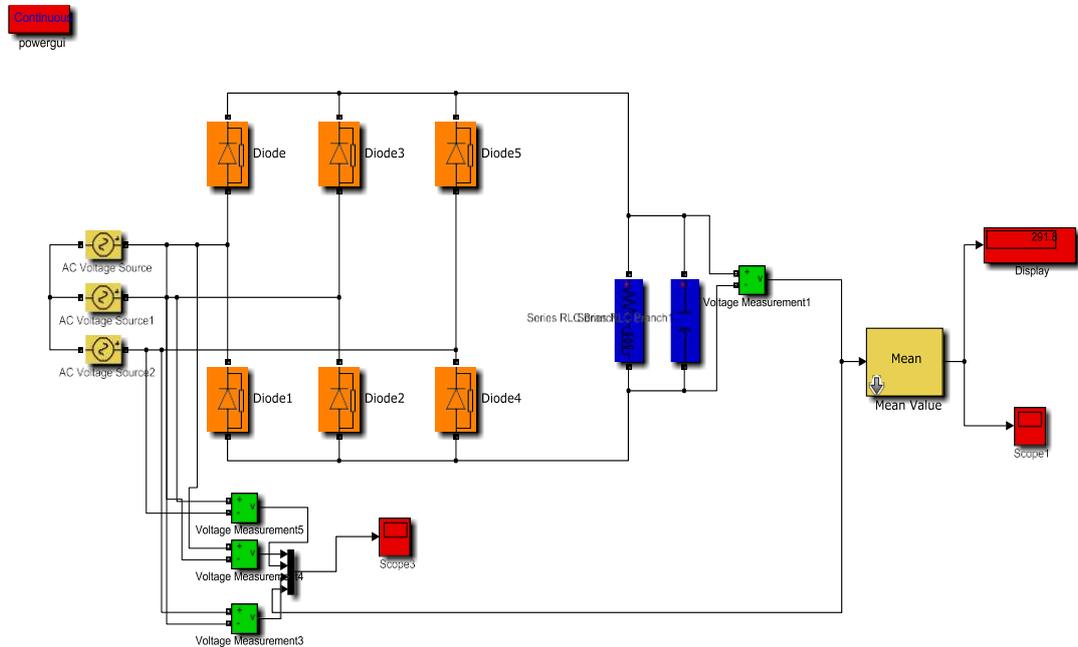


Figure III.4. Montage Redresseur non commandé relié à un filtre

Les résultats de simulation

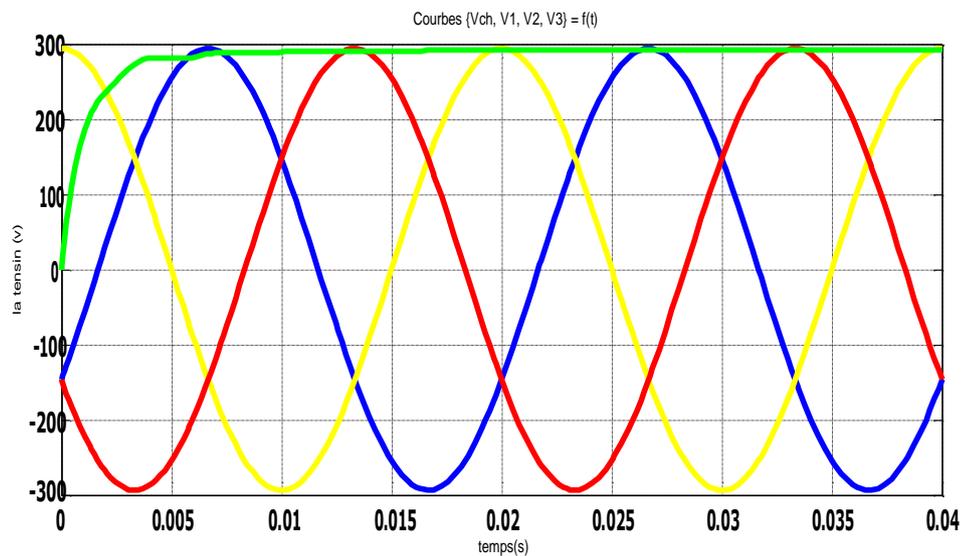


Figure III.5. Courbes {Vch, V1, V2, V3} = f(t)

Avec : $V_{eff} = 220$ volt ; $C = 1$ f

Après l'insertion d'un filtre à la sortie du redresseur, on obtient une tension de sortie presque parfaitement continue (Lissage de la tension et courant de sortie).

