



N° Ref:.....

Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme

de MASTER

Spécialité : Électromécanique

CONCEPTION D'UNE COMMANDE D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU

Réalisé par :

-DAAS Tarek

-BOUBLAT Abd Elhak

Soutenu devant le jury :

M. BOUCHENITFA Hichem

M. BAZI Ismail

Mme HADEF Souhila

Président

Examineur

Promoteur

Année universitaire : 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce travail modeste :

A mes très chers parents pour leur soutien moral et

Financier, pour leurs encouragements et

Les sacrifices qu'ils ont endurés,

Que Dieu les garde et les protège.

A mes frères et sœurs

A mes grandes familles

A tous mes collègues surtout ceux

D'Electromécanique, promotion 2020.

DAAS

Tarek

Dédicace

Avant tous : merci ALLAH.

***A mes chers parents à qui je dois tous mes respects et qui
M'ont beaucoup encouragé.***

Mes frères et ma sœur.

A toute la famille grande et petite.

A tous qui me donne la main de l'aide.

A Tout que me sont cher.

D'Electromécanique, promotion 2020.

BOUBLAT

Abd Elhak

Remerciement

*Avant tous, Nous remercions **ALLAH** de nous avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail.*

*✚ Nous tenons tout d'abord à remercier vivement le Dr
HADEF Souhilla, qui a manifesté sa disponibilité
entière pour nous aider, nous orienter,
aussi pour sa confiance et sa compréhension
qu'il nous a toujours prouvée.*

*✚ Nous voudrions également remercier les membres du jury
pour avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*✚ Nos vifs remerciements s'adressent également à tous
les membres de nos familles notamment
nos parents pour leur aide
et pour leur soutien précieux.*

*✚ Nous remercions tous nos collègues et toutes les personnes
qui ont contribué de près ou de loin, directement
ou indirectement à l'aboutissement de ce travail,
nous les remercions tous.*

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I / La Conversion DC/DC (Les hacheurs)

I.1	Introduction.....	2
I.2	Convertisseur DC/DC	2
I.2.1	Hacheurs non réversibles	3
I.2.1.1	Hacheur dévolteur ou série (Buck).....	3
I.2.1.1.1	Principe de fonctionnement	4
I.2.1.1.2	Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge	4
I.2.1.1.3	Analyse de fonctionnement en mode de conduction continue	5
I.2.1.1.4	Etude d'un hacheur série alimentant un moteur à courant continu	7
I.2.1.2	Hacheur parallèle (Boost).....	9
I.2.1.2.1	Principe de fonctionnement	10
I.2.1.2.2	Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge	10
I.2.1.2.3	Analyse de fonctionnement en mode de conduction continue	11
I.2.1.2.4	Etude du hacheur parallèle alimentant un moteur à courant continu	14
I.2.2	Hacheurs réversibles :	15
I.2.2.1	Hacheur réversible en courant (deux quadrants)	15
I.2.2.1.1	Analyse de Fonctionnement du hacheur réversible en courant	15
I.2.2.2	Hacheur réversible en tension (deux quadrants)	16
I.2.2.2.1	Analyse de fonctionnement du hacheur réversible en tension	17
I.2.2.2.2	Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge	17
I.2.2.3	Hacheur réversible en tension et en courant (quatre quadrants)	18
I.2.2.3.1	Analyse du fonctionnement en commande continue	19
I.3	La commande MLI (PWM).....	20
I.3.1	Technique de la commande MLI (PWM)	20
I.3.2	Principe de la commande MLI.....	21
I.4	Conclusion	22

Chapitre II / généralités sur les composants et les logiciels utilisés

II.1	Introduction.....	23
II.2	La machine à courant continu	23
II.2.1	Constitution.....	24
II.2.2	Principe de fonctionnement	24
II.2.3	Force contre électromotrice	25
II.2.4	Bilan de la puissance.....	25

II.2.5	Le rendement.....	26
II.2.6	Principe du variateur de vitesse pour un moteur à courant continu	26
II.2.7	Les avantages et les inconvénients des machines à courant continu	26
II.3	La carte Arduino	27
II.3.1	Qu'est-ce que c'est?	27
II.3.2	Présentation générale	27
II.3.3	Le modèle UNO	27
II.3.4	Constitution de la carte Arduino UNO	28
II.3.5	Avantage de la carte Arduino UNO	30
II.4	La carte Arduino et le MLI (PWM)	31
II.5	Logiciel Arduino IDE	32
II.5.1	Structure générale du programme IDE Arduino	32
II.6	Logiciel Proteus Isis.....	33
II.6.1	Définition	33
II.6.2	Communication entre Arduino IDE et logiciel Proteus	35
II.7	Conclusion	37

Chapitre III / Conception et Simulation de la commande

III.1	Introduction.....	38
III.2	Chaîne de programmation.....	38
III.3	Composants utilisés	39
III.3.1	Carte Arduino.....	39
III.3.2	Afficheur LCD	39
III.3.3	Potentiomètre	40
III.3.4	Moteur	40
III.3.5	Bouton poussoir	40
III.3.6	Transistor IRF540	41
III.3.7	L293D	41
III.4	Simulation du circuit par Proteus 8.4.....	42
III.4.1	1 ^{er} circuit commandé manuellement	42
III.4.1.1	Les courbes et résultats de simulation de 1 ^{er} circuit	42
III.4.2	2 ^{eme} Circuit commandé automatique	46
III.4.2.1	Les courbes et résultats de simulation de 2 ^{eme} Circuit.....	47
III.5	Interpretation.....	58
III.6	Conclusion	58
	Conclusion générale.....	59

NOMENCLATURE

DC: direct current

MLI: Modulation de la Largeur d'impulsion

PWM: Pulse-width modulation

MCC: Moteurs à courant continu

BJT: bipolair junction transistor

MOSFET: metal-oxide-semiconductor field-effect transistor

IGBT: Insulated-gate bipolar transistor

LCD: Liquid Crystal Display

IDE: integrated development environment

Hex: Hexadécimal

LA LISTE DES FIGURES

Figure	Nom de figure	Numéro de page
Figure.I.1	<i>Schéma synoptique d'un hacheur</i>	02
Figure.I.2	<i>Représentation générale des hacheurs non réversibles</i>	03
Figure.I.3	<i>Schéma d'un hacheur série</i>	03
Figure.I.4	<i>la tension aux bornes de la charge avec un hacheur série</i>	04
Figure.I.5	<i>Schéma équivalent pendant ($0 < t < \alpha T$)</i>	05
Figure.I.6	<i>Schéma équivalent pendant ($\alpha T < t < T$)</i>	06
Figure.I.7	<i>Schéma d'un hacheur série alimentant un MCC</i>	08
Figure.I.8	<i>Schéma de modèle électrique équivalent au circuit d'induit</i>	08
Figure.I.9	<i>Les formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur série</i>	09
Figure.I.10	<i>Schéma d'un hacheur parallèle (Boost)</i>	10
Figure.I.11	<i>la tension aux bornes de la charge avec un hacheur parallèle</i>	11
Figure.I.12	<i>Schéma équivalent pendant ($0 < t < \alpha T$)</i>	12
Figure.I.13	<i>Schéma équivalent pendant ($\alpha T < t < T$)</i>	13
Figure.I.14	<i>Schéma d'un hacheur parallèle alimentant un MCC</i>	14
Figure.I.15	<i>Les formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur parallèle</i>	14
Figure.I.16	<i>Schéma d'un hacheur réversible en courant</i>	15
Figure.I.17	<i>Formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur réversible en courant</i>	16
Figure.I.18	<i>Schéma d'un hacheur réversible en tension</i>	16
Figure.I.19	<i>Formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur réversible en tension</i>	17
Figure.I.20	<i>la tension aux bornes de la charge avec un hacheur réversible en tension</i>	18
Figure.I.21	<i>Schéma d'un hacheur réversible en tension et en courant</i>	18
Figure.I.22	<i>Quadrants de fonctionnement de la machine à courant continu</i>	19

Figure.I.23	<i>Formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur quatre quadrants</i>	20
Figure.I.24	<i>Réalisation du signal MLI</i>	21
Figure.II.1	<i>La carte Arduino UNO</i>	23
Figure.II.2	<i>Fonctionnement de machine à courant continu</i>	23
Figure.II.3	<i>Description de la machine à courant continu</i>	24
Figure.II.4	<i>Bilan de la puissance</i>	25
Figure.II.5	<i>Constitution de la carte Arduino UNO</i>	28
Figure.II.6	<i>les ports sont compatibles en mode MLI</i>	31
Figure.II.7	<i>Fenêtre générale de l'application Arduino</i>	32
Figure.II.8	<i>Structure générale du programme (IDE Arduino)</i>	33
Figure.II.9	<i>Présentation de l'interface Proteus</i>	34
Figure.II.10	<i>choisir le type de la carte Arduino UNO sur logiciel Proteus</i>	34
Figure.II.11	<i>Etape 1 choisir le type de la carte</i>	35
Figure.II.12	<i>Etape 2 transférer le programme en (.hex)</i>	36
Figure.II.13	<i>Etape3 télécharger le code de programme en Proteus</i>	36
Figure.III.1	<i>chaîne de programmation</i>	38
Figure.III.2	<i>Carte Arduino sur Proteus</i>	39
Figure.III.3	<i>Afficheur LCD</i>	40
Figure.III.4	<i>Potentiomètre</i>	40
Figure.III.5	<i>Moteur</i>	40
Figure.III.6	<i>Bouton poussoir</i>	41
Figure.III.7	<i>Le transistor TIP122</i>	41
Figure.III.8	<i>L293D</i>	41
Figure.III.9	<i>Le hacheur en pont H et leur commande</i>	42
Figure.III.10	<i>La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 0%</i>	43

<i>Figure.III.11</i>	<i>La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 25%</i>	<i>44</i>
<i>Figure.III.12</i>	<i>La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 50%</i>	<i>45</i>
<i>Figure.III.13</i>	<i>La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 75%</i>	<i>45</i>
<i>Figure.III.14</i>	<i>La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 100%</i>	<i>46</i>
<i>Figure.III.15</i>	<i>Circuit par L293D et leur commande</i>	<i>47</i>
<i>Figure.III.16</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 0%</i>	<i>48</i>
<i>Figure.III.17</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 25%</i>	<i>49</i>
<i>Figure.III.18</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 50%</i>	<i>50</i>
<i>Figure.III.19</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 75%</i>	<i>51</i>
<i>Figure.III.20</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 100%</i>	<i>52</i>
<i>Figure.III.21</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 0%</i>	<i>53</i>
<i>Figure.III.22</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 25%</i>	<i>54</i>
<i>Figure.III.23</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 50%</i>	<i>55</i>
<i>Figure.III.24</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 75%</i>	<i>56</i>
<i>Figure.III.25</i>	<i>La tension de sortie pour un rapport cyclique 100%</i>	<i>57</i>

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Au début des années 1880, de nombreux moteurs à courant continu et alternatif avaient été mis au point, l'obstacle majeur résidait dans la difficulté de leur démarrage ou dans la fragilité de leur commutateur mécanique, et la variation de leur vitesse.

Les moteurs à courant continu sont comme les alternateurs, des machines réversibles, c'est à dire qu'elles peuvent fonctionner indifféremment soit comme réceptrices (moteurs), soit comme génératrices (dynamos). De ces deux fonctionnements c'est la marche en réceptrice qui est de loin la plus importante.

Les réceptrices en revanche, sont très utilisées, le moteur à courant continu étant le moteur idéal pour les entraînements à vitesse variable.

De nombreux aspects du développement technologique ont contribué à faciliter la vie, que ce soit sur le plan industriel ou dans la vie quotidienne en le compensant avec des machines contrôlées grâce à plusieurs technologies, y compris la carte Arduino, qui nous permet de contrôler la fonctionnement de divers système, qui vont de projets simples tels que des thermomètres à des projets complexes tels que des robots, des imprimantes 3D et des autre application via des langages de programmation qui traduisent les demandes des utilisateurs aux tâches souhaitées.

Dans ce projet de fin d'étude, ont utilisé une carte d'acquisition dans le but de commander un DC moteur. Le système doit permettre à l'utilisateur de contrôler le sens et la vitesse de rotation, à travers une carte Arduino.

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons les différents types des convertisseurs DC-DC, leur fonctionnement et leur utilisation pour commander la vitesse des machines à courant continu (MCC) ainsi nous présentons la technique et le principe de la commande MLI.

Le deuxième chapitre est basé sur les composants électroniques qu'on a utilisés pour concevoir notre carte. Nous présentons les avantages de la carte Arduino, et les logiciels qui ont été utilisés et comment faire la communication entre eux.

Le troisième chapitre présente la simulation de projet sous logiciel Proteus.

Enfin, on terminera par une conclusion générale.

CHAPITRE I

LA CONVERSION DC/DC (LES HACHEURS)

I.1 Introduction

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu (DC-DC) permettant de délivrer une tension continue variable à partir d'une source de tension continue constante.

Avec une tension alternative, un simple transformateur permet de changer la tension d'un niveau à un autre. Mais dans le cas d'une tension continue, on doit avoir recours à une approche bien différente, en utilisant un hacheur.

Dans les hacheurs, la fréquence de commande peut être choisie librement puisque le récepteur est lui aussi un circuit à courant continu. On adopte généralement une fréquence nettement supérieure à celle du réseau industriel afin de réduire la taille des inductances et des capacités nécessaires pour filtrer les grandeurs d'entrée et de sortie. L'utilisation d'une fréquence élevée permet également de réduire le temps de réponse et le bruit acoustique du convertisseur [1].

Ce convertisseur permet de convertir une tension continue fixe U en une tension continue réglable V , par le biais d'un signal de commande U_{com} comme de rapport cyclique variable (Figure.I.1) [1].

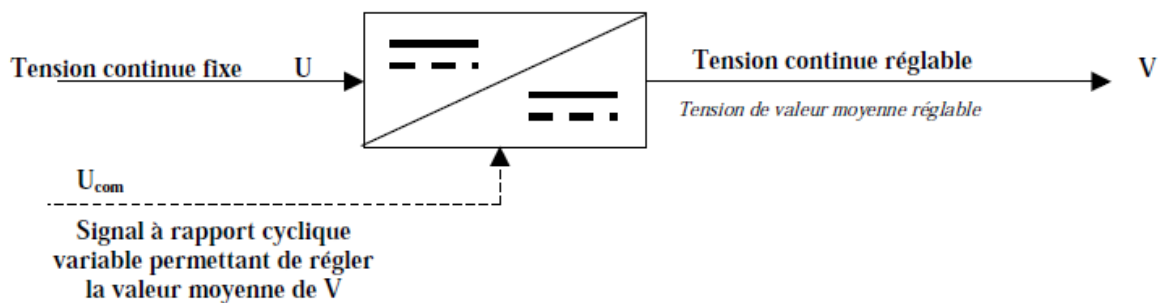


Figure.I.1: Schéma synoptique d'un hacheur

I.2 Convertisseur DC/DC

Un convertisseur continu-continu est un hacheur, qui permet d'alimenter une charge sous tension réglable à partir d'une tension continue constante.

Pour varier la tension, il suffit de varier la valeur moyenne de la tension de sortie en découpant la tension de source. Cela est possible en commandant l'ouverture et la fermeture des interrupteurs électroniques.

Les interrupteurs principaux utilisés dans les hacheurs sont du type commandé à l'ouverture et à la fermeture qui fonctionnent donc en régime de commutation, ils s'ouvrent et se ferment périodiquement à une fréquence de hachage. Ils peuvent être soit des thyristors muni de circuit extérieur d'extinction, ou des transistors (BJT, MOSFET, IGBT, ...) selon le cahier de charge exigeant les fréquences et les puissances mises en jeu.

Selon le parcours de l'énergie électrique entre la source et la charge, on distingue deux catégories de hacheurs : réversibles et non réversibles

I.2.1 Hacheurs non réversibles

Ce sont des structures qui n'assurent pas la réversibilité, ni en tension, ni en courant. L'énergie ne peut donc transférer que de la source vers la charge.

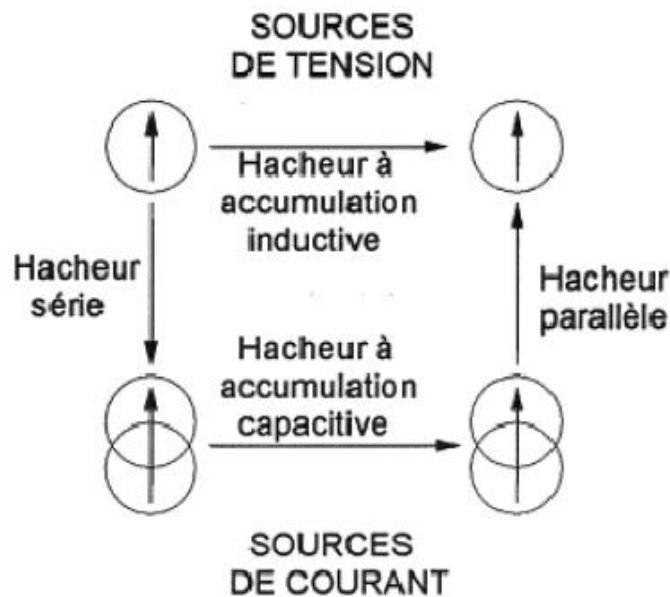


Figure.I.2 : Représentation générale des hacheurs non réversibles

I.2.1.1 Hacheur dévolteur ou série (Buck)

Le hacheur série est un convertisseur direct DC-DC abaisseur tension. La source d'entrée est de type tension continue et la charge de sortie continue est de type source de courant (Figure.I.3).

Il comporte un interrupteur à amorçage et blocage commandé, transistor bipolaire ou IGBT noté interrupteur K, et un interrupteur à blocage et amorçage spontanés 'diode D'.

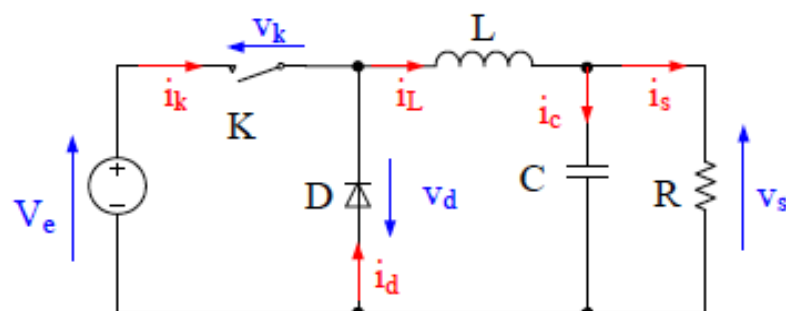


Figure.I.3 : Schéma d'un hacheur série [2]

I.2.1.1.1 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du hacheur série se déduit de l'analyse du comportement de l'interrupteur **K**. Le cycle de fonctionnement, de période de hachage ($T = 1/f$), comporte deux étapes. Lors de la première étape, on rend l'interrupteur **K** passant et la diode polarisée en inverse, donc il est bloquée. Cette phase dure de ($0 < t < \alpha T$). Lors de la seconde étape on bloque l'interrupteur et la diode devient passante, on a alors $i_K = 0$ et le courant circule à travers la diode D (appelée diode de roue libre). Tant que la diode conduit, soit tant que le courant i_S est non nul. Cette phase dure de ($\alpha T < t < T$).

Avec α et le rapport cyclique compris entre 0 et 1, il est défini comme le temps t_{ON} pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage T (période de hachage): $\alpha = \frac{t_{ON}}{T}$.

I.2.1.1.2 Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge

$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \times A$$

Avec **A** : aire située sous la courbe.

$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \times \alpha T \times V_{CC}$$

$$\langle u \rangle = \alpha V_{CC}$$

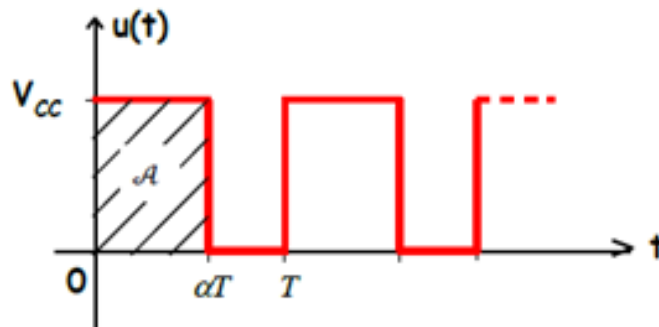


Figure.I.4 : La tension aux bornes de la charge avec un hacheur série

Ou bien :

$$\begin{aligned} V_{S \text{ moy}} = \langle V_S \rangle &= \frac{1}{T} \int_0^T V_S(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} V_{CC}(t) dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T 0 dt \end{aligned}$$

$$V_{S\text{ moy}} = \langle V_S \rangle = \frac{1}{T} V_{CC} (\alpha T - 0)$$

$$\langle V_S \rangle = \alpha V_{CC} \quad (\text{I. 1})$$

I.2.1.1.3 Analyse de fonctionnement en mode de conduction continue

On va effectuer l'étude de régimes de fonctionnement où le courant ne s'annule pas au cours de la période, on est alors en conduction continue.

