

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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie mécanique

Spécialité: Électromécanique Industriels

Thème

**Régulation et Simulation
d'un Moteur à Courant Continu**

Devant le jury composé de :

- Président : *Y.Guerfi*
- Examineur : *A.Annane*
- Encadreur : *S.Largot*

Présenté :

- Aya Belal
- Messalem Chaouki
- Abdallah Djabali

2014-2015

DÉDICACE

À nos parents,

À nos familles,

À nos amis.

SOMMAIRE

Introduction Générale	1
Chapitre I : Etude du moteur à courant continu	
I introduction	2
1- Fonction d'usage	2
2- Principe de fonctionnement	2
II- Constitution d'un moteur a courant continu	3
1- L'inducteur	3
2- L'induit	4
3- Collecteur et balais	5
III-Les différents types de moteur	6
1- Moteur à excitation séparée	6
2- Moteur à excitation série	6
IV- Modèle équivalent du moteur	7
1- La force contre électromotrice	7
2- Schéma équivalent du MCC	7
V- Caractéristique du moteur	8
VI-Bilan de puissance	9
VII-Réversibilité de la machine à courant continu	10
1- Principe	10
2- Fonctionnement dans les quatre quadrant	10
VIII- La plaque signalétique du moteur	11
Protection de moteur	12
1- Protection de moteur CC à excitation sépare	12
Chapitre II : La régulation de MCC	
1. Introduction	13
II- Les régulateurs	14
III-Détermination de la fonction de transfert d'un MCC	15
IV- Système de réglage à boucles multiples	18
V- Fonction de transfert du moteur avec échelon de la tension d'excitation	19
VI- Système avec réactive négative de la f.e.m.	21

Chapitre III : Différents modes de réglage de la vitesse

I-Différents mode de réglage de la vitesse.....	23
1- Réglage rhéostatique.....	23
2- Réglage par variation du flux.....	25
3- Réglage par variation de la tension.....	26

Chapitre IV : Modélisation de la machine à courant continu

I-Introduction.....	27
II-Équation de la machine à courant continu.....	27
III-Transformes de Laplace.....	29
IV-Schémas blocs.....	30

Chapitre V : Simulation et interprétation des résultats

I-Introduction.....	31
II- Les Redresseurs.....	31
1- Les trois type de montages redresseurs.....	31
2- Commutation des redresser.....	32
III- Facteur de forme.....	33
IV- Principe de l'étude d'un montage.....	33
V- Différent type de redresseur.....	34
VI- Association machines – redresseur.....	35
1- Commande de vitesse d'un moteur à courant continu.....	35
2- Exemple d'application des redresseurs commandés : alimentation des moteurs à courant continu.....	36
3- Régulation de la vitesse.....	37
VII- Simulation à l'aide du logiciel MATLAB.....	37
VIII- Conclusion.....	42
Conclusion générale.....	43
Bibliographie.....	44

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur de nous avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

*Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur **Largot Soulef** qui a proposé le thème de ce mémoire, aussi pour ses conseils et ses orientations.*

LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
Figure - I - 1	Constitution d'un moteur à courant continu	3
Figure - I - 2	L'inducteur	3
Figure - I - 3	L'induit	4
Figure - I - 4	Collecteur et balais	5
Figure - I - 5	Moteur à excitation séparée	6
Figure - I - 6	Moteur à excitation série	6
Figure - I - 7	Schéma équivalent du MMC	7
Figure - I - 8	Bilan de puissance	8
Figure - I - 9	Fonctionnement dans les quadrants	11
Figure - I - 10	Structure de la machine industrielle	12
Figure - II - 1	Schéma fonctionnel d'une régulation en cascade	17
Figure - II - 2	Schéma de principe de régulateur	15
Figure - III - 1	Courbe de réglage rhéostatique	24
Figure - III - 2	Réglage par variation du flux l'air	25
Figure - III - 3	Réglage par variation de la tension	26
Figure - IV - 1	Schéma d'un entraînement avec une MCC à excitation indépendante	27
Figure - IV - 2	Schéma bloc tension-vitesse du moteur à courant continu	30
Figure - IV - 3	Schéma bloc tension-courant du moteur à courant continu	30
Figure - V - 1	Redresseurs triphasés. (a) P3. (b) PD3. (c) S3.	32
Figure - V - 2	Commutation instantanée des interrupteurs redresseurs	32
Figure - V - 3	Redresseur simple alternance. Montage parallèle P3	34
Figure - V - 4	Pont PD2 mixte	35
Figure - V - 5	Moteur à courant continu alimenté par un pont redresseur mixte PD2. L'inductance	35
Figure - V - 6	Régulation en vitesse d'un moteur à courant continu	37
Figure - V - 7	Schéma bloc d'un redresseur triphasé commandé-moteur à courant continu à excitation séparé	37

Introduction générale

La machine à courant continu (MCC) repose sur le phénomène physique de création d'une force électromotrice (f.é.m.) aux extrémités d'un conducteur en mouvement dans un champ d'induction magnétique (par la loi de Faraday). Réciproquement, la circulation d'un à courant dans ce conducteur le soumet à une force qui tend à le mettre en mouvement (loi de Laplace).

Sur ce fondement physique, une machine élémentaire comprenant une spire placée sur un rotor encadré par deux pôles inducteurs permet d'exprimer la loi d'évolution de la f.é.m. en fonction du flux sous les pôles magnétiques et de la vitesse de rotation. Mais la tension créée est alternative, si bien qu'un élément supplémentaire, le collecteur, permet de la redresser pour fournir une grandeur une directionnelle. L'étape suivante est le passage à l'enroulement qui remplace la spire pour augmenter l'amplitude de la f.é.m. par la mise en série de plusieurs conducteurs. L'anneau de Gramme est la première solution. Elle est abandonnée au profit d'enroulements utilisant davantage de conducteurs actifs sur la périphérie du rotor d'abord, puis enfermés dans des encoches ensuite.

Toujours dans le souci d'augmenter la f.é.m. les enroulements sont câblés en faisceaux pour assurer d'avantage de conducteurs en série. Un autre moyen consiste à augmenter le nombre de pôles inducteurs. Une fois la structure de la machine mise en place, l'expression définitive de la f.é.m. d'induit montre qu'elle dépend du flux sous un pôle, de la vitesse de rotation et de paramètres de construction. Quant au couple électromagnétique observé sur l'arbre, il dépend du flux sous un pôle, du courant dans l'induit et de paramètres de construction. L'expression des relations entre les grandeurs électriques et mécaniques conduit à montrer que la MCC est un convertisseur électromécanique qui peut échanger de manière réversible puissance mécanique et électrique.

Cependant, le bilan final des puissances mises en jeu est l'occasion de montrer que ce convertisseur est le siège de différentes pertes tant électriques que mécaniques.

Pour terminer, la vue éclatée d'une MCC montre différentes solutions technologiques mise en œuvre pour réaliser une machine.

CHAPITRE I :

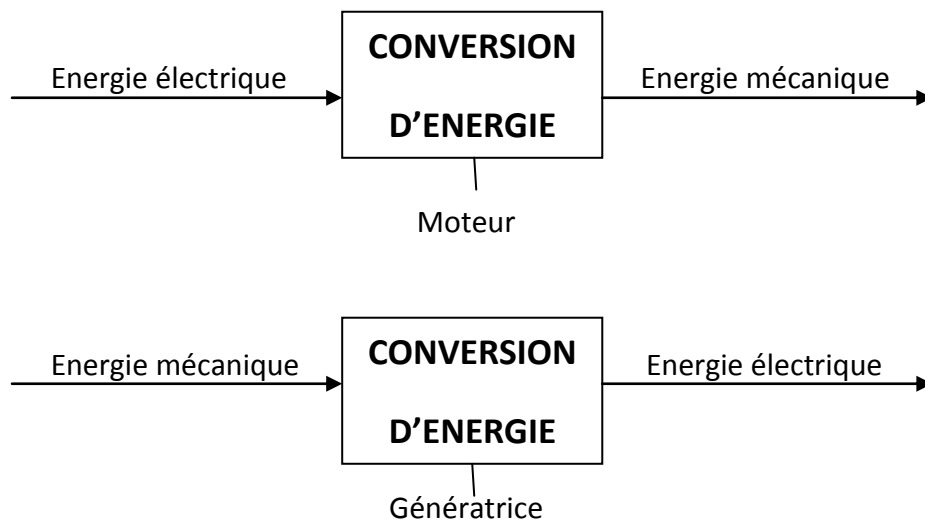
Étude du moteur à courant continu

I)- Introduction:

Les moteurs à courant continu à excitation séparée sont encore utilisés assez largement pour l'entraînement à vitesse variable des machines. Très facile à miniaturiser, ils s'imposent dans les très faibles puissances. Ils se prêtent également fort bien à la variation de vitesse avec des technologies électroniques simples pour des performances élevées et jusqu'à des puissances importantes. Leurs caractéristiques permettent également une régulation précise du couple, en moteur ou en générateur.

Leur vitesse de rotation nominale est adaptable aisément par construction à toutes les applications, car elle n'est pas liée à la fréquence du réseau. Ils sont en revanche moins robustes que les moteurs asynchrones et nécessitent un entretien régulier du collecteur et des balais.

1)- fonction d'usage



Remarque : La machine à courant continu est réversible qu'elle peut fonctionner aussi bien en moteur qu'en génératrice.

2)- principe de fonctionnement

L'application par excellence de la loi de Laplace est le moteur à courant continu. Cette loi affirme que l'action d'un champ magnétique sur un conducteur traversé par un courant, produit une force, cette force engendre un couple qui fait tourner le moteur.