Redresseur commandé

✓ Schéma block

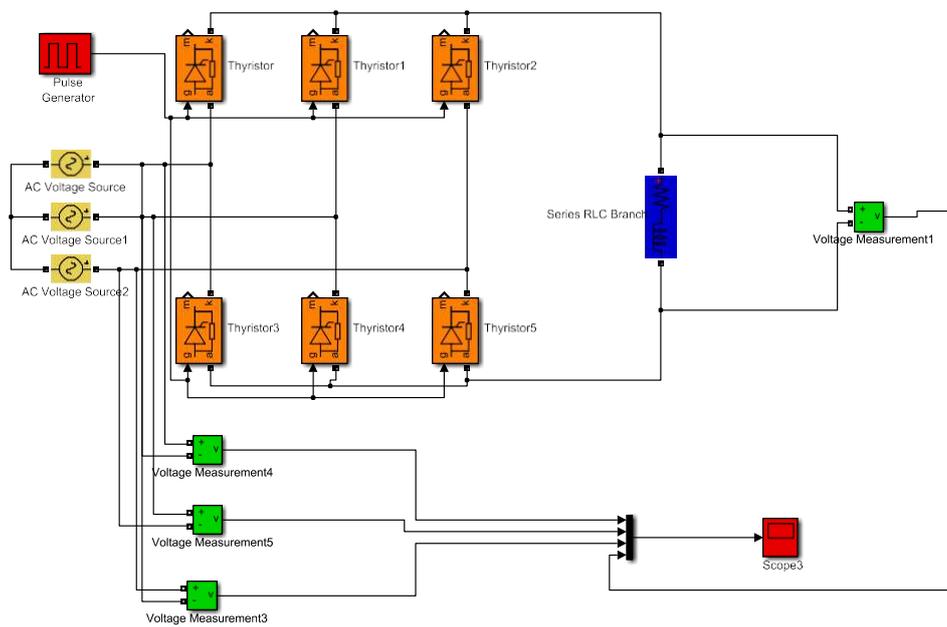


Figure III.6. Montage d'un redresseur triphasé commandé

III 2.2.1 Les résultats de simulation

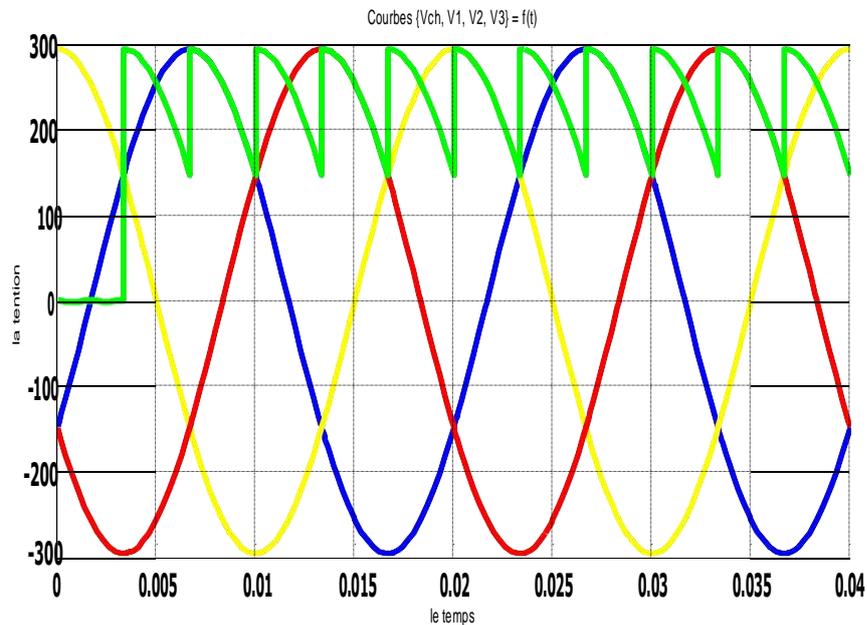


Figure III.7. Courbes {Vch, V1, V2, V3}

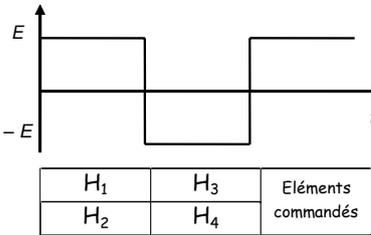
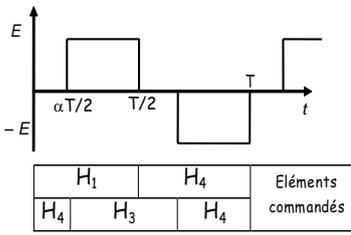
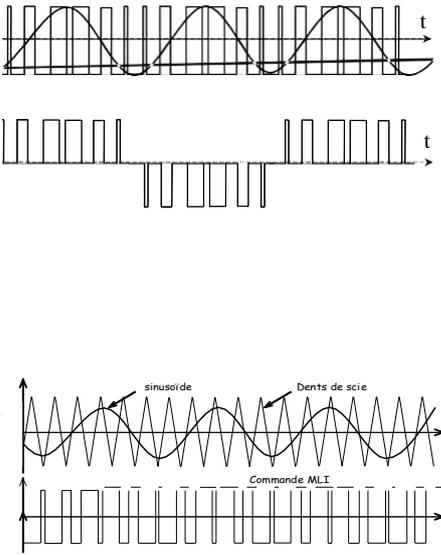
L'onduleur

L'onduleur est la dernière partie du variateur de fréquence située avant le moteur. Il fournit des grandeurs électriques variables au moteur. Dans tous les cas, l'onduleur est composé de semi-conducteurs disposés par paires en trois bras. Les semi-conducteurs de l'onduleur commutent sur des signaux en provenance du circuit de commande [17].

L'onduleur fournit au moteur une grandeur variable en tension ou en fréquence ou les deux en même temps suivant le cas. En effet, une alimentation de l'onduleur :

- En tension ou en courant continue variable, lui permet de réguler la vitesse du moteur en fréquence.
- En tension continue constante, lui impose de réguler la vitesse du moteur en tension et en fréquence [17].

III.1 Types de commande des interrupteurs et critère de choix

<p>– <i>symétrique</i> (à deux états : $\pm E$)</p>	<p>– <i>décalée</i> (à trois états $\pm E$ et 0) : pour l'onduleur en pont</p>	<p>– à <i>MLI</i> : pour l'onduleur en pont</p>										
 <table border="1" data-bbox="288 976 619 1043"> <tr> <td>H_1</td> <td>H_3</td> <td rowspan="2">Eléments commandés</td> </tr> <tr> <td>H_2</td> <td>H_4</td> </tr> </table>	H_1	H_3	Eléments commandés	H_2	H_4	 <table border="1" data-bbox="683 976 1002 1043"> <tr> <td>H_1</td> <td>H_4</td> <td rowspan="2">Eléments commandés</td> </tr> <tr> <td>H_4</td> <td>H_3</td> </tr> </table>	H_1	H_4	Eléments commandés	H_4	H_3	
H_1	H_3	Eléments commandés										
H_2	H_4											
H_1	H_4	Eléments commandés										
H_4	H_3											

[18]

Tab III.1. Commande des interrupteurs.

