

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Études de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Électrotechnique**

Spécialité : **Electrotechnique Industrielle**

Présenté par

**AGHILES INOUDJAL
ZOHRA BELKACEMI**

Thème

Étude et conception d'une carte de Commande d'un moteur à courant continu sous PIC 16F877A

M AREZKI DICHE

MAA, UMMTO, Président

M YUCEF ATTAF

MAA, UMMTO, Encadrant

M BOUSSAD IDJERI

MCA, UMMTO, Examineur

Remerciements

Nous tenant à remercier tout d'abord dieu le tout puissant qui nous a donné le courage et la patience pour arriver à ce jour et accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer vivement notre profonde gratitude à notre encadreur Monsieur YUCEF ATTAF pour sa confiance, ses encouragements, sa guidance et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.

Nous exprimons nos remerciements à l'ensemble des membres du jury qui nous ont fait l'honneur de juger et participer à la soutenance de ce projet de fin d'étude.

Nous tenons aussi à exprimer nos remerciement a tous ce qui nous ont aidés de près ou e loin durant l'élaboration de notre mémoire

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A la personne la plus importante de ma vie qui n'est d'autre que ma chère mère

Tu as fait de moi ce que je suis aujourd'hui, tu as été présente dans les bon et les mauvais moments de ma vie, grâce à ton amour ta gratitude j'ai su me relever à chaque obstacle, aucun mot ne peut définir l'amour que je te porte, que dieu tout puissant te préserve et te procure santé et longue vie à fin que je suis à mon tour te comblé, merci pour tout je t'aime.

A mes très chers frères MOUHAND, AZOUAOU, ALI, à ma sœur DJAMILA, à la femme de mon frère ZAHRA, à mes magnifiques neveux MUSTAPHA et ERINA à ma tante YAMINA à la plus douce des tante DAHBIA, à la meilleur des cousines MONIA et à la meilleur amie du monde KASSIA , je vous aime merci à tous de faire partie de ma vie.

Aucun dédicace ne saurait exprimer assez profondément ce que je ressens envers vous tous, je vous dirais tout simplement, un grand merci, je vous aime

Dédicace

À ma chère famille,

À ma mère, dont le soutien inconditionnel et l'amour infini ont été ma lumière à travers chaque étape de ma vie. Tes encouragements ont été ma force et ta bienveillance, mon inspiration.

À mon père, qui m'a montré la valeur du travail acharné et de la persévérance. Tes conseils avisés et ton soutien sans faille m'ont guidé sur le chemin de la réussite.

À mon frère, Cherif et ma sœur Anissa compagnons de mes rires et confident de mes rêves. Votre présence joyeuse m'a toujours motivé à donner le meilleur de moi-même.

À mes amis, Amel, Youva, Mourad, Abdou, compagnons de mes aventures et piliers de mon équilibre. Votre amitié sincère et votre soutien indéfectible ont rendu ce voyage encore plus mémorable et joyeux.

Ce projet de fin d'études est dédié à vous tous, car c'est grâce à votre amour, votre soutien et votre amitié que j'ai pu atteindre ce jalon important dans ma vie. Chacun de vous a façonné mon parcours d'une manière unique, et je porte ce travail avec une immense gratitude pour tout ce que vous avez apporté à ma vie.

Avec tout mon amour et ma reconnaissance,

AGHILES

Chapitre 1

I.	Préambule :	1
II.	Définition du moteur à courant continu :	1
III.	Constitution d'un moteur à courant continu :	1
A.	La partie fixe	2
B.	La partie tournante :	2
IV.	Principe de fonctionnement :	5
V.	Les différents types de machines :	6
A.	Machine à excitation série :	6
B.	machine à excitation indépendante:	7
C.	Machine a excitation shunt :	8
D.	Machine a excitation composée (compound) :	9
VI.	Les équations du moteur à courant continu :	10
A.	Expression de la tension d'alimentation du circuit induit :	10
B.	Expression du couple électromagnétique :	11
C.	Variation de la vitesse :	11
D.	Expression de la puissance :	13
VII.	L'équation électrique et mécanique de mcc au régime transitoire :	13
VIII.	Bilan des puissances :	13
IX.	Principe de fonctionnement :	15
A.	Fonctionnement générateur :	15
B.	Fonctionnement moteur :	16
X.	Puissance maximal des machines à courant continu :	16
XI.	Avantages et inconvénients des moteurs à coutant continu :	17
A.	Avantage :	17
B.	Les inconvénients :	18
XII.	Domaines d'utilisation des moteurs à courant continu :	18
XIII.	Conclusion	19

Chapitre2

I. Préambule :	20
II. L'électronique de puissance :	20
III. Les redresseurs :	20
A. Définition :	20
B. Le thyristor :	21
1. Constitution	21
2. Symbole :	22
C. Fonctionnement d'un thyristor :	22
1. Amorçage :	22
a) Amorçage par avalanche	22
b) Amorçage par courant de gâchette	22
c) Amorçage par variation rapide de tension <i>dvd</i>	23
d) Amorçage par variation rapide du courant	23
2. Blocage :	23
IV. Caractéristique courant-tension du thyristor	23
A. Fonctionnement en charge	23
V. les redresseurs commandé triphasé :	24
A. Etude du montage mixtes PD3	24
1. Allure des tensions et des courants	24
2. Calcul des grandeurs caractéristiques	26
a) Valeur moyenne de u	26
b) Valeur moyennes et efficaces des courants	27
(1) Courant dans une diode et dans un thyristor	27
(2) Courant dans le transformateur :	27
B. Etude du montage tout thyristor PD3	27
1. Le redressement triphasé commandé	27
C. Allure des tensions et des courants	28
D. Calcule des grandeurs caractéristiques	28
1. Valeur moyenne de la tension redressée	28
2. Valeurs moyennes et efficaces des courants :	29
3. Facteur de puissance	30

E.	Allure de V_s pour une charge inductive et active.....	30
F.	Allure de V_s pour une charge résistive.....	32
G.	Valeur moyenne disponible.....	33
H.	Courants dans les thyristors et facteur de puissance.....	33
	1. Cas d'une charge inductive.....	33
	2. Cas d'une charge résistive.....	34
I.	Tension appliquée aux thyristors.....	35
VI.	Avantages et inconvénients des redresseurs commandés.....	36
	A. Pont mixte :.....	36
	B. Tout thyristor.....	37
VII.	Introduction :.....	38
VIII.	Redresseur MLI.....	38
	A. Définition :.....	38
	B. Structure général du redresseur MLI.....	39
	1. Redresseur à MLI de courant.....	40
	2. Redresseur à MLI de tension.....	40
	C. Principe de fonctionnement du redresseur à MLI de tension.....	42
IX.	Conclusion.....	43

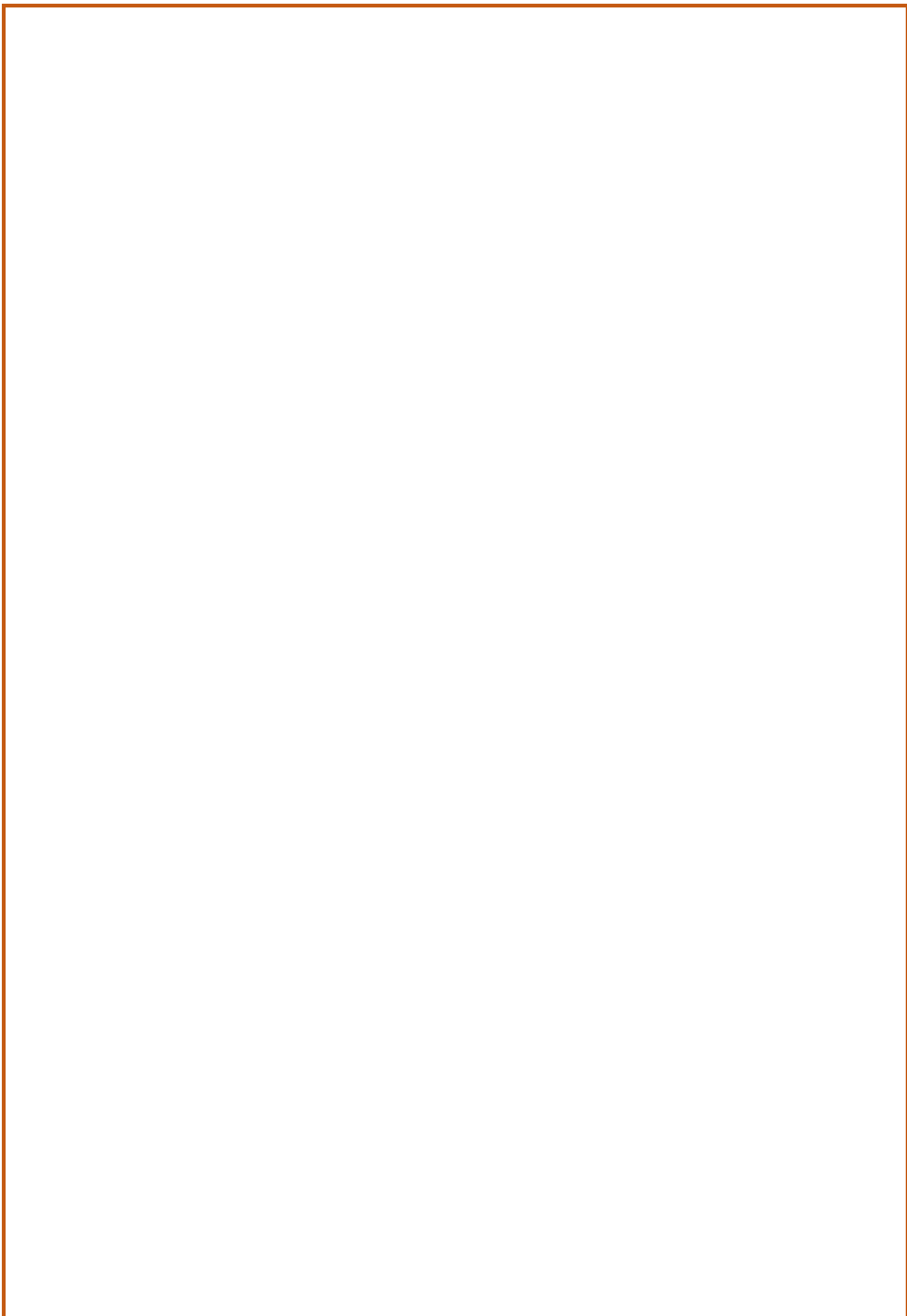
Chapitre3

I.	Préambule :.....	44
II.	Définition d'un microcontrôleur :.....	44
III.	Définition d'un PIC.....	44
	A. Classification des Pics de Micro chip.....	45
	B. Identification d'un PIC.....	45
	C. Le choix du microcontrôleur PIC16F877A : Pourquoi le PIC16F877A ?.....	46
	D. Les caractéristiques du PIC 16F877A.....	46
	1. DESCRIPTION GENERALE DU PIC 16F877A.....	47
	2. Architecture externe du PIC 16F877A.....	48
	3. Architecture interne du PIC 16F877A.....	48
	a) organisation interne :.....	50

b)	organisation externe	51
c)	Critères de choix d'un microprocesseur.....	52
d)	Organisation d'un système à microprocesseur.....	52
IV.	Les avantages du microcontrôleur.....	54
V.	Les défauts des microcontrôleurs	54
VI.	Conclusion	55

Chapitre4

I.	Introduction :.....	56
II.	proteus :.....	56
A.	Logiciel de simulation proteus :	56
B.	Présentation générale.....	56
C.	ISIS :.....	57
III.	mikroc :.....	58
IV.	Schéma de simulation de la carte de commande sous Proteus :.....	59
V.	tableau des différents composants électroniques utilisé :	60
VI.	organigramme principale :	61
VII.	Explications du Diagramme :.....	64
VIII.	Conclusion	65



Liste de figure

Chpitre1 :

Figure 1: convention de l'énergie dans un moteur à courant continu	1
Figure 2: les différentes parties la machine à courant continu	2
Figure 3: l'inducteur.....	3
Figure 4: l'induit	3
Figure 5 : enroulement imbriqué	4
Figure 6: enroulement ondulé	4
Figure 7: le collecteur et le balais.....	4
Figure 8: principe physique du moteur a courant continu.....	5
Figure 9: machine à excitation série.....	6
Figure 10: machine à excitation indépendante.....	8
Figure 11: machine a excitation shunt.....	9
Figure 12: moteur a excitation composée.....	10
Figure 13: arbe de puissance dans l'induit du moteur a courant continu	14

Chapitre2 :

Figure 1: le redresseur	21
Figure 2: le thyristor	21
Figure 3: composant a trois jonctions PN	21
Figure 4: montage de redesseur mixte PD3.....	25
Figure 5: allure de la tension redressée pour $\alpha = \pi/6$	26
Figure 6: allure de la tension redressée pour $\alpha = 2\pi/3$	27
Figure 7: redresseur triphasé commandé tout thyristor	28
Figure 8 : allure des tensions et des courants	29
Figure 9: la tension redressée	32
Figure 10: la tension redressée	32
Figure 11: tension redressé.....	33
Figure 12: tension redressée.....	33
Figure 13: l'allure de tension redressé et courant du thyristor	34
Figure 14: l'allure de tension et de courant de phase 1	34
Figure 15: l'allure de courant du thyristor	35
Figure 16: l'allure de courant de phase 1	35
Figure 17: l'allure de la tension appliquée aux thyristor V_{th1}	36
Figure 18: zone approximatives (puissance /fréquence) des principaux semi-conducteurs de puissance	40
Figure 19: schéma de principe du redresseur	40
Figure 20: topologie d'un redresseur triphasé a MLI de courant	41
Figure 21: topologie d'un redresseur triphasé a MLI de tension.....	42
Figure 22: topologie de base d'un redresseur a MLI triphasé de tension	43
Figure 23: circuit équivalent pour le contrôle de courant absorbé	44

Figure 24: circuit équivalent pour le contrôle de la tension du bus continu	44
--	----

Chapitre 3 :

Figure 1: microcontrôleur PIC 16F877A	46
Figure 2: boîtier du PIC.....	47
Figure 4: l'architecture interne du PIC16F877A	49
Figure 5: contenu type d'un microcontrôleur	50

Chapitre 4

Figure 1: logiciel ISIS	57
Figure 2: proteus	57
Figure 3: mikroc pro for pic	58
Figure 4: mikroc pro for pic	59
Figure 5: schéma électrique du montage.....	59
Figure 6: diagramme générale.....	63

Listes de tableaux

Tableau 1: différents circuit de la famille 16F87X.....	45
Tableau 2: broche du PIC 16F877A	48
Tableau 3 : es différent composant utilisés	60

L'industrie moderne, dans son acception la plus large, ainsi que le secteur des transports, nécessitent des systèmes à vitesse variable alliant souplesse et précision. Les machines électriques, au cœur de ces systèmes, jouent un rôle crucial dans divers procédés industriels, notamment la fabrication, la traction électrique (comme pour les trains, tramways et véhicules électriques), et la génération d'énergie (notamment via les éoliennes). Parmi ces machines, les moteurs à courant continu (MCC) sont particulièrement appréciés pour leur capacité à répondre efficacement à des variations de consignes telles que la vitesse, la position ou le couple, et ce, dans une vaste gamme de conditions de fonctionnement.

Le contrôle précis de la vitesse des moteurs à courant continu est une tâche complexe, surtout lorsqu'ils sont alimentés par une tension variable. Pour surmonter cette difficulté, l'utilisation de variateurs de tension, tels que les redresseurs, s'avère indispensable. Ces dispositifs permettent d'adapter rapidement et de manière appropriée le fonctionnement des moteurs aux exigences spécifiques des différentes applications.

Dans ce contexte, notre projet de fin d'études (PFE) porte sur la réalisation d'une carte de commande destinée à faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu en utilisant la méthode de modulation de largeur d'impulsion (MLI). Cette technique de contrôle, largement reconnue pour son efficacité et sa précision, permet de réguler la vitesse des moteurs avec une grande finesse en ajustant la largeur des impulsions de tension appliquées.

Le présent mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous avons étudié les différents composants d'un moteur à courant continu ainsi que son mode de fonctionnement.

Dans le deuxième chapitre nous avons étudié les redresseurs commandés (thyristors) en détails, puis nous nous sommes érigés sur le redresseur MLI (modulation de largeur d'impulsion) ce dernier sera l'un des éléments essentiels dans la conception de notre carte de commande.

Le troisième chapitre décrit la structure (interne et externe) d'un microcontrôleur, dans notre cas nous avons opté pour le PIC 16F877A ainsi que sa programmation.

Le chapitre quatre aborde les résultats obtenus.

Enfin une conclusion qui résume l'ensemble du travail présenté.

I. Préambule

L'apparition et l'évolution des circuits intégrés, des microprocesseurs et les techniques de commande ont nous permis d'investir dans de nouveaux domaines techniques.

La machine à courant continu est un dispositif électromécanique fondamental utilisé dans de nombreuses applications industrielles et domestique. Son fonctionnement repose sur des principes électromagnétiques.

L'emploi du courant continu, assez largement répondu au début de l'électrotechnique, a subit une régression constante jusque vers 1940, et dès 1930 on pronostiquait sa disparition prochaine, sauf en électrochimie. Ce pronostic s'est révélé inexact, et le courant continu toujours utilisé.

Les entrainements avec des moteurs à courant continue ont atteint au cours des années une grande standardisation. Étant le moteur idéal pour les entrainements à vitesse variable, il présente une très grande souplesse en fonctionnement, il est plus en plus associé à des équipements électroniques de commande permettant une variation et un réglage de vitesse plus précis.

Dans ce chapitre, nous présenterons des généralités sur le moteur à courant continu, préciser sa construction, sa modélisation, son principe de fonctionnement.

II. Définition du moteur à courant continu : [1]

Le moteur à courant continu est constructivement destiné à transformer l'énergie électrique en énergie mécanique. Il est très utilisé pour des machines à outils, tapis convoyeur chaines de montagne...etc.

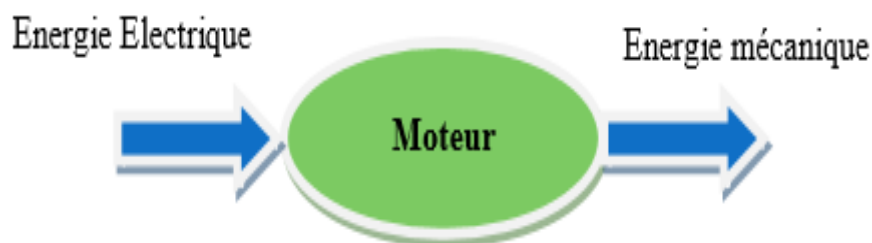


Figure 1: convention de l'énergie dans un moteur à courant continu

III. Constitution d'un moteur à courant continu :

La machine à courant continu est constituée de deux pièces ferromagnétiques appelées rotor et stator. (Voir la figure 1.2) [13].

A. La partie fixe

Le stator : son rôle est de créer le flux magnétique, ce flux est généré par des aimants permanents ou un bobinage parcouru par un courant électrique.

B. La partie tournante :

Le rotor : constitué d'un circuit électrique induit qui subit les effets de ce champ magnétique. Le collecteur et les balais permettent d'accéder au circuit électrique rotorique.

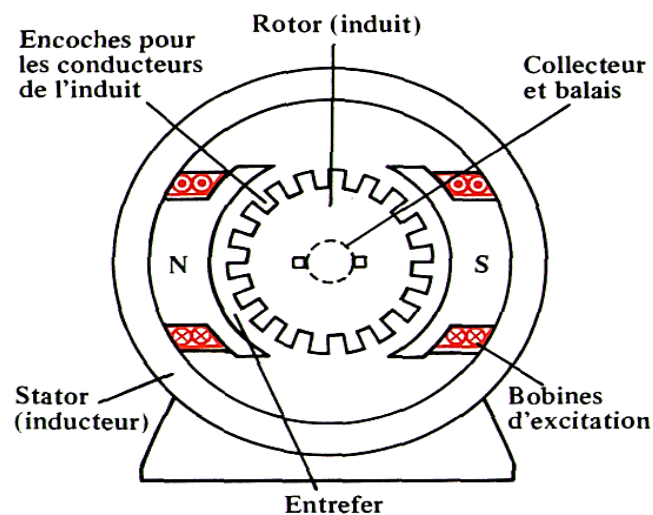


Figure 2: les différentes parties la machine à courant continu

➤ L'inducteur :

C'est un aimant ou un électroaimant (bobinage parcouru par un courant continu). Il est situé sur la partie fixe de la machine (le stator). Il sert à créer le champ magnétique (champ inducteur) dans le rotor. Il se compose principalement :

- De la carcasse,
- Des paliers,
- Des flasques de palier ;
- De porte balais.

Le cœur même du moteur comprend essentiellement :

- Un ensemble de paires de pôles constitué d'un empilement de tôles ferromagnétiques
- Les enroulements (ou bobinage en cuivre) destinés à créer le champ ou les champs magnétique suivant le nombre de paires de pôles pour des moteurs d'une certaine puissance, le nombre de paires de pôles est multiplié afin de mieux utiliser la matière, de diminuer les dimensions d'encombrement et d'optimiser la pénétration du flux magnétique dans l'induit.

