

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie Electrique

Spécialité : **Machines électriques**

Présenté par

Mohamed Lamine HAMIDA

Farid KADI

Thème

Identification et contrôle de la machine à courant continu par la Dspace 1103

Mémoire soutenu publiquement le 20/09/2015 devant le jury composé de :

Mr Salah HADDAD

Professeur, Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou, Président

Mr Nabil BENYAHIA

Maitre de conférences B, Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou, Encadreur

Mr Hakim DENOUN

Maitre de conférences A, Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou, Co-Encadreur

Mr M'hand MEKIOUS

Maitre assistant A, Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou, Examineur

M^{elle} Rahma KACHENOURA

Maitre de conférences B, Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou, Examineur

REMERCIEMENT

Ce travail a été réalisé au sein du Laboratoire de recherche LATAGE de la faculté de Génie Electrique et d'Informatique de l'Université Mouloud MAMMERIE de Tizi-Ouzou.

Louange à ALLAH le tout puissant de nous avoir donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce travail.

*Nos chaleureux remerciements à notre promoteur **Mr N.BEN YAHIA** pour sa confiance, sa disponibilité, sa patience et son aide précieuse tout le long de notre travail.*

*Nos vifs remerciements à notre Co. promoteur **Mr H.DENOUN** qui nous à corrigé le mémoire et pour son aide, ses conseils.*

*Nos remerciements également à **Mr S.HADDAD** pour son aide durant la pratique et d'être président de notre soutenance.*

*Nos vives reconnaissances vont également à tous les membres de jury d'avoir acceptés d'examiner notre travail, **Mr M. MEKIOUS** et **M^{lle} R. KACHENOURA**.*

A l'ensemble des enseignants de département d'électrotechnique.

Sans oublier ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Farid et Mohamed Lamine

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*La mémoire de mon père que dieu ai pitié de son âme et
l'accueil dans son vaste paradis.*

*La personne qui na jamais hésitée à se sacrifier pour moi,
sans la quelle je ne serai jamais arrivé jusqu'ici et qui m'as
soutenue tout au longue de ma vie.*

*Ma mère que j'aime par-dessus tout ou monde et que dieu
me la garde et me la protège.*

Mon frère et sa femme.

Ma très chère sœur.

Toute ma famille.

*Tous mes ami(e)s qui ont contribués à la réalisation de ce
modeste travail.*

*Tous mes collègues de la promotion d'électrotechnique
2015.*

K. Farid

Dédicaces

Pour que ma réussite soit complète, je la partage

Avec toutes les personnes que j'aime.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents pour leur amour et pour

Le courage et la volonté qu'ils m'ont inculqué ;

A mes très chères sœurs et frères ;

A tous mes amis et collègues de la promotion

d'électrotechnique 2015.

H. Mohamed Lamine

Notations utilisées

Notations utilisées

- I_a : Courant d'induit
- I_f : Courant d'excitation
- V_a : Tension d'alimentation du circuit induit
- V_f : Tension d'alimentation du circuit inducteur
- E : Force électromotrice (F.C.E.M)
- R_a : Résistance de l'induit
- R_f : Résistance de l'inducteur
- L_a : Inductance propre de l'induit
- L_f : Inductance propre de l'inducteur
- Z_a : Impédance d'induit
- Z_f : Impédance d'inducteur
- T_e : Constante de temps électrique
- T_r : Temps de ralentissement
- f : Fréquence du réseau d'alimentation
- F : Force de Laplace
- J : Moment d'inertie du rotor
- K_f : Coefficient de frottement
- C_s : Couple de frottement sec
- C : Couple des pertes
- dl : Elément de longueur du conducteur
- B : Champ magnétique
- ω_r : Vitesse angulaire de l'induit
- K_m : Constante de couple du moteur
- Φ : Flux de l'induit
- C_{em} : Couple électromagnétique de la machine
- C_m : Couple mécanique

C_r : Couple résistant

K_e : La constante de la F.C.E.M

P_a : La puissance absorbée

P_u : La puissance utile

P_f : Les pertes fer

P_{je} : Les pertes joules

P_m : Les pertes mécaniques

P_{exc} : Les pertes par excitation

M_{fd} : Inductance mutuelle entre induit et inducteur

V_e : Tension à l'entrée du hacheur

V_s : Tension à la sortie du hacheur

I_e : Courant à l'entrée du hacheur

I_s : Courant à la sortie du hacheur

I_{aref} : Courant d'induit de référence

D : Diode

L : Inductance de lissage

K_{cm} : Gain du hacheur

T_{cm} : Constante de temps du hacheur

T_h : Période de hachage

f_h : Fréquence de hachage

α : Rapport cyclique

K_i : Coefficient du correcteur intégral

K_p : Coefficient du correcteur proportionnel

G_i : Fonction de transfert du courant

G_{ibf} : Fonction de transfert du courant en boucle fermée

G_{oi} : Gain de la fonction de transfert du courant

C_i : Régulateur de courant

C_ω : Régulateur de vitesse

G_{or} : Fonction de transfert de la vitesse

G_{oo} : Gain de la fonction de transfert de la vitesse

T_ω : Constante de temps de la fonction de transfert de vitesse

$T_{\text{bf}\omega}$: Constante de temps de la fonction de transfert de vitesse en boucle fermée

C : Condensateur de filtrage

R_m : Résistance de mesure

Acronymes

MCC : Machine à Courant Continu

MLI : Modulation de Largeur d'Impulsions

I.G.B.T: Insulated-Gate Bipolar Transistor

DSP : Digital Signal Processor

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
I Généralités, identification et modélisation de la machine à courant continu	
I.1 Introduction	3
I.2 Rappel sur les machines à courant continu	3
I.2.1 Symbole de la machine à courant continu	3
I.2.2 Constitution de la machine à courant continu	3
I.2.2.1 Parties fixes	4
I.2.2.2 Partie mobile	4
I.3 Types de machines à courant continu	4
I.3.1 Moteur à excitation série	5
I.3.2 Moteur à excitation shunt	5
I.3.3 Moteur à excitation composée	6
I.3.4 Moteur à excitation indépendante	6
I.4 Principe de fonctionnement de la machine	7
I.5 Différentes expressions de la machine à courant continu à excitation sépare	7
I.5.1 Expression de la tension d'induit	7
I.5.2 Expression de la force électromotrice	8
I.5.3 Expression du couple électromagnétique	8
I.6 Bilan de puissance	8
I.7 Rendement de la machine à courant continu	9
I.8 Les avantages du moteur à courant continu	9
I.9 Les inconvénients de la machine à courant continu	9
I.10 Identification des paramètres d'un moteur à courant continu	10
I.10.1 Introduction	10
I.10.2 Méthodes d'identification des paramètres du moteur	10
I.10.3 La méthode classique	10
I.10.3.1 Mesure des résistances R_a et R_f	10

I.10.3.2	Mesure des inductances L_a et L_f	10
I.10.3.3	Détermination de la constante de la F.C.E.M du moteur à courant continu	10
I.10.3.4	Détermination des paramètres mécaniques.....	11
I.10.3.4.1	Détermination du couple de frottement sec et du coefficient de frottement visqueux.....	11
I.10.3.4.2	Identification du moment d'inertie	12
I.10.4	Les essais pratiques.....	13
I.10.4.1	Détermination des résistances R_a et R_f	13
I.10.4.2.	Détermination des inductances L_a et L_f	14
I.10.4.3	Détermination de la constante de la F.C.E.M du moteur à courant continu.....	15
I.10.4.4	Détermination du couple statique C_s et du coefficient de frottements K_f	17
I.10.4.5	Détermination de l'inertie des masses tournantes.....	18
I.10.5	Modélisation de la machine à courant continu	19
I.10.5.1.	Les équations régissant la machine à courant continu à excitation indépendante	19
I.10.	Conclusion	20
II Simulation et régulation de la machine à courant continu		
II. 1	Introduction	22
II.2	Principe du variateur de vitesse pour un moteur à courant continu.....	22
II.3	Définition des Hacheurs	22
II.3.1	Structures des hacheurs non réversibles	22
II.3.1.1	Hacheur série ou dévolteur	22
II.3.1.2	Hacheur parallèle ou survolteur.....	23
II.3.2	Structures des hacheurs réversibles	24
II.3.2.1	Hacheur série réversible en courant.....	24
II.3.2.2	Hacheur réversible en tension	25
II.3.2.3.	Hacheur réversible en tension et en courant.....	25
II.4	Technique de commande à MLI.....	26
II.4.1	Principe de la commande MLI	26

II.5. Régulation de vitesse des moteurs à courant continu	27
II.5.1 Dimensionnement des paramètres des régulateurs	28
II.5.2 Structure d'un régulateur PI	28
II.5.3 La méthode par compensation de pôle	29
II.5.4 Calcul des régulateurs du système	29
II.5.4.1 Calcul du régulateur de courant	30
II.5.4.2 Calcul du régulateur de vitesse	33
II.6 Simulation du système avec régulation	36
II.7 Interprétation des résultats	37
II.8 Conclusion	37
III Réalisation du banc d'essai	
III.1 Introduction	39
III.2 Description générale.....	39
III.3 Convertisseur (Hacheur série) réalisé	40
III.3.1 Partie puissance	41
III.3.2 Partie commande	41
III.3.3 Partie mesure	42
III.3.5 Partie commande DSPACE.....	43
III.4 Tests expérimentaux.....	45
III.5 Résultats obtenus et interprétation	46
III.6 Conclusion.....	47
Conclusion générale	49
Références bibliographiques	51
Annexes	53

Introduction générale

Introduction générale

Les entraînements à l'aide de la machine à courant continu à vitesse variable occupent une place importante dans le secteur industriel, en l'occurrence dans les domaines tels que la manutention, le broyage, où il est nécessaire de contrôler la vitesse.

La liaison d'un moteur à courant continu à une source du même type se fait par l'intermédiaire d'un convertisseur statique, qui permet la variation de la tension moyenne aux bornes de l'induit. Jusqu'à ces dernières années, la commande des convertisseurs statiques industriels était réalisée à l'aide de circuits analogiques à faible ou moyen degré d'intégration. Mais le développement de l'électronique et de l'informatique met aujourd'hui à la disposition de l'utilisateur des dispositifs à très haut degré d'intégration.

La réalisation d'un hacheur piloté par la Dspace 1103, permet d'envisager une commande de la vitesse d'une machine à courant continu, en agissant seulement sur le temps d'ouverture et de fermeture des interrupteurs électroniques.

Les procédures de contrôle et de régulation des différentes grandeurs de la MCC faisaient aussi appel à ce type de technologie. Grâce aux convertisseurs analogiques numériques (ADC) intégrés dans la Dspace 1103 on peut réaliser une régulation fiable en utilisant l'outil informatique.

L'objectif de notre travail est d'identifier les paramètres d'une machine à courant continu à excitation indépendante, puis concevoir et réaliser la commande en vitesse de cette machine à l'aide de la Dspace 1103.

Le travail que nous avons réalisé au sein du Laboratoire de recherche LATAGE de la faculté de Génie Electrique et d'Informatique de l'Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, s'articule autour de trois chapitres.

Le premier, est consacré aux généralités sur la machine à courant continu dont on a présenté les différents composants constituant la machine, les différents types d'excitation, l'identification des paramètres et la modélisation de la machine avec présentation des différents essais pratiques avec leurs montages. Après l'identification on procédera à modéliser la machine et on présentera ses équations électriques et mécaniques.

Dans le deuxième chapitre on décrit les différents hacheurs et leurs fonctionnements, la stratégie de commande MLI, puis le calcul des régulateurs, afin de réguler la vitesse de la machine.

Dans le troisième chapitre, nous présentons le dispositif expérimental réalisé au sein de notre laboratoire. Il s'agit d'un hacheur série commandé en modulation de largeur d'impulsions par la Dspace 1103. Le hacheur commande un moteur à courant continu à excitation indépendante en agissant sur la tension d'induit.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale qui viendra synthétiser les résultats obtenus.

Chapitre I

I.1 Introduction

Les moteurs à courant continu sont des machines qui transforment l'énergie électrique qu'ils reçoivent en énergie mécanique. La construction du moteur est identique à celle des génératrices, de sorte qu'une machine à courant continu peut servir indifféremment comme moteur ou comme génératrice. La machine à courant continu est l'une des machines les plus utilisées dans beaucoup de secteurs industriels. En principe, cette machine est à vitesse variable. Parmi le large domaine d'application du moteur à courant continu, on peut citer la traction électrique (locomotive, tramways) [4], [7].

I.2 Rappel sur les machines à courant continu

I.2.1 Symbole de la machine à courant continu

Les symboles de la machine à courant continu sont représentés par la figure (a,b).

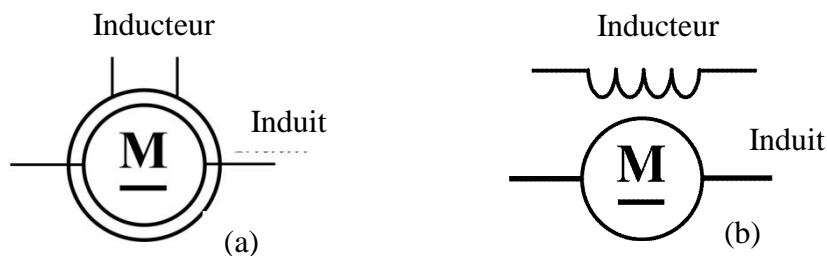


Fig. (a,b): Symboles de la machine à courant continu

I.2.2 Constitution de la machine à courant continu

La figure I.1 représente les différentes parties de la machine à courant continu.

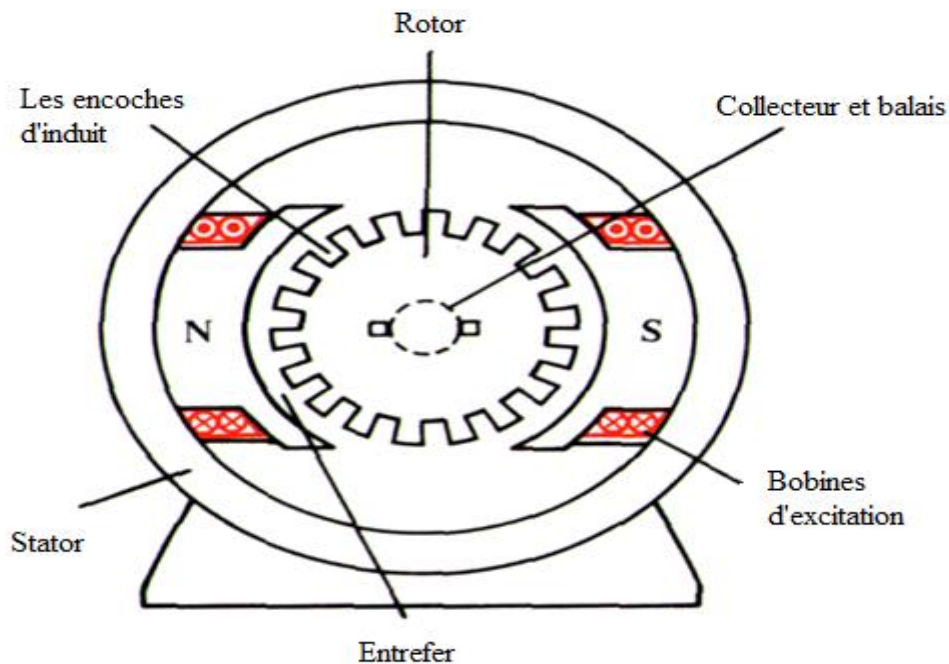


Fig. I.1 : Différentes parties de la machine à courant continu[4]

La machine à courant continu est réversible ; c'est-à-dire que la constitution d'une génératrice est identique à celle d'un moteur.

Elle se compose de deux parties :

Une parties fixe (stator), appelée inducteur, qui produit le flux magnétique nécessaire a la magnétisation de la machine.

Une parties mobile (rotor), appelée induit, qui porte les conducteurs soumis au flux.

I.2.2.1) Parties fixe (inducteur)

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 [4].

➤ **L'enroulement d'excitation**

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

I.2.2.2) Partie mobile (induit)

L'induit entre les pièces polaires, se compose de l'axe du noyau, des enroulements et du collecteur. Sa structure est composée d'un noyau de fer feuilleté pour réduire les pertes par courant de Foucault.

➤ **Le collecteur**

Il se compose de lames de cuivre isolées les une 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.

I.3 Types de machines à courant continu

On distingue quatre types de machines à courant continu :

I.3.1 Moteur à excitation série

Le moteur à excitation série est constitué de deux enroulement induit et inducteur montés en série parcourus par un même courant I_a et sous tension V_a .

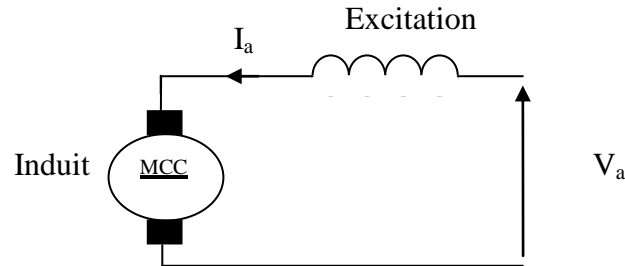


Fig. I.3 : Machine à excitation série

- **Caractéristiques :** parmi les caractéristiques du moteur à excitation série, on cite :
 - Un couple de démarrage important ;
 - Une faible stabilité de vitesse ;
 - Un courant d'excitation élevé.

I.3.2 Moteur à excitation shunt

On peut utiliser une seule alimentation pour l'induit et l'inducteur. Il suffit de placer l'enroulement inducteur en parallèle avec l'enroulement d'induit.

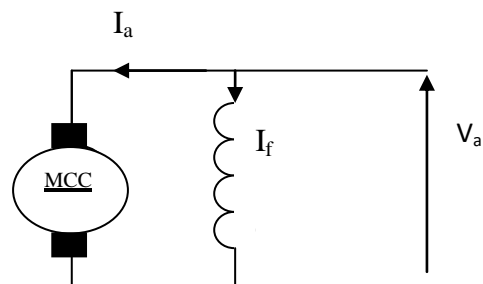


Fig. I.4 : Machine shunt (excitation en dérivation)

- **Caractéristiques :** ce moteur a les caractéristiques suivantes :
 - Un fort couple de démarrage et une instabilité de vitesse ;
 - L'absence de l'emballement.