- **Première séquence de conduction ($0 < t < \alpha T$)**

A $t = 0$ on ferme l'interrupteur **K**, la diode **D** est bloquée. Le schéma équivalent du circuit est le suivant :

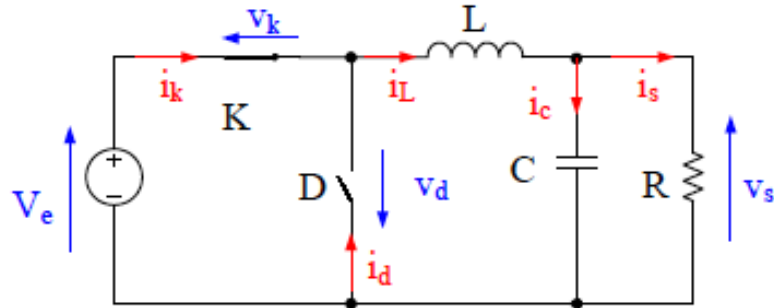


Figure.I.5 : Schéma équivalent pendant ($0 < t < \alpha T$)

Dans cette phase la variation du courant dans l'inductance est donnée par l'équation suivante :

$$V_e(t) = V_k(t) + V_L(t) + V_s(t)$$

On a $V_k(t) = 0$

$$V_e(t) = V_L(t) + V_s(t)$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_e(t) - V_s(t)$$

D'après la solution de l'équation du premier ordre, nous obtenons :

$$i_L(t) = \frac{V_e - V_s}{L} \cdot t + C$$

Pour $t = 0$ $i_L(0) = C = I_{L\text{ min}}$: courant minimal

Donc

$$i_L(t) = \frac{V_e - V_s}{L} \cdot t + I_{L\text{ min}} \quad (\text{I. 2})$$

Pour $t = \alpha T$

$$i_L(\alpha T) = \frac{V_e - V_s}{L}(\alpha T) + I_{L \min} = I_{L \max} \quad (\text{I. 3})$$

L'ondulation du courant Δi_L se détermine à partir de l'équation (I. 3) par l'expression suivante :

$$\Delta i_L = I_{L \max} - I_{L \min} = \frac{V_e - V_s}{L}(\alpha T) \quad (\text{I. 4})$$

➤ **Deuxième séquence de conduction** ($\alpha T < t < T$)

A $t = \alpha T$ on ouvre l'interrupteur **K**, la diode **D** devient conductrice. Le schéma équivalent du circuit est le suivant :

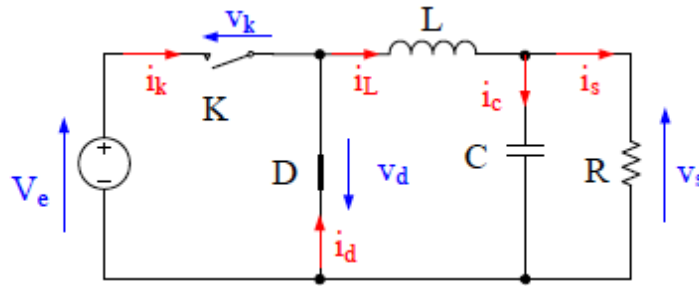


Figure.I.6 : Schéma équivalent pendant ($\alpha T < t < T$)

Dans cette phase la variation du courant dans l'inductance est donnée par l'équation suivante :

$$V_d(t) + V_L(t) + V_s(t) = 0$$

On a : $V_d(t) = 0$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = -V_s(t)$$

A partir de la solution de l'équation du premier ordre, nous obtenons :

$$i_L(t) = \frac{-V_s}{L}(t - \alpha T) + C$$

Pour $t = \alpha T$ $i_L(\alpha T) = C = I_{L \max}$: courant maximal

Donc :

$$i_L(t) = \frac{-V_s}{L}(t - \alpha T) + I_{L \max} \quad (\text{I. 5})$$

Pour $t = T$

$$i_L(t) = \frac{-V_s}{L}(t - \alpha T) + I_{Lmax} = I_{Lmin} \quad (I. 6)$$

L'ondulation du courant Δi_L se détermine à partir de l'équation (1. 6) par l'expression suivante :

$$\Delta i_L = I_{Lmax} - I_{Lmin} = \frac{V_s}{L} (1 - \alpha)T \quad (I. 7)$$

A partir de les équations (I. 4) et (I. 7) on déduit

$$\Delta i_L = \frac{V_e - V_s}{L} (\alpha T) = \frac{V_s}{L} (1 - \alpha)T$$

Donc :

$$V_s = \alpha V_e \quad (I. 8)$$

- **Courant moyen dans l'inductance**

Le courant moyen dans l'inductance doit être égal le courant dans la charge.

Donc

$$I_{Lmoy} = I_s = \frac{V_s}{R} \quad (I. 9)$$

- **Tension moyenne dans l'inductance [3]**

$$V_{Lmoy} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T L di_L(t) dt = \frac{L}{T} [i_L(t)]_0^T$$

$$V_{Lmoy} = i_L(T) - i_L(0) = 0 \quad (I. 10)$$

I.2.1.1.4 Etude d'un hacheur série alimentant un moteur à courant continu

Le hacheur série permet de faire varier la vitesse de rotation des moteurs à courant continu. On rappelle que la vitesse d'un tel moteur est proportionnelle à la tension d'alimentation d'induit

a) Montage

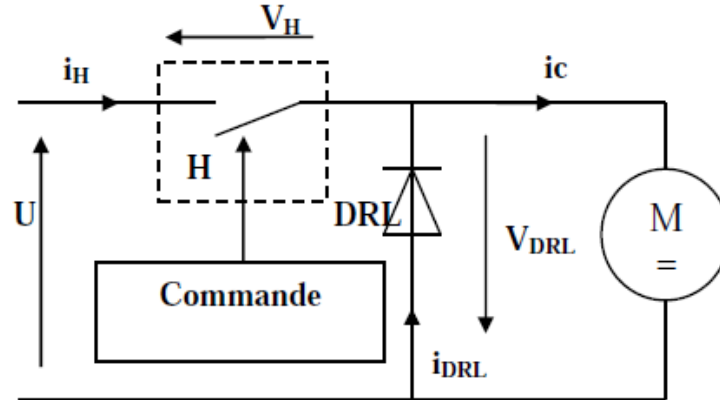


Figure.I.7 : Schéma d'un hacheur série alimentant un MCC

On peut dessiner le modèle électrique ci-dessous, équivalent au circuit d'induit, où E est sa force électromotrice, R est la résistance d'induit et L son inductance.

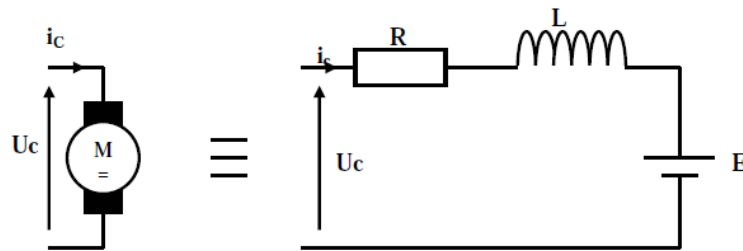


Figure.I.8 : Schéma de modèle électrique équivalent au circuit d'induit [4]

b) Analyse du fonctionnement

- $0 < t < \alpha T$ H est fermé.

La diode de roue libre DRL est polarisée en inverse

DRL bloquée, $i_{DRL} = 0$

Donc : $I_H = i_c$, $V_H = 0$

$$U = U_c = E + Ri_c + L \frac{di_c}{dt} \quad (I. 11)$$

- $\alpha T < t < T$ H est ouvert.

La diode de roue libre DRL assure la continuité du courant dans la charge et protège le hacheur H contre les surtensions, DRL passante et $i_{DRL} = i_c$

Donc : $I_H = 0$, $V_H = U$

$$U_C = 0 = E + Ri_C + L \frac{di_C}{dt} \quad (\text{I. 12})$$

Hypothèse simplificatrice: en général, R est très faible et on suppose la chute de tension U_R nulle.

Ainsi :

L'équation (I. 11) devient $U = U_C = E + L \frac{di_C}{dt}$

L'équation (I. 12) devient $U_C = 0 = E + L \frac{di_C}{dt}$

Remarque : si on néglige R , on assimile les portions de courbe réelles à des droites.

c) Chronogrammes [5]

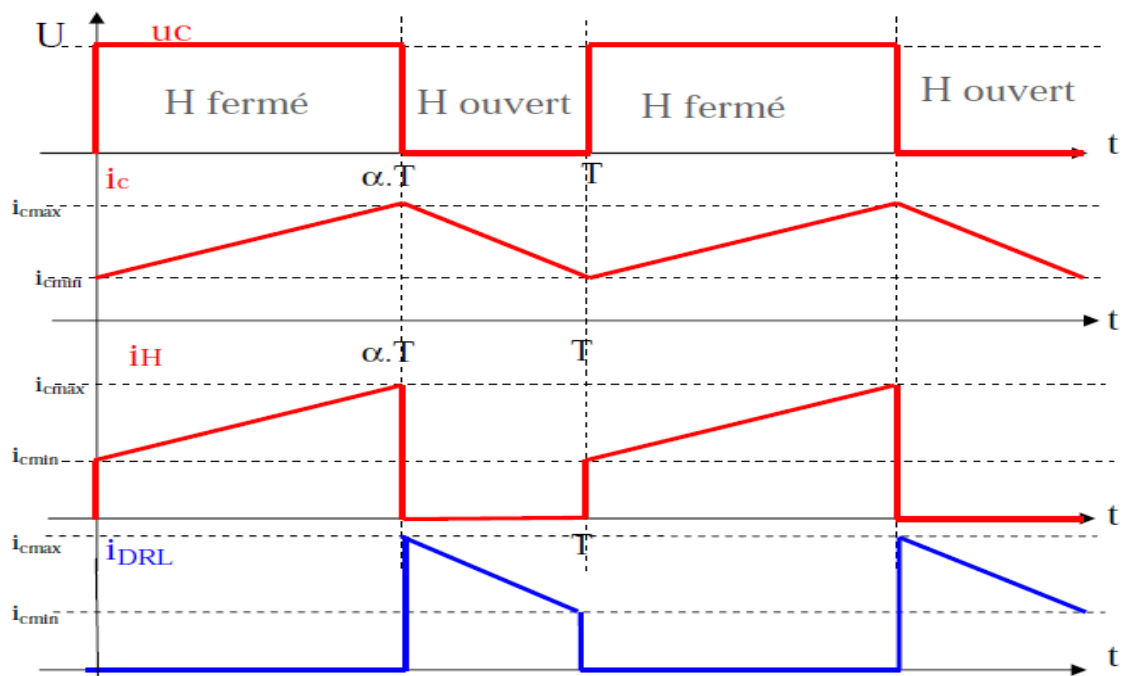


Figure.I.9 : Les formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur série

I.2.1.2 Hacheur parallèle (Boost)

Le hacheur parallèle est un convertisseur direct DC–DC élévateur de tension. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive).

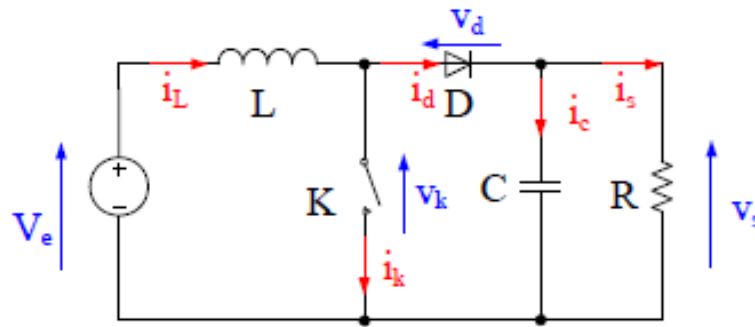


Figure.I.10 : Schéma d'un hacheur parallèle (Boost) [2]

I.2.1.2.1 Principe de fonctionnement

Lors de la première partie du cycle de fonctionnement, de 0 à αT , l'interrupteur commandé est fermé (passant). Cette fois, la source et la charge ne sont pas en contact durant cette phase, la diode est alors bloquée.

Lors de la seconde partie du cycle, de αT à T , on ouvre l'interrupteur commandé et la diode devient passante. C'est alors que la source et la charge sont reliées.

- **Phase 1** : Lorsque l'interrupteur **K** est fermé, la diode **D** est polarisée en inverse ($V_d = -V_s$) ; la charge est donc isolée de la source. La source fournit de l'énergie à l'inductance **L**.
- **Phase 2** : Lorsque l'interrupteur **K** est ouvert, l'étage de sortie (condensateur + charge) reçoit de l'énergie de la source et de l'inductance **L**.

I.2.1.2.2 Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge

$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \times A$$

Avec **A** : aire située sous la courbe.

$$\langle u \rangle = \frac{1}{T} \times (T - \alpha T) \times U$$

$$\langle v \rangle = (1 - \alpha) \times U$$

$$U = \frac{\langle v \rangle}{1 - \alpha}$$

$U \geq \langle v \rangle$: Le hacheur parallèle est élévateur de tension

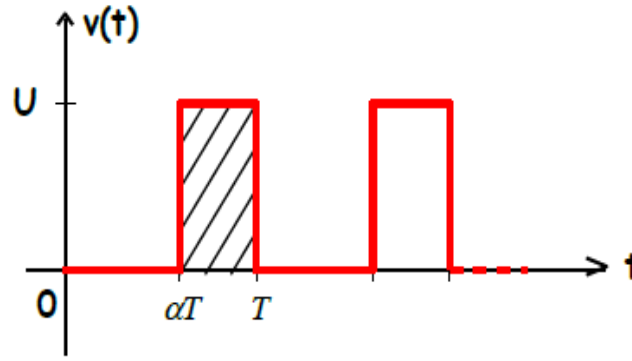


Figure.I.11 : La tension aux bornes de la charge avec un hacheur parallèle

On obtient tout simplement la relation entre V_e et V_s en considérant que la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance L (V_L) est nulle.

$$V_{Lmoy} = \langle V_L \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} V_e(t) dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T (V_e - V_s)(t) dt$$

$$V_{Lmoy} = \alpha V_e + (V_e - V_s)(1 - \alpha)$$

En régime permanent, la tension moyenne aux bornes de l'inductance L est nulle. Par conséquent :

$$\langle V_L \rangle = \alpha V_e + (V_e - V_s)(1 - \alpha) = 0$$

$$V_e - V_s(1 - \alpha) = 0$$

$$V_e = V_s(1 - \alpha)$$

Finalement
$$V_s = \frac{V_e}{(1 - \alpha)} \quad (I. 13)$$

I.2.1.2.3 Analyse de fonctionnement en mode de conduction continue

Dans ce mode de fonctionnement, le courant dans l'inductance ne s'annule pas.

- **Première séquence de conduction ($0 < t < \alpha T$)**

Pendant cette phase, l'interrupteur **K** est fermé et la diode **D** est bloquée. Le schéma équivalent du circuit est le suivant :

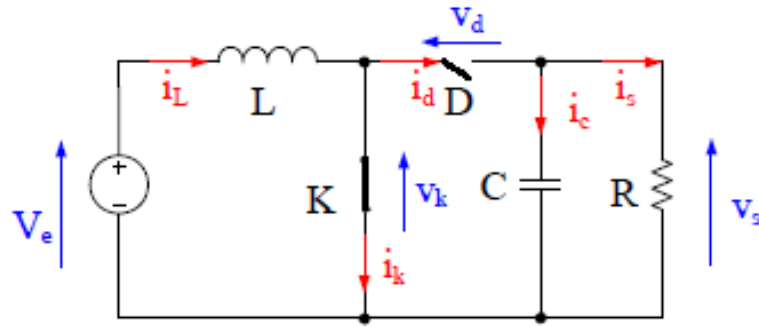


Figure.I.12 : Schéma équivalent pendant $(0 < t < \alpha T)$

Dans cette phase la variation du courant dans l'inductance est donne par l'équation suivant :

$$V_e(t) = V_k(t) + V_L(t)$$

On a: $V_k(t) = 0$

$$V_e(t) = V_L(t)$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_e(t)$$

Cette équation est une équation différentielle du premier ordre a coefficient constant
La solution de Cette équation différentielle est :

$$i_L(t) = \frac{V_e}{L} (t) + C$$

Pour $t = 0$ $i_L(0) = C = I_{L \min}$: courant minimal

Donc

$$i_L(t) = \frac{V_e}{L} (t) + I_{L \min} \quad (\text{I. 14})$$

Récapitulatif des relations pour la première phase

$$V_L(t) = 0$$

$$i_L(t) = 0$$

$$V_L(t) = V_e(t)$$

$$i_L(t) = \frac{V_e}{L} (t) + I_{L \min}$$

- Deuxième séquence de conduction ($\alpha T < t < T$)

Pendant cette phase, l'interrupteur **K** est bloquée et la diode **D** est fermée. Le schéma équivalent du circuit est le suivant :

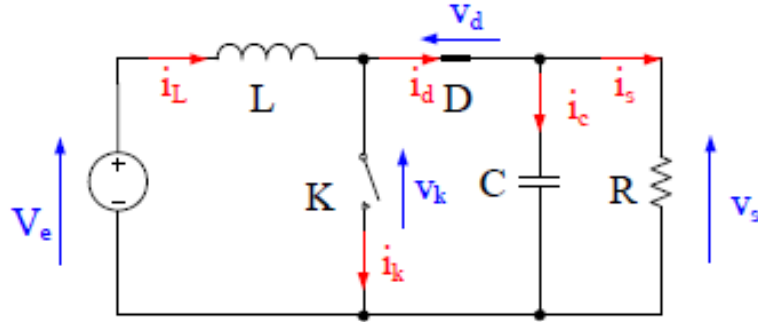


Figure.I.13 : Schéma équivalent pendant ($\alpha T < t < T$)

Dans cette phase la variation du courant dans l'inductance est donne par l'équation suivant :

$$V_e(t) = V_s(t) + V_L(t)$$

$$V_e(t) = V_s(t) + L \frac{di_L(t)}{dt}$$

Cette équation est une équation différentielle du premier ordre a coefficient constant
La solution de Cette équation différentielle est :

$$i_L(t) = \frac{V_e - V_s}{L} (t - \alpha T) + C$$

Pour $t = \alpha T$ $i_L(\alpha T) = C = I_{L \max}$: courant maximal

Donc :

$$i_L(t) = \frac{V_e - V_s}{L} (t - \alpha T) + I_{L \max} \quad (\text{I. 15})$$

Récapitulatif des relations pour la première phase

$$V_k(t) = V_s(t)$$

$$V_L(t) = V_e(t) - V_s(t)$$

$$i_L(t) = \frac{V_e - V_s}{L} (t - \alpha T) + I_{L \max}$$

I.2.1.2.4 Etude du hacheur parallèle alimentant un moteur à courant continu

a) Montage

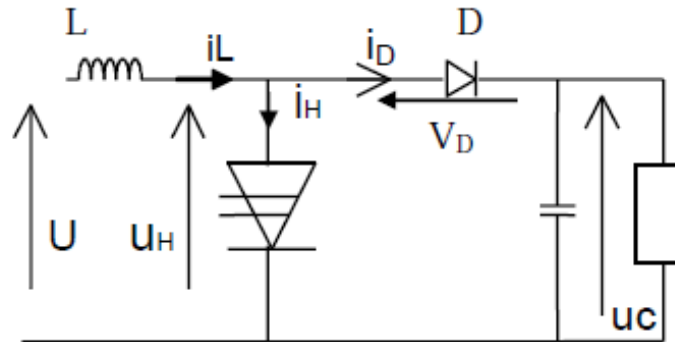


Figure.I.14 : Schéma d'un hacheur parallèle alimentant un MCC

b) Chronogrammes [5]

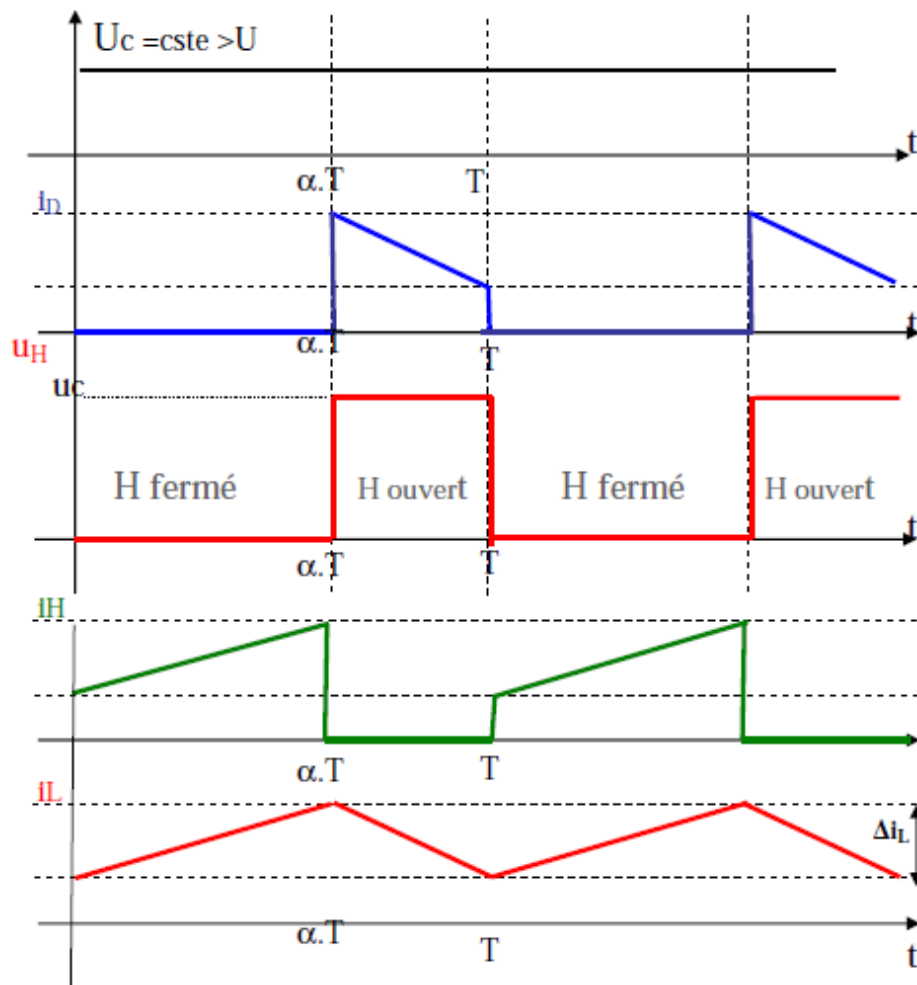


Figure.I.15 : Les formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur parallèle

I.2.2 Hacheurs réversibles :

Un hacheur est réversible s'il permet de commander le transfert d'énergie dans les deux sens. D'après la nature des sources entre lesquelles il est placé et la ou les grandeurs qu'il permet d'inverser, il existe plusieurs types de hacheurs réversibles.

I.2.2.1 Hacheur réversible en courant (deux quadrants)

Dans ce système, le changement du sens de parcours de l'énergie est lié au changement de signe du courant alors que la tension reste de signe constant.

Nous allons reprendre la structure du hacheur série classique par des interrupteurs réversibles en courant.

Nous avons modifié la charge (inutile de demander à une résistance de se transformer en génératrice...) en prenant une machine à courant continu qui peut, sous tension constante, fonctionner en génératrice ou en moteur. [5]

On obtient donc la structure suivante:

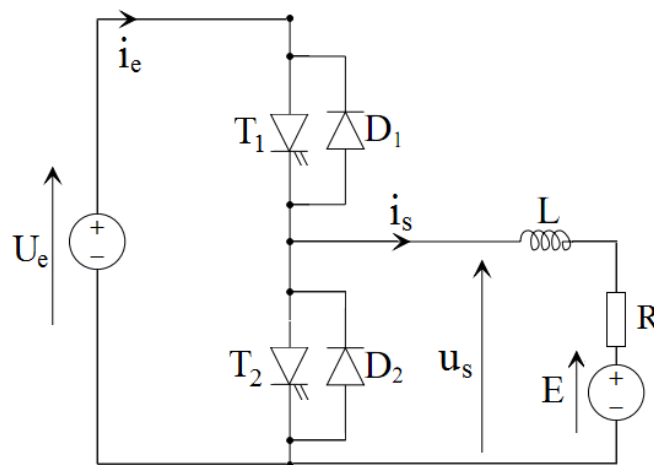


Figure I.16 : Schéma d'un hacheur réversible en courant

I.2.2.1.1 Analyse de Fonctionnement du hacheur réversible en courant

Tant que le courant i_s est positif, T_1 et D_2 assurent le fonctionnement du hacheur en conduisant à tour de rôle comme nous l'avons expliqué précédemment.

