

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMRI de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Electrotechnique

MEMOIRE

En vue de l'Obtention du Diplôme

Master professionnel en Electrotechnique

L.M.D

THEME

***Réalisation d'un capteur de position en
vue d'autopiloter une machine
synchrone à aimants permanents.***

Proposé et dirigé par :

M.BOUKAIS B

Etudié et réalisé par :

M.MAMOU Lounes

M.AKKOUCHE Lyes

Promotion 2012

Remerciements

Au terme de ce travail,

Nous tenons, en premier lieu à remercier le Bon Dieu pour le courage et la patience qu'il nous a donnés afin de mener ce projet à terme.

Nous remercions vivement notre promoteur M. BOUKAIS B d'avoir accepté de nous encadrer, ainsi que pour son aide précieuse, son travail encourageant, et ses conseils judicieux.

Nous tenons aussi à remercier tout particulièrement :

M. SEDIKI H, M. HARMIM S et M. BECHOUCHE A, pour leurs précieux conseils. Sans oublier les jeunes doctorants, du laboratoire, M. MESBAH K et M. CHABANE DJ à qui nous souhaitons bonne continuité.

Nous remercions également nos parents et tous les enseignants du département d'électrotechnique, qui ont contribué à notre formation. Sans oublier de remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Enfin, nous remercions tous les amis et particulièrement Melle. Rose qui a contribué à faciliter la tâche de notre travail, en prodiguant généralement leur aide accompagnée de sympathie et d'encouragements qu'ils trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma famille qui m'a soutenu pendant tout mon cursus universitaire, ma très chère grande mère, ma mère, mon père « Da Mouloud », que Dieu nous les garde, mes sœurs « Kahina », « Rima » et mon frère « Lounes », ainsi qu'à toute ma grande famille.

Je le dédie aussi à tous mes chers amis particulièrement : Hamid, Ghenam, Lies, Idir, Areski, Farid, Hakim, Areski, Lynda, Fatema, Madiha, Dhrifa, Nora, Djamila, Dahbia, Samiha, Djouher, Djedjiga, Hania, Ghania, ainsi que mes amis qui sont de l'autre côté de la mer. Sans oublier mes amis et camarades de ma promotion ETH professionnel 2012.

LYES

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en témoignage de ma reconnaissance, de mon amour et de mon profond respect à :



A mon cher père qui par son soutien a su me guider vers la voie de la réussite.



A ma chère maman qui a sacrifié sa noble existence pour bâtir la mienne.



A mes sœurs **Noria, Rania** et **Nadia**.



A mes frères **Idir, Nacer, Smail** et **Walid**.



A toute ma grande famille.



A tous les amis **HAMID, GHENAM, HOUCINE LAMOUYOUR, HAMID LAPARINGROTE, ARAW KHALTI**.



A toutes personnes qui je connais et avec qui j'échange des sentiments d'amitié d'amour et de respect



A toute l'équipe **ETH professionnelle et académique** promotion **2012**.

Lounes

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
 Chapitre I : Généralistes sur la machine synchrone	
I-1-Introduction	5
I-2-Symboles	5
I-3-Constitution	5
I-3-1-Stator (induit)	5
I-3-2-Rotor (inducteur).....	6
a-Les rotors bobinés	6
a-1-Les rotors à pôles saillants	6
a-2-Les rotors à pôles lisses	7
b-Les rotors à aimants	7
I-4-Problèmes de démarrage d'un moteur synchrone	7
I-4-1-Principe de fonctionnement	8
I-5-Machine synchrone à aimants permanents MSAP	9
I-5-1-Les aimants permanents	10
a-Les ferrites	10
b-Les alnicos	10
c-Les terres rares	10
I-5-2-Caractéristique de désaimantation	11
I-5-3-Différents types de rotor d'une machine synchrone à aimant permanent	13
a -Machine synchrone à aimant en surface	13
b-Machine synchrone à aimant enterré	13
I-5-4-Couple des machines à aimants permanents	14
a-Couple de détente	14
b-Couple réluctance	14
c-Couple mutuel	14
I-5-6-Domains d'application	14
I-5-7-Avantages et inconvénients d'un MSAP	15

a-Avantages	15
b-Inconvénients	15
I-6-Conclusion	16

Chapitre II : Machine synchrone autopiloté

II-1- Introduction	18
II-2-Principe de l'autopilotage	18
II-3-Les types d'alimentation des MSAP	19
II-3-1-Moteur à <i>f.é.m</i> trapézoïdale	19
II-3-2-Moteur à <i>f.é.m</i> sinusoïdale	20
II-4-Autopilotage d'une MSAP (Cas d'une BDCM)	20
II-4-1-Le couple d'une BDCM	22
II-5-Capteurs de position	22
II-5-1-Capteurs magnétiques	23
a-Capteurs électromagnétiques (résolveur)	23
a-1-Description.....	23
a-2-Fonctionnement	23
a-3- Avantages et inconvénients.....	24
a-3-1-Avantages	24
a-3-2-Inconvénients.....	24
b-Capteur à effet Hall	24
b-1-Principe de l'effet Hall	24
b-2-Cause de l'effet Hall	24
b-3-Caractéristiques	25
b-4-Utilisations.....	25
b-5- Avantages et inconvénients	25
b-5-1-Avantages	25
b-5-2-Inconvénients	25
II-5-2-Les codeurs optiques	25
a-Codeurs incrémentaux	26
a-1-Fonctionnement	26
a-2- Avantages et inconvénients.....	27
a-2-1-Avantages	27

a-2-2-Inconvénients.....	27
b-Codeurs absolus	27
b-1-Fonctionnement	28
b-2-Mode de codage.....	28
b-2-1-Le code binaire pur	29
b-2-2-Le code Gray	29
b-3-Avantages et inconvénients	30
b-3-1-Avantages	30
b-3-2- Inconvénients	30
II-6-Choix d'un capteur	30
II-7-Conclusion	31

Chapitre III : Réalisation d'un capteur de position

III-I-Introduction	33
III-2-Description du système.....	33
III-3-Cahier des charges	33
III-4-Le choix du capteur à réaliser	34
III-4-1-Le codeur optique absolu (le disque)	34
a-Réalisation du codeur absolu (disque)	35
a-1-Les secteurs	35
a-2-Les pistes	35
a-3-Le codage du disque	36
III-5-Circuit de commande et de puissance.....	36
III-5-1-Circuit de commande.....	36
a-Le circuit électronique de lecture	36
a-1-Composants de l'électronique optique employés	36
a-1-1-La diode émettrice à infrarouge.....	36
a-1-2-Récepteur infrarouge (la photodiode SFH205)	37
a-1-3-Le trigger de schmitt(MC74HC14AN)	38
a-2-Le circuit imprimé	38
b-Le circuit de commande.....	39
b-1-Le circuit de commande à 120°	39
b-1-1-Le circuit logique	40

b-1-2-Circuit imprimé du circuit de commande à 120°	40
b-2-Commande en pleine onde (à 180°)	40
b-2-1-Génération du temps mort et temps minimum de conduction	41
b-2-2-Le circuit logique	43
b-2-3-Circuit imprimé du circuit de commande à 180° et Génération du temps mort.....	44
c-Carte interface entre la carte d'Espace avec le circuit d'attaque d'onduleur	44
c-1-Circuit imprimé de la carte interface entre la carte d'Espace avec le circuit d'attaque d'onduleur	44
III-5-2-Circuit de puissance	45
a-Le redresseur	45
b-L'onduleur.....	46
III-6-Conclusion	47

Chapitre IV : Résultats expérimentaux

IV-1- Introduction	49
IV-2- Signaux délivrés par le capteur de position	49
IV-3- Signaux de la sortie de la commande 120°	50
IV-4 -essai sur une charge résistive	53
IV-5- Essai sur la BDCM	54
IV-6-Conclusion	55
Conclusion générale	57

Introduction générale

Introduction générale

Jusque dans les années 1950-1960, les machines synchrones étaient essentiellement utilisées pour la production d'énergie électrique à partir de l'énergie mécanique en provenance de sources diverses, sous la forme d'alternateurs travaillant dans une gamme de puissance allant de quelques watts jusqu'à quelques centaines de mégawatts.

La propriété intrinsèque de ces machines est d'avoir une vitesse directement et mathématiquement liée à la fréquence d'alimentation était aussi mise à profit dans des fonctionnements en moteur pour des applications nécessitant un fonctionnement à vitesse rigoureusement constante.

Par rapport à la machine asynchrone qui était alors considérée comme le moteur industriel le plus standard, la machine synchrone n'occupait donc que des créneaux bien particuliers.

À partir des années 1960, deux évolutions technologiques, initiées depuis quelques années, allait effectivement s'appliquer dans le domaine des machines électriques et modifier progressivement et inéluctablement cette classification.

La première évolution concernant le développement des semi-conducteurs de puissance qui autorisait la mise au point de convertisseurs statiques permettant d'alimenter les machines à fréquence variable quelle que soit la nature et les caractéristiques de la source de puissance électrique.

Pour cela, il suffisait de commander le convertisseur statique à partir de capteurs de position du rotor de manière à assurer en permanence la rotation synchrone du rotor et du champ de l'induit. Ce principe, qualifié d'autopilotage, allait conduire à la mise au point de dispositifs industriels d'entraînement à vitesse variable, dans une gamme de puissance allant de quelques dizaines de KW à la centaine de MW, pour la ventilation, le pompage ou la compression de fluides, la traction ferroviaire(TGV Atlantique),etc.

La seconde évolution était relative à l'apparition sur le marché d'aimants permanents performants capables de résister à la désaimantation des champs de réaction d'induit présents dans les machines électriques et possédant des inductions rémanentes suffisantes.

L'excitation des machines synchrones par ces aimants permanents offrait bien sur l'avantage immédiat d'améliorer leur rendement en supprimant les pertes Joule au rotor, mais elle permettait surtout de remettre en cause la structure même des machines synchrones.

Grace à ces deux évolutions, les machines synchrones à aimants permanents et alimentation électronique se sont rapidement disséminées à travers de très nombreuses applications : informatique et péri-informatique (lecteurs de disques durs et de disquettes, imprimantes), productique et robotique (servomoteurs), aéronautique, traction électrique, etc. Elles ont commencé et devraient poursuivre la conquête d'autres applications à grande diffusion comme l'électroménager et l'équipement automobile.

Dans ces diverses applications, la machine est également autopilotée et de plus alimentée en courant au moyen d'un onduleur de tension. Ce type d'alimentation permet, sans autre artifice, un contrôle direct du couple ce qui constitue un avantage supplémentaire de ces machines synchrones à aimants permanents notamment par rapport aux machines asynchrones. Ce contrôle conduit à d'excellentes performances dynamiques, indispensables pour une implantation dans les boucles d'asservissement par exemple [9].

Dans ce contexte notre projet de fin d'étude porte sur une étude et réalisation d'un capteur de position dont les signaux seront exploités pour générer des commandes (120° , 180° et MLI) ces dernières vont être utilisées pour commander un onduleur qui alimente une machine synchrone à aimant permanent triphasé (BDCM) disponible au niveau de laboratoire « commande des machines électrique » de notre département.

Le capteur est un codeur optique absolu lié mécaniquement à l'arbre du moteur et traduit son mouvement par une information logique. Cette dernière est une combinaison de trois signaux logiques disponibles en sortie du codeur sous forme du mot binaire ; à partir duquel sont générés six autres signaux. L'élaboration de ces derniers est assurée par le circuit de commande, celui-ci délivre les impulsions de commande qui attaquent les gâchettes des transistors constituant l'onduleur.

Notre travail sera subdivisé en quatre chapitres, le premier chapitre sera consacré aux rappels et aux généralités sur la machine synchrone à aimant permanent, dans le deuxième chapitre nous donnerons un aperçu sur les différents capteurs de position et machine synchrone autopiloté. Le troisième chapitre s'intéressera à la réalisation d'un capteur de position, et le dernier chapitre sera consacré aux résultats expérimentaux.

Chapitre I

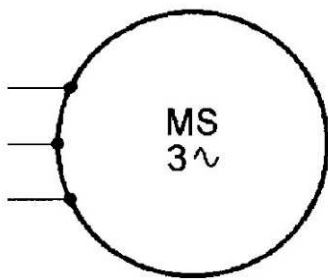
*Généralités sur la machine
synchrone*

I-1-Introduction

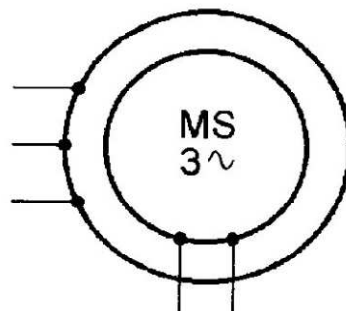
La machine synchrone est surtout utilisée en générateur (l'alternateur) ou elle est presque sans concurrent, mais elle sert également en moteur dans un certain nombre de domaines. Depuis longtemps, les moteurs synchrones sont utilisés dans des applications de forte puissance à vitesse fixe, mais le progrès dans le domaine de l'alimentation et de la commande leur permettent aujourd'hui d'être présents en vitesse variable. L'arrivée d'aimants performants à un coût raisonnable a également permis de développer les moteurs synchrones de petite et moyenne puissance, qui, associés à l'électronique, ont des qualités analogues à celle des moteurs à courant continu, sans en avoir les inconvénients tel que le système balais-collecteur [2].

I-2-Symboles

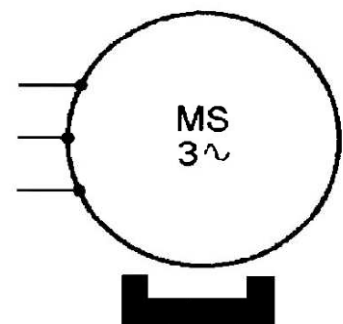
Voici les différents symboles utilisés pour représenter la machine synchrone fonctionnant en moteur [2]:



Symbole général d'un moteur synchrone.



Symbole général d'un moteur synchrone triphasé à rotor bobiné.



Symbole général d'un moteur synchrone triphasé à aimants.

Fig1-1 : Symboles de la machine synchrone.

I-3-Constitution

Le moteur synchrone se compose, comme les autres moteurs, d'un stator et d'un rotor séparés par l'entrefer. Il s'en différencie par le fait que le flux dans l'entrefer n'est pas dû à une composante du courant statorique. Il est créé par des aimants ou par le courant inducteur, fourni par une source à courant continu extérieure, qui alimente un enroulement placé dans le rotor [8].

I-3-1-Stator (induit)

Le stator comprend une carcasse et un circuit magnétique généralement constitués de tôles d'acier au silicium et d'un bobinage triphasé analogue à celui d'un moteur asynchrone, alimenté en courant alternatif triphasé pour produire un champ tournant [8].

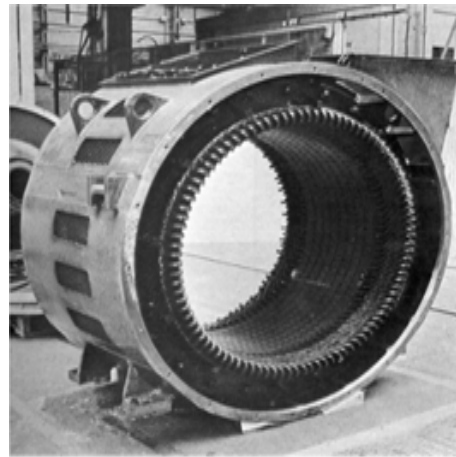


Fig1-2: Stator d'un moteur synchrone.

I-3-2-Rotor (inducteur)

Le rotor porte des aimants ou des bobines d'excitation parcourues par un courant continu qui créent des pôles Nord et Sud intercalés. Le rotor, à la différence des machines asynchrones, tourne sans glissement à la vitesse du champ tournant.

Il existe donc deux types distincts de moteurs synchrones : les moteurs dont le rotor est à aimant permanent et les moteurs à rotor bobiné [8].

a-Les rotors bobinés

Le rotor bobiné porte en général un bobinage placé dans des encoches ou sur les pôles saillants. Cet enroulement, destiné à être alimenté en continu, constitue l'inducteur de la machine [8].

On distingue deux types :

a-1-Les rotors à pôles saillants

Les rotors à pôles saillants sont bien adaptés aux machines à nombre de paires de pôles élevé et à la vitesse de rotation basse ou moyenne [8].

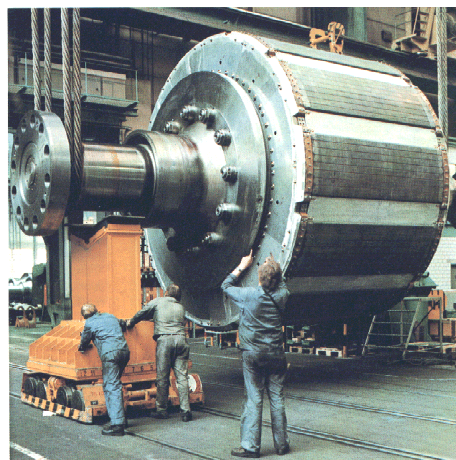
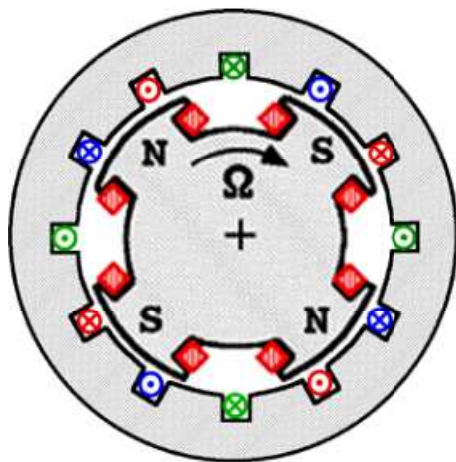


Fig1-3 : Rotor d'un moteur synchrone à pôles saillants.

a-2-Les rotors à pôles lisses

Les rotors à pôles lisses bien adaptés aux machines à faible nombre de paires de pôles et à la vitesse de rotation élevée [8].

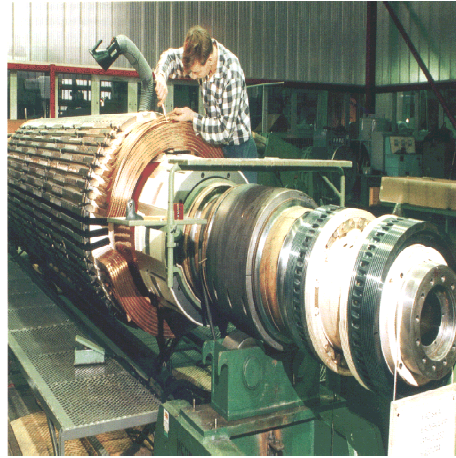
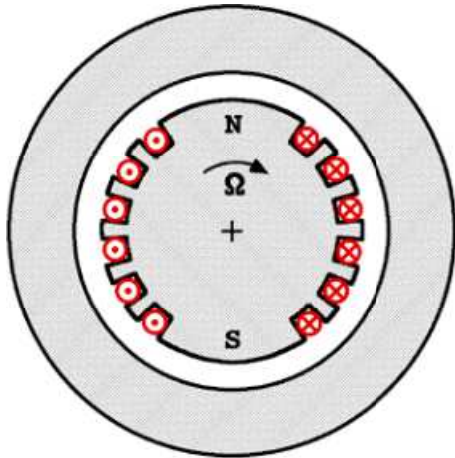


Fig1-4 : Rotor d'un moteur synchrone à pôles lisses.

b-Les rotors à aimants

Le rotor du moteur est équipé d'aimants permanents. En général en terre rare pour obtenir un champ élevé dans un volume réduit [8].

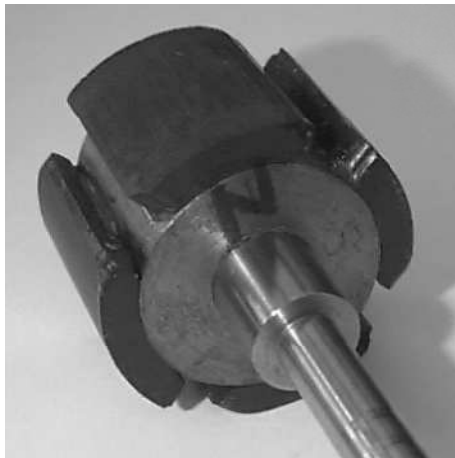


Fig1-5 : Rotor d'un moteur synchrone à aimant

I-4-Problèmes de démarrage d'un moteur synchrone

Toutefois, le moteur synchrone alimenté directement par le réseau de distribution d'énergie à tension et fréquence constantes présente des difficultés de démarrage pour cela il nécessite des procédés spéciaux pour le mettre en rotation et aussi risque de décrochage si le couple résistant dépasse son couple électromagnétique maximal [5].

I-4-1-Principe de fonctionnement

L'enroulement statorique, parcouru par un système triphasé équilibré de courants de pulsation ω_s crée une tension magnétique tournante d'entrefer à la vitesse synchrone Ω_s , soit avec P paires de pôles :

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{P} \text{ [rad/s]} \dots\dots\dots\text{I-1}$$

Ou :

$$N_s = 60 \frac{f}{P} \text{ [tr/min]} \dots\dots\dots\text{I-2}$$

Avec:

P : Le nombre de paires de pôles.

f : Fréquence d'alimentation en [Hz].