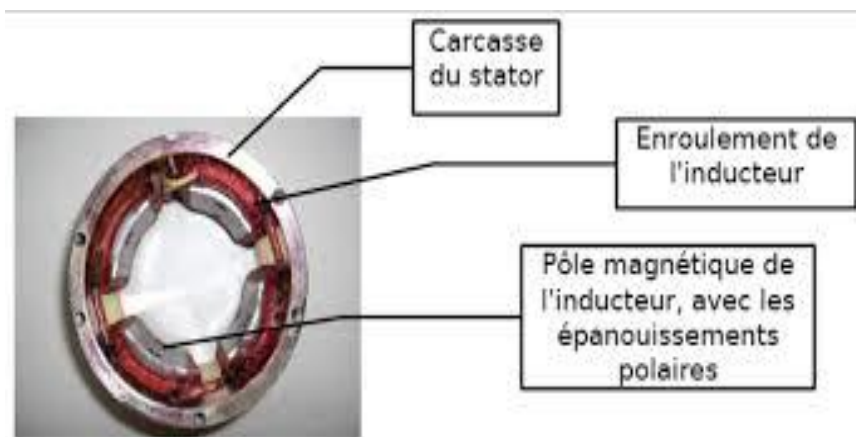


Figure 3: l'inducteur

➤ **L'induit :**

L'induit du moteur à courant continu est composé d'un arbre sur lequel est empilé un ensemble de disques ferromagnétiques. Des encoches sont axialement pratiquées à la périphérie du cylindre formé par les disques empilés. Dans ces encoches les enroulements (bobinage de l'induit) sont « bobinés » selon un schéma très précis et complexe qui nécessite une main d'œuvre particulièrement (coûts importants)

L'induit est situé au rotor (partie tournante de la machine). C'est un bobinage parcouru par un courant continu (courant d'induit).



Figure 4: l'induit

L'induit est un corps cylindrique tournant dans l'espace situé entre les pôles et qui comprend :

- Une armature dentée d'induit ;
- Un enroulement placé sur cette armature (de type ondulé ou bien imbriqué) ;
- Un collecteur.

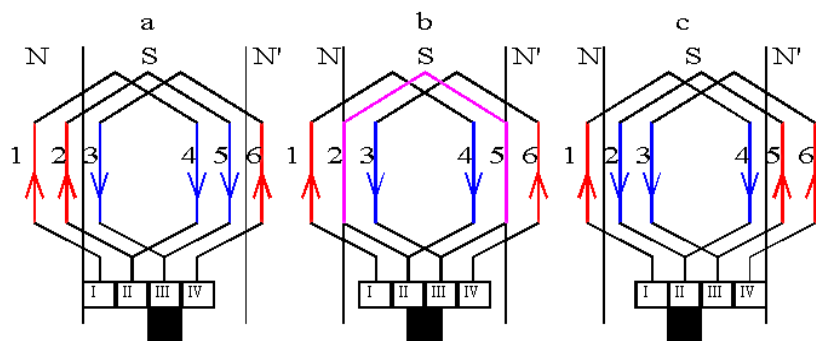


Figure 5 : enroulement imbriqué

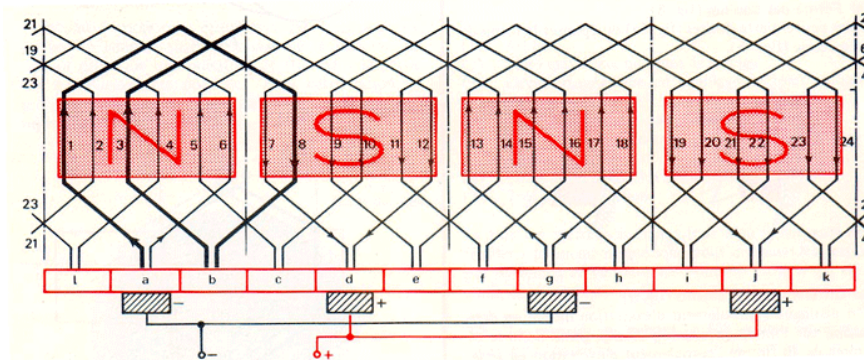


Figure 6: enroulement ondulé

➤ **le collecteur et les balais :**

le collecteur est un ensemble de lames de cuivre ou sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit c'est l'organe le plus délicat de la machine à courant continu, mais si la construction a été soignée, il peut être robuste et atteindre une longévité étonnante ; sur les locomotives à courant continu à grande vitesse, par exemple, on peut effectuer 1200000 km sans toucher au collecteur . les balais (ou charbons) sont situés au stator et frottent sur le collecteur en rotation. le dispositif collecteur/ balais permet donc de faire circuler un courant dans l'induit, ils assurent la continuité des circuits électriques entre la partie tournante et la partie fixe.

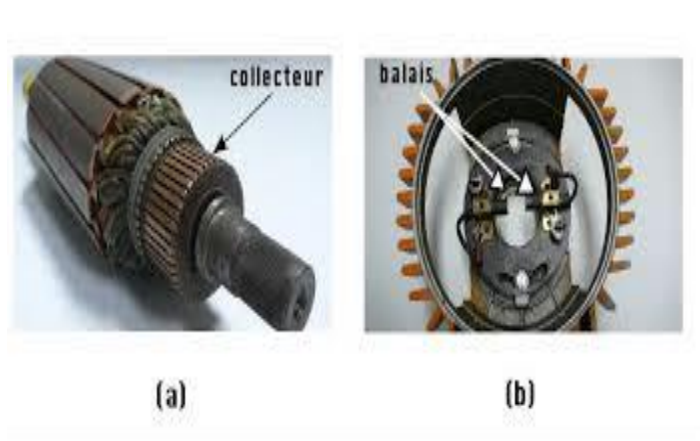


Figure 7: le collecteur et les balais

IV. Principe de fonctionnement :

Le moteur à courant continu est une machine électromagnétique, son principe fondamental est l'action d'un champ magnétique sur courant. Les bobines inductrices excitées, créent ce champ magnétique, et le courant passe à travers les conducteurs du bobinage rotoriques, par cette action, u, mouvement de rotation de l'induit par rapport à l'inducteur apparait. Cette rotation de l'apparition de Laplace :

$$F = I_a * B \sin \theta \quad (1.1)$$

I_a : courant de l'induit

B : induction magnétique

$\sin \theta$: angle formé par le courant et l'induction

Ces forces dite électromagnétique, vu la technologie du rotor engendrant un couple de forces électromagnétique.

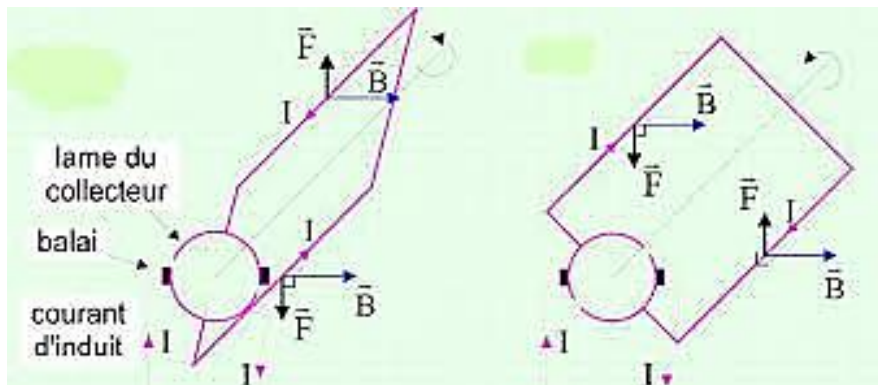


Figure 8: principe physique du moteur à courant continu

Lorsque l'inducteur est alimenté, il crée un champ magnétique (flux d'excitation) dans l'entrefer, dirigé suivant les rayons de l'induit. Ce champ magnétique entre dans l'induit du côté du pôle nord de l'inducteur et sort de l'induit du côté pôle sud de l'inducteur.

Quand l'induit est alimenté, ses conducteurs situés sous un même pôle inducteur sont parcourus par des courants de même sens et sont donc, d'après la loi de Laplace, soumis à une force. Les conducteurs situés sous l'autre pôle sont soumis à une force de même intensité et de sens opposé. Les deux forces créent un couple qui fait tourner l'induit du moteur.

Lorsque l'induit du moteur est alimenté sous une tension continue ou redressée u et que le rotor est en rotation, il se produit une force contre-électromotrice e dont la valeur est $E=u-Ri$.

V. Les différents types de machines :

Il existe plusieurs types de machines à courant continu [17].

A. Machine à excitation série :

Le moteur à excitation série a la particularité d'avoir un inducteur qui est traversé par le même courant que l'induit, donc beaucoup plus important que celui des machines à excitation indépendante. L'inducteur possède donc une résistance plus faible que celle des autres types de machines.

En raison du courant d'excitation élevé et pour un flux du même ordre que celui dans les autres types de machines, le nombre de spires doit être diminué et la section doit être augmentée. D'où une résistance plus faible.

➤ **Caractéristique** : le moteur à excitation série, présente

- Un couple de démarrage important.
- Une faible stabilité de la vitesse.
- Un courant d'excitation élevé

$$U = e + (r_a + r_f) i \quad (1.1)$$

$$E = K \cdot \Phi(I) \cdot \Omega \quad (1.2)$$

$$C_{em} = \frac{k}{2\pi} \cdot \Phi(I) \cdot I \quad (1.3)$$

Le schéma électrique du moteur série est représenté sur la figure suivante :

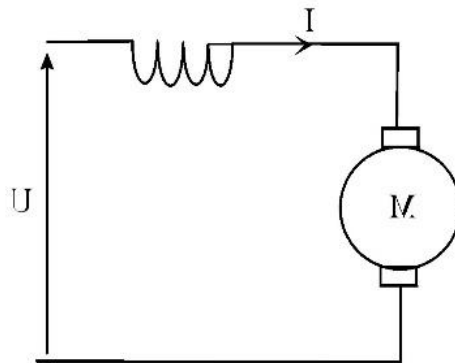


Figure 9: machine à excitation série

Dans un moteur série, le circuit inducteur est connecté en série avec le circuit d'induit comme indiqué sur la figure précédente. Le courant d'excitation I_e est donc égal au courant d'induit I_a et au courant I est absorbé par la machine. $I_e = I_a = I$.

B. Machine à excitation indépendante :

Dans un moteur à excitation séparée, l'inducteur et l'induit sont alimentés par deux sources distinctes. Le cas fréquent où la tension d'excitation est constante sont équivalentes à ceux des moteurs à aimant permanent, dont le flux est constant.

➤ **caractéristique** :

$$u = e + r_i \quad (1.5)$$

$$u_e = r \cdot I_e \quad (1.6)$$

$$e = k \cdot \Phi(i) \cdot \Omega \quad (1.7)$$

$$C_{em} = \frac{k}{2\pi} \cdot \Phi(I) \cdot I \quad (1.8)$$

- Vitesse réglable par tension et indépendante de la charge ;
- En association avec un convertisseur statique (hacheur) fournissant une tension réglable, l domaine de variation de vitesse et assez large ;
- Il fournit un couple important à faible vitesse (machines-outils, levage). en petite puissance, il est souvent utiliser en asservissement avec une régulation de vitesse ;
- L'induit est en convention récepteur ;
- plage de variation de vitesse très grande (> 1000 en boucle d'asservissement) ;
- Couple de démarrage important, idéal pour l'entraînement de charges à forte inertie ;
- Rapport volume/puissance très supérieur à toutes les autres technologies ;
- Rendement élevé ;
- Linéarité tension/vitesse, couple/courant ;
- Prix élevé ;
- Maintenance couteuse (remplacement des balais en graphite, usure du collecteur) ;
- Il faut deux alimentation : une pour l'induit et une autre pour l'inducteur ;
- Grande souplesse de commande ;
- Large gamme de vitesse ;
- Utilisé en milieu industriel, associé avec un variateur électronique de vitesse et surtout sous le fonctionnement moteur d'asservissement (machines-outils : moteur de broche machine spécial, d'axes...).

Le schéma électrique d'un moteur à excitation indépendante est représenté par la figure suivante : il faut deux alimentations : une pour l'inducteur et l'autre pour l'induit.

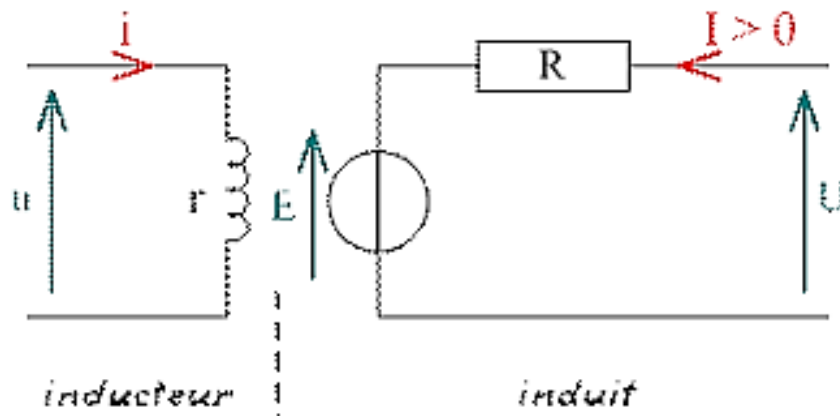


Figure 10: machine à excitation indépendante

C. Machine à excitation shunt :

Dans un moteur shunt le stator est monté en parallèle avec le rotor, donc la tension aux bornes du rotor est la même que celle aux bornes du stator.

$$U_a = U_{ex} = u \quad (1.9)$$

➤ Caractéristique :

$$U = e + ri \quad (1.10)$$

$$\Phi = \text{constant} \cdot I \quad (\text{hors saturation})$$

$$e = K \cdot \Phi \cdot \Omega = K' \cdot \Omega \cdot I \quad (1.11)$$

$$C_{em} = \frac{k}{2\pi} \cdot \Phi \cdot I \quad (1.12)$$

- Fort couple de démarrage ;
- Il convient très bien dans le domaine des fortes puissances (1 à 10mw) pour obtenir un fonctionnement satisfaisant en faible vitesse (traction, laminoirs) ;
- En petite puissance, il est employé comme démarreur des moteurs à explosion ;
- L'inducteur connecté en série avec l'induit, le flux d'excitation y est donc implicitement asservi au couple fourni ;
- Le bobinage inducteur comporte, dans ce cas, peu de spires, mais il est réalisé avec du fil de gros diamètre (robustesse) ;
- Le moteur série est un autorégulateur de puissance ;
- Possède un fort couple de démarrage mais risque l'emballement ;
- Le couple décroît quand la charge augmente ;

- Supporte bien les surcharge ;
- Utilisé pour engins de levage (grues, palans, ponts roulants) ventilateurs, pompes centrifuges, traction.

Le schéma électrique du moteur à excitation shunt est donné par la figure suivante :

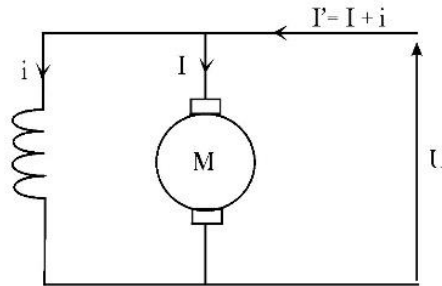


Figure 11: machine a excitation shunt

D. Machine a excitation composée (compound) :

Dans ce cas une partie de stator (l'inducteur) est raccordé en série avec l'induit (rotor) et l'autre en parallèle avec ce dernier.

➤ **Caractéristique :**

$$U = E + RI + rI_e \tag{1.13}$$

$$E = K \cdot \Phi(I, I_e) \cdot \Omega \tag{1.14}$$

$$C_{em} = \frac{k}{2\pi} \Phi(I, I_e) \cdot i \tag{1.15}$$

- L'inducteur est divisé en deux parties, l'une connectée en série et l'autre en parallèle ;
- Entraînement de grande inertie ;
- Couple très variable avec vitesse ;
- Utilisé pour petit moteur a démarrage directe, ventilateur, pompe machine de laminoirs, volants d'inertie.

Le schéma électrique de ce type d'excitation est représenté sur la figure suivante :

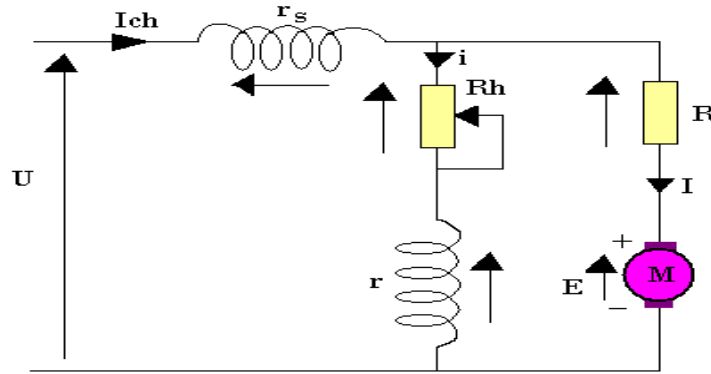


Figure 12: moteur a excitation composée

VI. Les équations du moteur à courant continu :

A. Expression de la tension d'alimentation du circuit induit :

Lorsque l'induit est alimenté par une tension continue il produit une force électromotrice donnée par la relation suivante :

$$V_a = e + R_a I_a \tag{1.16}$$

v_a : tension d'alimentation du circuit d'induit[V]

e : force électromotrice[V]

R_a : résistance du circuit d'induit [ohm]

i_a : courant d'induit[A]

I .5.2. Expression de la force électromotrice :

La force électromotrice est liée a la vitesse et au flux du moteur :

$$E = K\Phi\Omega \tag{1.17}$$

Si de plus la machine fonction a flux constants donc :

$$e = K_e \Omega \text{ avec : } K_e = K\Phi \text{ et } k = \frac{P}{2\pi a} n \tag{1.18}$$

Ω : vitesse angulaire [rd/s]

k : constante propre du moteur ;

Φ : flux de l'induit (weber)

p : le nombre de paires de pole

a : le nombre de paires de voies d'enroulement

n : le nombre de conducteur(ou de brins-deux par spires)

B. Expression du couple électromagnétique :

Le couple électromagnétique est lié au courant d'induit est au flux par la relation suivante :

$$C_{em} = k\Phi i_a \tag{1.19}$$

Si Φ plus la machine fonctionne à flux constants donc :

$$c_{em}\Omega = K_e I_e \text{ avec } K_e = K\Phi \tag{1.20}$$

C. Variation de la vitesse :

Au vu des relations existantes entre la vitesse, le flux et la force contre-électromotrice, il est possible de faire varier la vitesse n du moteur par :

➤ **Réglage rhéostatique**

On peut réduire la vitesse en augmentant la résistance d'induit avec un rhéostat branché en série avec l'induit. L'expression de la vitesse est :

$$n = \frac{U - (R_a + R_{ad})I}{K} \tag{1.21}$$

Pour $n=0$

$$c = \frac{K.U}{R_a + R_{ad}} \tag{1.22}$$

Avec :

R_a : résistance de l'induit (en ohm)

R_{ad} : rhéostat branché aux bornes de l'induit (en ohm)

u : tension d'alimentation (en v)

k : grandeur constante propre au moteur

i : courant de l'induit (en a)

c : couple utile du moteur (en nm)

➤ **réglage par la tension d'induit :**

Augmenter la force électromotrice e en augmentant la tension aux bornes de l'induit tout en maintenant le flux de l'inducteur constant. On a un fonctionnement dit à « couple constant ». Ce type de fonctionnement est intéressant au niveau de la conduite d'ascenseur.

on a :

$$n = \frac{U}{K} \quad (1.23)$$

Avec :

U : tension d'alimentation (en v)

K : grandeur constante propre au moteur.

➤ **Réglage par le flux (défluxage) :**

Déterminer le flux de l'inducteur (flux d'excitation) par une réduction du courant d'excitation en maintenant la tension d'alimentation de l'induit constant. Ce type de fonctionnement impose une réduction de couple lorsque la vitesse augmente.

$$n = \frac{U}{K \cdot \Phi} \quad (1.24)$$

Le réglage de la tension permet seulement de diminuer la vitesse nominale, le réglage du flux permet de l'augmenter. Comme on ne peut pas appliquer sans risque une tension supérieure à la tension nominale, le choix de la méthode de réglage dépend de la charge entraînée par le moteur.

Le développement des composants de l'électronique de puissance et les techniques de commandes nous permettons aujourd'hui de régler la vitesse des moteurs sans manipuler ses caractéristiques internes (flux, tension ou résistance). En utilisant un organe de commande.

➤ **Réglage par régulateur :**

Par l'utilisation d'un régulateur PID, commande ou bien logique floue....., on détermine la commande convenable au but d'assurer un comportement bien défini au variables a commandé (la vitesse du moteur dans notre cas) en calculant la commande a appliqué au procédé a partir de l'état de processus et la consigne.

➤ **Réglage par convertisseur AC/ DC :**

En utilisant les redresseurs (on va discuter cette partie dans le chapitre suivant

D. Expression de la puissance :

$$P_{em} = C_{em}\Omega = e i \quad (1.25)$$

P_{em} : la puissance de la machine [wattes]

C_{em} : couple électromagnétique de la machine [N.m]

\emptyset : flux de l'induit (weber)

k : constante propre de la machine

I_a : constante de l'induit [A]

VII. L'équation électrique et mécanique de mcc au régime transitoire :

$$U_a(t) = R_a i_a + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + K_e \Omega(t) \quad (1.26)$$

$$C_{em} - C_r = J \frac{d\Omega(t)}{dt} + f\Omega(t) - C_s \quad (1.27)$$

$$C_{em} = K_c i_a(t) \quad (1.28)$$

j: moment d'inertie d'ensemble moteur charge [Kg.m²]

f: coefficient de frottement de l'ensemble du moteur charge [n.m/rad/s]

C_s : couple de frottements sec [n m]

C_r : couple résistant [n m]. et $K_e = K_c$

VIII. Bilan des puissances :

Le bilan de puissance décline toute les puissances, depuis la puissance absorbée d'origine électrique jusqu'à la puissance utile de nature mécanique.