I.3.3 Moteur à excitation composée

Il porte deux enroulements inducteurs dont l'un est placé en série avec l'induit et l'autre en parallèle.

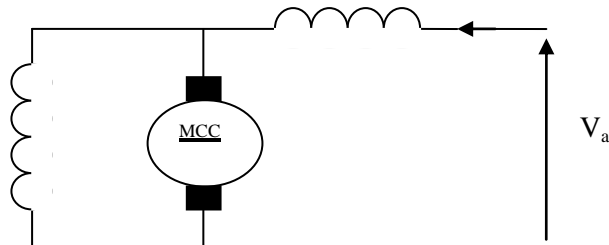


Fig. I.4) Machine compound (excitation composée)

- **Caractéristique**

- Un couple de démarrage plus fort ;
- Il a une meilleure stabilité ;
- Il peut fonctionner à faible charge sans risque d'emballement.

I.3.4 Moteur à excitation indépendante (séparée)

L'alimentation de l'enroulement inducteur est prise sur une source indépendante de la source principale (celle de l'induit),

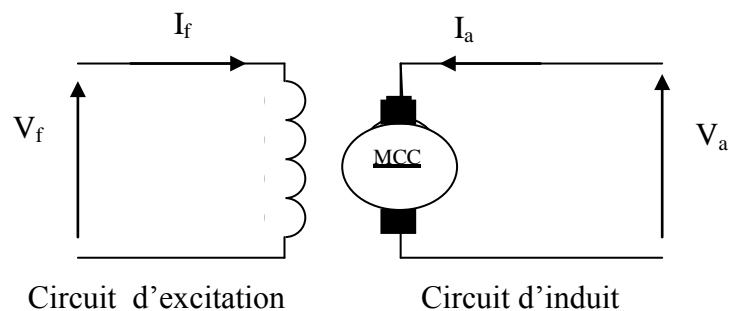


Fig. I.5 : Machine à excitation indépendante

- **Caractéristiques :** Ce moteur possède les caractéristiques suivantes :

- Une plage de régulation de vitesse très grande ;
- Une linéarité tension/vitesse, courant/couple.

I.4 Principe de fonctionnement de la machine

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 [4], [7].

- **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. Ce couple entraîne la rotation du moteur comme l'indique la formule suivante [4], [7] :

$$\vec{F} = \vec{I}_a \cdot d\vec{l} \wedge \vec{B} \quad (I.1)$$

I.5 Différentes expressions de la machine à courant continu à excitation séparée

I.5.1 Expression de la tension d'induit

La tension aux bornes de l'induit est donnée par l'équation suivante

$$V_a = R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E \quad (I.2)$$

Le courant de l'induit étant constant, en régime permanent d'où :

$$V_a = R_a \cdot I_a + E \quad (\text{I.3})$$

I.5.2 Expression de la force électromotrice

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

$$E = K_m \cdot \Phi \cdot \Omega \quad (\text{I.4})$$

I.5.3 Expression du couple électromagnétique

Le couple moteur est lié au courant d'induit et au flux par la relation suivante

$$C_{em} = K_m \cdot \Phi \cdot I_a \quad (\text{I.5})$$

I.6 Bilan des puissances

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

Les pertes dans la machine à courant continu sont subdivisées en différentes catégories qui sont :

- Les pertes fer.
- Les pertes joules.
- Les pertes mécaniques.
- Les pertes par excitation.

Le bilan, peut être résumé à l'aide du schéma suivant :

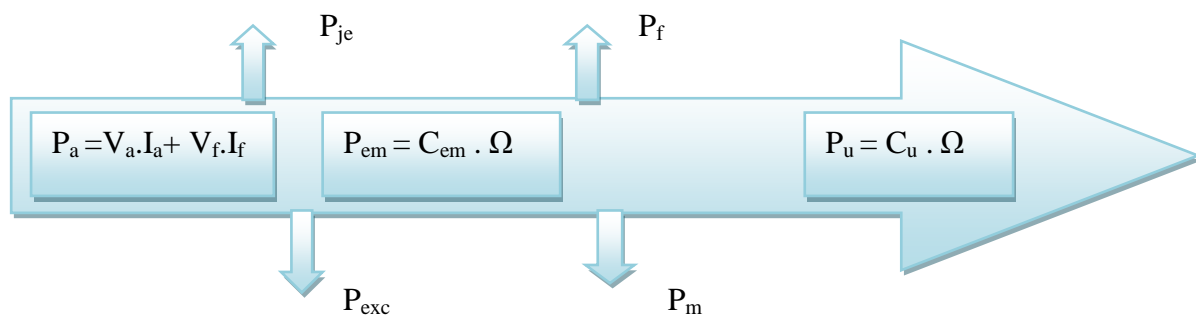


Fig. I.6 : Bilan des puissances

I.7 Rendement de la machine à courant continu

Du fait de ces différentes pertes, le rendement d'une machine à courant continu est la puissance utile divisé par la puissance absorbée,

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

I.8 Les avantages du moteur à courant continu

On dit que le moteur industriel par excellence et le moteur asynchrone car, pour une puissance donnée, il est toujours le moins cher, et généralement d'une mise en œuvre simple, à partir du réseau triphasé.

Pourtant, pour l'industriel, le moteur à courant continu reste intéressant dès que la source d'énergie prévue est une batterie d'accumulateur ou, bien entendu, un réseau continu. En effet, avec ce moteur, le réglage de la vitesse est facile.

On rencontre le moteur à courant continu dans les chariots automatiques de transport et dans la plupart des véhicules de traction, c'est-à-dire le contrôle de la vitesse de ce type de moteur est très facile [5]. Avec ce type de moteur le changement du sens de rotation est également très facile.

I.9 Les inconvénients de la machine à courant continu

L'inconvénient majeur de la machine à courant continu se trouve au niveau des balais et le collecteur de cette machine, il exige de la maintenance ; c'est-à-dire les balais doivent être remplacés très régulièrement surtout quand ils travaillent à des grandes vitesses [5].

I.10. Identification des paramètres d'un moteur à courant continu

I.10.1. Introduction

L'identification des paramètres de la machine à courant continu consiste à faire des essais sur celle-ci. Les paramètres à identifier sont ; la résistance de l'induit R_a , l'inductance de l'induit L_a et celles de l'inducteur R_f et L_f , la constante de la force contre- électromotrice K_e , le coefficient de frottement K_f , et le moment d'inertie J [1].

I.10.2. Méthodes d'identification des paramètres du moteur

Il existe plusieurs méthodes d'identification des paramètres des machines à courant continu. Parmi ces méthodes on trouve :

- La méthode de Pasek.
- La méthode directe dite méthode classique.

On procédera donc à la détermination de ces paramètres par la méthode classique

I.10.3. La méthode classique

I.10.3.1. Mesure des résistances R_a et R_f

Les résistances de l'induit et de l'inducteur sont mesurées à chaud par la méthode volt-ampérométrique, les mesures s'effectuent à différentes valeurs de l'intensité (jusqu'à 30% du courant nominal pour ne pas causer l'échauffement de la machine) [2].

I.10.3.2. Mesure des inductances L_a et L_f

L'alimentation en courant alternatif de l'induit à inducteur ouvert et inversement donne directement les inductances de chaque enroulement.

$$L_a = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V_a}{I_a}\right)^2 - R_a^2} \quad ; \quad L_f = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{V_f}{I_f}\right)^2 - R_f^2}$$

I.10.3.3. Détermination de la constante de la F.C.E.M du moteur à courant continu

Il suffit d'effectuer un essai à vide et de relever la caractéristique $V_a(I_f)$, le moteur doit fonctionner en génératrice et doit être entraîné à sa vitesse nominale, la pente de cette caractéristique représente la quantité $M_{fd} \cdot \omega_r$. Il suffit alors de diviser cette pente par la vitesse de rotation exprimée en rd/s, puisque la tension d'induit à vide s'exprime par la relation

$$V_a = M_{fd} \cdot \omega_r \cdot I_f \quad (I.6)$$

Et la constante de la f.c.é.m. K_e et donnée par : $K_e = M_{fd} \cdot I_f$

I.10.3.4. Détermination des paramètres mécaniques

L'équation différentielle fondamentale de la mécanique régissant le fonctionnement dynamique d'une machine électrique est exprimée par :

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = C_m - C_s - K_f \omega_r \quad (\text{I.7})$$

I.10.3.4.1. Détermination du couple de frottement sec et du coefficient de frottement visqueux

A vide, le couple électromagnétique s'écrit :

$$C_{em} = C_s + K_f \omega_r \quad (\text{I.8})$$

Sachant que le couple électromagnétique est proportionnel au courant de l'induit :

$$C_{em} = K_e \cdot I_a \quad (\text{I.9})$$

On aura :

$$K_e \cdot I_a = K_f \omega_r + C_s \quad (\text{I.10})$$

Pour tracer $K_e \cdot I_a = f(\omega_r)$, le moteur fonctionnant à vide est alimenté sous tension variable afin de varier I_a et ω_r , le tracé donne une droite de la forme $y=ax+b$ comme le montre la figure (I.7).

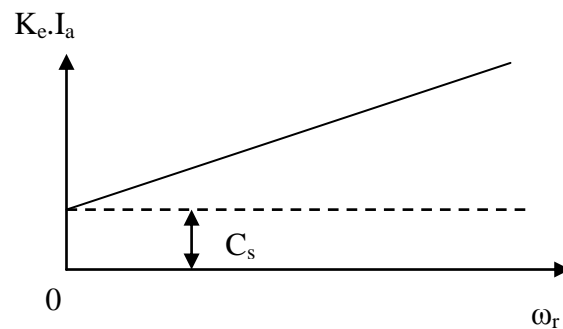


Fig. I.7 : Caractéristique du couple électromagnétique

A l'intersection de l'axe des ordonnées, on lit la valeur de C_s . Le coefficient de frottement K_f est la pente de cette caractéristique.

I.10.3.4.2. Identification du moment d'inertie

Après avoir démarré le moteur à courant continu, la tension est réglée à sa valeur nominale. On coupe l'alimentation de l'induit, l'inducteur reste alimenté en séparé.

On note à $t=0$, les grandeurs suivantes : $V_o = V_n$, I_o , ω_{ro} , et on enregistre également le temps que prend le moteur pour s'arrêter.

En faisant abstraction des signes, on écrit à vide :

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = C \quad (\text{I.11})$$

$$J = \frac{\int_0^T dt}{\int_0^{\omega_r} \frac{d\omega_r}{C}} \quad (\text{I.12})$$

Puisque « C » est une fonction de ω_r , la puissance prise du réseau est :

$$P_{ab} = V_n \cdot I_o = P_0 + R_a I_o^2 \quad (\text{I.13})$$

D'où

$$P_0 = I_o (V_n - R_a I_o) ; \quad (\text{I.14})$$

D'autre part :

$$P_0 = C \omega_r ;$$

On déduit :

$$C = \frac{I_o (V_n - R_a I_o)}{\omega_r} \quad (\text{I.15})$$

Alors

$$J = \frac{T}{\int_0^{\omega_r} \frac{\omega_r d\omega_r}{P_0}} \quad (\text{I.16})$$

Il est donc intéressant de tracer la caractéristique $\frac{\omega_r}{P_0} = f(\omega_r)$. Les différentes vitesses seront obtenues par la variation de la tension d'alimentation d'où la variation de P_0 . Il est par ailleurs fondamental de conserver l'excitation à sa valeur constante.

Le dénominateur de l'expression de J de la relation I.16 représente l'aire comprise entre les axes, la courbe $\frac{\omega_r}{P_0} = f(\omega_r)$ et l'ordonnée au point ω_{ro} [2].

I.10.4. Les essais pratiques

I.10.4.1. Détermination des résistances R_a et R_f

Afin de déterminer la résistance d'induit, nous utilisons la méthode volt-ampérométrique. Pour cela, nous mesurons le courant et la tension d'induit, sans l'excitation de la machine, et inversement pour la mesure de la résistance d'inducteur comme c'est montré par les montages suivants :

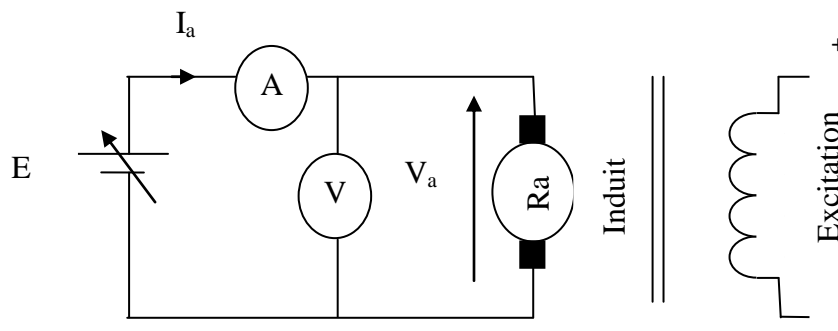


Fig. I.8 : Détermination de la résistance de l'induit R_a

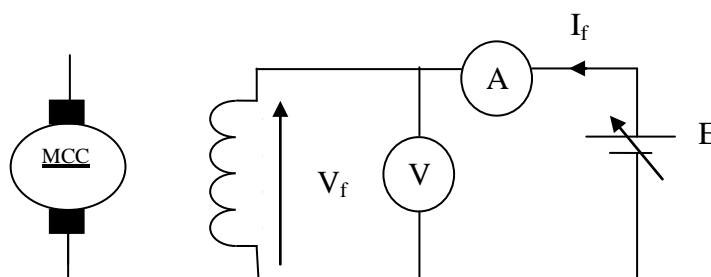


Fig. I.9 : Détermination de la résistance de l'inducteur R_f

Les résultats obtenus sont montrés dans les tableaux 1 et 2 :

Nous pouvons donc déterminer la résistance d'induit grâce à la loi d'ohm :

$$V_a = R_a I_a$$

Tableau 1 : Résultats obtenus pour le calcul de R_a

V_a mesurée(V)	4,4	7	9,1
I_a mesuré(A)	3,1	5,2	6,9
R_a calculée(Ω)	1,42	1,35	1,32

Tableau 2 : Résultats obtenus pour le calcul de R_f

V_f mesurée(V)	32	51,8	66,7
I_f mesuré(A)	0,5	0,8	1
R_f calculée(Ω)	64	64,75	66,7

La valeur moyenne des résistances est :

$$R_a = 1,35 \Omega \quad ; \quad R_f = 65,15 \Omega$$

I.10.4.2. Détermination des inductances L_a et L_f

Nous alimentons l'induit du moteur à courant continu par une tension alternative V_a . Pour différentes valeurs de V_a et de I_a , nous déduisons la valeur de l'inductance à travers le calcul de l'impédance moyenne Z_a de l'induit. Le montage proposé est le suivant :

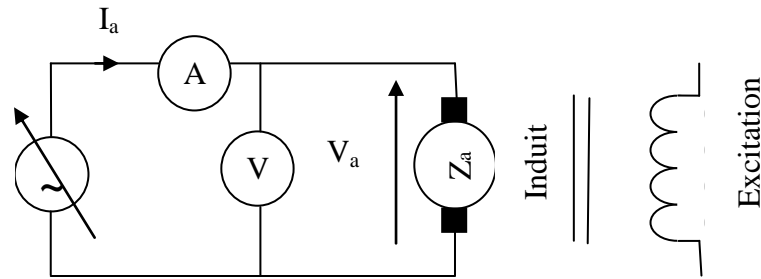


Fig. I.10 : Détermination de l'inductance de l'induit L_a

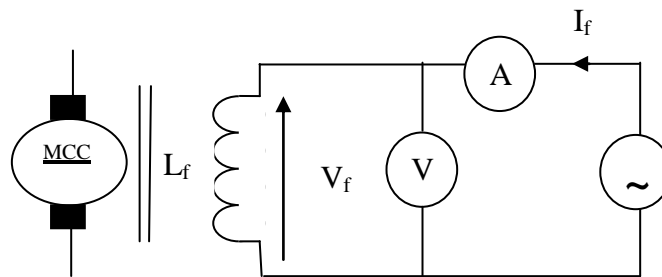


Fig. I.11 : Détermination de l'inductance de l'inducteur L_f

Les mesures obtenues sont montrées dans les tableaux suivants :

Tableau 3 : Résultats obtenus pour le calcul de L_a

V_a mesurée(V)	4,3	6,7	8,7
I_a mesuré(A)	1,8	2,9	3,9
Z_a calculée(Ω)	2,38	2,31	2,23

Tableau 4 : Résultats obtenus pour le calcul de L_f

V_f mesurée(V)	91	100	122
I_f mesuré(A)	0,035	0,038	0,046
Z_f calculée(Ω)	2600	2631,5	2652,2

La valeur moyenne des impédances nous donnent :

$$Z_a = 2,3 \, \Omega \quad ; \quad Z_f = 2627,9 \, \Omega$$

Pour le calcul de l'inductance nous suivons les étapes suivantes :

L'expression de l'impédance est donnée par :

$$Z_a = \frac{V_a}{I_a} \quad \text{Et} \quad Z_a = \sqrt{(R_a^2 + (L_a \omega)^2)}$$

Avec : $\omega = 2\pi f$; $f = 50 \text{ Hz}$

Et enfin, nous déduisons l'inductance

$$L_a = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{(Z_a^2 - R_a^2)}$$

Après les calculs on trouve :

$$L_a = 0,0059 \text{ H} \quad ; \quad L_f = 8,35 \text{ H}$$

Maintenant, que nous avons la valeur de la résistance et de l'inductance, nous pouvons déduire la constante de temps électrique comme suit :

$$T_e = L_a / R_a = 0,0059 / 1,35 = 0,0043 \text{ s}$$

I.10.4.3. Détermination de la constante de la F.C.E.M du moteur à courant continu