Le champ magnétique engendré par l'enroulement inducteur ou les aimants est fixe par rapport au rotor. L'interaction entre le champ tournant du stator et le champ fixe du rotor crée un couple dont le moment a une valeur moyenne nulle. Le moteur synchrone ne démarre pas spontanément. Par contre, si le rotor est entraîné à la vitesse synchrone, l'interaction entre le champ tournant du stator et le champ du rotor crée un couple dont le moment a une valeur moyenne non nulle. La vitesse d'un moteur synchrone est imposée par la fréquence de son alimentation, elle est indépendante de la charge mécanique [5].

Lors du démarrage deux états peuvent être distingués :

1-Si $\omega \neq \omega_0$ (Avec ω_0 : pulsation liée a la vitesse du rotor), alors le moment magnétique M crée au rotor et l'induction B résultantes du champ tournant crée au stator ne tournent pas à la même vitesse. Ils vont faire entre eux un angle θ qui va varier au cours du temps. On aura :

$$\theta(t) = \omega t + \theta_0 \dots\dots\dots\text{I-3}$$

θ : Est l'angle électrique entre les deux champs.

Le couple électromagnétique résultant aura pour expression :

$$C_{em} = \left| \vec{M} \wedge \vec{B} \right| = M . B . \sin \theta \dots\dots\dots\text{I-4}$$

La valeur temporelle de C_{em} est donc nulle, il n'y a pas de couple moteur moyen. Dans ce cas le rotor va finir par s'arrêter à cause des frottements.

2-Si $\omega = \omega_0$ (alors $\theta = \theta_0$), le couple électromagnétique prend comme valeur :

$$C_{em} = M . B . \sin \theta_0 \dots\dots\dots\text{I-5}$$

Suivant la puissance appelée, l'angle θ va varier pour [8] :

$$\theta_0 = 0^\circ : C_{em}=0$$

$\theta_0 = 90^\circ : C_{em} = C_{max}$

$\theta_0 = 30^\circ : C_{em} = \frac{C_{max}}{2}$

$\theta_0 > 90^\circ : \text{il y a " décrochage "}$

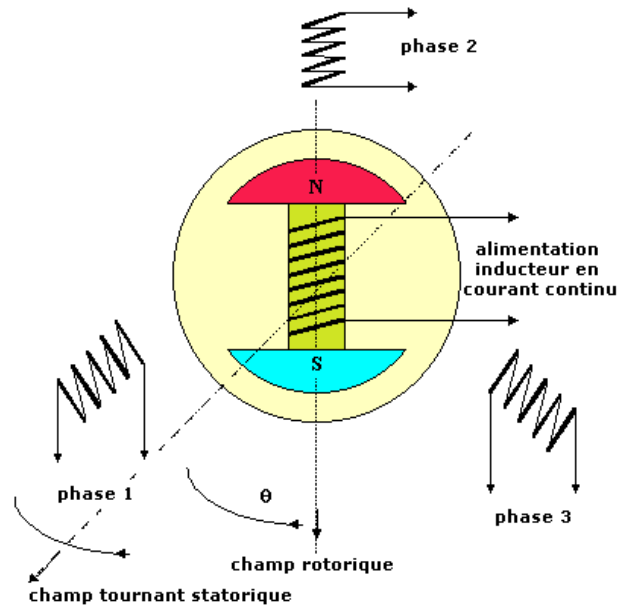


Fig 1-6 : Principe de fonctionnement d'un moteur synchrone.

D'après son fonctionnement on constate que le moteur synchrone ne développe un couple moyenne non nul qu'à sa vitesse de synchronisme et la nécessité de maintenir la valeur de l'angle interne θ entre 0 et $\frac{\pi}{2}$, afin d'assurer la stabilité du moteur et éliminer le risque de décrochage. Et aussi impossibilité de varier la vitesse du moteur synchrone branché sur un réseau d'alimentation de tension et fréquence constantes [8].

Pour avoir un couple moyen non nul et faire varier la vitesse de rotation, il faut alimenter le moteur synchrone avec des fréquences et des tensions variables à l'aide d'un onduleur. Ceci est obtenu grâce au contrôle de l'angle θ , ce qui revient à commander l'onduleur en fonction de la position du rotor. L'information sur la position est acquise à l'aide d'un capteur de position [5].

I-5-Machine synchrone à aimants permanents –MSAP-

Dans l'industrie le moteur synchrone à aimants permanents essaye de plus en plus de remplacer le moteur à courant continu dans les applications où l'on cherche des performances dynamiques et statiques très élevées avec des puissances importantes.

Ce type de moteur s'impose sur le marché en raison de sa simplicité de commande et sa puissance massique élevée, vu que les aimants modernes ont la capacité de produire une forte

induction dans l'entrefer sous un faible volume, ce que est impossible avec un inducteur bobiné [4].

I-5-1-Les aimants permanents

Un aimant permanent est un matériau ferromagnétique qui possède une aimantation pratiquement constante en absence d'un champ démagnétisant relativement important. Cette aimantation provient des dipôles magnétiques, contenus dans ce matériau constitués d'ensembles moments orbitaux et de spin d'électrons.

Les matériaux aimants permanents les plus utilisés dans les machines électriques sont classés en trois catégories [4].

a-Les ferrites

Ce sont composés d'oxyde de fer, de baryum et de strontium. Ils sont obtenus par frittage et peuvent être isotropes ou anisotropes. Ces aimants possèdent des performances modestes mais ils se sont imposés dans des très nombreuses applications en raison de leurs faible prix de revient et d'une rigidité magnétique élevée. En raison de leurs faibles valeurs d'aimantation rémanente (environ 0.4 T), les ferrites sont utilisées plutôt dans des machines à aimants de faible puissance à faible coût [4].

b-Les alnicos

Les aimants d'alnicos sont composés d'Aluminium, de Nickel et de cobalt. Ils se caractérisent par un champ rémanent très élevé, mais un champ coercitif très faible ce que rend difficile leur utilisation dans des machines électriques. Toutefois, ils présentent une haute stabilité sous des températures extrême. Ils maintiennent leurs caractéristiques magnétiques entre 250°C et 450°C.

Ce genre d'aimant est utilisé principalement pour les appareils de mesure et systèmes de détection a travers des champs magnétiques [4].

c-Les terres rares

Ce sont des matériaux très abondants dans la nature. Ils sont les meilleurs pour aimants performants. Etant caractérisés par un champ coercitif supérieur a celui des ferrites et une densité d'énergie très importante, ils sont recommandés pour les structure de machines électriques de puissances moyennes de très hautes performances.

Les samarium-cobalt (SmCo) autorisent une température de fonctionnement élevée (jusqu'à 350°C), mais ils sont très couteux en raison notamment de la présence de cobalt dans leur composition. Les Néodyme-Fer-Bore (Nd-Fe-B) ont des performances supérieures aux SmCo et sont moins couteux mais leur tenue en température est moins bonne (jusqu'à 160°C) [4].

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques des aimants [4]:

Tab I-1 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des aimants

Matériaux	Br en Tesla	Hc en kA/m	T° de Curie en C°	Remarque Diverses
Ferrites	0.2 à 0.4	200	300	Les moins chers
Alnicos	1.2	50	750 à 850	Se démagnétisent trop facilement
samarium-cobalt	0.5	800	700 à 800	Prix élevé à cause de cobalt
Néodyme-Fer-Bore	1.3	1500	310	Prix en baisse

La figure ci-dessous présente la caractéristique B(H) des types d'aimants [8]:

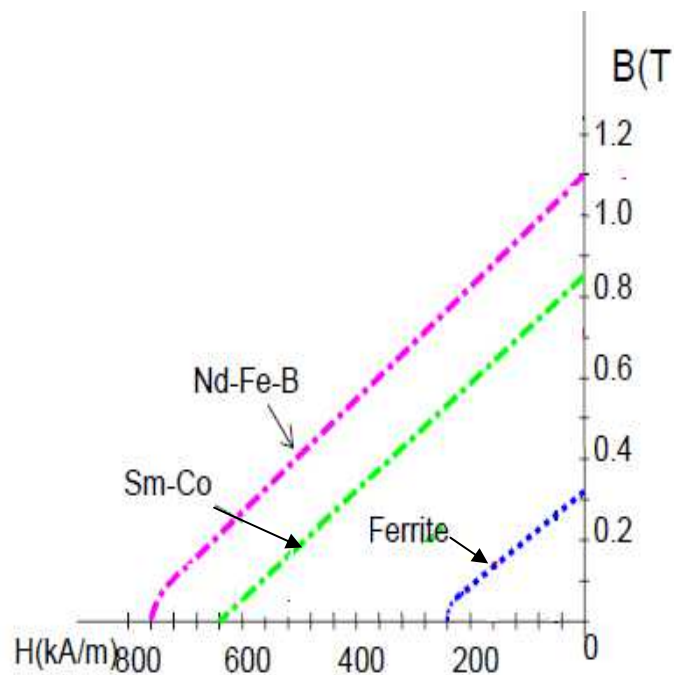


Fig 1-7 : Caractéristique des aimants.

En fonction de l'application, on choisit la nature des aimants utilisés dans les machines électriques : pour les applications à haute température, les aimants samariums cobalt sont utilisés. Dans les machines à puissances élevées, compte tenu du volume aimant utiliser et le cout associé, on préfère employer les aimants Nd-Fe-B [4].

I-5-2-Caractéristique de désaimantation

Les aimants permanents sont principalement caractérisés par leur cycle hystérésis et plus particulièrement par la courbe de désaimantation du deuxième quadrant du plan [8].

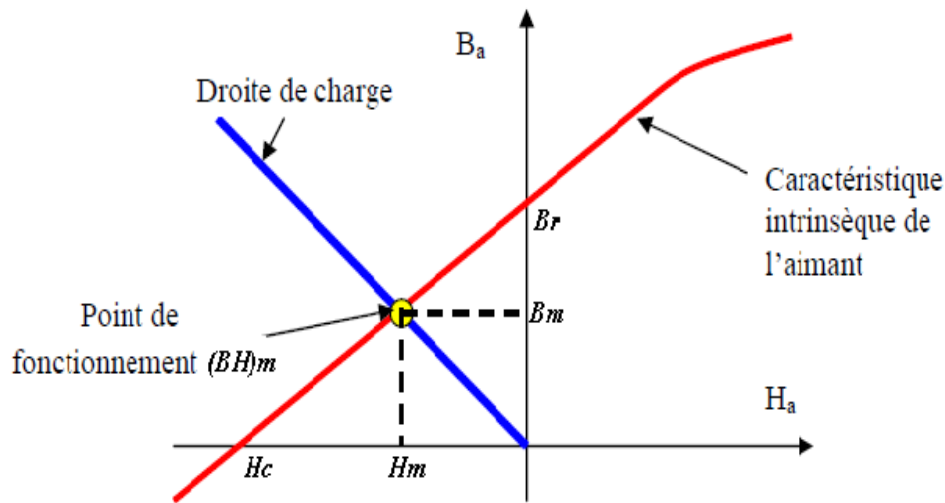


Fig 1-8 : Illustration d'une courbe B-H des aimants.

Cette courbe est caractérisée par :

- L'induction rémanente B_r .
- Le champ coercitif H_c , qui est le champ démagnétisant annulant l'induction, plus sa valeur élevée et plus l'aimant est stable.
- Une grandeur également importante est le produit $(BH)_{max}$, ce produit est couramment appelé-Energie spécifique de l'aimant. Cette énergie caractérise la qualité du matériau, car l'énergie spécifique est inversement proportionnelle au volume de l'aimant. Donc pour un entrefer donné, le volume d'aimant est d'autant plus faible que l'énergie spécifique est élevée.

Les matériaux magnétiques peuvent être de deux formes, isotropiques ou anisotropiques.les matériaux isotropiques présentent les mêmes caractéristiques dans toutes les directions, contrairement aux matériaux anisotropiques qui ont une direction privilégiée suivant laquelle ils ont de meilleures performances magnétiques.

La présence d'un entrefer dans le circuit magnétique contribue à réduire la valeur de l'induction dans l'aimant par rapport à son induction rémanente, d'où l'appellation« charge ». Si l'entrefer varie (effets d'encoche ou reluctance variable avec aimant), la pente de la droite de charge fluctue et fait varier le point de fonctionnement, ce qui peut avoir, entre autres effets, créer des pertes magnétiques dans l'aimant [4].

I-5-3-Différents types de rotor d'une machine synchrone à aimant permanent

Selon leurs inducteurs, on distingue principalement deux types de machines synchrones à aimants permanents, celles à pôles lisses et celles dites à pôles saillant. Parmi ces deux catégories ; un grand nombre de configuration est envisageable ; et ce en agissant sur le sens de l'aimantation ; les formes géométriques des aimants et leur disposition au niveau de l'entrefer [1].

a -Machine synchrone à aimant en surface

De nos jours, le montage des aimants en surface est le modèle le plus utilisé, de part sa simplicité, il est probablement le moins cher. Le diamètre du rotor est réduit, ce qui cause une faible inertie. Les aimants collés sont seulement utilisés dans des applications à très faible vitesse de rotation comme les éoliennes. Mais ils ne tiennent pas en grandes vitesses à cause de la force centrifuge. Les aimants permanents peuvent aussi se trouver sur la surface du rotor de façon que l'espace entre deux aimants soit rempli avec du fer, ce type est dit rotor à aimants en surface insérés. Dans ce cas, les aimants sont mieux protégés, ils sont plus fermement reliés au rotor, et la construction est plus robuste [1].

Les (MSAP) ayant les aimants fixés sur leurs surfaces correspondent en principe aux machines à pôles lisses, les aimants utilisés sont sans pièces polaire, ils sont disposés au niveau de l'entrefer sur un noyau ferromagnétique [1].

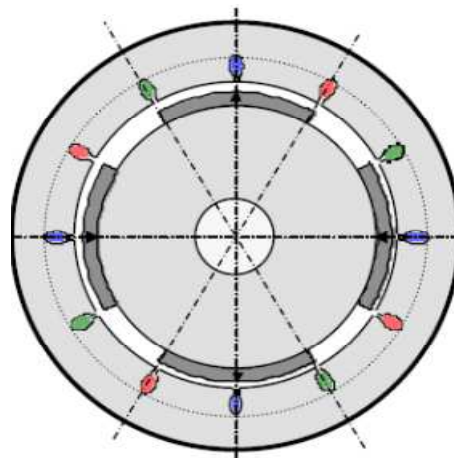


Fig 1-9 : Rotor à aimant en surface.

b-Machine synchrone à aimant enterré

La machine synchrone à aimants enterrées est dite aussi machine à pôles saillants, les aimants sont montés entre les pièces polaire, l'alimentation est transversale, ce type de machines est aussi appelé « à concentration de flux ». La machine à rotor à aimant enterrée produit un couple par volume du rotor plus important comparé au rotor à aimant en surface.

Le danger de démagnétisation des aimants permanents reste petit et les hautes vitesses sont réalisables [1].

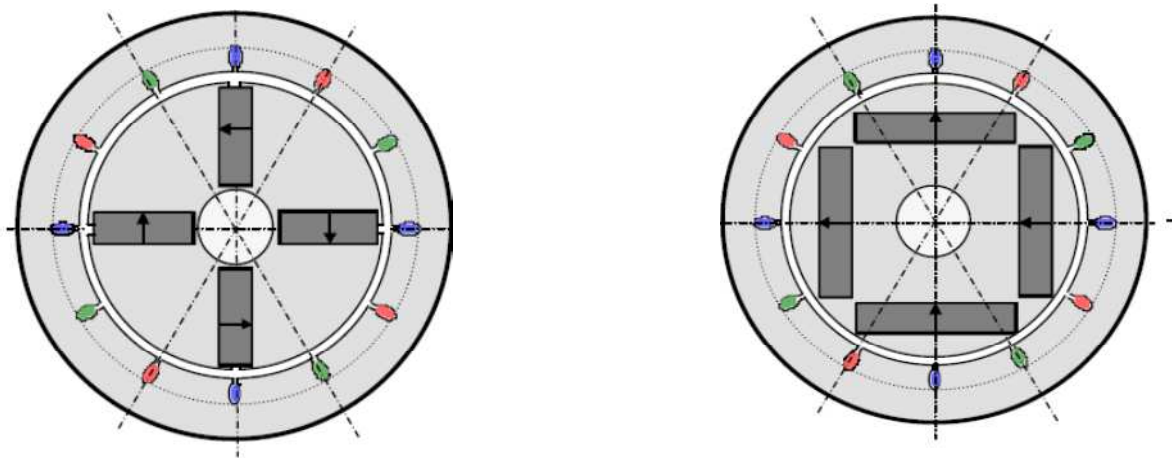


Fig 1-10 : Rotor à aimant enterré.

I-5-5-Couple des machines à aimants permanents

En général, le couple total développé par les machines à aimants permanents est composé de trois types de couple [4].

a-Couple de détente

Lorsque les aimants tournent avec le rotor et passent devant les dents du stator, ils rencontrent une réductance variable. Cette variation de la réductance entraîne un couple de valeur moyenne nulle que l'on appelle couple de détente. Pour tenter de l'annuler, les encoches peuvent être inclinées d'un pas d'encoche, mais cela rend plus difficile l'opération de bobinage. Il est préférable d'incliner les aimants (ou l'aimantation des pôles) plutôt que les encoches [4].

b-Couple réductance

Appelé aussi couple de saillance, il est dû aux variations des inductances des enroulements statorique en fonction de la position du rotor. Il faut noter que dans le cas d'aimants montés en surface, le flux d'induit rencontre la même réductance quelle que soit la position du rotor. Il n'y a pas donc pour ces moteurs de couples de réductance à prendre en compte [4].

c-Couple mutuel

Il est dû à l'interaction des deux champs statorique et rotorique [4].

I-5-6-Domains d'application

Les moteurs synchrones à aimants permanents sont présents pour les petites et moyennes puissances, jusqu'à quelques dizaines de kilowatts, plus rarement jusqu'à quelques centaines de kilowatts. Ils sont systématiquement associés à une alimentation électronique.

Cette catégorie d'applications comprend les machines –outils, les robots, et plus généralement les entraînements à performances élevées. Grâce à leur rendement élevé, les moteurs synchrones à aimants occupent également une place importante dans les prototypes de véhicules électriques ou hybrides [5].

I-5-7-Avantages et inconvénients d'un MSAP

a-Avantages [4]

Les machines synchrones à aimants permanents présentent plusieurs avantages par rapport aux autres types de machines : à courant continu, synchrone à excitation électrique et asynchrone. Parmi ces avantages, on peut citer :

- Meilleures caractéristiques thermiques, la localisation des pertes joules et pertes fer au stator simplifie le refroidissement de la machine.
- Puissances massique et volumique importantes.
- Un rendement et facteur de puissance élevé.
- Aucun courant d'excitation (30% de pertes en moins).
- Une capacité à fonctionner à haute, voire très haute vitesse.

b-Inconvénients [4]

- Dans le moteur synchrone à aimants permanents le commutateur mécanique du moteur à courant continu est remplacé par un commutateur électronique, ce qui a pour effet de rendre le contrôle de ce moteur plus complexe et coûteux que celui d'un moteur à courant continu.
- Un désavantage du moteur synchrone est la présence de pulsations de couple. Selon la méthode de commutation utilisée, le moteur synchrone est plus ou moins sujet à ce phénomène. La commutation sinusoïdale d'un contrôleur complexe et de capteur de courant sophistiqué (coûteux). La commutation trapézoïdale, permet d'utiliser un contrôleur et des capteurs de courant plus simples et moins coûteux (exemple : capteur à effet hall), mais implique la présence de fortes pulsations de couple.
- La présence d'aimants permanents majore le prix des moteurs synchrones, notamment dans le cas d'utilisation d'aimants de types terre rare. Ces aimants présentent de très grandes qualités (champs coercitif, tenue en chaleur, etc.) par rapport aux aimants « ferrites » mais ont un prix aussi beaucoup plus élevé.
- Le contrôle basé sur une commutation électronique augmente la complexité et donc le prix du contrôleur et du variateur. A cela s'ajoute le coût des capteurs supplémentaires nécessaires à la boucle du courant.

-Risque de désaimantation (irréversible) : limite de température maximale, courant maximum, défluxage impossible dans les machines à courant continu, possible dans les machines synchrone par contrôle de l'angle d'autopilotage.

-Pertes par courants de Foucault dans les aimants.

I-6-Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation de la **Machine Synchrone à Aimants Permanent**. En premier lieu nous avons décrit la machine synchrone et son principe de fonctionnement.

En suit, nous avons donné les aimants permanents les plus utilisés dans la fabrication de MSAP et nous avons également présenté ses différentes technologies, puis nous avons cité quelque domaines d'application.

Enfin, nous avons énuméré ses avantages et inconvénients.

On a constaté que la MSAP est très utilisé dans le domaine des entrainements à vitesse variable, elle présente beaucoup d'avantage comparée aux différentes machines électriques utilisées dans les différents domaines, malgré que cette machine coûte relativement cher a cause des aimants

Chapitre II

Machine synchrone autopiloté

II-1-Introduction

Les progrès récemment réalisés dans les domaines de l'électronique de puissance et de la commande numérique ont permis depuis peu l'essor des variateurs de vitesse pour les moteurs synchrones. Ceci a permis l'apparition des moteurs synchrones autopilotés, qui sont de loin les plus faciles à piloter car le flux magnétique du rotor est créé uniquement soit par le moment magnétique de l'aimant permanent du rotor, soit par le courant inducteur continu envoyé dans le bobinage rotorique. En particulier, il ne dépend pas de courant induit en provenance du stator, et donc de la variation du flux statorique; ce dernier sera utilisé uniquement pour effectuer un contrôle simple du couple électromagnétique [8].