Si i_s vient à s'annuler puis changer de signe, alors, dès que l'on détecte le passage par 0, on lance la commande de T_2 . C'est alors T_2 et D_1 qui assurent à tour de rôle la conduction.

➤ Formes d'ondes :

La figure (2.4) présente les allures des grandeurs : $u_s(t)$, $i_s(t)$ et $i_e(t)$

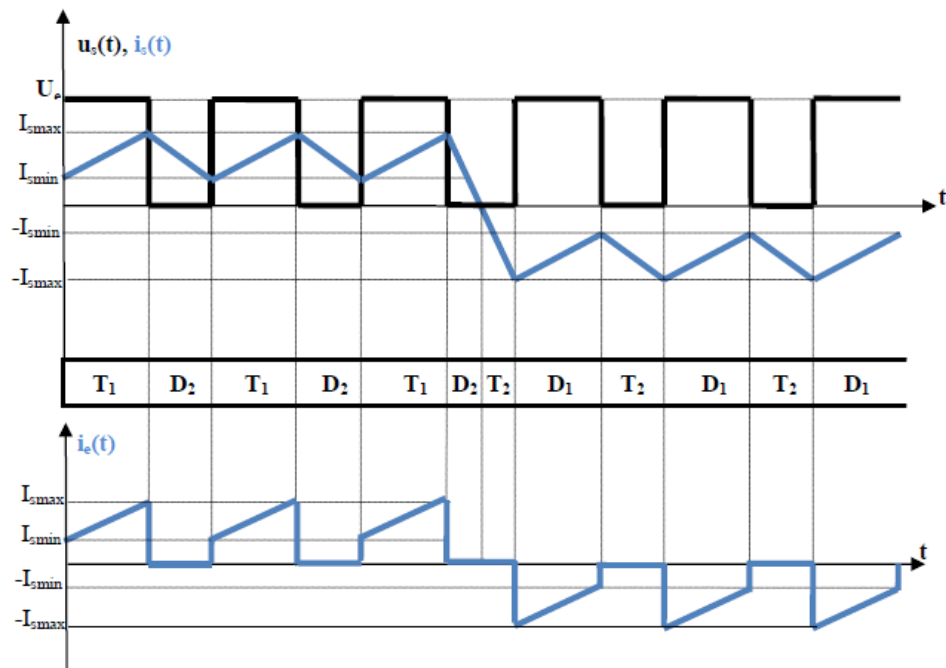


Figure I.17 : Formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur réversible en courant

I.2.2.2 Hacheur réversible en tension (deux quadrants)

La tension appliquée à la charge peut prendre les valeurs $+V_o$ ou $-V_o$, ce qui permet, suivant la valeur du rapport cyclique de donner une valeur moyenne de tension de sortie positive ou négative. En revanche, le courant doit rester de signe constant dans la charge, car les interrupteurs ne sont pas réversibles. [5]

La charge est formée par une machine à courant continu. Cette dernière fonctionne sous un courant toujours de même signe.

On obtient donc la structure suivante:

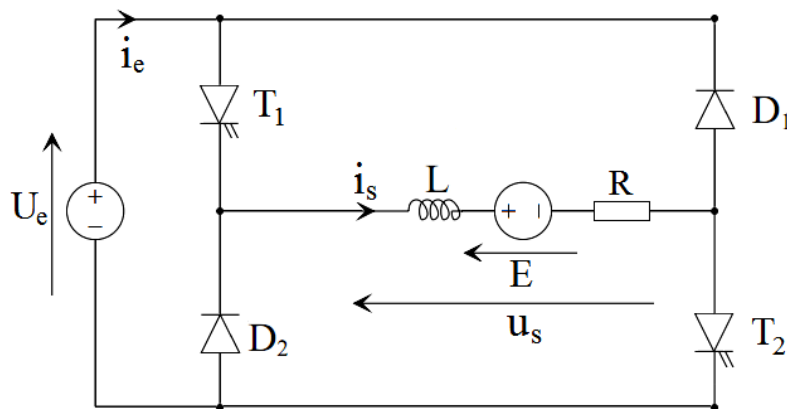


Figure I.18 : Schéma d'un hacheur réversible en tension

I.2.2.2.1 Analyse de fonctionnement du hacheur réversible en tension

Lors de la première phase de fonctionnement, dans l'intervalle de temps $[0, \alpha T]$ les deux interrupteurs commandés T_1 et T_2 sont fermés et les diodes D_1 et D_2 ouvertes. La charge est sous tension $+U_e$.

Lors de la seconde phase de fonctionnement, dans l'intervalle de temps $[\alpha T, T]$, les interrupteurs commandés sont ouverts et les diodes passantes. La charge est sous tension $-U_e$.

➤ Formes d'ondes :

La figure 2.2 présente les allures des grandeurs : $u_s(t)$, $i_s(t)$ et $i_e(t)$

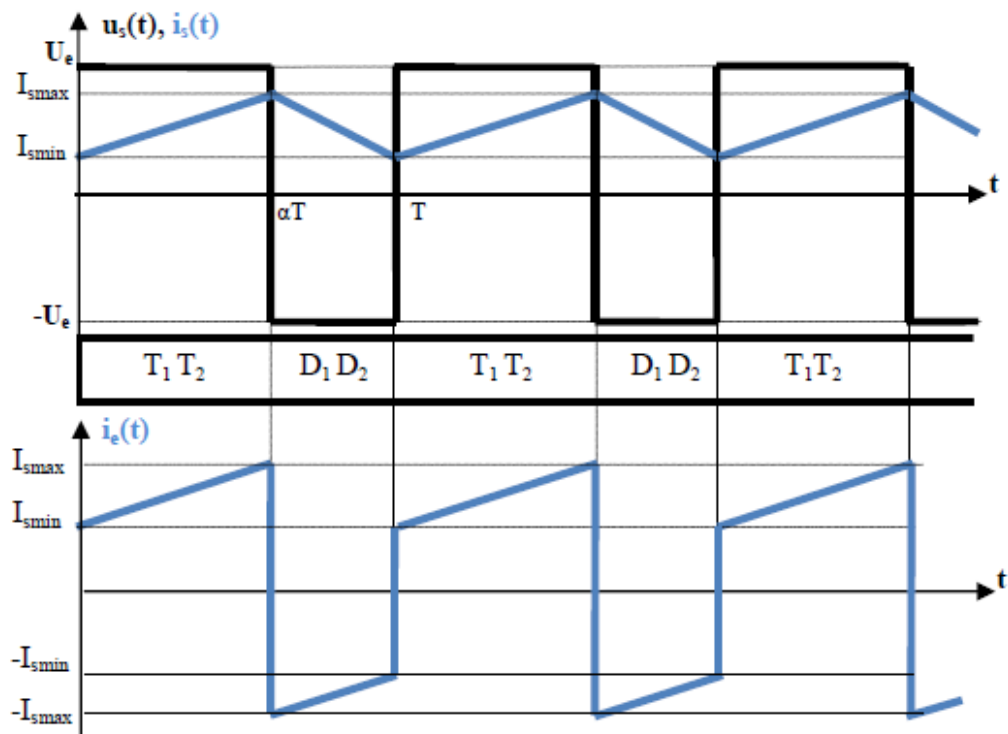


Figure.I.19 : Formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur réversible en tension

I.2.2.2.2 Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge

La méthode des aires :

$$\langle U_c \rangle = \frac{1}{T} (A_+ - A_-)$$

$$\langle U_c \rangle = \frac{1}{T} (E \cdot \alpha T - E(1 - \alpha)T)$$

$$\langle U_c \rangle = (2\alpha - 1)E \quad (I. 16)$$

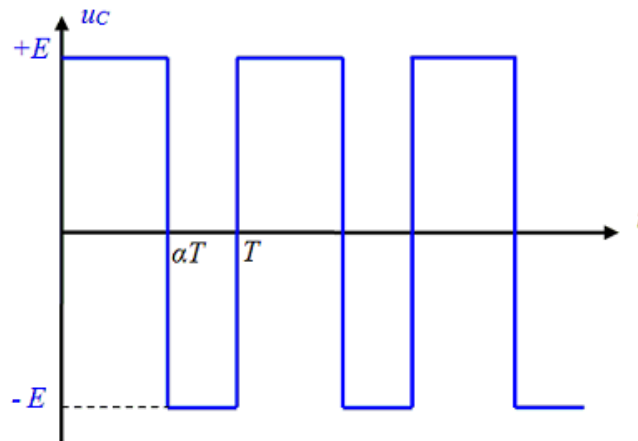


Figure.I.20 : La tension aux bornes de la charge avec un hacheur réversible en tension

Cette tension est donc réglable de $-E$ à $+E$

Si α est supérieur à 0.5, alors, la tension moyenne de sortie est **positive**. En revanche, dans le cas où le rapport cyclique est inférieur à 0,5 la tension moyenne de sortie est **négative**.

I.2.2.3 Hacheur réversible en tension et en courant (quatre quadrants)

On reprend la structure du hacheur réversible en tension que nous venons de donner en remplaçant les interrupteurs par des interrupteur réversibles-en courant. Dans ce cas, le courant dans la charge peut changer de signe.

Comme pour le hacheur simplement réversible en courant, ce sera la diode ou le transistor qui sera passant, suivant le signe du courant dans l'interrupteur.

On obtient donc la structure suivante:

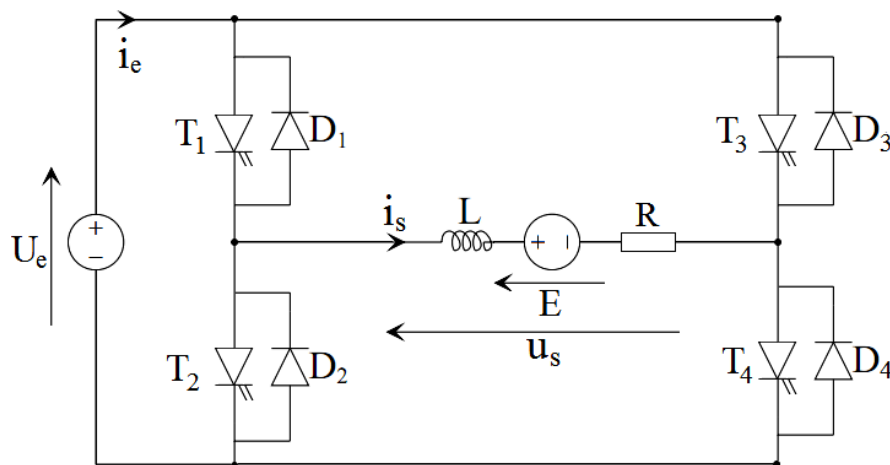


Figure I.21 : Schéma d'un hacheur réversible en tension et en courant

- Les quatre quadrants de fonctionnement de la machine CC

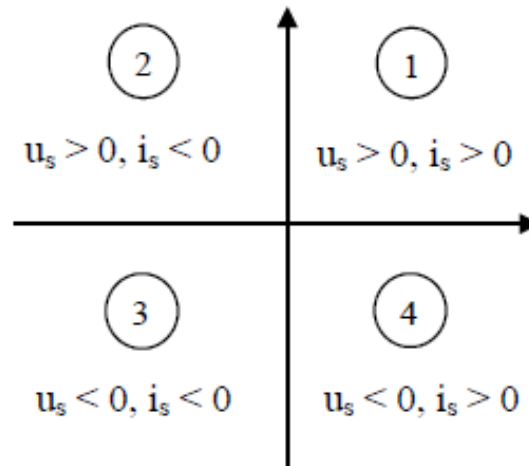


Figure I.22: Quadrants de fonctionnement de la machine à courant continu

I.2.2.3.1 Analyse du fonctionnement en commande continue

Pour $0 \leq t < \alpha T$, on commande la fermeture de **K1** et **K4** donc $U_s = U_e$:

- Si $i_s > 0$, le courant circule par **T1** et **T4**.
- Si $i_s < 0$, le courant circule par **D1** et **D4**.

Pour $\alpha T \leq t < T$, on commande la fermeture de **K2** et **K3** donc $U_s = -U_e$:

- Si $i_s > 0$, le courant circule par **D2** et **D3**.
- Si $i_s < 0$, le courant circule par **T2** et **T3**.

➤ Formes d'ondes

La figure 2.2 présente les allures des grandeurs : $u_s(t)$, $i_s(t)$

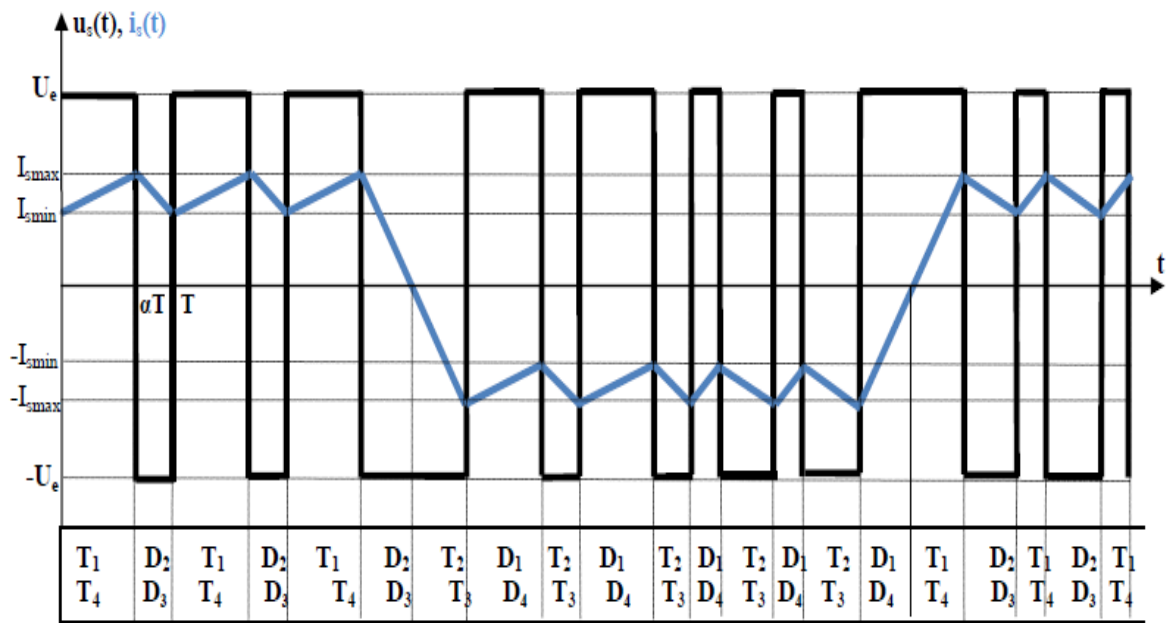


Figure.I.23 : Formes d'ondes des courants et des tensions pour un hacheur quatre quadrants

I.3 La commande MLI (PWM)

I.3.1 Technique de la commande MLI (PWM)

La qualité de la tension de sortie d'un hacheur dépend largement de la technique de commande utilisée pour commander les interrupteurs de ce hacheur. Il existe plusieurs techniques de commande et le choix d'une technique parmi toutes les possibilités dépend essentiellement du type d'application auquel l'appareil est désigné. La technique la plus utilisée dans les variateurs de vitesse pour MCC est la commande par modulation de la largeur d'impulsion MLI. Les techniques de modulation de largeur d'impulsions sont multiples.

Cependant, quatre catégories de MLI ont été développées.

- Les modulations sinus-triangle effectuant la comparaison d'un signal de référence à une porteuse, en général, triangulaire.
- Les modulations pré-calculées pour lesquelles les angles de commutation sont calculés hors ligne pour annuler certaines composantes du spectre.
- Les modulations post-calculées encore appelées MLI régulières symétriques ou MLI vectorielles dans lesquelles les angles de commutation sont calculés en ligne ;
- Les modulations stochastiques pour lesquelles l'objectif fixé est le blanchiment du spectre (bruit constant et minimal sur l'ensemble du spectre). Les largeurs des impulsions sont réparties suivant une densité de probabilité représentant la loi de commande.

Le développement considérable de la technique de modulation en largeur d'impulsion ouvre une large étendue d'application dans les systèmes de commande et beaucoup d'autres fonctions. Elle permet une réalisation souple et rentable des circuits de commande des hacheurs.

I.3.2 Principe de la commande MLI

Le Principe de base de la Modulation de la Largeur d'impulsion MLI est fondé sur le découpage d'une pleine onde rectangulaire. Ainsi, la tension de sortie est formée par une succession de créneau d'amplitude égale à la tension continue d'alimentation et de largeur variable. La technique la plus répandue pour la production d'un signal MLI est de comparer entre deux signaux[06].

- Le premier, appelé signal de référence, est un signal continu qui varie entre deux seuils définis en fonction de notre application. Dans notre cas, la tension de référence varie entre $\pm 10V$;
- Le second, appelé signal de la porteuse définit la cadence de la commutation des interrupteurs statiques du convertisseur. C'est un signal de haute fréquence par rapport au signal de référence ;
- L'intersection de ces signaux donne les instants de commutation des Interrupteurs. La réalisation électronique de la fonction MLI est donnée par la figure I.24.

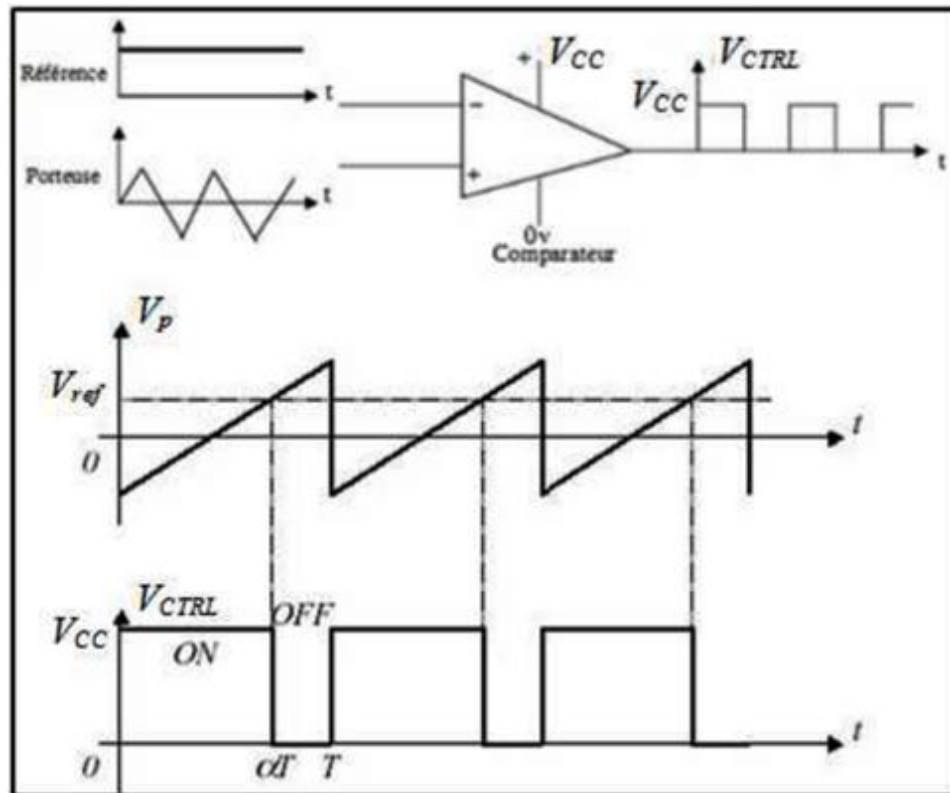


Figure I.24 : Réalisation du signal MLI

L'intersection de la référence avec la porteuse en sens croissant, commande l'ouverture du transistor T, son intersection avec la porteuse en sens décroissant, commande la fermeture de T. Le principe se fait par comparaison entre les deux signaux utilisant un amplificateur opérationnel.

I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types des convertisseurs DC-DC, leur fonctionnement et leur utilisation pour commander la vitesse des machines à courant continu (MCC) ainsi nous avons présenté la technique et le principe de la commande MLI.

CHAPITRE II

GÉNÉRALITES SUR LES COMPOSANTES ET LES LOGICIELS UTILISÉS

II.1 Introduction

Pour contrôler le fonctionnement de notre moteur en fonction des entrées du système, nous allons avoir besoin d'une partie « contrôle » qui prendra la forme d'un circuit électronique. Le composant de cette partie est en quelques sortes le « cerveau » de notre montage car c'est lui qui analyse le signal transmis par les interrupteurs via ses broches numériques et qui détermine la vitesse et le sens de fonctionnement du moteur. Pour ce faire, nous utiliserons une Arduino de type UNO (Figure II.1).



Figure II.1: La carte Arduino Uno

II.2 La machine à courant continu

Les machines à courant continu sont des convertisseurs électromécaniques d'énergie: Soit ils convertissent l'énergie électrique absorbée en énergie mécanique lorsqu'ils sont capables de fournir une puissance mécanique suffisante pour démarrer puis entraîner une charge en mouvement. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en moteur. Soit ils convertissent l'énergie mécanique reçue en énergie électrique lorsqu'ils subissent l'action d'une charge entraînée. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en générateur [07].

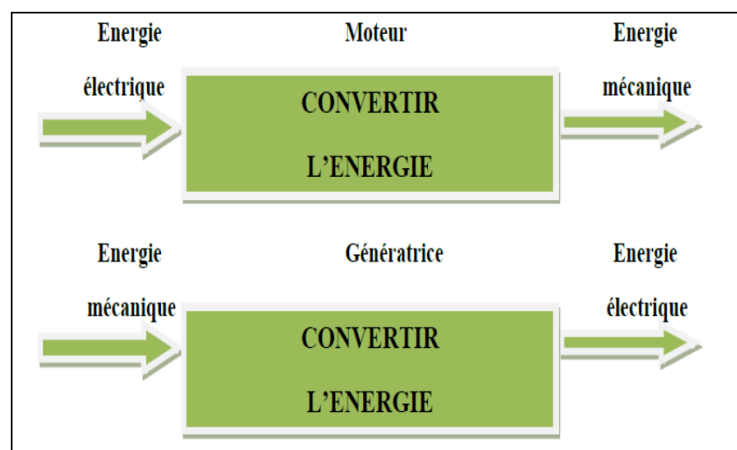


Figure II.2: Fonctionnement de la machine à courant continu

II.2.1 Constitution

La machine à courant continu est constituée de trois parties principales :

- l'inducteur.
- l'induit.
- le dispositif collecteur / balais.