Entre ces deux termes, l'étude se portera sur toutes les pertes aussi bien mécaniques qu'électriques, et enfin une puissance sera étudiée tout particulièrement, elle correspond au passage de la puissance électrique a la puissance mécanique.

les pertes dans la machine à courant continu sont subdivisées en trois catégories qui sont :

- les pertes magnétiques P_f
- les pertes joules P_j
- les pertes mécaniques P_m

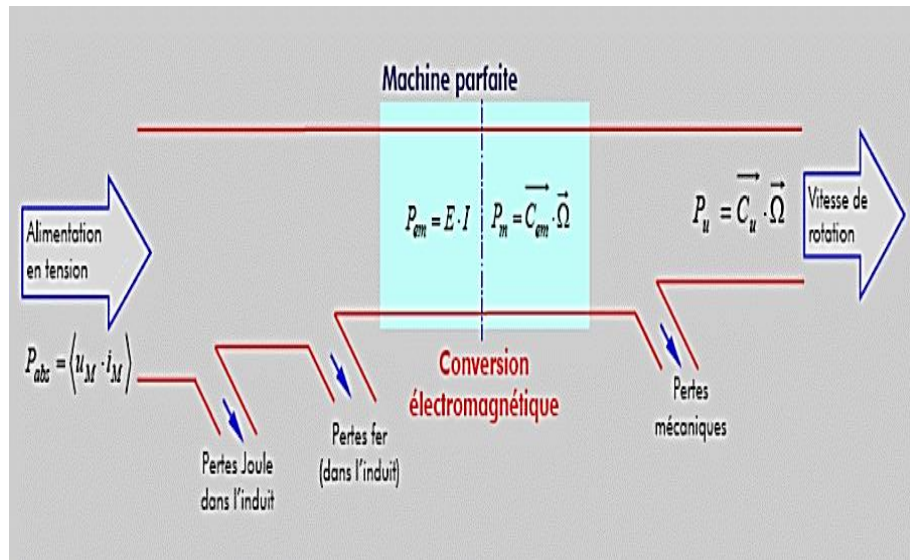


Figure 13: arbre de puissance dans l'induit du moteur a courant continu

Avec :

- ✚ P_a : la puissance absorbée (w)

$$P_a = U_a \cdot I_a + U_e + I_e \tag{1.29}$$

- ✚ P_{je} : pertes joule d'induit en w

$$P_{je} = U_e \cdot I_e \tag{1.30}$$

- ✚ P_{jind} : pertes joule d'induit en w

$$P_{jind} = R_a \cdot I_a^2 \tag{1.30}$$

$$\text{d'où : } P_j = P_{je} + P_{jind} \tag{1.31}$$

- ✚ P_{em} : la puissance électromagnétique(w)

$$P_{em} = P_a - P_j \tag{1.32}$$

- ✚ $P_{méc}$: la puissance mécanique (w)

$$P_{méc} = P_{em} - P_{mag} \quad (1.33)$$

Avec : P_{mag} étant les pertes magnétique définies par la somme des pertes par hystérésis et par courant de Foucault.

✚ P_u : la puissance utile(w)

$$P_u = P_{méc} - (P_{frt} - P_{ven}) \quad (1.34)$$

Avec :

- P_{frt} : les pertes de frottement

- P_{ven} : les pertes de ventilation

N.B. : la somme des pertes magnétique et mécanique est désignée par pertes constante (P_c) du fait que leurs valeur est indépendante de l'état de charge du moteur.

✚ **Rendement :**

Le rendement correspond à l'énergie motrice sur l'énergie reçue, ou encore à la puissance utile divisée par la puissance absorbé par le système. Concrètement, un moteur va convertir l'énergie électrique reçue en énergie mécanique.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (1.35)$$

Remarque :

En génératrice, le sens d'enroulement de la puissance est l'inverse de celui du régime moteur.

IX. Principe de fonctionnement :

La machine à courant continu, comme toutes les machines électriques, peut fonctionner en moteur ou en générateur.

A. Fonctionnement générateur :

Dans le cadre d'une génératrice a excitation indépendante.

Le rôle d'un générateur est de fournir de l'énergie mécanique sous forme de couple qui entraîne la rotation de la machine et également de l'électricité pour alimenter l'excitation, qui crée le champ magnétique. Comme l'enroulement d'excitation est fixe (situé au stator) et est parcouru

par un courant continu, le champ qu'il crée est de direction constante, l'axe des pôles d'excitation de plus, le couple extérieur fait tourner le rotor.

L'interface d'un champ fixe et d'un conducteur mobile provoque l'apparition d'une tension induite (e) aux bornes de l'enroulement d'induit. Cette force électromotrice (fem) est recueillie et redressée par les brosses qui frottent sur le collecteur.

Selon l'amplitude du champ créée par l'excitation (et donc selon la valeur du courant d'excitation), la tension induite sera d'amplitude variable.

B. Fonctionnement moteur :

Pour comprendre son principe de fonctionnement, nous allons supposer que l'inducteur et l'induit sont électriques séparés. Nous sommes alors dans le cas d'un moteur à excitation indépendante.

On alimente l'excitation du moteur. Celui-ci crée un champ d'induction de direction constant. De plus, on fait circuler un courant dans le rotor en alimentant l'enroulement.

En vertu du principe de Laplace d'un courant qui lui est perpendiculaire crée un couple sur les enroulements du rotor. Ce couple entraîne la rotation du moteur comme l'indique la formule suivante :

$$F = I \cdot dl \wedge B \quad (1.36)$$

Avec :

f : force de Laplace

i : le courant qui parcourt les conducteurs

dl : élément de longueur du conducteur

B : le champ magnétique

X. Puissance maximal des machines à courant continu :

pour augmenter la puissance d'une machine à courant continu tournant à une vitesse donnée, il faut augmenter a et ΔU_c .

L'augmentation de puissance nécessite une augmentation du diamètre et l'induit, afin d'obtenir un nombre d'ampères-conducteurs plus élevé. Mais l'augmentation de diamètre détermine une augmentation de la force centrifuge, donc de la contrainte mécanique. Lorsque

les meilleurs matériaux économiquement ou techniquement valables sont utilisés à la limite de leur résistance pratique, il n'est plus possible d'augmenter la puissance [1]

XI. Avantages et inconvénients des moteurs à courant continu :

A. Avantage :

✚ Bon contrôle de la vitesse

Les moteurs dc offrent une vitesse hautement contrôlable. En changeant la tension de l'armature ou du champ, il est possible d'obtenir une grande variation de vitesse.

Avec ce niveau de contrôlabilité, les moteurs dc offrent la précision requise par une large gamme d'applications industrielles.

✚ Couple élevé

Un moteur dc offre également un couple de démarrage élevé ce qui rend parfait pour les applications conçues pour déplacer des charges plus lourdes comme les systèmes dessus-glace et les applications d'automatisation industrielle comme les systèmes de convoyage ou les équipements de manutention. grâce à leur puissance d'entraînement constante les moteurs dc sont idéaux pour maintenir un couple constant pendant l'utilisation application ce qui en fait un excellent choix pour une solution de motoréducteur

✚ Un fonctionnement sans faille

Comme les moteurs dc fonctionnent avec des niveaux élevés de puissance contrôlable sur une gamme de vitesse, ils offrent l'avantage d'un fonctionnement sans faille. Dans cette industrie, il est essentiel que les moteurs dc puissent démarrer et s'arrêter efficacement pour répondre aux exigences de l'application. si vous recherchez une solution qui offre une accélération rapide, une option d'inertion et d'arrêt, un moteur à courant continu est un bon choix.

✚ Absence d'harmonique

Dans un système d'alimentation électrique, une harmonique est une tension ou un courant à un multiple de la fréquence fondamentale du système, généralement produite par l'action de charge non linéaire telle que des redresseurs ou des dispositifs magnétiques saturés. Les fréquences harmoniques dans le réseau électrique peuvent être à l'origine de problèmes de qualité de l'énergie et les harmoniques dans certains moteurs à courant alternatif peuvent

provoquer les pulsations de couple, entraînant une diminution de couple. Les moteurs à courant continu sont exempts de problème lié aux harmoniques.

B. Les inconvénients :

+ Distance de transmission limitée :

Le courant continu présente une capacité de transmission limitée sur de longues distances. Cela signifie que l'électricité peut être perdue en chemin et nécessite des stations de conversion pour réguler la tension.

+ Coûts élevés de transmission :

Raison de la nécessité d'installer des stations de conversion à intervalles réguliers, le coût de transmission du courant continu est généralement plus élevé que celui du courant alternatif. Cela peut avoir un impact négatif sur les coûts d'exploitation et de maintenance des infrastructures électriques.

+ Complexité de la conversion :

La conversion du courant alternatif en courant continu est vice-versa nécessite des équipements spécifiques, tels que des redresseurs et des onduleurs. Cette complexité technique peut rendre l'installation et la maintenance plus difficile et coûteuses.

+ Risques de sécurité

Le courant continu peut poser des risques de sécurité plus importants, notamment en ce qui concerne les chocs électriques. En raison de sa constante de flux, le courant continu peut provoquer une sensation de choc qui dure plus longtemps par rapport au courant alternatif, ce qui peut être dangereux dans certaines situations.

XII. Domaines d'utilisation des moteurs à courant continu :

Les moteurs à courant continu sont utilisés dans :

- L'industrie : laminoirs, enroulements (aciéries, papeteries), machine de refendage (découpe des tôles pour raccourcir la largeur d'une bobine), machine à tréfilage (réduction de la section d'un fil par traction mécanique).
- Les transports : moteurs de traction, remontés, mécaniques.
- La manutention : levage (portiques dans la construction navale ou aéronautique, grues), ascenseurs.

Les moteurs à courant continu sont utilisés aussi dans les domaines de faibles puissances comme des jouets (voiture radiocommandées, modèles réduit de trains électriques), alimentées sous des tension continues faible (<12v, les moteurs à courant continu sont capable de développer des vitesse élevées (moteur de constructeur mfa como drills de référence 540/1 peut tourner à vide a une vitesse de 15800tr/min sous tension 12v), ces moteurs développent un couple d'entraînement qui leur permet de mouvoir des charge d'une masse respectable.

Pour des puissances comprises entre quelques centaines de watts et quelque kilowatts, les moteurs à courant continu équipent les dispositifs de manipulation de faible charges (chariots élévateurs) et les nouveaux moyens de déplacement individuels (vélo avec assistance électrique, voiture électrique). Au le quotidien, dans le contexte domestique (moteur universel dans les perceuses, scies circulaire, visseuse...) et les appareils de ménages (aspirateur, robots de cuisine...) [13].

XIII. Conclusion

Après avoir donnés les différentes généralités sur la machine à courant continu, et en particulier la détermination de ces paramètres nécessaire pour la conception de notre carte de commande dans le chapitre suivant, nous allons étudier les diffèrent redresseurs qui nous permettrons de commandé notre carte de commande.

I. Préambule

Grâce aux progrès technologiques réalisés ces dernières années dans le domaine de l'électronique de puissance, les convertisseurs statiques voient progressivement leur champ d'applications s'élargir. Certaines de ces nouvelles applications, telles que le filtrage actif et la dépollution de réseaux électriques, ou l'alimentation de machines à courant alternatif pour des applications particulières, sont très exigeantes en termes de performances dynamiques. Les applications de l'électronique furent pendant longtemps limitées à la technique des hautes fréquences. Les possibilités d'application étaient limitées par le manque de fiabilité des éléments électroniques alors disponibles. Cette fiabilité était insuffisante pour répondre aux hautes exigences requises par les nouvelles applications dans le domaine industriel. Ce ne fut qu'à la suite du développement des composants électroniques spéciaux de fiabilité plus élevée et de tolérance plus restreintes, que les nouvelles techniques peuvent être envisagées, ainsi naît une nouvelle branche de l'électronique appelée l'électronique de puissance. A la base de l'électronique de puissance se trouvent les éléments de puissances, qui peuvent être subdivisés en éléments redresseurs non contrôlables (diodes) et éléments redresseurs contrôlables (thyristors, triacs, transistors ...). Les éléments de puissance, associés à des dispositifs auxiliaires appropriés (commande de gâchettes, radiateurs de dissipation, circuit RC de protection), composent des modules standard permettant la conversion de puissance, tel que les redresseurs, les onduleurs, les cyclo convertisseur ... etc.

II. L'électronique de puissance

L'électronique de puissance est la partie du génie électrique qui traite des modifications de la présentation de l'énergie électrique, pour cela elle utilise des convertisseurs statiques à semi-conducteur. Grâce aux progrès sur ces composants et sur leur mise en œuvre, l'électronique de puissance a pris une importance considérable dans tout le domaine de l'électricité industrielle.

III. Les redresseurs

A. Définition

Les montages redresseurs, souvent appelés simplement redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif continu. Alimentés par une source de tension alternative monophasée ou polyphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie. On utilise un redresseur chaque fois que l'on a besoin de continu alors que l'énergie électrique est disponible

en alternatif. Comme c'est sous cette seconde forme que l'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée, les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications. Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non contrôlés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu figure (2.1) [12].

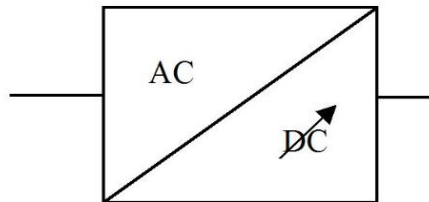


Figure 1: le redresseur

B. Le thyristor

Le thyristor (ou **SCR** : semi-conducteur Controlled Rectifier) est l'un des composants de puissance a semi-conducteur parmi les plus ancien (1957, General Electric Research Laboratory). C'est le composant qui permet d'atteindre les puissances les élevées [1].



Figure 2: le thyristor

1. Constitution

Un thyristor est constitué par 4 éléments semi-conducteur de type P et N assemblés dans l'ordre PNPN ou NPNP, il comporte trois jonction PN

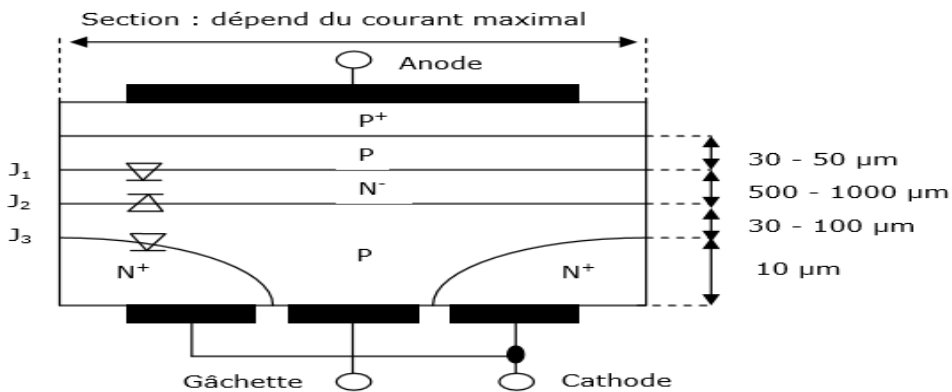
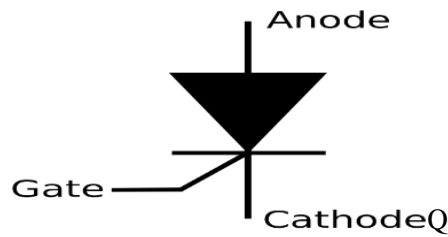


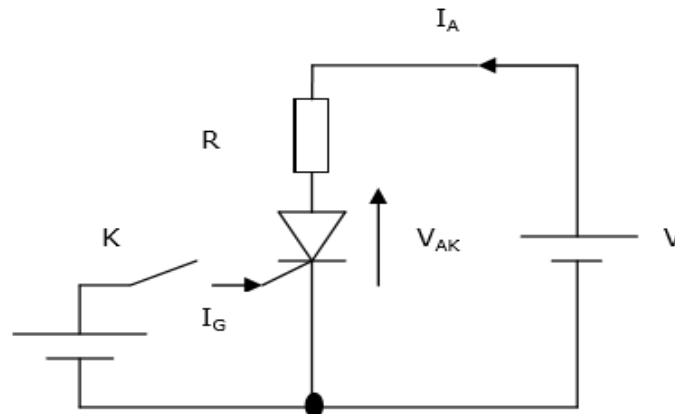
Figure 3: composant a trois jonctions PN

2. Symbole



C. Fonctionnement d'un thyristor

1. Amorçage



On suppose $I_G = 0$ (pas de courant de gâchette) : si $V_{AK} > 0$, les jonctions J1 et J3 sont Polarisées en sens direct \Rightarrow la tension à leurs extrémités est faible $\Rightarrow V_{AK}$ est pratiquement appliquée à la jonction J2, polarisée en inverse $\Rightarrow I_A \approx 0$ (courant inverse de minoritaires) : le thyristor est bloqué.

a) Amorçage par avalanche

Si on augmente la tension V , la tension inverse de la jonction J2 augmente, lorsque V devient supérieure à une valeur V_{BO} (BO : Break Over) \approx plusieurs centaines de volts, les minoritaires qui traversent J2 provoquent une avalanche et J2 devient conductrice $\Rightarrow V_{AK}$ devient faible ($\ll V$) $\approx 1,5$ V et $I_A = \frac{V}{R} \Rightarrow$ le thyristor s'amorce : amorçage par avalanche[22].

b) Amorçage par courant de gâchette

Si on ferme brièvement l'interrupteur K , une impulsion de courant I_G est envoyée à travers la jonction J3. Si I_A devient supérieur à une valeur $I_H \approx$ quelques mA (courant de maintien ou d'accrochage) \Rightarrow phénomène d'avalanche et le courant I_A continue de circuler même après la disparition de $I_G \Rightarrow$ le thyristor s'amorce : amorçage par courant de gâchette, le plus utilisé en pratique.

c) Amorçage par variation rapide de tension $\frac{dv}{dt}$

Une croissance très rapide de la tension directe VAK peut amorcer le thyristor. En fait la jonction de commande à l'état bloqué, se comporte comme un condensateur ; d'où naissance d'un courant $I = C \frac{dv_{AK}}{dt}$ (2.1), qui devient supérieur au courant d'accrochage, qui provoque l'amorçage du thyristor.

d) Amorçage par variation rapide du courant

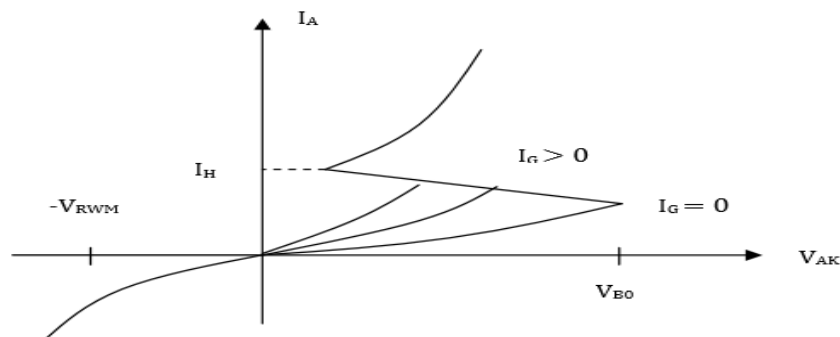
Même principe que le précédent.

2. Blocage

Si V diminue et devient négative, IA diminue et lorsque $I_A < I_H$, J1 et J3 se bloquent, J2 n'est plus en régime d'avalanche. Si $V_{AK} < 0$ et qu'on envoie un courant I_G , le thyristor ne peut pas s'amorcer et reste bloqué car J1 et J3 sont polarisées en inverse. Si $V_{AK} < -V_{RWM}$ (Maximum Reverse Voltage), il y a claquage de J1 et J3 (avalanche) mais pas d'amorçage : la tension VAK aux bornes du thyristor reste constante = tension d'avalanche.

En résumé, le thyristor bloque le courant lorsque : - $V_{AK} > 0$ et $I_G = 0$ (avec $V_{AK} < V_{BO}$) ; - $V_{AK} < 0$ (I_G quelconque). Il fonctionne comme un court-circuit lorsque : - $V_{AK} > 0$; - une impulsion de courant I_G traverse la jonction gâchette-cathode [27].

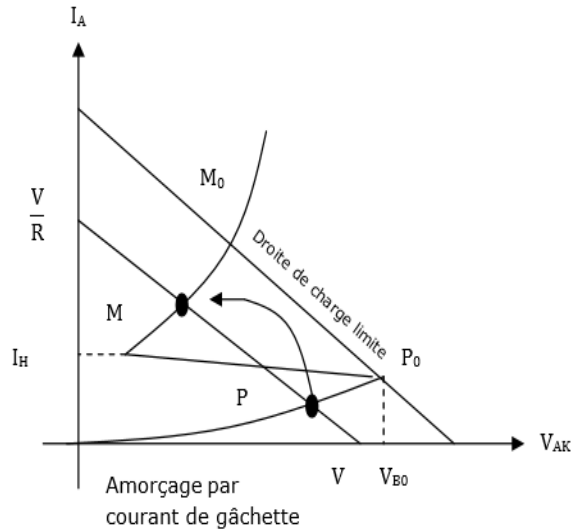
IV. Caractéristique courant-tension du thyristor



Remarque : V_{BO} diminue si $I_G > 0$ (courant continu permanent)

A. Fonctionnement en charge

La droite d'équation $I_a = \frac{V - V_{ak}}{R}$ (2.2) détermine deux points de fonctionnement M et P sur la caractéristique courant-tension, correspondant respectivement à l'état amorcé ou bloqué du thyristor



V. les redresseurs commandé triphasé

Le redresseur triphasé à thyristors ou pont de Graëtz triphasé constitue l'un des montages de l'électronique de puissance les plus répandus dans le secteur industrie. Il permet de réguler la puissance délivrée à une charge en modifiant la tension continue appliquée à ses bornes à l'aide des thyristors.

Ceci se fait en jouant sur l'angle de commande des gâchettes, est défini par l'écart entre l'amorçage commande et l'amorçage naturel des thyristors ses utilisateurs sont nombreux [23].

Paramètre Système triphasé

On note les tensions secondaires par :

$$V_1 = V_{\max} \sin(\omega t) \tag{2.1}$$

$$V_2 = V_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \tag{2.2}$$

$$V_3 = V_{\max} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \tag{2.3}$$

A. Etude du montage mixtes PD3

1. Allure des tensions et des courants

L'étude des intervalles de conduction montre qu'il faut distinguer deux cas, suivant que α est inférieur ou supérieur à $\pi/3$. Nous avons donc représenté sur les figures (2.1) et figure (2.2) les allures correspondant à $\alpha = \pi/6$ et à $\alpha = 2\pi/3$.