REMARQUE:

Dans cette étude ,nous avons utilise la commande décalée.

La commande décalée. Ce décalage permet de faire varier la valeur efficace de la tension de sortie [18].

✓ **Shéma bloc**

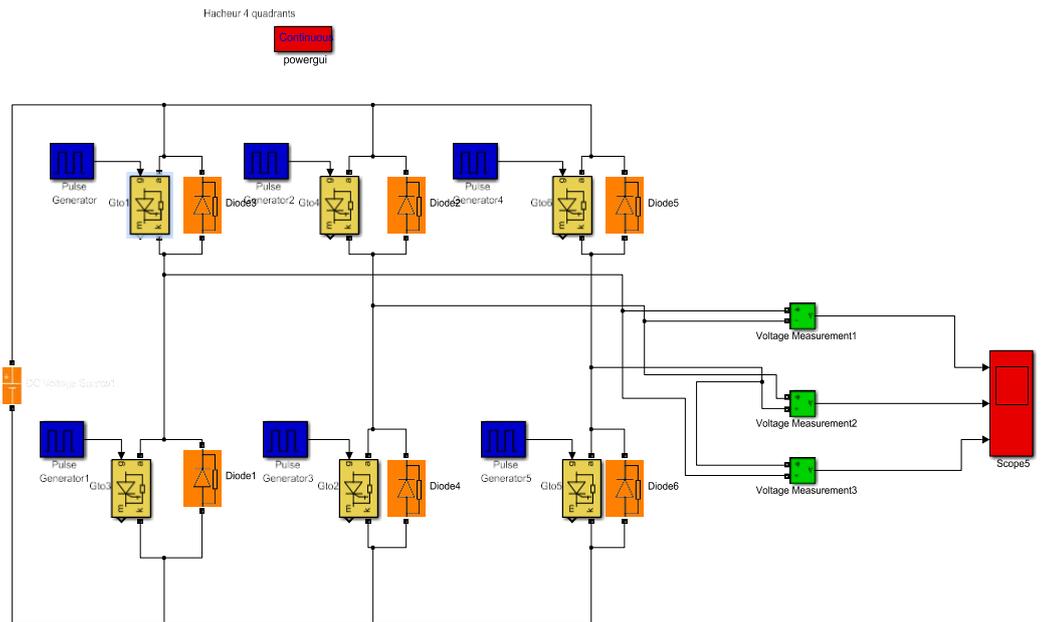


Figure III.8. Montage de L'onduleur triphasé

En appliquant ce type de commande pour l'onduleur, on obtient un système de tensions triphasées alternatives [16].