II- Constitution d'un moteur à courant continu :

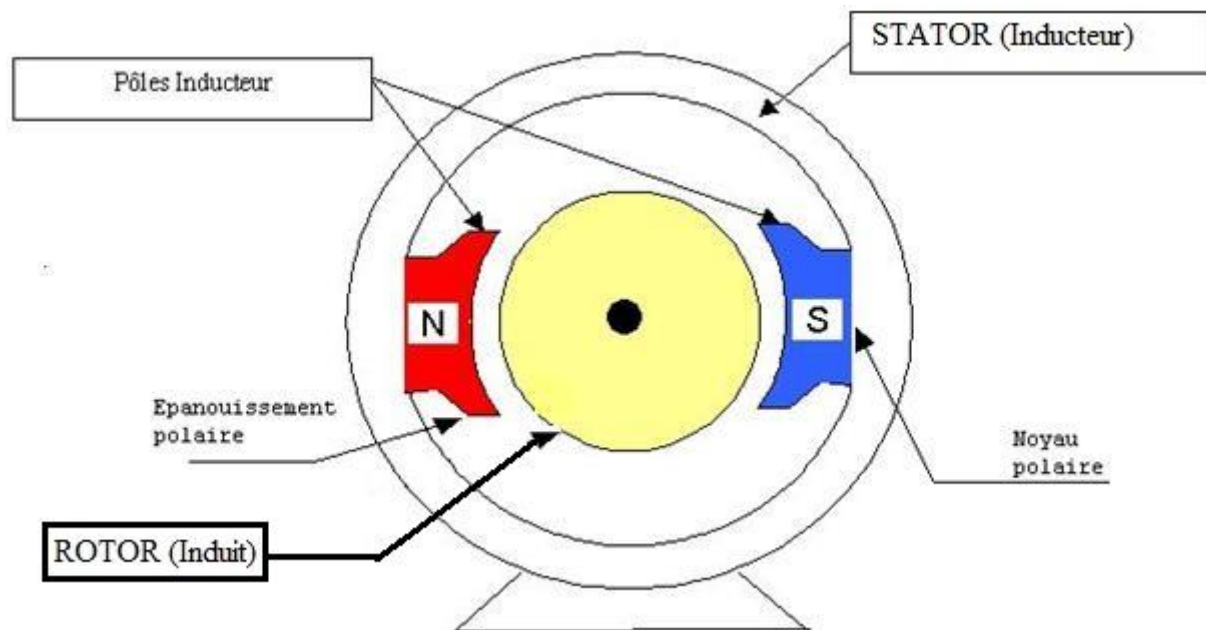
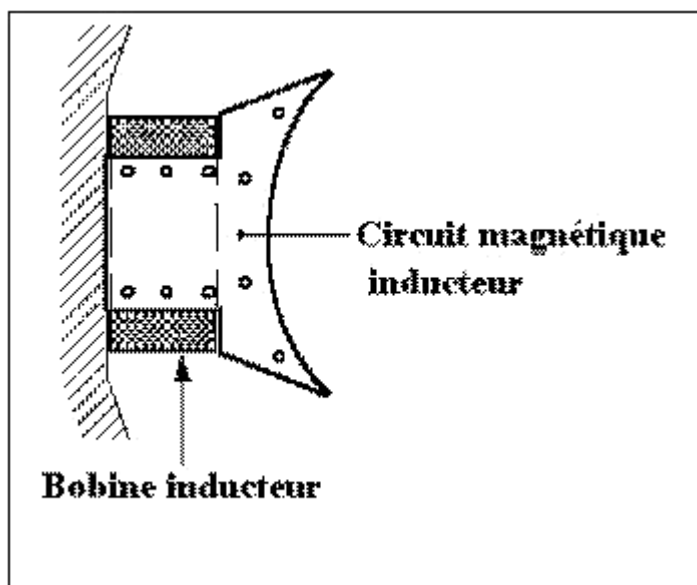


Figure -1- constitution d'un moteur à courant continu

1)- l'inducteur :



C'est un élément de circuit magnétique immobile sur lequel est bobiné un enroulement cet ensemble constitue un électro-aimant.

Lorsque les bobines de l'inducteur sont parcourues par un courant continu, elles créent un champ magnétique qui traverse le stator et le rotor.

Pour les faibles puissances, l'enroulement inducteur est remplacé par un aimant permanent, ce qui permet de réduire l'encombrement.

Figure -2- l'inducteur

2)- l'induit :

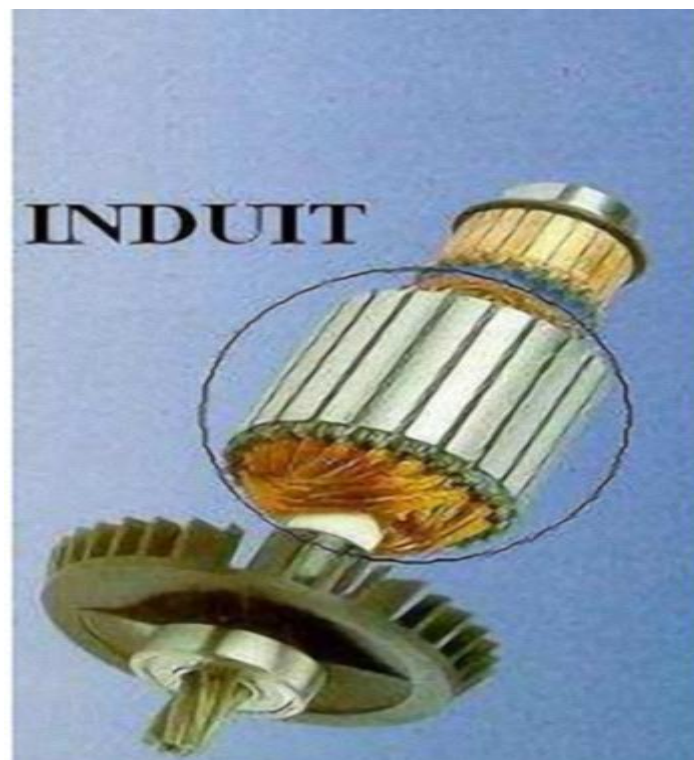
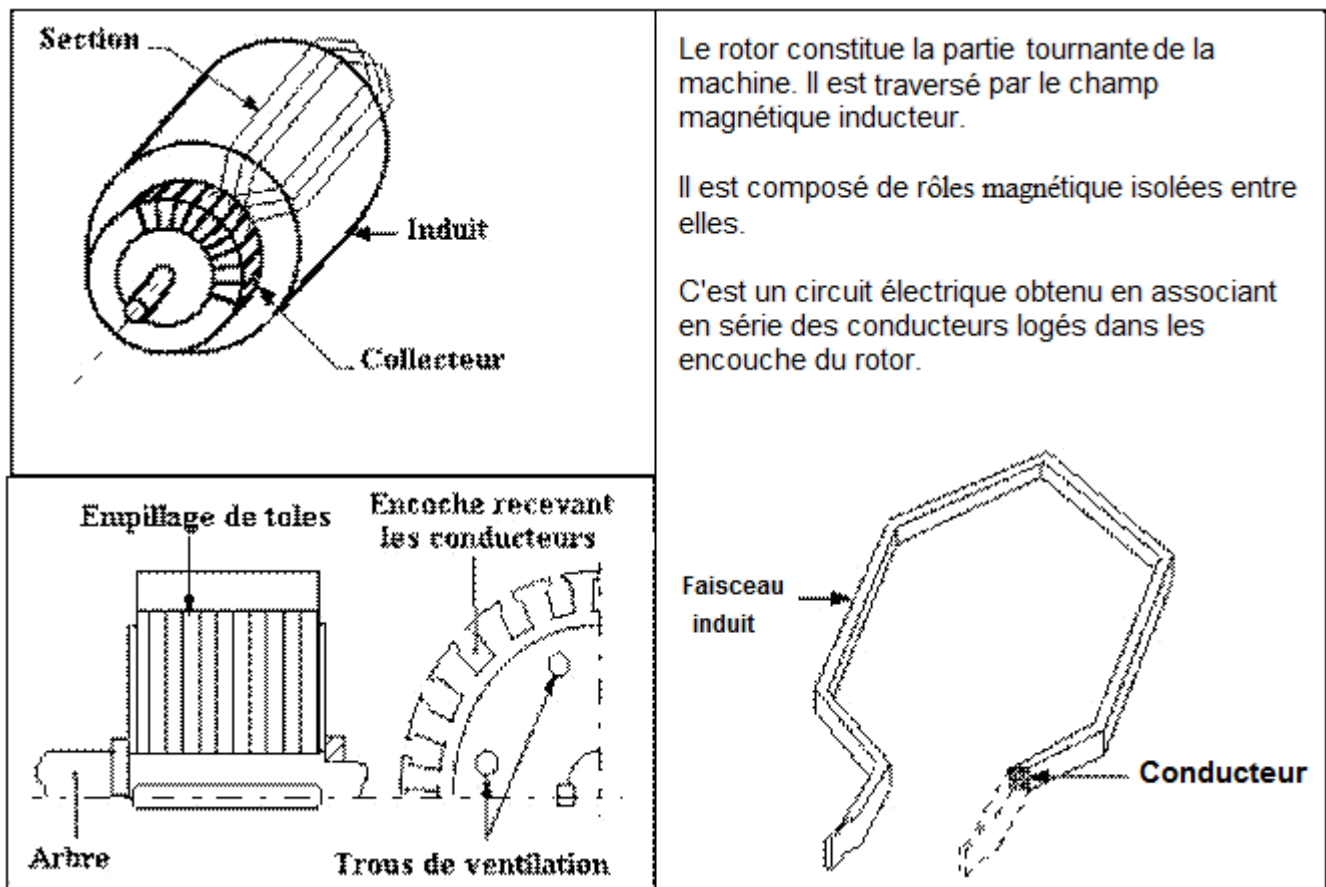


Figure -3- l'induit

3)- Collecteur et balais :

Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre où sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit.

Les balais (ou charbons) sont situés au stator et frottent sur le collecteur en rotation.

Les dispositifs collecteur / balais permet donc de faire circuler un courant dans l'induit.