Aujourd'hui les moteurs synchrones peuvent remplacer les moteurs à courant continu dans la plupart des entraînements à vitesse variable grâce à une nouvelle structure qui se compose d'un convertisseur électronique + moteur synchrone + capteur de position [5].

II-2-Principe de l'autopilotage

Un moteur synchrone fonctionnant en mode non autopiloté est fortement instable. Parce que la dynamique des parties mécaniques est beaucoup plus lente que celle des parties électriques, une variation trop rapide des courants de l'induit donc du champ statorique, ne permet pas au champ rotorique de s'accrocher. D'autre part, pour une alimentation donnée (amplitude de la tension et du courant), il existe une charge limite au-delà de laquelle la machine ne peut continuer à fournir le couple nécessaire.

Une première manière de faire varier la vitesse d'un moteur synchrone est de l'alimenter par des courants de fréquence variable. Cela est assuré par un convertisseur statique de fréquence variable (onduleur). Dans ce cas, il est indispensable de contrôler non seulement en amplitude mais aussi en fréquence ou en phase les caractéristiques d'alimentation.

La machine synchrone excitée de manière indépendante entraîne un capteur de position qui permet :

- La détection de la position relative rotor /stator, c'est à-dire, la position du champ inducteur par rapport au champ induit.
- La délivrance de signaux à une fréquence synchronisée avec la fréquence de rotation de la machine. Ces signaux sont mis en forme, et envoyés sur les gâchettes des interrupteurs de la commande [4].

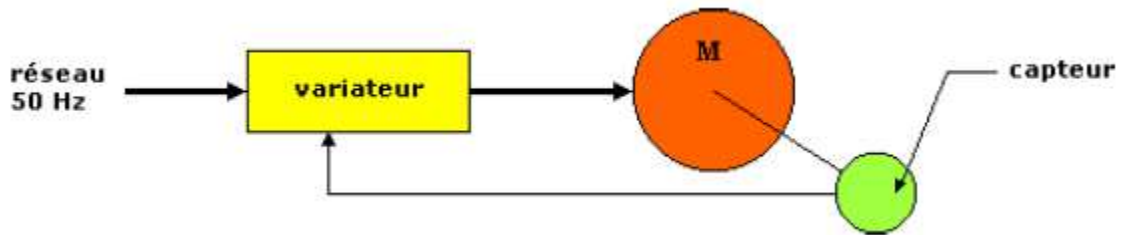


Fig II-1 : Moteur synchrone autopiloté.

Le choix de la commande autopilotée des machines synchrone se fait [5]:

1-Selon le type de la machine :

- à rotor bobiné parcouru par un courant continu.
- à rotor à aimant permanent qui crée un flux constant.
- à reluctance variable.

2-Selon la forme de l'onde de la *f.e.m* (pour MSAP) :

- à *f.e.m* trapézoïdale
- à *f.e.m* sinusoïdale

3-Selon le moyen d'obtenir la référence θ_0 du rotor, en utilisant :

- Un codeur absolu de position du rotor, qui permet une commande directe des courants triphasés.
- Un système sans capteur « sensorless » où la position et la vitesse sont obtenues indirectement par l'analyse des courants et des tensions relatives au rotor.
- Un résolveur, dans ce cas il est souhaitable que la commande utilise la transformation de Park.

II-3-Les types d'alimentation des MSAP

Ces machines sont regroupées en deux grandes familles : les machines dont la force électromotrice (*f.é.m*) est sinusoïdale et les machines dont la *f.é.m* est trapézoïdale [4].

II-3-1-Moteur à *f.é.m* trapézoïdale

Pour les machines dites à *f.é.m*. trapézoïdale, La forme du courant la plus appropriée (celle qui minimise les ondulations sur son couple) est de type 120° . Les actionneurs correspondant sont communément appelés actionneurs à courant continu sans balais (BDCM : Brushless Direct Current Motors).

La commande des (BDCM) est simple, car leur autopilotage consiste à alimenter à tout instant deux phases et cette commande nécessite uniquement une seule boucle de courant et un capteur de position de faible résolution. Mais à cause de l'effet de la commutation, le couple produit n'est pas constant. Des techniques de minimisation des ondulations de couple

sont généralement nécessaires. Les BDCM sont utilisées pour des applications à basses performances (peu sensible au couple) comme les pompes et les ventilateurs [4].

II-3-2-Moteur à *f.é.m* sinusoïdale

Pour obtenir un couple constant, les courants d'alimentation doivent être sinusoïdaux, les actionneurs correspondant c'est-à-dire les ensembles moteur-alimentation-autopilotage sont communément appelés actionneurs synchrones (PMSM : Permanent Magnet Synchronous Motors).

Le pilotage du moteur en courants sinusoïdaux permet de supprimer les commutations brutales (source de bruit) et d'obtenir une meilleure régularité du couple moteur. Le capteur de position du rotor doit avoir une grande résolution. On utilise un résolveur ou un codeur incrémental [4].

II-4-Autopilotage d'une MSAP (Cas d'une BDCM)

La machine à autopiloté est une BDCM, cette dernière comprend un rotor à aimant permanent conçu de telle manière que l'onde de la *fem* obtenue sur chaque phase soit trapézoïdale. On les appelle encore machine à courant continu sans balais. Il s'agit de moteurs économiques de faibles puissances associés généralement à des commandes analogiques intégrées. Afin d'obtenir un couple sensiblement constant on les alimente par des créneaux de courants de manière à ce que la puissance électromagnétique instantanée soit constante [5].

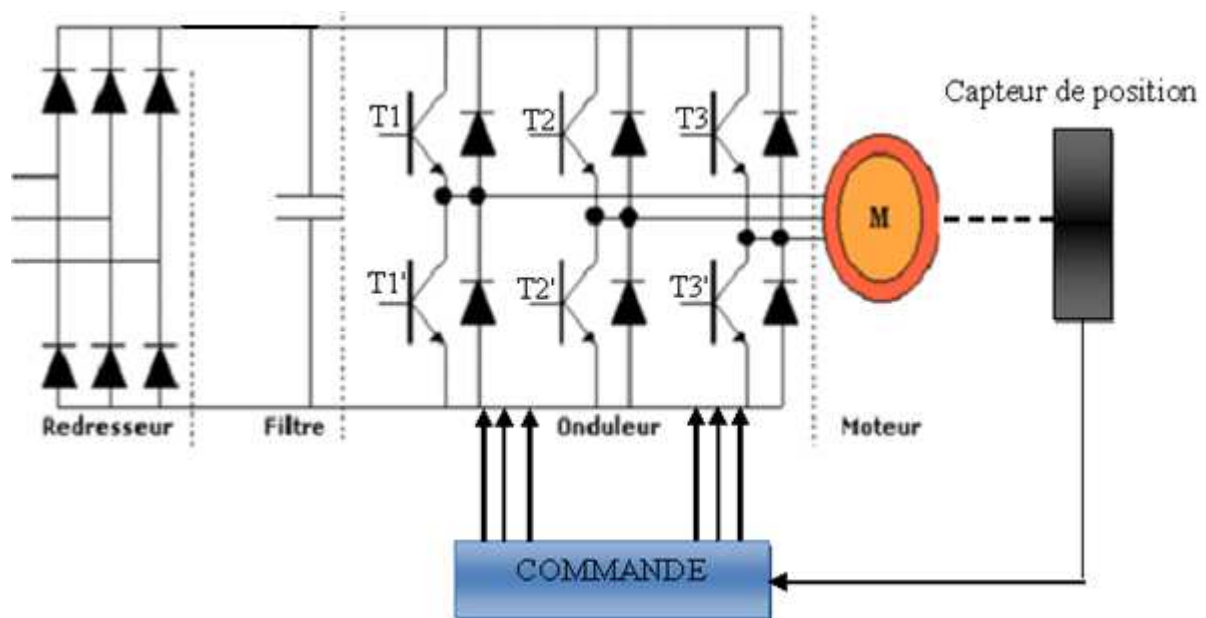


Fig II-2 : Synoptique général d'une commande autopilotée.

Le pilotage en courants rectangulaires est plus simple à réaliser et ne nécessite qu'un capteur de position du rotor à faible résolution (6 informations par période). Ce capteur calé mécaniquement sur l'arbre du moteur, permet de connaître la position angulaire de celui-ci

par rapport au champ statorique. Il doit délivrer donc trois signaux à partir desquels sont élaborés six signaux ou les ordres d'amorçage et de blocage des interrupteurs statiques (T1, T2, T3, T1', T2', T3') au fur et à mesure de déplacement du rotor afin de conserver $\Omega_s = \Omega_r$.

Dans le cas de la machine synchrone, le champ rotorique doit être synchronisé au champ statorique. La position du rotor est ainsi déterminée par le capteur de position et indique les différents instants de commutation.

Pour changer le sens de rotation du moteur synchrone autopiloté, il suffit de changer l'ordre d'ouverture et de fermeture des interrupteurs qui change le sens de rotation du champ statorique [5].

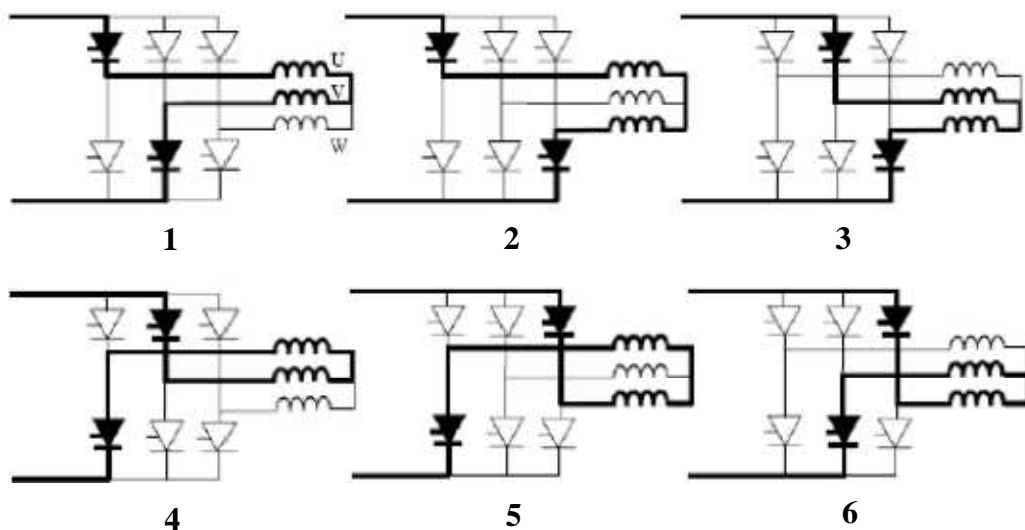


Fig II-3 : Le principe d'alimentation des enroulements par onduleur.

La figure ci-dessous montre les six configurations qui correspondent à six positions possibles du champ tournant statorique H_s . Ce dernier progresse à chaque séquence par bonds de 60° électriques, alors le rotor H_r , suit la rotation du champ tournant [8].

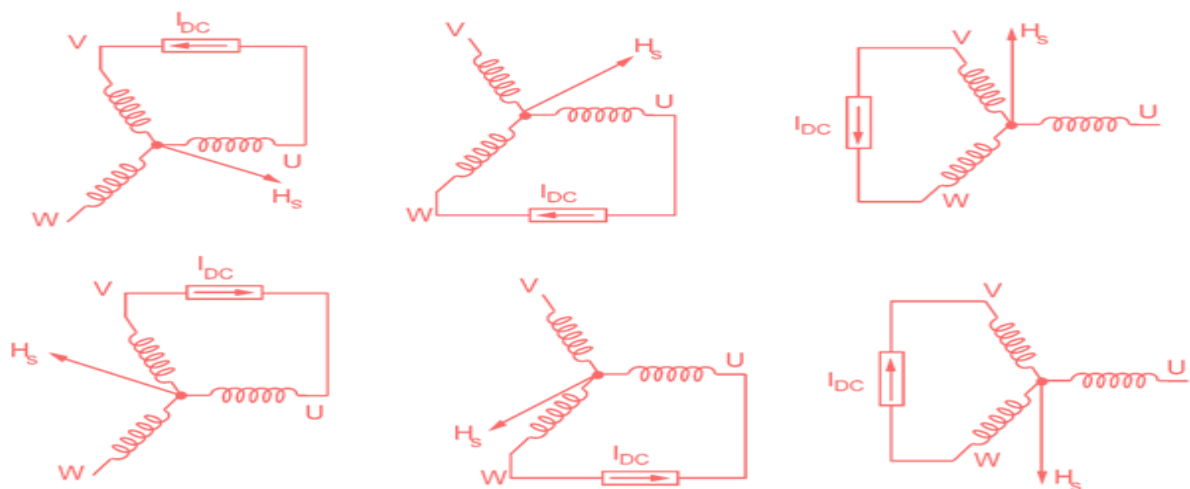


Fig II-4 : Variation du champ H_s par rapport à la position.

II-4-1-Le couple d'une BDCM

La machine est alimentée via un onduleur de tension qui converti un courant d'entrée continu dans les trois phases en courant alternatifs sous forme de créneaux, d'une durée de 120° électrique. Ces durées de conduction sont séparées par des interrupteurs de 60° électrique à courant nul.

Le profil rectangulaire de ces courants (créneaux) imposé par l'onduleur permet d'optimiser le couple. On constate d'ailleurs que chaque courant est en phase avec sa fem respective et le couple dans ce cas prend pour valeur [5]:

$$C_{em} = \frac{E_a I_a + E_b I_b + E_c I_c}{\Omega} \dots\dots\dots II-1$$

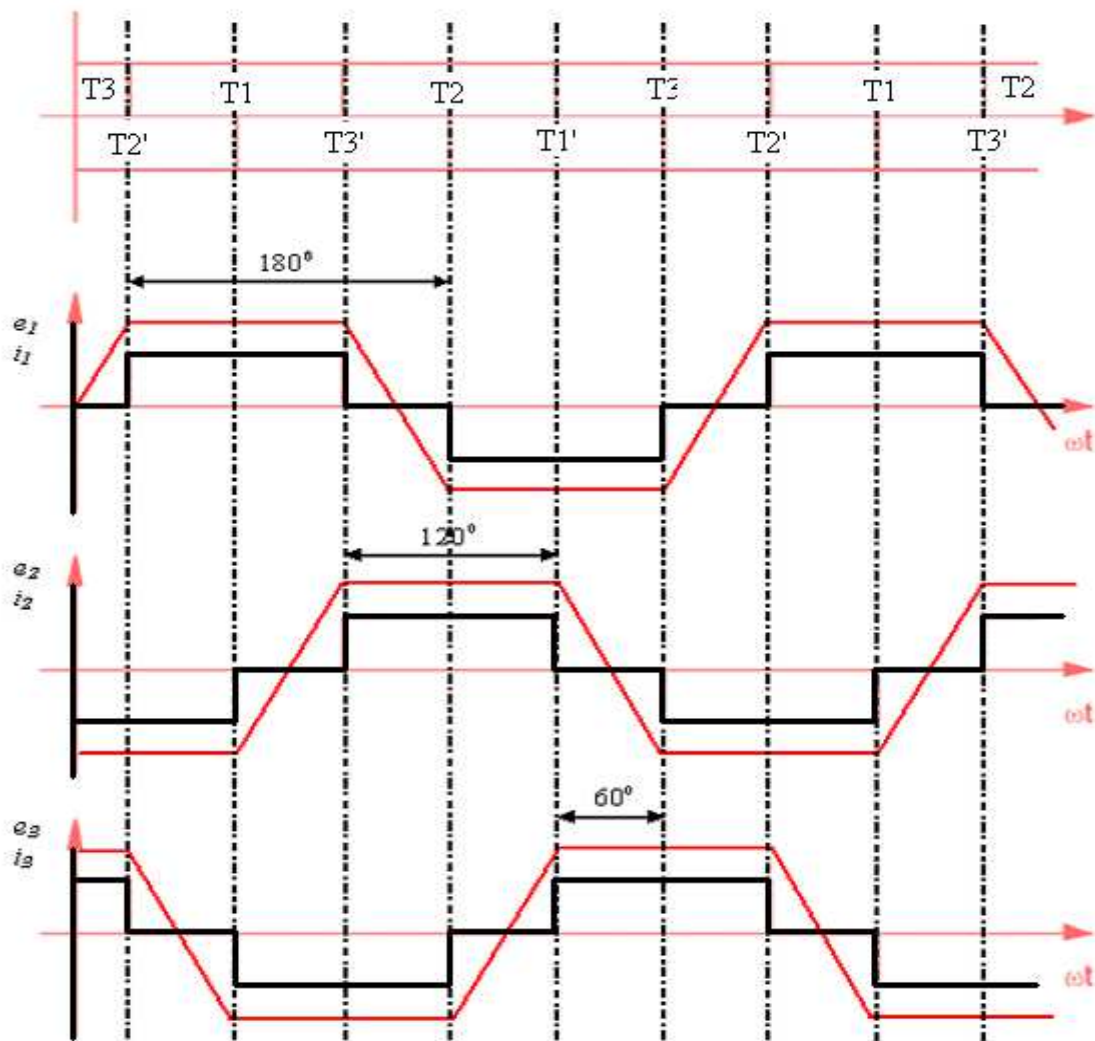


Fig II-4 : Chronogramme de l'alimentation en créneaux de courants de 120° pour un BDCM.

II-5-Capteurs de position

Quel que soit le type de la machine et d'alimentation associée, le principe d'autopilotage nécessite la synchronisation des grandeurs électriques d'alimentation avec la vitesse de rotation. Les technologies utilisables passent par la mesure de la position du rotor

qui peut être optique ou électromagnétique. Les codages envisageables peuvent être de type relatif ou absolu, mais l'alimentation de la MSAP requiert la connaissance de position absolue [8].

II-5-1-Capteurs magnétiques

a-Capteurs électromagnétiques (résolveur)

a-1-Description

Le résolveur est un capteur de position qui permet de déterminer la position angulaire d'un arbre en rotation. Il est utilisé dans les applications d'autopilotage des machines synchrones. Ce dernier doit être associé à un module digitaliseur pour réaliser un une commande numérique [8].

a-2-Fonctionnement

Un transformateur, dont le primaire P_0 est sur le stator et le secondaire S_0 sur le rotor, est alimenté par une tension alternative de fréquence proche de 10 kHz, appelée porteuse. Un autre enroulement rotorique P_1 reçoit son alimentation par le secondaire S_0 du transformateur précédent. Il produit un champ tournant qui induit dans deux enroulements secondaires S_1 et S_2 placés au stator et décalés de 90° , deux tensions dont la combinaison permet de déterminer la position du rotor [8].

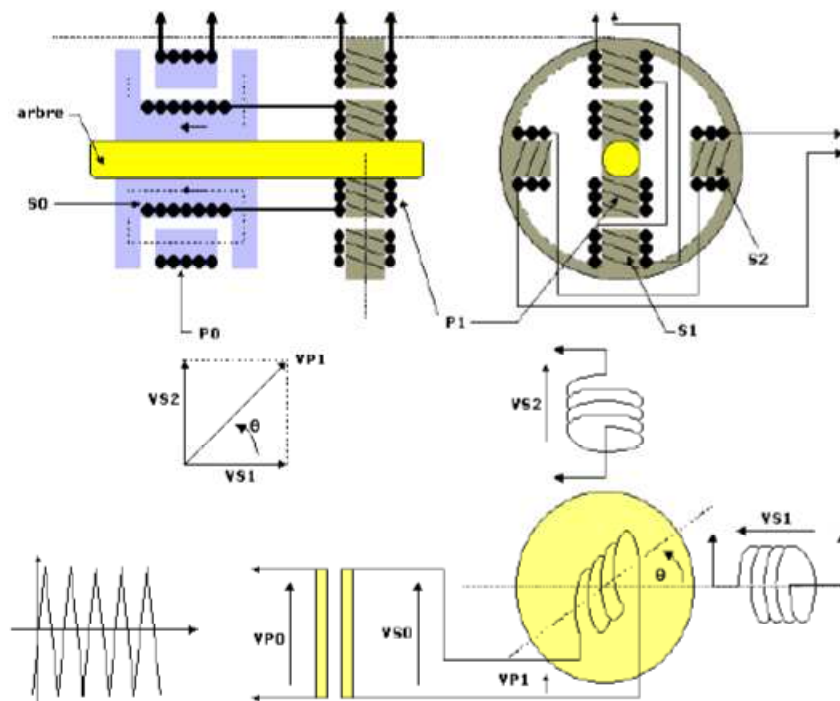


Fig II-5 : Principe de résolveur.

$$V_{S1} = K.Sin\alpha.Cos\theta$$

$$V_{S2} = K.Sin\alpha.Sin\theta$$

K : Le rapport de transformation du résolveur.

θ : Le déphasage entre la tension d'entrée et la tension de sortie.

a-4- Avantages et inconvénients

a-4-1-Avantages [8]

- Exécution robuste.
- Insensible aux vibrations à la variation de température.
- Ce type de capteur est bien adapté aux commandes purement analogiques.
- Montage sur un moteur possible

a-4-2-Inconvénients [8]

- Moyens mis en œuvre pour le traitement importants.
- Uniquement information de position mono tour.

b-Capteur à effet Hall

Ce capteur permet de détecter la présence d'un aimant ou plus généralement d'un champ magnétique [8].

b-1-Principe de l'effet Hall

Si un courant I_o traverse un barreau en matériau conducteur ou semi-conducteur, et si un champ magnétique d'induction B est appliqué perpendiculairement au sens de passage du courant, une tension V_h , proportionnelle au champ magnétique et au courant I_o , apparaît sur les faces latérales du barreau [8].

$$V_h = K_h \cdot I_o \cdot B \quad \dots\dots\dots \text{II-2}$$

K_h : Constante de Hall, qui dépend du matériau utilisé.