Il suffit d'effectuer un essai à vide et de relever la caractéristique $V_a(I_f)$, le moteur doit fonctionner en génératrice et doit être entraîné à sa vitesse nominale. La pente de cette caractéristique représente la quantité $M_{fd} \cdot \omega_r$. Il suffit alors de diviser cette pente par la vitesse de rotation exprimée en rd/s, puisque la tension d'induit à vide s'exprime par la relation $V_a = M_{fd} \cdot \omega_r \cdot I_f$, et la constante de la f.c.é.m. K_e est donnée par : $K_e = M_{fd} \cdot I_f$. Le montage proposé est le suivant :

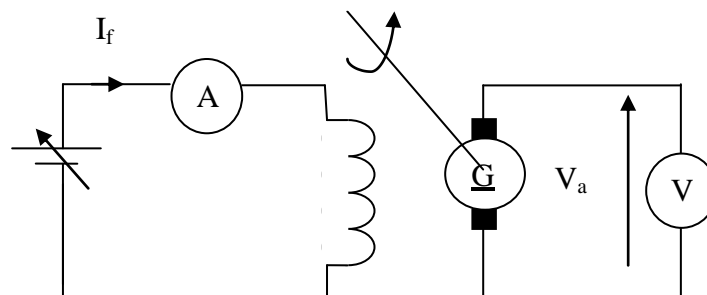


Fig. I.12 : Détermination de la constante de la f.c.é.m K_e

Les résultats obtenus sont représentés par le tableau suivant :

Le rotor est entrainé à une vitesse de 1488(tr /min)

Tableau 5 : Résultats obtenus pour déterminer la constante K_e

I_f mesuré (A)	0,125	0,25	0,375	0,5	0,75	0,9	1,025	1,175
V_a mesurée (V)	21	42	61	84	126	153	171	192

1,362	1,462	1,562	1,675	1,8	1,882
213	222	231	237	243	245

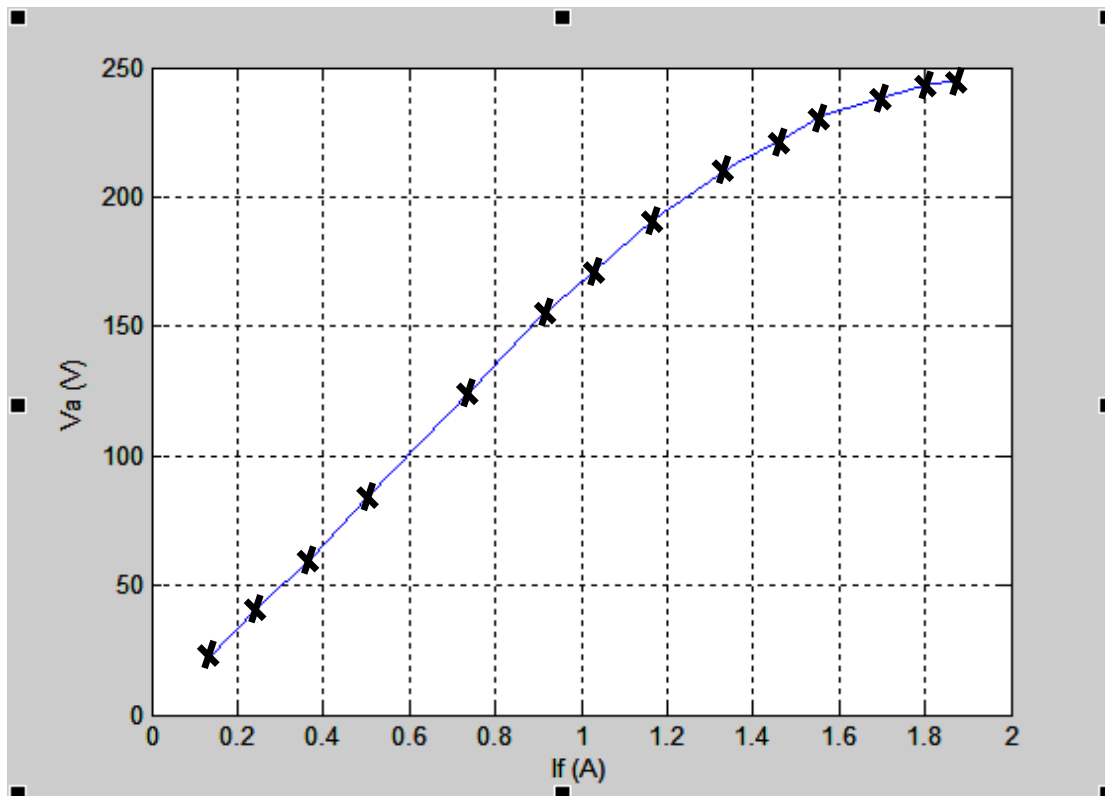


Fig. I. 13 : La courbe de tension V_a en fonction du courant I_f .

La pente de la courbe $V_a (I_f)$ nous donne la valeur de $M_{fd} \cdot \omega_r$ pour trouver la valeur de M_{fd} il suffit de diviser cette valeur par ω_r .

$$M_{fd} = 1.07 \text{ H}$$

Le courant d'excitation est fixé à la valeur nominale, on peut déduire la valeur de la constante K_e par la relation suivante :

$$K_e = M_{fd} \cdot I_f = 1,07 \times 1,32 = 1,41 \text{ V /rd/s}$$

I.10.4.4. Détermination du couple statique C_s et du coefficient de frottements K_f

Pour un moteur à courant continu à excitation séparée le couple électromagnétique s'exprime par la relation:

$$C_{em} = 1,41 \cdot I_a \quad (I.17)$$

On garde le courant d'excitation du moteur constant et égale à sa valeur nominale alors l'expression du couple devient :

$$C_{em} = K_e \cdot I_a \quad \text{Avec} \quad K_e = M_{fd} \cdot I_f \quad (I.18)$$

On fait varier la tension d'induit. Après on relève les différentes valeurs du courant d'induit et la vitesse du rotor par un tachymètre pour chaque tension.

On trace alors la caractéristique $C_{em}(\omega_r)$. le couple électromagnétique peut être mesuré par un couple mètre ou calculé par la relation $C_{em} = M_{fd} \cdot I_f \cdot I_a$ après la mesure du courant d'induit, comme le montre le montage suivant :

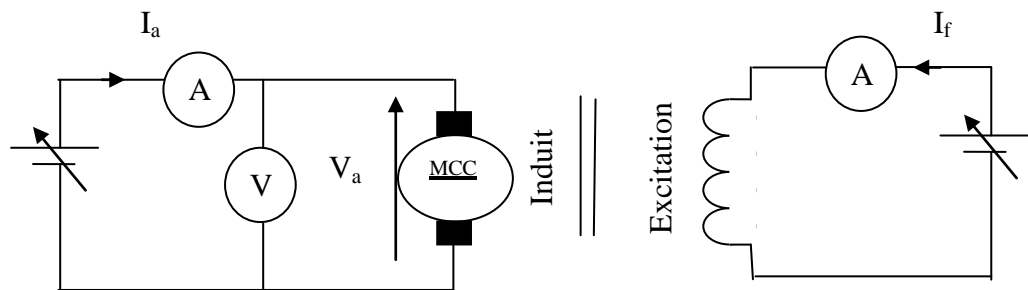


Fig. I.14 : Détermination du couple statique C_s et du coefficient de frottements K_f

Les résultats obtenus sont représentés par le tableau suivant :

Tableau 6 : Résultats obtenus pour déterminer C_s et K_f

V_a (V)	49	101	154	189	204	216	224
I_a (A)	1,3	1,4	1,51	1,52	1,53	1,6	1,65
ω_r (rd/s)	33,07	70,33	108,74	134,07	144,96	153,54	158,98
C_{em} (N.m)	1,69	1,9	2,05	2,13	2,16	2,26	2,33

A partir du tableau on peut tracer le graphe de la figure (I.15) du couple en fonction de la vitesse.

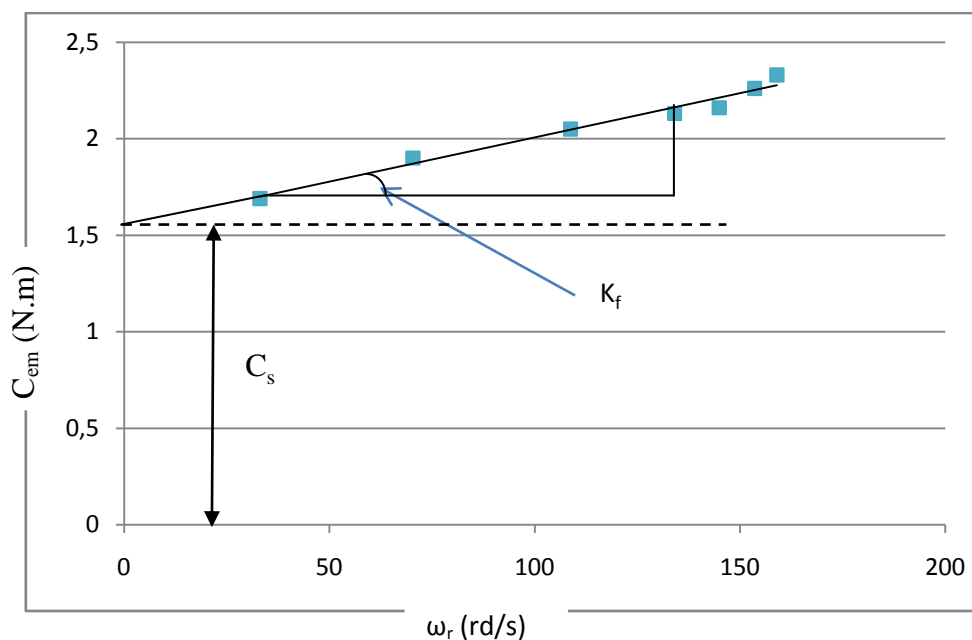


Fig. I.15 : La courbe du couple en fonction de la vitesse.

Le prolongement de la caractéristique $C_{em}(\omega_r)$ à l'origine coupe l'axe des ordonnées en un point. Ce dernier désigne la valeur du couple statique C_s .

Le coefficient des frottements est la pente de la caractéristique $C_{em}(\omega_r)$.

$$K_f = 0,0045 \text{ Nm/rd/s} \quad ; \quad C_s = 1,51 \text{ Nm}$$

I.10.4.5. Détermination de l'inertie des masses tournantes

Le moteur est câblé en excitation séparée. On fixe le courant inducteur à sa valeur nominale et on démarre le moteur en faisant augmenter progressivement sa tension d'induit. On fixe la vitesse à sa valeur nominale (1500 tr/min), à l'aide d'un oscilloscope à mémoire on enregistre la courbe de décroissance de la vitesse de rotation du moteur en fonction du temps $\omega_r(t)$, comme le montre la figure (I.16) :

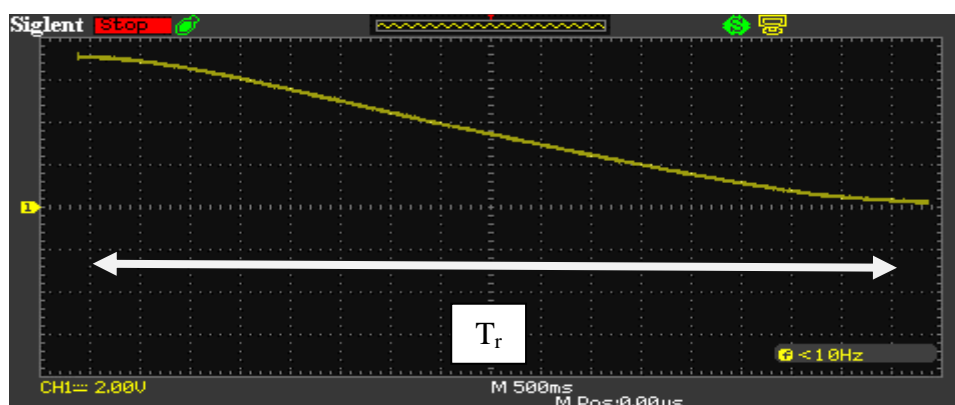


Fig. I.16 : Allure de la vitesse en fonction du temps lors du ralentissement

A partir de la courbe de ralentissement enregistrée par l'oscilloscope on peut tirer le temps de ralentissement T_r .

$$T_r = 8 \text{ s}$$

On peut déduire la valeur de l'inertie J par la relation suivante :

$$J = K_f \cdot T_r = 0,0045 \cdot 8 = 0,036 \text{ Kg.m}^2$$

I.10.5. Modélisation de la machine à courant continu

La machine à courant continu peut être modélisée par le biais d'équations électrique, électromagnétique et mécanique. Ces trois groupes d'équations nous permettent de mieux appréhender la machine à courant continu dans son fonctionnement réel.

Du côté électrique nous pouvons dire que la machine à courant continu se définit par un circuit d'induit et un circuit inducteur ; l'induit de la MCC peut être vu comme une résistance (R_a) et une inductance (L_a) en série avec une source de tension commandée $e(t)$ et proportionnelle à la vitesse ω_r .

Du côté mécanique, nous représentons la machine à courant continu par l'inertie de l'induit augmenté de celui de la charge entraînée [3].

Pour modéliser notre moteur on suppose les hypothèses simplificatrices suivantes :

- On suppose que le circuit magnétique est non saturé (ce qui permet de considérer le flux comme fonction linéaire des courants).
- La densité du courant peut être considérée comme uniforme dans la section des conducteurs élémentaires (on néglige l'effet de peau).
- On néglige la réaction magnétique de l'induit [8].

I.10.5.1. Les équations régissant la machine à courant continu à excitation indépendante

➤ Equations électriques

$$\text{Pour l'induit : } V_a = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + M_{fd} \cdot I_f \cdot \omega_r \quad (\text{I.19})$$

$$\text{Avec : } M_{fd} \cdot I_f \cdot \omega_r = K_e \cdot \omega_r = E \quad (\text{I.20})$$

$$\text{Pour l'excitation : } V_f = R_f I_f + L_f \frac{dI_f}{dt} \quad (\text{I.21})$$

➤ Equations mécaniques

$$C_{em} = M_{fd} \cdot I_f \cdot I_a = K_e \cdot I_a \quad (\text{I.22})$$

$$C_{em} - C_r = J \frac{d\omega_r}{dt} + K_f \cdot \omega_r \quad (\text{I.23})$$

Et on peut écrire les équations précédentes dans le domaine de Laplace comme suit :

$$V_a (p) = (R_a + L_a \cdot P) I_a(p) + E(p) \quad (I.24)$$

$$E (p) = K_e \cdot \omega_r(p) \quad (I.25)$$

$$C_{em} (p) = K_e \cdot I_a(p) \quad (I.26)$$

$$C_{em} (p) - C_r (p) = (J \cdot P + K_f) \omega_r(p) \quad (I.27)$$

I.10. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié d'une façon détaillée la machine à courant continu à savoir les différents constituants de la machine, les différents schémas de branchement et les équations électriques et mécaniques qui régissent le fonctionnement de la machine.

Puis nous sommes passés à l'identification des paramètres de cette machine. Dans cette partie on a présenté les différents montages et les calculs effectués durant les essais pratiques et nous terminons ce chapitre par la modélisation de la machine.

Cette étude s'impose pour faire une bonne simulation et régulation qui sera la suite de ce mémoire.

Chapitre II

II. 1. Introduction

Les moteurs à courant continu sont très utilisés dans les systèmes automatiques qui nécessitent une régulation précise de la vitesse de rotation. Une bonne commande du moteur consiste à choisir le bon convertisseur, qui est un hacheur, avec sa commande adéquate, « la commande MLI » et le bon dimensionnement des régulateurs.

Dans ce chapitre nous nous intéressons à la description des différents hacheurs et leur fonctionnement, et ensuite au dimensionnement des paramètres des régulateurs utilisés.

II.2. 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 [9].

II.3. Définition des Hacheurs

Les hacheurs sont des convertisseurs statiques continu-continu (figure II.1) permettant de fournir une tension continue variable à partir d'une source de 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 [9].

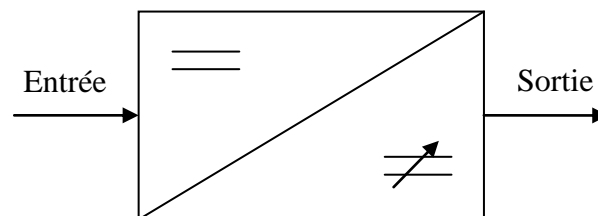


Fig.II.1 : Schéma de principe du hacheur.

II.3.1. Structures des hacheurs non réversibles

Nous allons nous intéresser, dans un premier temps aux structures les plus simples des hacheurs. Il s'agit de celles qui n'assurent pas la réversibilité, ni en tension, ni en courant. L'énergie ne peut donc aller que de la source vers la charge [9].

II.3.1.1. Hacheur série ou dévolteur

Ce nom est lié au fait que la tension moyenne de sortie est inférieure à celle de l'entrée. Il comporte un interrupteur à amorçage et blocage commandé, transistor bipolaire ou IGBT,

et un interrupteur à blocage et amorçage spontanés 'diode'. Le schéma du hacheur série est donné par la figure(II.2).

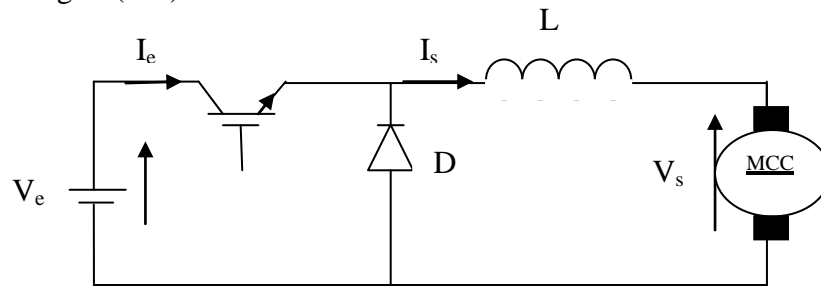


Fig.II.2 : Schéma de principe d'un hacheur série.

La charge est constituée par un moteur. Pour améliorer la qualité du courant c'est à-dire limiter l'ondulation résultant du découpage sur le courant de sortie, on insère une inductance en série avec le moteur.