II.3.2 Les résultats de simulation

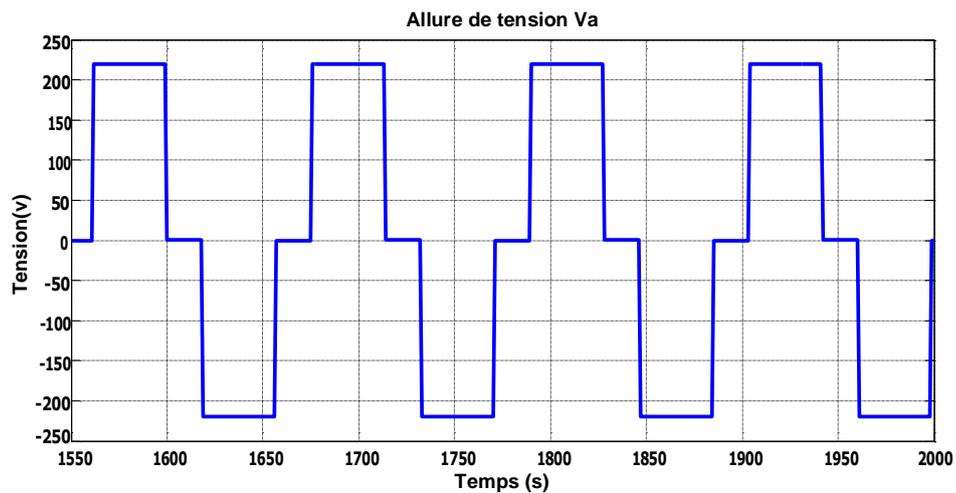


Figure III.9. Allure du signal de sortie Va

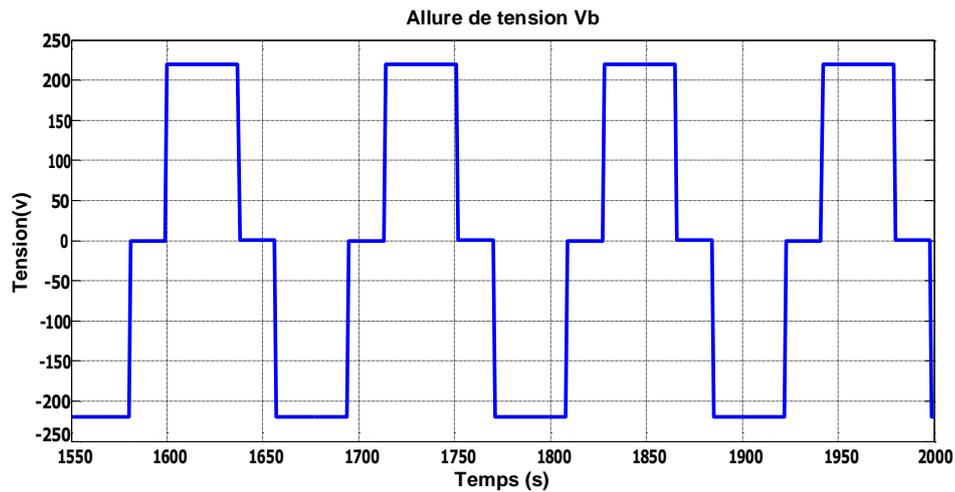


Figure III.10. Allure du signal de sortie Vb

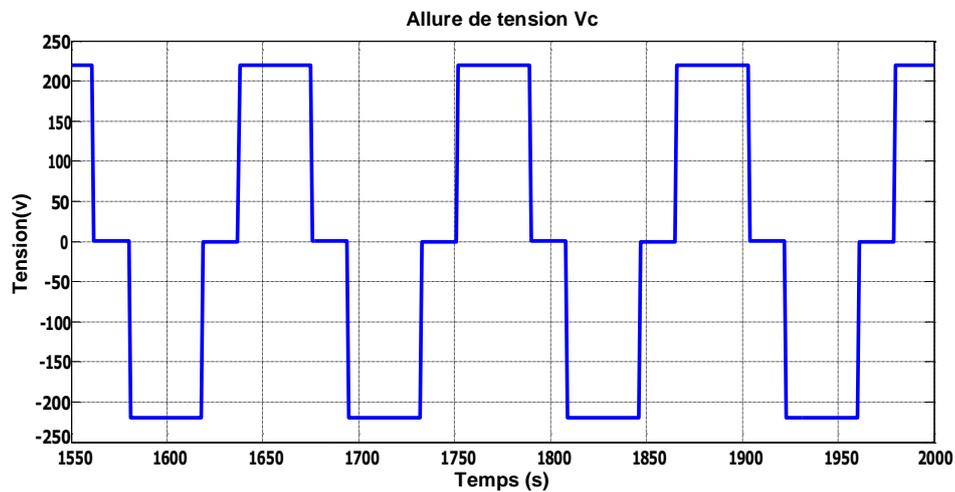


Figure III.11. Allure du signal de sortie Vc

La commande décalée veut dire que chaque transistors conduit pendant 180° et la forme d'onde obtenue est en escalier.

III. 4. Le moteur asynchrone

La bibliothèque Matlab Simulink a permis la conception du schéma bloc de la MAS ci-après, qui nous a permis d'obtenir les caractéristiques de la vitesse et du couple électromagnétique et l'allure des différents courants, et ce, en tenant compte des paramètres de la machine asynchrone

