

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commandes Electriques
Thème

Variation de la vitesse d'un moteur CC 12V par la carte Arduino

Présenté Par :

- 1) Melle Bouzouina Hadjria
- 2) Melle Kaddour Rahal Halima Saadia

Devant le jury composé de :

Dr Benazza Baghdadadi	M.C.B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr Mendaz Kheira	M.C.A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Mme Touhami Aicha	M.A.A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrante

Année universitaire 2020/2021

Remerciement

Tous d'abord, je tiens à remercier profondément Allah qui m'a toujours aidé par sa grande générosité en me donnant courage, volonté et détermination afin de mener à bien tout ma vie.

Toutes nos gratitudes s'adressent à nos chers parents, pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique.

Nous tenons à exprimer ici nos sincères remerciements à toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien.

Nous souhaitons adresser de grands remerciements à Madame Touhami Aïcha pour ses conseils et pour le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et ses encouragements face aux difficultés que nous avons rencontrées pendant notre travail.

Nos vifs remerciements vont aux membres du jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances aux responsables et au personnel de l'Université Belhadj Bouchaïb Aïn Temouchent.

Dédicace

Je dédie ce mémoire A mes parents pour leurs amours inestimables, leurs sacrifices, leur confiance, leur soutien et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A mon grand-père pour toute l'affection qu'ils m'ont donnée et pour leur précieux encouragement, Que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A mon mari DJAMEL je le remercie pour son aide son soutien ont été pour moi une source de courage et de confiance.

A mes frères BOUHDJER, SIDAHMED m'ont inspiré pour persévérer et continuer mes études

A mes sœurs AHLEM, RANIM, LINA, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A ma copine SOULEF merci d'être avec moi, je suis vraiment chanceuse de t'avoir à mes côtés.

A mes chères amies MANEL, FATIMA, HADJER, je la remercie pour sa présence, sa précieuse aide.

A les deux familles « BOUZOUINA » « BEKRITI ».

A ma chère amie avant d'être binôme HALIMA, je la remercie pour sa présence, sa précieuse aide.

BOUZOUINA HADJRIA

Je dédie ce mémoire A mes parents pour leurs amours inestimables, leurs sacrifices, leur confiance, leur soutien et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A mon ONCLE pour toute l'affection qu'ils m'ont donnée et pour leur précieux encouragement, Que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A mon mari SIDAHMED je le remercie pour son aide son soutien ont été pour moi une source de courage et de confiance.

A mes frères MOHAMED, HOUARI m'ont inspiré pour persévérer et continuer mes études

A mes sœurs HADJER, KHADIDJA, AMINA pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

A mes copines SAADIA, Khadidja, Farida merci d'être avec moi, je suis vraiment chanceuse de t'avoir à mes côtés.

A les deux familles « Kaddour Rahal » « Belgacem ».

A ma chère amie avant d'être binôme Ghozlen, je la remercie pour sa présence, sa précieuse aide.

Kaddour rahal halima saadia

Résumé

L'avantage major des moteurs à courant continu réside dans leur adaptation simple aux moyens permettant de régler ou de faire varier leur vitesse, ainsi que leur raccordement direct à une source d'énergie (batteries d'accumulateur, piles, etc.) Malgré leur principal problème qui se pose au niveau de la liaison entre les balais, ou « charbons » et le collecteur rotatif.

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.

Les mots clé : machine à courant continu, Arduino, rapport cyclique, IDE, MLI.

Abstract

The main advantage of DC motors lies in their easy adaptation to ways to adjust or vary their speed, as well as their direct connection to a power source (accumulator, batteries, etc.) Despite their major problem at the connection between the brushes, or "coal" and the rotary collector.

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.

Keywords: DC machine, arduino, cyclic report, IDE, PWM.

ملخص

تكمّن الميزة الرئيسية لمحركات التيار المباشر في تكيفها البسيط مع وسائل تعديل أو تغيير سرعتها، بالإضافة إلى اتصالها المباشر بمصدر الطاقة كالبطاريات على الرغم من مشكلتها الرئيسية المتمثلة في الاتصال بين الفرشاة والمجمع حاولنا إعطاء فكرة أساسية عن لوحة اردوينو وطبيعة تحكمها في محركات التيار المستمر باستخدام برنامج المسؤول عن إنتاج شيفرة التحكم.

الكلمات الرئيسية:

آلة التيار المستمر ، اردوينو ، التقرير الدوري ، IDE, PMW

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
LISTE DES ABREVIATIONS	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Introduction Générale	1

Chapitre I : Généralités sur les machines à CC

I.1 Introduction	3
I.2 Définition	3
I.3 Constitution d'une machine à courant continu	3
I.3.2 Partie mobile (induit)	3
I.4 Principe de fonctionnement.....	4
I.5 Les différents types de moteurs à courant continu	5
I.5.1 Les moteurs à inducteur à aimant permanent.....	6
I.5.2 Les moteurs à inducteur bobiné	6
I.5.2.1 Moteur série	7
I. 5.2.2 Moteur à excitation shunt (parallèle)	7
I.5.2.3 Moteur à excitation séparée.....	8
I. 6 Equation du moteur à courant continu	8
I.6.1 Force électromotrice	9
I.6.2 Modèle équivalent de l'induit	9
I.6.3 Vitesse	10
I.6.4 Puissance et couple électromagnétiques	10
I.6.5 Couple utile, Puissance utile.....	11
I.6.6 Le rendement.....	11
I.7 Principe du variateur de vitesse	11
I.8.1 Les dispositifs électroniques utilisés pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu	11
I.8.1.1 Convertisseurs continu-continu (hacheurs)	12
I.8.1.2 Convertisseur alternatif-continu (redresseur)	14

I.9 Domaine d'utilisation de moteur à courant continu	14
I.10 Avantages et inconvénients de MCC	14
I .10.1 Avantage	14
I .10.2 Inconvénients	15
I. 11Variation de la vitesse en utilisant hacheur série	15
I.11 conclusion	15

Chapitre II : étude théorique de la commande d'un moteur par la carte arduino

II.1 Introduction	20
II.2 Définition du module Arduino	20
II.3 Différents modèles	20
II.4 Caractéristiques techniques	21
II.5 La carte Arduino UNO	21
II.6 Constitution de la carte Arduin	22
II.8 Le logiciel Arduino	25
II.8.1 Structure d'un programme Arduino	26
II.8.2 Exemple : le programme "Blink"	26
II.9 Commande du moteur à courant continu avec la carte Arduino	27
II.10 Présentation du schéma électronique	29
II.11Modulation a largeur d'impulsions	29
II.12 Technique de la commande à MLI	30
II.13 Principe de la commande MLI	30
II.14 Conclusion	32

Chapitre III : étude expérimental sur de la variation de la vitesse d'un petit moteur

III.1 Introduction	34
III.2 Composants utilisés	34
III.2.1 Carte Arduino	34
III.2.2 Potentiomètre	34
III.2.3 Transistor	35

III.2.4 La plaque d'essai	35
III.2.5 Petit moteur	35
III.2.6 Résistance	36
III .3 Câblage et programmation de Démarrage d'un moteur DC avec arduino	36
III.3 .1 Câblage	36
III.3.1.1 Présentation de la maquette	36
III.3.2 programmation	38
III .4 Câblage et programmation d'un moteur DC contrôlé par potentiomètre avec carte arduino	39
III.4.1 présentation de la maquette	39
III.4.2 Programmation	40
III .4.3 Les valeurs de vitesse	40
III.5 conclusion	43
Conclusion Générale	45
Bibliographie	46

La liste des symboles et abréviation :

MCC : moteur à courant continu

MLI : Modulation de largeur d'impulsion

FEM : force électromotrice

U : tension appliquée au moteur(V)

B : les champs magnétique (T)

L : longueur de tige (cm)

P : nombre de pair de pôles de la machines

N : nombre de conducteurs actifs du périphérique de l'induit

F : force électromotrice

a : nombre de paires de voies de l'enroulements

n : pulsation en (tr/min)

Φ : flux sous un pôle de la machine

K : constant de la machine

Ω : pulsation (rad/s)

Ra : résistance de l'induit

R_f : Résistance de l'inducteur

I_a : Le courant d'induit

I_f : Le courant d'inducteur

Ce : couples d'électromagnétique

P_{em} : Puissance électromagnétique

P_u : Puissance utile (w)

C_u : Couple utile

P_a : Puissance absorbée(w)

α : rapport cyclique

η : le rendement

V_{smoy} : La valeur moyenne de tension de source

Liste des figures

N° de figure	Titre	N° de page
01	Fig. I.1 : Constitution d'une machine à courant continu	4
02	Fig. I.2 : principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu	6
03	Fig. I.3 : Moteur à aimant permanent	7
04	Fig. I.4 : Moteur à excitation série	7
05	Fig. I.5 : moteur à excitation shunt	8
06	Fig. I.6 : moteur à excitation indépendante	9
07	Fig. I.7 : Modèle équivalent de l'induit	10
08	Fig. I.8 : Schéma d'un hacheur série	12
09	Fig. I.9 : Schéma d'un hacheur parallèle	12
10	Fig. I.10 : Schéma d'un hacheur réversible en courant	13
11	Fig. I.11 : Schéma d'un hacheur réversible en tension	13
12	Fig. I.12 : Schéma d'un hacheur réversible en tension et en courant	13
13	Fig. II.1 : Description de la Carte Arduino "Uno	22
14	Fig. II.2 : Constitution de la carte Arduino UNO	22
15	Fig. II.3 interface IDE Arduino	25
16	Fig. II.4 : Un rapport cyclique de 50% signifie que le signal est au niveau haut 50% du temps	28
17	Fig. II.5 : Branchement de la carte Arduino UNO avec un moteur DC	29
18	Fig. II.6 : rapport cyclique MLI	30
19	Fig. II.7 : Réalisation du signal MLI	31
20	Fig. II.8 : variation du rapport cyclique	31
21	Fig. III.1 : carte arduino	34
22	Fig. III.2 : potentiomètre	34
23	Fig. III.3 : transistor	35

24	Fig. III.4 : plaque d'essai	35
25	Fig. III.5 : petit moteur	36
26	Fig. III.6 : résistance	36
27	Fig. III.7 : câblage de démarrage d'un moteur	37
28	Fig. III.8 : schéma sur ISIS	37
29	Fig. III.9 : programme de démarrage du moteur	38
30	Fig. III.10 : câblage de variation de vitesse d'un moteur	39
31	Fig. III.11 : schéma sur ISIS	39
32	Fig. III.12 : programme de variation de vitesse d'un moteur par un potentiomètre	40
33	Fig. III.13 : programme pour relever les valeurs de vitesse	41
34	Fig. III.14 : les différentes valeurs de vitesse	42
35	Fig. III.15 : courbe représentant la variation de vitesse en fonction du temps	42

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.

Pour régler la vitesse des équipements industriels, on a longtemps eu recours à divers dispositifs mécaniques. Maintenant, on fait surtout appel à des variateurs de vitesse électroniques.

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

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). Alors, Les moteurs à courant continu, qui sont par nature des machines à vitesse variable sont très utilisés.