Le cycle de fonctionnement, de période de hachage $T_h = 1/f_h$, comporte deux Etapes. Lors de la première étape, c'est le transistor qui est passant et la diode, polarisée en inverse, est bloquée. Cette phase dure de 0 à αT_h , avec α compris entre 0 et 1, α est appelé rapport cyclique. Lors de la seconde étape, la diode devient passante, cette phase dure de αT_h à T_h [9].

II.3.1.2. Hacheur parallèle ou survolteur

Le hacheur survolteur (figure II.3) est un convertisseur assurant le transfert d'énergie d'une source de courant vers une source de tension, dont la tension de sortie V_s est supérieure à la tension d'entrée V_e . D'où l'appellation de convertisseur élévateur ou encore survolteur [9].

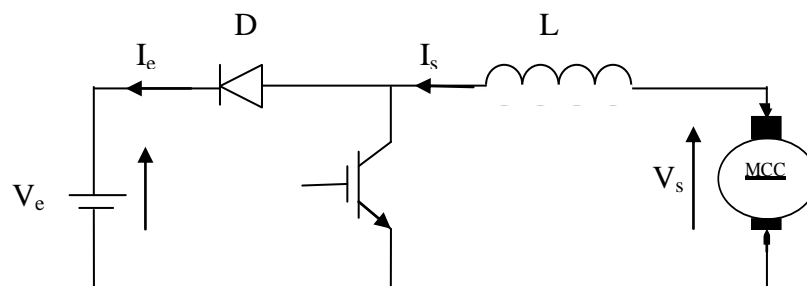


Fig.II.3 : Schéma de principe d'un hacheur parallèle.

L'intérêt du hacheur élévateur

Si on considère un moteur DC entraînant une lourde charge (train par exemple). Lors d'une phase de freinage il est intéressant de récupérer l'énergie mécanique en la transformant en énergie électrique au lieu de la transformer en chaleur pour être dissipée dans l'atmosphère. Lors de la phase de freinage, la machine DC fonctionne en génératrice mais sa f.e.m. E (qui décroît car la vitesse diminue) est inférieure à la tension V_s qui alimentait le

moteur. Pour assurer le transfert d'énergie électrique de la génératrice vers le réseau, il faut un convertisseur continu-continu élévateur de tension c'est-à-dire un hacheur parallèle.

II.3.2. Structures des hacheurs réversibles

Les structures que nous venons de voir ne sont pas réversibles, ni en tension, ni en courant. L'énergie va donc toujours de la source vers la charge. Il est possible de modifier ces dispositifs pour inverser le sens de parcours de l'énergie. Ainsi, une source peut devenir une charge et inversement. Ce type de comportement se rencontre usuellement dans les systèmes électriques. Ainsi, un moteur en sortie d'un hacheur représente une charge. Cependant, si on veut réaliser un freinage, le moteur va devenir une génératrice, ce qui va entraîner un renvoi d'énergie à la source qui est plus astucieux qu'un simple freinage mécanique [9].

II.3.2.1. Hacheur série réversible en courant

Dans ce système, le changement du sens de parcours de l'énergie est lié au changement de signe du courant alors que la tension ne change pas de signe. Cette fois, l'interrupteur, réversible en courant, est formé de deux composants. Le premier est un composant commandé à l'amorçage et au blocage « transistor, IGBT », alors que le second est une diode. Ils sont montés en antiparallèle. Le Schéma de l'interrupteur réversible en courant est représenté par la figure (II.4) [9]

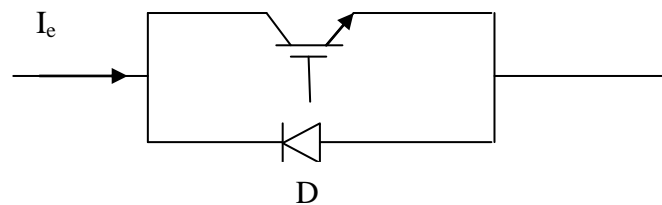


Fig.II.4 : Schéma d'Interrupteur réversible en courant

La structure du hacheur série réversible en courant est représentée par la figure (II.5). C'est la structure du hacheur série classique par des interrupteurs réversibles en courant avec modification de la charge. En prenant une machine à courant continu qui peut, sous tension constante, fonctionner en génératrice ou en moteur.

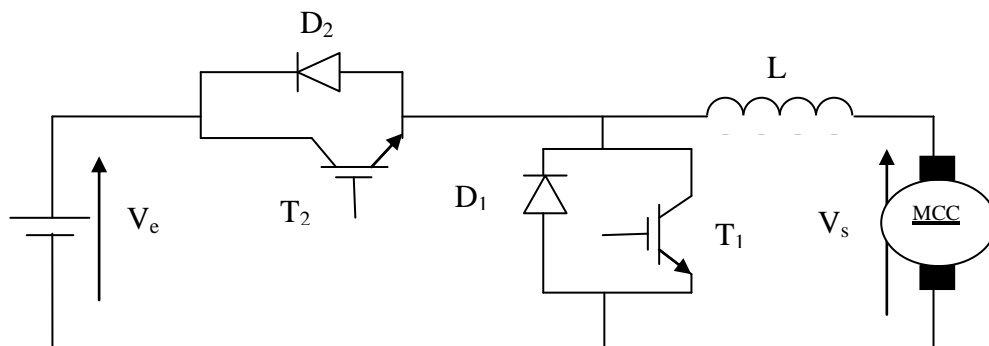


Fig.II.5 : Structure d'un hacheur série réversible en courant.

II.3.2.2. Hacheur réversible en tension

La tension appliquée à la charge peut prendre les valeurs $+V_s$ ou $-V_s$, 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. Le schéma de principe du hacheur réversible en tension est donné par la figure (II.6).

La charge est formée par une machine à courant continu en série avec une inductance, destinée à limiter l'ondulation du courant dans la machine. La machine fonctionne sous un courant toujours de même signe [9].

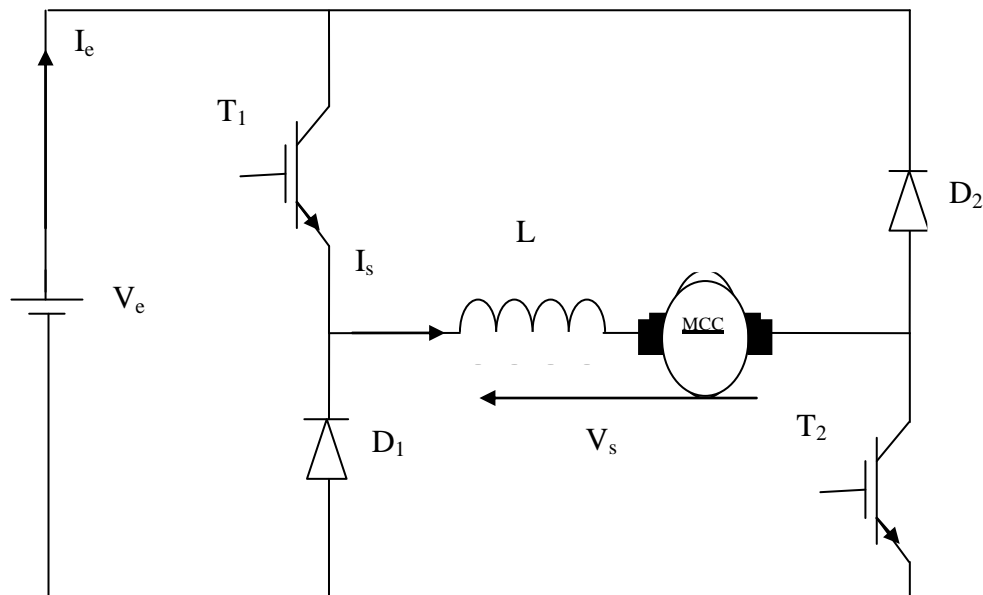


Fig.II.6 : Principe d'un hacheur réversible en tension.

II.3.2.3. Hacheur réversible en tension et en courant

On reprend la structure du hacheur réversible en tension que nous venons de donner en remplaçant les interrupteurs par des interrupteurs 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 représentée dans la figure (II.7).

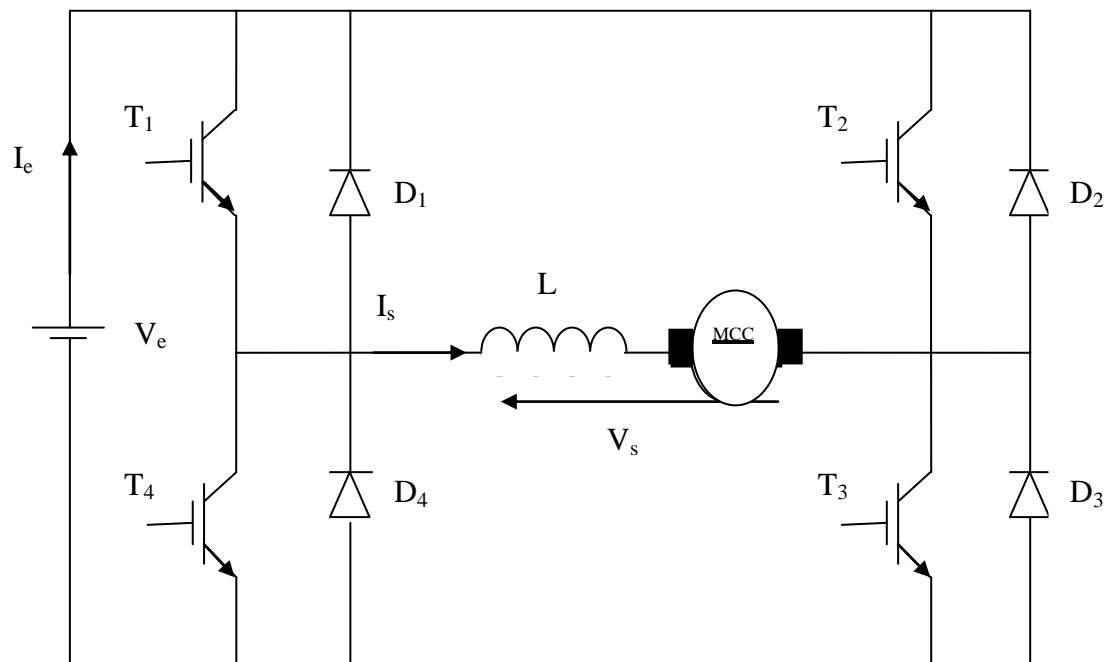


Fig.II.7 : Schéma de principe du hacheur réversible en tension et en courant.

Cette fois, la tension moyenne de sortie et le courant moyen de sortie peuvent être positifs ou négatifs. Source et charge peuvent avoir tous les modes de fonctionnement.

II.4. Technique de commande à MLI

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 autres dépend essentiellement du type d'application auquel l'appareil est désigné. La technique la plus utilisée dans les variateurs de vitesse pour moteur à courant continu est la commande par modulation de la largeur d'impulsion MLI.

II.4.1. 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 [10].

- Le premier, appelé signal de référence, est un signal continu qui varie entre deux seuils définis en fonction de notre application.

- 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 de la fonction MLI est représentée par la figure (II.8), [10].

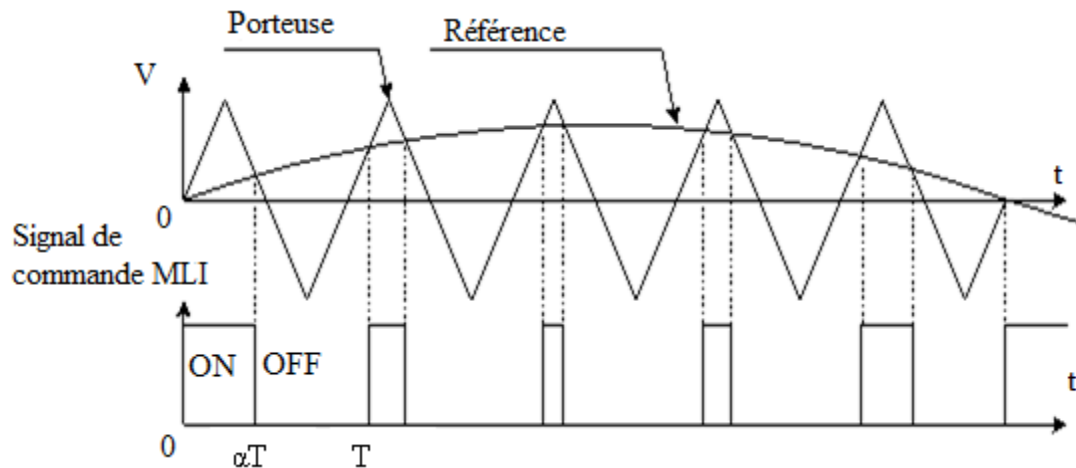


Fig. II.8 : Réalisation du signal MLI.

L'intersection de la référence avec la porteuse, en sens croissant, commande la fermeture du transistor T, son intersection avec la porteuse, en sens décroissant, commande l'ouverture de T. Le principe se fait par comparaison entre les deux signaux utilisant un amplificateur opérationnel [10].

II.5. régulation de vitesse des moteurs à courant continu

Au cours de fonctionnement d'un moteur à courant continu, des éléments peuvent varier :

Le couple résistant, la tension du réseau ...etc, Provoquent une déstabilisation de la vitesse réelle par rapport à celle désirée ; C'est ici qu'apparaît l'intérêt de la régulation.

La régulation doit être double ; c'est-à-dire on doit agir sur la vitesse mais aussi sur le courant pour le maintenir dans des limites acceptables lors des situations suivantes : Démarrage rapide, variation brutale du couple résistant, freinage brusque ou accroissement très rapide de la consigne de la vitesse.

La structure d'un variateur de vitesse comporte donc généralement deux boucles de régulation en cascade, La grandeur principale à contrôler est la vitesse Ω . Celle-ci compare la tension correspondant à la vitesse réelle, avec la tension de référence de vitesse et l'autre boucle contrôle le courant, comme la montre la figure (II.9).

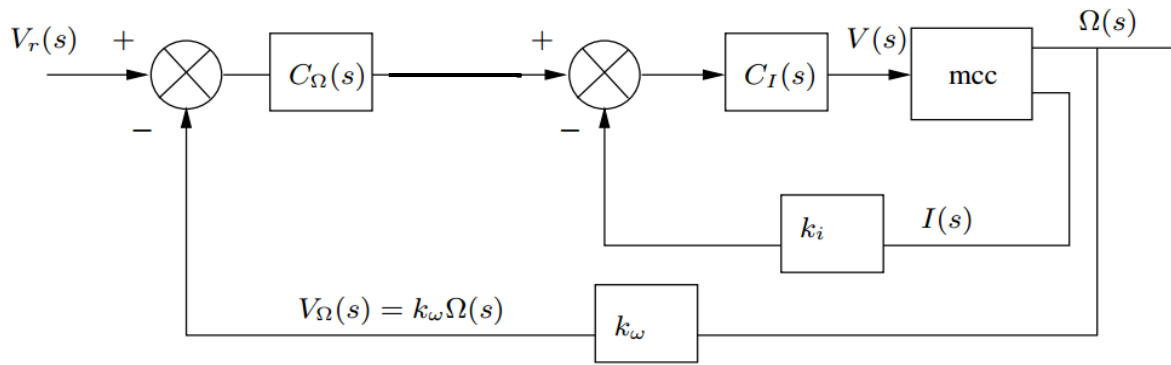


Fig.II.9 : Principe de régulation de la vitesse d'un moteur à courant continu.

II.5.1. Dimensionnement des paramètres des régulateurs

Afin de réguler la vitesse de notre moteur on a choisi deux régulateurs PI (proportionnel intégral) ; un pour la boucle de vitesse et un autre pour la boucle de courant.

II.5.2. Structure d'un régulateur PI

La structure générale d'un régulateur proportionnel intégral montré par la figure (II.10), noté régulateur PI, est composée de la fonction proportionnelle et de la fonction intégrale mises en parallèle. Sa fonction de transfert est donnée par :

$$C(p) = K_1 + \frac{K_2}{P} = \frac{K_1 P + K_2}{P} = K \left(1 + \frac{1}{T_i P} \right) \tag{II.1}$$

Avec : $K = K_1$ et $T_i = K_1 / K_2$

L'avantage principal d'un régulateur PI est qu'il annule l'erreur statique grâce à la fonction intégrale. En effet, il calcule la commande $u(t)$ à injecter au système en intégrant la grandeur d'erreur $\epsilon(t)$. Ainsi, le signal de commande augmente tant que le signal d'erreur est non nul, la commande $u(t)$ ne cesse de croître tant que l'erreur entre la sortie $y(t)$ et la référence $y_{ref}(t)$ n'est pas nulle.

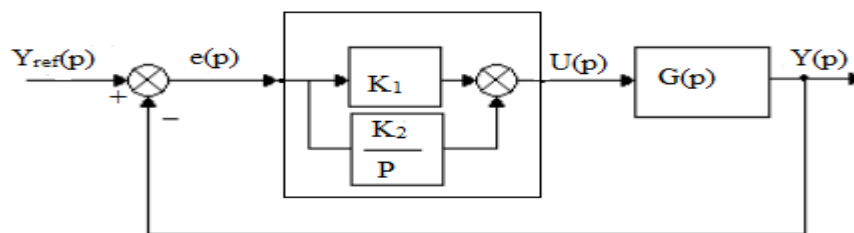


Fig.II.10 : Structure de commande utilisant un régulateur PI.

La fonction de transfert de la boucle fermée est donnée par :

$$G_{bf}(p) = \frac{K_1 \left(p + \frac{K_2}{K_1} \right) G(p)}{1 + K_1 \left(p + \frac{K_2}{K_1} \right) G(p)} \quad (\text{II. 2})$$

Qui montre que le régulateur PI ajoute un zéro à la fonction de transfert en boucle fermée. Celui-ci peut éventuellement être utilisé pour compenser un pôle de la fonction de transfert du système à commander, simplifiant ainsi l'ordre du transfert en boucle fermée. La méthode la plus utilisée c'est la méthode de compensation des pôles [11].