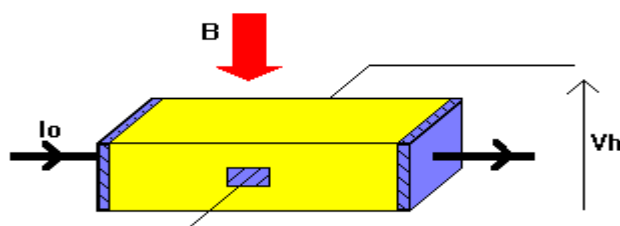


Fig II-6 : Effet Hall.

b-2-Cause de l'effet Hall

Les électrons sont déviés par le champ magnétique, créant une différence de potentiel appelée tension de Hall. Le champ magnétique déforme la trajectoire des électrons car il engendre une force de LORENTZ [8].

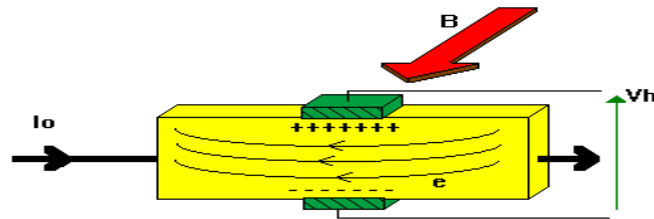


Fig II-7 : Cause de l'effet Hall.

b-3-Caractéristiques

Ses principales caractéristiques sont [8]:

- Tension d'alimentation.
- courant de sortie.
- Polarité de l'aimant (s'il utilise d'aimant).

b-4-Utilisations

Les capteurs à effet Hall permettent de mesurer [8]:

- Les champs magnétiques (Teslamètres).
- L'intensité des courants électriques : capteurs de courant à Effet Hall.
- La déviance de potentiel : capteurs de tension à Effet Hall.
- Ils sont parfois utilisés comme détecteur de position : dans les moteurs électriques de type brushless.

b-4- Avantages et inconvénients

b-4-1-Avantages [8]

- Mesure des courants et des tensions continus, alternatifs et à forme d'onde complexe.
- Isolation galvanique du système de mesure par rapport au circuit à mesurer.
- Excellente précision et très bonne linéarité.
- Temps de réponse très court en particulier en boucle fermée.
- Facilité d'insertion dans le circuit à mesurer.
- Bonne tenue aux surcharges de courant moyennant une protection interne adéquate.
- Montage sur un moteur possible

b-4-2-Inconvénients [8]

- Ne sont pas parfaitement désaimantés.
- Présente toujours un offset (influence sur précision).
- Sensibilité des performances à la température.
- Dans certains cas : pertes fer en hautes fréquences.

II-5-2-Les codeurs optiques

Un codeur optique rotatif est un capteur angulaire de position qui comporte un émetteur de lumière (LED), un récepteur photosensible, et un disque lié mécaniquement par son axe a

l'organe à contrôler de la machine, disque qui comporte une succession de zones opaques et transparentes. La lumière émise par des LED arrive sur des photodiodes chaque fois qu'elle traverse les zones transparentes du disque. Les photodiodes génèrent alors un signal électrique qui est amplifié puis converti en signal carré, avant d'être transmis vers un système de traitement. Lorsque le disque tourne, le signal de sortie du codeur est alors constitué d'une suite de signaux carrés [8].

La rotation d'un disque gradué en fonction du déplacement de l'objet à contrôler, génère des impulsions toutes semblables en sortie d'un capteur optique. La résolution c'est-à-dire le nombre d'impulsions par tour, correspond au nombre de graduations sur le disque ou à un multiple de celui-ci. Plus le nombre de points est important plus le nombre de mesures par tour permettra une division plus fine du déplacement ou de la vitesse du mobile reliée au codeur [8].

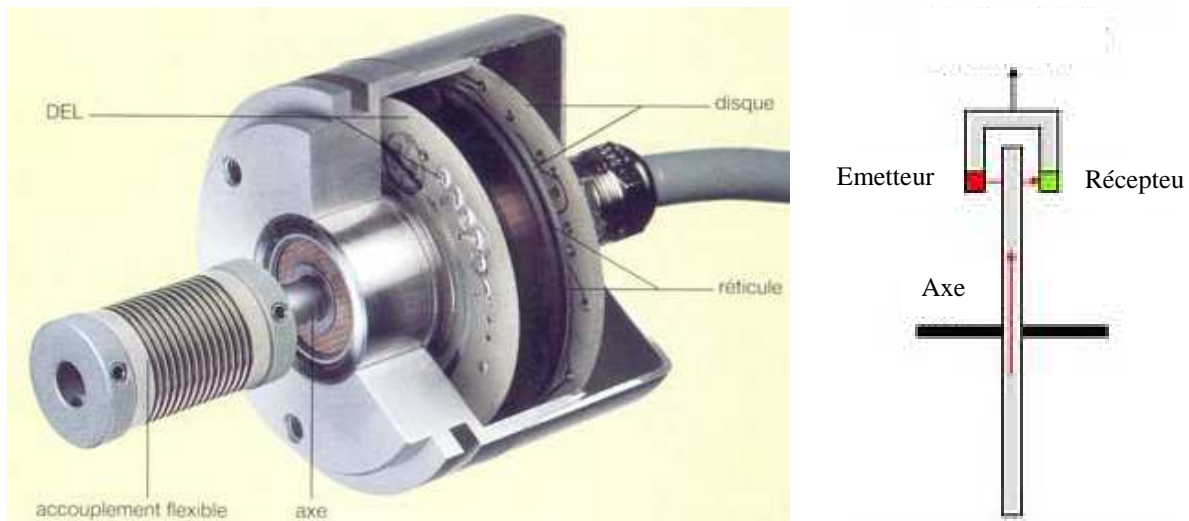


Fig II-8 : Capteur optique.

Il existe deux types de codeurs optiques : « incrémental » et « absolu » :

a-Codeurs incrémentaux

Les codeurs incrémentaux sont destinés à des applications de positionnement et de contrôle de déplacement d'un mobile par comptage/décomptage des impulsions qu'ils délivrent [8].

a-1-Fonctionnement

Le disque d'un codeur incrémental comporte deux types de pistes :

-Une piste extérieure (voies A et B) divisée en « n » intervalles d'angles égaux et alternativement opaques et transparents, « n » étant la résolution ou nombre de périodes. Deux photodiodes décalées installées derrière cette piste délivrent des signaux carrés A et B chaque fois que le faisceau lumineux traverse une zone transparente. Le déphasage de 90°

électriques ($1/4$ de période) des signaux A et B définit le sens de rotation : dans un sens, le signal B est a 1 pendant le front montant de A, alors que dans l'autre sens, il est a 0.

-Une piste intérieure (piste Z) qui comporte une seule fenêtre transparente. Le signal Z, appelé « Top zéro », de durée 90° électriques, est synchrone avec les signaux A et B. Il définit une position de référence et permet la réinitialisation à chaque tour [8].

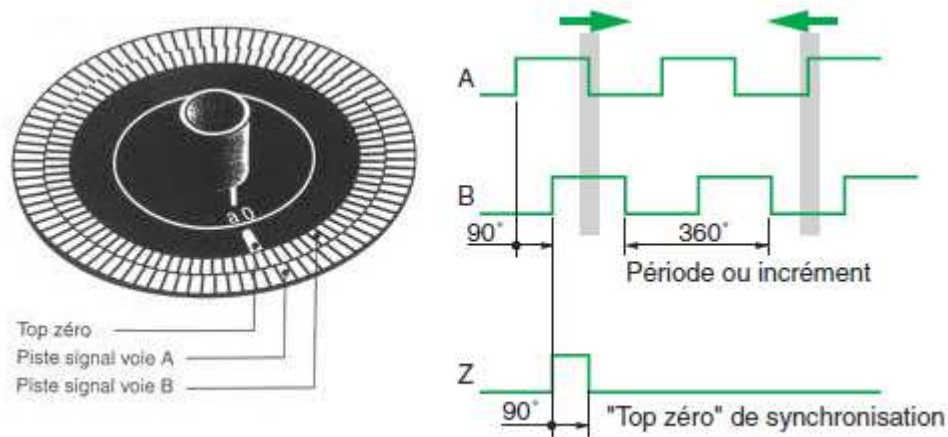


Fig II-9 : Vue d'un disque gradué de codeur incrémental et principe de détection du sens de rotation et du « top zero ».

a-2- Avantages et inconvénients

a-2-1-Avantages [8]

- Exécutions relativement robustes possibles.
- Large choix de résolutions, formes et interfaces.
- Très grande résolution possible.
- Montage sur un moteur possible

a-2-2-Inconvénients [8]

- Il est sensible aux coupures du réseau : chaque coupure du courant peut faire perdre la position réelle du mobile à l'unité de traitement. Il faudra alors procéder à la réinitialisation du système automatisé.
- Il est sensible aux parasites en ligne, un parasite peut être comptabilisé par le système de traitement comme une impulsion délivrée par le codeur.
- Les fréquences des signaux A et B étant généralement élevées, il faudra vérifier que le système de traitement est assez rapide pour prendre en compte tous les incréments (impulsions) délivrés par le codeur. Le non comptage d'une impulsion induit une erreur de position qui ne peut être corrigée que par la lecture du « top zéro ».

b-Codeurs absolus

Les codeurs absolus sont destinés à des applications de contrôle de déplacement et de positionnement d'un mobile. Rotatifs, ils fonctionnent de manière similaire aux capteurs Incrémentaux mais s'en distinguent par la nature du disque [8].

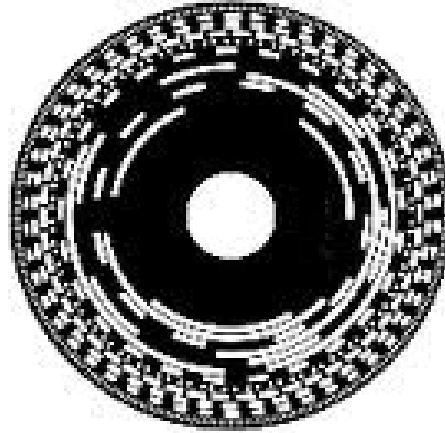


Fig II-10: Exemple d'un codeur absolu.

b-1-Fonctionnement

Le disque des codeurs absolus comporte un nombre « n » de pistes concentriques divisées en segments égaux alternativement opaques et transparents. A chaque piste est associé un couple émetteur / récepteur optique. Chaque piste a donc son propre système de lecture. La piste intérieure est composée d'une moitié opaque et d'une moitié transparente. La lecture de cette piste (« bit de poids le plus fort »), MSB = Most Significant Bit, permet de déterminer dans quel demi-tour on se situe [8].

La piste suivante est divisée en quatre quarts alternativement opaques et transparents. La lecture de cette piste combinée avec la lecture de la piste précédente permet alors de déterminer dans quel quart de tour (1/4) on se situe.

Les pistes suivantes permettent successivement de déterminer dans quel huitième de tour (1/8), seizième de tour (1/16), ... etc... on se situe.

La piste extérieure donne la précision finale et est appelée LSB = Least Significant Bit (bit de poids le plus faible). Cette piste comporte 2^n points correspondant à la résolution du codeur.

Pour chaque position angulaire de l'axe, le disque fournit un « code binaire » de longueur « n » correspondant à $\frac{1}{2^n}$ de tour [8].

b-2-Mode de codage

Le nombre de sorties parallèles est le même que le nombre de bits ou de pistes sur le disque. Deux types de codes utilisés « Le code binaire pur et Le code Gray » :

b-2-1-Le code binaire pur

Permet d’effectuer les 4 opérations arithmétiques sur des nombres exprimés dans ce code. Il est donc directement exploitable par les systèmes de traitement (API) pour effectuer des calculs.

Mais il présente l’inconvénient d’avoir plusieurs bits qui changent d’état entre deux positions ce que provoquent des aléas de lecture. Pour lever ces aléas les codeurs absolus génèrent un signal d’inhibition qui bloque les sorties a chaque changement d’état [8].

b-2-2-Le code Gray

Le code Gray dans lequel un seul bit à la fois change d’état évite aussi cette ambiguïté. Mais pour son exploitation par un automatisme, ce code doit être préalablement transcodé en binaire avant toute utilisation, d’où un traitement plus complexe [8].

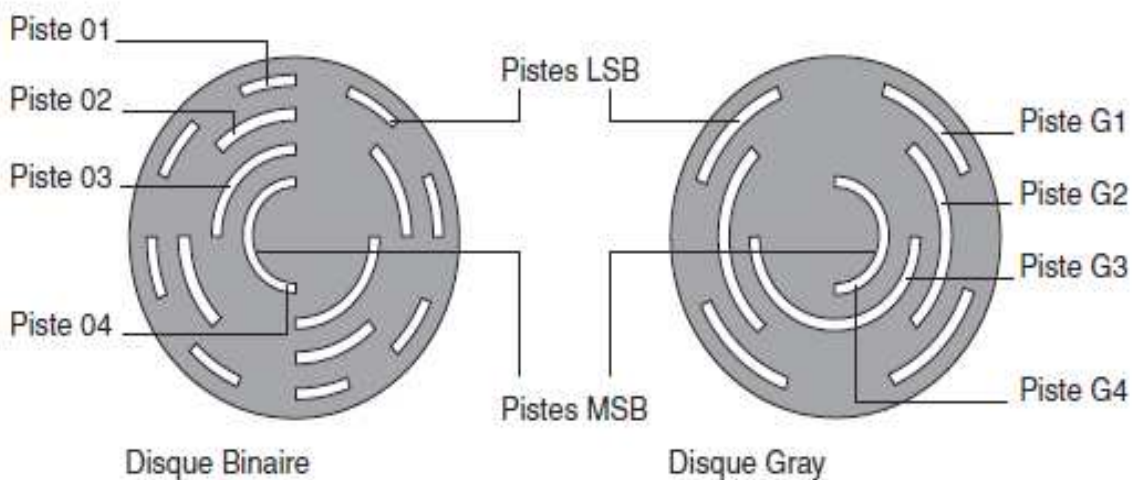
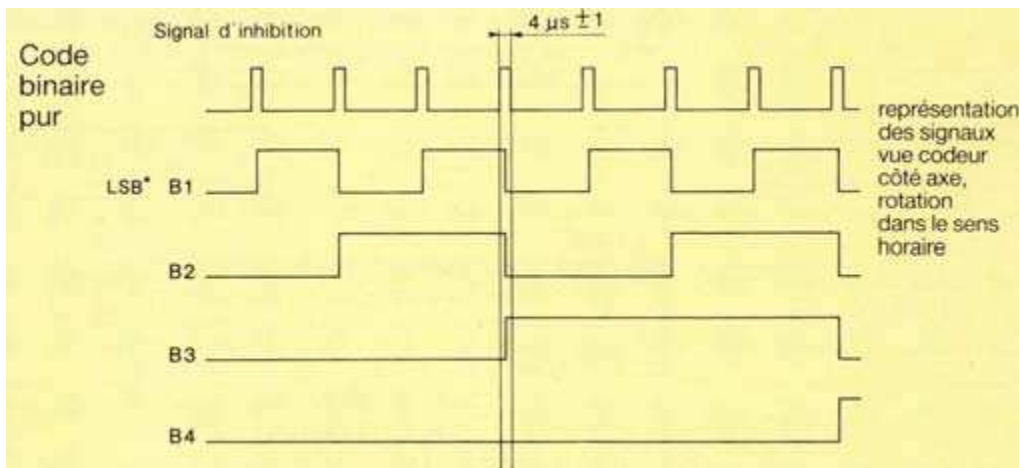


Fig II-11 : Disques graves d’un codeur absolu.



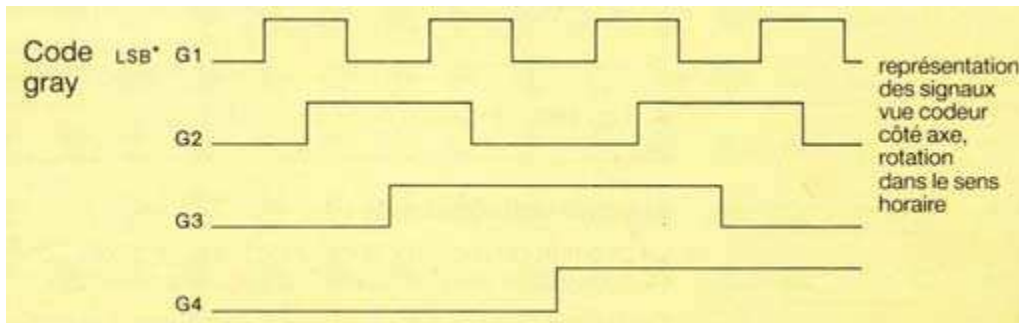


Fig II-12 : Signaux de sortie délivrés par le codeur.

b-3-Avantages et inconvénients

b-3-1-Avantages [8]

- Il est insensible aux coupures du réseau : la position du mobile est détenue dans un code qui est envoyé en parallèle au système de traitement.
- L'information de position est donc disponible dès la mise sous tension.
- Si le système de traitement «saute» une information de position délivrée par le codeur, la position réelle du mobile ne sera pas perdue car elle restera valide à la lecture suivante.

b-3-2- Inconvénients [8]

- Il est de conception électrique et mécanique plus complexe aussi son coût sera plus élevé qu'un codeur incrémental.
- Les informations de position sont délivrées « en parallèle » ; son utilisation mobilisera donc un nombre important d'entrées du système de traitement (A.P.I. par exemple).

II-6-Choix d'un capteur

Les capteurs décrits précédemment, présentent deux parties distinctes. Une première partie qui a pour rôle de détecter un événement et une deuxième partie qui a pour rôle de traduire cet événement en un signal exploitable par la partie commande d'un système. Pour faire un choix correct d'un capteur, il faut définir tout d'abord [8]:

- Le type d'événement à détecter.
- La nature de l'événement.
- La grandeur de cet événement.

En fonction de ces paramètres, on pourra effectuer un ou plusieurs choix pour un seul type de détection. Par conséquent, d'autres éléments peuvent permettre de cibler précisément le capteur à utiliser tel que :

- Ses performances.
- Sa fiabilité.
- Son prix.

-La nature du signal délivré par le capteur.

II-7-Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en premier lieu le principe de l'autopilotage puis les différents types d'alimentation des MSAP, en suite nous avons décrit un exemple d'autopilotage d'une MSAP (cas d'une BDCM).

Après on a passé à la description des différents capteurs de position qui peuvent être utilisés dans ce cadre de travail ainsi on a cité leurs avantages et inconvénients.

Chapitre III

Réalisation d'un capteur de position

III-I-Introduction

La position du rotor d'une BDCM est déterminée par un capteur de position, pour autopiloté cette machine on a besoin de réaliser un codeur absolu rotatif (disque) lié mécaniquement à l'arbre de cette dernier qui l'entraîne.

Ce disque comporte une succession de parties opaques et transparentes, une lumière émise par des diodes à infrarouge (LED) traverse les fentes de ce disque et crée sur les photodiodes réceptrices des signaux analogiques qui vont être exploités pour la commande de l'onduleur [8].

III-2-Description du système

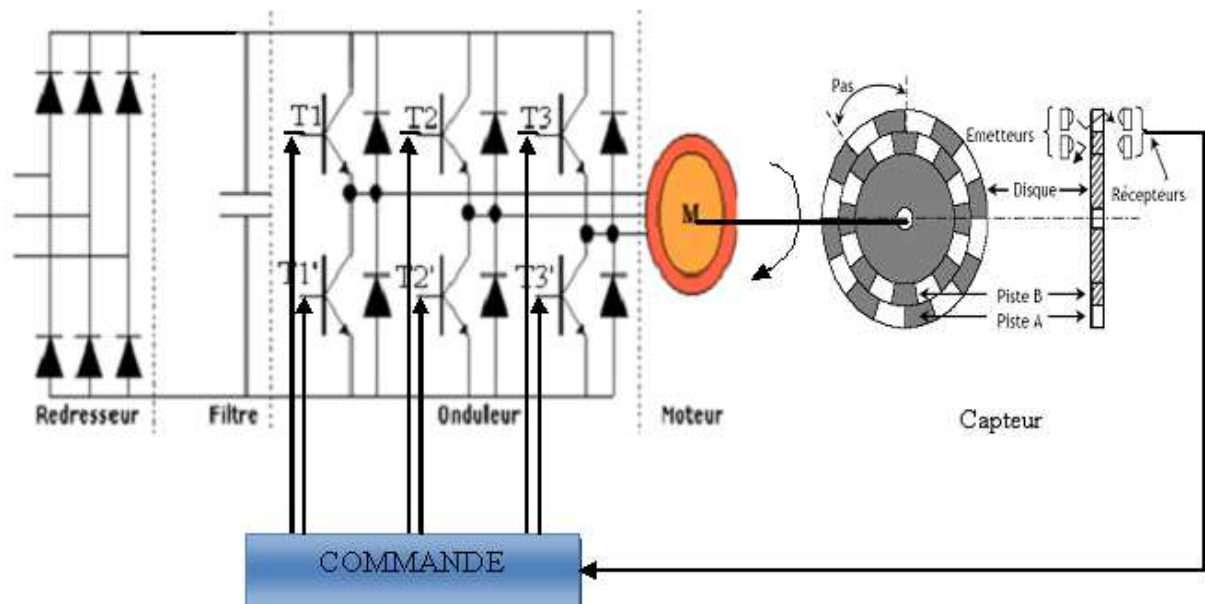


Fig III-1 : Schéma d'une BDCM associée au capteur de position.