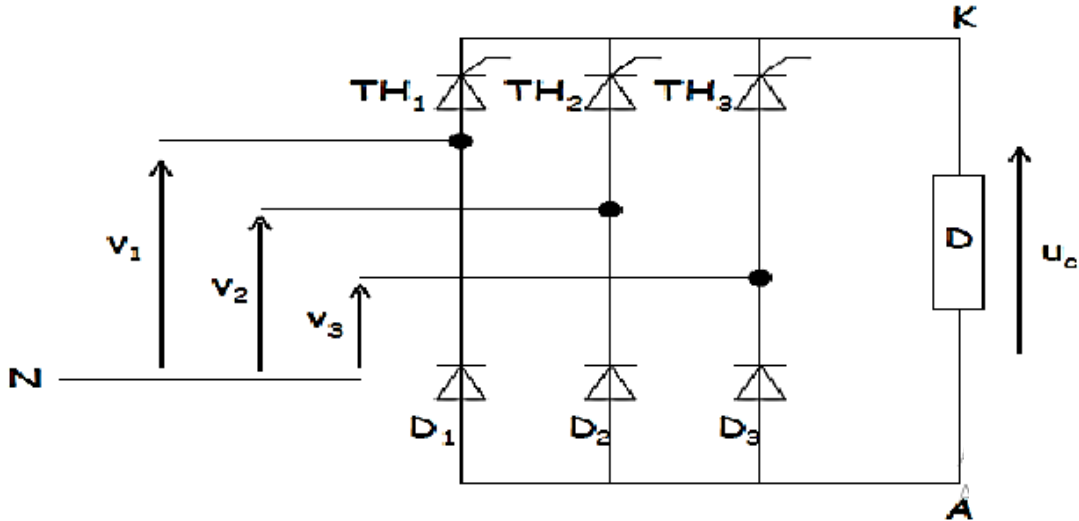


Figure 4: montage de redresseur mixte PD3

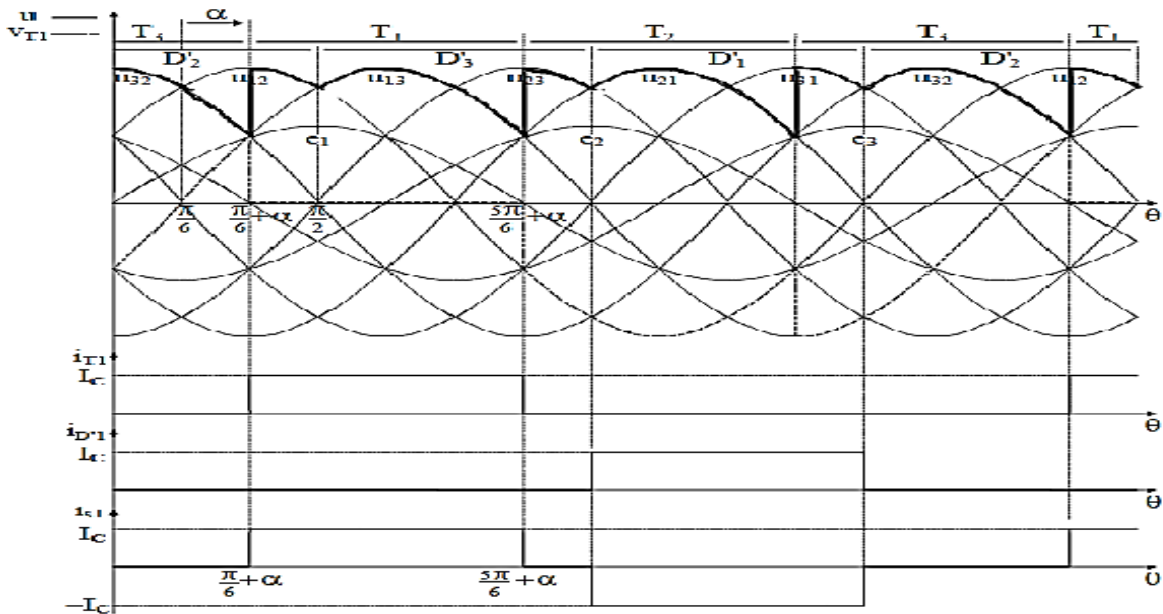


Figure 5: allure de la tension redressée pour $\alpha = \frac{\pi}{6}$

En comparant cette figure avec la suivante, on voit que le phénomène de roue libre n'apparaît que pour α supérieur à $\pi/3$. D'autre part, comme pour le montage PD2, le problème du défaut de blocage peut se poser aux valeurs élevées de α . Ici, seule la solution de la diode de roue libre est possible. Là encore, la présence de cette diode ne modifie pas les allures de u et de i_{s1}

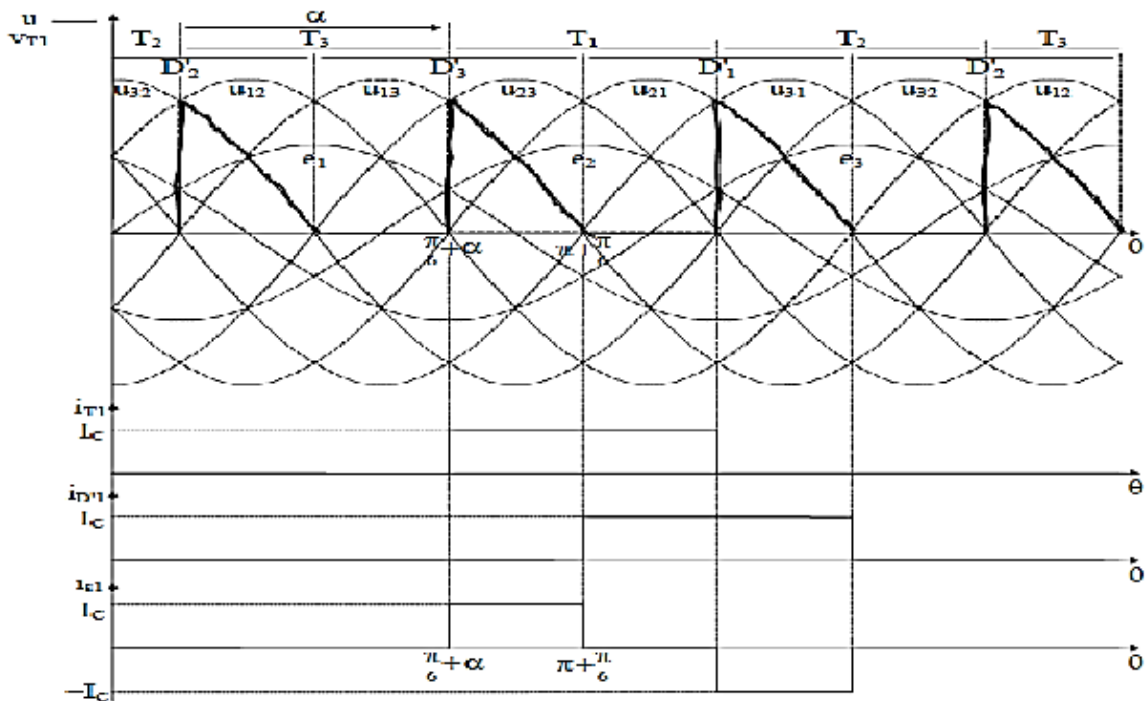


Figure 6: allure de la tension redressée pour $\alpha = \frac{2\pi}{3}$

2. Calcul des grandeurs caractéristiques

a) Valeur moyenne de u

Quel que soit α , la période de u est égale à $2\pi/3$. Vu ce qui précède, il semble a priori qu'il faille considérer deux cas. En réalité, il n'en est rien car, si on raisonne en termes d'association de deux montages parallèle, on constate que $\pi/3$ n'est une valeur critique pour aucun des deux montages (pour le redresseur à diodes, c'est évident, pour celui à thyristors, on peut se référer à l'étude faite ultérieurement pour le montage P3) [25]. Il suffit donc de faire le calcul dans le cas le plus simple, soit $\alpha \geq \pi/3$, pour lequel on a $u = u_{13}$ sur l'intervalle $[\pi/6 + \alpha ; +\pi/6]$ et $u = 0$ ensuite. Compte tenu de ceci, on a :

$$U'_c = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \pi} E\sqrt{6} \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \cdot d\theta = \frac{3\sqrt{6}E}{2\pi} \left[\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \right]_{\frac{\pi}{6} + \pi}^{\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{6}} \quad (2.4)$$

$$\text{Soit } U'_c = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} \left[\sin\frac{\pi}{2} - \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right) \right] = \frac{3\sqrt{6}E}{2\pi} (1 + \cos\alpha) \quad (2.5)$$

D'où, en faisant apparaitre $U_c = \frac{3\sqrt{6}E}{\pi}$, $U'_c = U_c \frac{1 + \cos\theta}{2}$

On retrouvera la même expression que pour le montage PD2. Ceci est d'ailleurs une règle générale. Pour tous les montages mixtes fonctionnant en courant ininterrompu la valeur moyenne de la tension de sortie peut être sous forme, $U'_c = U_c \frac{1 + \cos\theta}{2}$

b) Valeur moyennes et efficaces des courants

(1) Courant dans une diode et dans un thyristor

On a immédiatement $I_{DC} = I_{TC} = \frac{I_c}{3}$, $I_D = I_T = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$

(2) Courant dans le transformateur :

Il suffit, bien sûr, de déterminer sa valeur efficace. Ici, il faut considérer les deux cas possibles pour α car le raisonnement précédent, qui faisait intervenir le principe de superposition, n'est pas valable dans le cas d'une élévation au carré. Par contre, vu la symétrie des alternances, il suffit toujours d'intégrer sur une demi-période [17].

Pour $\alpha \leq \frac{\pi}{3}$; on détermine $I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c$

Pour $\alpha \geq \frac{\pi}{3}$; on détermine $I_s = \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}} I_c$

B. Etude du montage tout thyristor PD3

1. Le redressement triphasé commandé

On obtient en principe la tension sortante d'un redresseur en pont triphasé commandé de la même façon qu'avec un redresseur en pont triphasé non commandé

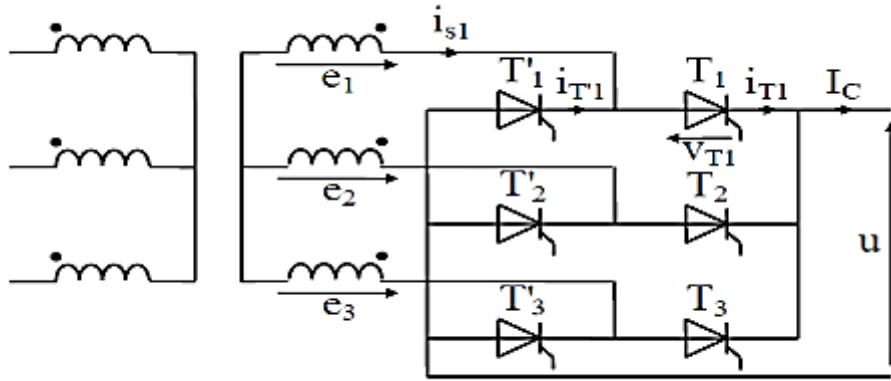


Figure 7: redresseur triphasé commandé tout thyristor

C. Allure des tensions et des courants

De même, on déduit les intervalles de conduction des thyristors des tracés de $e_1 = E 2 \sin\theta$, $e_2 = E 2 \sin(\theta - 2\pi/3)$ et $e_3 = E 2 \sin(\theta - 4\pi/3)$. Les allures des courants et des tensions s'obtiennent ensuite par les raisonnements habituels (Cf. figure(II.5))

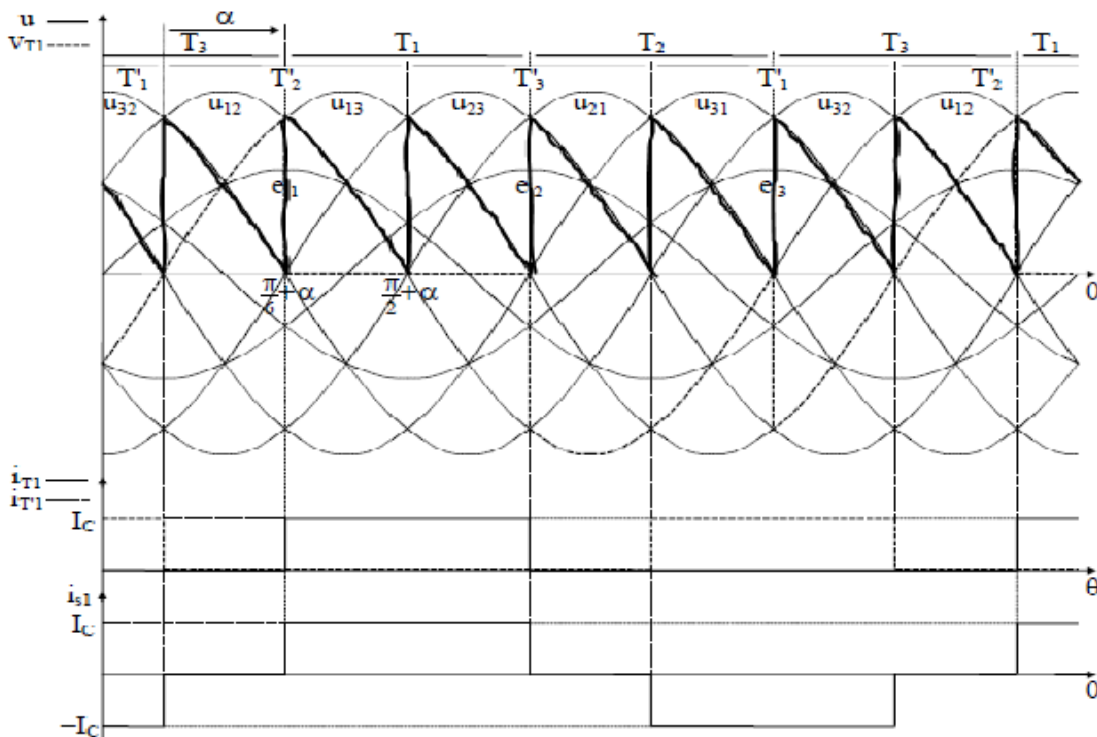


Figure 8 : allure des tensions et des courants

D. Calcule des grandeurs caractéristiques**1. Valeur moyenne de la tension redressée**

De même

$$U_c = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} E\sqrt{6} \cos\theta \, d\theta = \frac{3E\sqrt{6}}{\pi} [\sin\theta]_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{6} + \alpha} = \frac{3E\sqrt{6}}{\pi} \left[\sin\left(\frac{\pi}{6} + \alpha\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right] \quad (2.6)$$

Ce qui donne, après regroupement des termes en sinus,

$$U_c = \frac{3\sqrt{6}E}{\pi} \cdot \cos\alpha = U_c \cdot \cos\alpha$$

Rappelons que le retard à l'amorçage α est compris dans l'intervalle $[0, \pi[$.

Deux cas sont à considérer :

$-\alpha \leq \pi/2$, la valeur moyenne de la tension redressée est positive (figure.II.5), il en est donc de même pour la puissance active fournie par le réseau au récepteur ($P = U_c m_{oy} I_c$) ; le transfert de puissance se fait du côté alternatif vers le côté continu, le système fonctionne en redresseur.

$-\alpha \leq \pi/2 / 2$, la valeur moyenne de la tension redressée est négative ainsi donc que la puissance active ; le transfert de puissance se fait du côté continu vers le côté alternatif, le système fonctionne en onduleur ou redresseur inversé. Le réseau continu néanmoins à imposer la fréquence et à fournir de la puissance réactive, d'où la précision parfois ajoutée dans la dénomination d'onduleur non-autonome.

2. Valeurs moyennes et efficaces des courants

Les expressions sont les mêmes qu'en redressement non commandé.

a) Courant dans un thyristor

$$I_{thc} = \frac{I_c}{3} \quad I_{th\,eff} = \frac{I_c}{\sqrt{3}}$$

b) Courant dans le transformateur :

$$I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c$$

3. Facteur de puissance

$$\text{de } f' = \frac{|U'c Ic|}{3E Ic}, \text{ avec } U'c = \frac{3\sqrt{6}E}{\pi} \cos \alpha \text{ et } I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c, \tag{2.7}$$

$$\text{on tire } f' = \frac{\left| \frac{3\sqrt{6}E}{\pi} \cdot \cos \alpha Ic \right|}{3E \sqrt{\frac{2}{3}} Ic}, \text{ soit } f' = \frac{3}{\pi} |\cos \alpha| = f |\cos \alpha| \tag{2.8}$$

✚ Remarque

Le fait d'obtenir systématiquement $f' = f \cdot \cos \alpha$ provient, en particulier, de ce que les courants gardent la même forme qu'en redressement non commandé. La puissance apparente S reste donc la même et dans l'expression de f' , on peut faire apparaître le terme constant $U_c \cdot I_c / S$, qui est par définition le facteur de puissance du montage à diodes correspondant.

E. Allure de V_s pour une charge inductive et active

Dans ce cas, le courant I_s n'est jamais interrompu et se trouve commuté par une paire de thyristors.

- Allure pour $\alpha = 45^\circ$

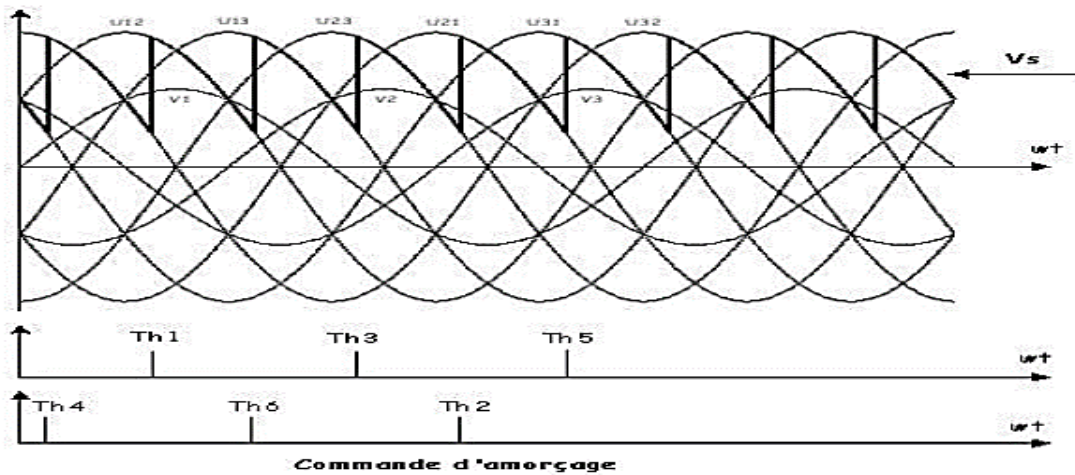


Figure 9: la tension redressée

- Allure pour $\alpha = 120^\circ$

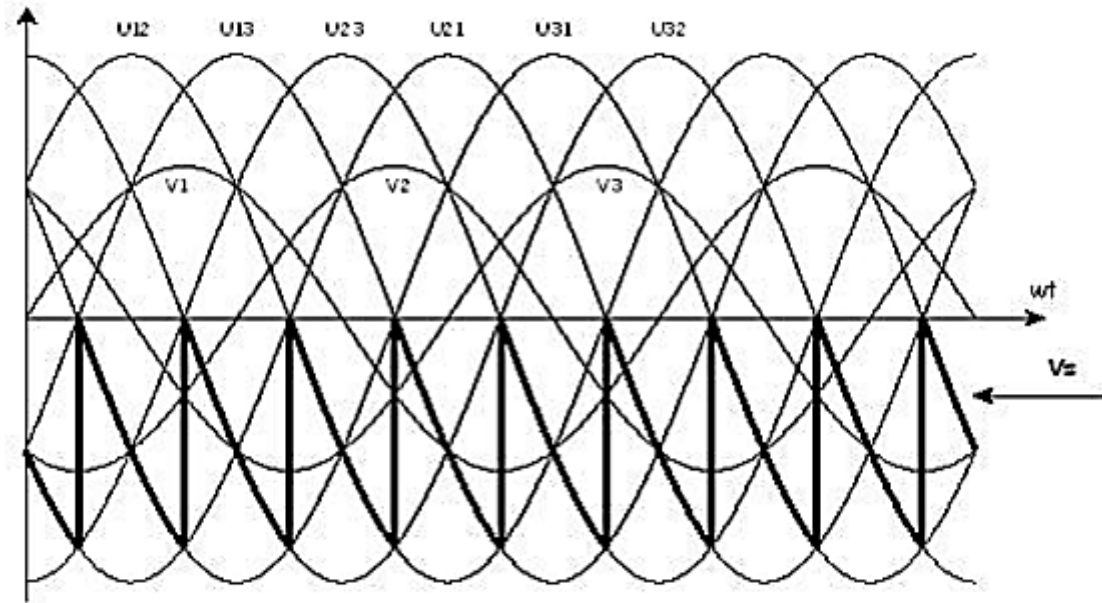


Figure 10: la tension redressée

F. Allure de V_s pour une charge résistive

La différence est que la tension ne peut plus devenir négative (blocage spontané de la paire de thyristors). Pour reprendre la conduction, un des deux thyristors de la nouvelle paire devra être réamorcé en lui envoyant une « **pulse de confirmation** ». Par exemple, si Th1 et Th4 étaient en conduction, et que si U_{12} devient négative, ces deux thyristors seront bloqués. Le thyristor à commander pour la séquence suivante est Th6 et $V_s = V_1 - V_3 = U_{13}$. Mais le thyristor Th1 étant déjà bloqué doit être réamorcé également par cette « pulse de confirmation ».