III.5. variation de vitesse

III .5.1 Simulation d'alimentation de tramway

✚ Association machine-convertisseurs

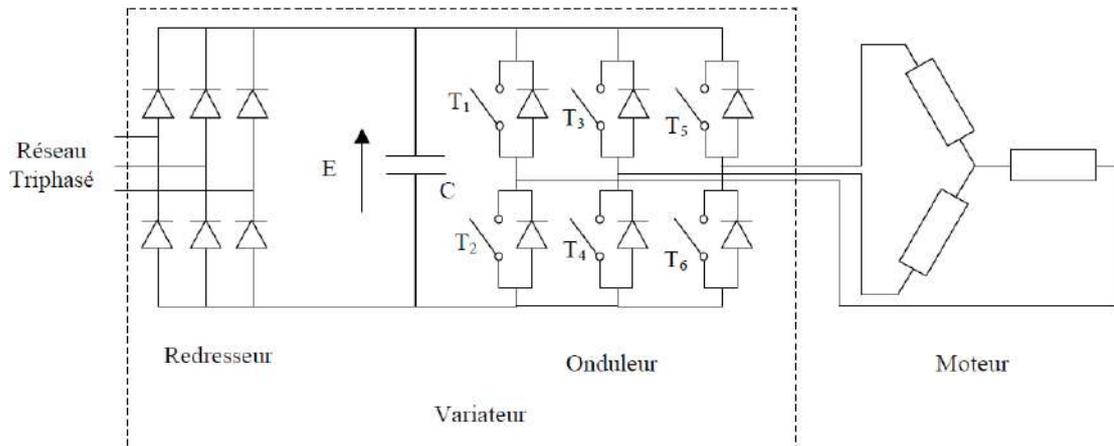


Figure III.12. Schéma explicatif l'ensemble machine convertisseur

✓ Schéma bloc

Le schéma suivante représente la simulation du tramway

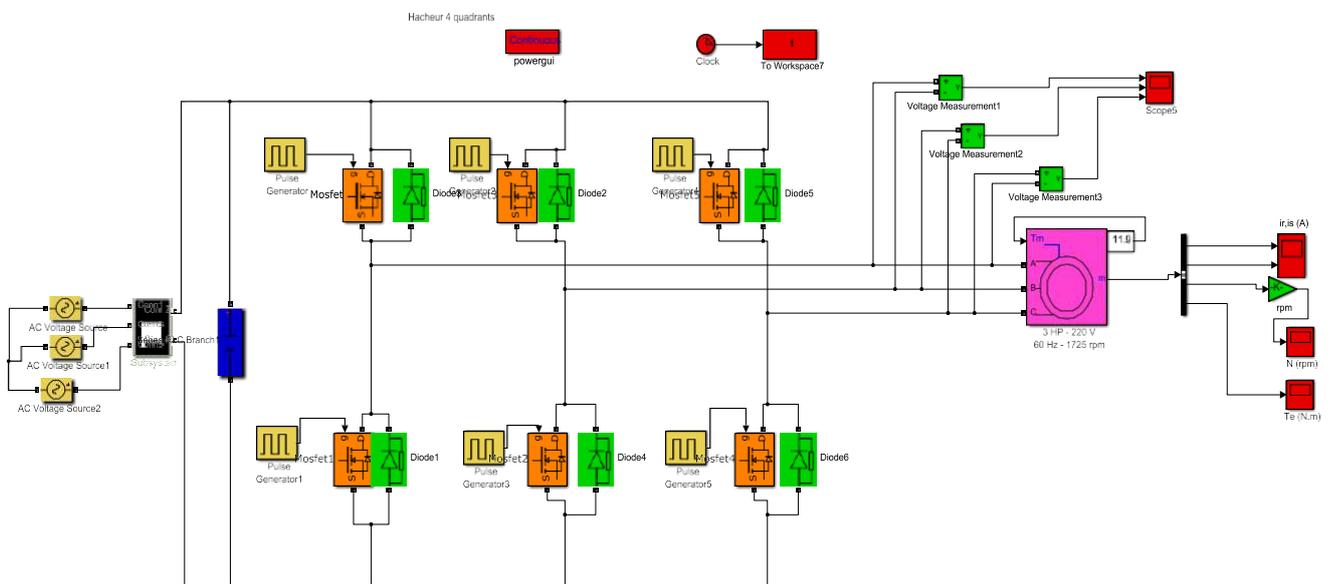


Figure III.13 Montage d'alimentation de tramway

D'après la simulation du schéma bloc du moteur asynchrone à vide et lié au champ tournant, on obtient les figures suivantes:

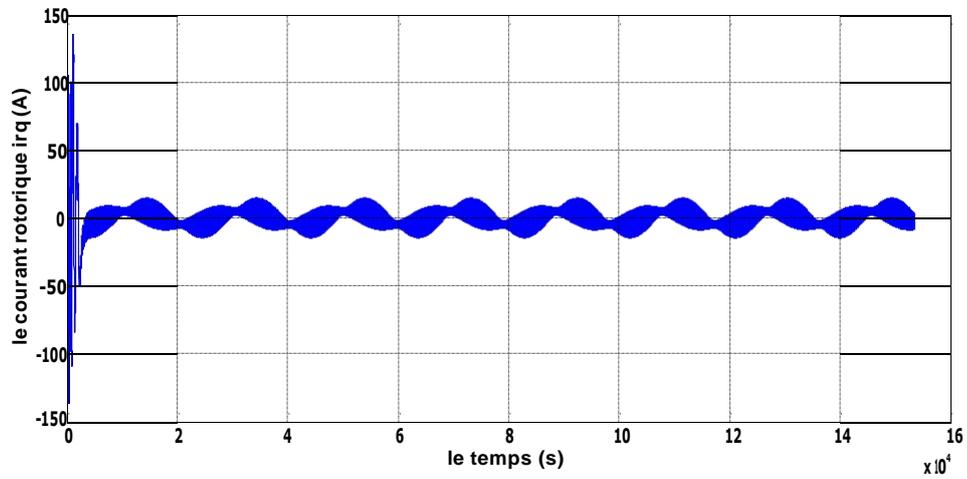


Figure III.14. Courant rotorique i_r en (A)

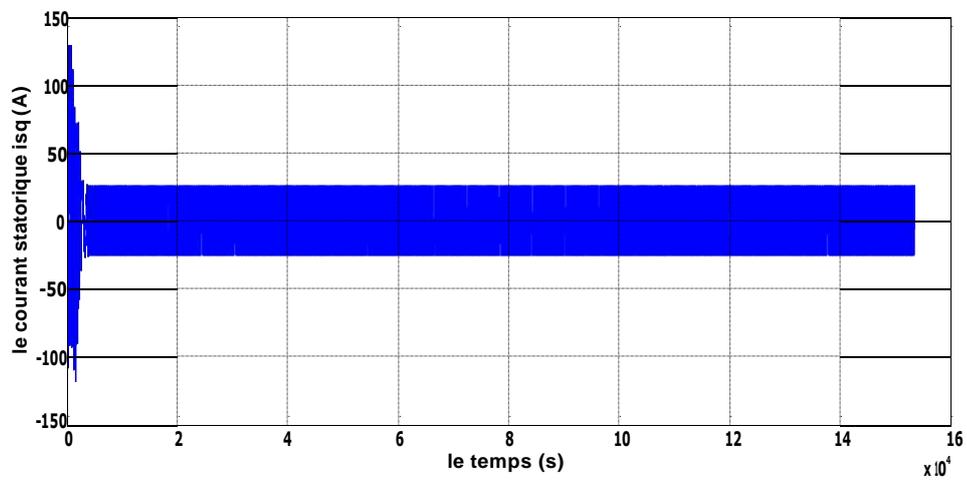


Figure III.15. Courant statorique i_s en (A).