II.5.3. La méthode par compensation de pôle

Cette méthode se déroule en deux étapes, elle consiste, dans une première étape, à utiliser le zéro du régulateur pour compenser un pôle du système à commander. Elle permet ainsi de simplifier l'ordre de la fonction de transfert en boucle ouverte. Cette compensation donne la première équation permettant de calculer les deux paramètres K_i et K_p . Dans une seconde étape, on calcule la fonction de transfert en boucle fermée, et on détermine une seconde équation permettant de calculer le deuxième coefficient du régulateur [11].

II.5.4. Calcul des régulateurs du système

La figure II.11 représente le schéma Matlab Simulink qui englobe notre système et qui permet le calcul des régulateurs.

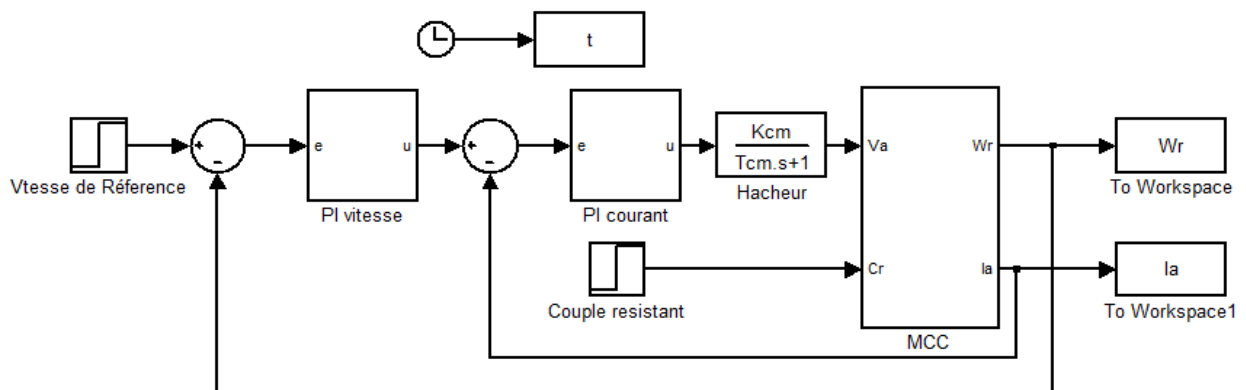


Fig.II.11 : Le schéma Matlab Simulink du système

Afin de calculer les paramètres des régulateurs on a utilisé la méthode de compensation de pôle.

II.5.4.1. Calcul du régulateur de courant

Les dépassements de courant constituent un véritable problème, tant pour le convertisseur statique que pour le moteur, les transitoires de courant risquent de détruire les composants de puissance du convertisseur statique. En plus les conducteurs du moteur risquent d'être détruits par une surintensité. Pour ces raisons il convient donc :

- D'asservir le courant pour avoir la maîtrise des dépassements ;
- De limiter le courant maximum pour protéger le moteur dans tous les cas [12].

Le calcul des paramètres du régulateur de courant du moteur à courant continu se fait à partir du schéma bloc montré par la figure (II.12) suivante :

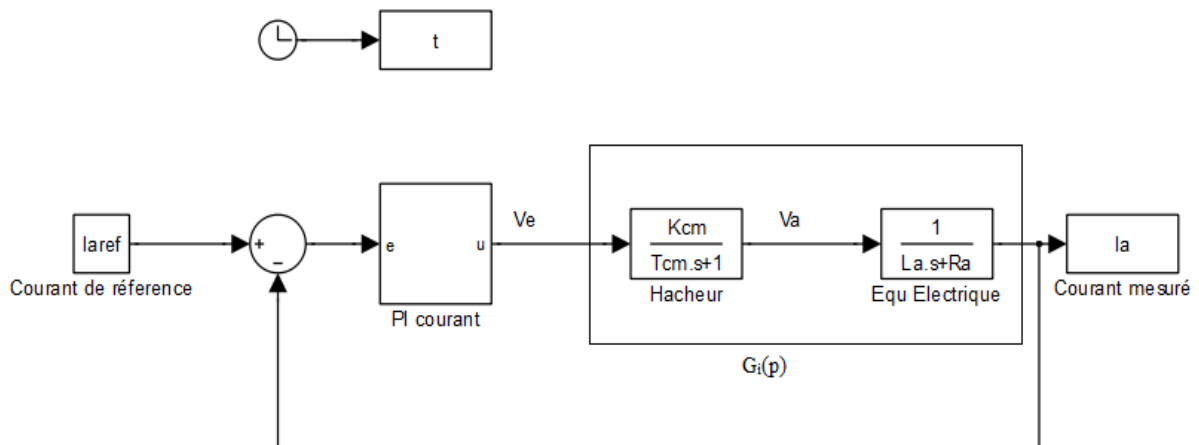


Fig.II.12 : Schéma bloc Simulink de la boucle de courant

On a

$$G_i(p) = \frac{I_a(p)}{V_e(p)} \quad (\text{II. 3})$$

$$I_a(p) = \frac{1}{R_a + L_a \cdot p} V_a(p) \quad (\text{II. 4})$$

$$I_a(p) = \frac{1}{R_a + L_a \cdot p} \frac{K_{cm}}{1 + T_{cm} \cdot p} V_e(p) \quad (\text{II. 5})$$

Donc :

$$G_i(p) = \frac{K_{cm}}{(1 + T_{cm} \cdot P)(R_a + L_a \cdot P)} \quad (II. 6)$$

En posant $T_e = L_a/R_a$

$$G_i(p) = \frac{K_{cm}/R_a}{(1 + T_{cm}) (1 + T_e \cdot P)} \quad (II. 7)$$

Puisque $T_{cm} \ll T_e$ on obtient :

$$G_i(p) = \frac{K_{cm}/R_a}{(1 + T_e \cdot P)} = \frac{G_{0i}}{(1 + T_e \cdot P)} \quad (II. 8)$$

La fonction de transfert étant celle d'un premier ordre, donc la solution est une simple correction PI :

$$C_i(p) = K_{pi} + \frac{K_{ii}}{P} \quad (II. 9)$$

Qui est égale a :

$$C_i(p) = \frac{P \cdot K_{pi} + K_{ii}}{P} = \left(\frac{P \frac{K_{pi}}{K_{ii}} + 1}{P} \right) K_{ii} = K_{ii} \frac{(1 + T_i P)}{P} \quad (II. 10)$$

Le choix le plus simple consiste alors à compenser le pôle électrique en choisissant $K_{pi}/K_{ii} = T_i = T_e$ ce qui conduit à un système en boucle fermée d'une fonction de transfert d'ordre 1 comme le montre la figure (II.13) suivante.

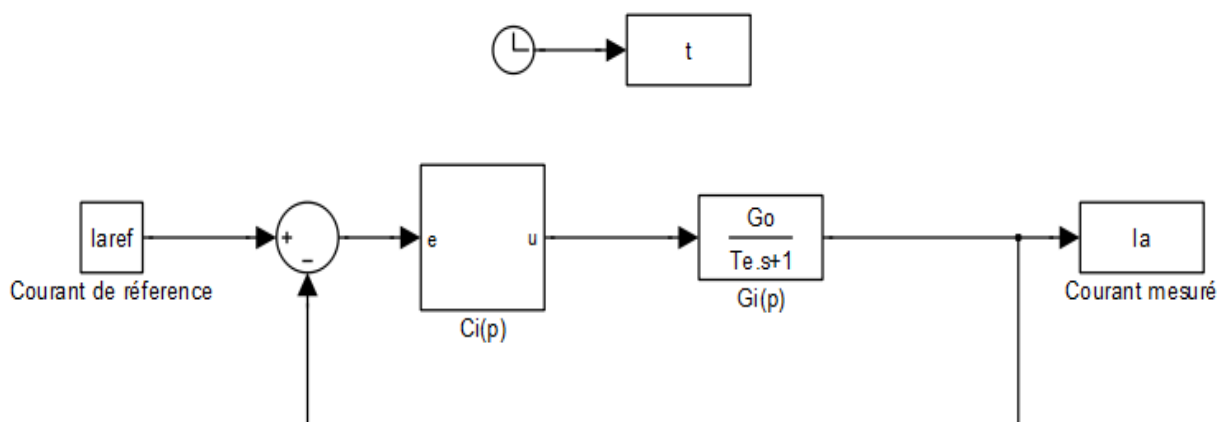


Fig.II.13 : Représentation de la boucle fermée du courant

Donc la fonction de transfert G_{ibf} du système global, montré par la figure (II.13) est donné par :

$$G_{ibf}(p) = \frac{C_i(p) \cdot G_i(p)}{1 + C_i(p) \cdot G_i(p)} \quad (\text{II. 11})$$

$$G_{ibf}(p) = \frac{K_{ii} \frac{(1 + T_i P)}{P} \frac{G_{0i}}{(1 + T_e \cdot P)}}{1 + K_{ii} \frac{(1 + T_i P)}{P} \frac{G_{0i}}{(1 + T_e \cdot P)}} \quad (\text{II. 12})$$

Après la compensation du pôle électrique on aura :

$$G_{ibf}(p) = \frac{K_{ii} \cdot G_{0i}}{P + K_{ii} \cdot G_{0i}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_{ii} \cdot G_{0i}} P} = \frac{1}{1 + T_{bf} \cdot P} \quad (\text{II. 13})$$

On déduit par identification

$$T_{bf} = \frac{1}{K_{ii} G_{0i}} = T_e \quad (\text{II. 14})$$

D'où

$$K_{ii} = \frac{1}{G_{0i} T_e}$$

$$K_{pi} = T_e \cdot K_{ii}$$

II.5.4.2. Calcul du régulateur de vitesse

Une fois la boucle de courant et réglée on peut facilement régler la boucle de vitesse (figure II.14). Le calcul des paramètres du régulateur de vitesse du moteur à courant continu se fait à partir du schéma bloc suivant :

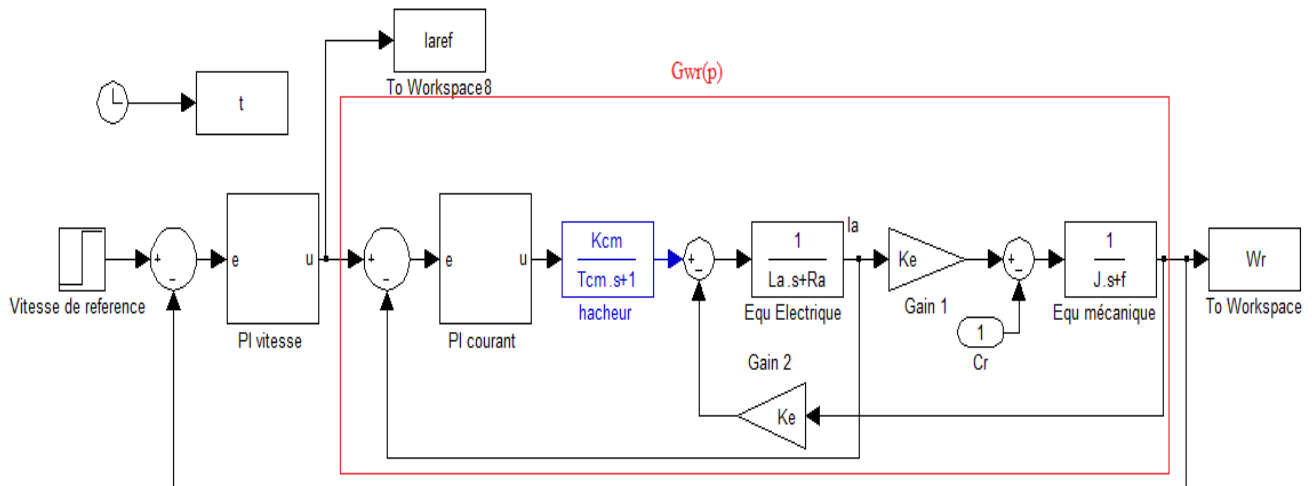


Fig.II.14 : Représentation de la boucle fermée de vitesse.

Supposons que le courant I_a est exactement I_{aref} , la fonction de transfert de la vitesse est donc :

$$G_{\omega r}(p) = \frac{\omega_r(p)}{I_{aref}(p)} \tag{II.15}$$

On voit bien que cette fonction est d'ordre 4. Le calcul des paramètres du régulateur de vitesse dans ce cas sera difficile. Afin d'éviter cette difficulté on fait appel à la méthode suivante :

Il suffit d'envoyer un échelon d'amplitude 1 au système qui est donné par la figure (II.15), la réponse obtenue est similaire à celle du système du premier ordre, dans la fonction de transfert est donnée par :

$$G_{\omega r}(p) = \frac{G_{0\omega}}{1 + T_{\omega} \cdot p} \tag{II.16}$$

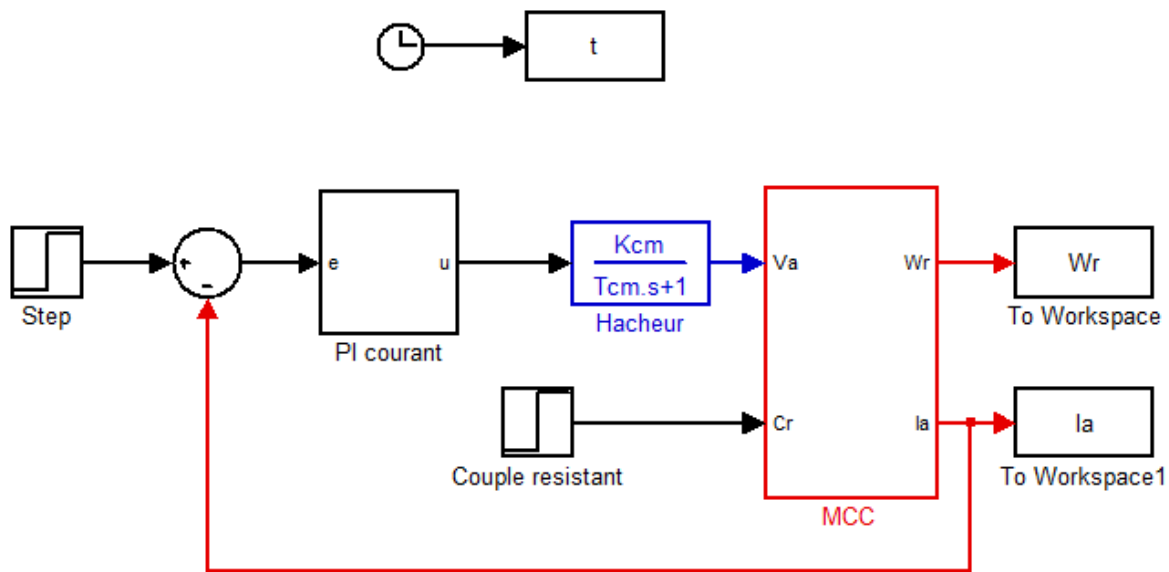


Fig.II.15 : Attaque du système par un échelon

La réponse du système est représentée par la courbe suivante figure (II.16) :

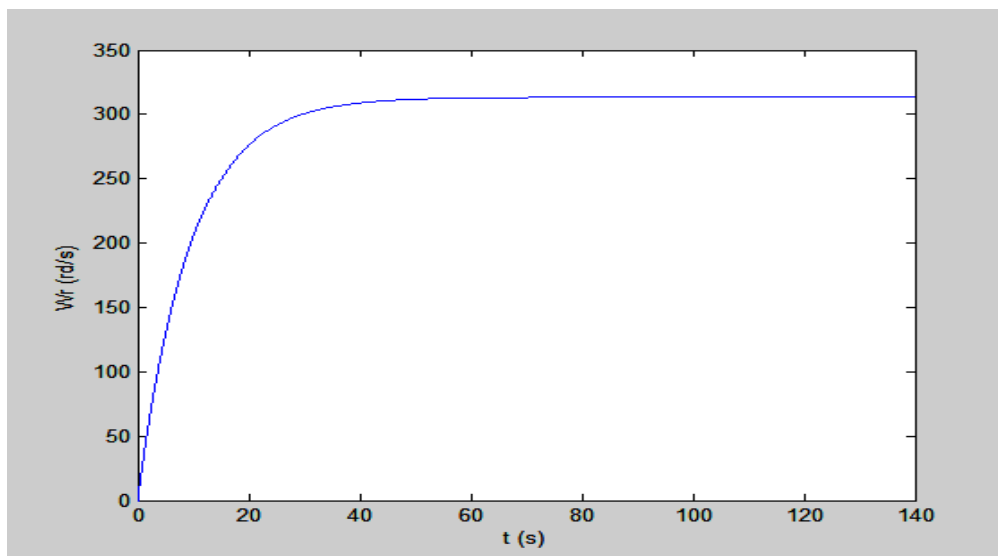


Fig.II.16 : Courbe représentant la réponse du système

Maintenant on peut déduire facilement les paramètres ($G_{0\omega}$ et T_{ω}) de la fonction de transfert du système. Le gain $G_{0\omega}$ représente la valeur finale de ω_r et la constante de temps T_{ω} correspond à 63% de la valeur finale de ω_r .

$$G_{0\omega} = 313.33\text{dB} \quad \text{et} \quad T_{\omega} = 9.38\text{s}$$

On remarque que le temps de réponse est important, donc afin d'avoir un temps de réponse plus rapide on peut prendre la constante du temps du moteur seul. Donc on alimente le moteur directement avec sa tension nominale comme le montre la figure (II.17), après on tire la constante de temps à travers la courbe de la vitesse.