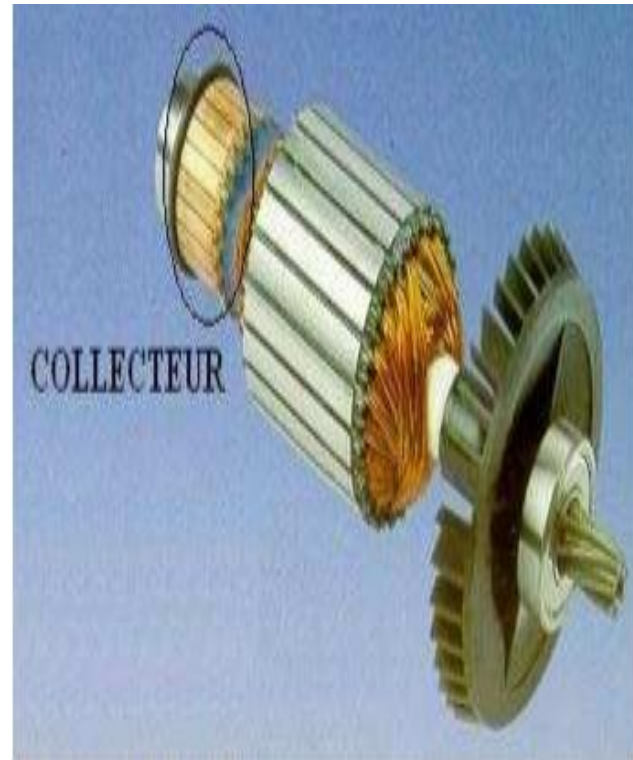
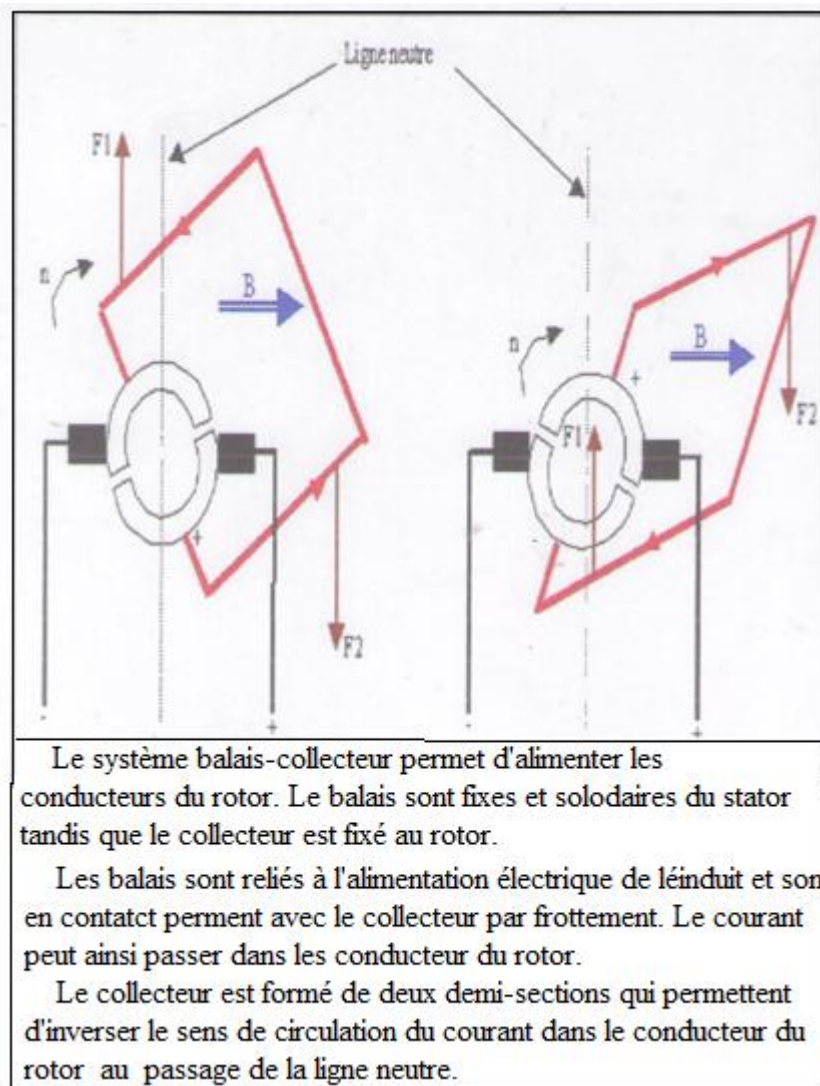


Figure -4- Collecteur et balais

III)- les différents types de moteur :

1)- moteur à excitation séparée :

Les bobinages induit et inducteur sont connectés en parallèle. L'inversion du sens de rotation s'obtient en général par inversion de la tension d'induit.

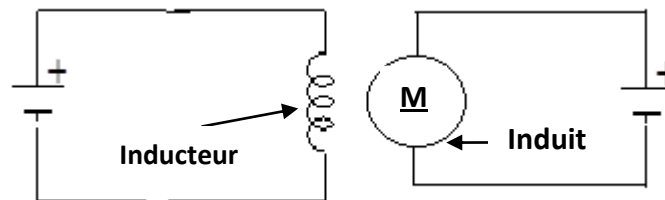


Figure -5- moteur à excitation séparée

2)- moteur à excitation série :

Ce moteur est de construction assemblage à celui de moteur à excitation séparée. Le bobinage inducteur est connecté en série avec bobinage induit, d'où son appellation. L'inversion du sens de rotation est obtenue par inversion des polarités de l'induit ou de l'inducteur.

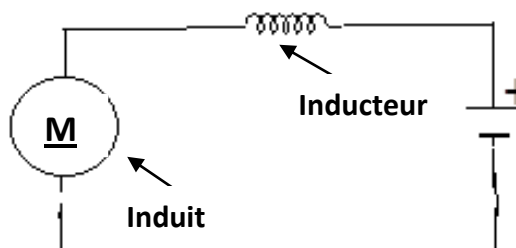


Figure -6- moteur à excitation série

IV) – modèle équivalent du moteur :

1)- La force contre électromotrice :

Un moteur en rotation présente une force contre électromotrice noté E aux bornes de l'induit :

$$E = \frac{P}{a} \cdot N \cdot n \cdot \Phi$$

- **E** : f.é.m en V
- **N** : nombre de conducteurs de l'induit
- **n** : vitesse de rotation en tours par seconde (tr/s)
- **Φ** : flux inducteur en webers (Wb)
- **P** : nombre de voies d'enroulement

2)- Schéma équivalent du MCC :

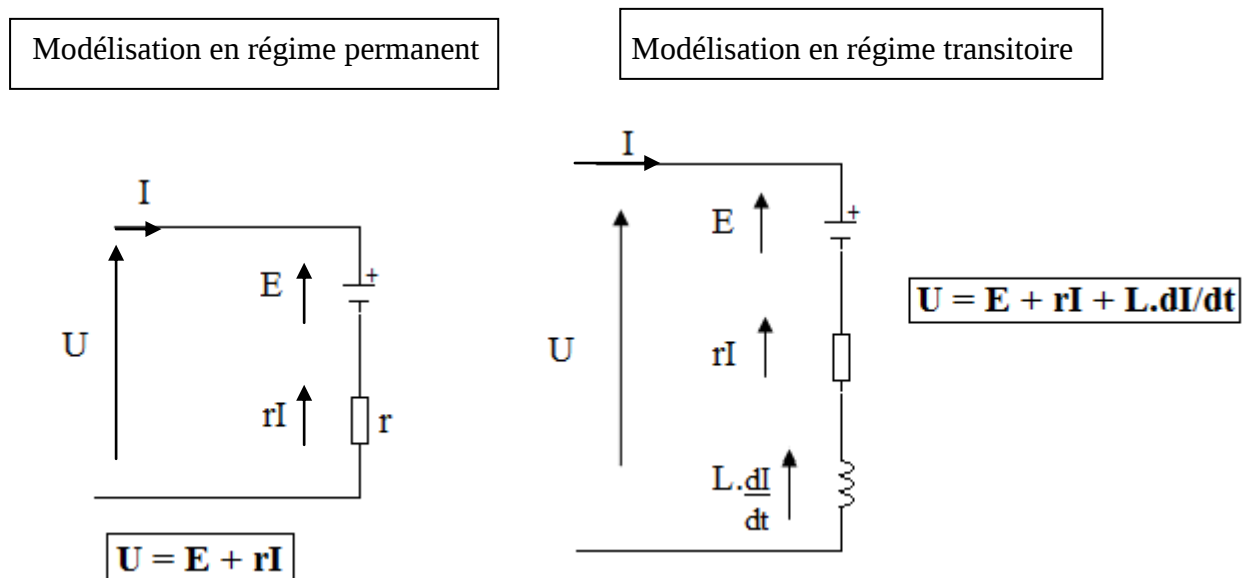


Figure -7- Schéma équivalent du MCC

- **r** : Résistance interne du moteur caractérisant la résistance du bobinage de l'induit.
- **L** : Inductance interne du moteur caractérisant l'inductance du bobinage de l'induit.

En régime permanent : le courant qui circule dans le moteur est constant donc la chute de tension aux bornes de l'inductance interne du moteur est nulle. $L \frac{di}{dt} = 0$ donc $U = E + rI$

V)- Caractéristique du moteur :

1)- La vitesse de rotation :

D'après ce qui précède :

- $U = E + rI$
- $E = k.n.\Phi$ avec $k = p \frac{N}{a}$

En supposant le flux Φ constant on peut admettre que la force contre-électromotrice est proportionnelle à la vitesse de rotation.

$$E = K.\Omega$$

- Ω : vitesse de rotation en rad/s ; $\Omega = \frac{n}{2\pi}$
- $K = p \frac{N2\pi}{a}$

$$\Omega = \frac{(U - rI)}{K}$$

Donc si l'on néglige la chute de tension due à la résistance de l'enroulement rI on peut admettre que la vitesse de rotation d'un moteur à courant continu est proportionnelle à sa tension d'alimentation d'induit .

$$U = E + rI = K.\Omega \text{ donc :}$$

$$\Omega = \frac{U}{K}$$

2)- La puissance électromotrice :

La puissance électromotrice notée P_{em} en Watts : $P_{em} = E.I$

3)- Le couple électromoteur :

Le couple électromoteur notées T_{em} en N.m : $T_{em} = K.I$

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{E.I}{\Omega} = \frac{k.n.I}{\Omega} = K.I \text{ donc } T_{em} = K.I$$

4)- La puissance absorbée :

- Par l'induit $P = UI$
- Par l'inducteur $p = ui$

La puissance absorbée totale par le moteur en Watts : $P_a = P + p = UI + ui$

$$P_a = UI + u$$

U, I : tension et courant d'induit

U, i : tension et courant de l'inducteur

5)- Puissance utile (mécanique) :

La puissance mécanique notée P_u : $P_u = \frac{T_u \Omega}{\Omega}$

- T_u : couple utile disponible sur l'arbre moteur en **N.m**
- Ω : vitesse de rotation en **rad/s**

6)- Rendement du moteur

Le rendement noté η : $\eta = \frac{P_u}{P_a}$

η s'exprime en %

VI)- Bilan de puissance :

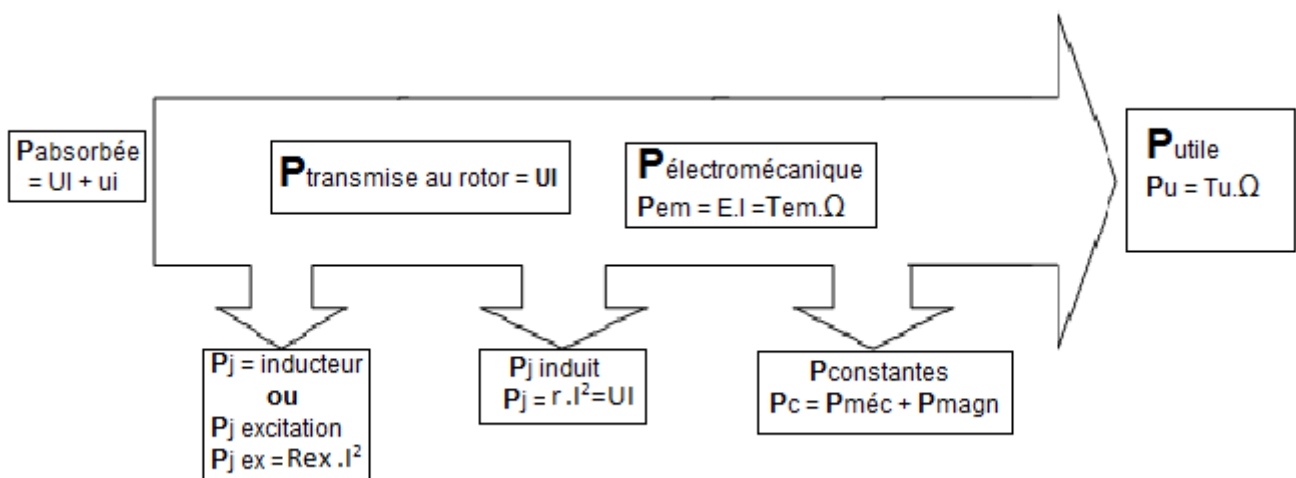


Figure - 8 - bilan de puissance

1)- pertes joules inducteur ou d'excitation :

Elles traduisent l'énergie dissipée dans le bobinage inducteur. $P_{j_{ex}}: R_{ex}.i^2 = u_i$

- **R_{ex}** : étant la résistance du bobinage inducteur.