On s'intéresse dans notre étude à la régulation de la vitesse du moteur à courant continu en utilisant arduino qui a été conçu pour être accessible à tous par sa simplicité, mais il peut également être d'usage professionnel, tant les possibilités d'application sont nombreuses. Ces cartes polyvalentes sont donc parfaites pour, ceux qui ne demandent qu'apprendre et progresser

Notre travail est composé de 3 chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre, nous présenterons des généralités sur le moteur à courant continu, préciser sa construction, son principe de fonctionnement et ses différents types, ensuite les méthodes utilisées pour varier la vitesse, après on va passer à son utilisation ses avantages, inconvénients et ses domaines d'utilisation.
- ✓ Dans le second chapitre on va faire une présentation générale sur la carte arduino et leur caractéristiques et leur domaine d'application. Ensuite, on va parler sur la technique la plus utilisée pour varier la vitesse c'est la commande MLI(PWM).
- ✓ Dans le dernier chapitre on va faire la réalisation pratique de la variation de petit moteur à courant continu avec carte arduino.

Chapitre I : Généralités sur les machines à CC

I.1 Introduction :

La machine à courant continu est un convertisseur d'énergie, totalement réversible, elle peut fonctionner soit en moteur, convertissant de l'énergie électrique en énergie mécanique, soit en génératrice, convertissant de l'énergie mécanique en énergie électrique. Les moteurs à courant continu sont utilisés dans les asservissements ou la facilité de réglage de la vitesse, du moment, du couple et du sens de rotation permet une mise en œuvre aisée.

Ce chapitre présentera des généralités sur la machine à courant continu. Les différents éléments constitués de la machine électrique à courant continu, le principe de fonctionnement de cette machine et les techniques de commande et réglage de vitesse [1].

I.2 Définition :

Les moteurs à courant continu sont des machines qui transforment l'énergie électrique qu'ils reçoivent en énergie mécanique. La construction des moteurs est identique à celle des génératrices, de sorte qu'une machine à courant continu peut servir indifféremment comme moteur ou comme génératrice. L'usage des moteurs à courant continu est plutôt restreint, car la distribution se fait à courant alternatif. Cependant, pour certaines applications il est parfois avantageux d'utiliser des moteurs à courant continu alimentés par des convertisseurs qui transforment le courant alternatif en courant continu. La supériorité de ces moteurs réside dans le fait qu'ils se prêtent facilement à un contrôle souple, continu et presque instantané de leur vitesse. [2], [3]

I.3 Constitution d'une machine à courant continu :

Elle se compose de deux parties :

1. Une partie fixe (stator), appelée inducteur, qui produit le flux magnétique nécessaire à la magnétisation de la machine.
2. Une partie mobile (rotor), appelée induit, qui porte les conducteurs soumis au flux.

I.3.1 Parties fixe (inducteur) :

C'est la partie fixe, Il est formé soit d'aimants permanents en ferrite soit de bobines placées autour des noyaux polaires. Lorsque les bobines sont parcourues par un courant continu, elles créent un champ magnétique dans le circuit magnétique de la machine notamment dans l'entrefer, espace séparant la partie fixe et la partie mobile

La partie fixe se comporte des éléments suivants :

→ La carcasse (ou culasse) :

Elle forme la partie extérieure qui supporte les différentes parties de la machine, elle renferme le champ magnétique.

→ Les pièces polaires :

Les pièces polaires sont constituées de tôles feuilletées (pour réduire les pertes pas courant de Foucault) et permettent de supporter les bobines d'excitation de la machine. Elles permettent donc de produire un champ d'induction.

→ L'enroulement d'excitation :

L'enroulement d'excitation de la machine à courant continu sert à la création du champ magnétique.

I.3.2 Partie mobile (induit) :

L'induit est la partie tournante de la machine, le noyau d'induit est en fer pour canaliser les lignes de champ, les conducteurs sont logés dans des encoches sur le rotor, deux conducteurs forment une spire. La partie mobile se comporte des éléments suivants :

→ Le collecteur :

Il se compose de lames de cuivre isolées les unes des autres, où sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit.

→ Les balais :

Ce sont des tiges conductrices qui frottent sur la surface du collecteur, ils sont faits en graphite ou en charbon. Le dispositif collecteur/ balais permet donc de faire circuler un courant dans l'induit [2] La figure suivante présente la constitution d'une machine à courant continu :

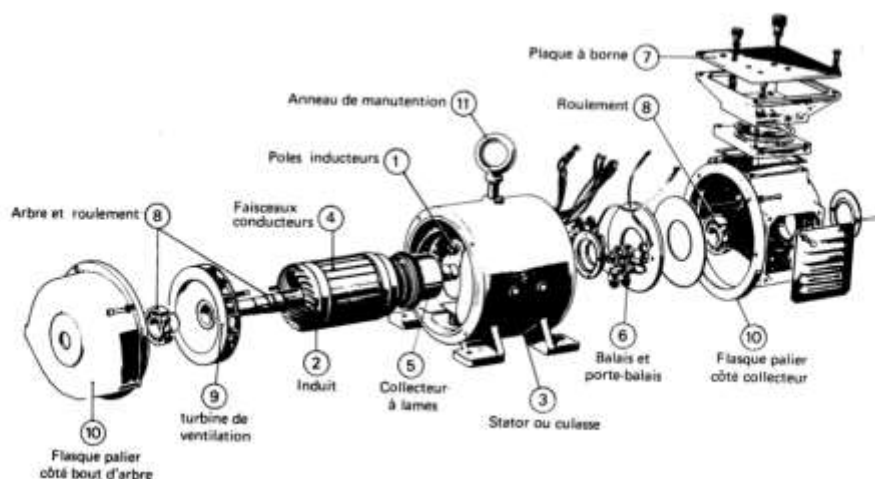


Fig. I.1 : Constitution d'une machine à courant continu [4]

I.4 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 longueur (L) placés dans le champ (B) et parcouru par un courant (I) est le siège d'une force électromagnétique perpendiculaire au conducteur. 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 [5].

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha \quad (I.1)$$

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

• Fonctionnement en génératrice

Dans le cas d'une génératrice à excitation indépendante. Le rôle d'un générateur est de fournir de l'électricité sous tension continue variable.

Pour cela, il faut lui fournir de l'énergie mécanique sous forme d'un 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 parcouru par un courant, le champ qu'il crée est de direction constante. De plus, le couple extérieur fait tourner le rotor.

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

Selon l'amplitude du champ créé par l'excitation (et donc selon la valeur du courant d'excitation), la tension induite sera d'amplitude variable [2], [6].

• Fonctionnement en moteur

Pour comprendre son principe de fonctionnement, nous allons considérer que l'inducteur et l'induit sont électriquement séparés. Nous sommes donc 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 vertu du principe de Laplace, l'interaction du courant avec un champ qui est lui perpendiculaire crée un couple sur l'enroulement du rotor. [2], [6]



Fig I.2 : principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu [5]

I.5 Les différents types de moteurs à courant continu :

On distingue deux types de moteurs à courant continu :

I.5.1 Les moteurs à inducteur à aimant permanent :

Il n'y a pas de circuit inducteur, le flux inducteur est produit par un aimant permanent. Tous les moteurs à courant continu de faible puissance et les micromoteurs sont des moteurs à aimant permanent. Ils représentent maintenant la majorité des moteurs à courant continu. Ils sont très simples d'utilisation [7]

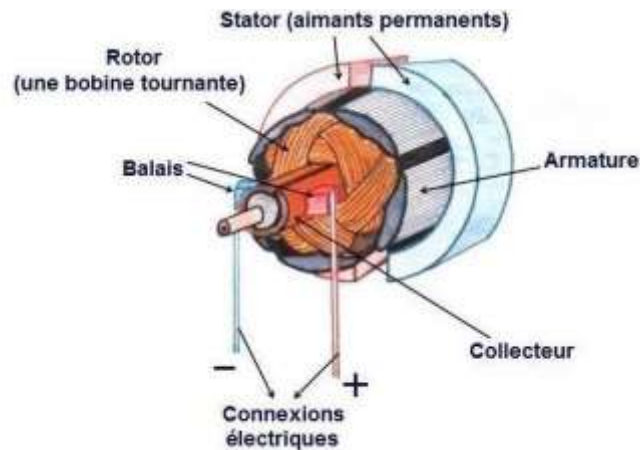


Fig I .3 : Moteur à aimant permanent [17]

I.5.2 Les moteurs à inducteur bobiné :

Il existe 3 types différents de moteurs électriques qui sont classés en fonction du type d'excitation qui est employé, qui sont : [16]

- Moteur à excitation série.
- Moteur à excitation shunt.
- Le moteur à excitation séparée.

I.5.2.1 Moteur série :

Inducteur monté en série avec l'induit : L'induit et l'inducteur sont parcourus par le même courant [8]

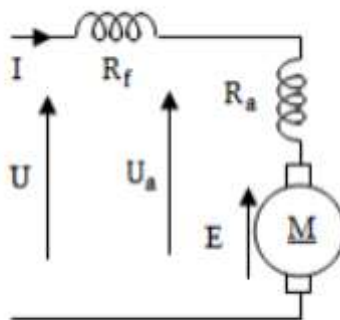


Fig. I .4 : Moteur à excitation série [17]

$$\left\{ \begin{array}{l} U_a = (R_a + R_f)I + E \\ E = k\Omega\Phi \\ C_e = kI\Phi \end{array} \right. \quad \text{avec } \Phi = M_{af}I \quad \left\{ \begin{array}{l} E = k'\Omega I \\ C_e = k'I^2 \end{array} \right. \quad (I.2)$$

I. 5.2.2 Moteur à excitation shunt (parallèle) :

L'inducteur est monté en parallèle avec l'induit : les deux circuits sont soumis à la même tension [8]

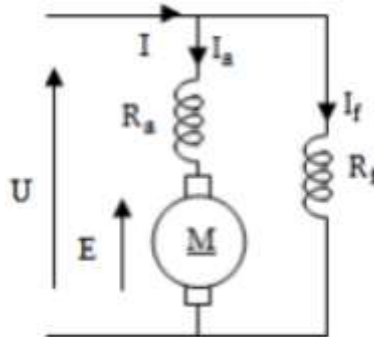


Fig. I.5 : moteur à excitation shunt [17]

$$\begin{cases} U = R_a I_a + E = R_f I_f \\ E = K \Omega \Phi = K' I_f \\ C_e = K I_a \Phi = K' I_a I_f \\ I = I_a + I_f \end{cases} \quad (I.3)$$

I.5.2.3 Moteur à excitation séparée :

Le moteur étant alimenté, le bobinage induit sous tension U_a placé dans un champ magnétique inducteur $B (I_f)$, est soumis à un couple donné par la loi de Laplace et par conséquent le moteur tourne à une vitesse Ω [8]

$$\Omega = 2\pi n / 60 \quad (I.4)$$

n : vitesse de rotation en (tr /min)

ω : pulsation en (rad/s)

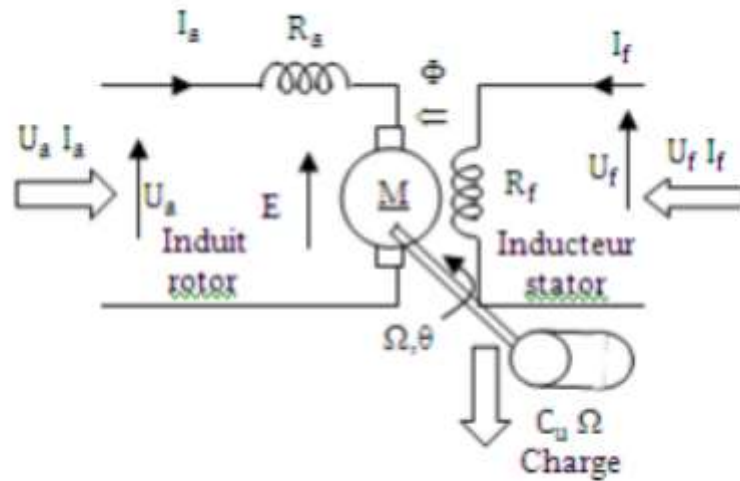


Fig. I.6 : moteur à excitation indépendante [17]