III-3-Cahier des charges

La plaque signalétique de la machine porte les indications suivantes :

- La fréquence : 150 Hz
- Le couple nominal : 21,68 Nm
- La vitesse nominale : 3000tr/min
- Le nombre de pôles : 6
- La tension nominale : 350 V
- Le courant nominal : 19,48 A

Nous avons vu dans les chapitres précédents que l'autopilotage de ce type de machine est simple à réaliser et ne nécessite qu'un capteur de position à faible résolution (six informations par période). Cette machine est alimentée par un commutateur de courant constitué de six transistors montés en pont, ce dernier a été réalisé par des étudiants dans le cadre d'un PFE.

III-4-Le choix du capteur à réaliser

La réalisation d'un capteur qui traduit le mouvement du rotor d'une machine à autopiloté est indispensable pour son fonctionnement. Il faudra donc lui associer un capteur qui donne une information précise sur le mouvement. Ce genre de capteurs peuvent être conçus facilement et présentent une simplicité d'exploitation (il fournit directement une information exploitable par la partie commande), est pour toutes ces raisons nous avons choisi de réaliser un codeur optique absolu [5].

III-4-1-Le codeur optique absolu (le disque)

Le disque réalisé (fig. III-2) pour une BDCM à six pôles, sera calé mécaniquement sur l'arbre du moteur. Il comporte un certain nombre de secteurs et de pistes qui sont fonction du nombre de pôles et de phases du moteur et de sa commande.

a-Réalisation du codeur absolu (disque)

Pour réaliser le disque du codeur absolu on a intérêt à déterminer certains paramètres qui sont le nombre de secteurs et de pistes qui forment la géométrie du disque ainsi que le code utilisé pour le codage du disque [5].

a-1-Les secteurs

Le disque du codeur est partager en secteurs (surfaces opaques et transparentes) ; le nombre de secteurs est obtenu selon le nombre de paires de pôles de la machine à commander. Chaque secteur correspond à un angle, cet angle est déterminé à partir de l'angle électrique par la relation suivante :

$$\alpha = P\theta \dots\dots\dots\text{III-1}$$

α : Angle électrique correspondant aux ordres de commutation de l'onduleur qui alimente la BDCM, égale à 60°.

P : Le nombre de paires de pôles de la BDCM.

θ : L'angle que fait un secteur, il est aussi l'angle géométrique.

La BDCM possède trois paires de pôles ($P = 3$), donc d'après l'équation précédente on a

$$\theta = \frac{\alpha}{P} = \frac{60^\circ}{3} = 20^\circ \text{ géométrique, donc le nombre de secteurs } g \text{ est calculé par cette relation}$$

$$g = \frac{360^\circ}{\theta} = \frac{360^\circ}{20^\circ} = 18 \text{ secteurs.}$$

Durant la période électrique $\alpha = 360^\circ$ le rotor fait une rotation $\theta = \frac{360^\circ}{P} = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ$,

le disque solidaire à l'arbre fait également le même angle θ .

La commande de la BDCM revient à la commande de six interrupteurs de l'onduleur ca veut dire que le capteur doit fournir un état logique chaque 20° pendant 120°. Pour le reste, le disque va fournir les mêmes états logiques pour une autre période électrique, ce qui explique la symétrie de celui-ci par rapport à 120°, profitant de cette symétrie le codeur fournit les états logiques pour trois périodes électriques durant un tour de rotation [5].

a-2-Les pistes

Le disque doit fournir six états logiques pour la commande des interrupteurs. Pour représenter un tel nombre d'états avec un système de numérotation binaire ou Gray, trois bits sont nécessaires.

Chaque bit représente une piste sur le disque nous avons les pistes A, B et C qui représentent les trois bits et une quatrième piste N est divisée en K fentes régulièrement opaques et transparentes nous renseigne sur la vitesse de la rotation du rotor [5].

$$N = \frac{60f}{K} \text{ [tr/min]} \dots\dots\dots \text{III-2}$$

f : La fréquence en Hz

a-3-Le codage du disque

Le système de numérotation choisi pour le codage du disque est le code Gray. Le tableau ci-dessous représente les différents états logiques qui sont matérialisés sur chaque secteur du disque ou une zone transparente désigne un état logique 1, une zone opaque un état logique 0 [5].

Tab III-1- Représentation du codage de disque.

Etats	Codage		
	Piste A	Piste B	Piste C
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	1
4	0	1	0
5	1	1	0
6	1	0	0

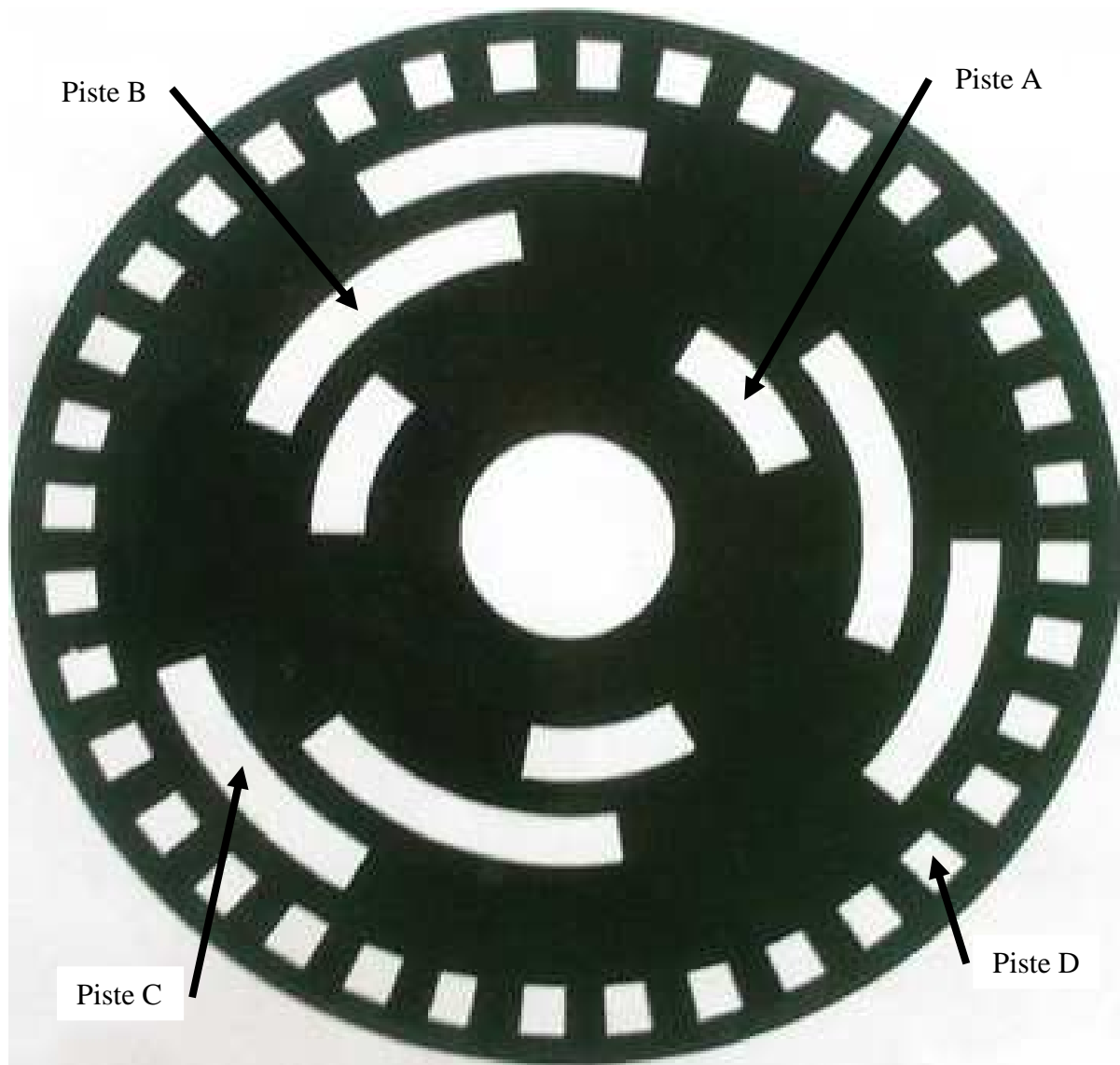


Fig. III-2 : Disque du codeur optique pour une BDCM à 6 pôles.

III-5-Circuit de commande et de puissance

III-5-1-Circuit de commande

a-Le circuit électronique de lecture

Le circuit représenté par la figure ci-dessous comporte des émetteurs et des récepteurs de lumière qui sont placés de part et d'autre du codeur, permettant de décoder les différents états logiques matérialisés sur le codeur, ainsi le mot binaire est disponible en tout moment en sortie du circuit et exploitable directement par la partie commande [5].

a-1-Composants de l'électronique optique employés

a-1-1-La diode émettrice à infrarouge

La LED à infrarouge possède les mêmes caractéristiques électriques qu'une diode classique, elle émet un signal lumineux proportionnel au courant qui la traverse, la valeur de la tension seuil dépend de la longueur d'onde d'émission. Elle trouve son application dans les

télécommandes infrarouge, les capteurs optiques, les voyants. La LD271 utilisée dans le circuit précédent supporte un courant maximal de 100mA. On le limite par une résistance de façon que la chute de tension à ses bornes soit 1V. Elle émet un faisceau lumineux qui permet d'exciter un élément photosensible qui est lui associé [8].

-Symbole

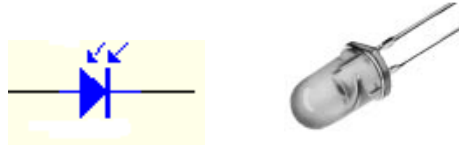


Fig III-3: Une LED à infrarouge émettrice.

-Caractéristiques

Tab III-2- Caractéristiques d'une LED à infrarouge.

Type	LD271H
Angle d'ouverture	25°
Consommation en mW	220mW
Courant maximal en mA	130mA

a-1-2-Récepteur infrarouge (la photodiode SFH205)

Cette photodiode est un composant capable de détecter un rayonnement ou un signal optique qui sera transformé en signal électrique. Elle appartient à la famille des photorécepteurs actifs, donc elle doit être polarisée en inverse par une alimentation externe, ce qui donne un courant inverse proportionnel à l'intensité du rayonnement infrarouge incident. La photodiode SFH205 qu'on a employée dans ce circuit supporte une tension inverse de 32V. Elle donne une réponse lorsqu'elle est excitée dans un temps de 20ns. Les résistances associées aux photodiodes sont choisies de telle sorte qu'elles provoquent une chute de tension de 5V [8].

-Symbole

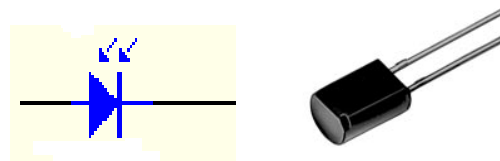


Fig III-4 : Une photodiode réceptrice.

-Caractéristiques

Tab III-3 : Caractéristiques d'une photodiode à infrarouge.

Type	SFH205
Tension inverse maximale en V	32
Consommation en mW	150
Courant maximal en mA	25µA

a-1-3-Le trigger de schmitt(MC74HC14AN)

C'est un trigger qui transforme des signaux électriques en signaux carrés de type tout ou rien. Il est appelé également bascule à seuil. Tant que la tension d'entrée n'a pas atteint le seuil de basculement V_{T+} , la tension de sortie reste au niveau haut. Lorsque la sortie change d'état, la tension d'entrée doit redescendre jusqu'au seuil de basculement V_{T-} pour provoquer un nouveau basculement.

Les constructeurs fournissent pour un circuit donné, la caractéristique de transfert où ils indiquent les seuils V_{T+} et V_{T-} pour une alimentation donnée.

Le trigger de schmitt MC74HC14AN qu'on a employée dans ce circuit comporte des portes logiques NOR par conséquent les signaux d'entrée sont inversés [8].

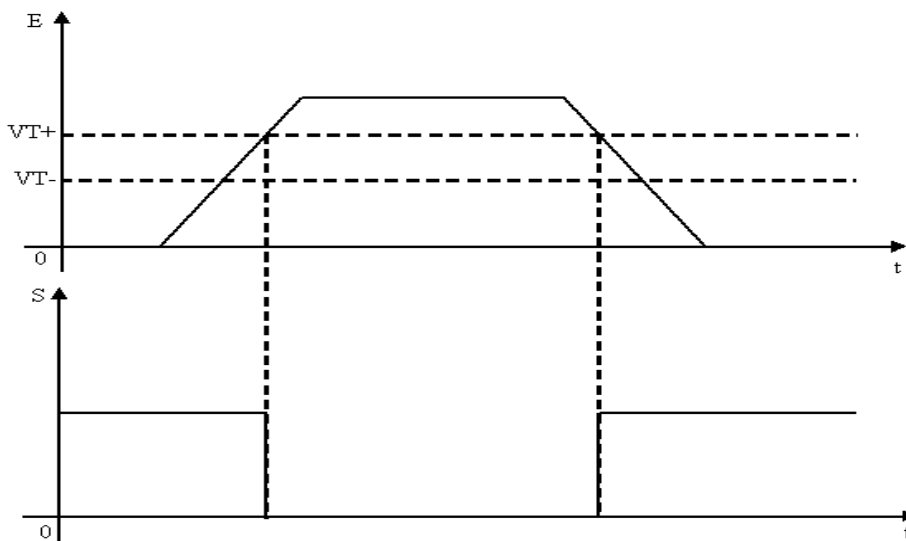


Fig III-5 : Caractéristique d'un trigger de Schmitt.

-Symbole

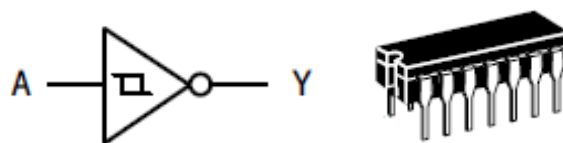


Fig III-6 : Un Trigger de Schmit.

Le Schéma de connexion du circuit a été réalisé à l'aide des circuits intègres.

a-2-Le circuit imprimé

Pour réaliser la carte, nous avons utilisé :

- Des circuits intégrés tels que : le circuit **MC74HC14AN** (Trigger de Schmitt inverseur).
- Les LED **LD271**.
- Les photodiodes **SFH 205**.
- Les résistances de valeur $R1 = 75\Omega$ et $R2 = 220k\Omega$.

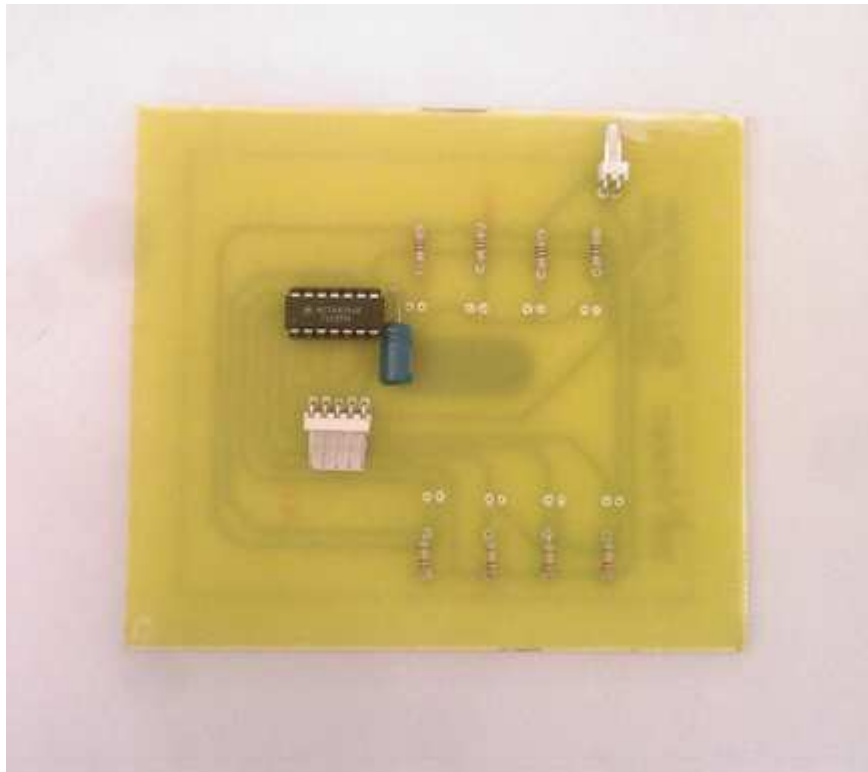


Fig III-7 : Photo de la carte réalisée de circuit lecteur des signaux.

b-Le circuit de commande

b-1-Le circuit de commande à 120°

Le circuit de commande exploite l'information logique (signaux A, B et C) en sortie du capteur pour générer les six signaux de commande qui permettent l'ouverture et la fermeture des transistors montés en pont de l'onduleur de tension.

La commande se fait de telle sorte qu'à chaque position élémentaire du rotor de la BDCM ($\alpha = 20^\circ$), des ordres doivent être donnés pour le blocage d'un transistor et le déblocage d'un autre, ces ordres constituent la commande 120° pour l'autopilotage de la BDCM.

Le tableau ci-dessous représente les différents états logiques des interrupteurs tel que : A, B, C sont les entrées (état des signaux délivrés respectivement par les trois pistes du codeur).

T1, T2, T3, T1', T2', T3' sont les sorties (état des interrupteurs ou transistors de l'onduleur) [5].

Tab III-4 : Etats logiques des interrupteurs.

Angles	A	B	C	T1	T2	T3	T1'	T2'	T3'
0°-60°	0	0	0	1	0	0	0	1	0
60°-120°	0	0	1	1	0	0	0	0	1
120°-180°	0	1	1	0	1	0	0	0	1
180°-240°	0	1	0	0	1	0	1	0	0
240°-300°	1	1	0	0	0	1	1	0	0
300°-360°	1	0	0	0	0	1	0	1	0

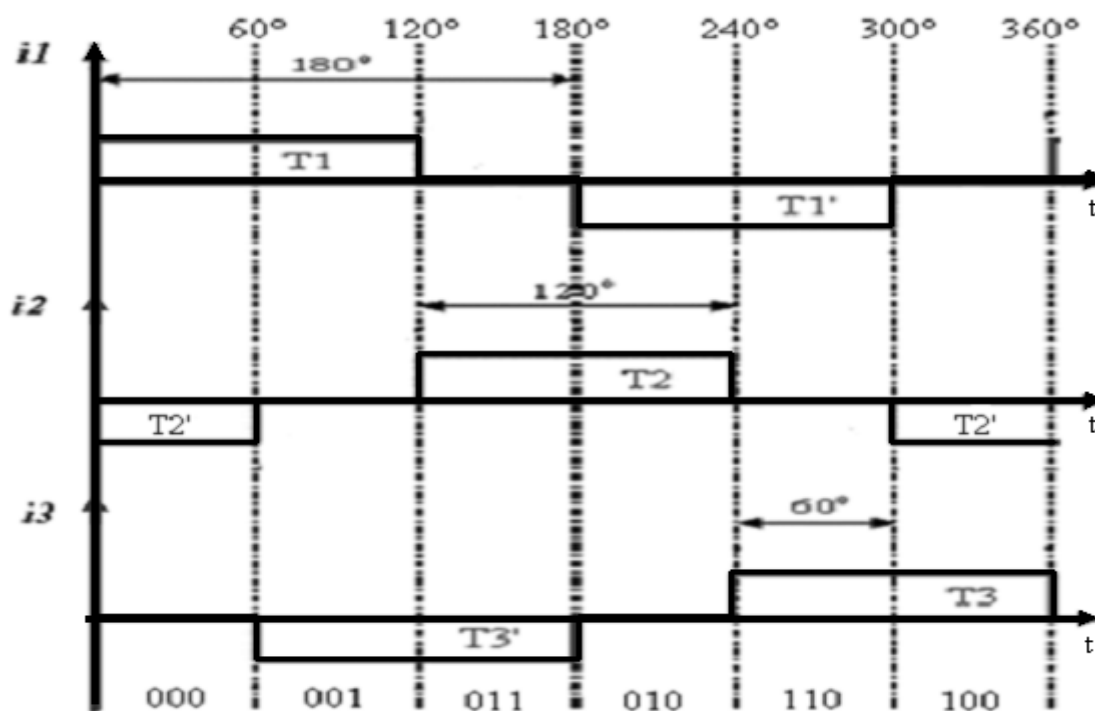


Fig III-8 : Chronogramme de commande 120° pour un sens de rotation.

b-1-1-Le circuit logique

-les équations logiques

A partir du tableau précédent et on utilisant la logique combinatoire, on a déterminé les équations de commande des interrupteurs :

$T1 = \overline{A}\overline{B}$	$T2 = \overline{A}B$	$T3 = \overline{A}C$	$T1' = \overline{B}C$	$T2' = \overline{B}\overline{C}$	$T3' = \overline{A}C$
---------------------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	----------------------------------	-----------------------

Le Schéma de connexion du circuit logique a été réalisé à l'aide des circuits intégrés.

b-1-2-Circuit imprimé du circuit de commande à 120°

Pour réaliser la commande 120°, le circuit logique précédant à été matérialisé sur un circuit imprimé en utilisant des portes logiques. Ce circuit réalise les six combinaisons possibles, nous avons alors en sortie les six signaux qui attaquent directement les gâchettes des transistors.