2)- pertes joules induit :

Elles traduisent l'énergie dissipée dans le bobinage induit. $P_{j_i}: r.I^2$

- **R** : étant la résistance du bobinage induit

3)- les pertes constantes :

C'est la somme des pertes mécanique (frottement) et des pertes magnétiques (Foucault et hystérésis). Ces pertes sont supposées constantes quel que soit le point de fonctionnement du moteur.

VII)- réversibilité de la machine à courant continu :**1)- principe :**

Si on place un conducteur du rotor(induit) dans le champ magnétique produit par le stator (inducteur), et que l'on déplace ce conducteur, il est le siège d'un courant induit On a donc créé un générateur de courant. La machine à courant continu fonctionne alors en générateur, c'est le principe de la dynamo.

2)- fonctionnement dans les quatre quadrants :

La machine à courant continu est fondamentalement réversible. Ainsi en fonction du signe de la puissance absorbée elle peut fonctionner en moteur ou en générateur (frein). On définit ainsi quatre quadrants de fonctionnement pour la machine.

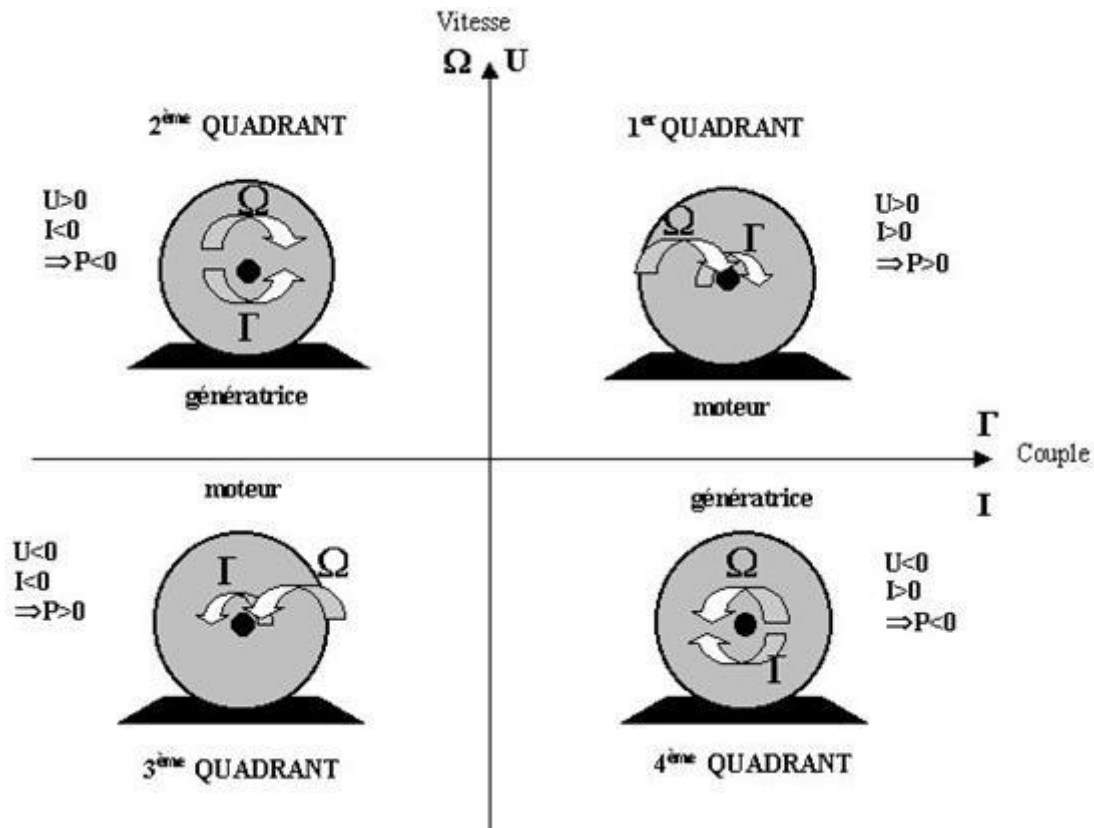


Figure -9- fonctionnement dans les quatre quadrants

Par exemple lors d'un déplacement horizontal (cas d'un train), la machine fonctionne : à l'aller, en moteur dans le quadrant 1

- puis au retour, toujours en moteur dans le quadrant 3, et entre ces deux cas, le ralentissement forcé.

Jusqu'à l'arrêt s'effectue dans le deuxième quadrant pour l'aller et dans le quatrième quadrant pour le retour.

VIII)- la plaque signalétique du moteur :

La plaque signalétique spécifie les valeurs du point de fonctionnement nominal (point pour lequel le moteur fonctionne normalement). On trouve sur la plaque signalétique des différentes informations :

- Puissance nominale
- Vitesse nominale
- Tension et courant d'induit
- Tension et courant d'excitation

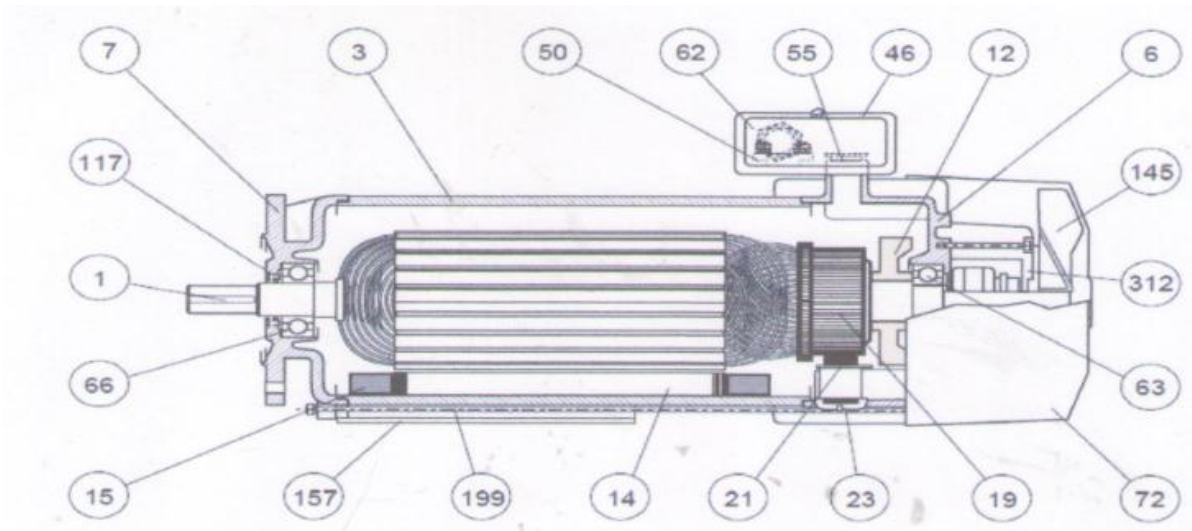


Figure -10- Structure de la machine industrielle

Rep.	Qté	Désignation	Rep.	Qté	Désignation
1	1	Rotor complet bobiné	50	1	Planchette à bornes
3	1	Carcasse non bobinée	55	1	Presse étoupe intérieur
6	1	Flasque côté collecteur	62	1	Socle de boîte à bornes + presse étoupe
7	1	Flasque côté accouplement	63	1	Roulement jeu C3 côté collecteur
12	1	Brasseur d'air	66	1	Roulement jeu C3 côté accouplement
14	2	Masses polaires	72	1	Capot de ventilation
15	2	Bobines de masses polaires	117	1	Joint d'étanchéité
19	1	Collecteur	145	1	Ventilateur extérieur
21	2	Balais	157	1	Patte de fixation démontable
23	2	Porte-balais	199	4	Tige de montage
46	1	Couvercle de boîte à bornes	312	1	Dynamo tachymétrique

9-protection des moteurs :

Tout récepteur peut être le siège d'un certain nombre d'incidents mécanique au électrique afin d'éviter que ceux - ci n'entraînent sa détérioration ainsi que l'ensemble de l'équipement automatique qui le commande et perturbent le réseau d'alimentation il est indispensable de le protéger les perturbations peuvent être dangereuse pour le personnel et pour le matériel, il est donc nécessaire de prévoir des moyens de protection. Les perturbations les plus courants sont :

- les surtensions
- les chutes de tensions
- les surintensités.
- L'absence de phase.

1- Protection de moteur cc à excitation séparé :

- Sonde de température pour surveillance surchauffe moteur (suite à l'entrée en action thermocontact du moteur).
- Deux micros contact situent sur les supports des portes balais pour la surveillance la longueurdes balais.
- Capteur de courant d'air pour surveillance de débit d'air du ventilateur pour refroidissement lemoteur à courant continu.

CHAPITRE II

La régulation de moteur à courant continu

Introduction :

La tâche principale de la régulation d'un système est de lui assurer certaines performances telles que : la stabilité, la précision, avec un caractère du régime transitoire et une qualité dynamique de l réglage lui permettant de donner de meilleurs résultats.

L'une des méthodes de régulation les plus employées est la régulation en cascade qui consiste en l'emploi de plusieurs chaînes de réglage et chaque chaîne prend en charge un paramètre à régler ou bien un paramètre intermédiaire, principal pour le résultat de la régulation.