La relation de maille donne :

$$\begin{cases} \text{Induit: } U_a = R_a I_a + E \\ \text{Inducteur: } U_f = R_f I_f \end{cases} \quad (\text{I.5})$$

Force électromotrice (fém) une bobine (induit) en mouvement placé dans un champ magnétique (inducteur) est le siège d'une force électromotrice motrice fém induite entre ces bornes donnée par la loi de Faraday :

$$E = k\Omega\Phi$$

K : constante qui dépend de la machine

Φ : flux maximum par pôle

Le flux inducteur étant : $\Phi = M_a f I_f$ Circuit magnétique non saturée

Le couple électromagnétique :

$$C_e = K I_a \Phi$$

I. 6 Equation du moteur à courant continu :

I.6.1 Force électromotrice : [9]

Nous savons qu'une bobine en mouvement dans un champ magnétique voit apparaître à ses bornes une force électromotrice (f.é.m.) donnée par la loi de Faraday:

$$dE = (d L \wedge \vec{v}) \quad (\text{I.6})$$

Sur ce principe, la machine à courant continu est le siège d'une f.é.m. donnée par :

$$E = p 2\pi \cdot N \cdot \Phi \cdot \Omega \text{ [V]} \quad (\text{I.7})$$

Avec :

p : le nombre de paires de pôles.

a : le nombre de paires de voies d'enroulement

Φ : le flux maximum à travers les spires [Wb].

Ω : la vitesse de rotation [tr/mn].

N : nombre de conducteur actif Finalement on peut écrire ;

$$E = K \cdot \Phi \cdot \Omega \quad (\text{I.8})$$

Avec : $K = p \cdot 2\pi \cdot a \cdot N$ (I.9)

K : la constante de la fém.

I.6.2 Modèle équivalent de l'induit :

Si on néglige la chute de tensions aux contacts balais-collecteur et on considère que la réaction magnétique d'induit et totalement compensée, le schéma électrique équivalent de l'induit est représenté par la figure [9]

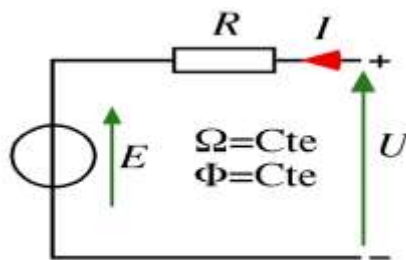


Fig. I.7 : Modèle équivalent de l'induit [9]

D'après la loi d'Ohms :

$$U = E + R \cdot I \quad (\text{I.10})$$

I.6.3 Vitesse : [9]

A partir de l'expression de la force électromotrice développée aux bornes de l'induit et l'équation électrique (I.10)

On peut déduire l'expression de la vitesse qui sera donnée par :

$$\Omega = \frac{U - R \cdot I}{K \Phi} \quad (\text{I.11})$$

Avec :

K est une constante de construction du moteur est égal à

$$K = p / aw$$

P : nombre de pair de pôles.

a : nombre de voies d'enroulement.

w : nombre de conducteurs par section.

I.6.4 Puissance et couple électromagnétiques : [9]

Si l'induit présente une f.é.m. E et s'il est parcouru par le courant I , il reçoit une puissance électromagnétique :

$$P_{em} = E.I \quad (I.12)$$

D'après le principe de conservation de l'énergie cette puissance est égale à la puissance développée par le couple électromagnétique.

$$P_{em} = C_{em} . \Omega = E.I \quad (I.13)$$

D'où l'expression du couple électromagnétique ;

$$C_{em} = K . \Phi . I \quad (I.14)$$

I.6.5 Couple utile, Puissance utile : [9]

Les pertes mécaniques (frottement dans les paliers, action de l'aire de ventilation) et les pertes fer dans l'induit produisent un couple C_p appelé couple de pertes.

Le couple utile disponible sur l'arbre du moteur sera exprimé par :

$$C_u = C_{em} - C_p \quad (I.15)$$

La puissance utile développée par le moteur est donnée par:

$$P_u = C_u . \Omega \quad (I.16)$$

I.6.6 Le rendement : [9]

Le rendement du moteur est donné par :

$$\eta = P_u / P_a \quad (I.17)$$

Où P_a est la puissance absorbée par le moteur

I. 7les Méthodes utilisées pour varier la vitesse d'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 [10] .

I.7.1 Les dispositifs électroniques utilisés pour la variation de vitesse des moteurs à courant continu:

Dans le cas des moteurs à courant continu nous avons deux types de convertisseurs :

I.7.1.1 Convertisseurs continu-continu (hacheurs)

Un hacheur est un convertisseur statique continu-continu qui permet à partir d'un réseau à courant continu d'alimenter une charge sous une tension continu de valeur moyenne réglable. Le hacheur est basé sur le principe d'ouverture et de fermeture régulière d'un interrupteur statique, le réglage relatif des temps de l'ouverture et de la fermeture de l'interrupteur permet de contrôler l'échange d'énergie [11].

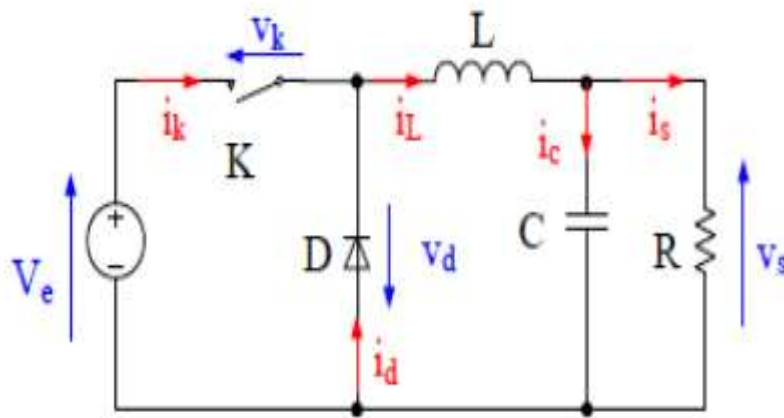


Fig. I.8 : Schéma d'un hacheur série [12]

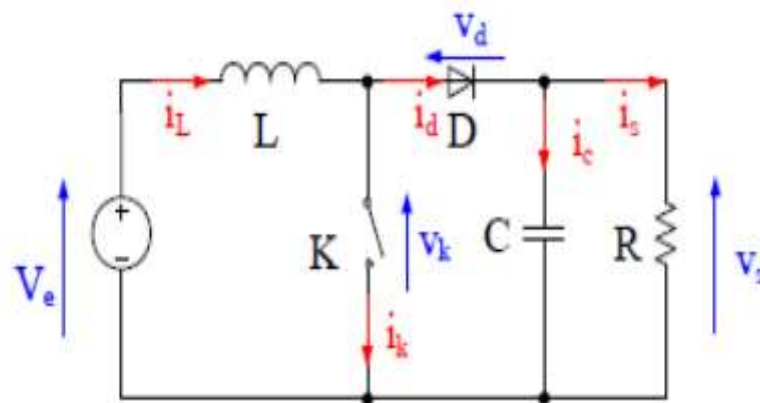


Fig. I.9 : Schéma d'un hacheur parallèle [12]

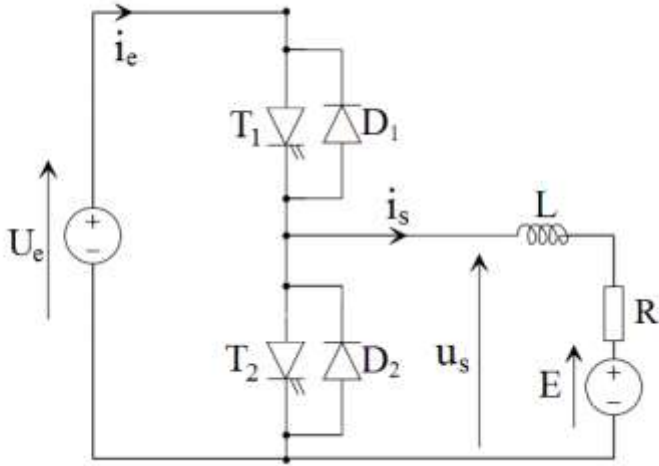


Fig. I.10 : Schéma d'un hacheur réversible en courant [13]

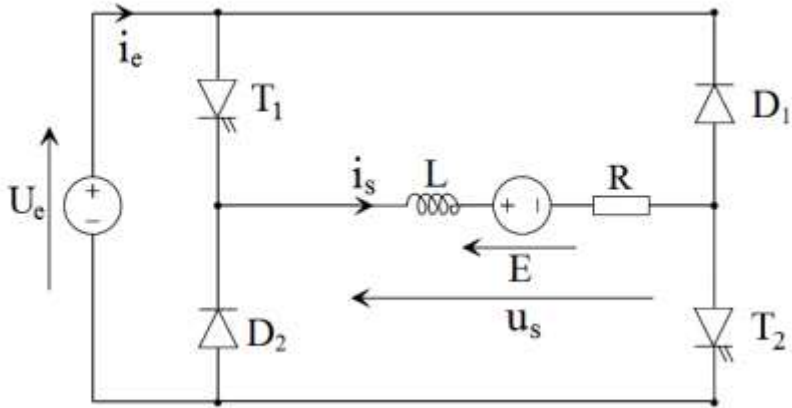


Fig. I.11 : Schéma d'un hacheur réversible en tension [13]

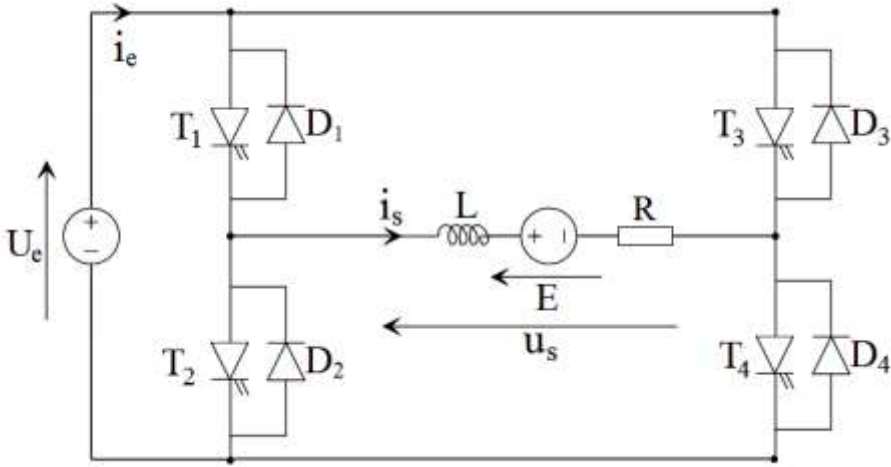


Fig. I.12 : Schéma d'un hacheur réversible en tension et en courant [13]

I.8.1.2 Convertisseur alternatif-continu (redresseur) :

Les montages redresseurs, sont les convertisseurs de l'électronique de puissance qui assurent directement la conversion alternatif-continu. Alimenté par une source de tension alternative monophasée ou triphasée, ils permettent d'alimenter en courant continu le récepteur branché à leur sortie [11] .