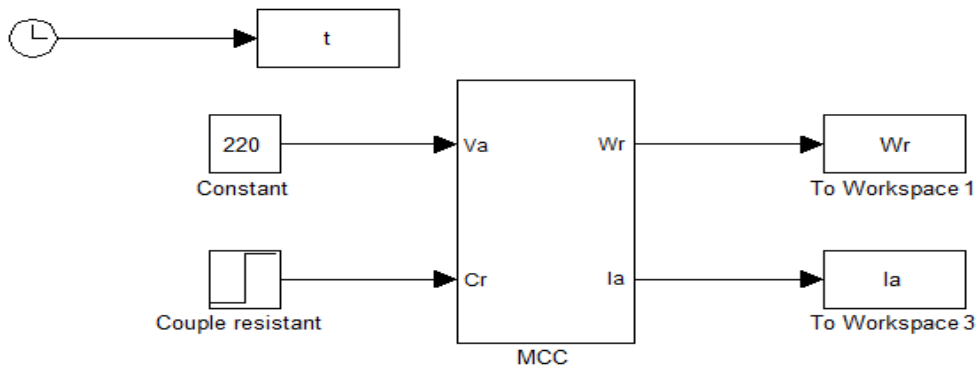


Fig.II.17 : Simulation du moteur seul

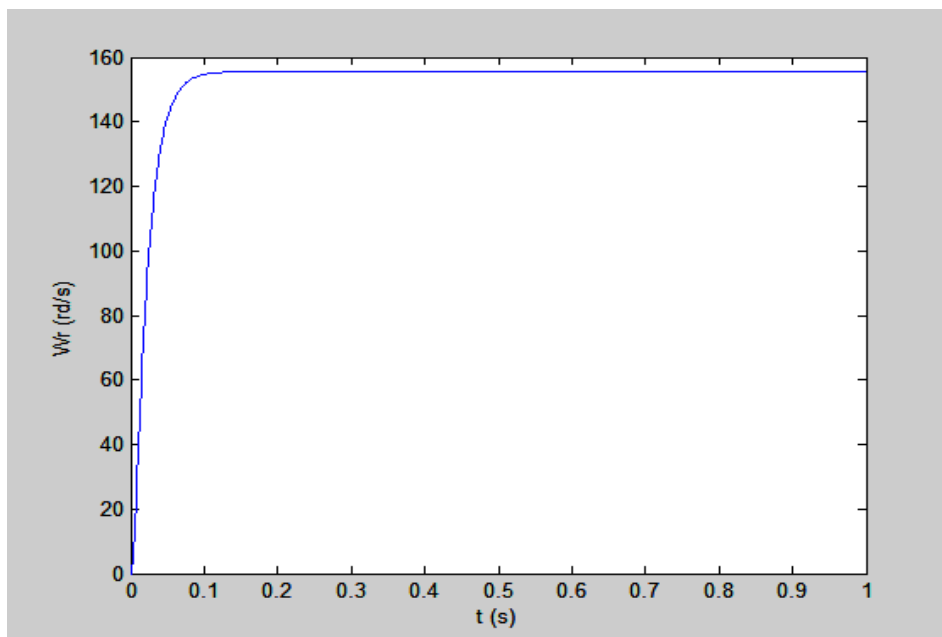


Fig.II.18 : Courbe de la vitesse du moteur seul

On peut tirer la nouvelle valeur de la constante de temps en boucle fermée de la vitesse qui est :

$$T_{bf\omega} = 0.025 \text{ s}$$

Après l'obtention des paramètres de la fonction de transfert de la vitesse, le calcul du régulateur ce fait de la même manière que celle du courant.

$$G_{\omega r}(p) = \frac{313.33}{1 + 0.025.P} \quad (\text{II. 17})$$

Après le calcul on trouve :

$$K_{i\omega} = \frac{1}{G_{0\omega} \cdot T_{bf\omega}} \quad (\text{II. 18})$$

$$K_{p\omega} = T_{\omega} \cdot K_{i\omega}$$

II.6. Simulation du système avec régulation

Après simulation de l'ensemble moteur-hacheur et on lui appliquant un couple résistant de 15 Nm à l'instant $t=2\text{s}$. On a obtenu la réponse donnée par la figure (II.19) suivante.

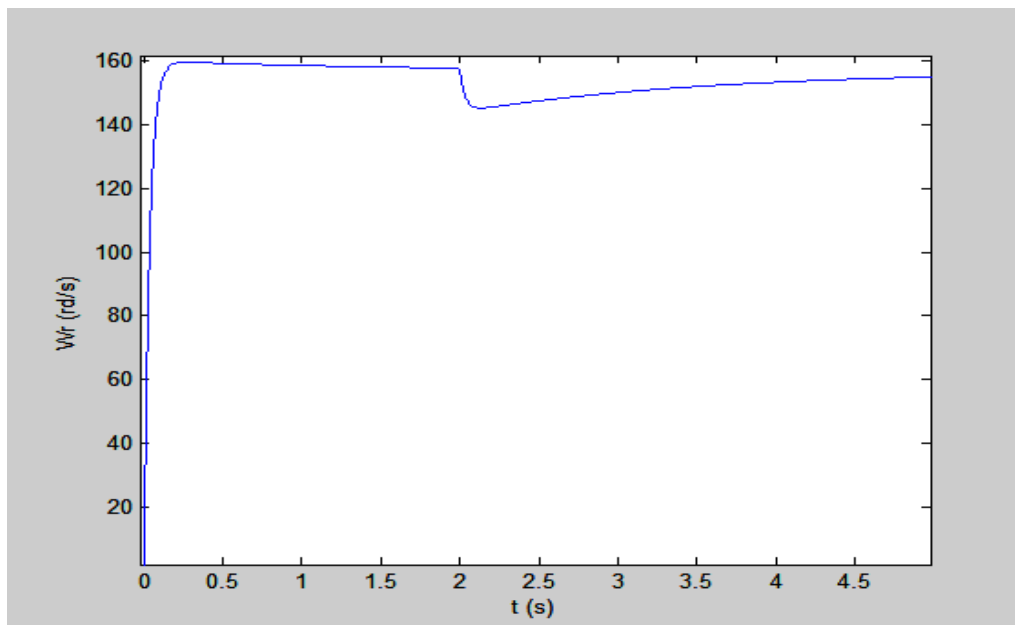


Fig.II.19 : Réponse de la vitesse à une consigne de 157.5 rd/s avec application d'un couple $C_r = 15$ Nm

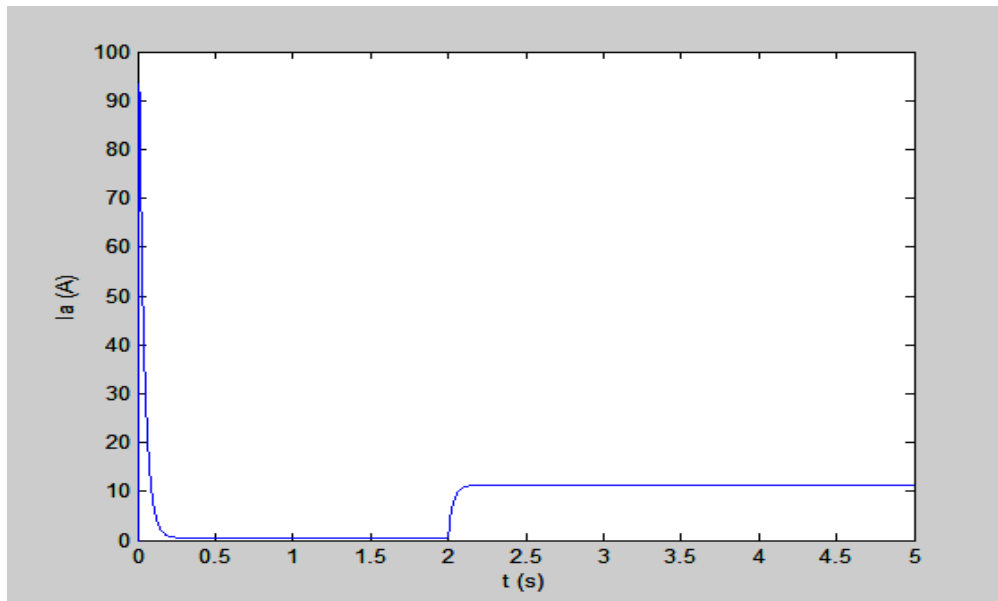


Fig.II.20 : Réponse du courant d'induit à une consigne de 157.5 rd/s avec application d'un couple $C_r = 15$ Nm

II.7. Interprétation des résultats

La vitesse du moteur atteint son régime permanent avec un fort courant de démarrage. L'application du couple résistant de 15 Nm à $t=2$ s, fait chuter la vitesse et augmenter le courant d'induit.

On remarque que le régulateur de vitesse intervient pour remettre la vitesse à sa valeur nominale.

II.8. Conclusion

Après avoir effectué différents calculs et simulations, nous avons dimensionné les paramètres des régulateurs PI de courant et de vitesse par la méthode de compensation des pôles.

La simulation de la MCC avec et sans perturbation a fourni des résultats adéquats à notre application. Dans le chapitre suivant nous nous intéressons à la partie expérimentale en exploitant les résultats théoriques obtenus dans ce chapitre.

Chapitre III

III.1. Introduction

Dans cette partie, nous allons présenter la réalisation d'une maquette expérimentale afin de valider les performances réelles de l'algorithme de commande proposé dans le chapitre précédent. Le banc comporte : une carte dspace 1103, un convertisseur (Hacheur série) et un moteur à cc. Le banc permet de :

- * Définir et associer les différents éléments matériels et logiciels.
- * Développer un programme de commande pour un convertisseur (Hacheur série), en utilisant la dspace 1103.
- * Tester l'algorithme.
- * Relever les résultats expérimentaux côté puissance (vitesse et courant).

III.2. Description générale

Pour valider expérimentalement la technique de commande présentée dans le cadre de ce travail, nous avons construit un banc d'essai. Ce dernier est constitué d'un convertisseur (Hacheur série), dont les interrupteurs du bras sont constitués d'un transistor IGBT monté en antiparallèles avec une diode, le signal de commande de l'IGBT est issu d'une carte DS1103 à base d'un processeur dédié au traitement du signal. La photo de ce banc expérimental est représentée par la figure (III.1).

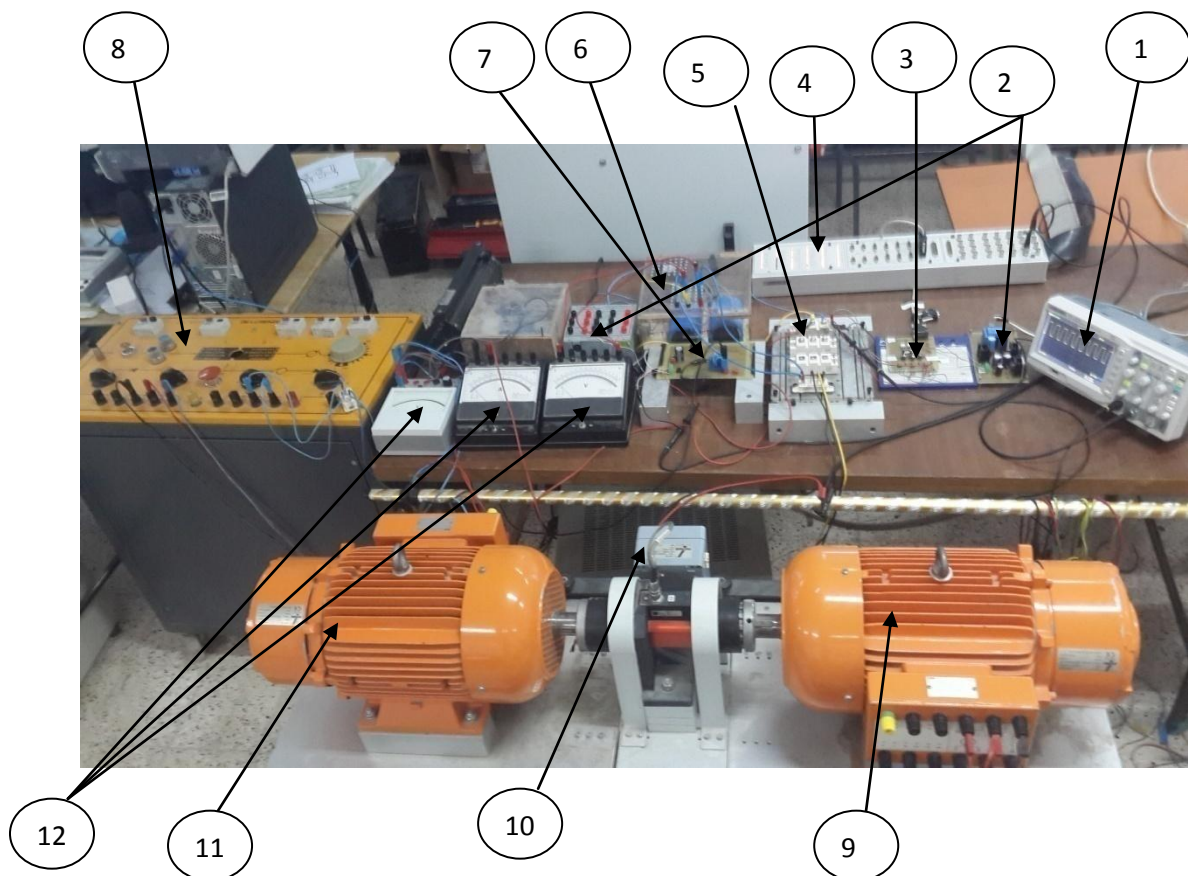


Fig.III.1: Photo du banc d'essai

- | | |
|------------------------------------------|--------------------------------|
| 1-Oscilloscope numérique. | 7- Capteur de courant. |
| 2-Alimentation symétrique. | 8- Pupitre de commande. |
| 3- Carte de commande. | 9-Machine asynchrone. |
| 4-Control Panel de la carte Dspace 1103. | 10-Capteur de vitesse. |
| 5-Module à IGBT. | 11-Machine à courant continu. |
| 6-Condensateur de Filtrage. | 12-Ampèremètres et voltmètres. |

Ce banc d'essai met en évidence trois différentes parties :

* La partie puissance qui regroupe :

- Le convertisseur (Hacheur série), interrupteurs.
- La charge, constituée d'une MCC.

* La partie mesure, constituée de capteurs de courant (pour mesurer le courant d'induit) et d'un capteur de vitesse pour mesurer la vitesse du moteur.

* La partie commande est constituée d'une carte de contrôle DS 1103 (basée sur un DSP TMS320F240) pilotée par un ordinateur. L'ordinateur permet de générer le code objet défini à partir de l'algorithme de commande.

III.3. Convertisseur (Hacheur série) réalisé

La photo du hacheur réalisé est donnée sur la figure(III.2).

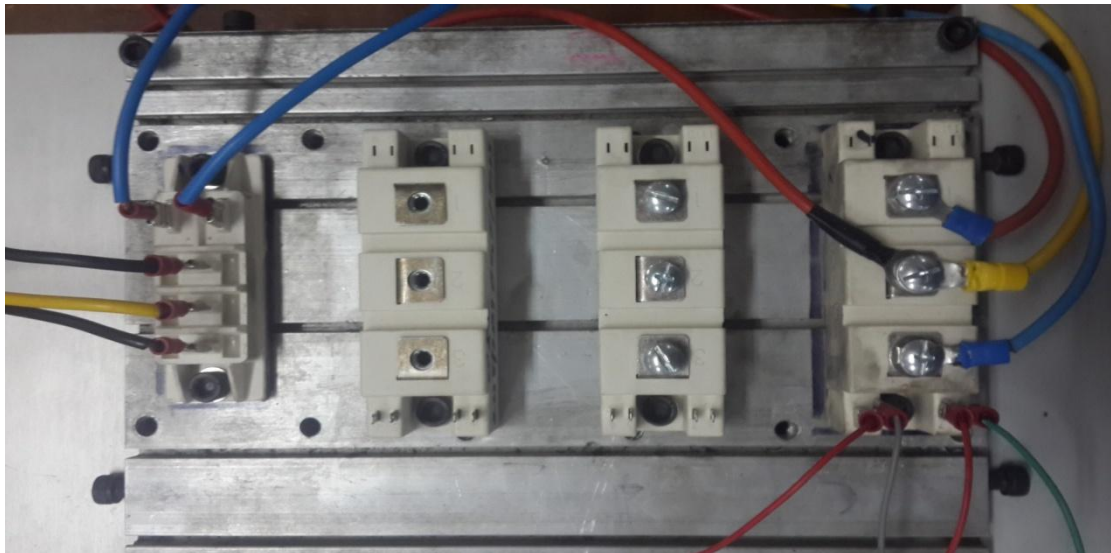


Fig.III.2 : Photo du Hacheur série utilisé

III.3.1. Partie puissance

Les interrupteurs de puissance utilisés dans le hacheur réalisé sont composés d'un module IGBT et d'une diode de référence SKM 120 GB 123 de Semikron.

Ces modules supportent une tension de 600V et permettent de faire passer un courant de 120A.

III.3.2. Partie commande

Le bras à une seule carte de commande qui génère un signal a deux états, cette carte a été réalisée au laboratoire LATAGE. La carte est alimentée par une source symétrique qui débite une tension de 5V pour alimenter les Optocoupleurs et 15V pour alimenter les Drivers.

L'IGBT est piloté par un allumeur (Driver) qui permet d'adapter les signaux de commande aux caractéristiques des interrupteurs.

Le driver (IR2109) (Annexe 1) est un circuit intégré utilisé pour améliorer les temps de commutation des interrupteurs d'électronique de puissance. La sortie du driver envoie aux bornes des interrupteurs du MODULE une tension continue variable de 0-15 V.

Afin d'assurer une isolation entre la carte de commande et le transistor de puissance, on utilise des Optocoupleurs (4N35) (Annexe 2) dont les sorties sont reliées aux drivers, cette isolation nous permet de protéger la partie électronique de faible puissance et de lui permettre d'être moins sensible aux bruits générés par la partie puissance.

La photo de la carte de commande est représentée par la figure (III.3).