Cette méthode est très avantageuse car :

- Ce type de régulation diminue le temps de réponse, car les chaînes réduisent les constantes de temps.
- L'influence de la perturbation est compensée, sinon, réduite par les boucles internes (sans provoquer de variations sur la grandeur de sortie).
- Elle permet de réduire l'ordre du système.
- Si une perturbation surgie au niveau d'une boucle interne, elle est prise en charge par cette boucle.

Pour arriver à obtenir les performances exigées par le système on est amené à lui insérer des organes correcteurs qui rétabliront la grandeur dès qu'elle s'écarte de ses limites.

Le principe de la régulation en cascade est que chaque boucle est utilisée pour une variable à contrôler. La boucle la plus externe contrôle la variable asservie principale.

Le schéma d'organisation de ce type de commande est représenté sur la **figure (1)**.

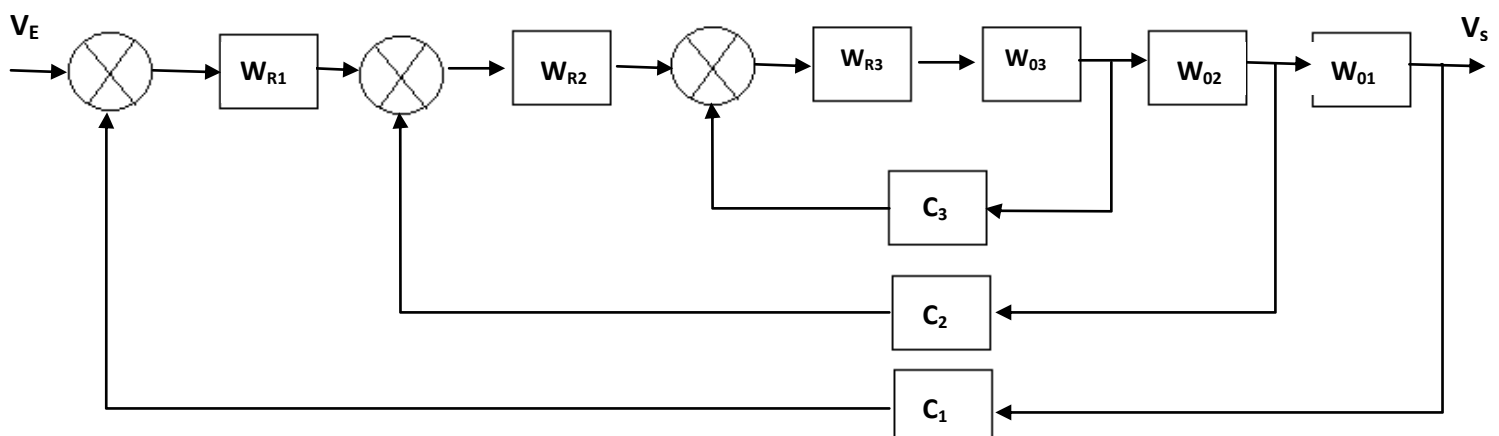


Figure-1- : schéma fonctionnel d'une régulation en cascade

Où :

$W_{oi}(p)$: Fonction de transfert des organes à régler

$W_{Ri}(p)$: Fonction de transfert des organes de réglage (Régulateur)

V_e : Signal d'entrée (référence)

V_s : Signal de sortie

II- Les régulateurs :

Destinés à corriger les signaux erronés (erreurs) provoqués par des perturbations (internes ou externes), déviant ainsi la grandeur principale de sa valeur prescrite. Ils sont constitués essentiellement d'amplificateurs opérationnels courant continu (AOP), de résistances et de capacités insérées dans le circuit d'entrée et le circuit de contre-réaction de AOP.

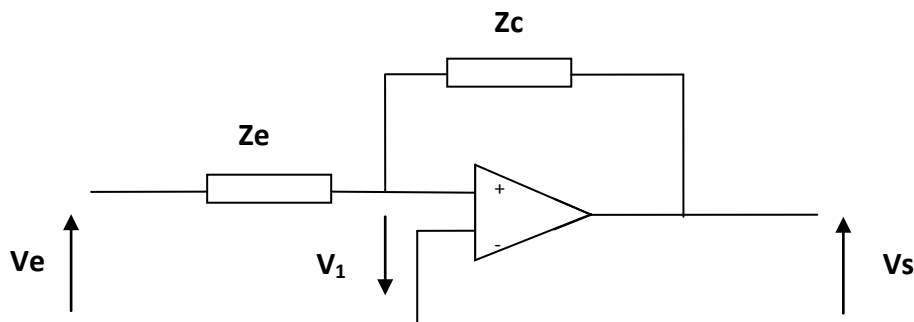


Figure-2- : schéma principe de régulation

Ces organes obéissent à une seule et même loi de commande :

$$U(t) = K_r \cdot e(t) + \frac{K_r}{T_i} \int_0^t e(t) \cdot dt + K_r \cdot T_d \cdot \frac{d e(t)}{dt}$$

Dont les actions de régulation peuvent être :

-Action proportionnelle P : en ayant

$$T_i \longrightarrow \infty \text{ et } T_d = 0$$

- Action proportionnelle - intégrale PI en ayant :

$$T_d = 0$$

- Action proportionnelle dérivée PD en ayant :

$$T_i \longrightarrow \infty$$

-Action proportionnelle -intégrale dérivée (PID) avec l'action de toutes les constantes (action par avance de phase).

III- Détermination de la fonction de transfert d'un M.C.C :

Pour le circuit d'induit du moteur on adopte l'équation :

$$\Delta E = U - E_m = I_{ind} \cdot R_{ind} + L_{ind} \frac{d I_{ind}}{dt}$$

Où :

U : Tension d'alimentation

E_m : Force électromotrice de moteur a

I_{ind} : R_{ind} et L_{ind} Courant, Résistance et Inductance de l'induit :

$$\frac{\Delta E}{R_{ind}} = I_{ind} + \frac{L_{ind}}{R_{ind}} \cdot \frac{d I_{ind}}{dt}$$

Donc si on applique la transformation de Laplace nous aurons :

$$\frac{\Delta E}{R_{ind}}(p) = I_{ind}(p)(T_e \cdot p + 1)$$

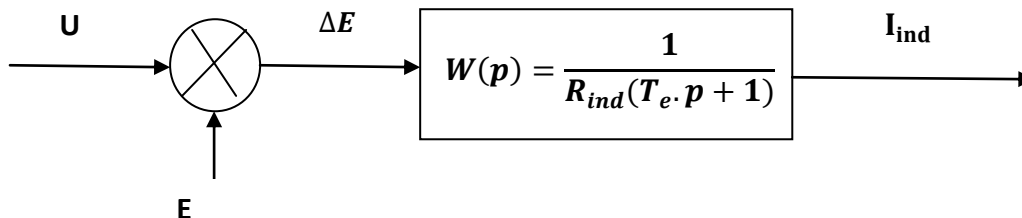
Où :

$$T_e = \frac{L_{ind}}{R_{ind}}$$

T_e : Constante de temps électromagnétique de l'induit

La fonction de transfert de moteur pour échelon de tension sera :

$$W(p) = \frac{1}{R_{ind}(T_e \cdot p + 1)}$$



Les performances dynamiques de la machine sont déduites de l'équation des couples :

$$J \frac{d\omega}{dt} = C_m - C_s = K\phi(I_m - I_s) = K\phi \cdot \Delta I_{ind}$$

Où :

J : Moment d'inertie.

C_m, I_m : Couple moteur et courant moteur .

C_s, I_s : Couple statique et courant de régime .

Ø : Flux d'excitation de moteur.

La forme opérationnelle de cette dernière expression donne :

$$J \cdot p \cdot \Omega(p) = K \cdot \Phi \cdot \Delta I_{ind}(p)$$

$$\Rightarrow \Delta I_{ind}(p) = \frac{J \cdot p \cdot \Omega(p)}{K \Phi}$$

En multipliant les deux termes par : $R_{ind} \cdot K \cdot \Phi$ on aura :

$$\frac{J \cdot p \cdot R_{ind} \cdot K \cdot \Phi}{K^2 \Phi^2 R_{ind}} \Omega(p) = \Delta I_{ind}(p)$$

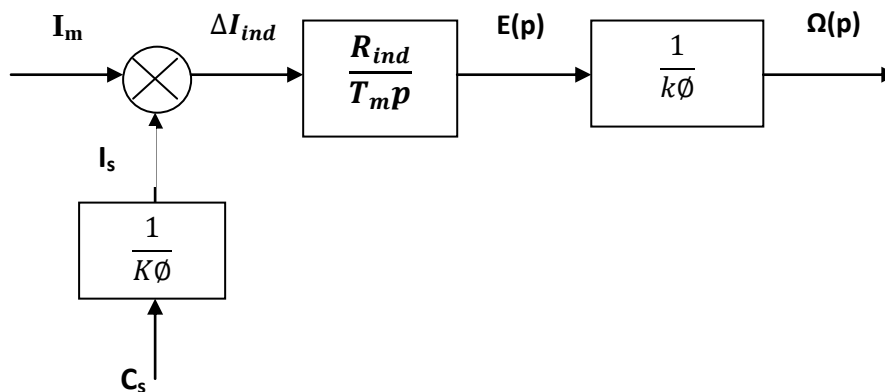
Où nous désignons :