I.9 Domaine d'utilisation de moteur à courant continu :

Les moteurs à courant continu sont utilisés dans :

- L'industrie : Laminoirs, enroulements (aciéries, papeteries), machine de refendage (découpe de tôles pour raccourcir la largeur d'une bobine), machine à tréfilage (réduction de la section d'un fil par traction mécanique).
- Le transport : Moteurs de traction ferroviaires, remontées mécaniques.
- La manutention : Levage (portiques dans la construction navale ou aéronautique, grues), ascenseurs [14].

Le moteur série est intéressant quand la charge impose d'avoir un gros couple, au démarrage et à faible vitesse de rotation. Le moteur sépare est particulièrement adapté aux entraînements de machines nécessitant des vitesses réglables (action sur la tension) et présentant un couple important en basse vitesse (machines-outils) démarreur (automobile ...) moteur de traction (locomotive, métro ...) appareils de levage. Ventilateurs, pompes centrifuges, compresseurs, pompes à piston. Machines-outils à couple variable ou à mouvement alternatif (étau-limeur, raboteuses). [15]

I.10 Avantages et inconvénients de MCC : [1]

Les moteurs à courant continu sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles, bien que leur construction soit plus complexe que celle des moteurs à courant alternatif.

I .10.1 Avantage :

- Alimentation aisée dans les systèmes transportant leur réserve d'énergie (autonome) : pile ou batterie.
- Une large gamme de variation de vitesse au-dessus de la vitesse de régime.
- Un fonctionnement avec des couples constant ou variables
- Une accélération, un freinage et une inversion de sens de rotation très rapide, ce qui est avantageux dans le cas des appareils de levage et des machines-outils.
- Une vitesse de rotation qui peut être réglée par l'intermédiaire d'un système rétroaction.
- Une facilité de récupération d'énergie [1]

I.10.2 Inconvénients :

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

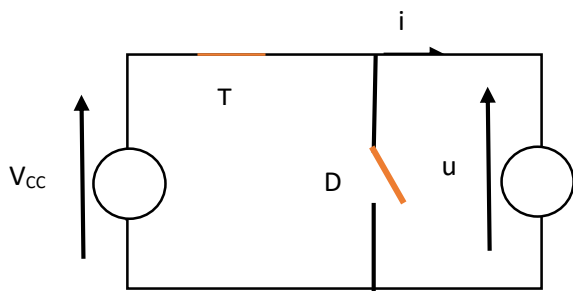
- Plus la vitesse de rotation est élevée, plus les balais doivent s'appuyer fortement pour rester en contact et plus le frottement est important.
- Aux vitesses élevées les charbons doivent être remplacés très régulièrement.
- Le contact électrique imparfait cause des arcs électriques, usant rapidement le commutateur et générant des parasites dans le circuit d'alimentation. [13]

I. 11 Variation de la vitesse en utilisant hacheur série

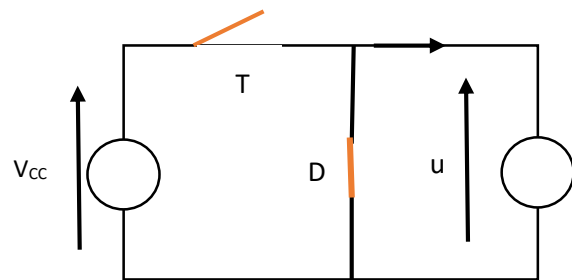
Pour varier la vitesse du moteur DC ; nous utiliserons un hacheur série ; comme montré dans les figures suivante :

De 0 à αT le thyristor est passant : $T=1$ et $D=0$

De αT à T le thyristor est bloqué : $T=0$ et $D=1$

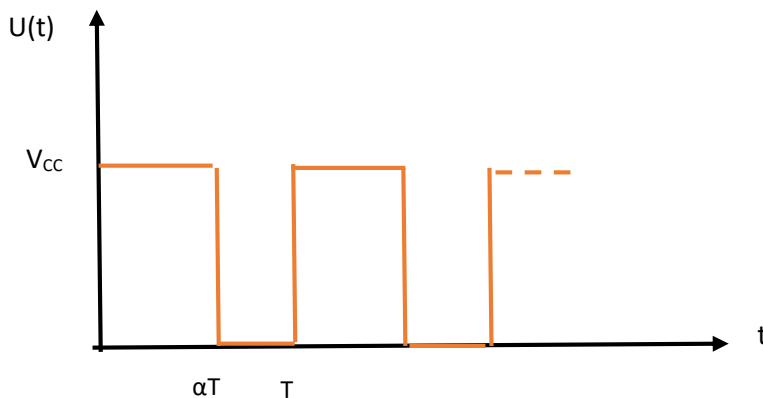


On a alors $u=V_{cc}$



On a alors $u=0$

D'où la forme d'onde suivante :



La valeur moyenne de tension :

$$U_{moy} = \frac{1}{T} \alpha T V_{CC} \quad (\text{I.18})$$

$$U_{moy} = \alpha V_{CC} \quad (\text{I.19})$$

La f.é.m. d'une machine à courant continu fonctionnant à flux constant, est proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation Ω de l'induit ($E = K\Omega$).

En réglant le rapport cyclique α , on dispose d'un moyen de réglage de la vitesse du moteur.

En effet, on peut écrire :

$$U = E = K\Omega = \alpha V_{CC} \quad (\text{I.20})$$

$$\Omega = \frac{\alpha V_{CC}}{K} \quad (\text{I.21})$$

I.11 conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté une description générale d'un petit moteur à courant continu son fonctionnement et sa constitution de différent type d'élément, ainsi la méthode pour la variation de la vitesse. Pour varié la vitesse en utilisant la carte arduino qui peut commander parfaitement la vitesse d'un moteur DC (en valeur et en sens), en utilisant les sorties PMW. Plus de détails au chapitre II.

*Chapitre II : étude théorique de la commande d'un
moteur par la carte arduino*

II.1 Introduction :

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. [13]

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 [10]

Arduino est une plate-forme basée sur un matériel et un logiciel faciles à utiliser. Il se compose d'une carte de circuit imprimable, qui peut être programmée (appelée microcontrôleur) et d'un logiciel prêt à l'emploi appelé Arduino IDE (Integrated Développement Environnement), qui est utilisé pour écrire et charger le code informatique sur la carte.[26]

<https://waytolearnx.com/2017/04/programmer-larduino-introduction.html>

II.2 Définition du module Arduino :

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 [16].

II.3 Différents modèles :

- Arduino UNO
- Arduino LEONARDO
- Arduino mini
- Arduino PRO
- Arduino UNO R3
- Arduino MEGA 2560
- Arduino DUE
- Arduino ADK Android[17]

II.4 Caractéristiques techniques : [18]

Microcontrôleur	ATmega328P
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (recommandé)	7-12V
Tension d'entrée (limite)	6-20V
E / S numériques Pins	14 (dont 6 fournissent la sortie PWM*)
PWM numérique E / S Pins	6
Pins d'entrée analogique	6
DC Courant par I O Pin /	20 mA
Courant DC pour 3.3V Pin	50 mA
Mémoire flash bootloader**	32 KB (ATmega328P) dont 0,5 KB utilisé par
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM ***	1 KB (ATmega328P)
Vitesse de l'horloge	16 MHz
Longueur	68,6 mm
Largeur	53,4 mm
Poids	25 g

II.5 La carte Arduino UNO :

Est un microcontrôleur ATmega328 programmable permettant de faire fonctionner des composants (moteur, LED...). Elle possède des «ports» permettant par exemple de se connecter à un ordinateur ou de s'alimenter. La carte Arduino UNO est la pièce maîtresse de tout circuit électronique pour les débutants Elle est dotée :

De 14 entrées/sorties (dont 6 fournissent la sortie PWM)

- 6 entrées analogiques
- un cristal à 16 MHz
- une connexion USB
- une prise jack d'alimentation
- un en-tête ICSP
- une fonction reset. [18]

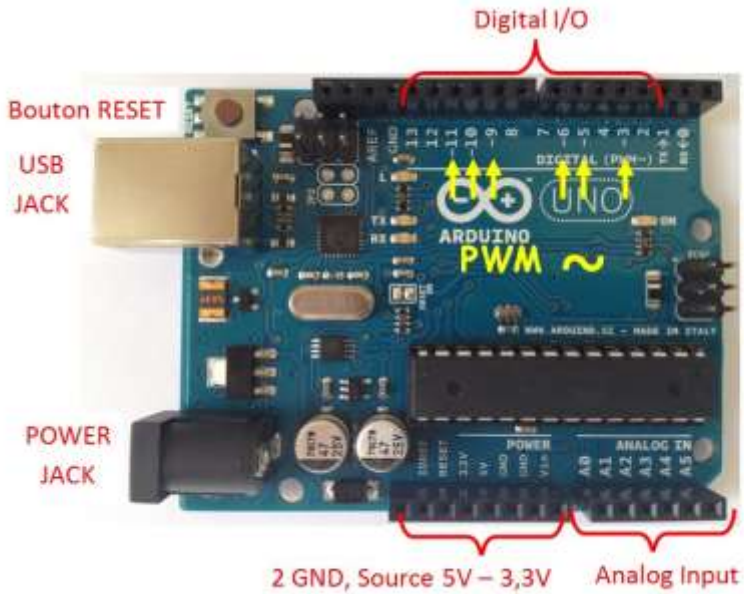


Fig II.1 : Description de la Carte Arduino "Uno [23]

II.6 Constitution de la carte Arduin :

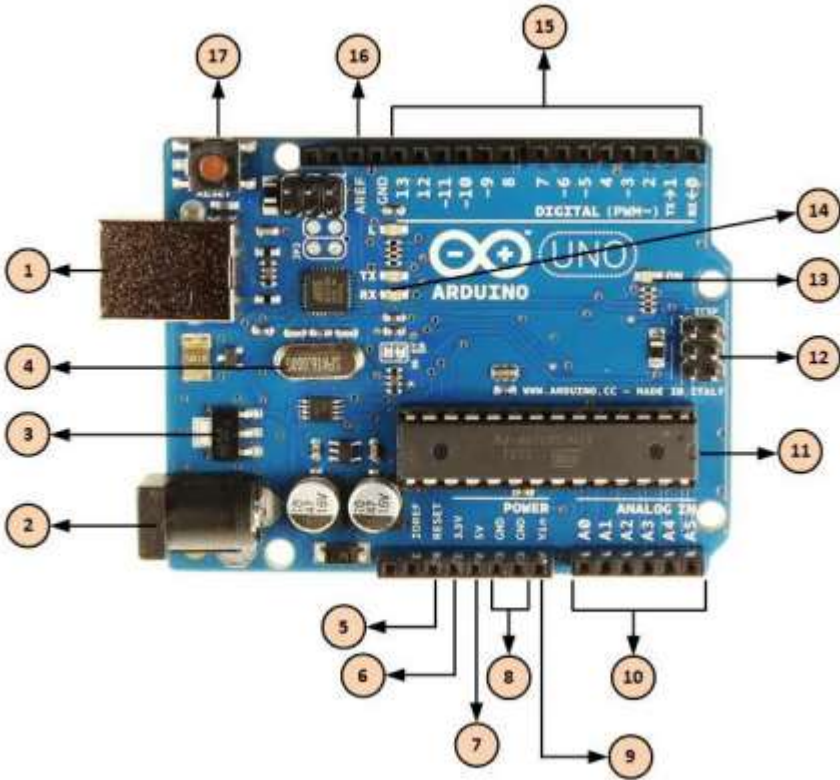


Fig. II.2 : Constitution de la carte Arduino UNO [19]

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) (Grounds / 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 numérique 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.[13]

II.7 Applications :

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines, nous pouvons donner quelques exemples :

- Contrôler les appareils domestiques
- Faire un jeu de lumières
- Communiquer avec l'ordinateur

- Télécommander un appareil mobile (modélisme) etc.
- Fabriquer votre propre robot. Avec Arduino, nous allons faire des systèmes électroniques tels qu'une bougie électronique, une calculatrice simplifiée, un synthétiseur, etc. Tous ces systèmes seront conçus avec pour base une carte Arduino et un panel assez large de composants électroniques [20]

II.8 Le logiciel Arduino :

Les créateurs d'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) [21].