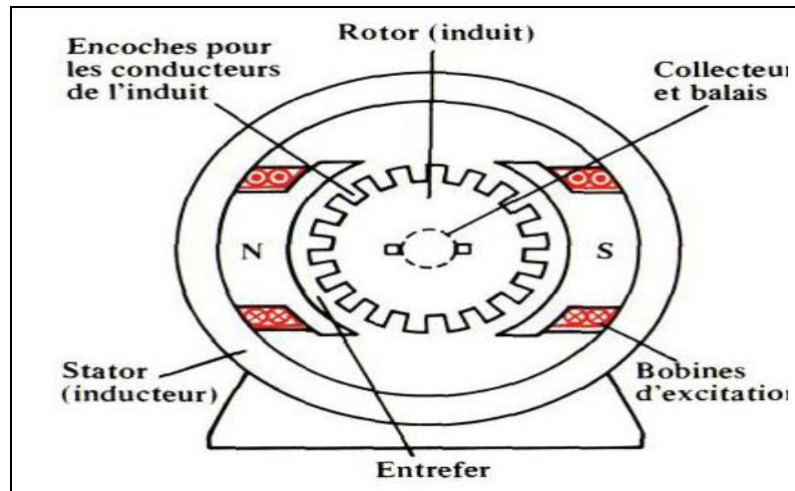


Figure II.3: Description de la machine à courant continu

II.2.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du moteur à courant continu est basé sur le principe des forces de Laplace :

Un conducteur de longueur (L), placé dans un champ magnétique et parcouru par un courant, est soumis à une force électromagnétique.

Le champ créé par l'inducteur agit sur les conducteurs de l'induit : Chacun des (N) conducteurs de longueurs (L) placé dans le champ (B) et parcouru par un courant (I) est le siège d'une force électromagnétique perpendiculaire au conducteur :

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (\text{II } 1)$$

Ces forces de Laplace exercent un couple proportionnel à l'intensité (I) et au flux (Φ) sur le rotor. Le moteur se met à tourner à une vitesse proportionnelle à la tension d'alimentation (V) et, inversement proportionnelle au flux (Φ).

Au passage de tout conducteur de l'induit sur la ligne neutre, le courant qui le traverse change de sens grâce au collecteur. Le moteur conserve le même sens de rotation.

Pour inverser le sens de rotation du moteur, il convient d'inverser le sens du champ produit par l'inducteur par rapport au sens du courant circulant dans l'induit :

- Soit on inverse la polarité de la tension d'alimentation de l'induit.
- Soit on inverse la polarité d'alimentation du circuit d'excitation [07].

II.2.3 Force contre électromotrice

Elle est donnée par la relation d'électrotechnique : La force électromotrice (E) est la tension produite par le rotor (l'induit) lors de sa rotation dans le flux magnétique produit par la partie fixe (l'inducteur). Elle dépend des éléments de construction de la machine.

$$E = \frac{p}{a} N \cdot n \cdot \varphi \quad (\text{II } 2)$$

P : Nombre de pair de pôles de la machine.

N : Nombre de conducteurs actifs de la périphérie de l'induit.

a : Nombre de paires de voies de l'enroulement entre les deux balais.

n : Fréquence de rotation de l'induit (en t/s).

Φ : flux sous un pôle de la machine en Webers.

Finalement :

$$E = K \cdot \Omega \cdot \varphi \quad (\text{II } 3)$$

Avec :

$$K = \frac{p}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot N \quad (\text{II } 4)$$

II.2.4 Bilan de la puissance

On peut représenter le bilan des puissances mises en jeu dans un moteur à courant continu en fonctionnement nominal par une flèche qui rétrécit au fur et à mesure que la puissance diminue.

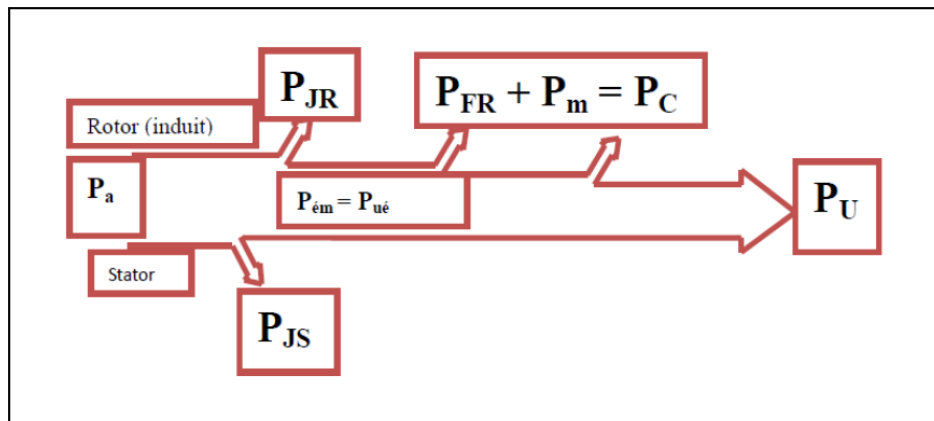


Figure II.4: Bilan de la puissance

P_a : Puissance absorbée.

P_U : Puissance utile.

$P_{ém}$: Puissance électromagnétique.

P_{JS} : Pertes par effet joule dans l'inducteur.

P_{JR} : Pertes par effet joule dans l'induit.

P_C : Pertes fer + pertes mécaniques : dites pertes constantes.

II.2.5 Le rendement

Les moteurs à courant continu consomment une partie de l'énergie absorbée pour leur fonctionnement. L'énergie mécanique fournie sera toujours plus petite que l'énergie électrique absorbée. Le rapport entre l'énergie fournie et l'énergie absorbée est le rendement.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \quad (\text{II } 5)$$

P_u : Puissance utile.

P_a : Puissance absorbée.

II.2.6 Principe du variateur de vitesse pour un moteur à courant continu

Il y a plusieurs façons de procéder pour varier la vitesse d'un moteur à courant continu. On peut le faire en variant la tension d'alimentation à ses bornes mais dans ce cas une partie importante de l'énergie est consommée par le dispositif d'alimentation. Pour cette raison, on préfère l'alimenter de façon discontinue avec un hacheur et faire ainsi varier la tension moyenne à ses bornes. On parle alors de Modulation par Largeur d'Impulsions (MLI), très utilisé dans le domaine de la régulation de vitesse de rotation d'un moteur courant continu [8].

II.2.7 Les avantages et les inconvénients des machines à courant continu

➤ Les avantages :

- Alimentation aisée dans les systèmes transportant leur réserve d'énergie (autonome) : pile ou batterie.
- La variation de fréquence de rotation est simple à réaliser.

➤ Les inconvénients :

Le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou charbons et le collecteur rotatif.

- Plus la vitesse de rotation est élevée, plus les balais doivent s'appuyer fortement pour rester en contact et plus le frottement est important.
- Aux vitesses élevées les charbons doivent être remplacés très régulièrement.
- Le contact électrique imparfait cause des arcs électriques, usant rapidement le commutateur et générant des parasites dans le circuit d'alimentation.

II.3 La carte Arduino

II.3.1 Qu'est-ce que c'est?

Le projet Arduino est né en 2004 lorsque L'Arduino UNO a été développé par des enseignants et des étudiants d'une école de design italien, leur mission était de démocratiser la programmation et de la rendre plus libre d'accès.

Et vu sa simplicité d'utilisation, Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles [8].

II.3.2 Présentation générale

La carte Arduino est un circuit imprimé en matériel libre sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses. Le système Arduino donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, pour programmer des systèmes électroniques.

Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique [10].

II.3.3 Le modèle UNO

Est une carte électronique basée sur le microcontrôleur ATMEL de référence ATmega328. L'ATmega328 est un microcontrôleur 8 bits de la famille AVR (Figure II.1). La programmation peut être réalisée en langage C/C++ [10]. Le modèle UNO contient 14 entrées/sorties (dont 6 fournissent la sortie MLI), 6 entrées analogiques, un cristal à 16 MHz, une connexion USB, une prise jack d'alimentation, un en-tête ICSP et une fonction reset [12].

II.3.4 Constitution de la carte Arduino UNO

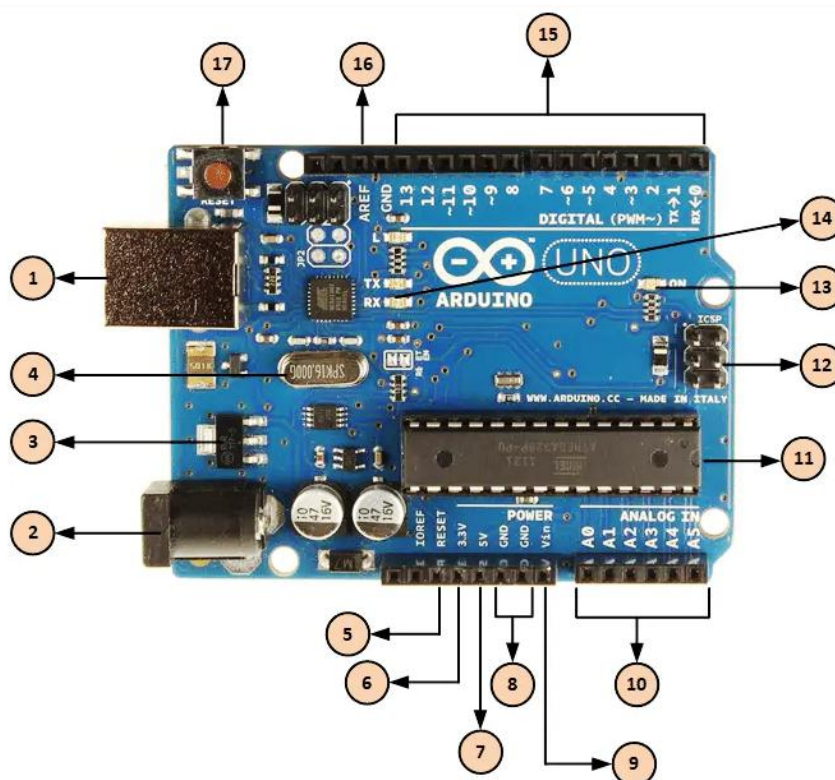


Figure II.5 : Constitution de la carte Arduino UNO [13]

Tableau 1 : Composants de la carte Arduino UNO

1	Alimentation / Programmation par USB La carte Arduino peut être alimentée avec un câble USB relié à votre ordinateur. Tout ce dont nous avons besoin, c'est de connecter notre carte Arduino à notre ordinateur avec le câble USB type A/B.
2	Alimentation via connecteur Jack DC La carte Arduino peut être directement alimentée par ce connecteur Jack DC. Ce connecteur (2) est relié au régulateur de tension intégré à la carte. L'alimentation via ce connecteur (2) doit être comprise entre 5 et 12 V
3	Régulateur de tension La fonction du régulateur de tension (3) est de contrôler la tension d'alimentation de l'Arduino pour la stabiliser à la bonne tension du microcontrôleur et de chaque élément de la carte. La tension de stabilisation est de 5 Volts sur les cartes UNO

4	Oscillateur à quartz Un oscillateur à quartz est un élément électronique qui a la particularité de posséder un quartz à l'intérieur qui vibre sous l'effet piézoélectrique.
5,17	Arduino Reset nous pouvons redémarrer un Arduino avec un "Reset". Cela aura pour effet de redémarrer notre programme depuis le début. nous pouvons redémarrer l'Arduino UNO de deux manières : soit en utilisant le bouton "Reset" (17), soit en connectant un bouton externe sur la broche de la carte Arduino mentionnée "RESET" (5)
6,7, 8,9	Broches (3.3, 5, GND, Vin) • 3.3V (6) – Broche d'alimentation de tension 3.3 Volts • 5V (7) – Broche d'alimentation de tension 5 Volts • GND (8) (Ground / Masse) – Il y a plusieurs broches de ce type présentes sur la carte Arduino, elles sont toutes communes et peuvent être utilisées comme masse (potentiel 0 Volts) pour vos circuits. • Vin (9) – Cette broche permet d'alimenter l'Arduino depuis une source de tension extérieure. Elle est reliée au circuit d'alimentation principale de la carte Arduino.
10	Broches analogiques L'Arduino UNO possède 5 broches d'entrées analogiques numérotée de A0 jusqu'à A5. Ces broches permettent de lire un signal analogique. La carte Arduino utilise un convertisseur analogique/numérique pour permettre la lecture du signal par le microcontrôleur
11	Le microcontrôleur Chaque carte Arduino possède son propre microcontrôleur (11). Vous pouvez le considérer comme le cerveau de la carte Arduino. Le microcontrôleur sur l'Arduino est légèrement différent d'une carte à l'autre
12	Connecteur ICSP une connectique AVR qui permet de dialoguer avec d'autres composants SPI (écrans, capteurs, etc...).
13	Indicateur LED d'alimentation Ce voyant doit s'allumer lorsque vous branchez notre Arduino sur une source

	d'alimentation pour indiquer que notre carte est correctement alimentée.
14	LEDs TX et RX Sur notre carte, nous trouvons deux indicateurs : TX (émission) et RX (réception). Ils apparaissent à deux endroits sur la carte Arduino UNO. Tout d'abord, sur les broches numériques 0 et 1, pour indiquer les broches responsables de la communication série. Deuxièmement, les LED TX et RX (13). Le voyant TX clignote à une vitesse variable lors de l'envoi des données série. La vitesse de clignotement dépend de la vitesse de transmission utilisée par la carte. RX clignote pendant le processus de réception
15	Entrées/Sorties numériques La carte Arduino UNO possède 14 broches d'Entrées / Sorties numériques (15), dont 6 peuvent fournir une sortie MLI (Modulation de largeur d'impulsion). Ces broches peuvent être configurées pour fonctionner comme des broches numériques d'entrée pour lire des valeurs logiques (0 ou 1) ou numériques. Elles peuvent également être utilisées comme des broches de sortie pour piloter différents modules comme des LED, des relais, etc. Les broches étiquetées “~” peuvent être utilisées pour générer des MLI
16	Broche AREF AREF est l'acronyme anglais de “référence analogique”. Cette broche est parfois utilisée pour définir une tension de référence externe (entre 0 et 5 Volts) comme limite supérieure pour les broches d'entrée analogiques.

II.3.5 Avantage de la carte Arduino UNO

- Son prix est relativement bas par rapport aux autres cartes électroniques.
- Arduino est « Open Source ». Ce qui veut dire que vous pouvez récupérer le schéma d'origine, le modifier et l'utiliser pour produire la carte et la vendre sans payer des droits d'auteur.
- La simplicité. Arduino rime avec la simplicité. Le projet a été conçu pour que des débutants en électronique et en programmation puissent concevoir des prototypes très rapidement de ce qu'ils ont en tête. En quelques heures d'apprentissage, vous serez capable de concevoir votre premier prototype.
- Le multiplateforme. Pour programmer une carte Arduino et lui faire faire ce que vous avez en tête, il faut pour cela la connecter à un ordinateur et utiliser l'IDE Arduino, le logiciel permettant de programmer toutes les cartes Arduino. L'IDE est multiplateforme en étant disponible sous Windows, Mac OSX et Linux.

II.4 La carte Arduino et le MLI (PWM)

La modulation de largeur d'impulsion (en anglais, Pulse With Modulation, PWM) est une technique couramment utilisée en électronique pour générer des signaux continus à l'aide de circuit ne délivrant que des signaux discrets binaires (donc qui ne peuvent prendre que deux valeurs, le « tout » ou le « rien »). Le signal continu résultant est obtenu en faisant la moyenne des signaux sur une période donnée. Ainsi, le signal résultant peut prendre n'importe quelle valeur intermédiaire comprise entre le « tout » et le « rien » et par conséquent simuler n'importe quelle tension comprise dans cet intervalle. Dans notre cas à nous, avec la carte Arduino, cet intervalle va de 0V à 5V (la tension de sortie en PWM ne peut pas être en dehors de cet intervalle).

C'est sur ce principe, que fonctionne certains ports de la carte Arduino. En effet, l'électronique embarquée à l'intérieur ne permettant pas d'envoyer une tension analogique continue, la carte compense en délivrant des impulsions électroniques discrètes et ne pouvant prendre que deux valeurs. Les ports de la carte pouvant fonctionner en MLI sont reconnaissables par leur petite « vague » inscrite à côté de la broche (voir photo ci-dessous). On s'aperçoit ainsi que les ports 3, 5, 6, 9, 10, 11 sont compatibles en mode MLI, ce qui n'est pas le cas des ports 0, 1, 2, 4, 7, 8, 12, 13. Leur fréquence de fonctionnement est d'environ 490 Hz.

L'instruction de programme permettant à la carte Arduino de délivrer une tension de sortie spécifique en PWM se fait par *AnalogWrite()* où les arguments dans la parenthèse sont la numéros de la broche concerné ainsi que le niveau de la tension à délivrer par cette même broche. L'instruction *DigitalWrite()* (mêmes arguments) permet à la carte de ne délivrer que deux tensions : la tension haute (High) et la tension basse (low). Pour fonctionner en MLI, nous n'utiliserons donc que *AnalogWrite()*.



Figure II.6 : Les ports sont compatibles en mode MLI

II.5 Logiciel Arduino IDE

Les créateurs de Arduino ont développé un logiciel pour que la programmation des cartes Arduino soit visuelle, simple et complète à la fois.

C'est ce que l'on appelle une IDE, qui signifie (Integrated Development Environment) ou Environnement de Développement « Intégré » en français (donc EDI) [14].

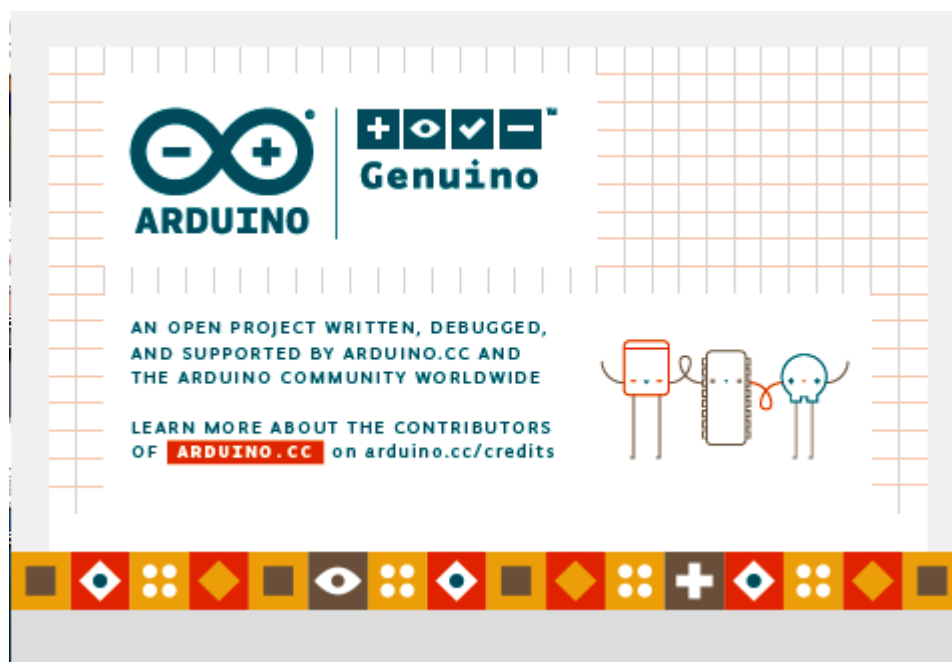


Figure II.7 : Fenêtre générale de l'application Arduino

II.5.1 Structure générale du programme IDE Arduino

L'interface de l'IDE Arduino est plutôt simple pour programmer le Arduino ATMEGA328P, il offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique et d'une barre d'outils rapide. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus, plus classique qui est utilisée pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code. La structure d'écriture d'un programme sous Arduino est de la forme suivante :

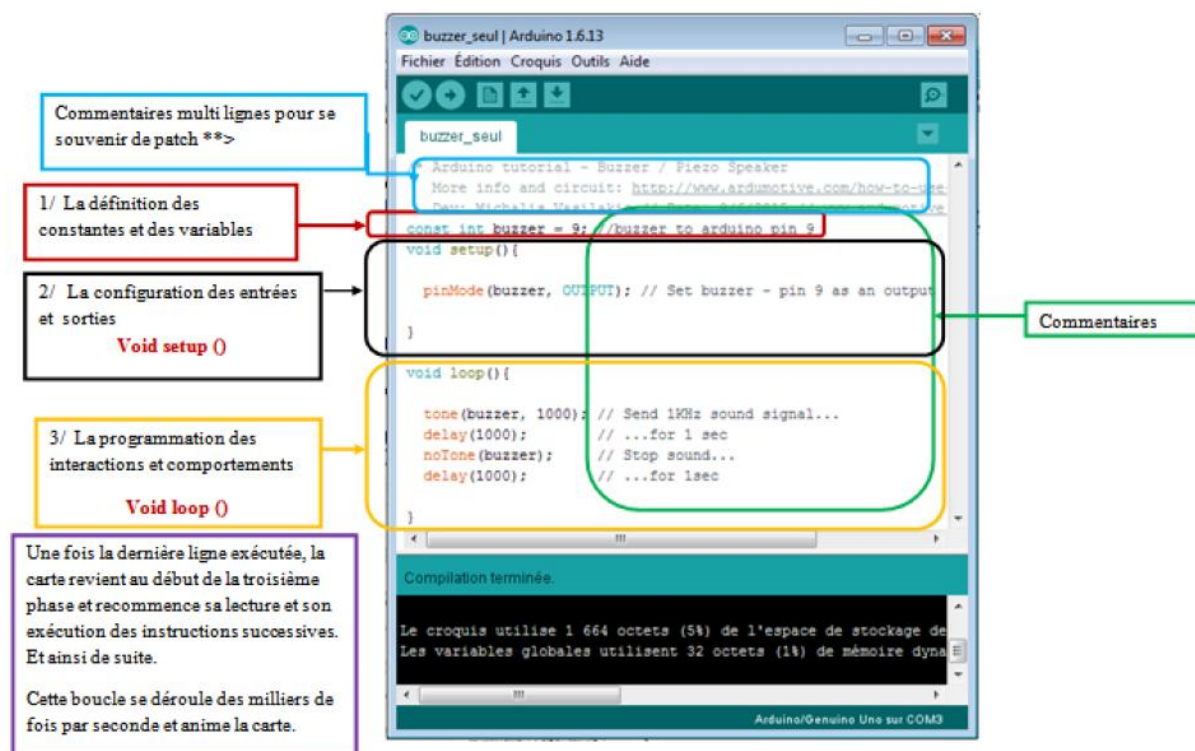


Figure II.8: Structure générale du programme (IDE Arduino)

Un programme Arduino se compose de trois parties,

1. La partie de déclaration des variables
2. La partie de configuration d'entrée/sortie (fonction setup ()), contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.).
3. La partie principale qui s'exécute en boucle (fonction loop ()), qui fait exactement ce que son nom implique, et elle se répète séquentiellement, permettant à votre programme de changer et de répondre. Utilisez-le pour contrôler activement la carte Arduino.