Comme constante électromécanique du moteur :

$$T_m = \frac{J \cdot R_{ind}}{K^2 \Phi^2}$$

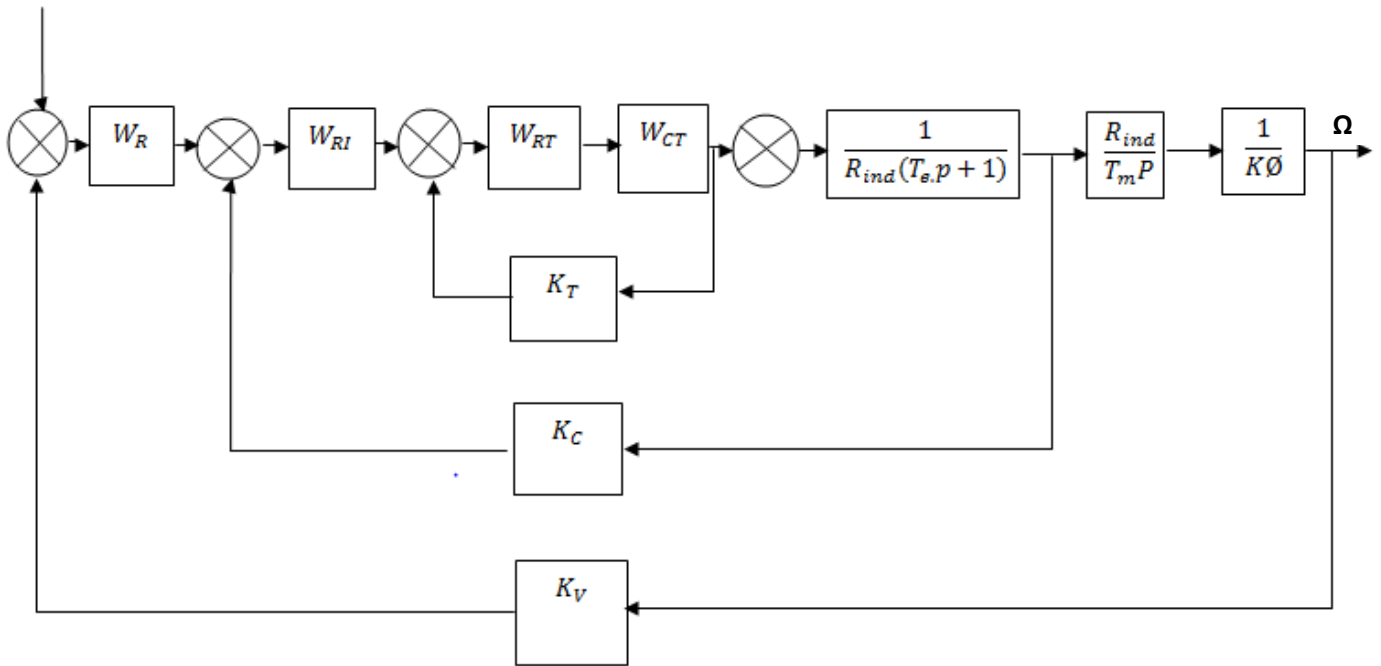
Dans ce cas la fonction de transfert de cette partie est:

$$W_m(p) = \frac{R_{ind}}{T_m \cdot p}$$



Si on regroupe les deux schémas précédents dans une même représentation schématique on aura :

Suivant le schéma fonctionnel de la machine à courant continu et le schéma commun d'une régulation à boucles multiples, on peut représenter le schéma fonctionnel du cas qui se présente et sera l de forme suivante :



Où :

W_{CT}, W_{RI}, W_{RT} : respectivement les fonctions de transfert des régulateurs de vitesse de courant et de tension.

$K_T ; K_C ; K_V$: gain des capteurs de tension, de tension et de vitesse.

$$W_{CT}(p) = \frac{K_{CT}}{T_{CT} \cdot p + 1}$$

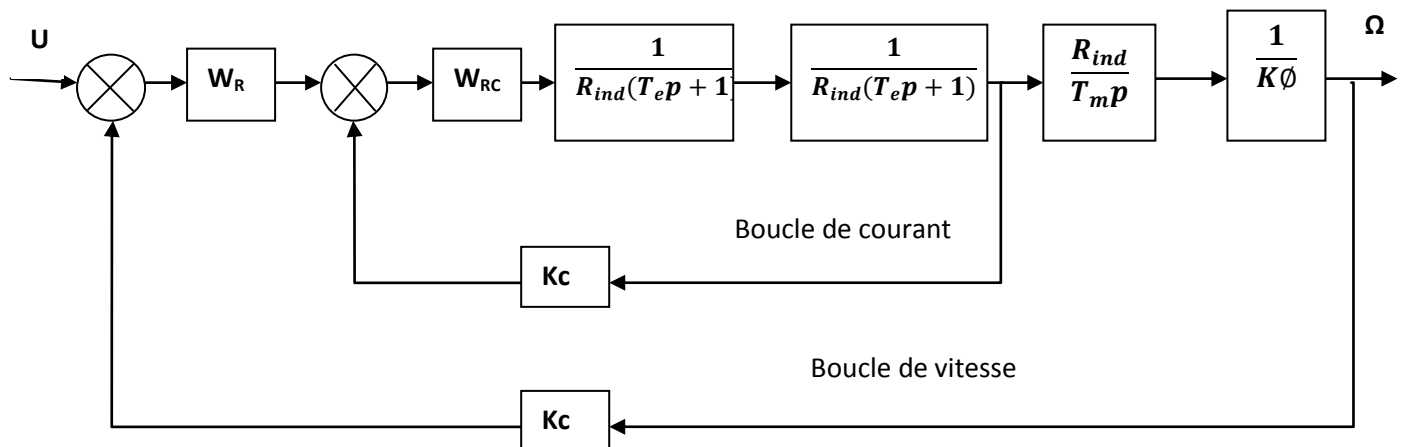
Le convertisseur à thyristors possède une fonction de transfert de premier ordre W_{CT} .

Où :

K_{CT} : coefficient d'amplification du convertisseur

T_{CT} : sa constante de temps.

La synthèse d'un tel système, peut s'effectuer en éliminant la chaîne de la f.e.m (boucle de tension) ce qui nous permet d'obtenir un schéma plus simplifié suivant :



L'élimination d'une boucle, sous-entend la substitution de la fonction de transfert du moteur

$$W'_m(p) = \frac{K_m}{T_{ep}(T_m \cdot p + 1)}$$

De plus, si au moins un régulateur à action intégrale, sera placé dans la chaîne

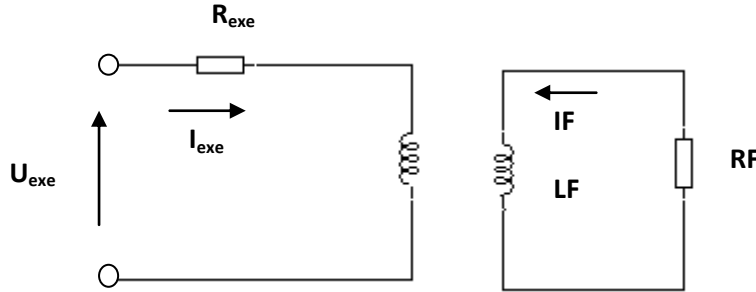
D'action du système, alors l'erreur n'aurait pas lieu.

IV- Système de réglage à boucles multiples :

Pour la machine à courant continu, le réglage de sa vitesse de rotation est réalisé Principalement à l partir de la variation d la tension d'alimentation de l'induit et la variation du flux d'excitation du moteur. Ce dernier type de réglage est utilisé lorsqu'on a besoin de démarrer le moteur jusqu'à une I vitesse supérieure à celle Nominale. Donc on démarre d'abord par accroissement de la tension d'induit Ensuite Par diminution du flux.

V- Fonction de transfert du moteur avec échelon de la tension d'excitation :

En se basant sur le schéma équivalent du circuit d'excitation représenté ci-dessous, On peut Déterminer cette fonction de transfert de la manière suivante :



Où :

R_{exc} , L_{exc} : résistance et inductance des enroulements d'excitation.

R_F , L_F ; résistance et inductance des courants de Foucault

$$M = \sqrt{L_{exc} \cdot L_F}$$

M : inductance mutuelle.

D'après le schéma équivalent, on peut écrire les équations suivantes (sous la forme opérationnelle) :

$$\begin{cases} U_{exc}(p) = I_{exc}(p) \cdot R_{exc}(T_{exc} \cdot p + 1) - M \cdot p \cdot I_F(p) \\ M_p I_{exc}(p) = I_F(p) \cdot R_F(T_F p + 1) \end{cases}$$

Où :

$$T_{exc} = \frac{L_{exc}}{R_F} \text{ constante de temps de l'enroulement fictif.}$$

On voudra obtenir la fonction d transfert, liée à la tension au courant correspondant, ainsi nous avons

$$U_{exc}(p) = I_{exc}(p) \cdot R_{exc}(T_{exc} \cdot p + 1) - \frac{M^2}{R_F(T_F \cdot p + 1)} p^2 I_{exc}(p)$$

Où :

$$M = \sqrt{L_{exc} \cdot L_F}$$

On détermine alors l'expression souhaitable :

$$I_{exc}(p) = \frac{L \cdot T_F \cdot p + 1}{R_{exc}((T_{exc} + T_F)p + 1)}$$

En tenant compte des courants de Foucault, on arrive à deux équations :

$$\begin{cases} \frac{d\phi}{dt} = L_{exc} \cdot \frac{dI_{exc}}{dt} - M \frac{dI_F}{dt} \\ \frac{M dI_{exc}}{dt} = L_F \frac{dI_F}{dt} + I_F \cdot R_F \end{cases}$$

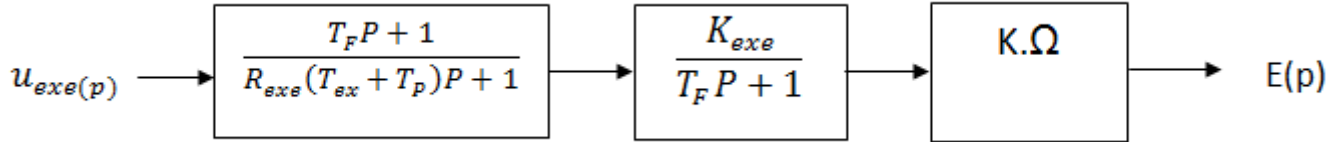
Dans l domaine de la place ces équations s'écrivant comme suite :

$$\begin{cases} \phi(p) \cdot p = L_{exc} \cdot I_{exc} \cdot p - M \cdot p \cdot I_F(p) \\ M \cdot p \cdot I_{exc}(p) = L_F I_F(p)(pT_F + 1) \end{cases}$$

Après quelque transformations on obtienne :

$$\phi(p) = \frac{L_{exc}}{T_F \cdot p + 1} \cdot I_{exc}(p)$$

Le schéma structural du moteur à partir des expressions écrites ci- dessus est le coefficient d'amplification K_{exc} peut être déterminé à partir de la courbe d'alimentation du moteur.