Le logiciel est gratuit et open source dont la simplicité d'utilisation est remarquable. Ce logiciel va nous permettre de programmer la carte Arduino pour :

- Réaliser l'interfaçage avec Matlab /Simulink
- Implémenter la commande directement sur la carte[23].



Fig. II.3 : interface IDE Arduino [22]

II.8.1 Structure d'un programme 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. [13]

Le langage de programmation Arduino dérive du langage C++ et il en respecte les règles de syntaxe :

1. Une ligne qui commence par "//" est considérée comme un commentaire.
2. Un paragraphe qui commence par "/*" et qui se termine par "*/" est considéré comme un commentaire
3. Toute ligne d'instruction de code doit se terminer par un point-virgule ";"
4. Un bloc d'instructions (définition d'une fonction, boucle "while" ou "if"/"else"...) doit être délimité par des accolades ouvrantes "{" puis fermantes"}".
5. Toutes les variables doivent être déclarées, ainsi que leur type (int,float,...) avant d'être utilisées.

Un programme (ou "sketch") Arduino est constitué de 2 fonctions distinctes :

1. La fonction de configuration "void setup" exécutée une seule fois au lancement du programme.
2. La fonction "void loop" qui est ensuite exécutée indéfiniment en boucle. [23]

II.8.2 Exemple : le programme "Blink" :

```
int DEL = 5 ;
void setup ( )
{
  pinMode (DEL, OUTPUT) ; On initialise la borne 5 de l' Arduino ( nomme "DEL" )
  comme une sortie .
}
void loop ( ) { digitalWrite (DEL, HIGH) ; On met la borne 5 au niveau logique haut (+5V)
: la diode s' allume .
  delay (1000) ; On attend un délai de 1000ms (soit 1 s).
  digitalWrite (DEL, LOW) ; On met la borne 5 au niveau logique bas (0V)
  la diode s' teint. delay (1000) ; On attend un délai de 1000ms (soit 1 s).
```

}

Et ainsi de suite tant que le circuit est alimenté. [23]

II.9 Commande du moteur à courant continu avec la carte Arduino :

Pour faire varier la vitesse d'un moteur CC, il faut faire varier la tension d'alimentation aux bornes du moteur. Mais Arduino ne sait délivrer que des tensions de 5 V sur ses broches avec un courant beaucoup trop faible pour alimenter un moteur. La solution est de faire appel à la PWM et d'amplifier le signal par un transistor ou un circuit intégré équivalent comme le circuit ULN2803 [24]

Arduino, grâce à sa fonction `analogWrite`, crée un signal carré basculant entre niveau bas (LOW = 0 V) et niveau haut (HIGH = + 5 V) de fréquence fixe (sur un Uno, 490 ou 980 Hz approximativement suivant les broches qui délivrent le signal), dont on peut faire varier le rapport cyclique, c'est-à-dire le temps où le signal est au niveau haut sur le temps de la période du signal. Un rapport cyclique de 50% signifie que le signal est au niveau haut 50% du temps. Ceci est résumé sur la figure 1

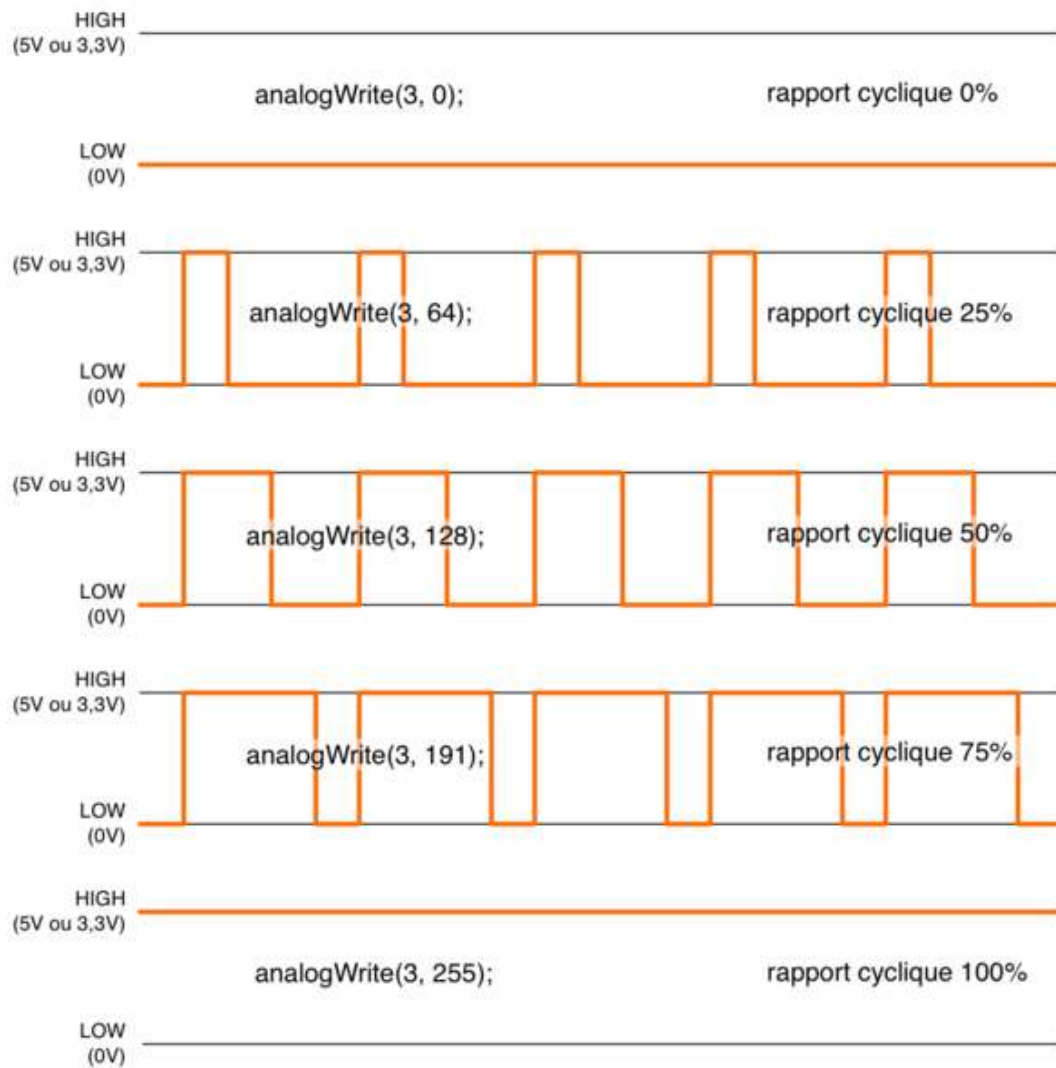


Fig II.4 : Un rapport cyclique de 50% signifie que le signal est au niveau haut 50% du temps [24].

Ce signal est généré sur les broches d'Arduino mentionnées PWM (repérées par un tilde), grâce à la fonction `analogWrite` qui précise le rapport cyclique à adopter. La valeur est comprise entre 0 (pour un rapport cyclique égal à 0%) et 255 (pour un rapport cyclique égal à 100%), toute valeur intermédiaire pouvant être adoptée (exemple, 127 pour un rapport cyclique de 50%). Le signal est amplifié par un transistor et comme celui-ci travaille en commutation, sa dissipation en puissance est quasi nulle. Le moteur qui reçoit un tel signal est toujours alimenté dans sa tension nominale d'alimentation, ce qui fait que son couple est maximum. Par contre, le moteur perçoit ce signal comme un courant de tension moyenne égale à la tension d'alimentation multipliée par le rapport cyclique ; il tourne donc moins vite. Pour faire varier la vitesse du moteur, il suffit de faire varier le rapport cyclique du signal PWM délivré par Arduino [24].

II.10 Présentation du schéma électronique :

Le circuit électronique ci-dessous permet de contrôler un moteur à courant continue à partir des sorties PWM de la carte Arduino. Ce circuit doit amplifier le courant de sortie de la carte Arduino avec la résistance de protection $1K\Omega$) et doit aussi supporter la variation du rapport cyclique du signal PWM. Parmi les transistors pouvant satisfaire ces conditions on a choisi le TIP121 [23].

Les composants utilisés sont les suivants : pour notre réalisation on a utilisé 12 V au lieu de PC.

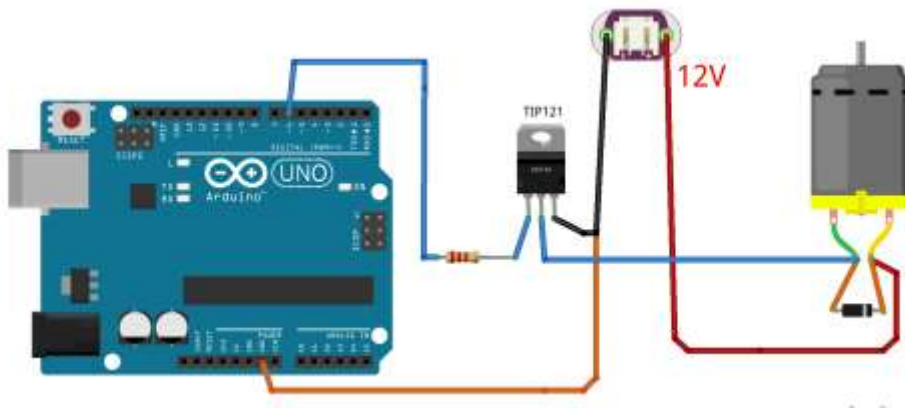


Fig II.5 : Branchement de la carte Arduino UNO avec un moteur DC [23]

– Le transistor TIP122 : C'est un transistor Darlington NPN qui d'après la fiche technique permet d'amplifier le courant jusqu'à 5A avec son gain d'amplification "au minimum"

$$\beta = 1000$$

– La diode 1N4004 : Dans une charge inductive (bobines), le courant ne peut pas se stopper instantanément. Cette diode joue le rôle d'une diode de roue libre qui permet au courant de s'arrêter progressivement [23].

II.11 Modulation a largeur d'impulsions :

La qualité de la tension de sortie d'hacheur dépend largement de la technique de commande utilisée pour commander les interrupteur de ce hacheur .il existe plusieurs technique de commande et le choix d'un technique parmi toute 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 largeur d'impulsions MLI qui nous donne le rapport cyclique. Le développement considérable de la technique de modulation en largeur d'impulsion ouvre une large étendue d'application dans les systèmes commande et

beaucoup d'autre fonction .elle permet une réalisation souple et rendable des circuits de commande des hacheurs. [10]

II.12 Technique de la commande à MLI :

Le PWM est un signal numérique, donc la tension peut prendre deux valeurs seulement (0 bas et 1 haut). Dans certains cas très spécifiques (onduleurs à MLI par exemple) on fabrique un troisième niveau en inversant la tension du niveau haut.