II.6 Logiciel Proteus Isis

II.6.1 Définition

Le logiciel Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler 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.

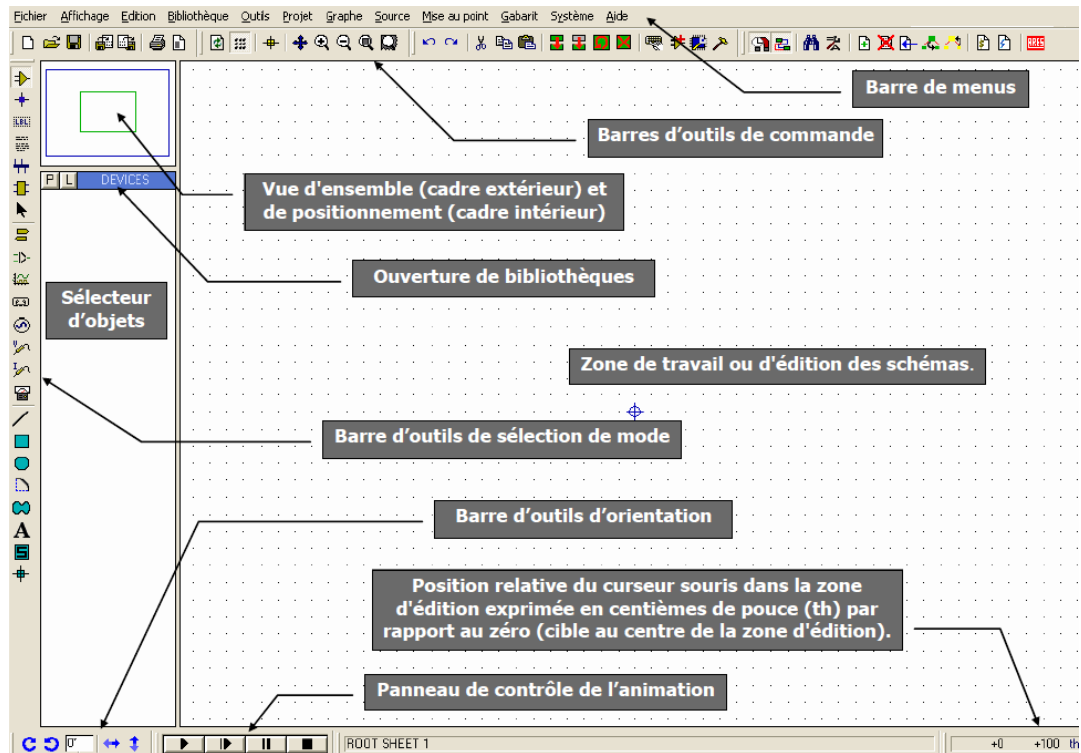


Figure II.9 : Présentation de l'interface Proteus [15].

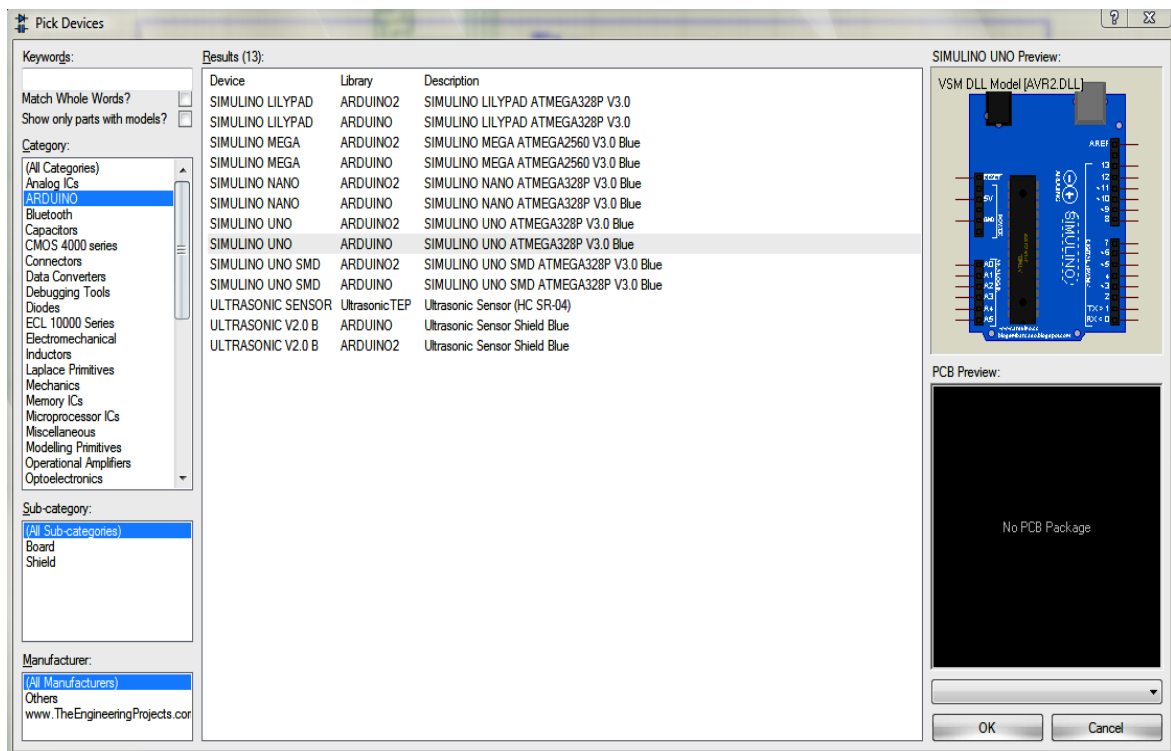


Figure II.10: Choisir le type de la carte Arduino UNO sur logiciel Proteus

II.6.2 Communication entre Arduino IDE et logiciel PPOTEUS

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino en Proteus

- On choisit le type de la carte Arduino

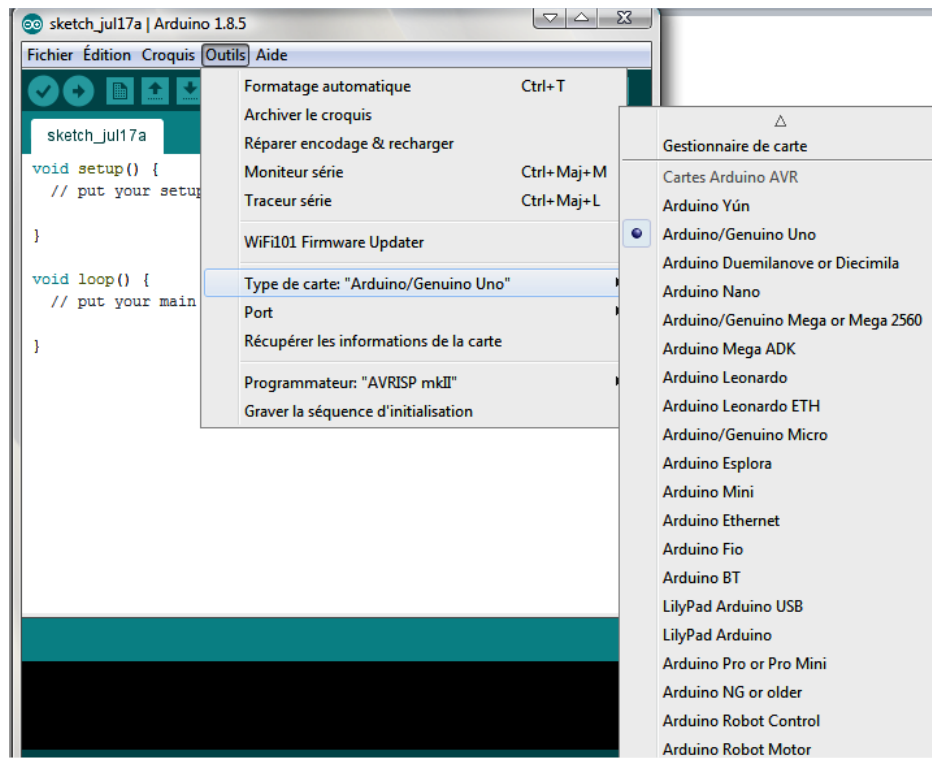


Figure II.11 : Etape 1 choisir le type de la carte

- On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
- On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).
- Si des erreurs sont signalées, on corrige le programme.

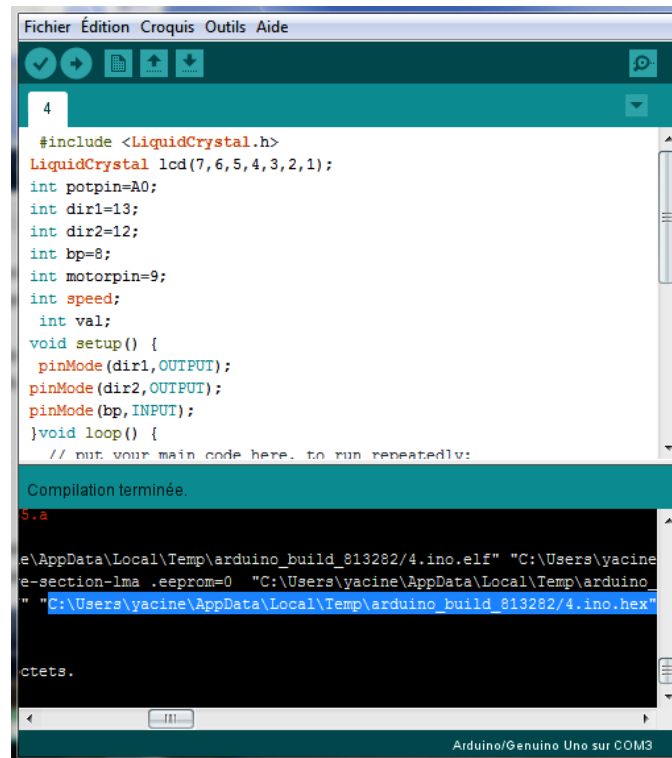


Figure II.12 : Etape 2 transférer le programme en (.hex)

Dans le cas de la simulation, et après la compilation de code Arduino, il faut exporter les données de type binaire en hexadécimale pour l'exécuter par la carte Arduino au niveau du logiciel proteus

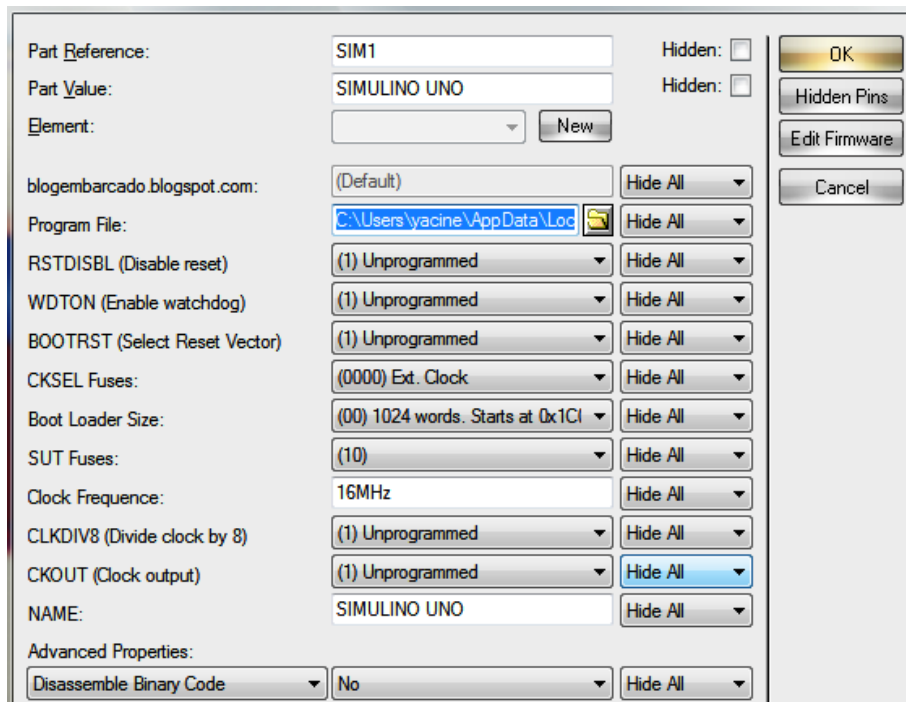


Figure II.13 : Etape3 transférer le code du programme au logiciel

- On charge le programme sur la carte

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu une machine à courant continu et son fonctionnement et une carte d'acquisition qui est l'Arduino donnant ainsi les raisons pour lesquelles on l'a choisie, puis, nous avons expliqué les deux parties essentielles de l'Arduino; plus précisément (la partie matérielle et la partie de programmation). Nous avons également expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino sans oublier ses caractéristiques. Ensuite, nous avons vu le logiciel Proteus et la communication entre Arduino ide et logiciel Proteus

CHAPITRE III

CONCEPTION ET SIMULATION DE LA COMMANDE

III.1 Introduction

Après l'étude générale des moteurs à courant continu et les différents éléments constituant notre carte électronique, on passe maintenant à la simulation de notre circuit.

Les machines-outils à commande numérique sont complètement pilotées par ordinateur. Pour que la machine comprenne les instructions données par l'ordinateur de contrôle, il faut que ces instructions soient écrites dans un langage de programmation spécial, dans ce chapitre on présente la commande numérique pour les moteurs à courant continu.

III.2 Chaîne de programmation

La figure III.1 représente les différentes étapes et modes de commande du moteur à courant continu.

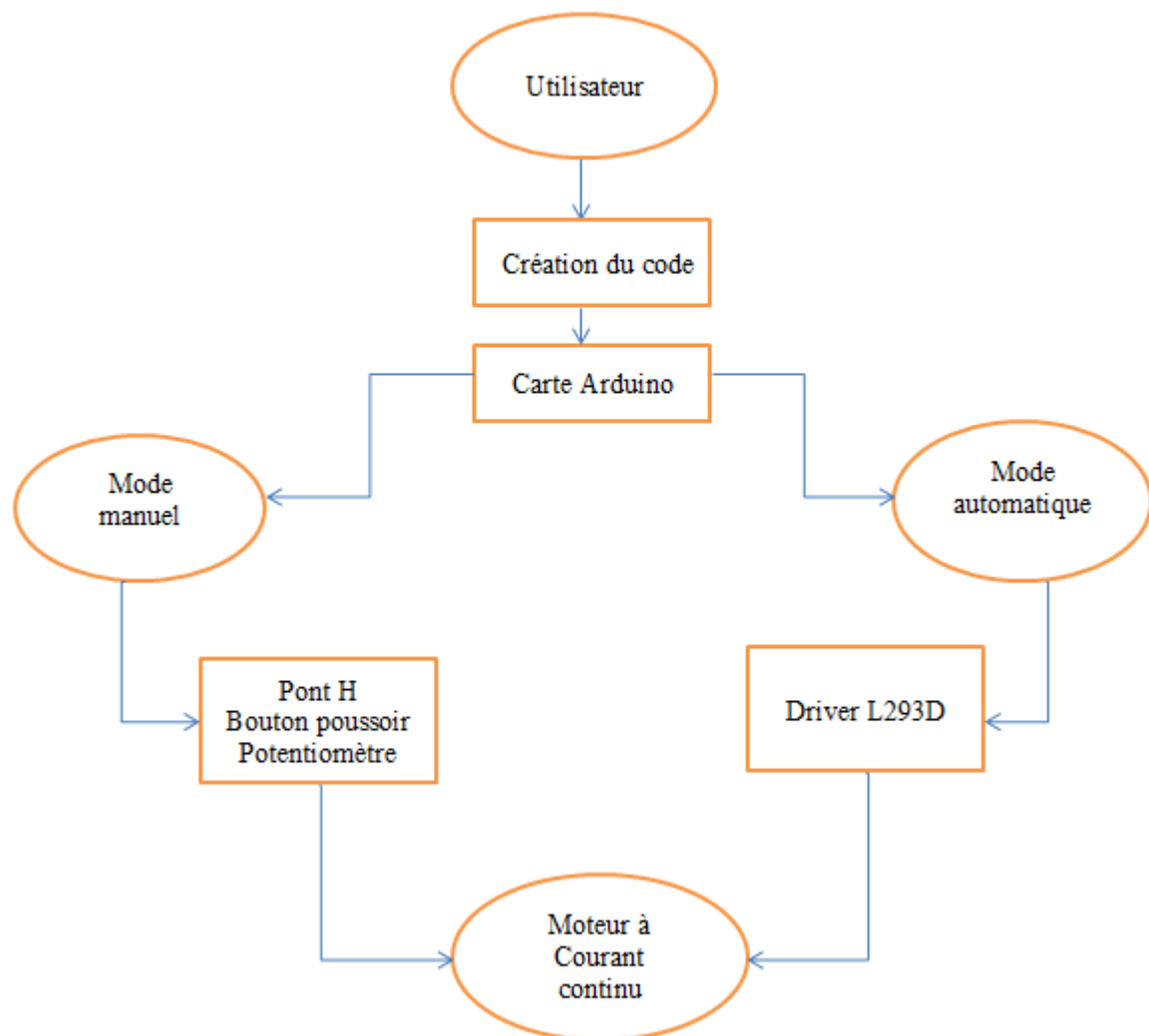


Figure III.1: Chaîne de programmation

III.3 Composants utilisés

III.3.1 Carte Arduino

La carte la plus couramment utilisée est ArduinoUNO. C'est une carte avec un petit contrôleur AVR 8 bits: ATmega328.

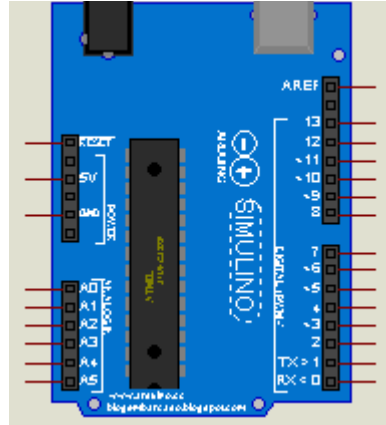


Figure III.2: Carte Arduino sur Proteus

III.3.2 Afficheur LCD

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA). Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables. Ils existent différents types d'afficheur selon leurs caractéristiques techniques et selon leurs dimensions si on les voit de l'extérieur.

On a opté pour un afficheur LCD de taille 4×20 , c'est-à-dire un afficheur de 4 lignes et 20 caractères. Le choix de ce type d'afficheur est justifié par le fait que nos besoins seront satisfaits par cet afficheur, et que sa taille est suffisante pendant l'affichage des changements des cas de moteur qui lient le système avec l'utilisateur [16].

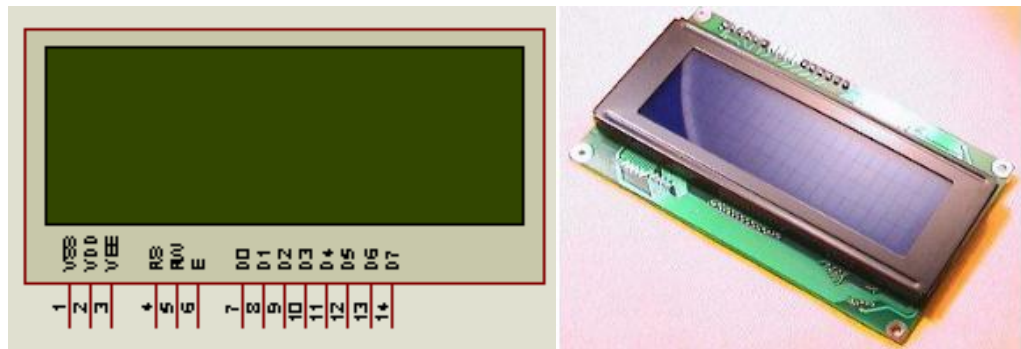


Figure III.3 : Afficheur LCD

III.3.3 Potentiomètre

Un **potentiomètre** (appelé familièrement potard) est un type de résistance variable à trois bornes, qui connecté a l'entrée analogique de l'arduino , le role de ce dernier est de varié la valeur de resistance pour commandé le signal MLI [17].

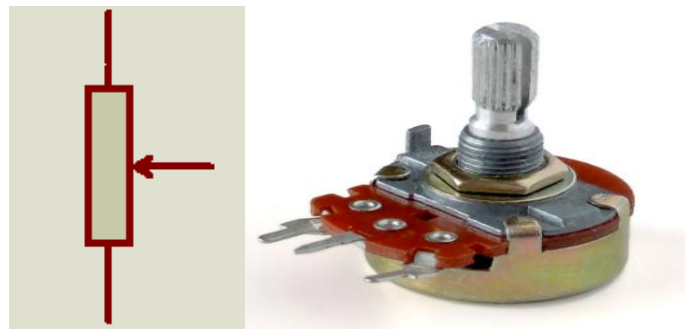


Figure III.4 : Potentiomètre

III.3.4 Moteur

Le moteur utilisé avec notre pont H, est un simple dc moteur

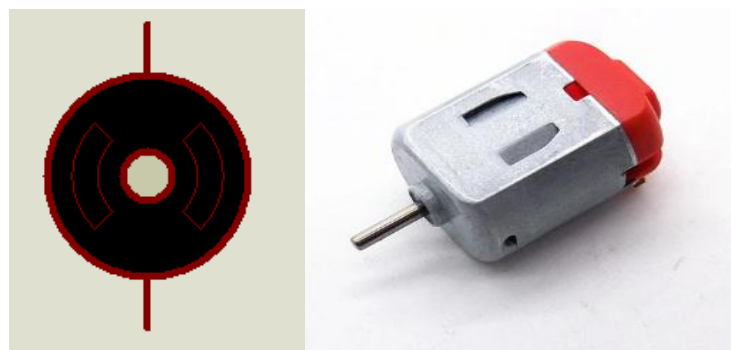


Figure III.5 : Moteur

III.3.5 Bouton poussoir

Un interrupteur à bouton-poussoir est un type d'interrupteur qui consiste en un simple mécanisme électrique pour allumer ou éteindre le system désirée



Figure III.6 : Bouton poussoir

III.3.6 Transistor IRF540

Le transistor est un composant électronique qui est utilisé dans la plupart des circuits électroniques (circuits logiques, amplificateur, stabilisateur de tension, modulation de signal, etc...) aussi bien en basse qu'en haute tension [17].