- Allure pour $\alpha = 60^\circ$:

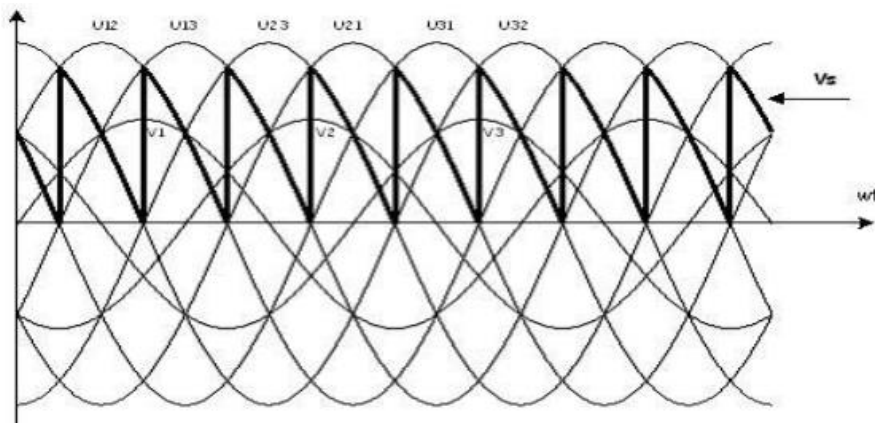


Figure 11: tension redressé

- Allure pour $\alpha = 90^\circ$

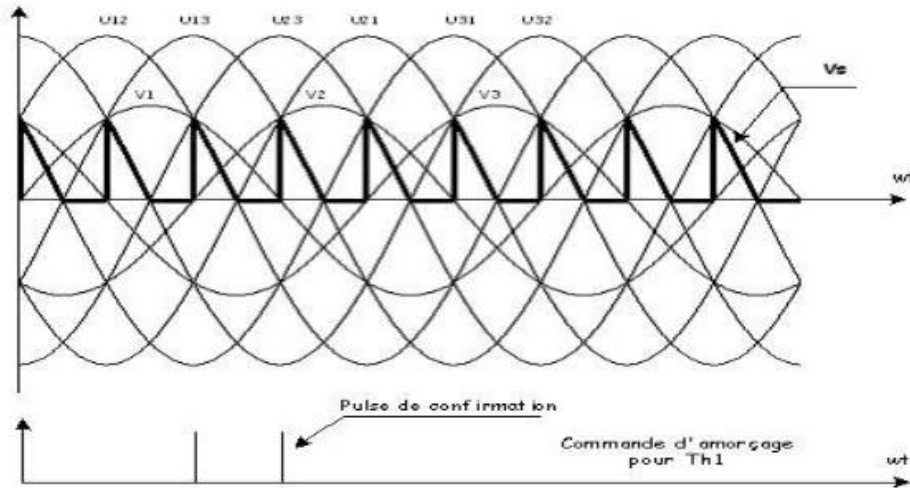


Figure 12: tension redressée

G. Valeur moyenne disponible

On démontre que la valeur moyenne récupérée pour une conduction

Continue s'écrit : $V_{s_{moy}} = \left(\frac{3\sqrt{3}}{\pi}\right) V_{max} \cos \alpha$. Cette valeur est comprise entre $-(3\sqrt{3}/\pi)V_{max}$ et $+(3\sqrt{3}/\pi)V_{max}$

H. Courants dans les thyristors et facteur de puissance

1. Cas d'une charge inductive

Sous l'hypothèse que le courant de sortie est constant et non interrompu, chaque thyristor en conduction sera parcouru par le courant I_s . Ainsi on aura les formes d'onde suivantes pour I_{Th} et I_{Th} ($\alpha=30^\circ$) :

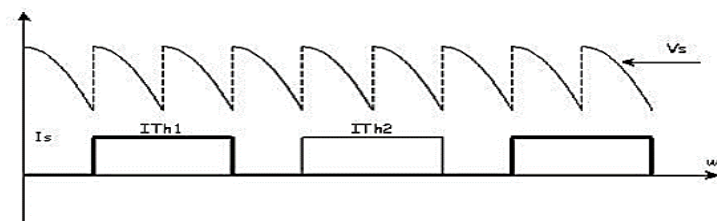


Figure 13: l'allure de tension redressé et courant du thyristor

Chaque thyristor devra supporter les valeurs de courant suivantes $I_{thmax} = I_s$;

$I_{thmoy} = I_s/3$ et $I_{theff} = I_s/\sqrt{3}$.

Le courant débité par la phase 1 s'écrit $I_1 = I_{th1} - I_{th2}$ et possède la forme d'onde suivante

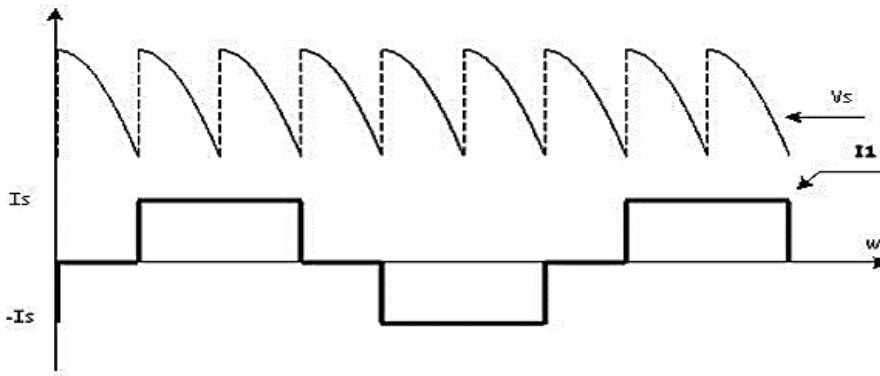


Figure 14: l'allure de tension et de courant de phase 1

Ce courant possède une valeur moyenne nulle et une valeur efficace $I = I_s \cdot \sqrt{2/3}$. Le facteur de puissance vaut alors

$$F_p = \frac{V_{max} \cdot I_s \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{3\sqrt{3}}{\pi}\right)}{\frac{3V_{max}}{\sqrt{2}}} \cdot I_s \cdot \sqrt{2/3} = \cos \alpha \cdot \frac{3}{\pi} \tag{2.9}$$

$$F_p = 0.95 \cdot \cos \alpha$$

On distingue bien que le facteur de puissance se dégrade lorsque l'angle de retard α augmente.

2. Cas d'une charge résistive

Dans ce cas les courants dans les thyristors ont la même forme d'onde que la tension de sortie lorsqu'ils sont en conduction. Pour ce tracé $\alpha = 90^\circ$.

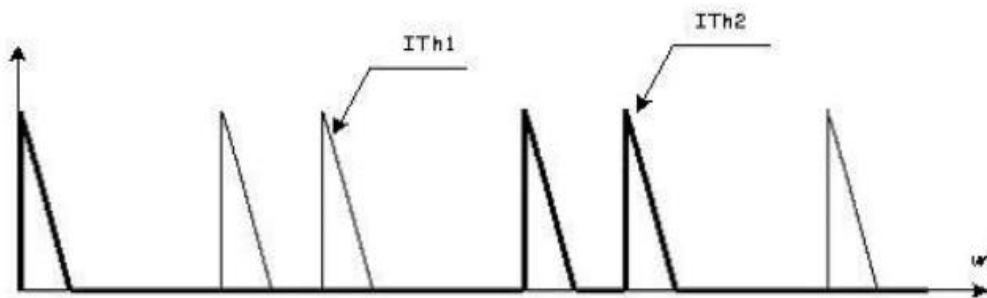


Figure 15: l'allure de courant du thyristor

Le courant débité par la phase 1 aura alors la forme d'one suivante :

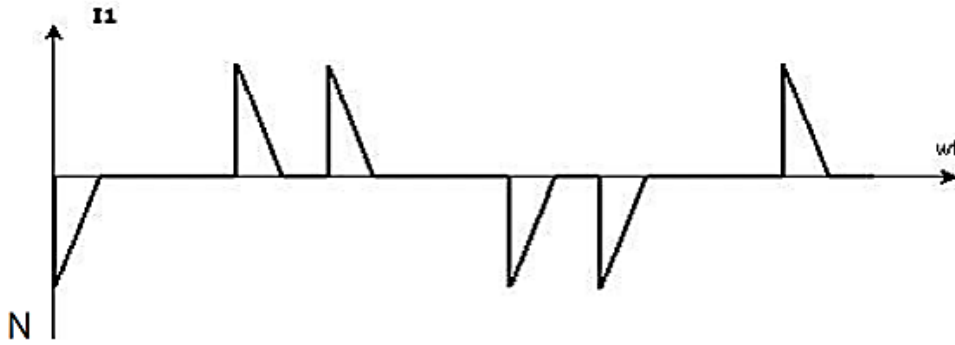


Figure 16: l'allure de courant de phase 1

I. Tension appliquée aux thyristors

Si l'on s'intéresse au thyristor Th, la tension à ses bornes est donnée par $V_{Th1} = V_1 - p_p$, ou p_p est la tension la plus positive des composantes V_1, V_2 et V_3 . Le tracé ci-dessous correspond à un angle de retard à l'amorçage $\alpha=90^\circ$. On voit bien que chaque thyristor devra supporter en direct et en inverse une tension de valeur $\sqrt{3} \cdot V_{max}$

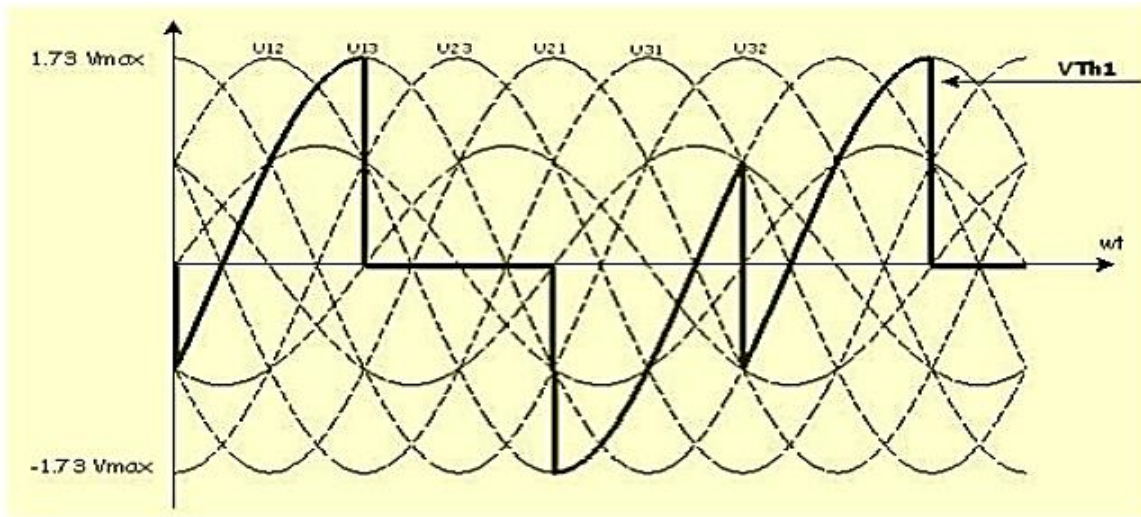


Figure 17: l'allure de la tension appliquée aux thyristor Vth1

VI. Avantages et inconvénients des redresseurs commandés

A. Pont mixte

+ **Avantage**

1. Efficacité

Utilise quatre diodes pour redresser l'ensemble du cycle AC, permettant une plus grande récupération d'énergie par rapport à un seul redresseur. .

2. Utilisation complète de la tension d'entrée

Étant donné que les deux parties de l'onde alternative sont redressées, la puissance d'entrée disponible est utilisée efficacement.

3. Compatibilité avec les transformateurs

Il peut facilement être utilisé avec un transformateur à prise centrale, permettant une isolation et une adaptation de tension plus flexibles.

+ **Inconvénients**

1. Complexité accrue

Par rapport au redressement à une seule ligne, le redressement en pont hybride est beaucoup plus difficile en raison de l'utilisation de quatre diodes au lieu d'une ou deux.

2. Chute de tension

Chaque diode provoque une chute de tension (environ 0,7 V pour les diodes au silicium), ce qui signifie que la puissance de sortie diminue de moitié de cette chute, ce qui affecte les performances globales.

3. Prix

Les coûts de construction sont élevés en raison du nombre de diodes nécessaires et éventuellement d'alimentations supplémentaires pour gérer la chaleur générée.

4. Dissipation thermique

La dissipation thermique avec quatre diodes peut nécessiter une solution de dissipation thermique qui augmente les coûts et les dépenses, en particulier dans les

applications à haute puissance [22].

B. Tout thyristor

Avantage

1. Contrôle précis

Les thyristors permettent un contrôle précis de la tension de sortie en modifiant l'angle de phase de la position variable. Cela permet un ajustement transparent de la puissance requise dans des applications telles que les moteurs à grande vitesse.

2. Consommation électrique

Le redresseur à thyristors est plus économe en énergie car il réduit les pertes de commutation. Les principales pertes proviennent de la conduction et non de la commutation.

3. Durabilité et fiabilité

Les thyristors sont connus pour leur durabilité et leur capacité à gérer des courants et des tensions élevées, ce qui les rend fiables dans les applications industrielles.

4. Capacité de surcharge

Ils peuvent résister à une surcharge pendant de courtes périodes sans causer de dommages, ce qui est utile dans les environnements industriels où les conditions peuvent changer.

5. Double contrôle de puissance

Le redresseur à thyristors peut également être utilisé dans les applications nécessitant un double contrôle de puissance, telles que les convertisseurs AC-DC-AC.

Inconvénients

1. Complexité du circuit

Les systèmes utilisant des thyristors nécessitent des circuits complexes pour le dépannage et le contrôle de phase. Cela peut augmenter la taille et le coût du système.

2. Harmoniques et interférences électromagnétiques (EMI)

Le contrôle de phase introduit des harmoniques dans le système électrique qui peuvent provoquer un choc électrique et affecter d'autres équipements électroniques.

Des filtres supplémentaires peuvent être nécessaires pour réduire ces effets.

3. Temps de commutation plus long

Les thyristors ont un temps de commutation plus long que les thyristors modernes, ce qui peut dégrader leurs performances à des niveaux plus élevés.

4. Chauffage et refroidissement

Les thyristors peuvent générer des quantités importantes de chaleur pendant le fonctionnement et nécessitent un refroidissement approprié pour garantir un fonctionnement thermique correct.

5. Limitations pour certaines applications

Bien que puissants, les thyristors ne constituent pas toujours une bonne pratique. Pour les applications nécessitant une commutation rapide, les transistors tels que les IGBT (Gate Bipolar Transistors) peuvent être idéaux.

Partie(b)**VII. Introduction**

Pour les besoins domestiques et industriels, le monde moderne a besoin de plus en plus d'énergie électrique continue. La croissance de la consommation de l'énergie électrique continue exige l'utilisation des convertisseurs AC/DC et en particulier les redresseurs triphasés à base de diodes pour alimenter certains équipements. L'utilisation de ce type de convertisseurs donne de bons résultats du point de vue industriel et économique vu que les performances des procédés sont nettement améliorées et le coût de fonctionnement des équipements est clairement diminué, ce qui explique la grande utilisation de ces convertisseurs.

Les redresseurs triphasés sont des convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion AC/DC. Ils sont alimentés par une source de tension alternative

triphasee et ils permettent d'assurer l'alimentation en courant continu les récepteurs branchés à la leurs sorties.

Nous allons dans ce chapitre présenté des généralités sur les redresseurs à MLI. Nous commencerons par une définition du redresseur MLI puis nous indiquerons ses deux structures à savoir, le redresseur à MLI de courant et le redresseur à MLI de tension. Par la suite nous détaillerons le principe de fonctionnement du redresseur triphasé de tension. A la fin, nous présenterons les différentes techniques de commande du redresseur.

VIII. Redresseur MLI

A. Définition

La modulation de la largeur d'impulsions est une technique de pilotage pour les convertisseurs statiques, servant d'interface entre une charge (machine électrique) et son dispositif d'alimentation (onduleur triphasé). Elle est donc une technique utilisée pour la conversion de l'énergie, ayant ses bases dans le domaine des télécommunications (traitement du signal). Elle porte en anglais le nom de Pulse Width Modulation (PWM) ou Pulse-Duration Modulation (PDM).

Les redresseurs à MLI peuvent s'adaptés aux évolutions de la charge et du réseau électrique est ceci sans modifier les installations [27]. Ces redresseurs sont appliqué dans plusieurs domaines, exemple les entrainements par machines électriques triphasé, les éoliennes...etc.

B. Structure général du redresseur MLI

La technique employée consiste à modifier la structure interne du redresseur en remplaçant les thyristors par les interrupteurs entièrement command able à l'ouverture et à la fermeture : transistor MOSFET pour les moyennes et petites puissances, transistors IGBT pour les moyennes et grandes puissances, et les thyristors GTO pour les fortes puissances, en anti parallèle avec des diodes [4]. (Voir figure1.1)

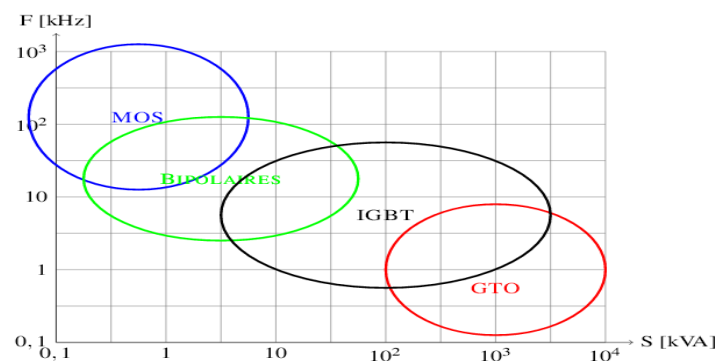


Figure 18: zone approximatives (puissance /fréquence) des principaux semi-conducteurs de puissance

Pour la commande on utilise la technique de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI).

La figure (1.2) montre le schéma de principe d'un redresseur MLI.

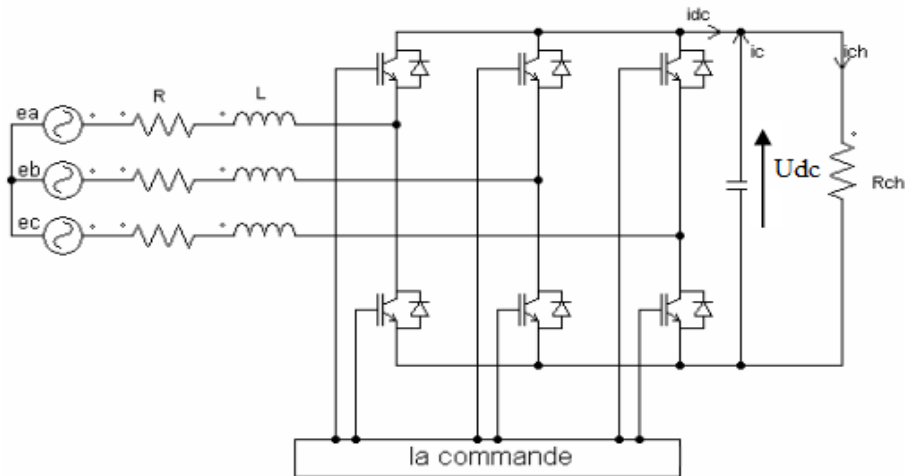


Figure 19: schéma de principe du redresseur

Deuxième mode de fonctionnement. Grâce à la commande MLI, ces convertisseurs peuvent prélever des courants sinusoïdaux du réseau alternatif et assurer aussi un facteur de puissance unitaire. Nous distinguons deux structures de redresseurs à MLI [26] :

- Redresseur à MLI de courant.
- Redresseur à MLI de tension.

1. Redresseur à MLI de courant

La topologie du redresseur à MLI de courant est illustrée à la figure (2.20). IL assure la conversion d'énergie entre une source de tension alternative et un récepteur de courant continu. Les interrupteurs sont unidirectionnels en courant, mais bidirectionnels en tension.

L'utilisation des technique MLI conduit à un courant coté alternatif ayant une pollution harmonique contrôlée [6]. Cette structure est souvent dotée d'un filtre de second ordre LC du coté alternatif.

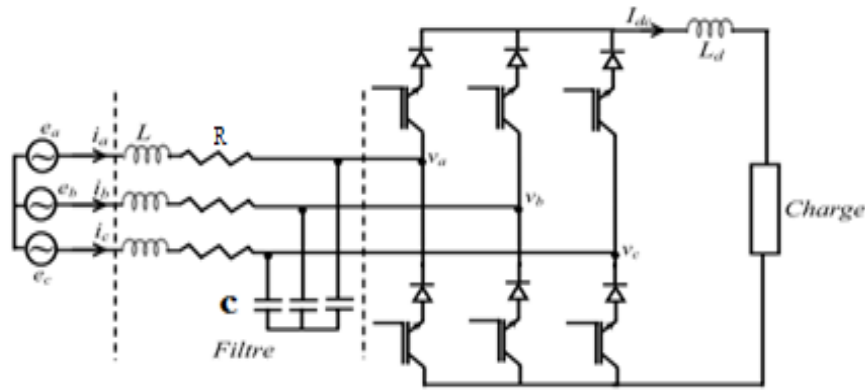


Figure 20: topologie d'un redresseur triphasé a MLI de courant

2. Redresseur à MLI de tension

Le redresseur à MLI de tension est simplement un onduleur de tension utilisé à l'inverse permet de produire une tension continue à partir d'un réseau alternatif, mais en absorption sinusoïdale de courant, et à facteur de puissance unitaire figure (2.21).

Chaque interrupteur est constitué d'un IGBT (composant de commande à l'amorçage et au blocage) et une diode en antiparallèle. Cet interrupteur est unidirectionnel en tension et bidirectionnel en courant. Ainsi, ce convertisseur de par sa structure, est réversible en courant, il peut donc contrôler de façon instantanée la forme d'onde des courant prélevés sur le réseau. Il alimente alors une charge (active ou passive) en continu à partir d'un réseau alternatif, le courant absorbé étant sinusoïdale et éventuellement en phase avec la tension du réseau correspondante. Ce redresseur à MLI permet d'atteindre un facteur de puissance très proche de l'unité et réglable via la commande de la direction du flux de l'énergie réactive absorbée ou fournie.

Pour cette structure, on doit respecter les contraintes suivantes :

- ✚ Le courant de ligne doit toujours trouver un chemin possible d'où la mise en antiparallèle de diode au niveau des interrupteurs.