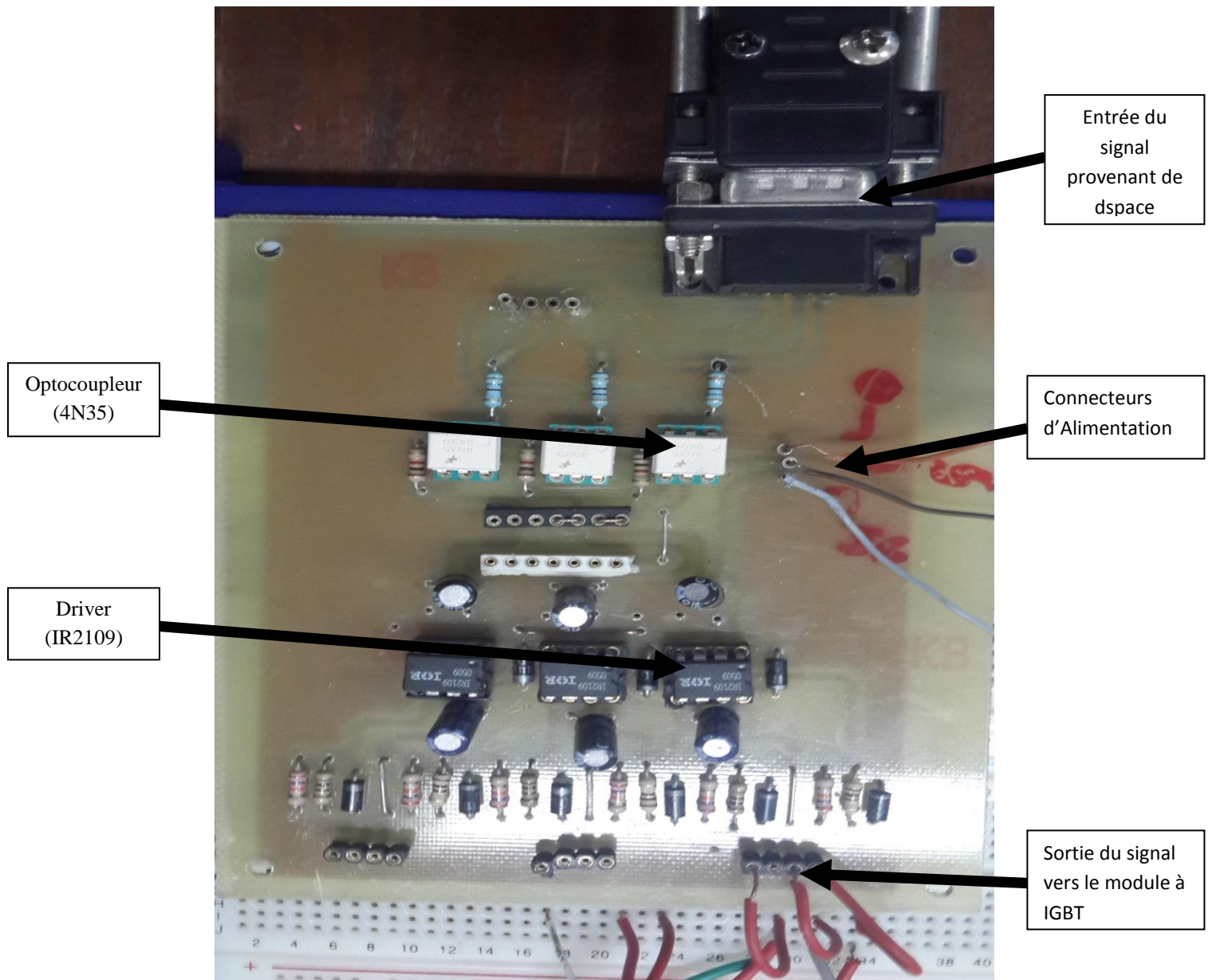


Fig.III.3 : Photo de la carte de commande

III.3.3. partie mesure

Le courant est mesuré grâce à un capteur de courant à effet Hall (LEM LA-55 P), dont les caractéristiques se trouvent dans l'annexe (3). Ce capteur à une bande passante de 200 KHz et un rapport de transformation de 1/1000. La résistance de mesure R_m est dimensionnée pour un courant secondaire de 48 A (annexe 4).

La figure (III.4) présente la mise en oeuvre de la mesure.

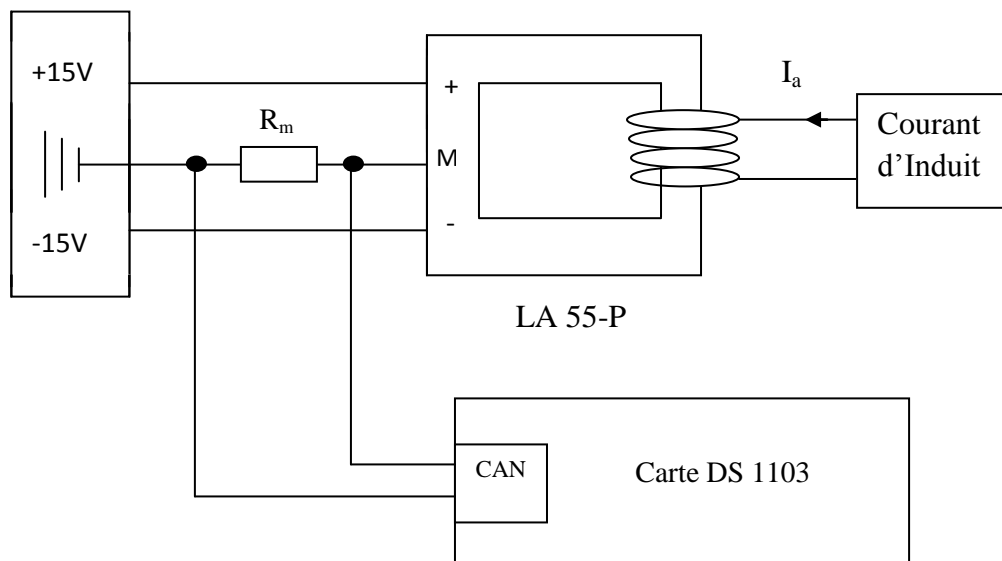


Fig.III.4 : Mise en oeuvre de la mesure

La figure (III.5) représente la carte de mesure réalisée.

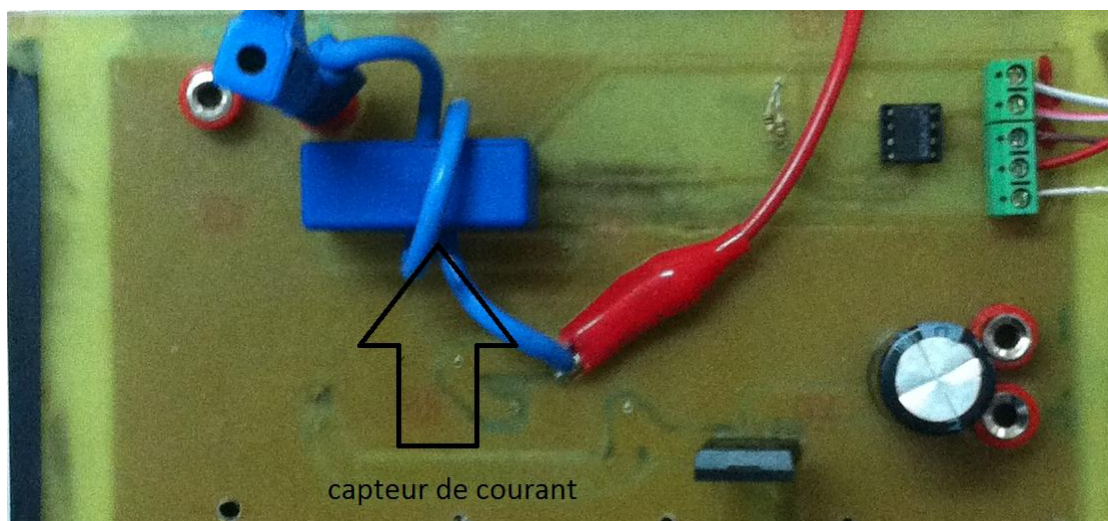


Fig.III.5 : La carte de mesure réalisée.

III.3.5. partie commande (DSPACE)

Le système de commande numérique dspace répond de manière satisfaisante à notre besoin.

Son principal intérêt est de permettre d'écrire l'essentiel de l'algorithme de commande par schéma blocs sous logiciel Matlab Simulink

En effet, l'outil Real Time Workshop de Simulink procure une façon rapide et efficace pour traduire le modèle de simulation fournissant une procédure automatique pour le codage,

la compilation, le codage, l'édition de liens et le téléchargement des exécutables sur le processeur cible DSP.

La figure (III.6) présente les différentes étapes de l'implantation de la commande.

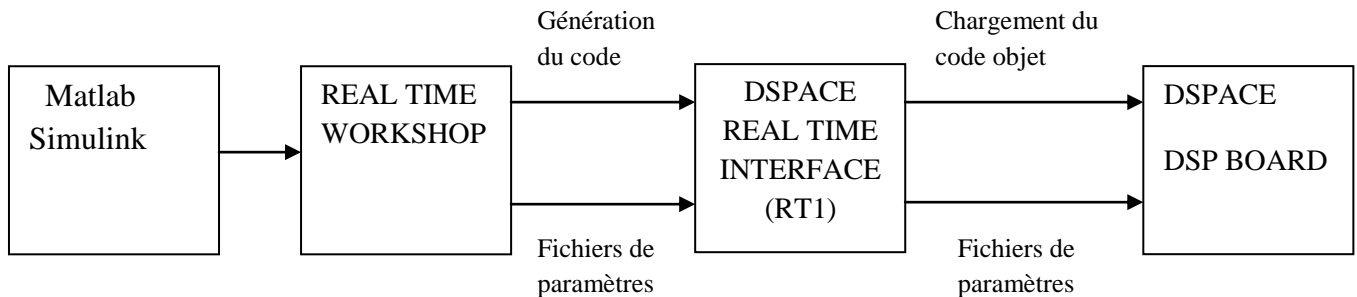


Fig.III.6 : Procédure de l'implantation temps réel

La carte utilisée DS1103 est développée autour du DSP TMS320F240, elle est caractérisée par une fréquence de travail de 400 MHz, une mémoire statique sous temps d'attente SRAM 512 K mots, et un espace mémoire de 16 M mots de 32 bits. Les autres périphériques de la carte utilisés pour notre application sont :

Des convertisseurs analogiques numériques à 16 bits à tension d'entrée ± 10 V, un gain de 1/10 et un temps de conversion 4 μ s [6].

Le logiciel ControlDesk (figure III.7) qui est associé à la DSpace, permet de suivre l'exécution du programme implanté dans le DSP, en affichant les courbes d'évolution des variables, et en offrant la possibilité de modifier ces variables en temps réel [13].

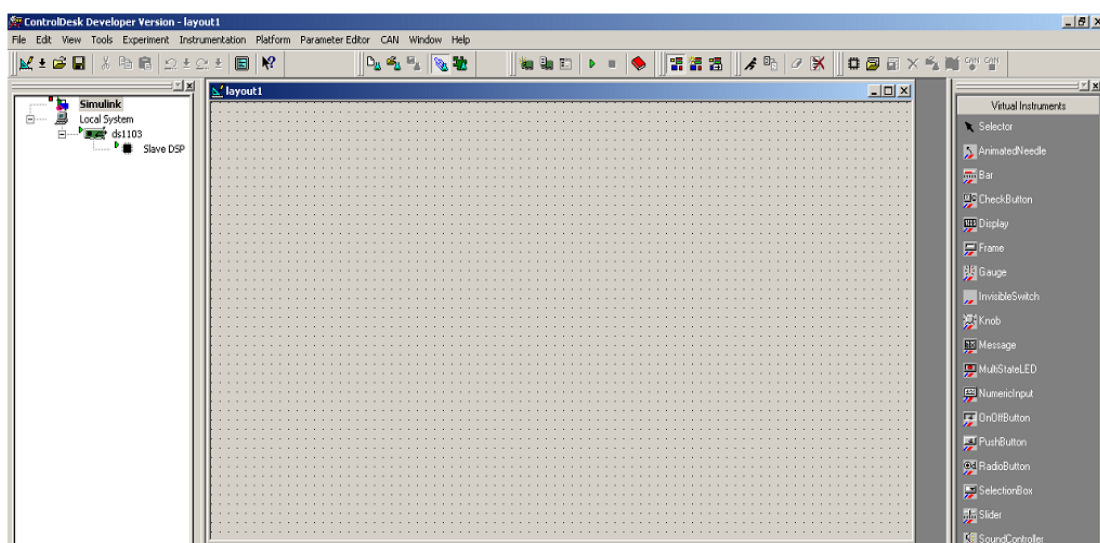


Fig.III.7: La fenêtre du logiciel ControlDesk

III.4. Tests expérimentaux

Dans cette partie, nous allons présenter quelques résultats expérimentaux obtenus sur la MCC. Les signaux de commande des interrupteurs sont obtenus par la technique MLI, ici nous ne développons pas la théorie, nous réalisons simplement des tests pour valider le banc d'essai.

Ces essais consistent à capter le courant d'induit et la vitesse du moteur puis les réguler numériquement à l'aide de la Dspace 1103. Le schéma de régulation sous l'environnement Matlab Simulink est donné par la figure (III.8).

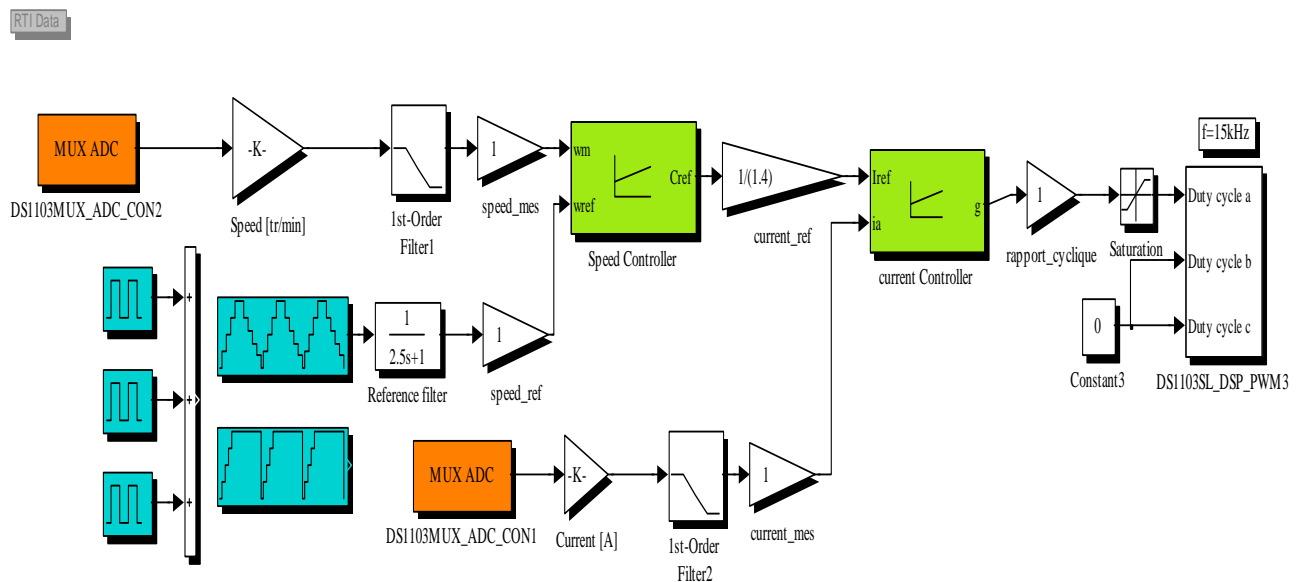


Fig.III.8 : Schéma de bloc Simulink de la régulation

III.5. Résultats obtenus et interprétation

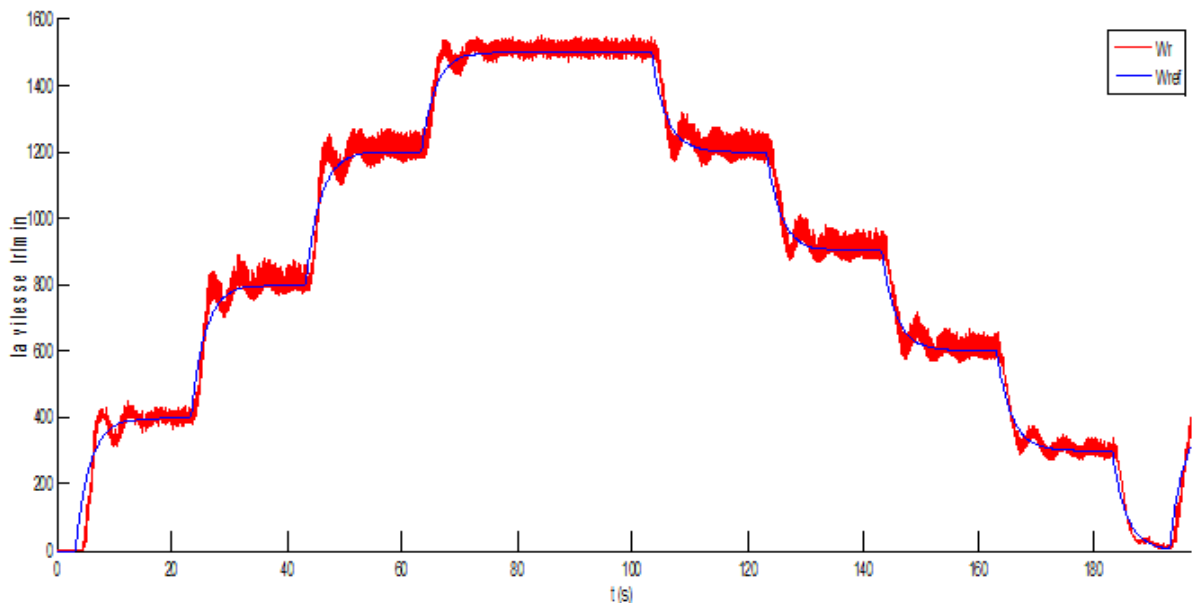


Fig III.9: Comparaison entre la vitesse de référence et celle captée

D'après cette courbe la vitesse captée du moteur suit la vitesse de référence imposée au départ avec des pics qui sont dus aux pics de courant absorbés par le moteur lorsqu'on passe d'un niveau de vitesse à un autre.

On remarque aussi la vitesse captée, possède des ondulations qui sont dues à la régulation qui possède quelques dépassements et aussi aux différents matériels utilisés qui présentent certaines erreurs de mesure. Au delà le moteur démarre et fonctionne à la vitesse qu'on désire sans poser le moindre risque sur la partie de commande.