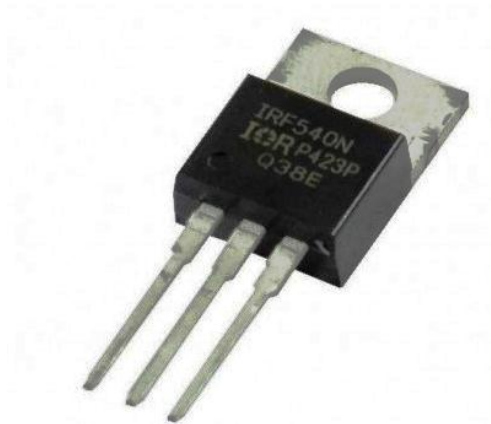


Figure III.7 : Le transistor IRF540

III.3.7 L293D

Le L293D est un double pont H qui permet au moteur à courant continu de tourner dans les deux sens. L293D est un circuit intégré à 16 broches qui peut contrôler simultanément un ensemble de deux moteurs à courant continu dans n'importe quelle direction

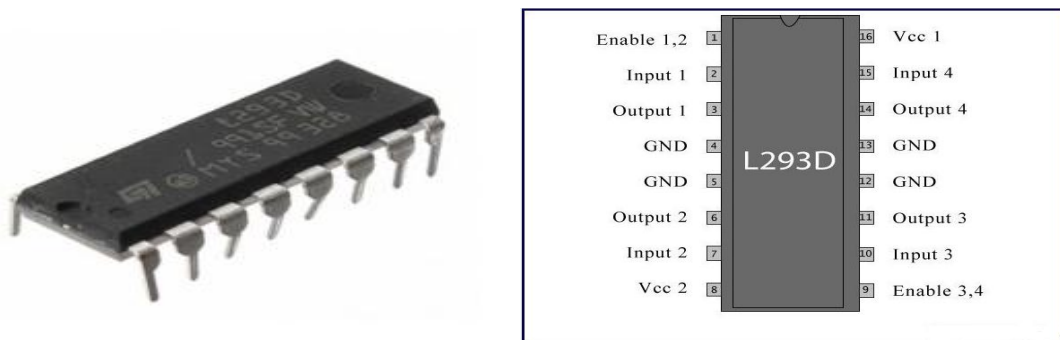


Figure III.8: L293D

III.4 Simulation du circuit par Proteus 8.4

III.4.1 1^{er} circuit commandé manuellement

Le moteur utilisé est alimenté avec +12V, ce qui suffit pour mettre le moteur en marche «moteur à faible puissance», l'inversion du sens de rotation du moteur nécessite un circuit qui inverse les pôles du moteur.

Nous avons pensé à utiliser quatre transistors de façon d'un pont H qui permet de commander un moteur à courant continu (MCC) en marche « Avant » ou marche « Arrière », grâce à 2 broches numériques de la carte Arduino, et un autre transistor qui permet de commander la vitesse à travers la variation de MLI signal.

Donc, notre bloc de puissance se base sur un circuit intégré qui est le pont H et un hacheur qui commande la vitesse en fonction du signal MLI émis par la carte Arduino qui varie quand en changeant la valeur de la résistance variable, et pour varier le sens de rotation juste on clique manuellement sur le bouton poussoir

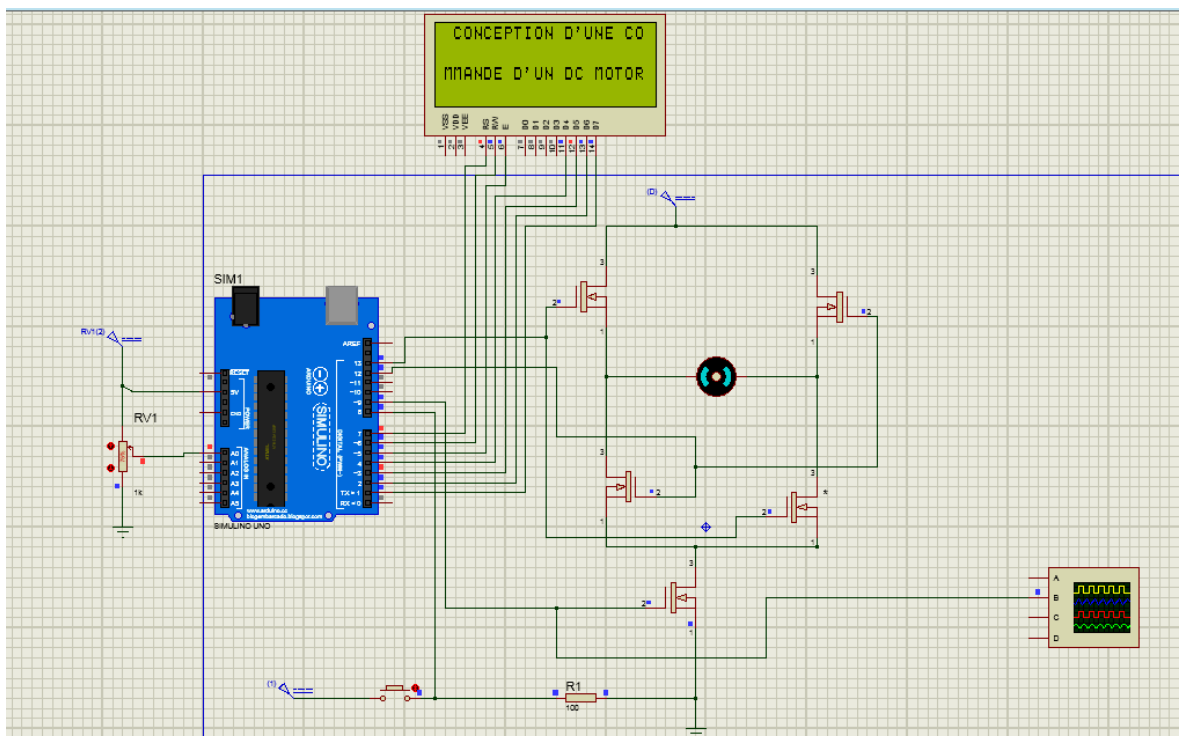


Figure III.9: Le hacheur en pont H et leur commande

III.4.1.1 Les courbes et résultats de simulation de 1^{er} circuit

Nous avons testé notre circuit en utilisant les différents rapports cycliques. Les courbes de tension sont relevées.

La tension de sortie : -----

Signal MLI : -----

- Pour un rapport cyclique 0%

$$R=0\Omega \text{ donc } \alpha=0$$

$$\text{Commande MLI} = 0V$$

$$\text{Tension de sortie} = 4.65V$$

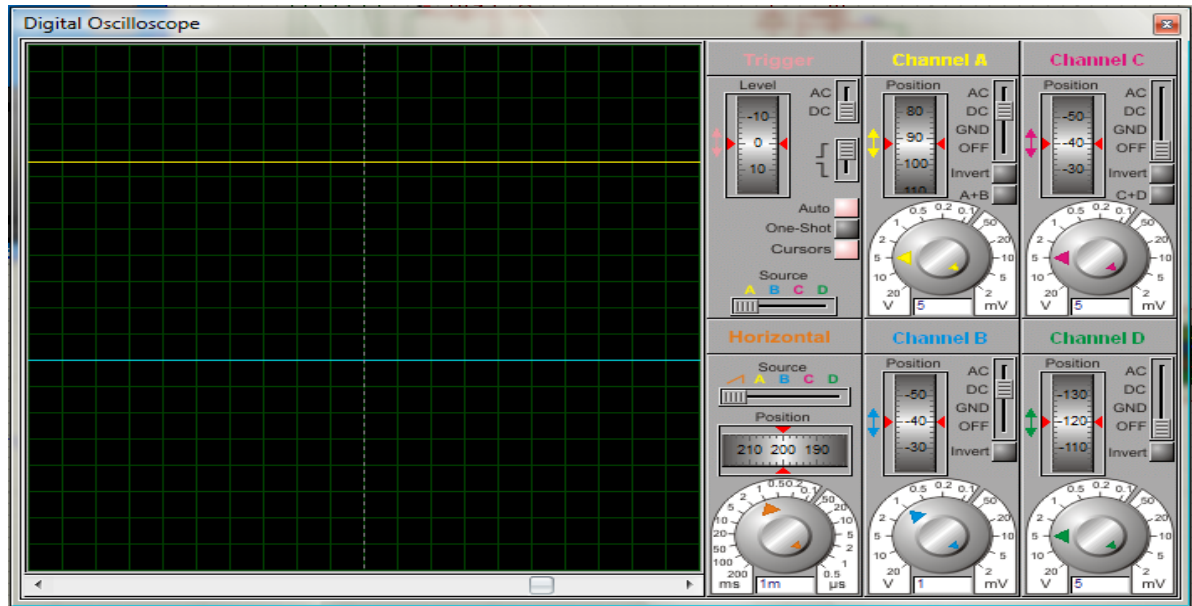


Figure III.10: La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 0%

- Pour un rapport cyclique 25%

$$R=250\Omega \text{ donc } \alpha=0.25$$

$$\text{Commande MLI} = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 5V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension de sortie} = \begin{cases} 4.45V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 3.3375V$$

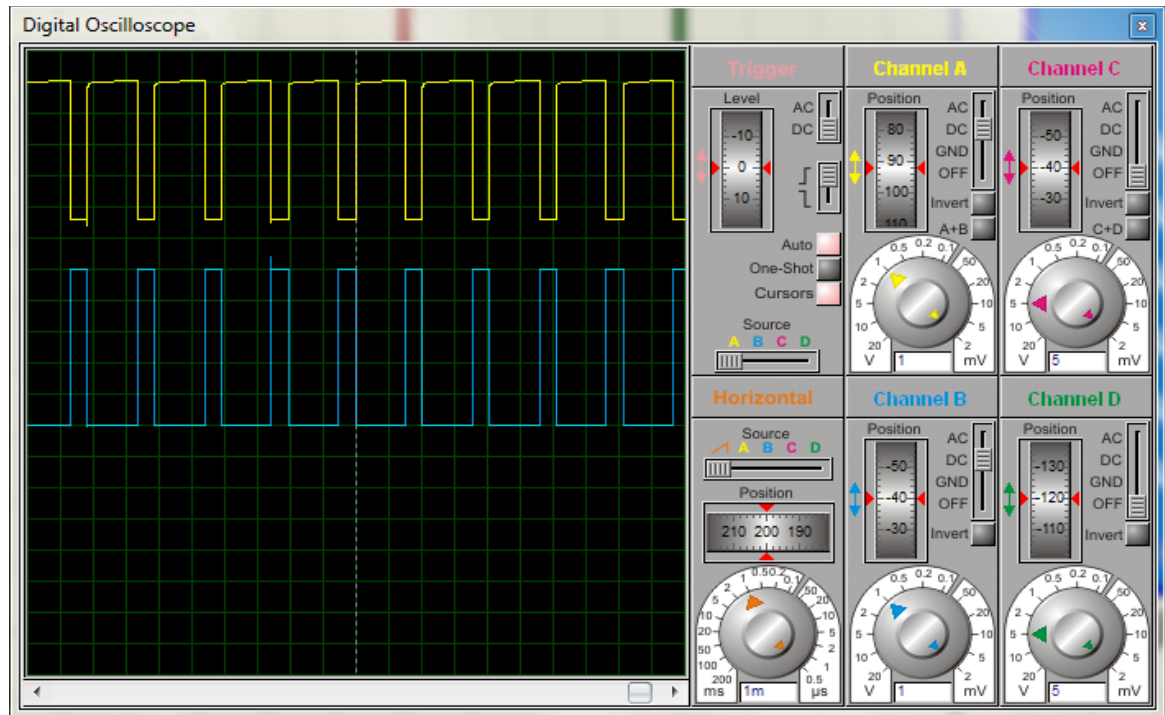


Figure III.11: La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 25%

➤ Pour un rapport cyclique 50%

$$R=500\Omega \text{ donc } \alpha=0.5$$

$$\text{Commande MLI} = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 5V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension de sortie} = \begin{cases} 4.45V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 2.225V$$

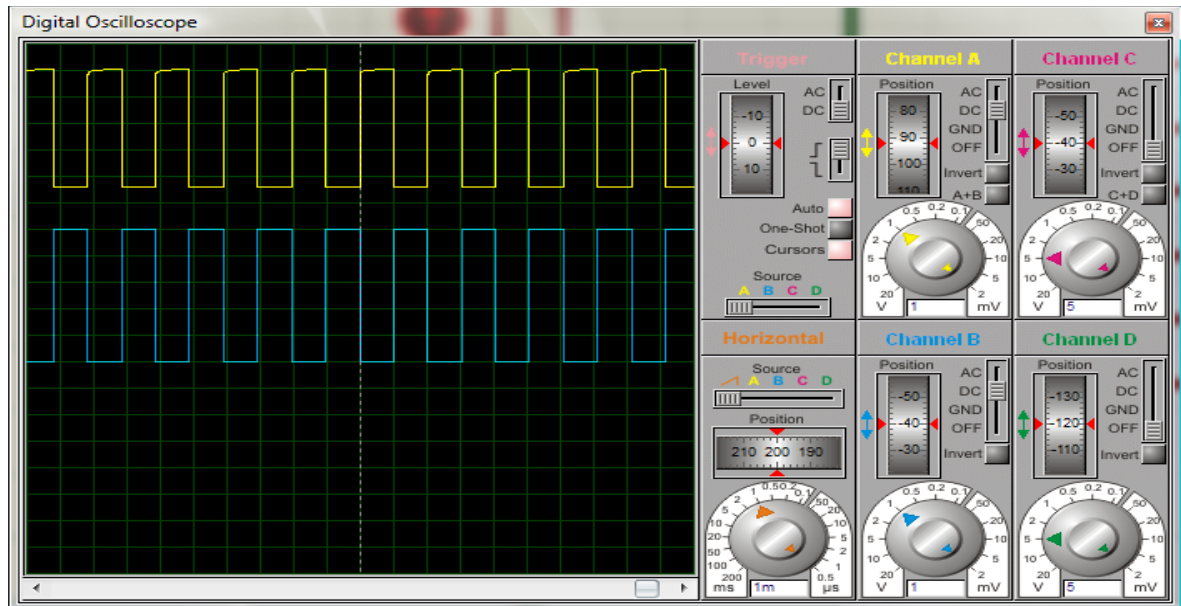


Figure III.12: La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 50%

➤ Pour un rapport cyclique 75%

$$R=750\Omega \text{ donc } \alpha=0.75$$

$$\text{Commande MLI} = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 5V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension de sortie} = \begin{cases} 4.45V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 1.1125V$$

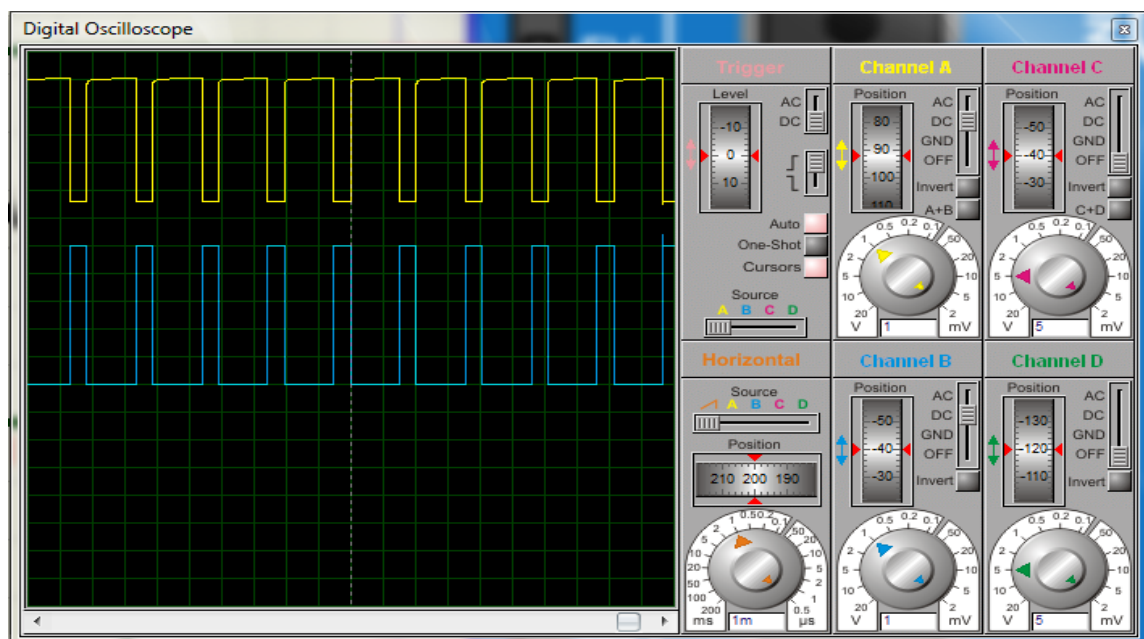


Figure III.13: La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 75%

- Pour un rapport cyclique 100%

$$R=1000\Omega \text{ donc } \alpha=1$$

$$\text{Commande MLI} = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 5V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension de sortie} = \begin{cases} 4.45V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0V$$

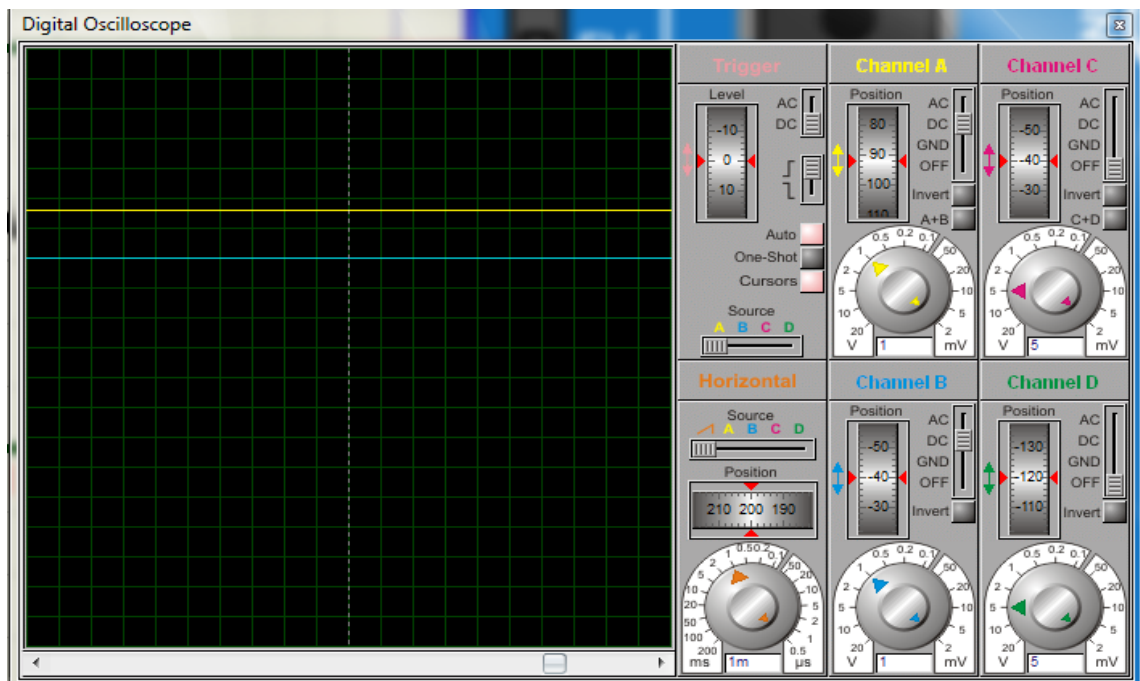


Figure III.14: La tension de sortie et signal MLI pour un rapport cyclique 100%

III.4.2 2^{ème} Circuit commandé automatique

Si l'on branche un moteur à courant continu (DC Motors) à une source de courant adaptée, celui-ci tournera. Si l'on veut inverser le sens de rotation, il suffit d'inverser le branchement. Nous verrons donc dans ce travail comment contrôler le sens et la vitesse de rotation de deux moteurs en utilisant un circuit intégré L293D.

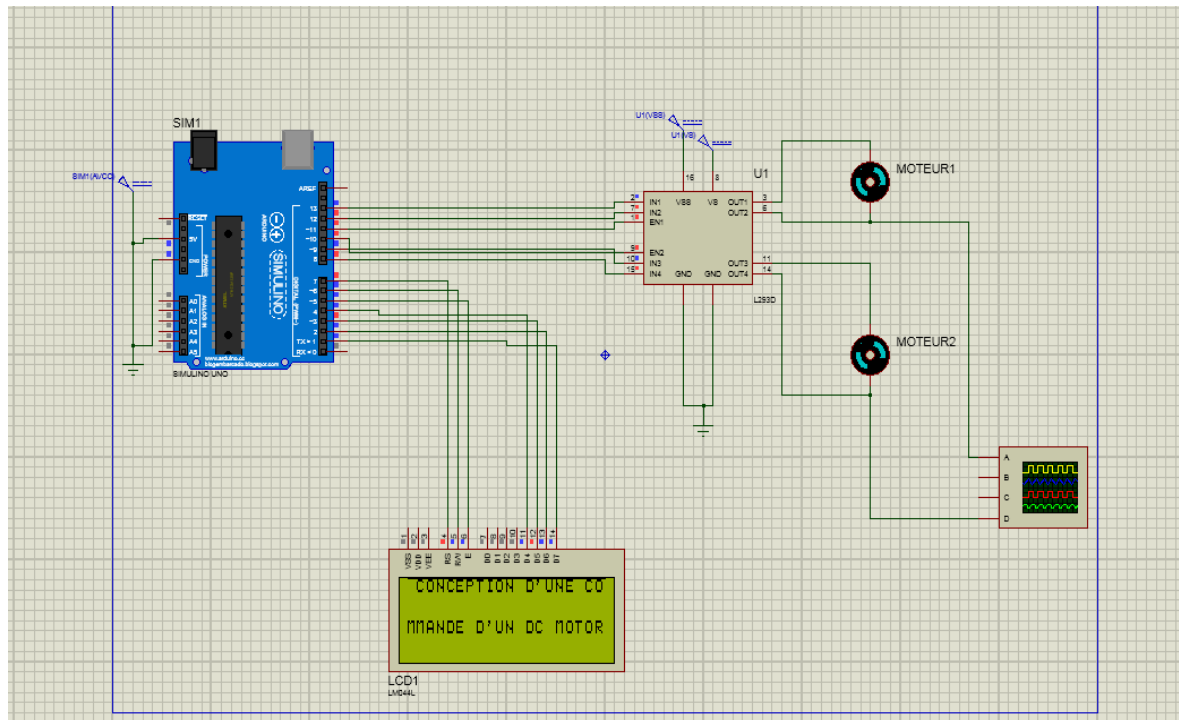


Figure III.15: Circuit par L293D et leur commande

III.4.2.1 Les courbes et résultats de simulation de 2^{ème} Circuit

Exemple 1 : Les deux moteurs tournent aux même temps et dans le même sens

- Les deux moteurs tournent dans le sens positif avec une accélération constante jusqu'à ce qu'il atteigne sa vitesse maximale dans une période de (5s).
- Maintient leur direction et leur vitesse pendant (3s).
- Tournent dans le même sens avec un ralentissement progressif de la vitesse pendant (5s).
- Puis un arrêt complet de deux moteurs pendant une période de (3s).
- Maintenant on inverse La rotation dans le sens négative avec une accélération constante jusqu'à ce qu'il atteigne sa vitesse maximale dans une période de (5s).
- Maintient sa direction et sa vitesse pendant (3s).
- Tournent dans le même sens avec un ralentissement progressif de la vitesse pendant (5s).
- Puis un arrêt complet pendant une période de (3s).