Pour réaliser la carte, nous avons utilisé des portes logiques **CMOS*4000** (Complementary Metal- Oxide Semi conducteur) tel que :

- Les circuits **HEF 4069** (circuits inverseurs).
- Les circuits **HEF 4081** (circuits comportant des portes **AND** à deux entrées).

L'ensemble des circuits intégrés sont alimentés par une tension de 5V ce circuit a été conçu à l'aide du logiciel PROTEL.

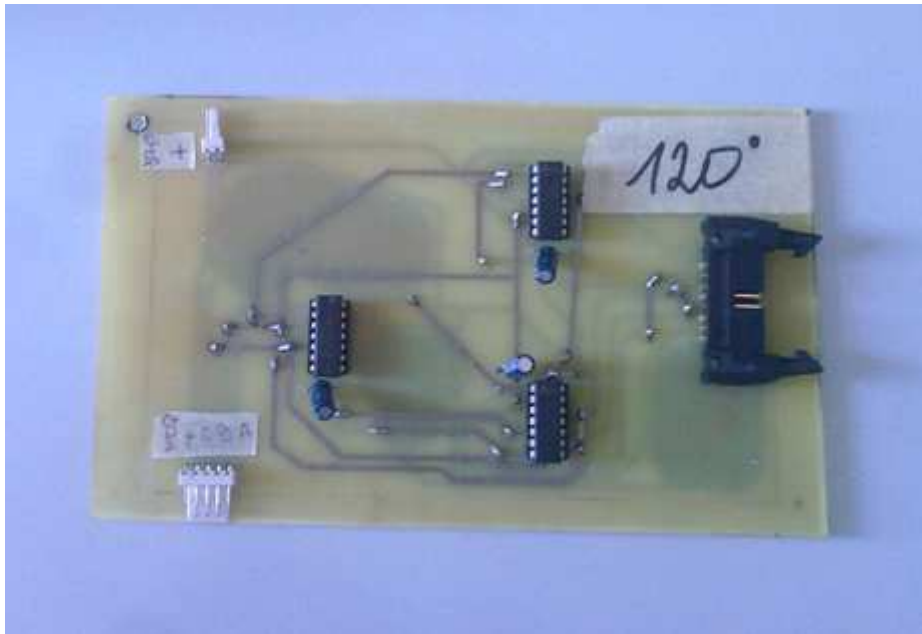


Fig III-9 : Photo de la carte réalisée de circuit de commande 120°.

b-2-Commande en pleine onde (à 180°)

Dans la commande en pleine onde, on ferme les interrupteurs d'une même branche de façon complémentaire pendant une demi-période et en décalant la commande de chaque bras d'un tiers de la période. Par conséquent on obtient trois ondes carrées de décalées tension de 120°, dont l'amplitude est égale à la tension continue, et de même période que la tension du réseau. Cette commande a des inconvénients comme l'ouverture et la fermeture des interrupteurs de même bras crée des courts circuits, pour éviter cela il nous faut un temps mort qui sépare la commutation de deux interrupteurs et aussi elle génère un très grand nombre d'harmoniques de tension et de courant, ceci gêne le transfert d'énergie vers la charge [6].

Tab III-4 : Etats logiques des interrupteurs.

Angles	A	B	C	T1	T2	T3	T1'	T2'	T3'
0°-60°	0	0	0	1	0	1	0	1	0
60°-120°	0	0	1	1	0	0	0	1	1
120°-180°	0	1	1	1	1	0	0	0	1
180°-240°	0	1	0	0	1	0	1	0	1
240°-300°	1	1	0	0	1	1	1	0	0
300°-360°	1	0	0	0	0	1	1	1	0

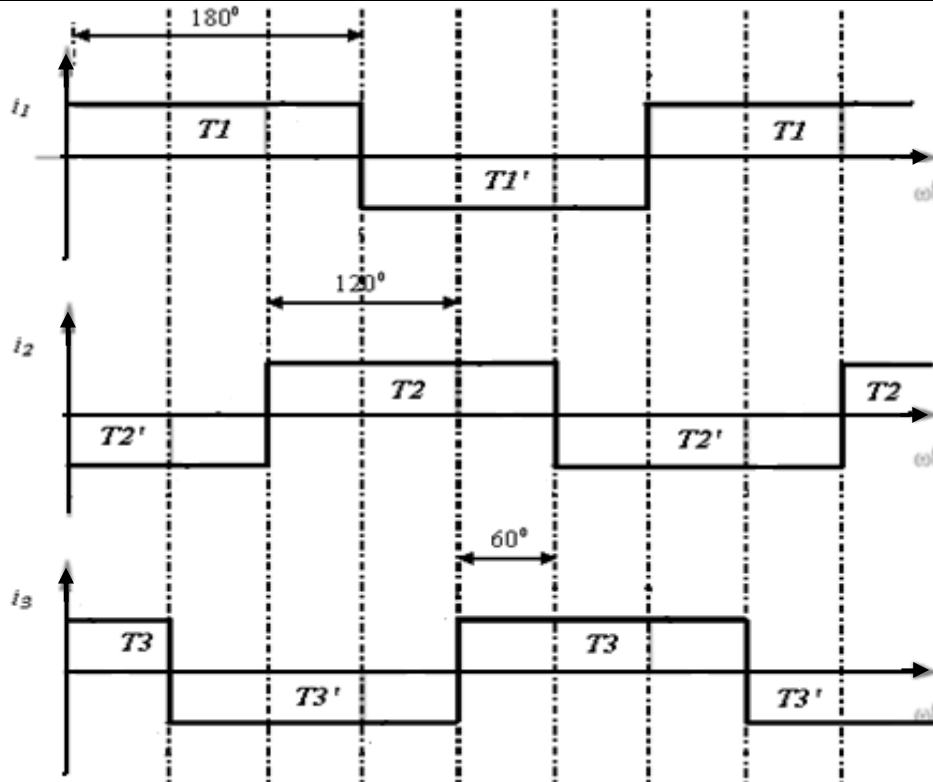


Fig III-10 : Chronogramme de commande 180° pour un sens de rotation.

b-2-1-Génération du temps mort et temps minimum de conduction

La fermeture et l'ouverture des semi conducteurs de puissance se fait avec un temps de retard « tr » correspond a la durée de régime transitoire qui sépare la conduction et le blocage du semi conducteur comme indique la figure ci-dessous [6]:

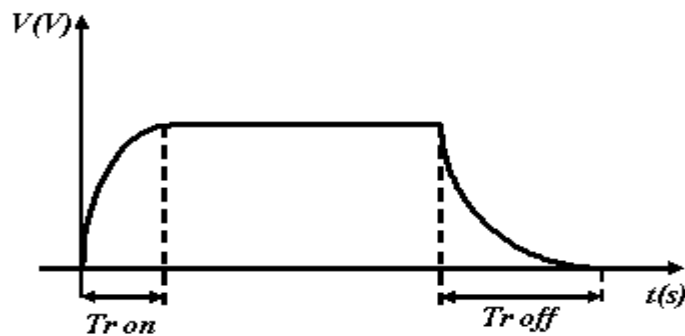


Fig III 11: Temps d'ouverture et la fermeture des semi conducteurs.

Dans le cas où on a deux semi-conducteurs placés en série sur une même source de tension, c'est le cas qu'on a dans un bras d'onduleur, ces retards à la fermeture « Tr on » et à l'ouverture « Tr off » créent des courts circuits. La répétition de ces courts circuits engendre un échauffement anormal des semi-conducteurs, ce qui peut conduire à leurs destructions [6].

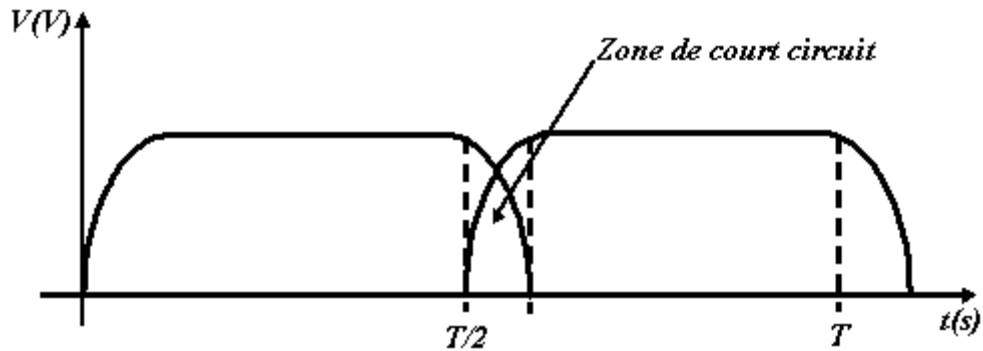


Fig III 12: Zone de court circuit.

Pour améliorer la fiabilité de l'onduleur de tension et éviter les courts-circuits, on raccourcit légèrement la durée du niveau haut des créneaux de commande par rapport à leur forme théorique. Le signal réellement utilisé pour la commande de chaque transistor sera obtenu à la sortie d'une porte logique ou exclusif « 74LS86 ». Les signaux d'entrée de cette dernière sont : le signal représentant le temps mort, généré par le circuit « 74LS123 », et le signal théorique fourni par la commande [7].

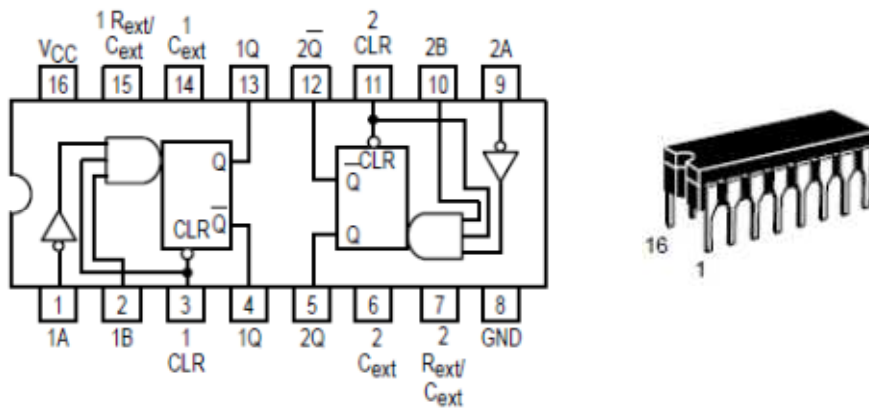


Fig III-13 : Circuit intégré « 74LS123 ».

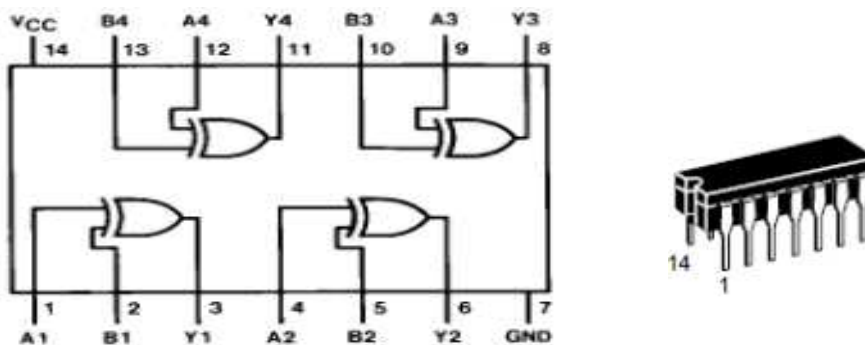


Fig III-14 : Circuit intégré « 74LS86 ».

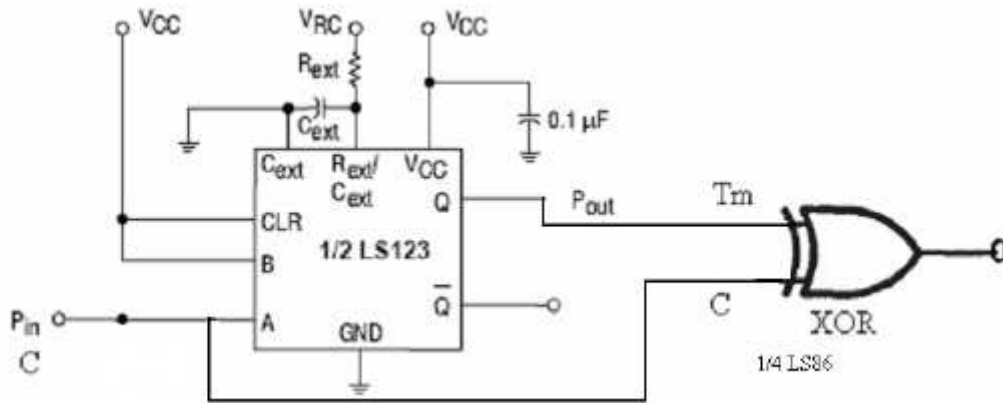


Fig III-15 : Principe de génération et aménagement du temps mort.

La durée de Δt du temps mort est donnée par l'expression suivante :

$$\Delta t = 0.45 \cdot R_{ext} \cdot C_{ext}$$

R_{ext} : est une résistance variable qui permet de varier le temps mort entre deux limites fixées.

Les signaux de commande et le temps mort sont ainsi donc aménagés pour prévoir un temps minimal de conduction de chaque transistor. Celui-ci doit être relativement supérieur au temps d'ouverture et de fermeture de l'interrupteur [7].

-Calcul de temps mort

Si on prend la valeur de C_{ext} fixe et égale à $C_{ext} = 1nF$ et $R_{ext\ min} = 5k\Omega$ et $R_{ext\ max} = 52k\Omega$, ce qui nous donne un temps mort qui varie entre $t_{r\ min} = 2.25\mu s$ et $t_{r\ max} = 23.4\mu s$.

Le Schéma de connexion du circuit a été réalisé à l'aide des circuits intégrés.

b-2-2-Le circuit logique

-les équations logiques

A partir du tableau précédent et on utilisant la logique combinatoire, on a déterminé les équations de commande des interrupteurs :

$T1 = \bar{A}(\bar{B} + C)$	$T2 = B(\bar{A} + \bar{C})$	$T3 = \bar{C}(A + \bar{B})$	$T1' = \bar{C}(B + A)$	$T2' = \bar{B}(\bar{A} + \bar{C})$	$T3' = \bar{A}(B + C)$
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------	------------------------------------	------------------------

Le Schéma de connexion du circuit logique a été réalisé à l'aide des circuits intégrés.

b-2-3-Circuit imprimé du circuit de commande à 180° et Génération du temps mort

Pour réaliser la commande 180° et Génération du temps mort, les circuits logiques à été matérialisé sur deux circuits imprimés en utilisant des portes logiques. Ces circuits réalisent

les six combinaisons possibles nous avons alors en sortie les six signaux qui attaquent directement les gâchettes des transistors.

Pour réaliser les deux cartes, nous avons utilisé des portes logiques **CMOS*4000** (Complementary Metal- Oxide Semi conducteur) tel que :

- Les circuits **HEF 4069** (circuits inverseurs).
- Les circuits **HEF 4081** (circuits comportant des portes **AND** à deux entrées).
- Les circuits **HEF 4071** (circuits comportant des portes **OR** à deux entrées).
- Les circuits **74LS123**.
- Les circuits **74LS86** (circuits comportant des portes **XOR** à deux entrées).

Et aussi :

- Des condensateurs de valeurs respective **C=0.1 μ F**, **Cext=1nF**.
- Des potentiomètres de valeurs $R_h = 47k\Omega$.
- Des résistances de valeurs $R_{ext} = 4.7k\Omega$.

L'ensemble des circuits intégrés sont alimentés par une tension de 5V ce circuit a été conçu à l'aide du logiciel PROTEL.

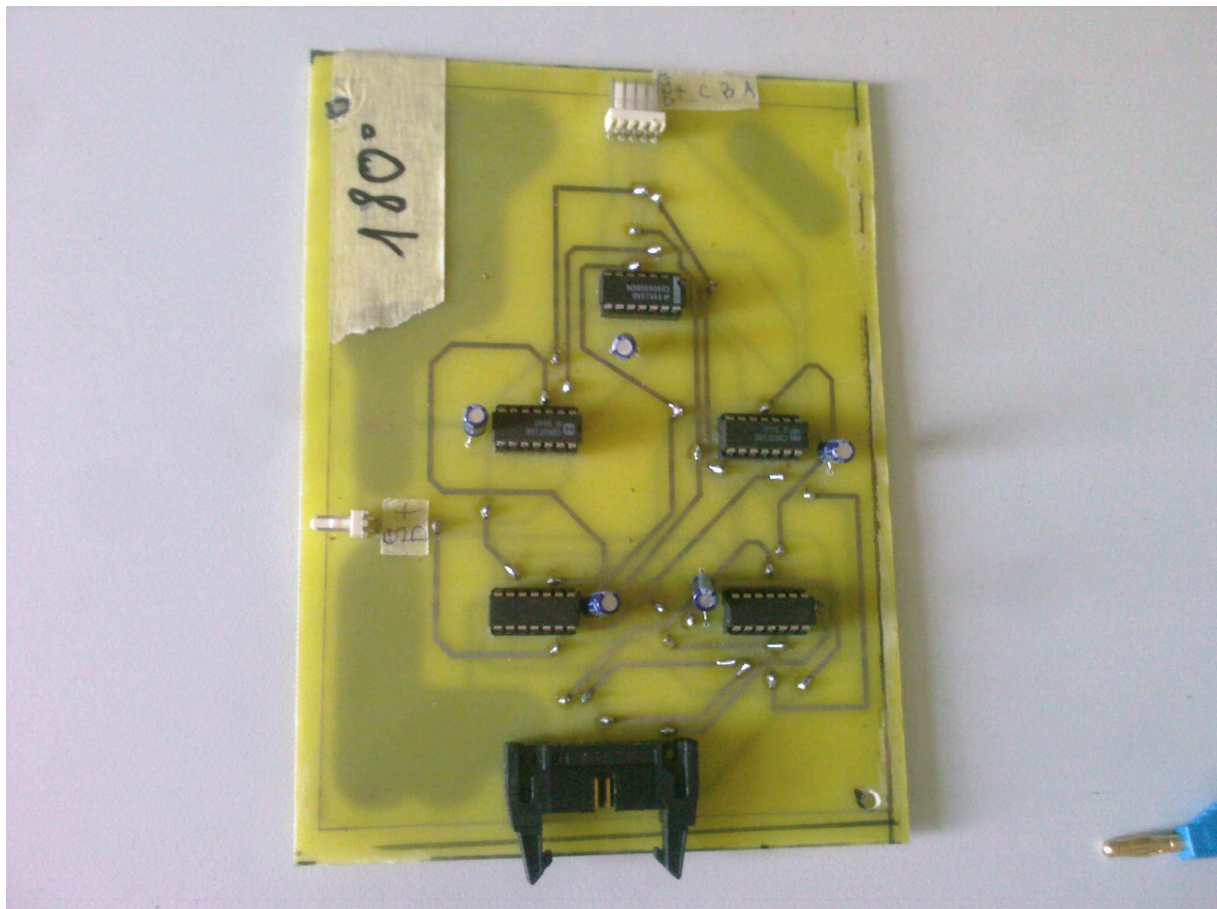


Fig III-16 : Photo de la carte réalisée de circuit de commande 180°.