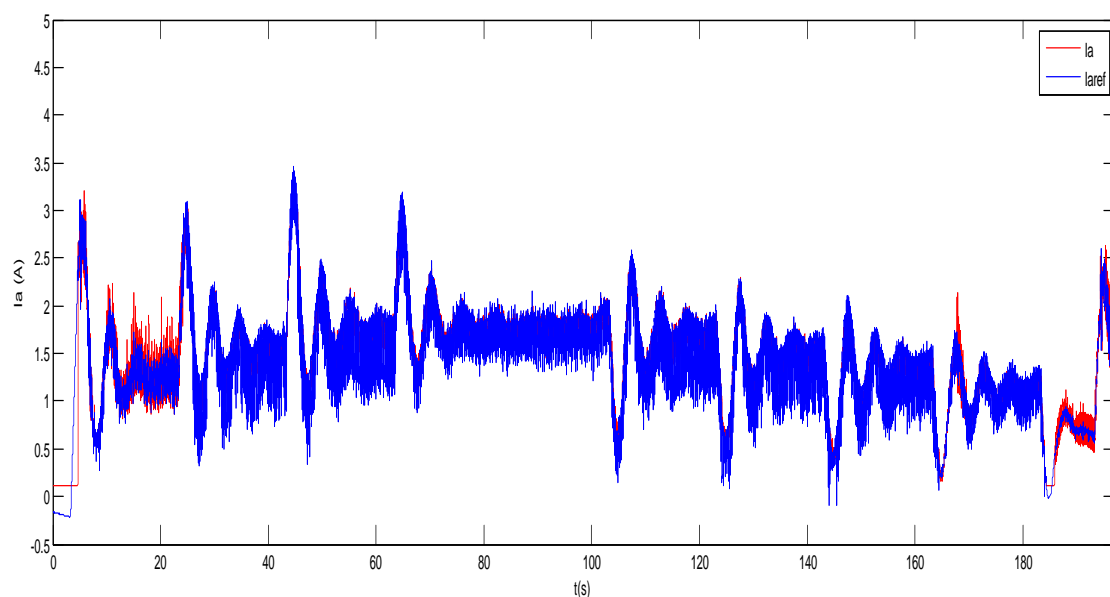


Fig.III.10: Superposition des deux courants capté et de référence

On voit que le courant capté suit la référence, mais il possède des piques dus au passage du moteur d'une vitesse à une autre

On remarque aussi que le courant représente quelques ondulations imposées par les instants de commutation d'interrupteur de commande, si non la boucle de courant fonctionne sans poser de risque sur la partie de commande.

III.6.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé les différentes parties du montage réalisé au laboratoire LATAGE de l'UMMTO. Cette réalisation est conçue autour d'une carte de commande Dspace 1103, une carte réalisée pour assurer la protection du dispositif contre les surtensions et surintensités ainsi que contre les défauts d'alimentation des cartes.

Nous avons aussi réalisé une régulation numérique afin de réguler la vitesse du moteur.

L'essai expérimental montre une bonne dynamique de la vitesse et du courant d'induit.

Les résultats obtenus expérimentalement sont conformes aux objectifs fixés :

- Le courant d'induit suit le courant de référence
- La vitesse du moteur suit la vitesse de référence

Les résultats obtenus valident l'utilisation d'une commande MLI et une régulation numérique.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été pour nous, le premier pas vers un monde nouveau et complexe, mais très intéressant. Notre recherche bibliographique dans les domaines de l'électronique, de l'électrotechnique et de l'automatique tel que « les composants électroniques, les hacheurs, les machines à courant continu», nous a permis d'enrichir nos connaissances et de développer notre base théorique. Dans ce travail nous avons essayé d'apporter, d'utiliser et d'employer les possibilités offertes par l'emploi de la Dspace 1103 dans le domaine des machines à courant continu.

Notre objectif a été l'identification des paramètres d'une machine à courant continu à excitation indépendante puis la conception et la réalisation d'une commande en vitesse de cette machine à l'aide de la Dspace 1103.

Des essais ont été effectués au sein de laboratoire de LATAGE sur la MCC afin d'identifier ces paramètres et les résultats trouvés sont très proches des paramètres réels de la machine.

A l'aide de l'interface du logiciel ControlDesk qui est associé à la Dspace 1103 et de Matlab simulink, nous avons réalisé le bloc qui permet l'envoi d'un signal MLI pour commander un hacheur série.

Nous avons utilisé un hacheur série à base d'un IGBT, commandé par un signal MLI afin de varier la vitesse d'une machine à courant continu à excitation séparée. La régulation de la vitesse de la MCC a été réalisée numériquement par la Dspace 1103.

Les résultats obtenus du courant et de vitesse régulés suivent pratiquement leurs références avec quelques dépassements et ondulations, dus au matériel dont on dispose au niveau du laboratoire, et aussi à la régulation qui n'est pas parfaite.

Nous pouvons confirmer que l'objectif, fixé au départ, a pu être atteint et notre travail satisfait les exigences déterminées au début.

Toutefois le champ d'investigation est très large et les méthodes très nombreuses. Des améliorations peuvent être apportées à ce travail afin de le perfectionner et de l'enrichir.

Par exemple compléter ce travail afin de commander et de réguler la vitesse de cette machine en fonctionnement génératrice.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] H. Fekid, << Identification des paramètres d'une machine à courant continu >>, mémoire d'ingénieur 2007, UMMTO.
- [2] R. Abdessemed et M.kadjouj, << Modélisation des machines électrique >>, presses de l'université de Batna, 1997.
- [3] A.Traore, Adama et F. Sangare << Machines à courant continu >>, Bamako ENIABT, 2007.
- [4] T.Wildi et G. Sybile, << Electrotechnique >>, Edition de Boeck, 2005.
- [5] M.Pinard, << Commande électronique des moteurs électriques >>, Edition Dunod, avril 2004.
- [6] H.Denoun, << Contribution à L'étude à la réalisation des convertisseurs AC /DC à MLI à facteur de puissance unitaire >>, Thèse de Doctorat, UMMTO, 2013.
- [7] M. Kostenko et L. Piotrovski, << Machines à courant continu et transformateurs>>, Edition Mir Moscou, 1979.
- [8] P.Barret, << Régimes transitoires des machines tournantes électriques >>, Edition Bordas, 1985.
- [9] 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.
- [10] R. Chauprade, << Commande électronique des moteurs à courant continu >>, Eyrolles, 1978.
- [11] R. Mansouri, << Cours sur les systèmes asservis linéaires continus >> année universitaire 2013/2014 (non édité).
- [12] B. BAYLE, << Technologie des Asservissements. Variateurs de vitesse >>, Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg, année (2010-2011).
- [13] M. Boumédiene, << Acquisition de signaux Electrocardiogrammes (ECG) à l'aide de la carte DSPACE >>, mémoire d'ingénieur d'état, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, juillet 2003.

Annexes

Annexe 1: Datasheet Driver -IR2109

International
IR Rectifier

Data Sheet No. PD60163-U

IR2109(4) (S) & (PbF)

HALF-BRIDGE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation Fully operational to +600V Tolerant to negative transient voltage dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V, 5V and 15V input logic compatible
- Cross-conduction prevention logic
- Matched propagation delay for both channels
- High side output in phase with IN input
- Logic and power ground +/- 5V offset.
- Internal 540ns dead-time, and programmable up to 5us with one external R_{DT} resistor (IR21094)
- Lower di/dt gate driver for better noise immunity
- Shut down input turns off both channels.
- Available in Lead-Free

Description

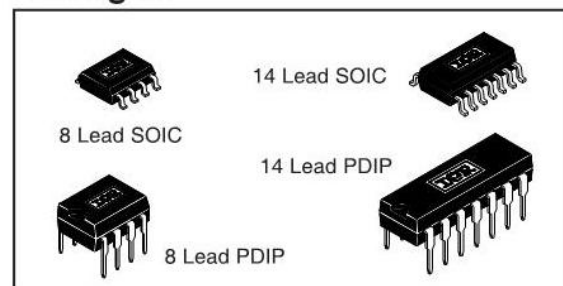
The IR2109(4)(S) are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with dependent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. The logic input is compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high

pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

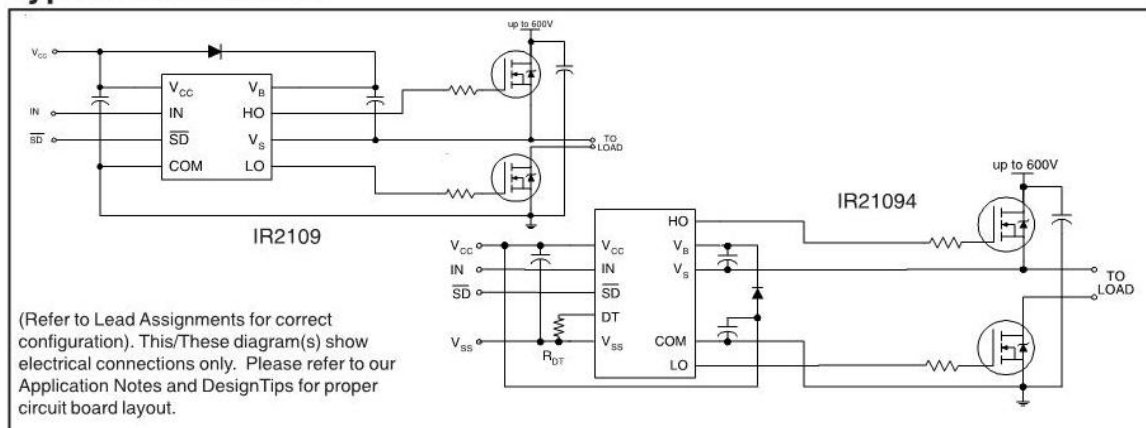
Product Summary

V_{OFFSET}	600V max.
$I_{O+/-}$	120 mA / 250 mA
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	750 & 200 ns
Dead Time	540 ns (programmable up to 5us for IR21094)

Packages



Typical Connection



Annexe 2: Datasheet Optocoupleur- 4N35

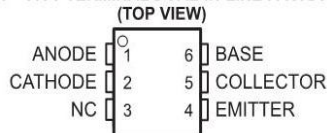
4N35, 4N36, 4N37 OPTOCOUPERS

SOES021C – NOVEMBER 1981 – REVISED APRIL 1998

COMPATIBLE WITH STANDARD TTL INTEGRATED CIRCUITS

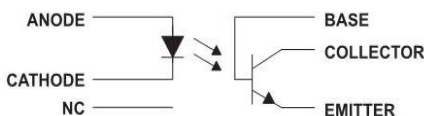
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source
Optically Coupled to a Silicon npn Phototransistor
- High Direct-Current Transfer Ratio
- High-Voltage Electrical Isolation
1.5-kV, 2.5-kV, or 3.55-kV Rating
- High-Speed Switching
 $t_r = 7 \mu s$, $t_f = 7 \mu s$ Typical
- Typical Applications Include Remote Terminal Isolation, SCR and Triac Triggers, Mechanical Relays and Pulse Transformers
- Safety Regulatory Approval
UL/CUL, File No. E65085

DCJT† OR 6-TERMINAL DUAL-IN-LINE PACKAGE



†4N35 only
NC – No internal connection

schematic



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage (8-ms half sine wave):	4N35	3.55 kV
	4N36	2.5 kV
	4N37	1.5 kV
Input-to-output root-mean-square voltage (8-ms half sine wave):	4N35	2.5 kV
	4N36	1.75 kV
	4N37	1.05 kV
Collector-base voltage		70 V
Collector-emitter voltage (see Note 1)		30 V
Emitter-base voltage		7 V
Input-diode reverse voltage		6 V
Input-diode forward current:		
Continuous		60 mA
Peak (1 μs , 300 pps)		3 A
Phototransistor continuous collector current		100 mA
Continuous total power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:		
Infrared-emitting diode (see Note 2)		100 mW
Phototransistor (see Note 3)		300 mW
Continuous power dissipation at (or below) 25°C lead temperature:		
Infrared-emitting diode (see Note 4)		100 mW
Phototransistor (see Note 5)		500 mW
Operating temperature range, T_A		-55°C to 100°C
Storage temperature range, T_{stg}		-55°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds		260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these conditions is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. This value applies when the base-emitter diode is open-circuited.
 2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
 3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
 4. Derate linearly to 100°C lead temperature at the rate of 1.33 mW/°C. Lead temperature is measured on the collector lead 0.8 mm (1/32 inch) from the case.
 5. Derate linearly to 100°C lead temperature at the rate of 6.7 mW/°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

**TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

Annexe 3 : Datasheet capteur de courant LA 55-P



Capteur de courant LA 55-P/SP11

$$I_{PN} = 50 \text{ A}$$

Pour la mesure électronique des courants : DC, AC, Impulsionnels..., avec une isolation galvanique entre le circuit primaire (courant fort) et le circuit secondaire (circuit électronique).



16023

Caractéristiques électriques principales

I_{PN}	Courant primaire efficace nominal	50	A
I_p	Courant primaire, plage de mesure	0 .. ± 70	A
R_M	Résistance de mesure	R_{Mmin} R_{Mmax}	
	avec $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	50 160 Ω
		@ $\pm 70 \text{ A}_{max}$	50 90 Ω
I_{SN}	Courant secondaire efficace nominal	50	mA
K_N	Rapport de transformation	1 : 1000	
V_C	Tension d'alimentation ($\pm 5 \%$)	± 15	V
I_C	Courant de consommation	$10 + I_s$	mA
V_d	Tension d'essai diélectrique efficace, 50 Hz, 1 mn	3	kV

Précision - Performances dynamiques

X	Précision @ $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 15 \text{ V} (\pm 5 \%)$	± 0.65	%
ε_L	Erreur de linéarité		< 0.15	%
I_O	Courant de décalage @ $I_p = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$		Typ Max	
I_{OM}	Courant résiduel ¹⁾ @ $I_p = 0$, après une surintensité de $3xI_{PN}$		± 0.2	mA
I_{OT}	Dérive en température de I_O	$0^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$	± 0.01 ± 0.03	mA
t_{ra}	Temps de réaction @ 10 % de I_{PN}		< 500	ns
t_r	Temps de retard @ 90 % de I_{PN}		< 1	μs
di/dt	di/dt correctement suivi		> 200	A/ μs
f	Bande passante (-1 dB)		DC .. 200	kHz

Caractéristiques générales

T_A	Température ambiante de service	0 .. +70	$^\circ\text{C}$
T_S	Température ambiante de stockage	-25 .. +85	$^\circ\text{C}$
R_S	Résistance bobine secondaire @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	80	Ω
m	Masse	18	g
	Normes	EN 50178 : 1997	

Note : ¹⁾ Conséquence du champ coercitif des éléments magnétiques.

Généralités

- ∞ Capteur de courant de type boucle fermée (à compensation) utilisant l'effet Hall
- ∞ Montage sur circuit imprimé
- ∞ Boîtier injecté en matière isolante auto-extinguible de classe UL 94-V0.

Particularités

- ∞ $V_C = \pm 15 (\pm 5\%) \text{ V}$
- ∞ $V_d = 3 \text{ kV}$
- ∞ $I_{OT} = \pm 0.03 \text{ max}$
- ∞ $T_A = 0^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$
- ∞ Listing contrôle température.

Avantages

- ∞ Excellente précision
- ∞ Très bonne linéarité
- ∞ Faible dérive en température
- ∞ Temps de retard court
- ∞ Bande passante élevée
- ∞ Pas de pertes d'insertion apportées dans le circuit à mesurer
- ∞ Grande immunité aux perturbations extérieures
- ∞ Surcharges de courant supportées sans dommage.

Applications

- ∞ Variateurs de vitesse et entraînements à servomoteur AC
- ∞ Convertisseurs statiques pour entraînements à moteur DC
- ∞ Applications alimentées par batteries
- ∞ Alimentations Sans Interruption (ASI)
- ∞ Alimentations à découpage
- ∞ Alimentations pour applications de soudage.

060718/3

Annexe 4 : Calcul de la résistance de mesure du capteur de courant LA 55-P

Afin d'avoir une Bonne mesure on a calculé la résistance de mesure d'une façon à mesurer un courant 3fois plus que le courant nominal du moteur.

$$V_{\max} = K_i \cdot I_p \quad \text{avec} \quad K_i = R_m \cdot K_n$$

Avec :

V_{\max} : la tension maximale aux bornes de la résistance.

I_p : le courant a mesuré

On a :

$$K_i = V_s / I_p = 5V / 48A = 0,1041$$

$$R_m = K_i / K_n = 0,1041 * 1000 / 2 = 52 \Omega$$

$$R_m = 52 \Omega$$

Comme on n'a pas une résistance de 52 Ω On a pris une résistance de 50 Ω .

Paramètres de la machine à courant continu

Paramètres	Valeurs
Tension nominale d'induit	220 V
Tension nominale d'inducteur	110 V
Courant nominal d'induit	16 A
Courant nominal d'inducteur	1,32 A
Puissance utile	3 Kw
Couple nominal	19 Nm
Vitesse de rotation	1500 tr/mn
Résistance d'induit	1,35 Ω
Résistance d'inducteur	65,15 Ω
Inductance d'induit	0,0059 H
Inductance d'inducteur	8,35 H
Constante de la f.c.e.m	1,41 V /rd/s
Mutuelle inductance entre induit et inducteur	1,07 H
Coefficient de frottement	0,0045 Nm/rd/s
Inertie des masses tournantes	0,036 Kg.m ²

Paramètres du hacheur

Constante de temps du hacheur	0,000033 s
Gain du hacheur	30

Paramètres des régulateurs PI .

K_{ii}	10,2966
K_{pi}	0,0450
$K_{i\omega}$	0,5106
$K_{p\omega}$	0,7983

Résumé

Dans le cadre de ce projet, il a été demandé d'identifier les paramètres d'une machine à courant continu à excitation indépendante, puis la réalisation d'une commande en vitesse de cette machine en utilisant la carte d'acquisition Dspace 1103, cette dernière génère un signal MLI qui consiste à commander un hacheur série à base d'un IGBT. Pour cela des essais ont été effectués afin d'identifier les paramètres de cette machine, ensuite on est passé à la réalisation pratique de notre commande. Afin de valider notre banc d'essai, plusieurs schémas et explications ont été présentés dans ce mémoire.

Mots clés : machine à courant continu, Identification, commande MLI, régulateur PI, Dspace 1103.