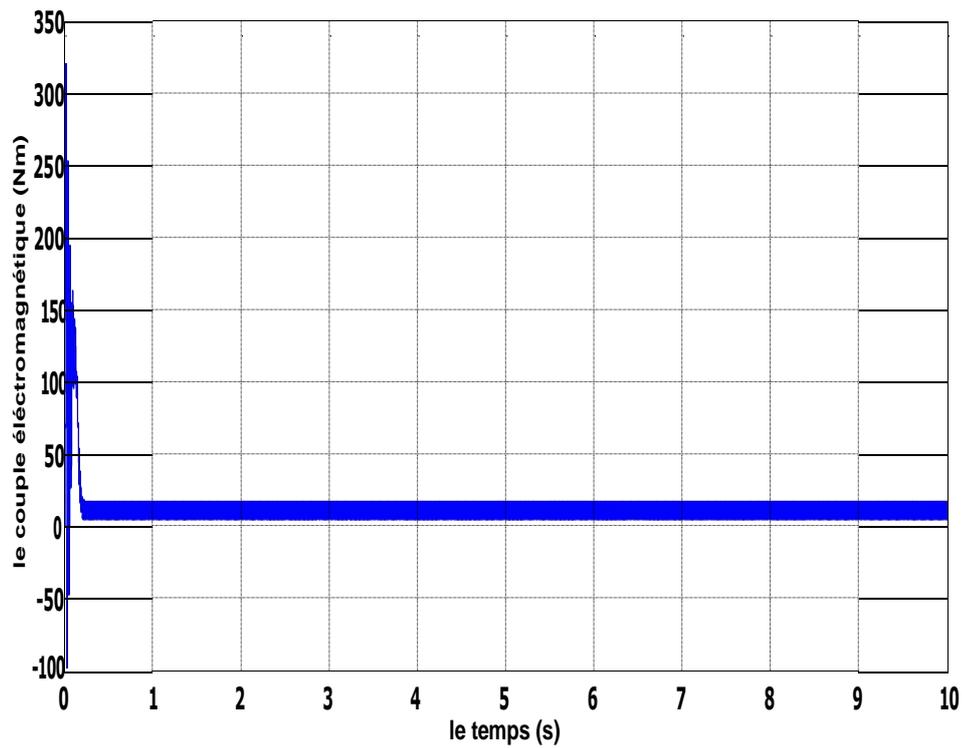


Figure III.16. le couple électromagnétique en (Nm)

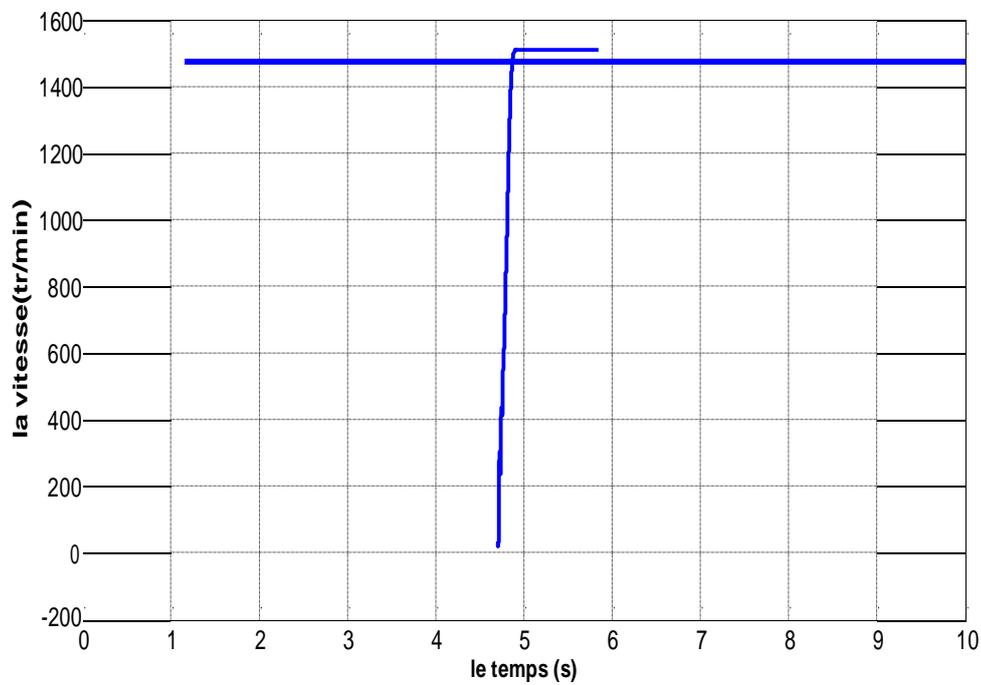


Figure III.17. La vitesse rotorique en (tr/min)

Les interprétation

Les figures: (III-14), (III-15),et (III-16) (III-17) représentent des courbes (à vide $C_r=0$). Ces derniers permet de constatés que le démarrage à vide avec une tension nominale permet d'avoir:

Aux premiers instants, les courants statoriques et rotoriques présentent des oscillations successives, mais que disparaissent rapidement au bout de quelques alternances (environ 1 seconde), après ils se stabilisent à une valeur constante de courant faible. La vitesse présente des oscillations au premier instant de démarrage, puis se stabilise à 1476 tr/min. Le couple atteint sa valeur maximale et s'annule (0 Nm)

Simulation du moteur asynchrone à fréquence variable **Le cas**

: $f=25$; $T=0.04$

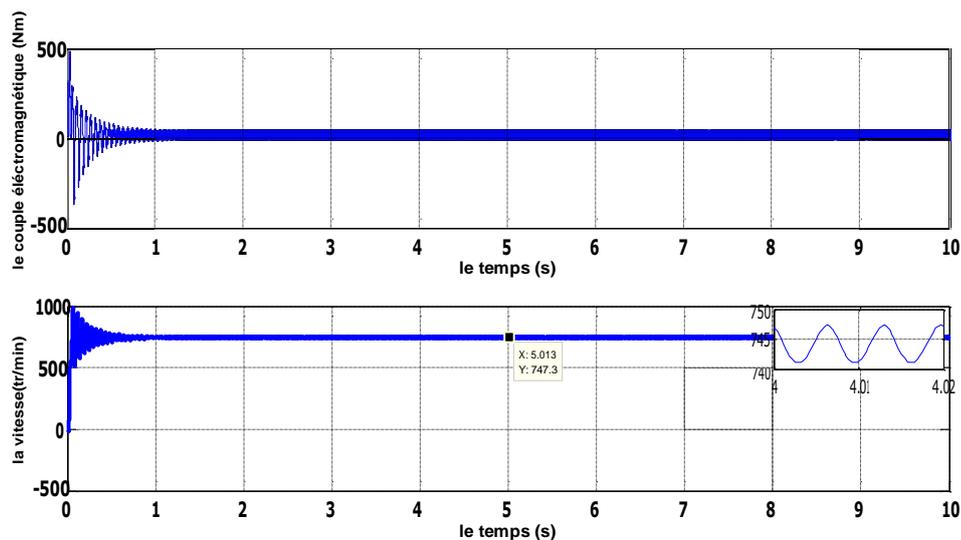


Figure III.18:les couple électromagnétique, vitesse.