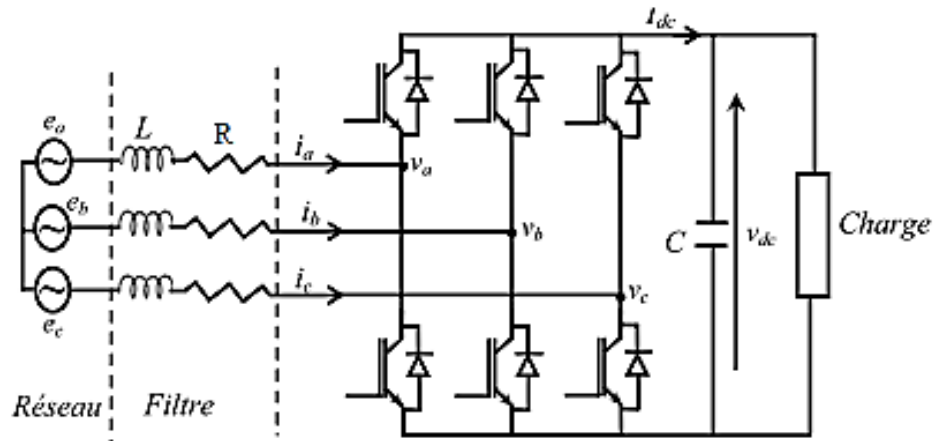


Figure 21: topologie d'un redresseur triphasé a MLI de tension

- ✚ Nous commandons les deux semi-conducteurs d'un même bras de façon complémentaire : la conduction de l'un entraîne le blocage de l'autre afin d'éviter tout court-circuit de la source de tension. Avec cette hypothèse, l'ouverture et la fermeture des interrupteurs de redresseur de tension dépendent de l'état de trois signaux de commande $S_a S_b S_c$.
- ✚ En pratique, les deux semi-conducteurs d'un même bras ne doivent jamais conduire en même temps afin d'éviter de court-circuiter la charge ; il faut donc générer un temps d'attente, également appelé temps mort, entre la commande au blocage d'un interrupteur et la commande à l'amorçage de l'autre interrupteur du même bras [17].

L'avantage du redresseur de tension par rapport à celui de courant est indéniable et son utilisation dans de nombreuses applications se justifie principalement par les deux avantages offerts par sa configuration :

- La bidirectionnalité en courant de sa topologie grâce aux diodes de récupération en antiparallèles.
- Le stockage d'énergie capacitive est plus aisé et efficace que son dual inductif. De plus, le coût et le poids des condensateurs sont moindres.

Cependant, la grande prolifération des redresseurs de tension ne signifie pas la résolution des problèmes traités dans leurs différentes applications ni l'obtention des performances souhaitées. Le fait que leur configuration soit simple, impose l'ajout d'éléments additionnels afin d'accomplir les tâches escomptées. C'est pour cette raison que l'attention des

chercheurs dans ce domaine s'est concentré principalement sur trois aspects : les courants du côté alternatif, de la tension du bus continu, en associant le choix et le

dimensionnement du filtre côté alternatif, dont le but de répondre aux exigences d'un cahier des charges. Parmi lesquelles, nous pouvons citer, dynamique rapide, protection contre les court-circuit et les surcharges, stabilité, robustesse vis-à-vis des variations paramétriques du système et fréquence de commutation faible pour réduire les émissions électromagnétiques émises susceptible d'influencer d'autre charge connectées au réseau [23].

C. Principe de fonctionnement du redresseur à MLI de tension

La structure du redresseur à MLI associé à un filtre R, L d'entrée est illustré sur la figure (1.5), le côté continu est constitué par un condensateur, est équivalent à une source de tension. Afin de respecter les règles d'interconnexion des sources, l'entrée est une source de courant car ce convertisseur n'est constitué que d'interrupteurs semi-conducteurs. De plus la présence des inductances de couplage est indispensable pour assurer le contrôle des courants absorbés par le redresseur. En effet, quel que soit la technique utilisée pour générer les ordres des commande (S_a, S_b, S_c), le redresseur peut imposer de manière indirecte la forme du courant dans ces inductance en contrôlant les tension V_{an}, V_{bn} et V_{cn} mesurées par rapport au neutre du réseau.

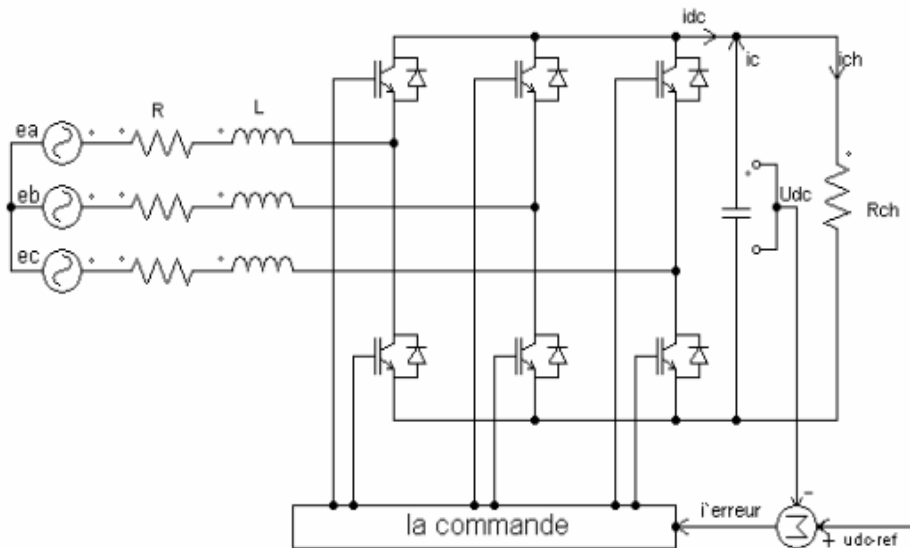


Figure 22: topologie de base d'un redresseur a MLI triphasé de tension.

En d'autre terme, la variation du courant prélevé définie par (di/dt) , (en considérant la résistance série interne « R » négligeable), est imposée par la tension appliquée aux bornes des inductances qui est la différence entre la tension réseau et celle à l'entrée du redresseur comme le montre la figure (2.23)

Il est possible de contrôler l'évaluation des courants prélevés sur le réseau en agissant sur les ordres de commande. De plus, le fonctionnement à facteur de puissance unitaire (puissances réactive nulle) est obtenu en synchronisant les courants Absorbés par rapport aux tensions simples du réseau [22].

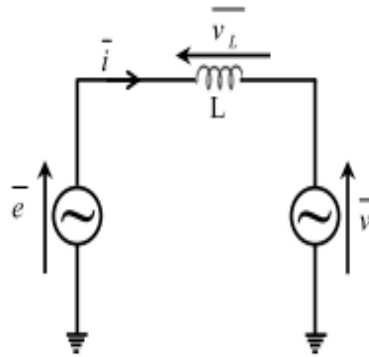


Figure 23: circuit équivalent pour le contrôle de courant absorbé

Pour obtenir un bon fonctionnement de l'ensemble, il est indispensable de contrôler la tension du bus continu. Une boucle de régulation de cette dernière doit être mise en place afin de garantir en régime permanent l'égalité des puissances côté alternatif et côté continu. Le schéma équivalent pour le contrôle de cette tension est illustré sur la figure (2.24) ci-dessous :

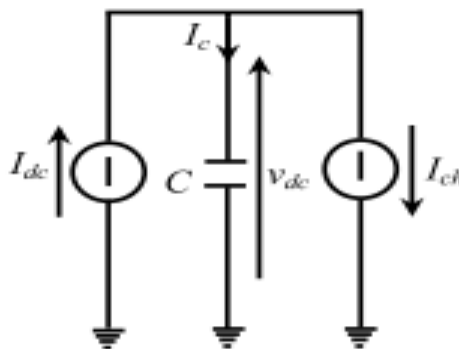


Figure 24: circuit équivalent pour le contrôle de la tension du bus continu

IX. Conclusion

Ce chapitre présente les notions préliminaires et nécessaires pour la suite sur la structure et la commande des redresseurs triphasés. Nous avons montré l'utilité du redresseur commande (thyristors). Ensuite, nous avons décrit le principe de fonctionnement de MLI qui est le convertisseur statique le plus répandue actuellement. Il est intégré dans de nombreuses applications industrielles, dans les systèmes de dépollution harmonique.

I. Préambule

Les microcontrôleurs sont et continueront à être largement utilisés pour les applications de régulation et de commande de processus. Ce sont de véritables micro-ordinateurs intégrés sur une puce de silicium qui comportent une unité centrale, de la mémoire ou une interface à de la mémoire externe, des ports d'entrée-sortie, une interface pour lignes série (RS-232) ainsi qu'une unité de gestion de temps et d'événements...etc. Les signaux d'entrée-sortie du microcontrôleur peuvent être facilement interfacés à des coupleurs optiques afin d'interfacer des capteurs et des actionneurs industriels. Pratiquement tous les fabricants de microprocesseurs (Microship, Motorola, Intel, Hitachi, Texas Instrument, Toshiba, ST Microélectronique-ex SGS-Thomson, etc.) proposent une ou plusieurs gammes de microcontrôleurs. Les microcontrôleurs 4 bits servent essentiellement à des tâches simples. De tels microcontrôleurs sont par exemple utilisés au sein d'objets ménagers grand public, tels que des cuisinières, machines à laver ou aspirateurs. Les microcontrôleurs 8 bits sont capables de répondre à des exigences plus élevées et sont utilisés pour la commande de dispositifs informatiques tels que des joysticks, tablettes graphiques et modems. Ils sont également utilisés pour la programmation de petits robots ainsi que pour l'acquisition de données (convertisseurs A/D, etc.). Les microcontrôleurs 16/32 bits sont utilisés pour la commande de machines ou le contrôle de processus, lorsque les contraintes temps réel sont sévères ou lorsque les algorithmes de régulation nécessitent une puissance de calcul importante. Des variantes de microcontrôleurs avec canaux d'accès mémoire direct offrant un grand débit entre mémoire et entrées-sorties sont utilisés dans les applications multimédia et pour le contrôle d'imprimantes laser. Dans ce chapitre nous présentons une description détaillée sur microcontrôleur (PICs de Microship).

II. Définition d'un microcontrôleur :

Le microcontrôleur est un dérivé du microprocesseur. Sa structure est celle des systèmes à base de microprocesseurs. Il est donc composé en plus de l'unité centrale de traitement, d'une mémoire (mémoire vive RAM et mémoire morte ROM), une (ou plusieurs) interface de communication avec l'extérieur matérialisé par les ports d'entrée/sortie. En plus de cette configuration minimale, les microcontrôleurs sont dotés d'autres circuits d'interface qui vont dépendre du microcontrôleur choisi à savoir les systèmes de comptage (TIMER), les convertisseurs analogique/numérique (CAN) intégré, gestion d'une liaison série ou parallèle, un Watchdog (surveillance du programme), une sortie PWM (modulation d'impulsion) [8].

III. Définition d'un PIC

Un PIC (Programmable Interface Controller) est un microcontrôleur de Micro-chip Technologie.

Un PIC est un composant dit RISC (Reduced Instructions Set Computer), ou encore composant à jeu d'instruction réduit. Ces microcontrôleurs sont conçus sur une architecture dite HAVARD, elle est basée sur deux bus, un pour les données (bus de données) et l'autre pour les instructions (bus de programme) [5].

A. Classification des Pics de Micro chip

<< Actuellement les modèles micro chip, sont classes en trois grandes familles, comportant chacune plusieurs références. Ces familles sont :

- ❖ Baseline : c'est la famille où l'unité centrale travailleur 12-bits, exemple : 12CXXX...
- ❖ Mid-range : c'est la famille où l'unité centrale travaille sur 14-bits, exemple : 16F877A.
- ❖ High-end : c'est la famille où l'unité centrale travaille sur 16-bits, exemple : 18FXXX, 18CXXX .

Les PIC s sont des composants STATIQUES, Ils peuvent fonctionner avec des fréquences d'horloge allant du continu jusqu'à une fréquence max spécifique à chaque circuit.

Un PIC16F876-04 peut fonctionner avec une horloge allant du continu jusqu'à 4 MHz. Nous nous limiterons dans ce chapitre à la famille Mid-Range et particulièrement au PIC 16F876/877.

Le tableau 01 indique les différents circuits de la famille 16F87X

PIC	FLASH	RAM	EEPROM	I/O	A/D	Port //	Port Série
16F870	2K	128	64	22	5	NON	USART
16F871	2K	128	64	33	8	PSP	USART
16F872	2K	128	64	22	5	NON	MSSP
16F873	4K	192	128	22	5	NON	USART/MSSP
16F874	4K	192	128	33	8	PSP	USART/MSSP
16F876	8K	368	256	22	5	NON	USART/MSSP
16F877	8K	368	256	33	8	PSP	USART/MSSP

Tableau 1: différents circuit de la famille 16F87X

Dans notre application, nous avons choisis d'utiliser le PIC 16F877A ; qui contient un espace mémoire plus large que les autres Pics ; et disponible dans le marché et très utilisé [5].

B. Identification d'un PIC

Un PIC est généralement identifié par une référence de la forme **NN LLL XXX - ZZ** où :

NN : désigne la famille à laquelle appartient le circuit « 12, 14, 16,17 et 18 ».

LLL : est un ensemble d'une, deux ou trois lettres qui indique le type de la mémoire de programme contenue dans le circuit et si la plage de tension d'alimentation est normale ou étendue.

- **C**: EPROM ou EEPROM.
- **CR**: PROM.
- **F**: FLASH.

XXX : est un ensemble de deux ou trois chiffres constituant la référence du circuit.

ZZ : vitesse maximale du quartz de pilotage. >> [8]

Exemple de PIC 16F877-20 :

16 : indique la famille Mid-Range.

F : indique le type de mémoire programme utilisée : F pour Flash.

877 : identité.

20 : indique la fréquence d'horloge.

C. Le choix du microcontrôleur PIC16F877A : Pourquoi le PIC16F877A ?

Le choix de microcontrôleur PIC16F877A est primordial, il est employé dans ce projet en raison de sa grande partie de ses performances, sa taille, sa facilité d'utilisation et le prix du montage.

Le PIC16F877A possède 5 ports d'entrées sorties, une capacité mémoire programme flash de 8K qui est nécessaire pour mettre l'application arithmétique à un point mobile, une mémoire RAM répartie sur 368 octet, ce qui permet l'utilisation de plus de variables dans un programme, un convertisseur analogique-numérique 10 bits, une horloge jusqu'à 20MHZ, une tension de fonctionnement de 2V jusqu'à 5.1V, un courant d'entrée-sortie des pins allant jusqu'à 25mA, un module de communication USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) qui permet d'envoyer et de recevoir des données en mode série, soit de façon synchrone, soit asynchrone,etc.

Le PIC 16F877A possède en plus des instructions très puissantes, donc un programme à développer réduit, surtout lorsqu'on utilise le logiciel de programmation comme le « CCS PICC » qui est un langage de programmation à haut niveau, simple, facile et optimisé par rapport à l'assembleur, il possède un nombre important de procédures et fonctions prédéfinies dédié au PIC 16F877A. Le CCS PICC a pour rôle principal de contrôler la cohérence du code au moment de la compilation, c'est-à-dire qu'il offre la possibilité de vérification d'erreurs pour les corriger au moment de la programmation.

En fait la cause principale du choix de microcontrôleur PIC est qu'il dispose de l'option du convertisseur A/D pour satisfaire le coter d'acquisition, aussi la possibilité de l'adaptation au protocole de la liaison RS232 [6].

D. Les caractéristiques du PIC 16F877A

Le PIC 16F877A est un microcontrôleur de Micro-chip, fait partie intégrante de la famille Mid-rang(16) dont la mémoire programme et de type flash (F), ce μ c est un circuit intégré à 40 broches dont les caractéristiques générales peuvent être résumé comme suit :



Figure 1: microcontrôleur PIC 16F877A

Une fréquence de fonctionnement allant jusqu'à 20MHz.

- Jeu d'instructions de 35 instructions
- Une mémoire de programme de type FLASH sur 8K mots (1 mot=14 bits).
- Une mémoire de données de type RAM sur 368 octets.
- Une mémoire de données de type EEPROM sur 256 octets.
- Une pile (Stack) à 8 niveaux.
- 14 sources d'interruptions.
- Un chien de garde WDT (Watch Dog Timer).
- Timer0 (compteur 8-bits avec pré-diviseur).
- Timer1 (compteur 16-bits avec pré-diviseur et possibilité d'utiliser une horloge externe).
- Timer2 (compteur 8-bits avec pré-diviseur et post-diviseur).

- Un convertisseur Analogique-Numérique 10-bits à 8 entrées multiplexées.
- Deux modules de capture/comparaison/PWM.
- Ports Entrées/Sorties : A, B, C, D et E.
- Une interface de communication série (MSSP, USART).
- Une interface de communication parallèle (PSP).
- Tension de fonctionnement est entre 2.0V et 5.5V.

1. DESCRIPTION GENERALE DU PIC 16F877A

Le pic 16F877A est un circuit intègre contenu dans un boîtier nommé « DIL 40 », il présente 40 broches, 20 de chaque côté. Les broches sont virtuellement numérotées de 1 à 40. La 1ere broche est placée dans le coin situé à gauche de l’encoche de repérage.

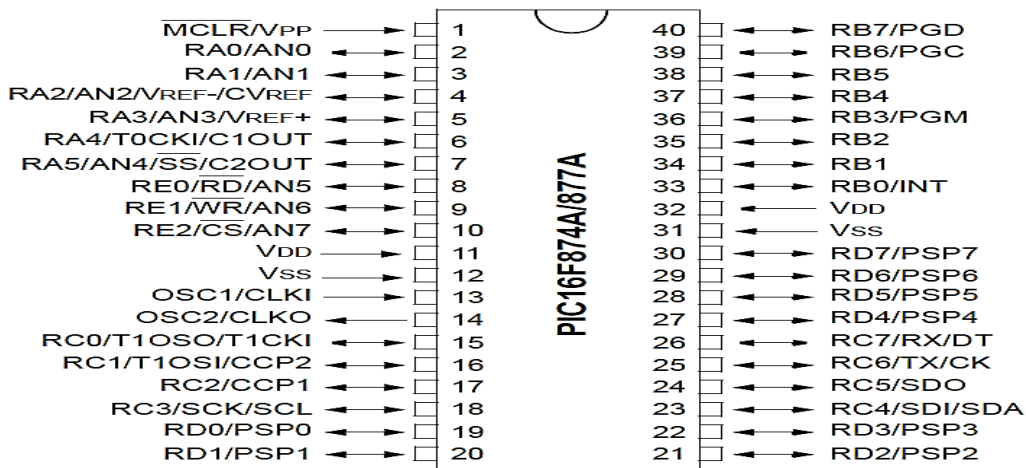


Figure 2: boîtier du PIC

2. Architecture externe du PIC 16F877A

Le boîtier ci-contre décrit l’architecture externe du 16F877A qui comprend 40 pins dont :

- 33 pins d’entrées/sorties multiplexées avec d’autres fonctions.
- 4 pins pour l’alimentation : VDD et VSS.
- 2 pins pour l’oscillateur : OSC0 et OSC1
- 1 pin pour le RESET : MCLR

PIN	UTILISATION
RA0 à RA5	Lignes d'entrées /sorties du port A
RB0 à RB7	Lignes d'entrées /sorties du port B
RC0 à RC7	Lignes d'entrées /sorties du port C
RD0 à RD7	Lignes d'entrées /sorties du port D
RE0 à RE3	Lignes d'entrées /sorties du port E
VDD	Broche d'alimentation +5V
VSS	Broche du 0V
MCLR	Reset du circuit
OSC1 et OSC2	Broche recevant quartz externe.

Tableau 2: broche du PIC 16F877A

3. Architecture interne du PIC 16F877A

Comme pour tous les circuits intègre, chacun de ses broches à une ou plusieurs fonctions qui sont résumées par un sigle mnémotechnique. Ce microcontrôleur présente une architecture Harward, les données sont placées dans une mémoire de type RAM de 368 bytes.

La mémoire de programme est constituée de mot de 14 bytes, est type FLASH (non volatile). Ces ressources sont donc précieuses, en comparaison de celles d'autres composantes. Le 16F877A possède encore 5 ports (A à E) et 3 temporisateurs (timers), ce diagramme bloc présente les composantes du 16F877A [6].