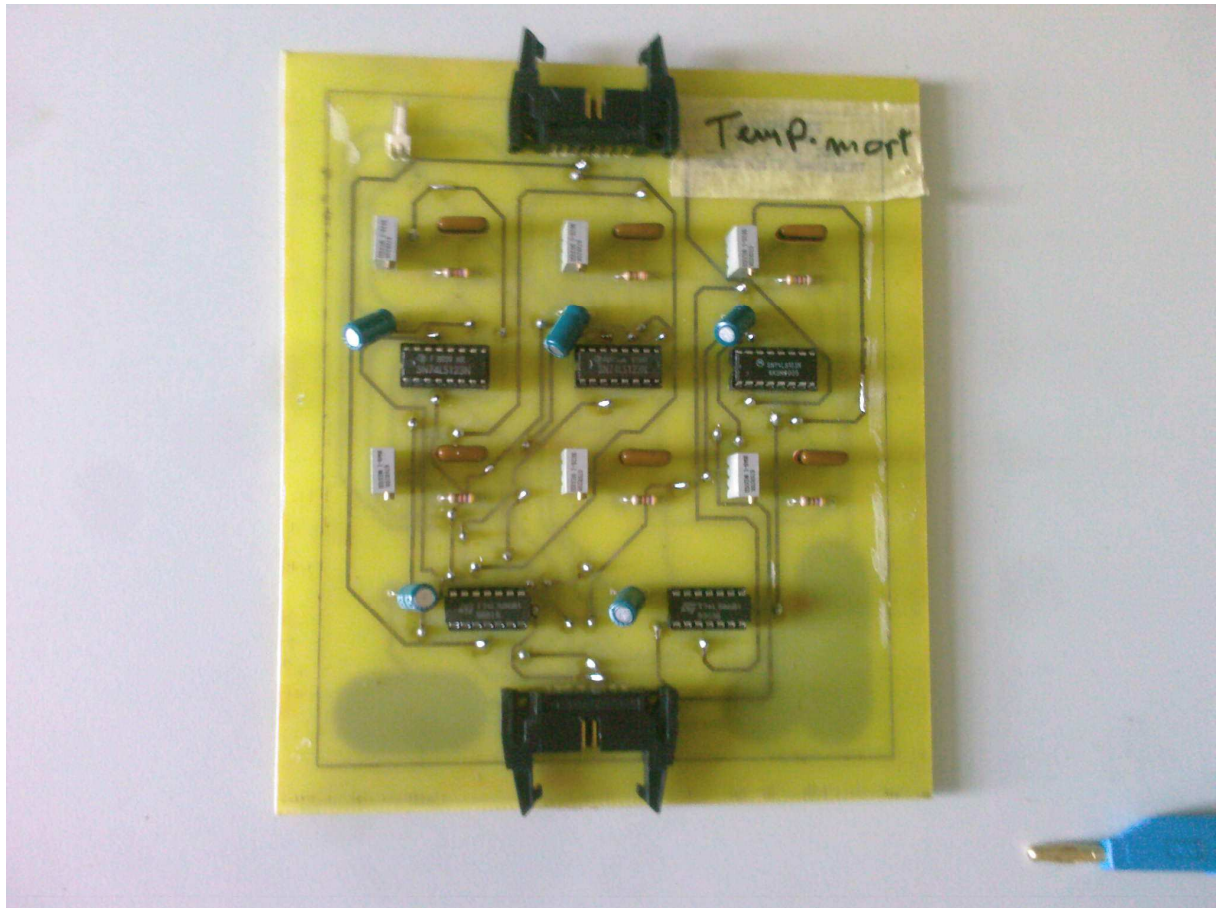


Fig III-17 : Photo de la carte réalisée de circuit génération de temps mort.

c-Carte interface entre la carte d'Espace avec le circuit d'attaque d'onduleur

Le Schéma de connexion du circuit a été réalisé à l'aide des circuits intégrés.

c-1-Circuit imprimé de la carte interface entre la carte d'Espace avec le circuit d'attaque d'onduleur

Pour réaliser la carte, nous avons utilisé des circuits intégrés **CMOS*4000** (Complementary Metal- Oxide Semi conducteur) tel que :

- Les circuits **74LS244** (Buffers).
- Les circuits **74LS240** (Buffers inversseurs).

L'ensemble des circuits intégrés sont alimentés par une tension de 5V ce circuit a été conçu à l'aide du logiciel PROTEL.

Remarque

Les portes logiques sont entièrement constituées par des transistors **CMOS**, leurs principaux avantages sont [5]:

- faible puissance dissipée.
- large gamme de tension (3 à 18V).
- Large plage de température (-40° à 85°).

III-5-2-Circuit de puissance

Un convertisseur statique est un système permettant d'adapter une source d'énergie électrique à un récepteur donné. Suivant le type de machine à commander et suivant la nature de la source de puissance, on distingue plusieurs familles de convertisseurs [6].

Le schéma suivant nous permet de les classer :

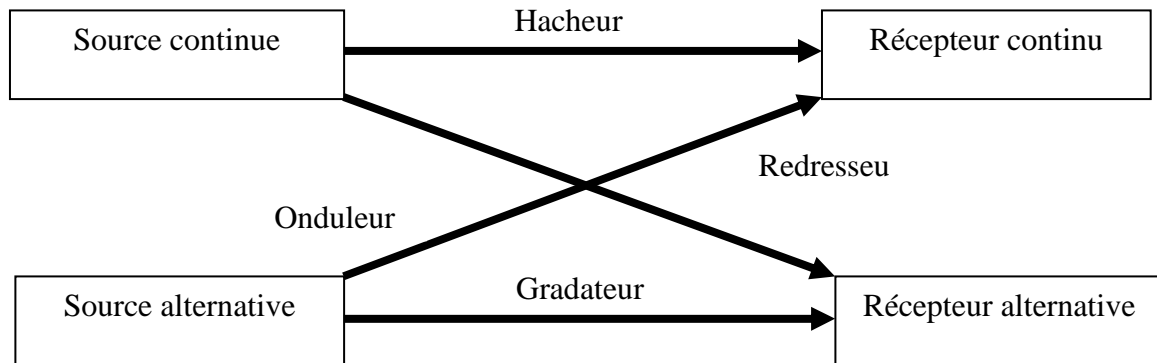


Fig III-18: Classification des familles de convertisseurs.

Dans notre étude, nous nous intéressons à la famille des redresseurs et des onduleurs.

a-Le redresseur

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

On utilise un redresseur chaque fois que l'on a besoin de continu alors que l'énergie électrique est disponible en alternatif. Comme c'est sous cette seconde forme que l'énergie électrique est presque toujours générée et distribuée, les redresseurs ont un très vaste domaine d'applications [8].

Il existe plusieurs types de redresseur [8]:

- Redresseur monophasé simple alternance en diodes ou thyristors.
- Redresseur monophasé double alternance à pont en diodes ou thyristors ou mixte.
- Redresseur triphasé simple alternance en diodes ou thyristors.
- Redresseur triphasé a double alternance en diodes ou thyristors ou mixte.

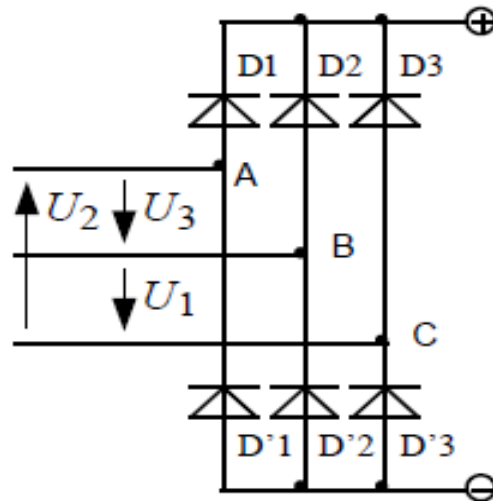


Fig III-19: Exemple d'un redresseur triphasé en pont.

b-L'onduleur

Les onduleurs sont des convertisseurs statiques qui associent une source d'énergie continue à une charge d'énergie alternative. Ils sont très tributaires des caractéristiques du générateur et du récepteur entre lesquels ils sont insérés, de ces caractéristique découle la nature des commutations à effectuer et les semi-conducteur à employer [8].

Les onduleurs sont utilisés dans deux grands domaines [8]:

- Alimentation à fréquence fixe.
- Alimentation à fréquence variable.

On peut définir deux types d'onduleurs :

- Onduleur de courant ou commutateur.
- Onduleurs de tension monophasée ou triphasée.

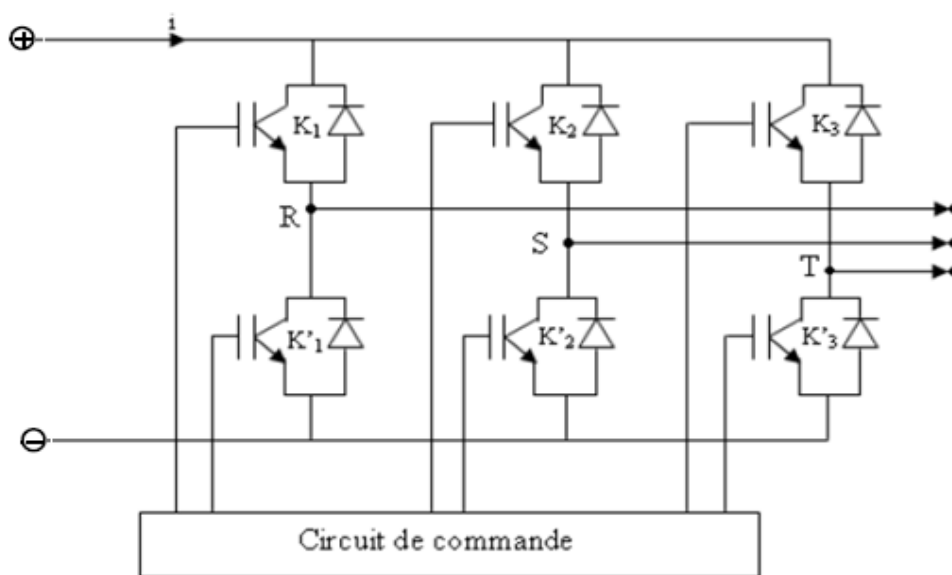


Fig III-20: Exemple d'un onduleur triphasé.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqué la procédure à suivre pour la réalisation de ce codeur de position ainsi qu'on a dimensionné les différents composants nécessaires pour le circuit électronique de lecture et de commande 120° et 180° avec circuit de génération du temps mort et à la fin de ce chapitre on a décrit le circuit de puissance.

Chapitre IV

Résultats expérimentaux.

IV-1-Introduction

Le but de cette réalisation consiste à autopiloter une machine synchrone à aimants permanents (BDCM).

Afin de tester le capteur de position monté sur la BDCM, nous avons effectué un essai élémentaire sur une charge résistive. Ces essais ont pour but de relever les trois signaux du capteur (A, B et C) et confirmer le fonctionnement de la commande 120° ainsi que de nous renseigner sur la nature de la commutation. Ces signaux sont acquis à l'aide d'un oscilloscope numérique

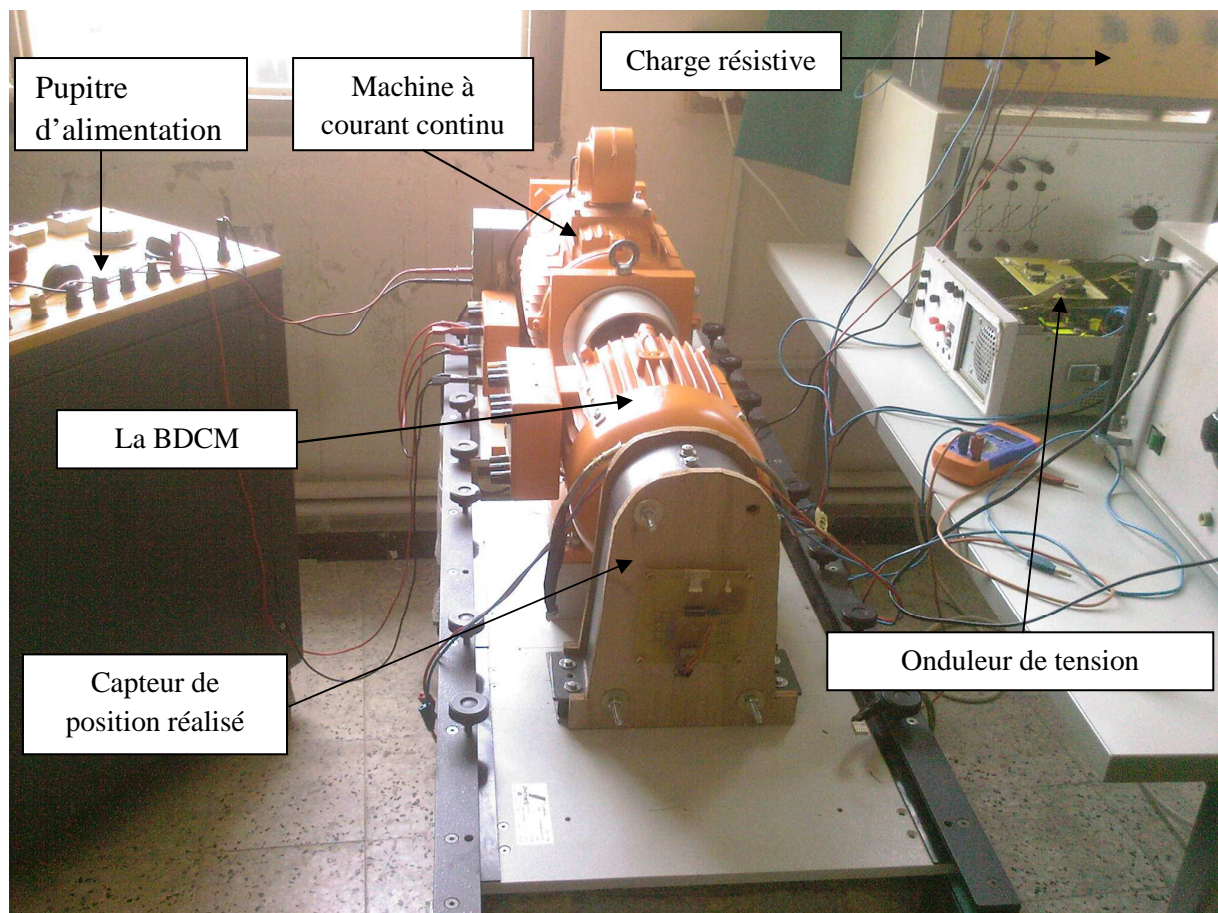


Fig IV-1 : Photo de banc d'essai.

IV-2-Signaux délivrés par le capteur de position

Nous avons entraîné le capteur de position qui est solidaire à la BDCM par un moteur à courant continu pour deux vitesses différentes (500 et 1000tr/mn).

Les figures (IV-2), (IV-3) présentent respectivement les signaux AB et BC, la période de ces signaux est de 40ms pour ($N=500\text{tr/mn}$, $f=25\text{Hz}$) et de 20ms pour ($N=1000\text{tr/mn}$, $f=50\text{Hz}$), leur amplitude est égale à 5V pour les deux vitesses. Cas des signaux 180° décalés de 120° .

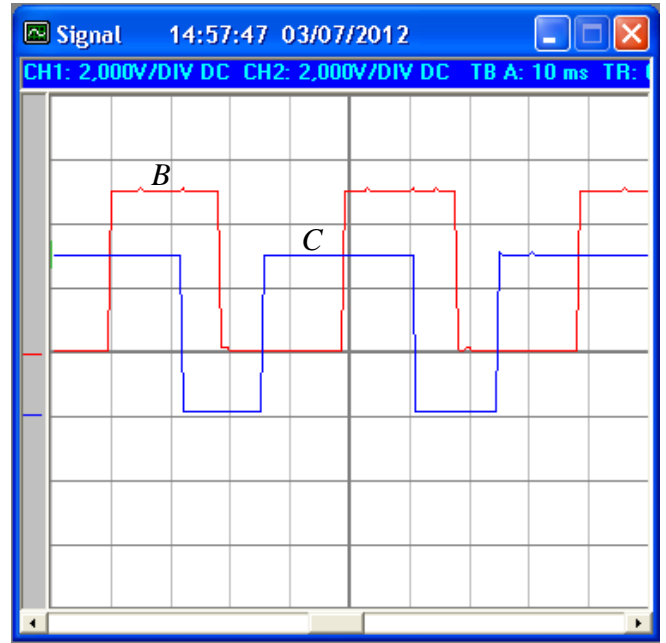
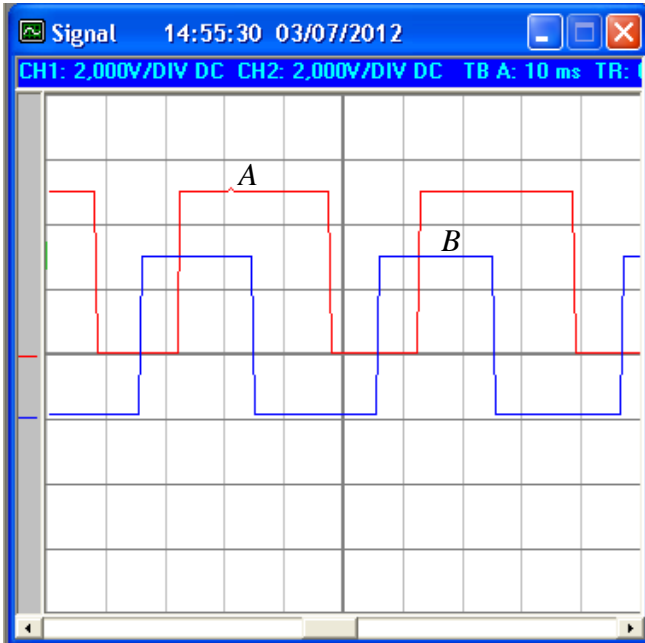


Figure IV-2 : les formes d'onde des signaux AB et BC pour une vitesse de 500tr/mn

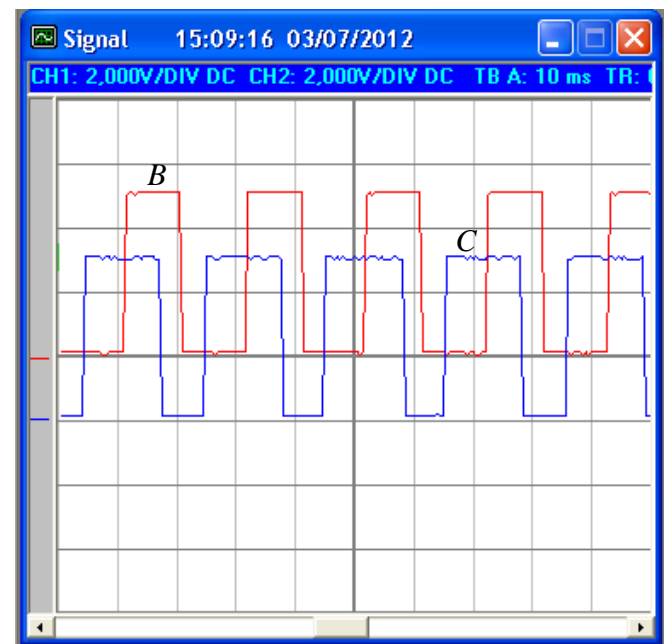
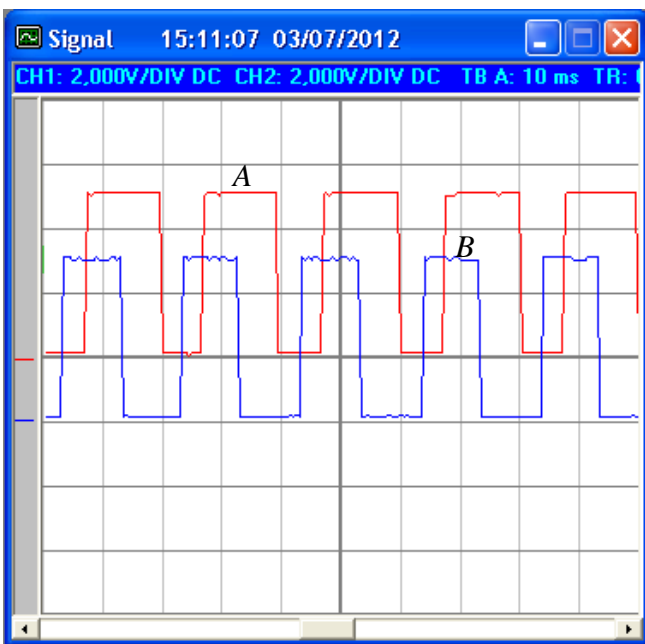


Figure IV-3: les formes d'onde des signaux AB et BC pour une vitesse de 1000tr/mn

IV-3- Signaux de la sortie de la commande 120°

Les figures (IV-3), (IV-4) et (IV-5) présentent respectivement les signaux de commande des transistors de chaque bras de l'onduleur. A partir de la nous avons déterminé la période, la fréquence et l'amplitude sur le tableau suivant :

	500tr/mn			1000tr/mn		
	T1, T1'	T2, T2'	T3, T3'	T1, T1'	T2, T2'	T3, T3'
Période en ms	40	40	40	20	20	20
Fréquence en Hz	25	25	25	50	50	50
Amplitude en V	5	5	5	5	5	5

Ces signaux ont la même amplitude pour les deux vitesses, mais ont deux périodes différentes (fréquences différentes). Sur chaque figure, on remarque que chaque signal met une durée d'impulsion de 120° électrique qui correspond à $(1/3)T$, le temps entre le blocage d'un transistor et l'amorçage d'un autre du même bras est de 60° électrique ce qui fait $(1/6)T$. donc tout risque de court circuit est éloigné, ce qui confirme que la commande 120° est une commande décalée.