Le signal est carré. Le niveau bas correspond généralement à 0 Volt. La période est notée T ; la durée de l'impulsion (pour laquelle la tension est celle de l'état haut) est appelée t_h .

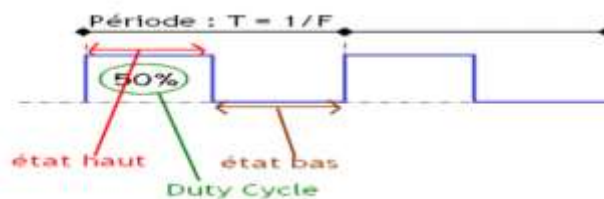


Fig. II.6 : rapport cyclique MLI [25]

Si la période change, le signal n'est plus vraiment périodique au sens strict. On appelle alors T le pseudo période [25].

II.13 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 répondeuse pour la production d'un signal MLI est de comparer entre deux signaux :

- Le premier, appelé signal de référence, est un signal continue 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.

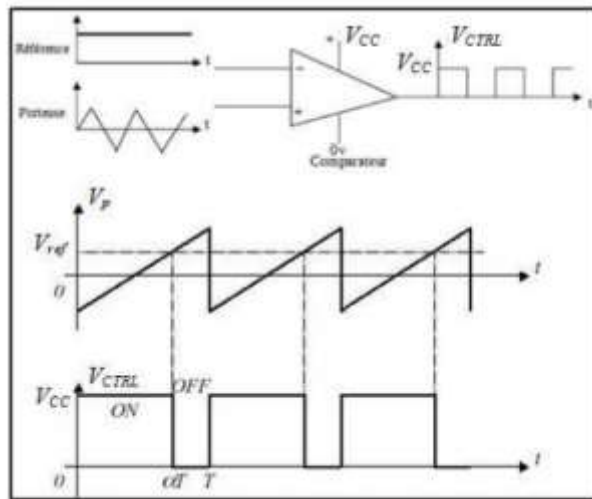


Fig II.7 : Réalisation du signal MLI [10]

Rapport cyclique :

On appelle rapport cyclique le rapport $\alpha = 100 \frac{t_{on}}{T}$ exprimé en pourcentage. Si $t_{on} = 0$ alors, $\alpha = 0\%$ et la tension moyenne de sortie est nulle. Si $t_{on} = T$ alors $\alpha = 100\%$ et la tension moyenne de sortie est égale à V_{cc} .

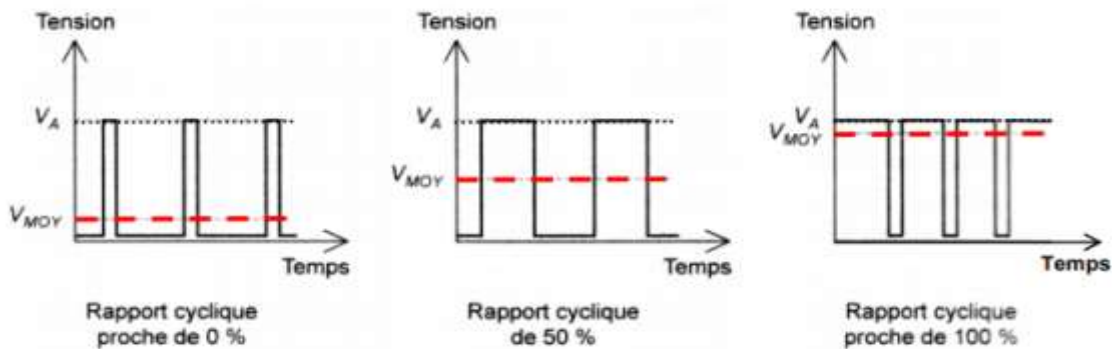


Fig. II.8 : variation du rapport cyclique [10]

Généralement, tous les microcontrôleurs récents (PIC, Arduino, AVR. . . .) peuvent générer des signaux PWM ce qui signifie Pulse Width Modulation (ou modulation de largeur d'impulsion). Ces signaux permettent en effet de manipuler avec une grande efficacité la puissance appliquée à des charges alimentées sous une tension continue et grâce au Timer du microcontrôleur et à une possibilité de configuration interne particulière, il est très facile de générer des signaux PWM avec le rapport cyclique de notre choix .[10]

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 [13].

II.14 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une présentation générale de la carte Arduino sont composants et sont différents modèle ainsi la technique la plus utilisé dans les variateurs de vitesse pour MCC est la commande par modulation de largeur d'impulsion MLI.

*Chapitre III : étude expérimental sur la variation de la
vitesse d'un petit moteur*

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la réalisation pratique d'un circuit de commande de vitesse d'un petit moteur DC(PMDC) via la carte arduino type UNO en exploitant les sorties analogiques menu de la propriété PWM.

III.2 Composants utilisés :

III.2.1 Carte Arduino :

La carte la plus couramment utilisée est Arduino UNO. C'est une carte avec un petit contrôleur AVR 8 bits: ATmega328 peut être alimentée via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est automatiquement sélectionnée.



Fig III.1 : carte arduino [18]

III.2.2 Potentiomètre

Un potentiomètre (appelé familièrement potard) est un type de résistance variable à trois bornes, qui connecté à l'entrée analogique de l'arduino , le rôle de ce dernier est de variée la valeur de résistance pour commander le signal MLI [27].



Fig III.2 : potentiomètre

III.2.3 Transistor :

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 [27].



Fig III.3 : transistor

III.2.4 La plaque d'essai :

La plaque d'essai utilisé pour réaliser des montages électroniques sans soudure.

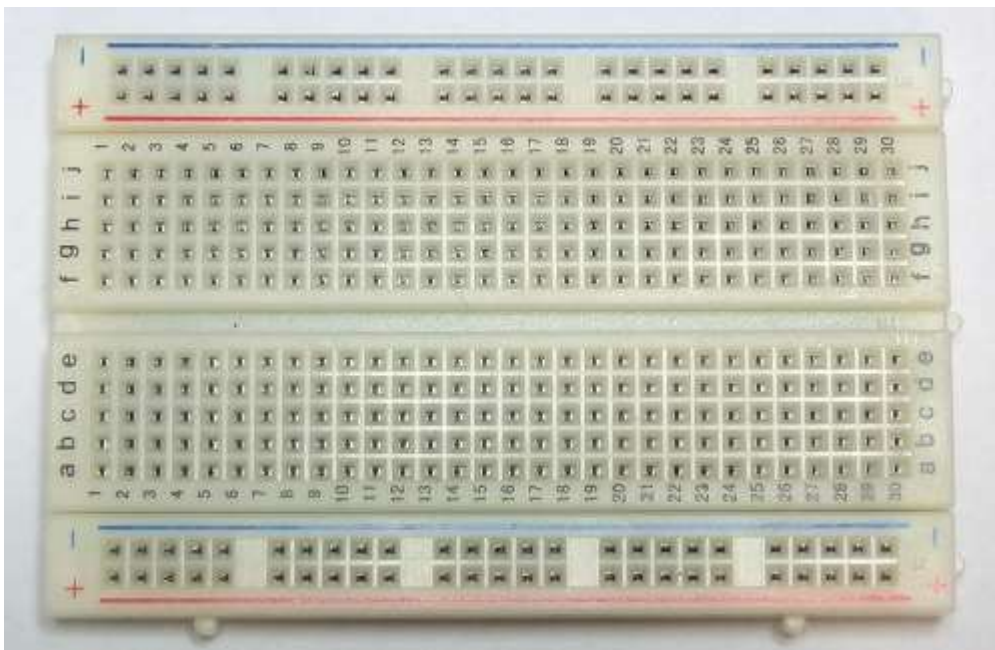


Fig. III.4 : plaque d'essai

III.2.5 Petit moteur :

On utilisant petit moteur à courant continu miniature 130, l'enroulement interne en cuivre
Longueur : 25 mm

Largeur : 20 mm

Hauteur : 15 mm

Tension : 3 v

Vitesse : 16500 tr/min

Courant : 350 mA

Poids : 15g



Fig. III.5 : petit moteur

III.2.6 Résistance :

Dans cette réalisation on utilisant une résistance de $1K\Omega$

Puissance : 0.33W

Longueur : 6.8 mm

Diamètre : 2.5 mm

Température maximale : 155°C

Température minimale : 55°C



Fig. III.6 : résistance

III .3 Câblage et programmation de Démarrage d'un moteur DC avec arduino :

Dans un premier lieu, on va essayer de démarrer le moteur depuis notre circuit de commande, pour cela l'application est fait en plusieurs étapes (programmation et câblage).

III.3 .1 Câblage :

III.3.1.1 Présentation de la maquette :

La maquette est constituée d'un petit moteur relié à une carte arduino qui s'alimente à un pc.