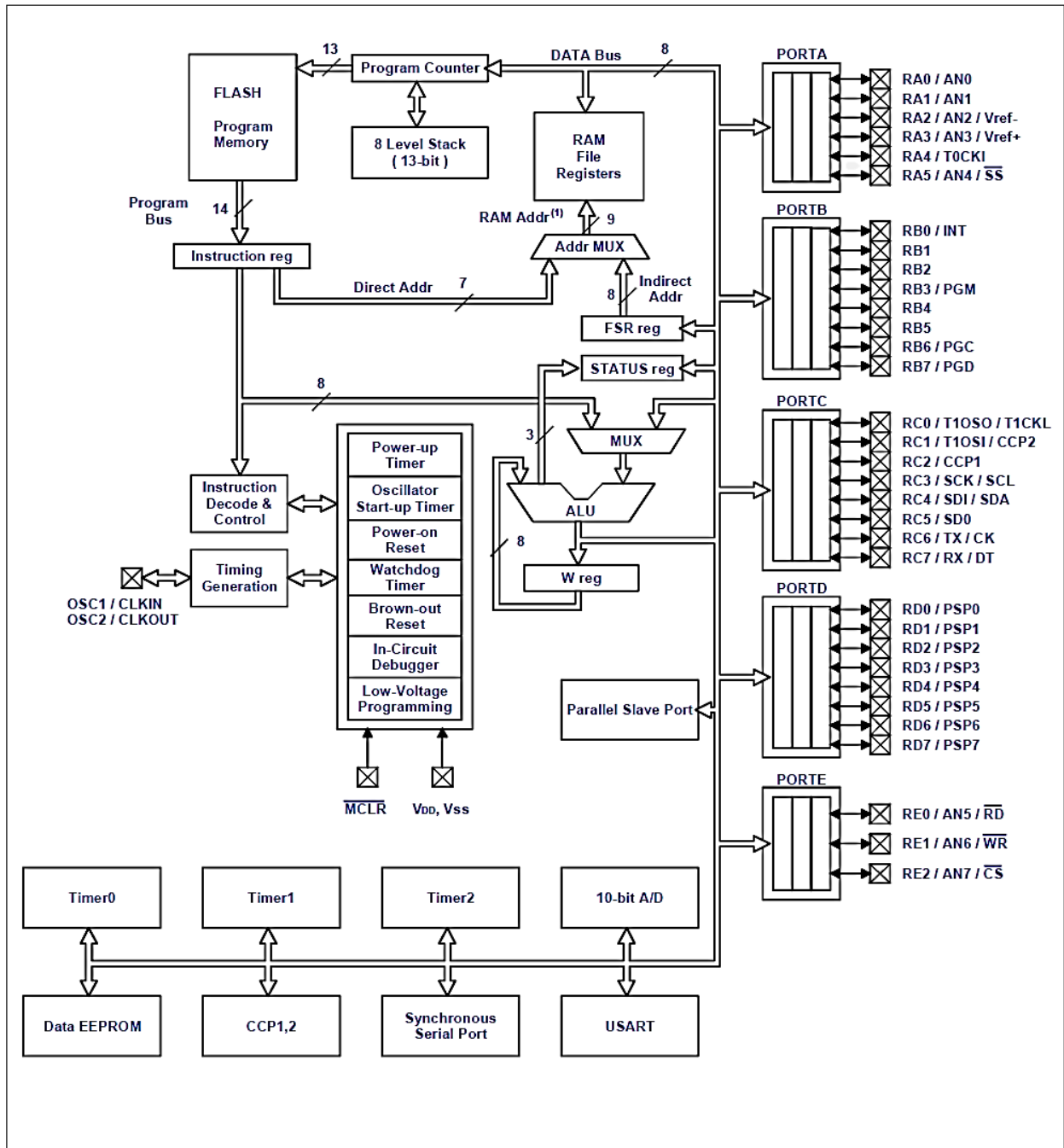


Figure 3: l'architecture interne du PIC16F877A

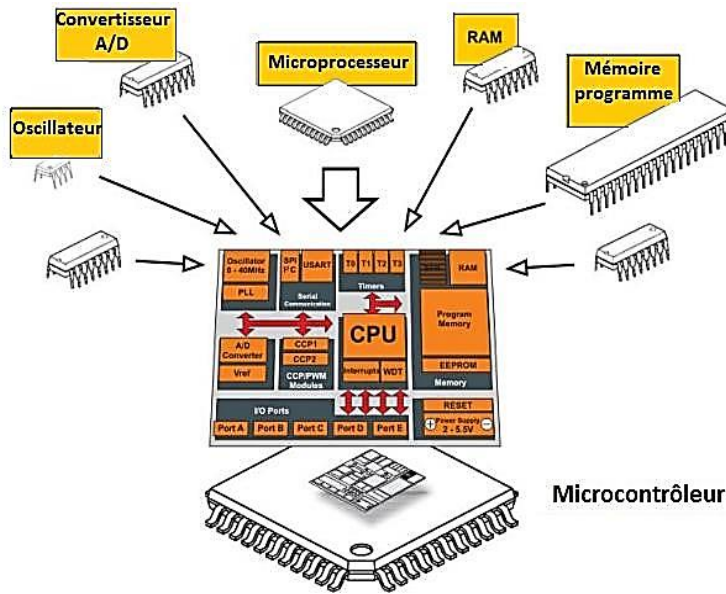
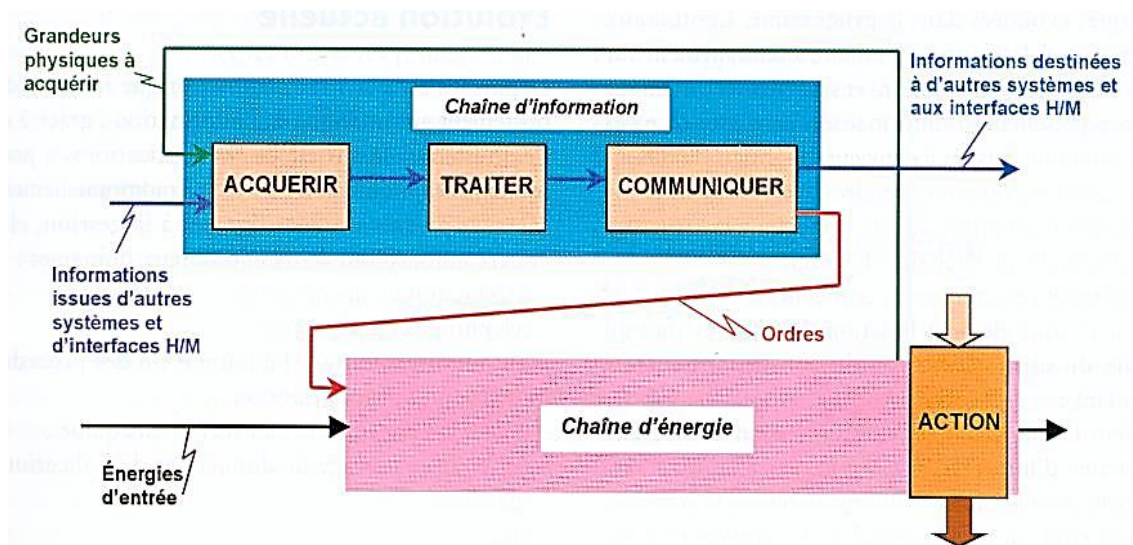


Figure 4: contenu type d'un microcontrôleur

Dans la chaîne d'information d'un système de traitement de données, les microcontrôleurs réalisent la fonction TRAITER

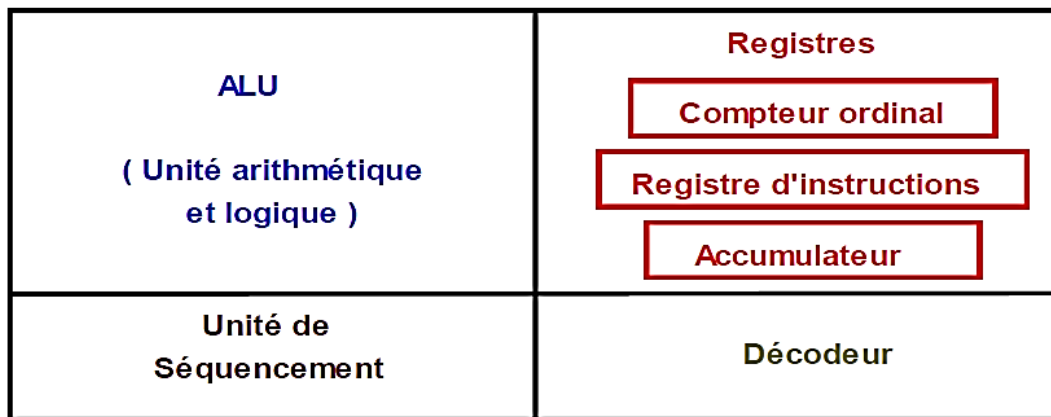


L'élément majeur du microcontrôleur est son unité centrale (CPU) : le microprocesseur. Un microprocesseur est un composant programmable capable de traiter une suite d'instructions (opérations logiques ou arithmétiques). Cette suite d'instructions est le programme qui détermine le fonctionnement du système.

a) **Organisation interne :**

- L'ALU : Elle réalise des opérations telles que : addition, soustraction, complémentation, et logique, ou, ou exclusif, comparaison ... C'est l'unité arithmétique et logique

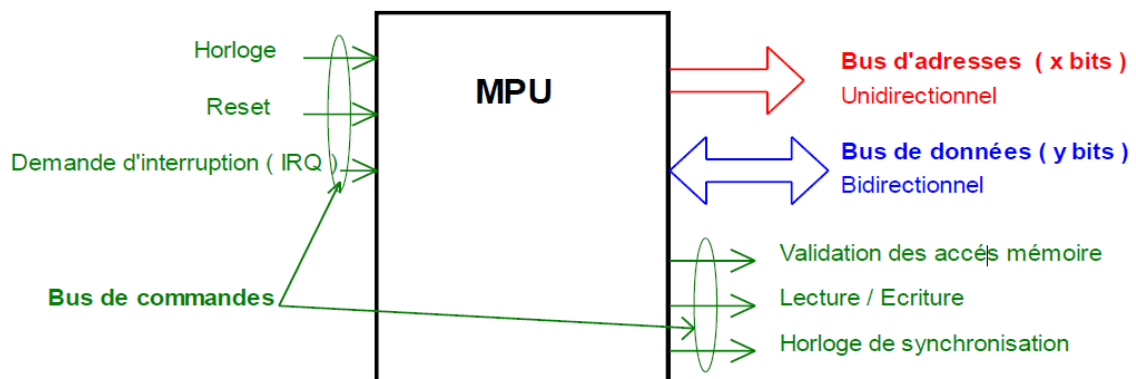
Les Registres : Le compteur ordinal contient l'adresse de l'instruction en cours. Le registre d'instruction permet de stocker le code de cette instruction. Les accumulateurs servent à stocker les variables que l'ALU va traiter [6].



L'unité de séquencement : C'est elle qui contrôle le déroulement du programme en gérant le compteur ordinal (en principe incrémentation).

Le décodeur : Il décode les instructions et commande l'ALU et les accumulateurs

b) **Organisation externe**



Le bus d'adresses permet au microprocesseur de sélectionner une position mémoire (RAM ROM ou circuit d'interface). Sa taille est généralement de 16, 24 ou 32 bits. Un bus de 16 bits correspond à un espace adressable de 2^{16} mots (soit 65536 ou 64 K mots). Il est unidirectionnel (c'est uniquement le microprocesseur qui le gère).

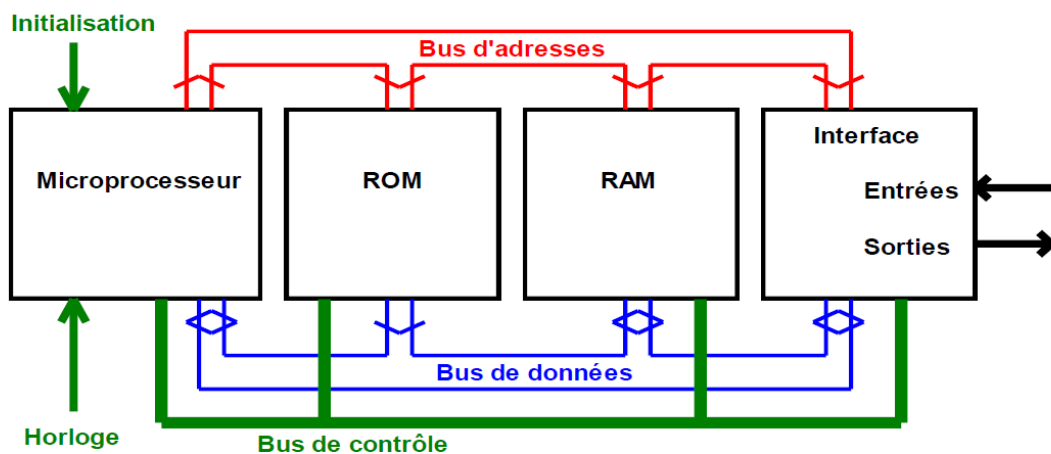
Le bus de données permet de recevoir ou de transmettre un mot de 'Y' bits, contenu dans la position mémoire sélectionnée préalablement. La taille de ce bus va de 8 à 64 bits [8].

Le bus de commande ou de contrôle. C'est par lui que transitent les signaux de contrôle du système (initialisation, lecture de la mémoire, écriture)

c) Critères de choix d'un microprocesseur.

- ✓ Espace adressable (nombre de bits du bus d'adresses).
- ✓ Nombre de bits du bus de données.
- ✓ Nombre de registres internes.
- ✓ Instructions disponibles, vitesse d'exécution de ces instructions (en cycle d'horloge)
- ✓ Fréquence de l'horloge.

d) Organisation d'un système à microprocesseur.



Le système se compose au minimum :

- ✓ D'un microprocesseur
- ✓ D'une ROM qui contient les instructions formant le programme (ou au moins la partie du programme nécessaire au démarrage du système « programme de Boot »).

D'une RAM qui sert à conserver les variables (ou un programme).

- ✓ D'un ou plusieurs circuits d'interfaces (communication avec le monde extérieur).

Un microcontrôleur (en notation abrégée μc , ou uc ou encore MCU en anglais) est un circuit intégré qui rassemble sur une même puce les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties [29].

Un microcontrôleur intègre sur une même puce :

- Un processeur (CPU), avec un bus de données allant de 4 bits à 32 ou 64 bits .
- De la **mémoire vive (RAM)** pour stocker les données et variables.
- De la **mémoire morte (ROM)** pour stocker le programme. Différentes technologies peuvent être employées : **EPROM**, **EEPROM**, **mémoire flash** (la plus récente) ;
- Souvent un **oscillateur** pour le cadencement. Il peut être réalisé avec un quartz, un **circuit RC** ou encore une **PLL** ;
- Des périphériques, capables d'effectuer des tâches spécifiques. On peut mentionner entre autres :
 - ✚ Les **convertisseurs analogiques-numériques (CAN)** (donnent un nombre binaire à partir d'une tension électrique),
 - ✚ Les **convertisseurs numériques-analogiques (CNA)** (effectuent l'opération inverse),
 - ✓ Les générateurs de signaux à **modulation de largeur d'impulsion** (MLI, ou en anglais, PWM pour *Pulse Width Modulation*),
 - ✓ Les **timers/compteurs** (compteurs d'impulsions d'horloge interne ou d'événements externes),
 - ✓ Les **chiens de garde (watchdog)**,
 - ✓ Les comparateurs (comparent deux tensions électriques),
 - ✓ Les contrôleurs de bus de communication (**UART**, **I²C**, **SSP**, **CAN**, **FlexRay**, **USB**, **Ethernet**, etc.).

Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus faible (de quelques mégahertz

jusqu'à plus d'un gigahertz¹) et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels [8].

Exemple : le microcontrôleur Atmel Atmega 328P qui équipe la carte Arduino dispose de :

- Un processeur 8 bits à architecture RISC ;
- De la mémoire avec des espaces physiques séparés :
- Mémoire Flash (32 Ko) pour les programmes,
- Mémoire vive SRAM (2 Ko) pour les données,
- Mémoire EEPROM (2 Ko) pour les données de sauvegarde ;
- Toute la logique d'horloge (16 MHz) ;
- Des circuits d'interface et des périphériques d'entrée-sortie permettant au processeur d'accéder au monde extérieur :
- Des Timers/Counters (T/C) 8 et 16 bits,
- Génération des signaux PWM,
- Des interfaces de communication série (UART, SPI, TWI compatible I2C...),
- Un convertisseur Analogique-Numérique (A/D Conv.), etc. [21].

IV. Les avantages du microcontrôleur

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts et bien réels. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années. Nous allons voir que le nombre d'entre eux découle du simple sens.

- Tout d'abord, un microcontrôleur intègre dans un seul et même boîtier ce qui, avant nécessitait une dizaine d'éléments séparés. Il résulte donc une diminution évidente de l'encombrement de matériel et de circuit imprimé.
- Cette intégration a aussi comme conséquence immédiate de simplifier le tracé du circuit imprimé puisqu'il n'est plus nécessaire de véhiculer des bus d'adresses et de données d'un composant à un autre.
- L'augmentation de la fiabilité du système puisque, le nombre des composants diminuant, le nombre des connexions composants/supports ou composants/circuits imprimés diminue.
- Le microcontrôleur contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux.

- Moins cher que les autres composants qu'il remplace.
- Diminuer les coûts de main d'œuvre.
- Réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants

V. Les défauts des microcontrôleurs

- Le microcontrôleur est souvent surdimensionné devant les besoins de l'application
- Investissement dans les outils de développement.
- Écrire les programmes, les tester et tester leur mise en place sur le matériel qui entoure le microcontrôleur.
- Incompatibilité possible des outils de développement pour des microcontrôleurs de même marque.
- Les microcontrôleurs les plus intégrés et les moins coûteux sont ceux disposant de ROM programmables par masque.
- Le microcontrôleur présente l'avantage des microprocesseurs mais limités aux applications ne nécessitant pas trop de puissance de calcul (architecture courante 8bits).
- Il existe plusieurs architectures de microcontrôleurs de 4 à 128 bits pour les applications demandant une certaine puissance de calcul (injecteurs automobile) [5].

VI. Conclusion

Dans ce chapitre on a fait une présentation générale des microcontrôleurs et nous pouvons dire que le microcontrôleur 16F877A peut bien jouer le rôle d'une unité de commande pour notre système. Pour faire fonctionner cette unité de contrôle, il faut la programmer et l'adapter à un compilateur de programmation et nous avons appris à utiliser le programme de CCS et comment exécuter pour chaque instruction.

Le CCS PICC a pour rôle principal de contrôler la cohérence du code au moment de la compilation, c'est-à-dire qu'il offre la possibilité de vérification d'erreurs pour les corriger au moment de la programmation.

Cette étude théorique nous a permis de traiter et de comprendre le fonctionnement utilise Langage c pour microcontrôleurs CCS et des différentes ressources interne du PIC 16F877A.

I. Introduction

La carte de commande est un circuit électronique qui permet de connecter un ordinateur à un équipement périphérique, tel qu'un moteur ou un éclairage, pour exécuter les commandes reçues par l'ordinateur. Dans notre projet, nous utiliserons le microcontrôleur pic16f877A pour contrôler directement le moteur, un projet qui nécessite une compréhension des bases de l'électronique et de la programmation en C

Le développement et la simulation de systèmes de contrôle constituent une étape cruciale dans le développement de nombreuses technologies modernes. Ce processus complexe implique la conception et la mise en œuvre de stratégies de contrôle pour garantir des performances optimales d'un système donné. De la conception initiale à la simulation détaillée, chaque, étape joue un rôle important dans la validation et l'optimisation des performances attendues. Dans ce chapitre, nous explorons les bases de la mise en œuvre et de la simulation des systèmes de contrôle, en nous concentrant sur les méthodes, outils et techniques utilisés pour garantir l'efficacité et la fiabilité du système final.

Pour ce faire nous avons opté pour les logiciel PROTEUS et Mikroc qui nous ont permis de réaliser notre projet.

II. Proteus

A. Logiciel de simulation proteus

Le programme Proteus est un logiciel de conception électronique utilisé principalement pour simuler des circuits électroniques. Il permet de concevoir des schémas, de simuler leur fonctionnement et de tester leur performance avant la fabrication réelle des circuits. Proteus est largement utilisé dans l'industrie électronique et l'éducation pour ses capacités de simulation précises et sa convivialité [6].

B. Présentation générale

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages.

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser
- Le support technique est performant

- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet

C. ISIS

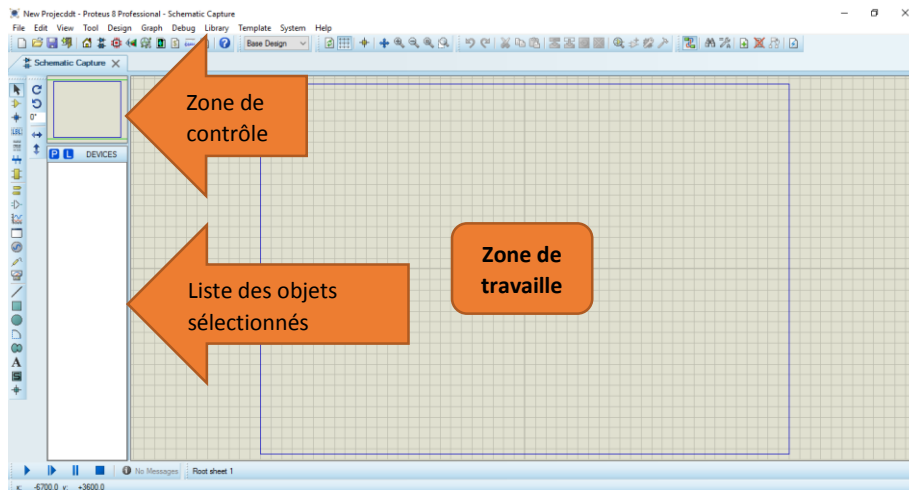


Figure 1: logiciel ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de détecter certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits [6]

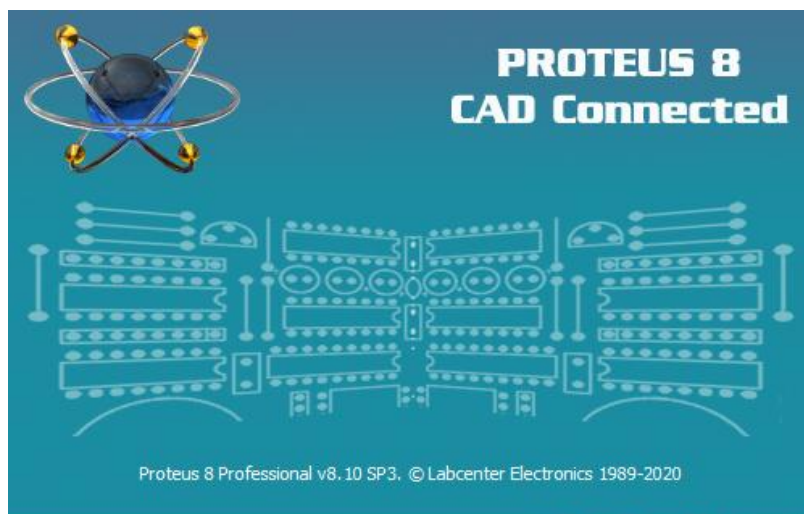


Figure 2: proteus

III. Mikroc

Il y a sur le marché plusieurs compilateurs C. Si on nous propose bien des compilateurs, ceux-ci sont payants et ne couvrent que le haut de la gamme des PIC. D'autres éditeurs proposent également des compilateurs dont certains sont très complets, livrés avec des bibliothèques simplifiant l'utilisation des périphériques du PIC. Malheureusement, ici encore c'est assez cher, jusqu'à plusieurs centaines d'euros pour un environnement de développement intégré couvrant l'essentiel de la gamme des PIC .