Le cas : $f=50$; $T=0.02$

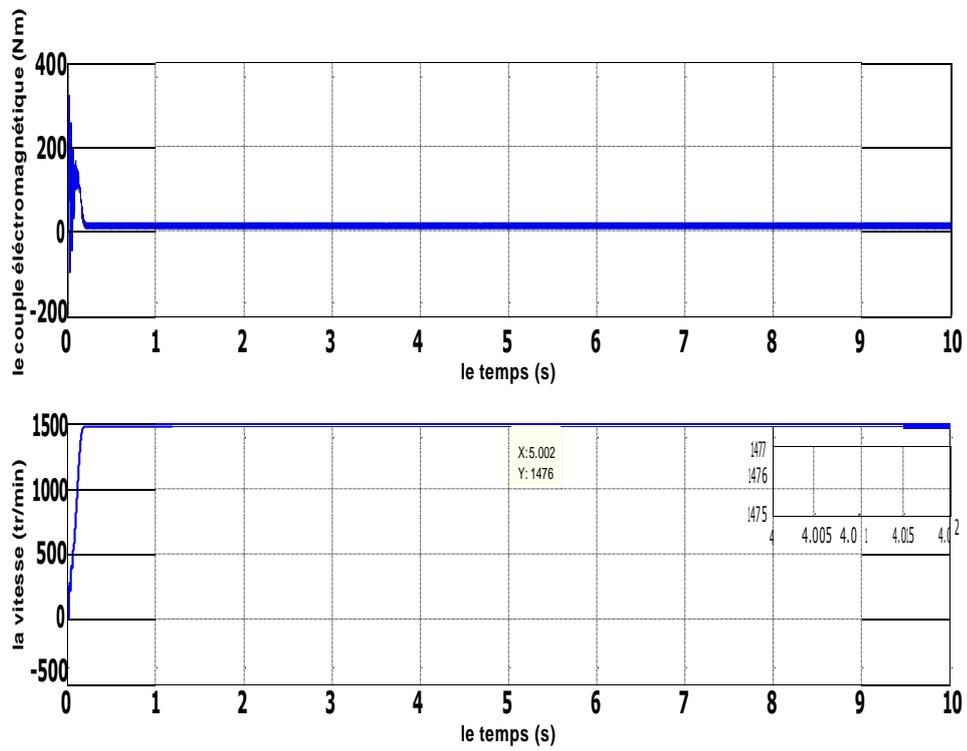


Figure III.19: Le couple électromagnétique, vitesse.

$f=60$; $T=0.016$

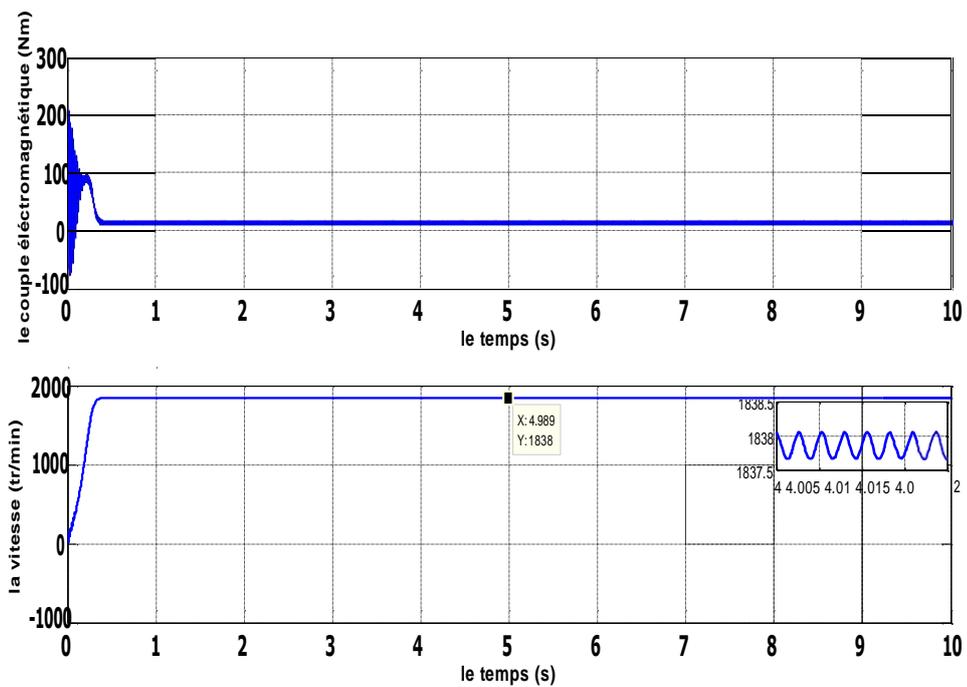


Figure III.20. Le couple électromagnétique, vitesse.