La tension de sortie de moteur 1: -----

La tension de sortie de moteur 2: -----

Tension de sortie de moteur 1= Tension de sortie de moteur 2

➤ **Pour un rapport cyclique 0%**

$$\alpha=0$$

✚ Le sens négatif

$$Tension\ de\ sortie = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$Tension\ moyenne = (1 - \alpha).Tension\ de\ sortie = 0V$$

✚ Le sens positif

$$Tension\ de\ sortie = \begin{cases} 0mV & 0 < t < \alpha T \\ 0mV & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$Tension\ moyenne = (1 - \alpha).Tension\ de\ sortie = 0mV$$

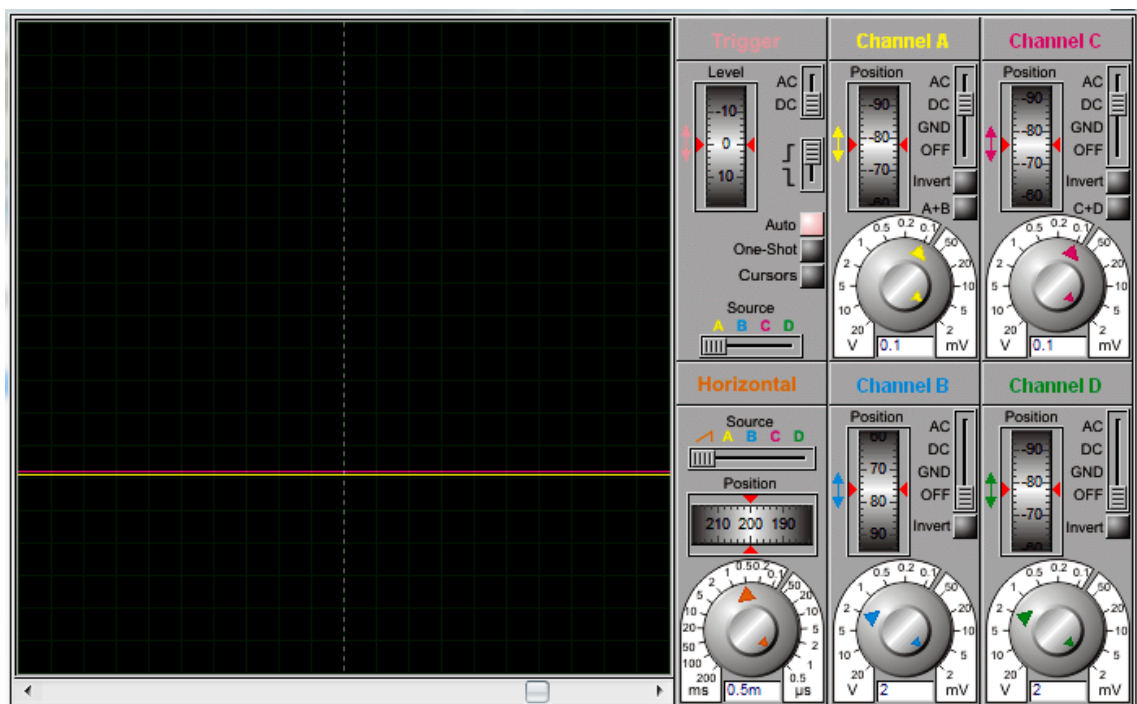


Figure III.16: La tension de sortie pour un rapport cyclique 0%

➤ Pour un rapport cyclique 25%

$$\alpha=0.25$$

✚ Le sens négatif

$$Tension\ de\ sortie = \begin{cases} 11.25V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$Tension\ moyenne = (1 - \alpha).Tension\ de\ sortie = 8.4375V$$

✚ Le sens positif

$$Tension\ de\ sortie = \begin{cases} 750mV & 0 < t < \alpha T \\ 0mV & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$Tension\ moyenne = (1 - \alpha).Tension\ de\ sortie = 562.7mV$$

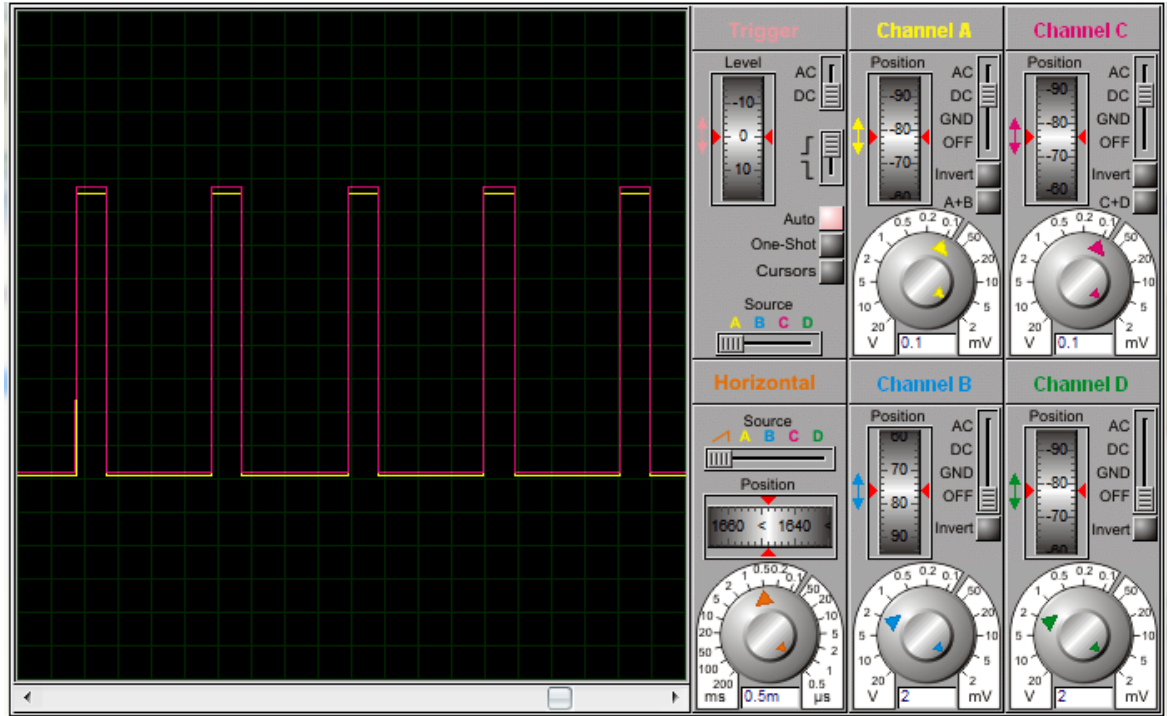


Figure III.17: La tension de sortie pour un rapport cyclique 25%

➤ Pour un rapport cyclique 50%

$$\alpha = 0.5$$

✚ Le sens négatif

$$Tension\ de\ sortie = \begin{cases} 11.25V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$Tension\ moyenne = (1 - \alpha).Tension\ de\ sortie = 5.625V$$

✚ Le sens positif

$$Tension\ de\ sortie = \begin{cases} 750mV & 0 < t < \alpha T \\ 0mV & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$Tension\ moyenne = (1 - \alpha).Tension\ de\ sortie = 375mV$$

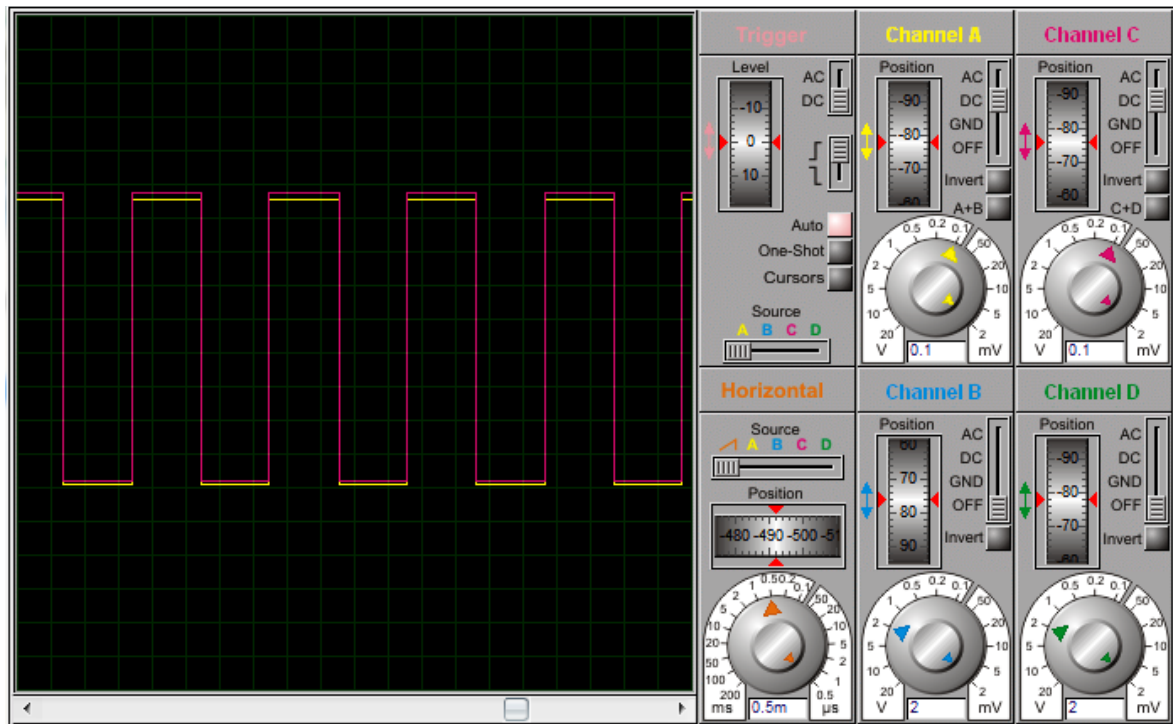


Figure III.18: La tension de sortie pour un rapport cyclique 50%

➤ Pour un rapport cyclique 75%

$$\alpha = 0.75$$

✚ Le sens négatif

$$Tension\ de\ sortie = \begin{cases} 11.25V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$Tension\ moyenne = (1 - \alpha) \cdot Tension\ de\ sortie = 2.8125V$$

✚ Le sens positif

$$Tension\ de\ sortie = \begin{cases} 750mV & 0 < t < \alpha T \\ 0mV & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$Tension\ moyenne = (1 - \alpha) \cdot Tension\ de\ sortie = 187.5mV$$

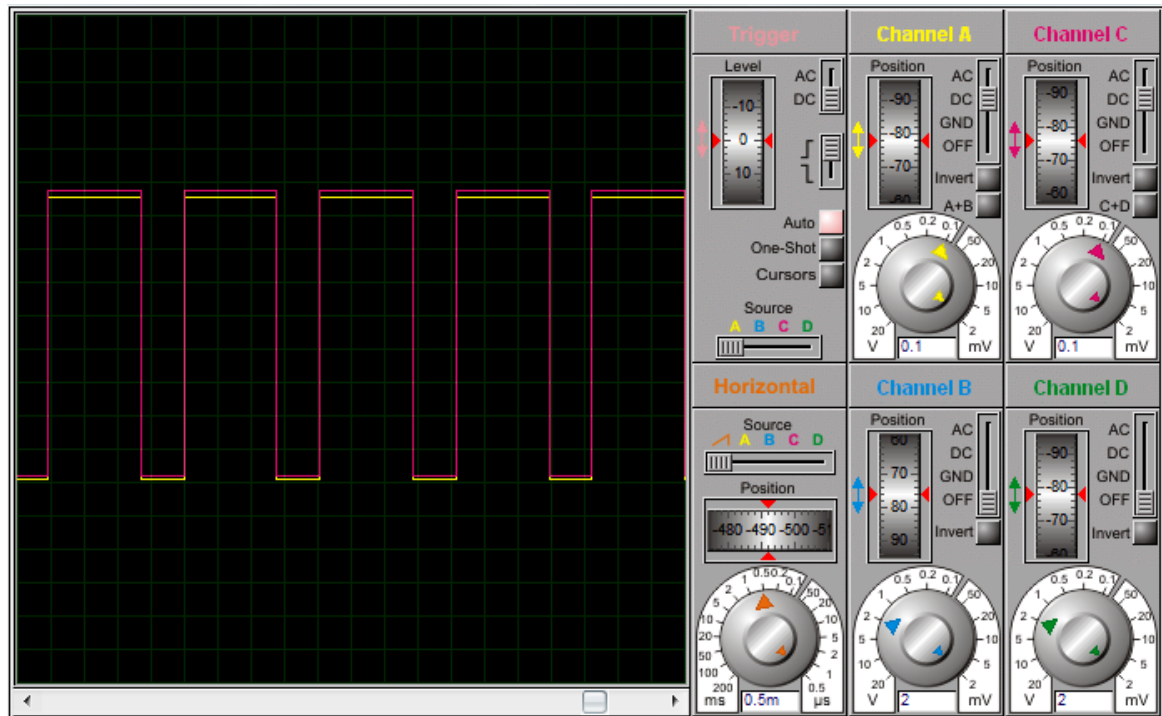


Figure III.19: La tension de sortie pour un rapport cyclique 75%

➤ Pour un rapport cyclique 100%

$$\alpha = 1$$

✚ Le sens négatif

$$\text{Tension de sortie} = \begin{cases} 11.25V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0V$$

✚ Le sens positif

$$\text{Tension de sortie} = \begin{cases} 750mV & 0 < t < \alpha T \\ 0mV & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0mV$$

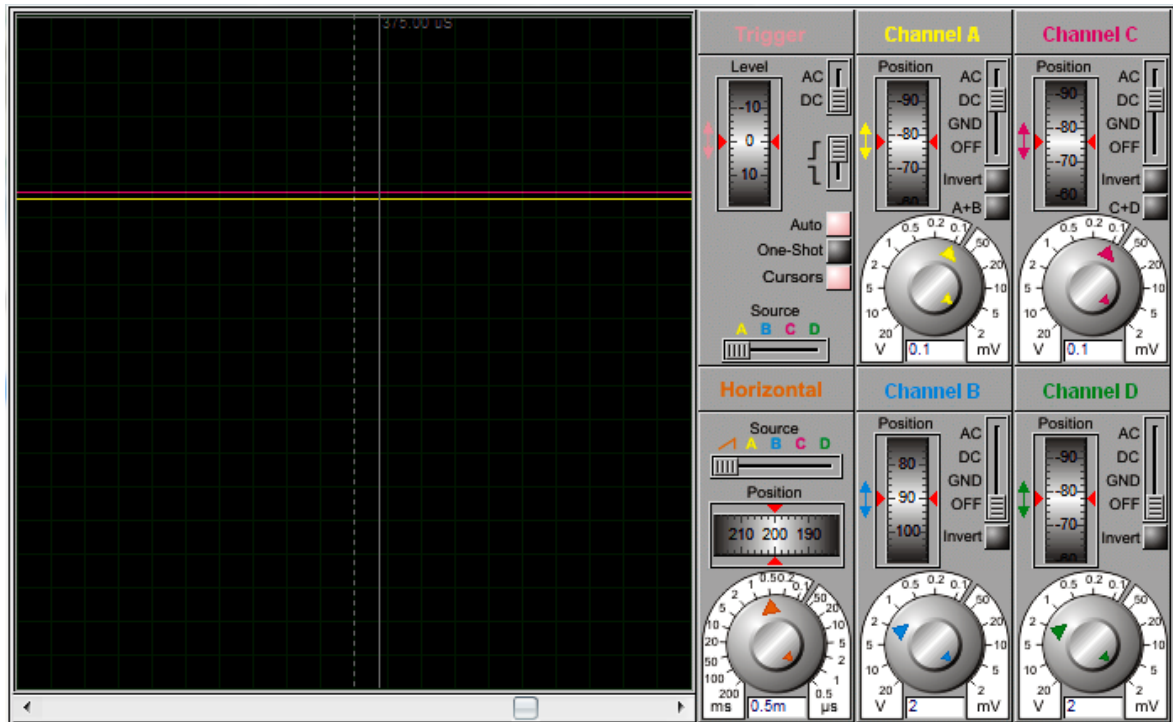


Figure III.20: La tension de sortie pour un rapport cyclique 100%

Exemple 2 : Les deux moteurs tournent aux même temps et dans des sens inverse

- Le premier moteur tourne dans le sens positif avec une accélération constante jusqu'à ce qu'il atteigne sa vitesse maximale dans une période de (5s).
- Maintient sa direction et sa vitesse pendant (3s).
- Tourne dans le même sens avec un ralentissement progressif de la vitesse pendant une période de (5s), puis un arrêt complet pendant (3s).
- Le deuxième moteur tourne dans le sens négatif avec une accélération constante jusqu'à ce qu'il atteigne sa vitesse maximale dans une période de (5s).
- Maintient sa direction et sa vitesse depuis (3s).
- Tourne dans le même sens avec un ralentissement progressif de la vitesse pendant une période de (5s), puis un arrêt complet pendant une période de (3s)

➤ **Pour un rapport cyclique 0%**

$$\alpha=0$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens positif et moteur2 tourne dans le sens négatif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0V$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0V$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens négatif et moteur2 tourne dans le sens positif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0V$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 0V & 0 < t < \alpha T \\ 0V & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0V$$

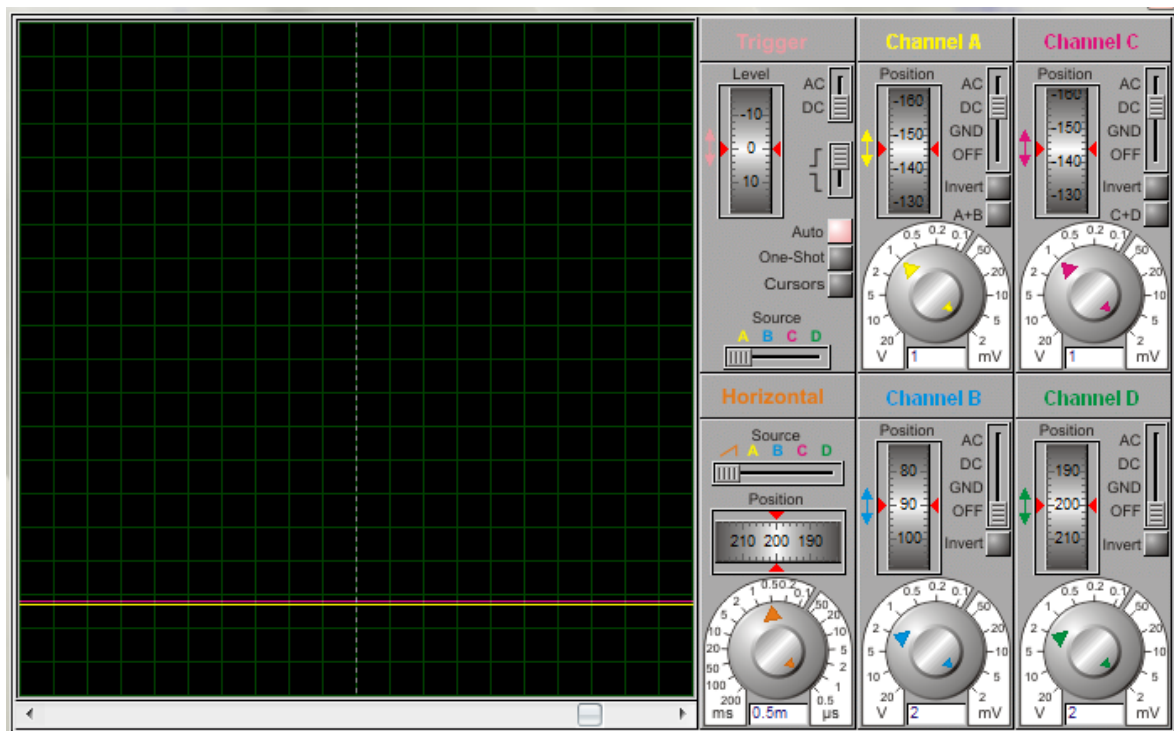


Figure III.21: La tension de sortie pour un rapport cyclique 0%

➤ Pour un rapport cyclique 25%

$$\alpha = 0.25$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens positif et moteur2 tourne dans le sens négatif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 900\text{mV} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{mV} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 675\text{mV}$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 11.1\text{V} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{V} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 8.325\text{V}$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens négatif et moteur2 tourne dans le sens positif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 11.1\text{V} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{V} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 8.325\text{V}$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 900\text{mV} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{mV} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 675\text{mV}$$