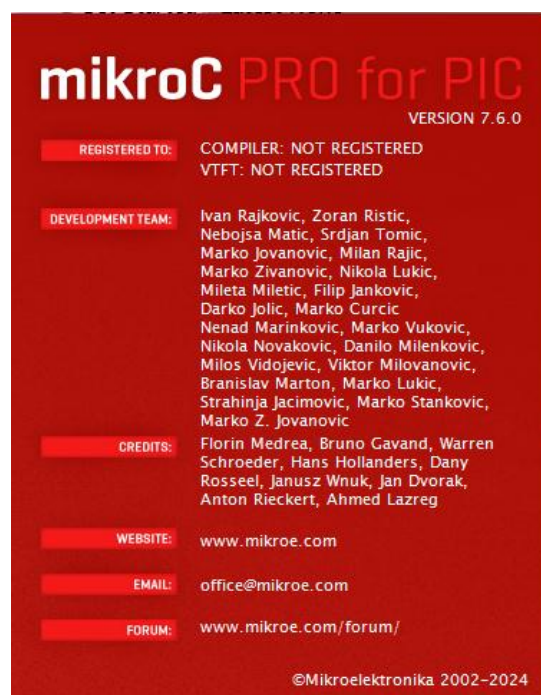


Figure 3: mikroc pro for pic

Heureusement il existe des alternatives moins onéreuses. Par exemple, en cherchant bien sur internet on peut dénicher des compilateurs freeware en ligne de commande. Notre choix s'est porté sur le compilateur MikroC de la société Mikroelektronika, pour les raisons suivantes : Il existe une version gratuite avec quelques limitations mineures (taille du code généré...) permettant de se prendre la main et de créer des applications personnelles et les versions payantes (à des tarifs très raisonnables) permettent de créer des applications commerciales d'avoir accès au code source des bibliothèques. MikroC est livré avec un environnement de développement intégré facilitant le développement d'applications. Et surtout, MikroC reste assez proche du matériel : on peut très facilement accéder à tous les bits d'un registre donné, et toutes les bibliothèques dont nous avons besoin y résident [9].

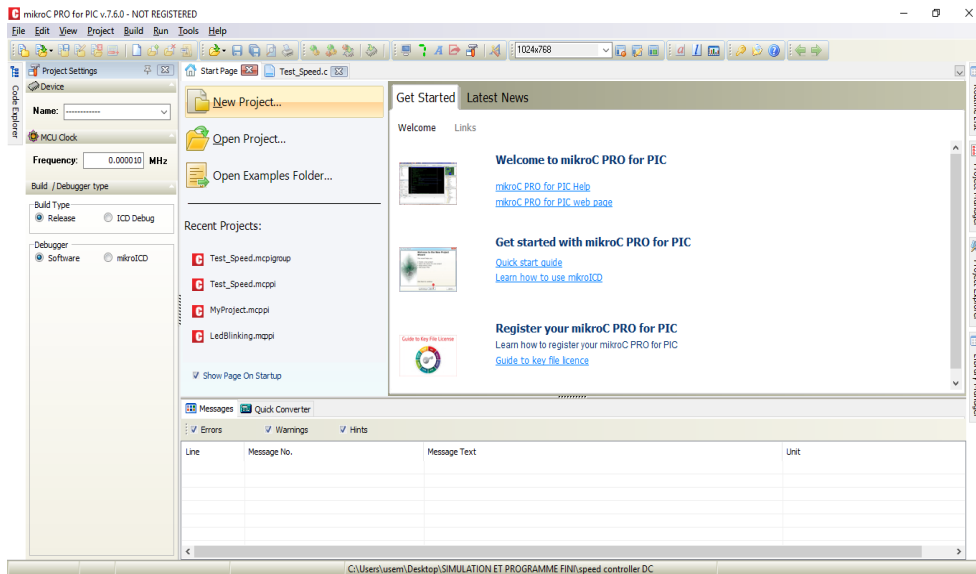


Figure 4: mikroC pro for pic

IV. Schéma de simulation de la carte de commande sous Proteus

Avant de passer à la réalisation pratique de notre système nous avons eu recours à la simulation des différentes parties du système. Pour cela on a utilisé le logiciel ISIS qui est un très bon logiciel de simulation en électronique. La figure (4.5) représente le schéma de la carte de commande réalisé.

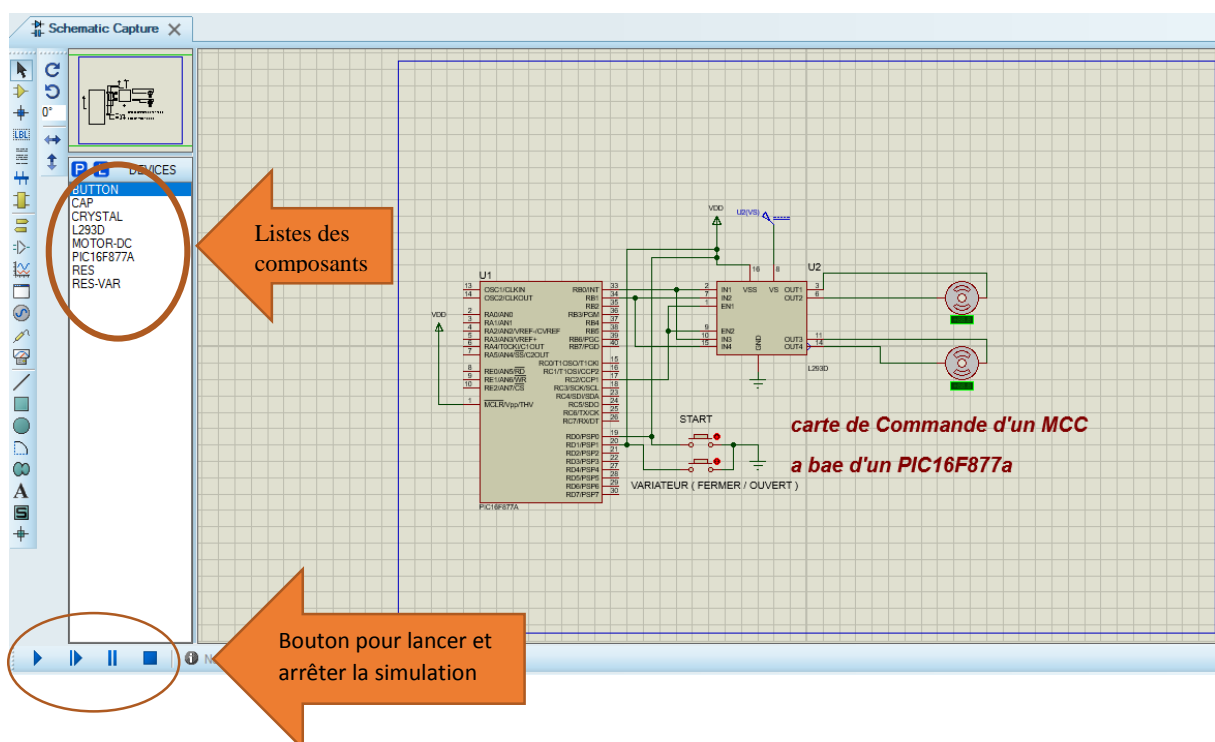


Figure 5: schéma électrique du montage

V. Tableau des différents composants électroniques utilisé


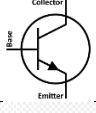

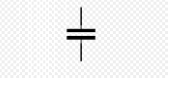

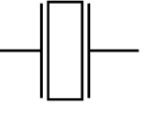

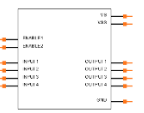
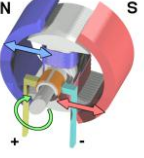


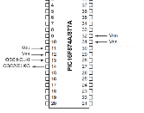

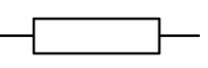

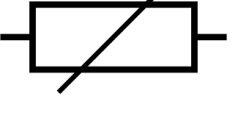
Composants	Forme	Symbole	Définition
Bouton poussoir			Dispositif de commande d'un appareil électrique destiné à être actionné manuellement et possédant un ressort de rappel
Capacité			Un condensateur est un composant électronique élémentaire, constitué de deux armatures conductrices (appelées « électrodes ») en influence totale et séparées par un isolant polarisable (ou « diélectrique »)
Cristal			Le quartz (cristal) est un oscillateur pour alimenter votre microcontrôleur en horloge de 16 MHz. Lorsque votre programme est lancé, cette horloge est utilisée pour permettre à la fonction « millis » de vous renvoyer le nombre de millisecondes délivrées depuis le démarrage de votre programme.
L293D			Le L293D est un double pont-H, ce qui signifie qu'il est possible de l'utiliser pour commander quatre moteurs distincts (dans un seul sens) grâce à ses 4 canaux.
Moteur DC			Le moteur à courant continu aussi appelé moteur CC, est un convertisseur de puissance qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique pour entraîner une charge en mouvement. Comme son nom l'indique, c'est un moteur alimenté par un courant continu.
Pic16F877A			Le PIC16F877A est un microcontrôleur à 8 bits de la famille des PIC (Peripheral Interface Controller) de Microchip Technology
Résistance			La résistance est une mesure de l'opposition appliquée au courant dans un circuit électrique. La résistance est mesurée en ohms, dont l'unité est symbolisée par la lettre grecque oméga (Ω).
Résistance variable			Une résistance variable est un composant électronique qui permet de régler la résistance électrique dans un circuit. Elle peut être ajustée manuellement pour modifier la quantité de courant qui passe à travers elle. La valeur de résistance variable de 1k peut varier entre 0 ohm et 1000 ohms (1K).

Tableau 1 : les différent composant utilisés

VI. Le L293D :

Définition :

Le L293D est un pilote de moteur intégré pour contrôler les moteurs à courant continu et les moteurs pas à pas. Il offre la possibilité de faire tourner les moteurs dans les deux sens tout en fournissant des fonctions de protection contre les surcharges et de contrôle de vitesse via la modulation de largeur d'impulsion (PWM).

Il utilise des transistors pour gérer le sens de rotation et la vitesse, avec une tension de fonctionnement jusqu'à 36 V et un courant de 600 mA par canal. Il comprend également des diodes de protection pour éviter les dommages causés par les courants inverses. Ce composant est souvent utilisé dans les projets de robotique pour assurer un contrôle précis des moteurs.

Les différentes applications du L293D :

Robot mobile : Utilisé pour contrôler les moteurs d'un robot à deux ou quatre roues, permettant la gestion du mouvement et du guidage.

Bras robotique : contrôle les moteurs qui déplacent les articulations du bras, fournissant des mouvements précis pour les tâches de manipulation.

Voiture télécommandée : Dans les modèles réduits, le L293D permet de contrôler la direction et la vitesse des moteurs.

Systèmes de portes automatiques : Utilisés pour déplacer ou faire coulisser des portes motorisées.

Appareils d'automatisation : Par exemple, systèmes de réglage des stores ou des rideaux motorisés. Projets de bricolage et éducatifs : souvent inclus dans les kits d'apprentissage pour l'apprentissage de la robotique et de l'électronique.

Moteurs pas à pas : utilisés pour contrôler les moteurs pas à pas dans les imprimantes 3D ou les machines CNC.

VII. Organigramme principale

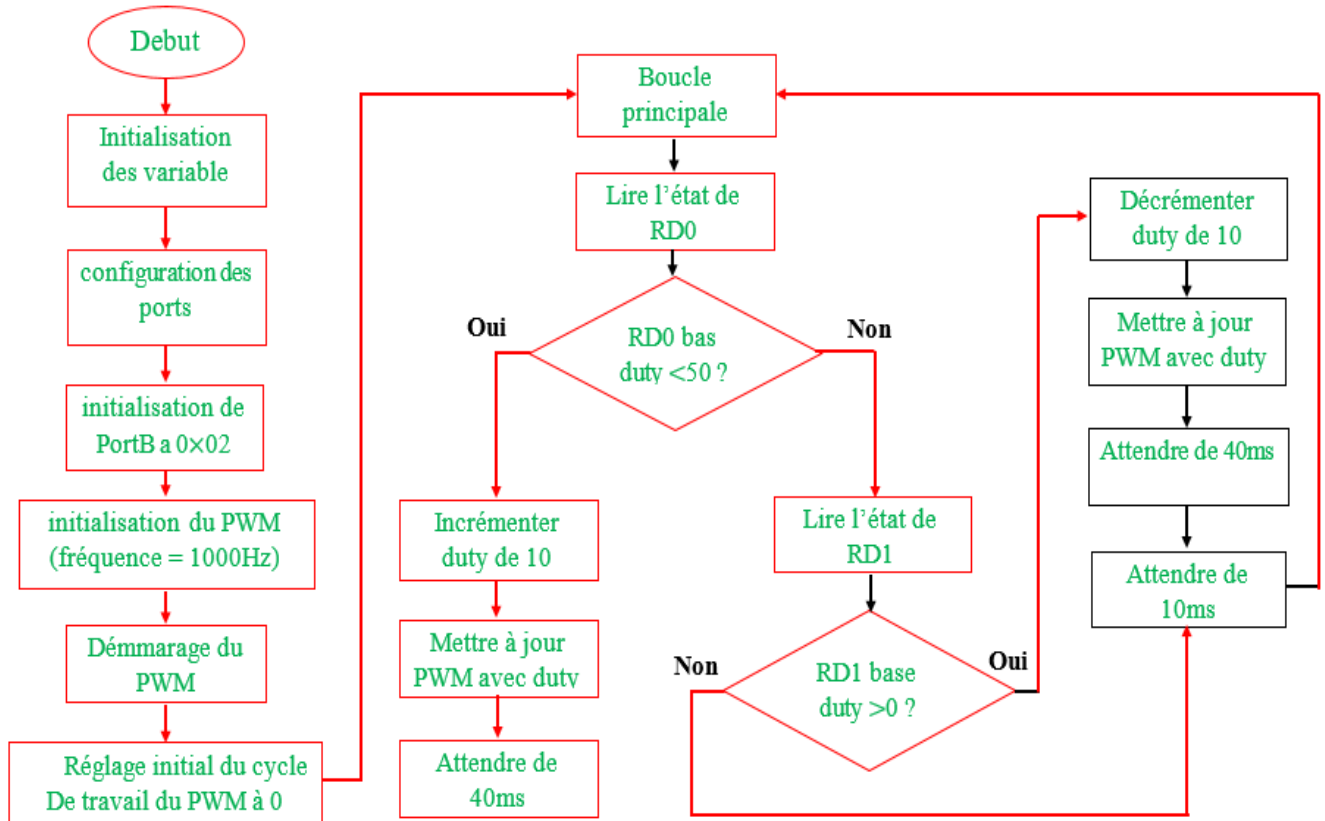


Figure 6: organigramme générale

VIII. Explications du Diagramme

Initialisation et Configuration

Le programme commence par initialiser la variable duty à 0.

Les ports sont configurés : PORTD en entrée, PORTC et PORTB en sortie.

PORTB est initialisé avec la valeur 0x02.

Initialisation et Démarrage du PWM

- Le PWM est initialisé avec une fréquence de 1000 Hz.

- Le PWM est démarré.

- Le cycle de travail du PWM est initialement réglé à 0.

Boucle Principale

La boucle principale s'exécute indéfiniment :

- Lecture de RD0 :

- Si RD0 est bas et que duty est inférieur à 50, alors duty est incrémenté de 10, le cycle de travail du PWM est mis à jour, et une attente de 40 ms est réalisée.

- Lecture de RD1 :

- Si RD1 est bas et que duty est supérieur à 0, alors duty est décrémenté de 10, le cycle de travail du PWM est mis à jour, et une attente de 40 ms est réalisée.

- Une attente supplémentaire de 10 ms est réalisée avant de recommencer la boucle.

Fin

- Le programme continue à exécuter cette boucle infiniment, ajustant dynamiquement le cycle de travail du PWM en fonction des états des broches RD0 et RD1.

Ce diagramme de flux montre clairement les étapes et les décisions prises dans le programme pour contrôler le cycle de travail du PWM en fonction des entrées sur les broches RD0 et RD1.

IX. Conclusion

Ce programme est un exemple simple mais efficace de l'utilisation d'un microcontrôleur pour contrôler un signal PWM basé sur des entrées numériques. En utilisant les broches RD0 ET RD1, le programme peut ajuster le cycle de travail du PWM, ce qui pourrait être utilisé pour moduler la vitesse d'un moteur, la luminosité d'une LED, ou toute autre application nécessitant un contrôle de puissance.

L'organigramme associé fournit une visualisation claire du flux logique du programme, facilitant ainsi la compréhension et le débogage du code. Ce type de schéma est particulièrement utile lors de la conception et de la documentation de système embarqué complexes.

Conclusion générale

L'objectif de ce projet est de concevoir, une carte de commande capable de répondre aux exigences industrielles en termes de performance et de fiabilité. En intégrant la méthode MLI, nous visons à améliorer la flexibilité et la précision des systèmes de commande de moteurs à courant continu, tout en optimisant leur efficacité énergétique. Ce projet apportera une contribution significative à l'évolution des technologies de commande et de contrôle dans le domaine des systèmes électriques et des machines industrielles.

Ce projet a également été une source de découverte dans la conduite de projet, il nous a donné une idée sur complémentarité entre théorie et pratique et nous a permis de nous confronter à la réalité et aux difficultés de la pratique.

[1] Projet de fin d'étude Thème "Elaboration d'un système de contrôle et de commande d'une unité de recyclage de sable de moulage".

Présenté par : BENDJAMAA NABIL Et DAHMANI ABDELKADER.

Promotion 2013/2014.

*Cahier de charge de sablerie au niveau de la société ALFET « <http://alfet-dz.com/> ».

[2] Exposé construction : Le moulage

Présenté par : RIBLET Nicolas & AUGELMANN David .PPT(power point)

[3] Rapport de stage (machine de moulage) Université ibn Khaldoun Tiaret 2009.

[4] L.P.T.I. Saint Joseph La Joliverie (Le moulage des métaux et polymères) PDF.

[5] BIGONOFF, La programmation des PICS, La gamme MID-RANGE par l'étude des 16F87X (16F876-16F877).

[6] T.BEN HADDADA, M. HAMAM, R. MAHJOUB. «Un robot suiveur de ligne», Rapport de projet de fin d'étude, Université Tunis-El Manar, 2009.

[7] A. AMRAOUI, Y. CHALA. « Réalisation D'un Robot mobile commandé à distance » Mémoire d'ingénieur d'état en électronique Biskra, Juin 2010.

[8] Les Microcontrôleurs PIC : Description et mise en œuvre, Christian TAVERNIER, Nouvelle présentation de la 2ème édition, DUNOD, 2002.

[9] Programmation En C Sur Carte "EASYPIC 2" du Microcontrôleur PIC 16F877 , Karim SAAD, 2007/2008.

[10] http://www.technologuepro.com/microcontroleur/Programmation_PIC_C_compiler.htm

[11] LANGAGE C (CCS Info pour les PICs) Philippe LETENNEUR -GRANVILLE -2003 – PDF.

[12] H.BUHLER Electronique de puissance, Dunod, 1989.

[13] Document Terminale STI Moteur à courant continu.

[14] Document Université de Savoie Licence EEA Module U6; Energie et convertisseurs d'énergie.

[15] Document AEG; Convertisseurs statiques; Variateurs de vitesse MINISEMI.

[16] Document Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique

[17] Mémoire d'ingénieur de l'institut de l'électronique de l'U.M.M.T.O "étude et réalisation d'un variateur de vitesse pour moteur à courant continu muni d'une protection en courant" proposé par M' SEDIKI.H.

[18] <http://www.bls.fr>

- [19] <http://www.chez.com>
- [20] <http://www.perso.orange.fr>
- [21] <http://www.microchip.com>
- [22] Cyril W. LANDER. Electronique de puissance, Me-Graw Hill, 1989.
- [23] Guy SEGUIER. Electronique de puissance, Sème édition, Dunod, 2001.
- [24] Hervé LABORNE. Convertisseurs assistés par un résean alternatif (Tome 1 et 2). Eyrolles, 1989-1992.
- [25] Guy SEGUIER. Les Convertisseurs de l'électronique de puissance, Dunod, 2004. Goumat BAYA. Etude harmonique des convertisseurs de puissance, 1995.
- [26] Nouri BELHOUCHE. Fonctionnement à fréquence en utilisant des technique com-mand avancées, 2011.
- [27] J. REDOUTEY. Circuit de commande en electronique de puissance.
- [28] SperkFun Electronique: Datasheet du LCD
- [29] Resekhrin LEMRAREK, Nadir MAATAR Conception d'une carte de commande de la machine a courant continu par un microcontrolleur PIC 161877, 2009.
- [30] MICROCHIP. Picmicro mid-range meu family reference mammal. 1997.
- [31] National Semiconductor: Datasheet LM741
- [32] C. JOSSIN, «bute de automatisaion »: Edition
- [33] Bacem JRAD «Support de Cours Systèmes Automatisés Version 2011-2012
- [34] H. BUYSE «coure les capteurs », Université catholique de Louvain
- [35] <http://fribotte.free.fr/bdtech/obstacle/obstacleir.html>
- [36] MICROCONTROLEURS Famille Mid-Range de Microchip LE PIC 16F876/877
- [37] Rapport de projet de fin d'études En vue d'obtention du diplôme : Licence appliquée en Sciences et technique d'information et de communications (LASTIC) Université Virtuelle de Tunis
- [38] http://www.sonelecmusique.com/electronique_theorie_optocoupleu
- [39] «http://www.sonelecmusique.com/electronique_theorie_reg_tension