III-5-Conclusion

Comme nous l'avons vu sur cette chapitre, la façon la plus efficace de régler la vitesse de ces machines et d'agir sur la fréquence de leur tension d'alimentation. Pour répondre à ce besoin, on conçoit donc un redresseur triphasé qui fournit une tension continue et on place un onduleur à la suite qui crée le réseau de tension triphasé sinusoïdal à une amplitude et de fréquence permettant le fonctionnement désire.

Conclusion générale

Le bus est le moins cher des transports en commun. Mais il porte l'inconvénient typique est l'apparition de trains de bus, groupes de véhicules appartenant à la même ligne et arrivant ensemble à un arrêt. Ce phénomène augmente le temps d'attente moyen des usagers aux arrêts et induit un mauvais usage des bus disponibles, En contrepartie, il est beaucoup plus difficile à exploiter que le tramway qui sont mieux protégés des influences extérieures est a une ligne de circulation spéciale.

Dans la première partie nous avons abordé le principe de fonctionnement des convertisseurs électrique (Redresseur, Onduleur, Transformateur) et la machine asynchrone. En suite on a présenté Le système de traction électrique qui compose des trois sous système Sous stations, Sous systèmes caténares, Sous système SCADA

et les composants principales de tramway et les équipements en fosse et en toiture de tramway.

A la fin nous avons présenté les différents types de variateur de vitesse. On a spécifié sur la variation de la vitesse de la M.A.S par un variateur de fréquence (onduleur de tension) commandé par la méthode décalé. Ensuite une étude sur les caractéristiques de couple et la tension de la M.A.S avec une alimentation de fréquence variable. Le résultat trouvé montre que la variation de la fréquence influe sur la vitesse de rotation de moteur de traction du tramway.

Références bibliographiques

- [1] **J. ROUDET & N. RETIERE**, «Modélisation d'un réseau électrique de tramway : du composant au système » , thèse de doctorat, Université Joseph Fourier ,(2005).
- [2] https://energieplus-lesite.be/techniques/les-ascenseurs/les-variateurs-de-vitesse/#Le_redresseur
- [3] **A. BOUKAROURA**, « Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche Bond-Graph », Magister en électrotechnique 2009, Université Ferhat Abbas de Setif.
- [4] www.wikipédia.com
- [5] Onduleur Cours Lycée P. Mendès France Epinal
- [6] <http://www.courstechinfo.be/Hard/Transfo.html>
- [7] Cours des machines électriques à courant alternatif par Dr Bendaoud Université de Sidi Bel Abbès.
- [8] **C CHEVASSU** Machines électriques cours et problèmes, Ecole Nationale Supérieure Maritime.
- [9] **B MEGHNI** «commande des machines électrique » cour , université kasdi merbah ouargla
- [10] www.gpso.fr
- [11] Electrification du réseau ferroviaire pour un développement durable -Mr-BARAR Azzedine.
- [12] Transport ferroviaire, Réf. Internet 42576
- [13] **J.MAKIK & K.HARICHLI**, « Spécification d'alimentations externes pour équipements du tramway »,thèse de Master, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, (2013/2014)
- [14] **A.KAHLOUCHE** , Maitrise des risques dans le transport guidé -étude de cas : tramway de constantine- thèse de Master Professionnel, Université des Frères Mentouri constantine Juin 2015.
- [15] https://eduscol.education.fr/sti/concours_examens/agregation-externe-sii-2013-epreuve-commune-dadmissibilite-sciences-industrielles

Références bibliographiques

[16] <http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/498-Les-Rames-Citadis-402>.

[17] **M BENAOUICHA & Y GUERROUT** «Réalisation d'un onduleur de tension commandé par la carte Dspace 1104 »

[18] <https://studylibfr.com/doc/1397548/iii--onduleur-de-tension-monophasée-à-4-interrupteurs-ou-...>

Résumé

Dans ce mémoire nous avons comme objectif: d'étudier l'alimentation de tramway et vérifier sa variation de fréquence par simuler un variateur de vitesse pour la machine asynchrone triphasé. Cette dernière est devenue de plus en plus attractive dans les domaines de l'entraînement à vitesse variable. nous allons présenter les concepts généraux de la machine asynchrone et sa associe avec les convertisseurs électrique. Ensuite nous présentons des composants principale de tramway et les équipements en fosse et toiture, La signalisation .

A la fin, Notre travail sera validé par la simulation sous Matlab/Simulink , nous simulons notre variateur de vitesse et en ferons des tests avec des différentes fréquences.

Abstract

In this memoir we have as objective: to study the power supply of tramway and to verify its variation of frequency by simulating a variator of speed for the machine asynchronous three-phase. The latter has become increasingly attractive in the areas of variable speed training. we will present the general concepts of the asynchronous machine and its associated with the electric converters. Next we present main tramway components and equipment in pit and roof, as well as The concept of signal.

At the end, our work will be validated by simulation by Matlab / Simulink as we simulate our speed variator and will test it with different frequencies

ملخص

في هذه المذكرة ، لدينا هدف: دراسة إمدادات الطاقة من الترام والتحقق من تباين تردده من خلال محاكاة متغير السرعة للماكينة غير المتزامنة ثلاثية الطور. أصبحت هذه الأخيرة جذابة بشكل متزايد في مجالات التدريب متغيرة السرعة. سنقدم المفاهيم العامة للألة غير المتزامنة وما يرتبط بها من محولات كهربائية. بعد ذلك نقدم مكونات ومعدات الترام الرئيسية في حفرة وسقف ، وكذلك مفهوم الإشارة.

في النهاية ، سيتم التحقق من صحة عملنا عن طريق المحاكاة بواسطة Matlab / Simulink حيث نقوم بمحاكاة متغير السرعة الخاص بنا وسوف نختبره بترددات مختلفة