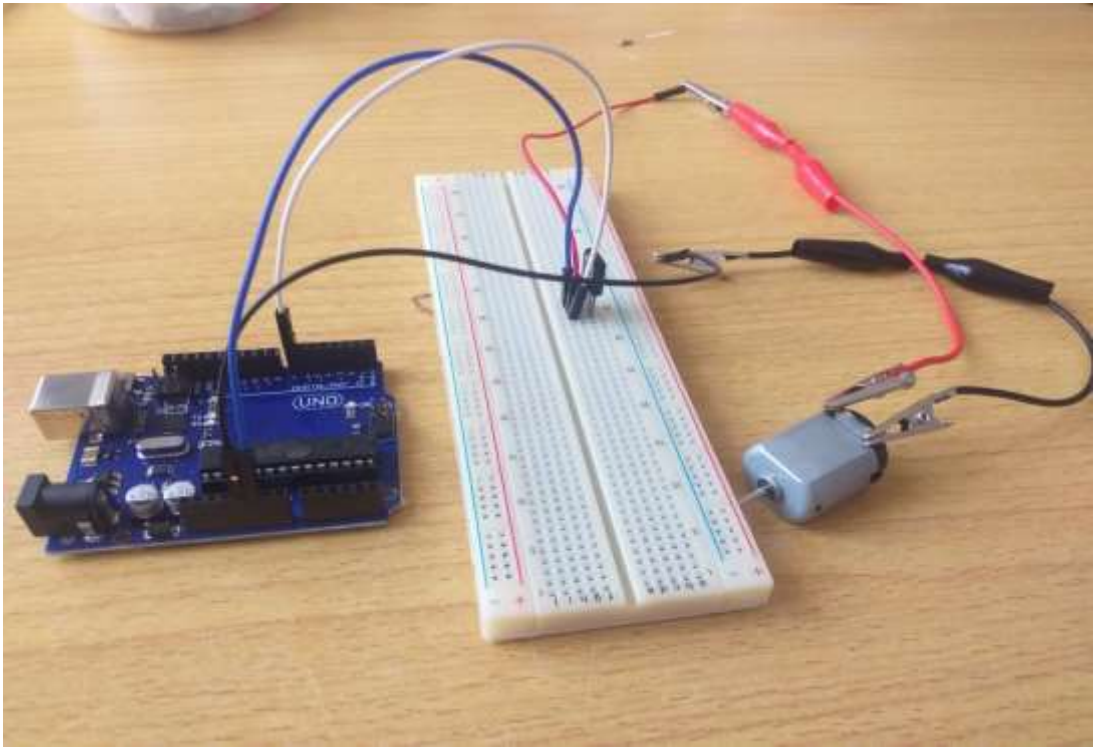


Fig. III.7 : câblage de démarrage d'un moteur

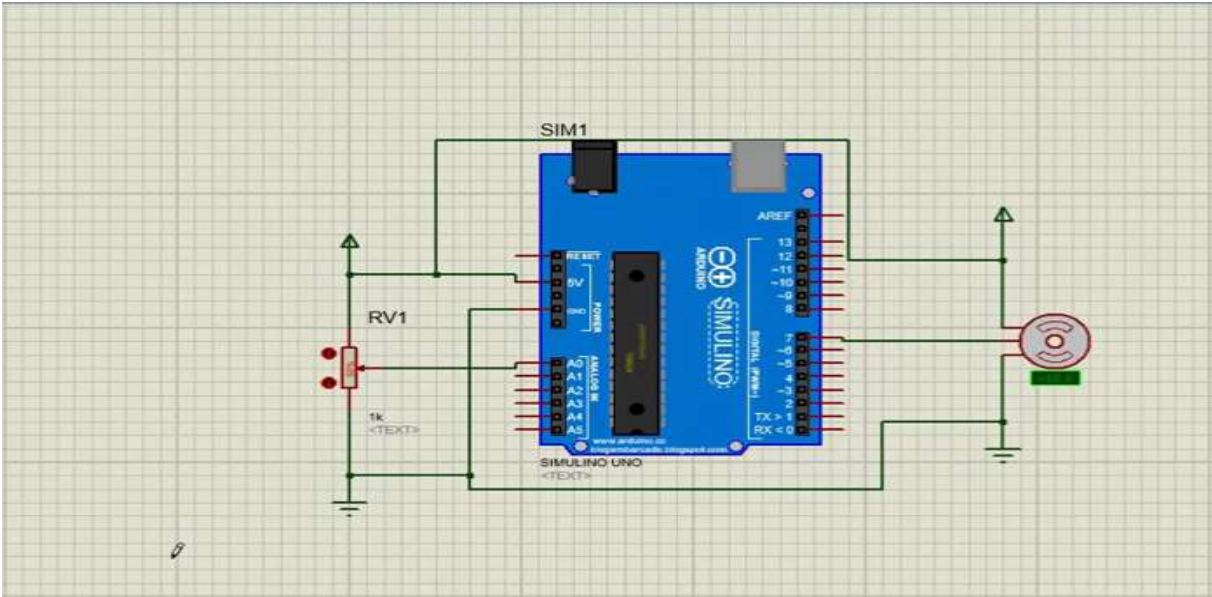


Fig. III.8 : schéma sur ISIS

III.3.2 programmation :

On écrit notre programme sur l'interface du logiciel IDE



```
test_motor_dc
void setup() {

    pinMode(A0, INPUT_PULLUP);
    pinMode(7, OUTPUT); digitalWrite(7, 0);

}

void loop()
{
    while(digitalRead(A0) == 1);

    {
        digitalWrite(7, 1);
    }
    digitalWrite(7, 0);
}

Téléversement terminé
```

Fig. III.9 : programme de démarrage du moteur

III.4 Câblage et programmation d'un moteur DC contrôlé par potentiomètre avec carte arduino :

III.4.1 présentation de la maquette :

Cette maquette constituée un moteur et une carte arduino qui s'alimente par le pc, dans cette essai on utilise un potentiomètre qui varie la vitesse d'un moteur.

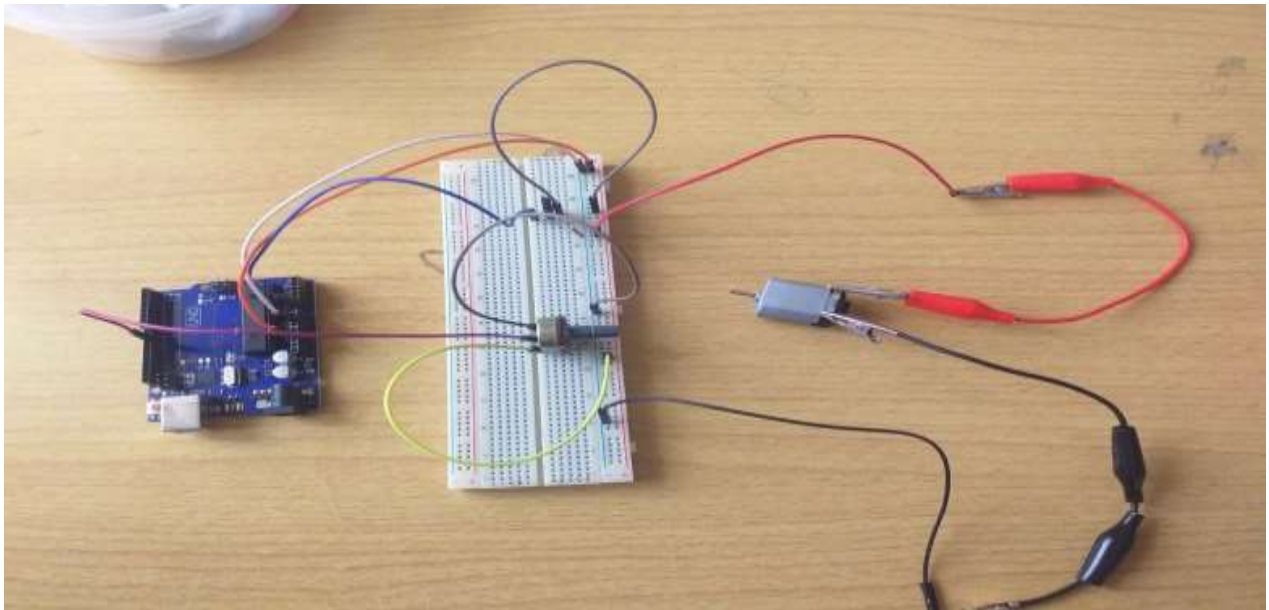


Fig. III.10 : câblage de variation de vitesse d'un moteur

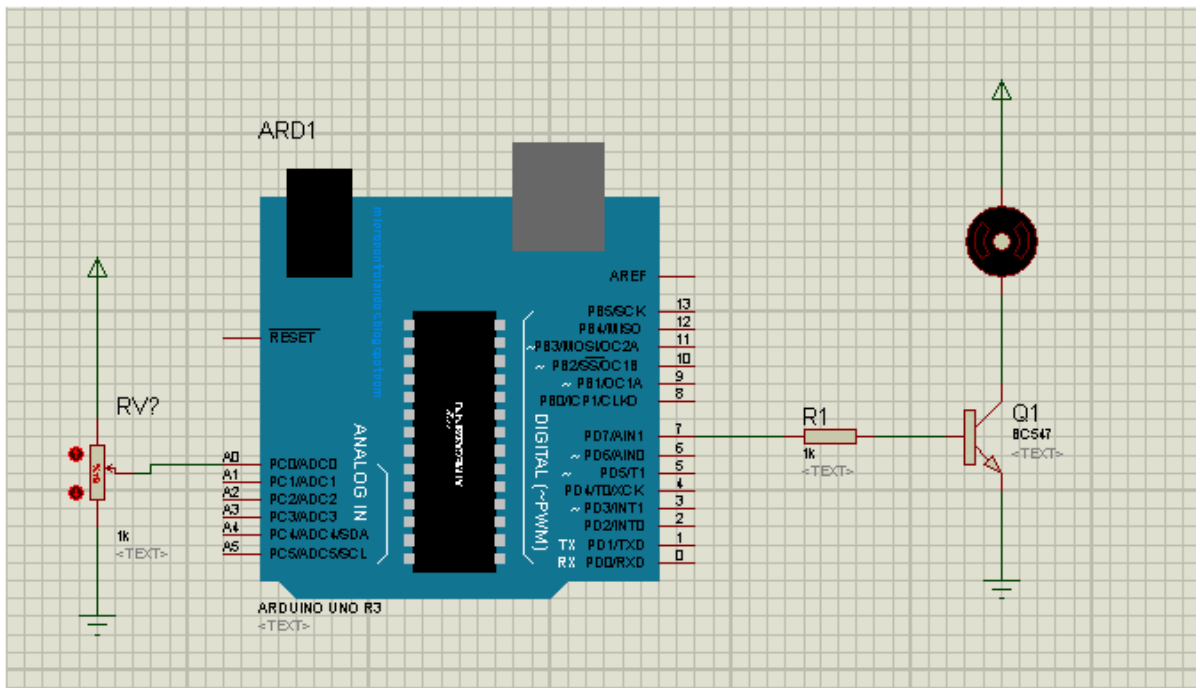


Fig. III.11 : schéma sur ISIS

III.4.2 Programmation :

```
sketch_may26a
int MOTOR = 9 ;
int POT = A0 ;
int VAL ;

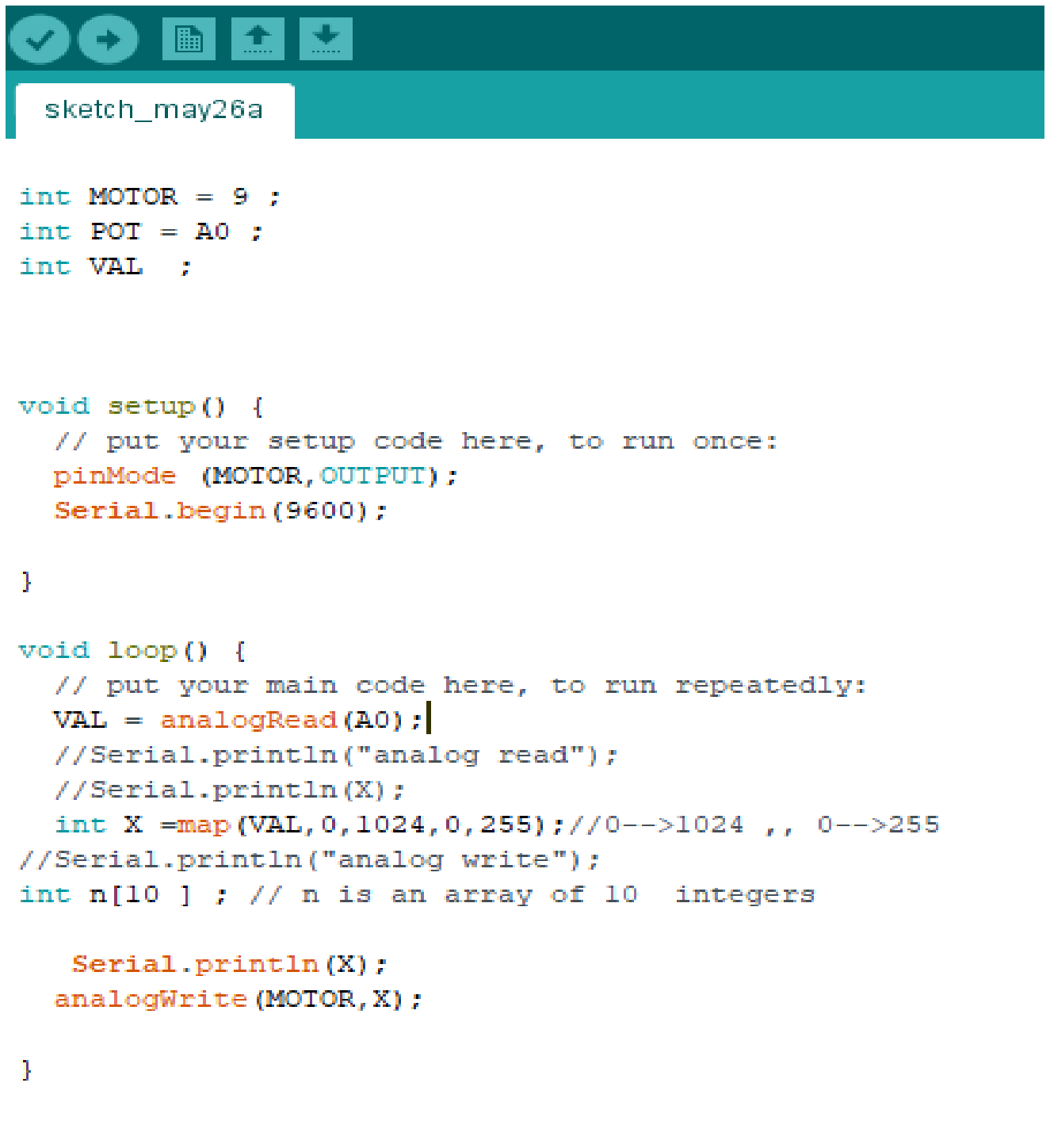
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode (MOTOR,OUTPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  VAL = analogRead(A0);
  int X =map (VAL, 0,1024, 0,255); //0-->1024 ,, 0-->255
  analogWrite (MOTOR,X);
}
```