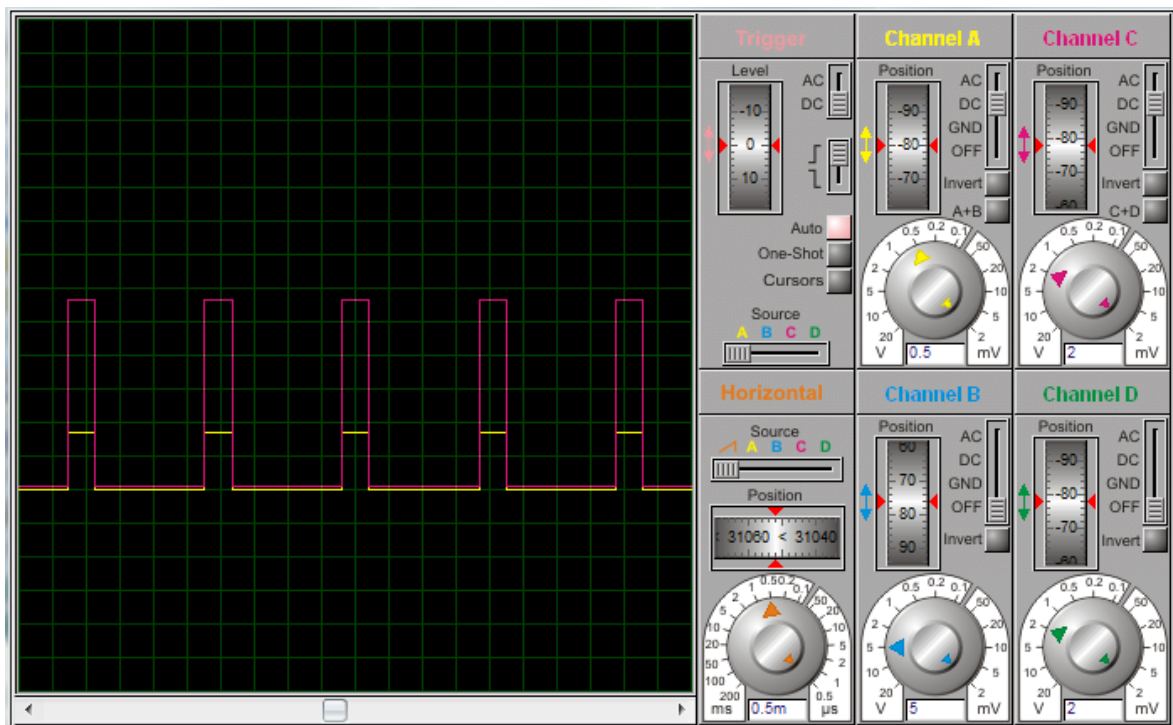


Figure III.22: La tension de sortie pour un rapport cyclique 25%

➤ Pour un rapport cyclique 50%

$$\alpha = 0.5$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens positif et moteur2 tourne dans le sens négatif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 900\text{mV} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{mV} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 450\text{mV}$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 11.1\text{V} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{V} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 5.55\text{V}$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens négatif et moteur2 tourne dans le sens positif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 11.1\text{V} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{V} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 5.55\text{V}$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 900\text{mV} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{mV} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 450\text{mV}$$

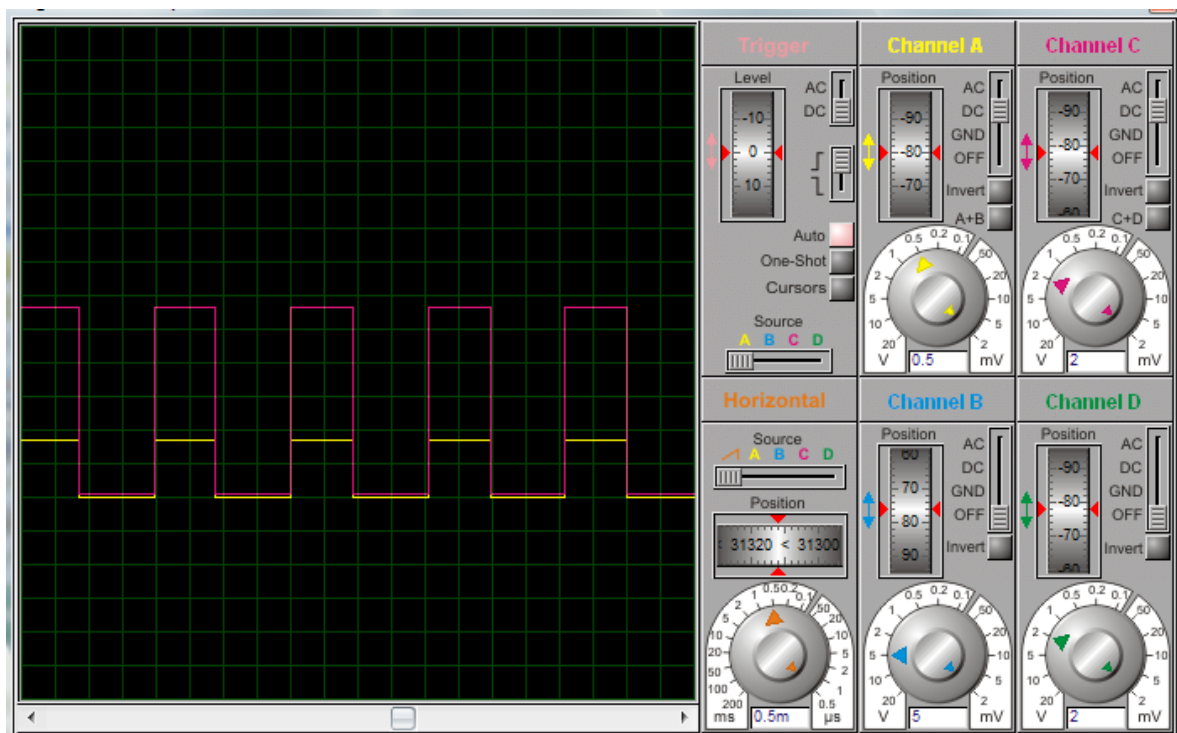


Figure III.23: La tension de sortie pour un rapport cyclique 50%

➤ Pour un rapport cyclique 75%

$$\alpha = 0.75$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens positif et moteur2 tourne dans le sens négatif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 900\text{mV} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{mV} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 225\text{mV}$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 11.1\text{V} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{V} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 2.775\text{V}$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens négatif et moteur2 tourne dans le sens positif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 11.1\text{V} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{V} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 2.775\text{V}$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 900\text{mV} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{mV} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 225\text{mV}$$

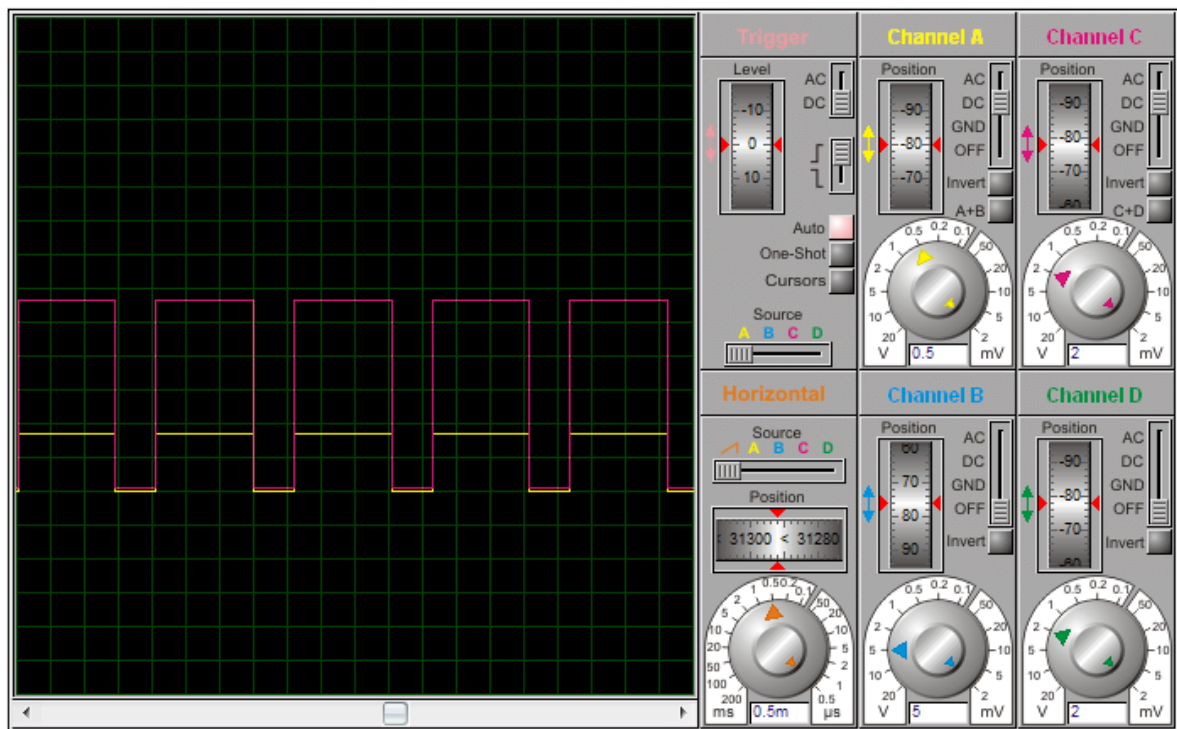


Figure III.24: La tension de sortie pour un rapport cyclique 75%

➤ Pour un rapport cyclique 100%

$$\alpha = 1$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens positif et moteur2 tourne dans le sens négatif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 900\text{mV} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{mV} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0\text{mV}$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 11.1\text{V} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{V} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0\text{V}$$

✚ Moteur1 tourne dans le sens négatif et moteur2 tourne dans le sens positif

$$\text{Tension de sortie de moteur1} = \begin{cases} 11.1\text{V} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{V} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur1} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0\text{V}$$

$$\text{Tension de sortie de moteur2} = \begin{cases} 900\text{mV} & 0 < t < \alpha T \\ 0\text{mV} & \alpha T < t < T \end{cases}$$

$$\text{Tension moyenne de moteur2} = (1 - \alpha) \cdot \text{Tension de sortie} = 0\text{mV}$$

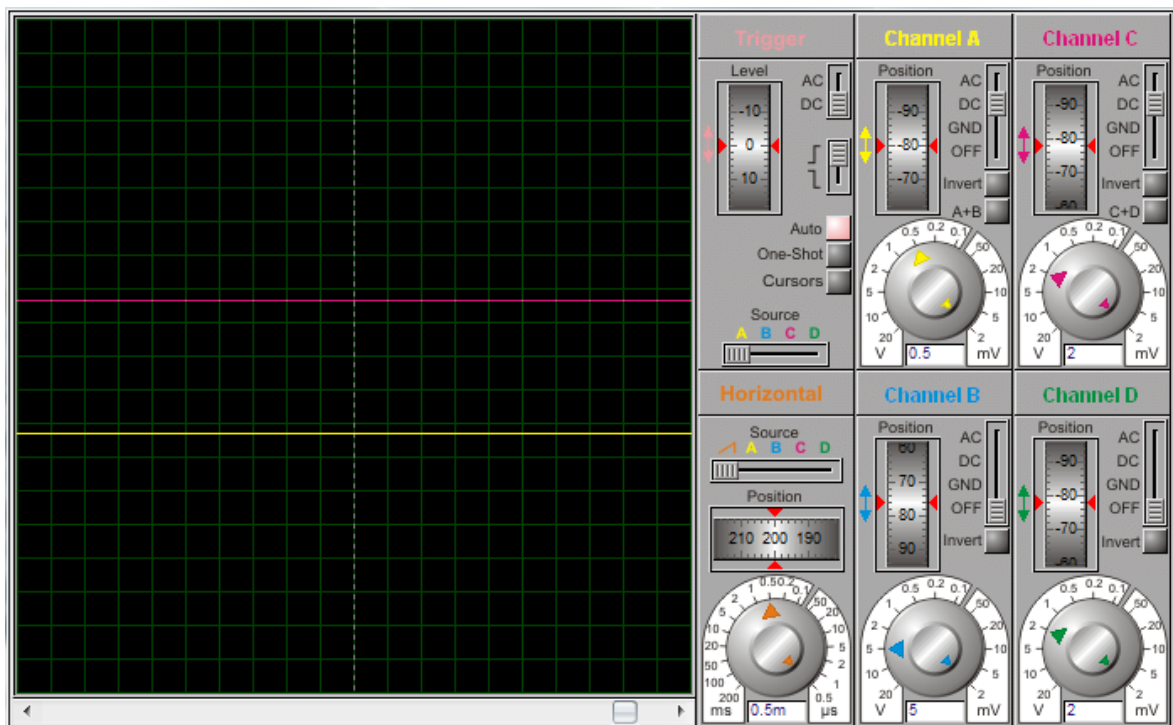


Figure III.25: La tension de sortie pour un rapport cyclique 100%

III.5 Interpretation

La vitesse de rotation du moteur est proportionnelle aux changements du signal MLI en conséquence, cela apparaît lors du changement de la valeur du rapport cyclique chaque fois que nous changeons la valeur de la résistance variable

Même si on change le pont H par un pilote L293D, les caractéristiques de variation de la vitesse restent les mêmes

Quant au sens de rotation du moteur, il est contrôlé automatiquement par le code placé sur la carte Arduino (voir l'annexe).

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le fonctionnement des circuits électroniques à l'aide du programme de simulation représenté par Proteus. Ce dernier nous a permis de réaliser la carte électronique, qui est une carte d'acquisition et de contrôle d'un ou plusieurs moteurs à courant continu.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Notre projet comporte un travail théorique, son objectif consiste sur la commande de la vitesse d'un moteur à courant continu (MCC) en marche « Avant » ou marche « Arrière». Pour faire preuve notre simulation nous avons utilisé une carte Arduino UNO, un moteur à courant continu et un afficheur LCD 4 × 20

Ce système est commandé par la carte Arduino programmable qui doit utiliser les informations actuelles pour décider l'action à prendre.

Pour notre cas on a utilisé la carte Arduino UNO dont ses caractéristiques particulières qui nous à faciliter les taches surtout celle qui concerne sa programmation.

Notre travail a été fait en deux parties: La première partie est pour programmer la carte (Arduino IDE), et la deuxième pour la simulation des circuits sous Proteus.

On a utilisé deux méthodes de commande :

- ✓ Un pont H commandé manuellement, pour contrôler la vitesse et la direction d'un MCC.
- ✓ Un pilote L293D commandé automatiquement pour éliminer l'intervention humaine pendant le contrôle des moteurs.

Tout en préservant le rôle du signal MLI dans le contrôle de vitesse et qui se base sur le code de la carte Arduino

Les circonstances actuelles ne nous ont pas permis de lier notre conception avec une réalisation dans l'atelier.

Où nous avons été obligés de se limiter à la simulation de notre commande des moteurs à courant continu.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bouzghaya Imed, «Etude d'un Hacheur à Stockage Capacitif », Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi, le 14 juin 2014
- [2] Huang Bing, convertisseur continu-continu à rapport de transformation élevé pour applications pile à combustible, Thèse de doctorat Nancy-université INPL,2009.
- [3] Alimentation à découpage. Cours alim découpée STS.doc.
- [4] Mr BENGMAIH,« Les hacheurs >>, C.P.G.E-TSI, 2006/2007.
- [5] Cours-hacheurs
- [6] S.Mohammed Rida, C.Noureddine, << Etude et réalisation d'un variateur de vitesse «PWM» par Arduino, mémoire de fin d'étude de Master, Université Kasdi Marbah Ouargla, 2016
- [7] www.elec.jbd.free.fr, « Machine électromagnétique », Chapitre 13.
- [8] A.AYAD, << Etude et réalisation d'une commande MLI pilotant un hacheur série>>, mémoire de fin d'étude de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2014.)
- [9] www.arduinoHome.cc consulté 25/03/2019 11 :39
- [10] Arduino.odt
- [11] Mr. Faraheddine BELKACEM, “Contribution à La Commande Des Convertisseurs DC-AC Alimenter Par Un Panneau Photovoltaïque”, Thèse de Doctorat, Spécialité : Génie Électrique, Université de Picardie Jules Verne, 2006.
- [12] <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> consulté 01/06/2019 10 :45
- [13] <https://bentek.fr/> consulté 05/07/2020
- [14] <https://www.positron-libre.com/> consulté 03/08/2020
- [15] www.cours-gratuit.com consulté 13/07/2020
- [16] <http://matthieu.benoit.free.fr/affi-lcd.htm>
- [17] BOUYAHIA YESSINE, << Réalisation d'un prototype d'une machine CNC 3 axes>>, mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2019.)

ANNEXES

Code du 1^{er} circuit

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7,6,5,4,3,2,1);
int potpin=A0;
int dir1=13;
int dir2=12;
int bp=8;
int motorpin=9;
int speed;
int val;
void setup() {
  pinMode(dir1,OUTPUT);
  pinMode(dir2,OUTPUT);
  pinMode(bp,INPUT);
}void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" CONCEPTION D'UNE COMMANDE D'UN DC MOTOR");
  delay(1000);
  val=digitalRead(bp);
  if (val==HIGH)
  {digitalWrite(dir1,HIGH);
  digitalWrite(dir2,LOW);
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("DIRECTION2 ");delay(2000);}
  else
  {digitalWrite(dir2,HIGH);digitalWrite(dir1,LOW);
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("DIRECTION2");delay(2000);}
  speed=analogRead(potpin)/4;
  analogWrite(motorpin,speed);
}
```

Code du 2^{ème} circuit (exemple1)

```
LiquidCrystal lcd(7,6,5,4,3,2,1);
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  //for motor right
  pinMode(8,OUTPUT);
  pinMode(9,OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  pinMode(11,OUTPUT);
  //for motor right
  pinMode(12,OUTPUT);
  pinMode(13,OUTPUT);
}
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(10,LOW);
  digitalWrite(11,LOW);
  //with CLOCKWISE
  digitalWrite(9,1);
  digitalWrite(8,0);
  digitalWrite(13,1);
  digitalWrite(12,0);
  for (int i = 0; i < 256; i=i+1)
  {
    analogWrite(11, i);
    analogWrite(10, i);
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print("Acelerate from 0speed to MAX");
    digitalWrite(10,HIGH);
    digitalWrite(11,HIGH);}
  // Decelerate from maximum speed to zero
  digitalWrite(9,255);
  digitalWrite(8,0);
  digitalWrite(13,255);
  digitalWrite(12,0);
  lcd.print("speed MAX");
  delay(3000);
  for (int i = 255; i >= 0; i=i-1)
  {
    analogWrite(11, i);
    analogWrite(10, i);
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print("Decelerate from maximum speed to zero");
    digitalWrite(10,LOW);
    digitalWrite(11,LOW);
  }
  digitalWrite(10,LOW);
  digitalWrite(11,LOW);
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("stop AND INVERS DIR");
```

```

//ANTI CLOCKWISE
delay(3000);
digitalWrite(10,LOW);
digitalWrite(11,LOW);
digitalWrite(8,1);
digitalWrite(9,0);
digitalWrite(13,1);
digitalWrite(12,0);
for (int i = 0; i < 256; i=i+1)
{
  analogWrite(11, i);
  analogWrite(10, i);
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("Acelerate from 0speed to MAX");
  digitalWrite(10,HIGH);
  digitalWrite(11,HIGH);}
  digitalWrite(9,255);
  digitalWrite(8,0);
  digitalWrite(13,255);
  digitalWrite(12,0);
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("SPEED MAX");
  delay(3000);
  digitalWrite(10,HIGH);
  digitalWrite(11,HIGH);
  digitalWrite(8,255);
  digitalWrite(9,0);
  digitalWrite(12,255);
  digitalWrite(13,0);
  delay(5000);
  for (int i = 255; i >= 0; i=i-1)
  {
    analogWrite(11, i);
    analogWrite(10, i);
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print("Decelerate from maximum speed to zero");
    digitalWrite(10,LOW);
    digitalWrite(11,LOW);
    lcd.setCursor(1,1);
    lcd.print("STOP");}
    digitalWrite(10,LOW);
    digitalWrite(11,LOW);
    delay(3000);
  }

```



N-Channel Power MOSFET (28A, 100Volts)

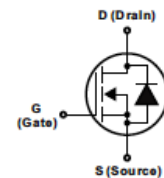
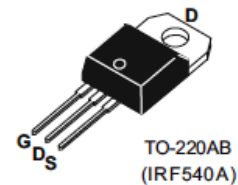
DESCRIPTION

The Nell **IRF540** are N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are designed, tested and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation.

They are designed as an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications such as switching regulators, convertors, UPS, switching mode power supplies and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These transistors can be operated directly from integrated circuits.

FEATURES

- $R_{DS(ON)} = 0.077\Omega$ @ $V_{GS} = 10V$
- Ultra low gate charge (72nC Max.)
- Low reverse transfer capacitance ($C_{RSS} = 120pF$ typical)
- Fast switching capability
- 100% avalanche energy specified
- Improved dv/dt capability
- 175°C operation temperature



PRODUCT SUMMARY

I_D (A)	28
V_{DSS} (V)	100
$R_{DS(ON)}$ (Ω)	0.077 @ $V_{GS} = 10V$
Q_G (nC) max.	72

Résumé

Les machines à commande numérique sont devenues un outil indispensable, notamment dans le domaine industriel, car elles traduisent les idées de l'utilisateur vers son objectif souhaité et limitent les interférences de l'élément humain avec une augmentation de la précision du travail et de la quantité de production.

Pour cela, il est nécessaire d'utiliser des systèmes de support informatique.

Nous avons essayé de donner une idée de base sur la carte Arduino et la nature de son contrôle pour les moteurs à courant continu en utilisant le programme ARDUINO IDE qui permet de produire le code de contrôle et de l'envoyer au programme PROTEUS responsable de simulation de circuits.

Abstract

A Numerical Control machines have become an indispensable tool, especially in the industrial field, because they translate the ideas of the user towards his desired goals and limit the interference of the human element with an increase in the precision of the work and the production quantity.

For this, it is necessary to use computer support systems.

We have tried to give a basic idea about the Arduino board and the nature of its control in DC motors by using the ARDUINO IDE program responsible for producing the control code and sending it to the PROTEUS program responsible for the simulations of circuits.

ملخص

أصبحت الآلات ذات التحكم الرقمي وسيلة لا غنى عنها خاصة في المجال الصناعي ذلك أنها تترجم أفكار المستخدم إلى غايته المرجوة وتحد من تدخل العنصر البشري مع زيادة في دقة العمل وكمية الإنتاج. لهذا من الضروري استخدام أنظمة دعم الكمبيوتر.

حاولنا إعطاء فكرة أساسية عن لوحة اردوينو وطبيعة تحكمها في محركات التيار المستمر باستخدام برنامج اردوينو IDE المسؤول عن انتاج شيفرة التحكم وإرساله الى برنامج البروتيس المسؤول عن القيام بمحاكات الدارات.