500tr/mn

1000 tr/mn

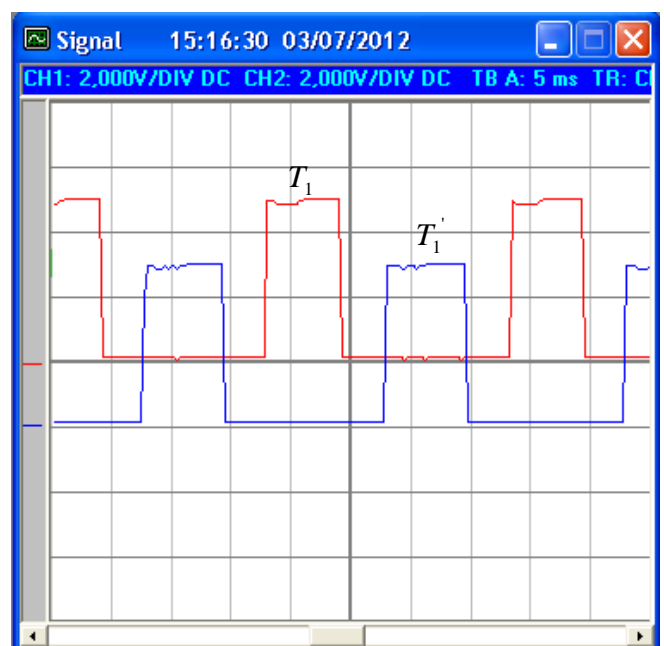
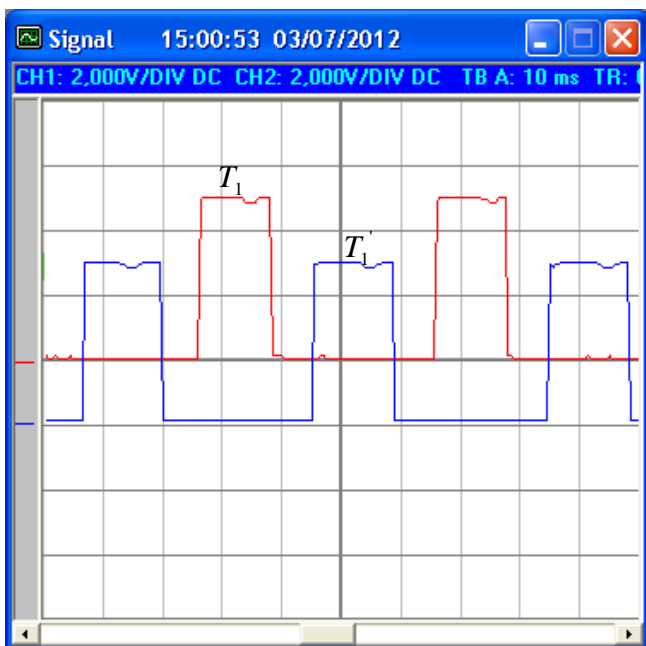


Figure IV-4 : les formes d'onde des signaux de commande des transistors T1, T1' du même bras respectivement pour les vitesses de 500tr/mn et 1000tr/mn

500tr/mn

1000 tr/mn

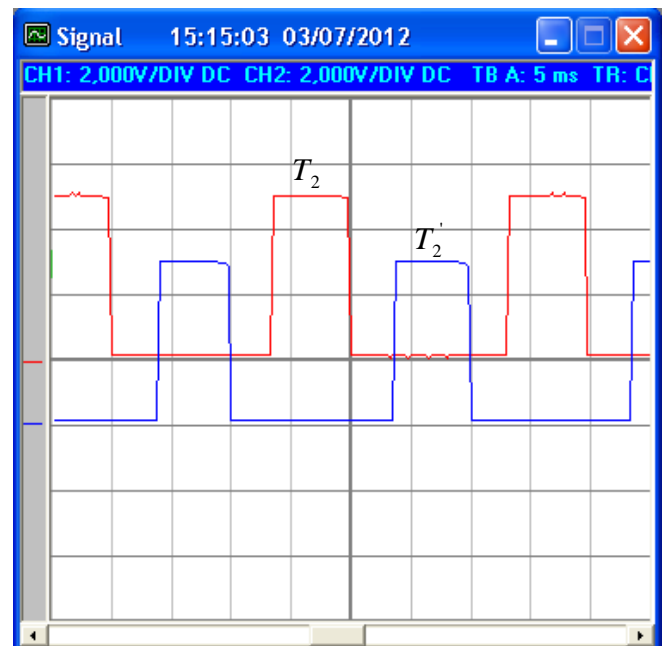
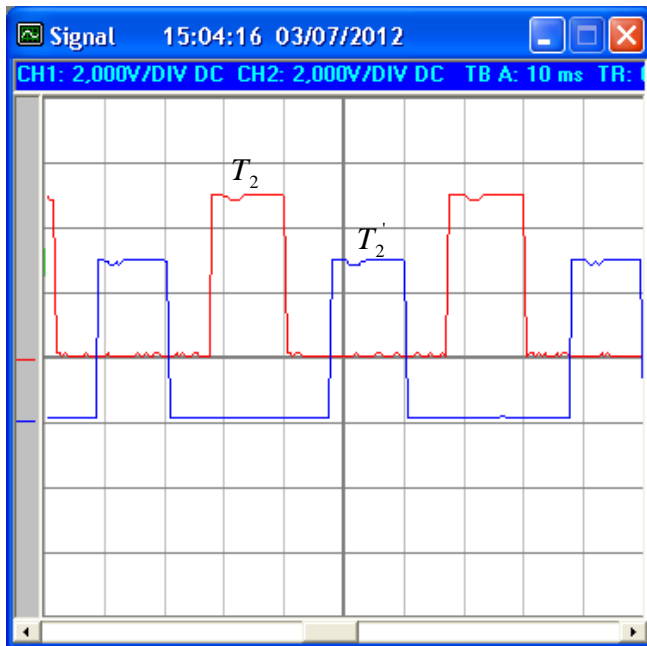


Figure IV-5 : les formes d'onde des signaux de commande des transistors T_2 , T_2' du même bras respectivement pour les vitesses de 500tr/mn et 1000tr/mn

500tr/mn

1000 tr/mn

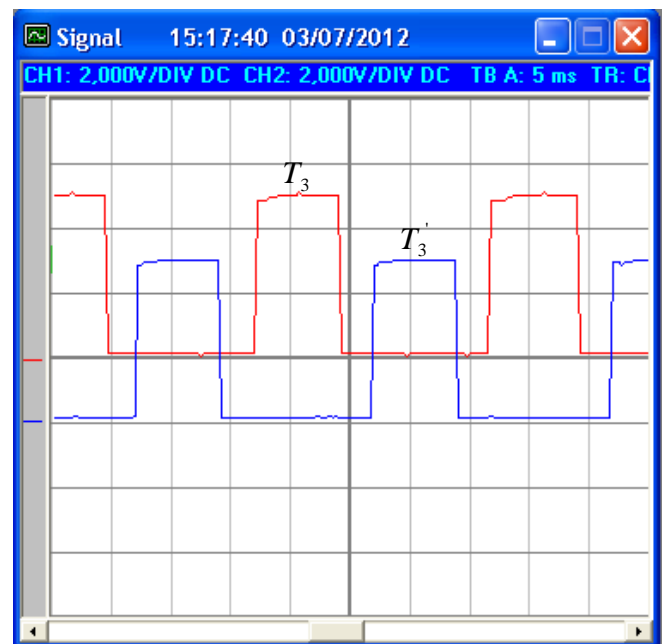
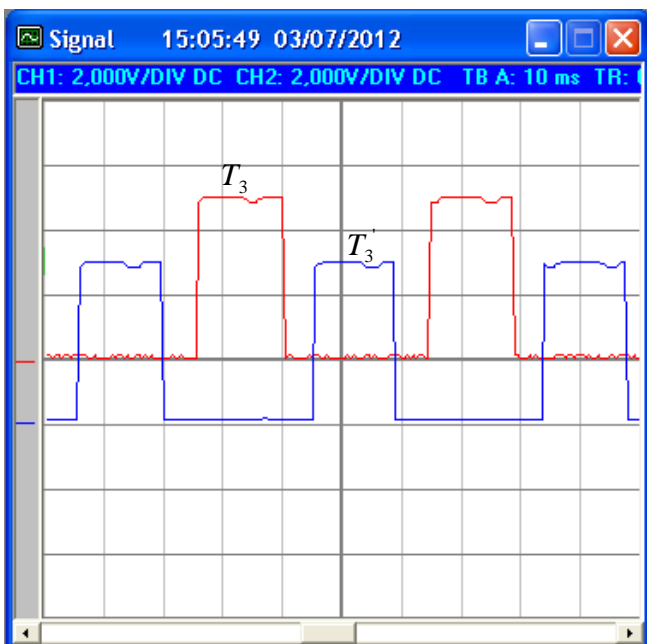


Figure IV-6 : les formes d'onde des signaux de commande des transistors T_3 , T_3' du même bras respectivement pour les vitesses de 500tr/mn et 1000tr/mn

IV-4-Essai sur une charge résistive

Après la vérification des signaux du capteur et ceux de la commande 120° , nous avons testé l'ensemble (capteur + onduleur) sur une charge résistive de valeur 139 ohm pour une tension continue de 40V à l'entrée de l'onduleur et à deux vitesses différentes.

La figure (IV-7) montre la variation du courant d'une phase en fonction du temps, nous remarquons que ce courant a une forme d'onde carrée dont la durée de conduction est de 120° séparées par des interruptions de durée de 60° .

Les mesures des courants ont été effectuées avec des capteurs de courants à effet Hall.

500tr/mn

1000 tr/mn

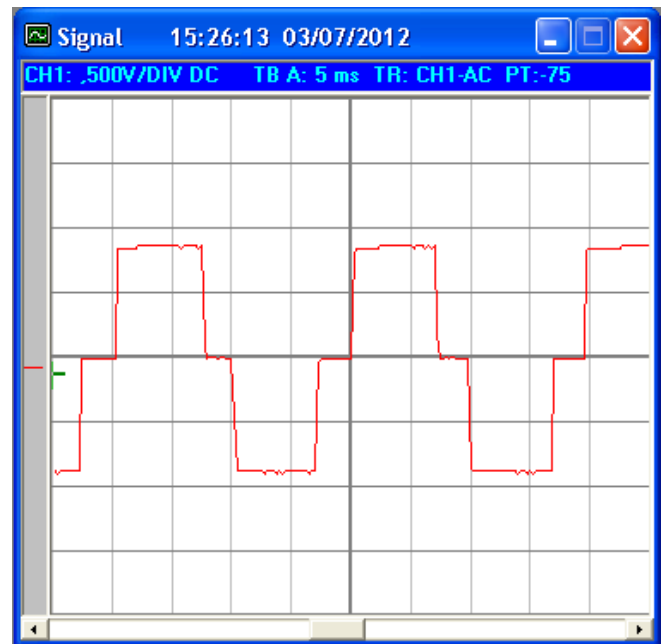
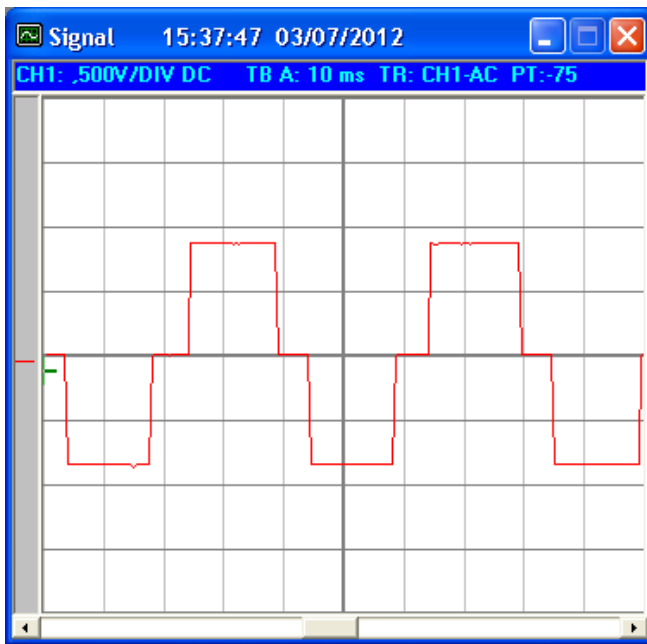


Figure IV-7 : variation du courant d'une phase en fonction du temps.

La figure (IV-8) montre la variation de la tension entre phase en fonction du temps. Cette tension varie chaque 60° , elle prend les valeurs de 20 et 40V pendant une demi période puis -20 et -40V pendant l'autre demi période.

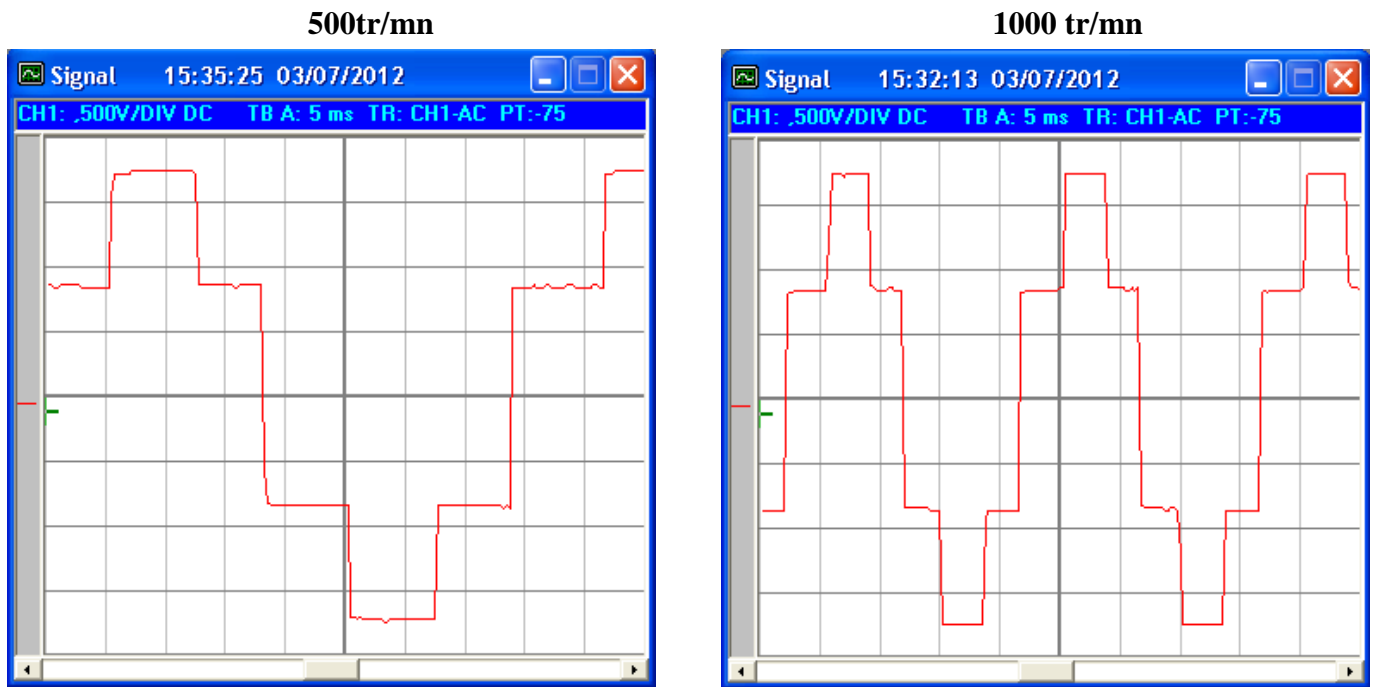


Figure IV-8 : variation de la tension entre phases en fonction du temps.

IV-5-Essai sur la BDCM (Brushless Direct Current Motors) ou bien moteur à courant continu sans balais.

La figure (IV-9) présente la variation de $f.e.m$ d'une phase de la BDCM pour deux vitesses 500 et 1000tr/min. A partir de cette figure et à une vitesse de 1000tr/mn, on peut déterminer le temps de commutation et le temps de conduction.

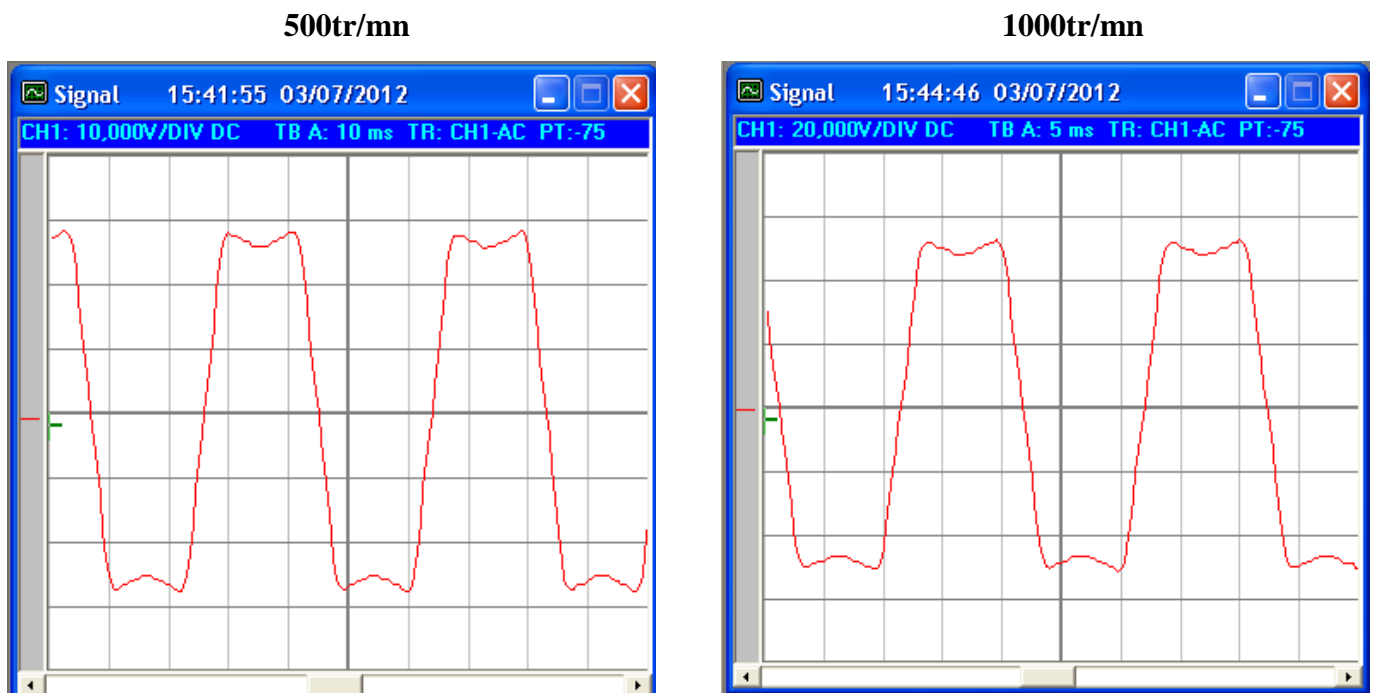


Figure IV-9 : Variation de la $f.e.m$ d'une phase de la BDCM en fonction de temps.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons relevé les différentes résultats correspondantes aux différents essais, les différentes courbes relevées pour les essais précédents montrent que le mode de fonctionnement 120° est retrouvé. La commande réalisée convient à ce mode de fonctionnement qui est destiné au type de machine à *f.e.m* trapézoïdale.

Conclusion générale

Conclusion générale

En vue de faire fonctionner une machine synchrone à aimant permanent (à *f.e.m* trapézoïdale) en commande autopilotée, nous avons réalisé un capteur de position optique et deux commandes 120° et 180° . Le capteur tient compte du nombre de paires de pôles et de phase de la machine et aussi de sa commande, dans le présent cas, la machine possède trois paires de pôles et alimentée par un onduleur.

D'un point de vue pratique et pour répondre aux exigences de cette machine, un capteur de position à faible résolution (six informations par période) est employé pour délivrer les signaux souhaités. Pour cela notre réalisation consiste en un codeur optique absolu lié mécaniquement à l'arbre du moteur qui l'entraîne, fournit une information représentative de sa position angulaire. Cette information est disponible sous forme logique grâce au trigger de schmitt. Ensuite les signaux logiques du capteur sont introduits aux entrées des circuits de la commande respectivement 120° et 180° et à partir de ces circuits on a réalisé les différentes combinaisons pour la commande des transistors de l'onduleur selon l'ordre recherché.

La commande 120° est une commande décalée donc elle ne nous pose pas un problème de court circuit au moment de commutation des interrupteurs de même bras, contrairement la commande 180° nous pose un problème de court circuit et pour l'éliminer on fait appelle au circuit de génération du temps mort.

Les différentes resultats obtenues dans l'essai sur la charge résistive avec l'ensemble capteur+ commande +onduleur ont permis de retrouver le mode de fonctionnement 120° .

Le banc d'essais associant la machine, convertisseur statique, le capteur et les commandes réalisées est monté pour faire fonctionner la machine synchrone à aimants permanents en BDCM. Pour varier sa vitesse de rotation, on fait varier la tension continue donnée à l'entrée du convertisseur.

Enfin, nous espérons que ce travail sera d'un apport considérable pour les étudiants des futures promotions.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] HAKEM Samira, IMADOUCHENE Sabrina, « Modélisation et simulation des moteurs synchrones a aimants permanents en vue d'une commande de couple ou de vitesse »,PFE ingénieur 2010 Université Mouloud MAMMERI.
- [2] Pierre MAYE, « Aide mémoire d'électrotechnique », Edition Dunod, 2006.
- [3] WILDI, SYBILLE, « Electrotechnique 4^{eme} Edition », Institut de recherche d'Hydro-Québec, 2005.
- [4] ABDELLAOUI Hassina, « Etude expérimentale de la position rotorique d'un moteur synchrone a aimants permanents par variable électrique », Magister, Université Mouloud MAMMERI.
- [5] Ait RAMDANE Naima, AIT KACI Djedjiga, « Réalisation d'un capteur de position en vue d'autopiloter une machine synchrone a aimants permanents », PFE DEUA 2005, Université Mouloud MAMMERI.
- [6] AKNINE Kamel, AMMOURI Youcef, SLIMANI Naim, « Etude et réalisation d'un onduleur IGBT triphasé pilote par une carte DSpace DS1102 », PFE ingénieur 2006 Université Mouloud MAMMERI.
- [7] SEDIKI Hamid, « Contribution a la synthèse d'observateurs des systèmes non linéaires. Application a la commande des machines électriques et réalisation d'un banc d'essai », thèse Doctorat 2010 Université Mouloud MAMMERI.
- [8] Internet.
- [9] Max MARTY, Daniel DIXNEUF « Principes d'électrotechnique », Edition Dunod, 2005.