Fig. III.12 : programme de variation de vitesse d'un moteur par un potentiomètre

III .4.3 Les valeurs de vitesse :

Dans cette etape on va extraire les valeurs de vitesse d'un moteur par des instructions ajoutées dans le programme principal.voir figure suivante :



```
int MOTOR = 9 ;
int POT = A0 ;
int VAL ;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode (MOTOR,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  VAL = analogRead(A0);
  //Serial.println("analog read");
  //Serial.println(X);
  int X =map (VAL,0,1024,0,255); //0-->1024 ,, 0-->255
  //Serial.println("analog write");
  int n[10 ] ; // n is an array of 10 integers

  Serial.println (X);
  analogWrite (MOTOR, X);
}
```

Fig III.13 : programme pour relever les valeurs de vitesse

COM3	COM3	COM3
74	103	70
87	81	93
76	94	90
66	80	85
82	105	91
81	95	95
72	87	90
89	91	88
70	101	94
70	85	93
81	116	83
47	86	91
75	90	91
88	95	84
79	70	90
61	88	72
75		

Défilement a

Fig III.14 : les différentes valeurs de vitesse

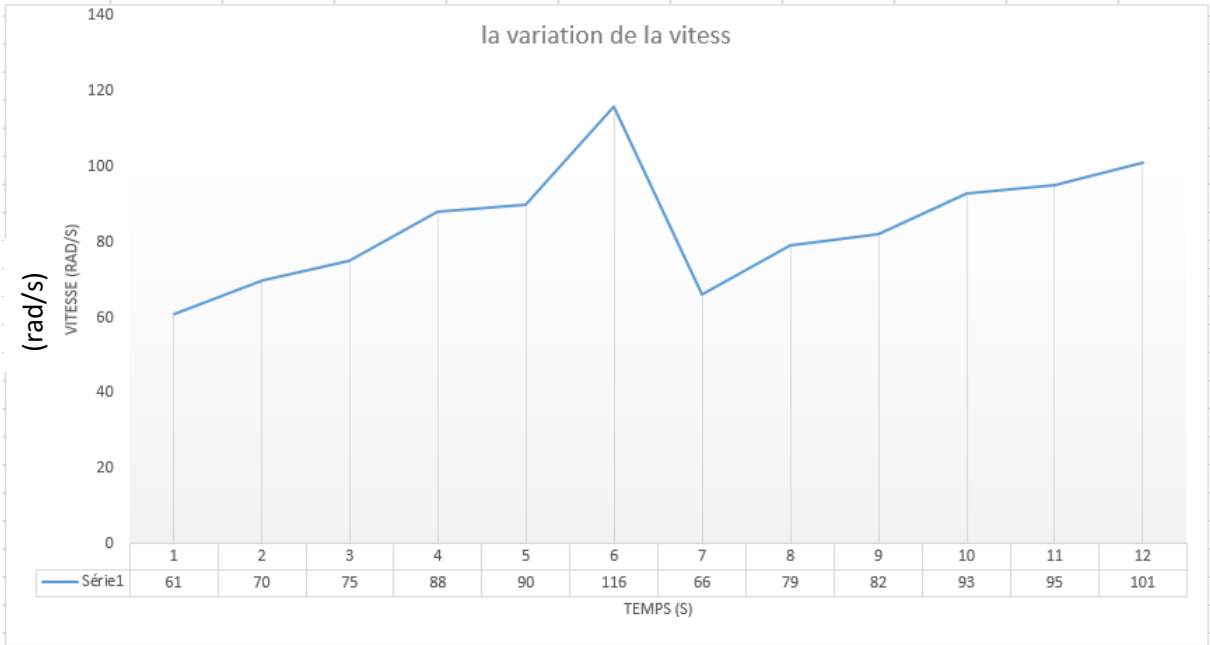


Fig . III.15 : courbe représentant la variation de vitesse en fonction du temps (s)

Chapitre III : étude expérimental sur la variation de la vitesse d'un moteur

Le relevé de la courbe temporelle de la vitesse du petit moteur en fonction de la variation du rapport cyclique α (en agissant sur le potentiomètre branché sur l'entrée A0 d'Arduino), montre qu'en augmentant le rapport cyclique la vitesse augmente.

III.5 conclusion :

Dans ce chapitre on a fait fonctionner le démarrage d'un petit moteur DC et varie sa vitesse a l'aide d'un programme dans IDE représenté par Arduino, ce dernier nous a permis de visualiser les résultats de variation de vitesse en agissant sur le potentiomètre .

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons étudié la variation de la vitesse d'un moteur à courant continu (MCC) à excitation séparée à travers la carte Arduino. Les moteurs à courant continu sont très utilisés de nos jours, notamment dans les applications automobiles, dans des applications de faible puissance utilisant des batteries ou encore pour la traction électrique.

Le choix de ce genre du moteur parmi les autres types est basé sur l'avantage de découplage naturel qui existe entre le couple et le flux qui est dû à la séparation physique existante entre les deux circuits constituant ce moteur (l'inducteur et l'induit).

En effet la variation de la vitesse d'un moteur à courant continu se fait d'une manière simple et souple en agissant sur la tension d'induit à travers la variation du rapport cyclique.

Nous avons contribué à la commande de la vitesse du moteur DC par un microcontrôleur Arduino UNO avec IDE (partie programmable qui doit utiliser les informations actuelles pour décider l'action à prendre). Au cours de la manipulation, nous avons constaté l'efficacité et la souplesse de la commande, on a pu relever les données de vitesse en fonction du temps.

De bons résultats ont été obtenus ce qui justifie l'efficacité du montage expérimental. Comme perspective nous espérons d'implémenter la commande de la variation du sens de rotation.

Référence bibliographique

- [1] **Bennoura.A et Djabri.K** < Etude et simulation d'un variateur de vitesse d'une machine à courant continu.> Mémoire de master Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent, 2018.
- [02] **T. Wildi, G. Sybille**, "Electrotechnique", de boeck, 4ème Edition, 2005.
- [03] **G. Seguiet, F. Notelet**, "Electrotechnique Industrielle", Technique et Documentation, 2ème Edition, 1994.
- [4] **TIR Zoheir** « Modélisation et Simulation de la Machine à Courant Continu », Mémoire Magister en électrotechnique, 2008
- [5] **Mr .tougourt abdel kader** <étude et simulation d'un variateur de vitesse commande un moteur courant continu, université kasdi Merbah ouargla 2015/2016.
- [6] **M. Kostenko et L. Piotrovski**, << Machines à courant continu et transformateurs>>, Edition Mir Moscou, 1979. Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, septembre 2015.
- [7] **BEKKOUCHE Charaf Eddine TOUGGOURTI Abdel Kader** « Étude et simulation d'un variateur de vitesse commande un moteur à courant continu>>,UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2015/2016
- [8] Cour d'électrotechnique M1auto- **Mr YACOUBI** .Université de Tlemcen 2000/2010
- [9] **HAMITOUCHE. A et SELMANI. M et ZAMOUM. M**<< Identification par Algorithmes Génétiques des Pertes dans un Moteur à Courant Continu à Excitation Séparée>>mémoire de fin d'étude Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou Faculté de Génie Electrique et D'informatique Département d'Electrotechnique, 2012-2013.0
- [10] **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.)
- [11] **Guyin chateigner, Michel Boés, Daniel Bouix**, Jacques Vaillant, Daniel Verkindère «MANUEL DE GENIE ELECTRIQUE », DUNOD, Paris, 2006.
- [12] Huang Bing, convertisseur continu-continu à rapport de transformation élevé pour applications pile à combustible, Thèse de doctorat Nancy-université INPL, 2009.
- [13] **DAAS. T , BOUBLAT.A** << conception d'une commande d'un moteur à courant continu >> Projet de Fin d'Etude préparé En vue de l'obtention du diplôme de MASTER Spécialité : Électromécanique 2019/2020 Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf - Mila Institut des Sciences et de Technologie Département de Sciences et Technologie

[14] **Gérard Guihéneuf**, « les moteurs électriques expliqués aux électroniciens (démarrage, variation de vitesse, freinage) », Deuxième édition augmentée, 2012, Publitronic_Elektor International Media, Pays –bas

[15] **Boulakroune.S** et **CHINE.A** <commande à vitesse variable d'un moteur à courant continu alimenté par hacheur Bidirectionnel en courant > Mémoire de master UNIVERSITE BADJI MOKHTAR DE ANNABA, Juin2018.

[16] Arduino.odt

[17] **Mr. BENZITA Derbali N** , **BENHAMMOU M.-EL-Amine** << Commande numérique de la vitesse d'un moteur à courant continu>> Mémoire de MASTER, Université de Tlemcen Faculté de Technologie Département de Génie Electrique et Electronique ,le 30/09/2020

[18] pdf la carte arduino UNO

[19] <https://bentek.fr/> consulté 05/07/2020

[20] **MOUSSAOUI Amira** << Conception et réalisation d'un bras manipulateur commandé par l'Arduino Méga 2560 >> Université M'hamed Bougara de Boumerdes. 2016 / 2017

[21] <https://www.positron-libre.com/> consulté 03/08/2020

[22] **Abdelmalek LAIDANI/ Wahid NABI** «éalisation d'une commande de vitesse D'un moteur à courant continu sans capteur» mémoire d'ingénieur, Université des Sciences et de la Technologie d' Oran Mohamed Boudiaf, 2009

[23] **CHELLY. N** , **CHARED. A** << FORMATION ARDUINO↔SIMULINK/ANDROID Asservissement de vitesse d'un moteur à courant continu à l'aide de la carte Arduino UNO >> 2/3 Juin 2015

[24] **christain.URL** : <http://www.locoduino.org/spip.php?article/213> le 13 mai 2017 .

[25] <http://robert.cireddu.free.fr/SI/PWM-MLI> <<Analyser le système (modulation a largeur d'impulsion) >>

[26] waytolearnx <programmation sur arduino >
<https://waytolearnx.com/2017/04/programmer-larduino-introduction.html>

[27] **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.)