Où : $E(p)$: f.e.m du moteur

VI- Système avec réactive négative de la f. e. m :

Des capteurs de courant et de tension appliqués à l'induit du moteur, on a :

$$U_{Cn} = K_n . U_{ind}$$

$$U_{CC} = K_{CC} . I_{ind}$$

Ou :

U_{Cn} : Tension de sortie du capteur de tension

K_n : Coefficient d'amplification du capteur de tension

U_{CC} : Tension de sortie du capteur de courant

K_{CC} : Coefficient d'amplification du capteur de courant

Si l'on branche à la sortie du capteur de Vitesse, un circuit du premier ordre dont la constante se g temps est égale à celle de l'induit du moteur, on aura :

$$\begin{aligned}
 U &= U_{CU} - U_{CC} = \frac{K_U}{T_e p + 1} . U_{ind} - K_{CC} . I_{ind} \\
 &= \frac{K_U}{T_e p + 1} \left[U_{ind} - \frac{K_{CC}}{K_U} . I_{ind} (T_e p + 1) \right]
 \end{aligned}$$

On choisit les coefficients d'amplification des capteurs de telle façon que :

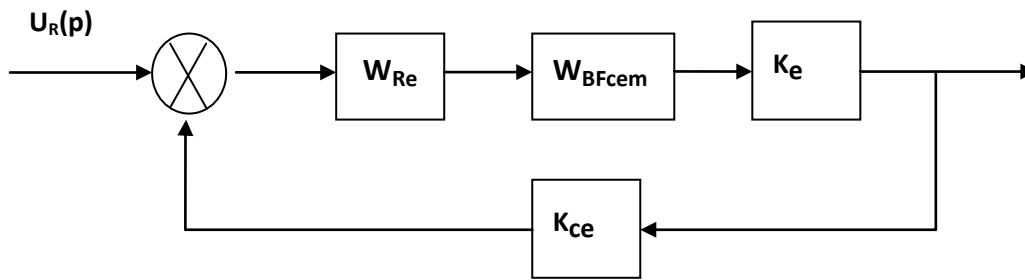
$$\frac{K_{CC}}{K_U} = R_{ind}$$

Ainsi la différence des deux tensions est proportionnelle à la f. e. m et par conséquent à la Vitesse de rotation du moteur, on a :

$$U = \frac{K_U}{T_e \cdot p + 1} \cdot E_m(p)$$

Où : $E_m(p)$: f e m du moteur.

Donc le schéma fonctionnel correspondant au calcul est représenté sur la figure suivante :



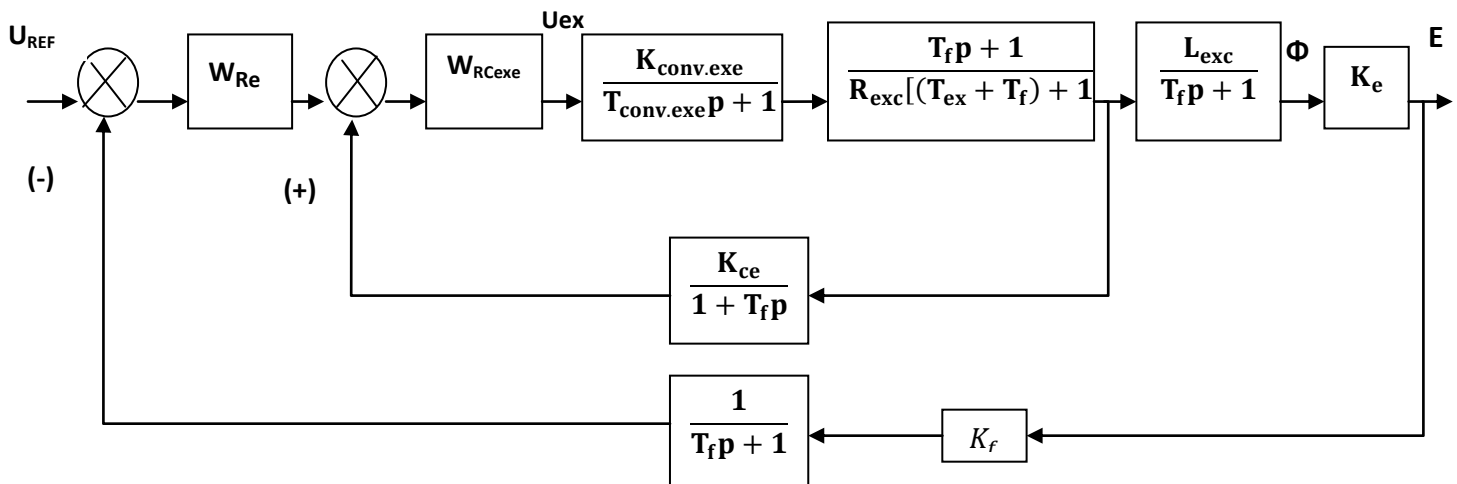
K_e : Coefficient dépendant de la Vitesse de rotation.

K_{ce} : Coefficient d'amplification de force électromotrice

W_{Re} : Fonction de transfert du régulateur du f e m

W_{BFcem} : Fonction de transfert de la boucle fermé

Après cela on peut représenter les deux boucle : de la f e m et du courant d'excitation comme suit :



CHAPITRE III :

Régulation de la vitesse

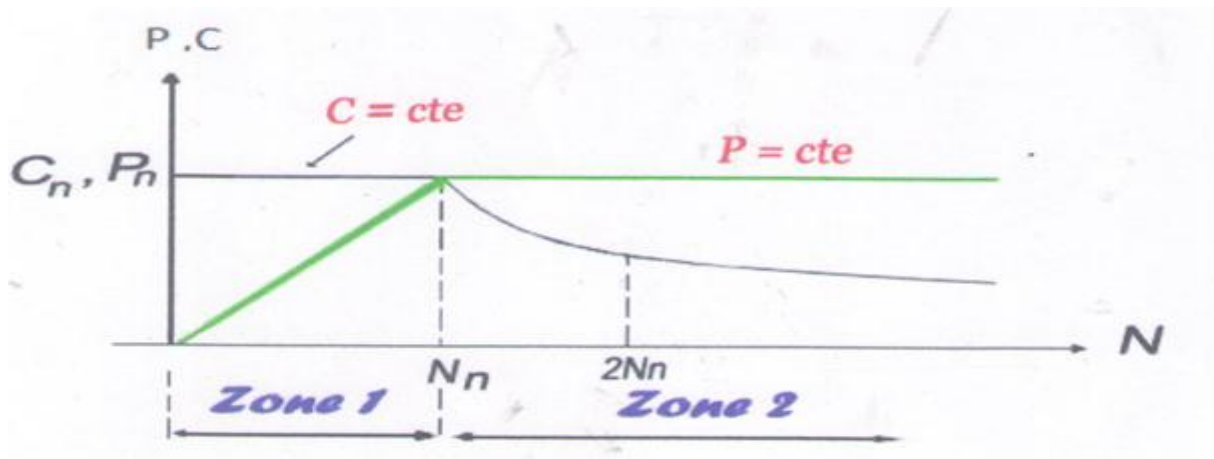
I - différents modes de réglages de la vitesse :

On va étudier les différentes possibilités de variation de vitesse d'un moteur Shunt à courant continu qui entraîne une machine dans couple résistant est constant. D'après l'expression générale de la vitesse avec :

$$N = \frac{1}{k} \frac{U - R_a I}{\phi} \quad \text{Avec } N = \frac{P_n}{\phi}$$

On constate qu'il y a trois paramètres (R_a, ϕ, U) que l'on règle ce qui donne les trois possibilités suivantes

Zone de réglage :



I-1- Réglage Rhéostatique :

La tension et le flux étant à leur valeur nominale. On peut réduire la vitesse en augmentant la résistance de l'induit avec un rhéostat R_h branché en série avec l'induit, on a en paramétrique les relations suivantes $C = K \phi I$.

Avec :

$$N = \frac{1}{k} \frac{U - (R_a + R_h) I}{\phi}, \quad K_2 = \frac{P_n}{2nk}$$

$$K = \frac{P_n}{\alpha} = 2nk$$

$$C - 0.1 - 0, N - \frac{U}{K\phi} \quad N - 0.1 - \frac{U}{R_a + R_h}$$

Pour :

Suivant la relation issue de la loi de Laplace, le couple dépend du flux sous un pôle (Φ en **Wb**), du **I** courant total d'induit (**I** en **A**) et du nombre de conducteurs (**N**). Le nombre de paires de pôles augmente la répétition des phénomènes, donc du couple, tandis que la mise en parallèle des **I** conducteurs dans les voies d'enroulement y diminue le courant donc le couple.

On obtient ainsi un faisceau de droites concourantes (**figure. 1**) Ce type de réglage est mauvais à la fois sur le plan technique et sur le plan économique.

En effet, du point de vue technique les caractéristiques étant concourantes celle-ci deviennent de plus en plus « série », c'est-à-dire qu'avec une résistance insérée, le chute de vitesse augmente avec la charge.

Techniquement, un bon réglage doit entraîner un déplacement des caractéristiques parallèlement à la caractéristique d'origine.

De plus, le réglage est mauvais sur le plan économique, car la consommation de l'énergie dans le rhéostat est d'autant plus importante que la chute de vitesse réclamée est plus élevée. C'est ainsi qu'à g la demi-vitesse, on consomme autant d'énergie dans le rhéostat que dans le moteur.

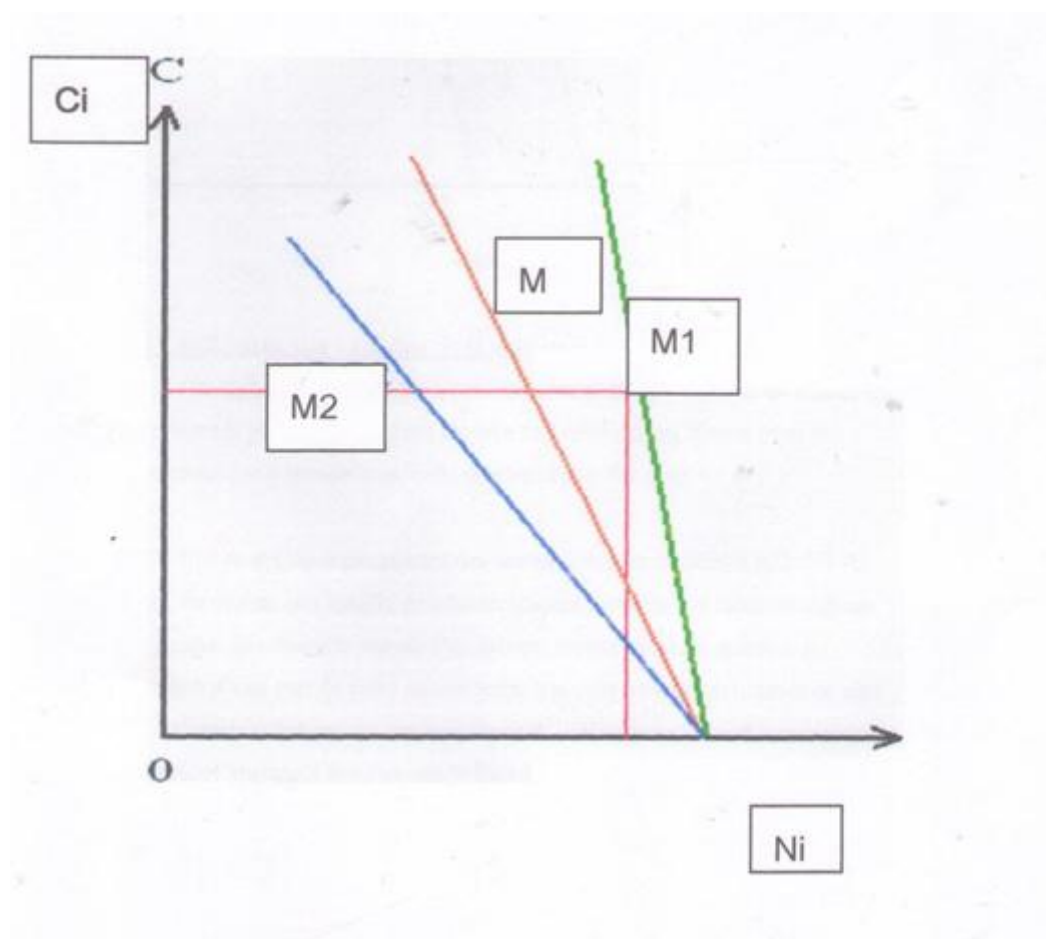


Fig. 1. Courbe de réglage rhéostatique

I-2- Réglage par variation du flux:

Il est important de noter qu'un moteur doit toujours absorber au réseau un courant important pendant son démarrage pour lui permettre de porter à la vitesse nominale toutes les masses qui sont initialement au repos. Dans ces conditions, en vertu de la réaction du couple ($C = K \Phi I$), on a toujours intérêt à appliquer le flux maximal lors du démarrage, ensuite, dès que la vitesse nominale sera atteinte, il sera possible de réduire le flux si on a eu le soin d'insérer dans le circuit de l'inducteur un rhéostat de champ. rhéostat qui était en court-circuit pendant le démarrage. Dans ces conditions, on obtient des caractéristiques qui se déplacent parallèlement à elles-mêmes.

Soit B_s l'induction statorique régnant dans l'entrefer au niveau des pôles. Soit F le flux de B_s à travers l'entrefer sous une pièce polaire. On alimente le circuit rotorique par un courant I continu traversant n conducteurs logés dans les encoches rotoriques.

Le réglage est donc bon du point de vue technique, il est également bon du point de vue économique, car la puissance dissipée dans l'inducteur étant très faible par rapport à la puissance absorbée. Le rendement du moteur ne sera pas modifié. toutefois, il y a lieu de faire les remarques suivantes.

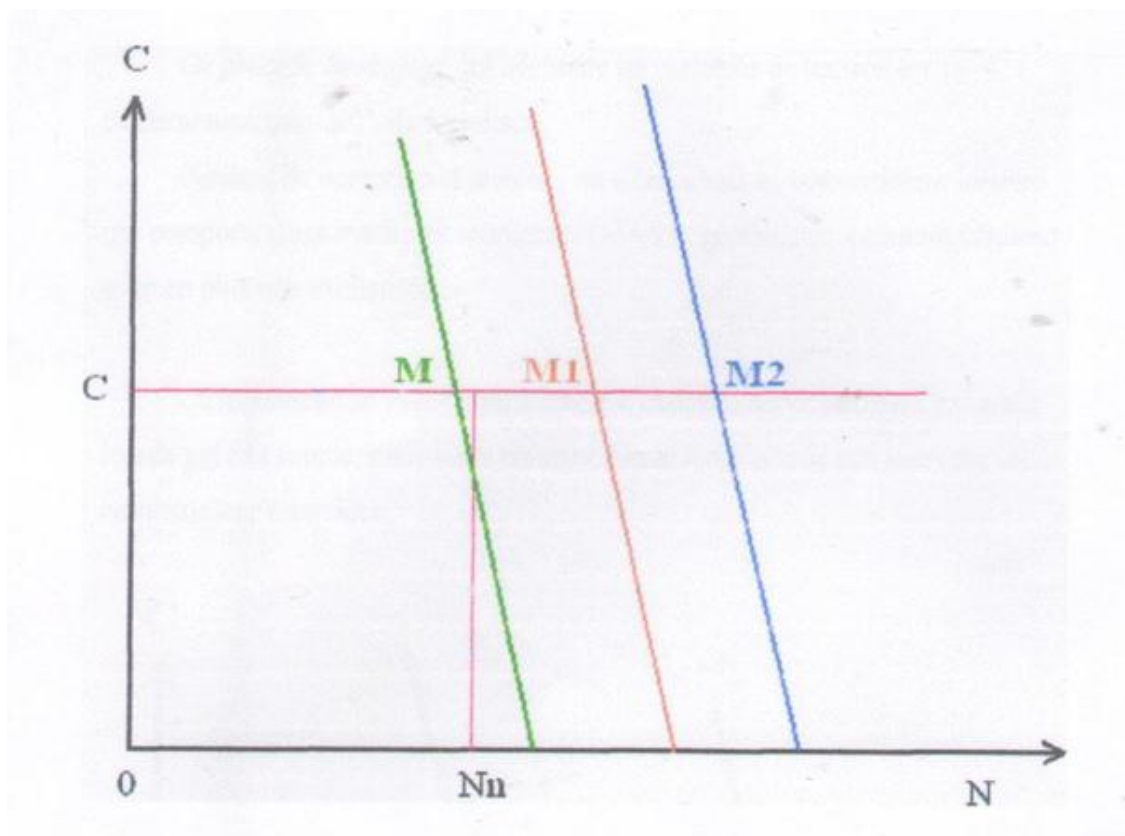


Fig-2- Réglage par variation du flux

I-3- Réglage par variation de la tension :

La vitesse N est proportionnelle à la tension U d'alimentation; c'est le grand intérêt du moteur à courant continu. En inversant U , on peut même le faire tourner en marche arrière. Si R est relativement faible, le moteur en charge absorbant le courant I pour développer le couple $n F I/2p$, tourne pratiquement à la même Vitesse qu'à vide puisque $R I$ et eB restent petits devant $U \gg E$.

Ainsi, développant un couple uniquement fonction du courant absorbé, le moteur à courant continu est l'idéal pour la traction électrique.

On règle le flux à sa valeur maximale en mettant le rhéostat de charge en court-circuit pour que le courant absorbe soit minimal, on obtient ainsi la caractéristique à tension maximale représentée en trait gras.

Si l'on applique maintenant des tensions de plus en faibles ($U_2 < U_1 < U_{\max}$), on obtient une famille de caractéristiques.

Parallèle. Ce mode de réglage qui permet de réduire la vitesse d'un groupe moteur-machine entraîné est excellent d'une part du point de vue technique, car les caractéristiques ne sont pas déformées (elles conservent leur allure shunt), du point de vue économique, car aucune énergie n'étant gaspillée dans le rhéostat, le rendement demeure élevé à toute la Vitesse.

Ce procédé de réglage qui nécessite un variateur de tension est malheureusement difficile à réaliser pendant de nombreuses années, on a fait appel au convertisseur léonard qui comporte deux machines tournantes (MAS et génératrice à courant continu) avec en plus une excitatrice. Ce régulateur de vitesse qui a rendu d'énormes services dans l'industrie lourde est très souple, mais il est coûteux. On le remplace de nos jours par le convertisseur électrique.

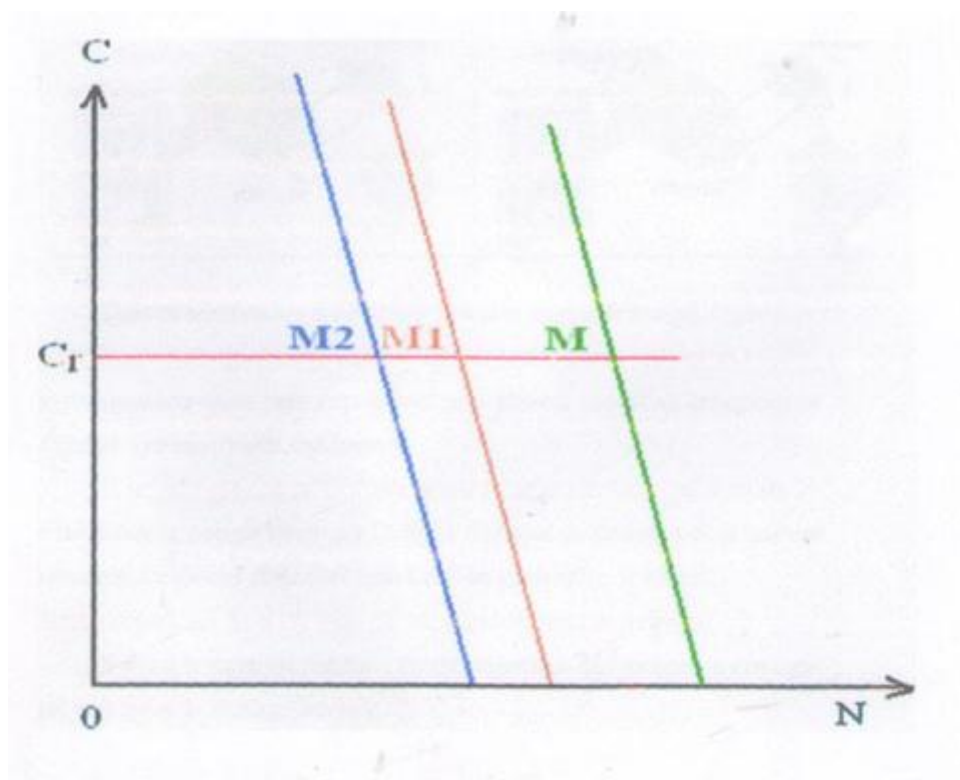


Fig-3- Réglage par variation de la tension

CHAPITRE IV :

**Modélisation de la
machine à courant
continu**

I –introduction :

La machine à courant continu peut être modélisée par le biais d'équations électrique, électromécanique et mécanique.

Ces trois groupes d'équations nous permettront 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 $E_m(t)$ proportionnelle à la vitesse $\omega(t)$.

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

II- équations de la machine à courant continu :

Notons d'abord que dans notre modélisation nous allons utiliser le moteur à courant continu afin d'établir les équations et ce qui s'en suit. Du fait que, par des changements de connexions entre l'induit et l'inducteur on aboutit aux autres types de **MCC** (par rapport à l'excitation) et que les **MCC** sont réversibles, nous pourrions donc obtenir les autres modèles moyennant des modifications à partir du premier.

Le schéma technologique d'une **MCC** est représenté sur la figure suivante :

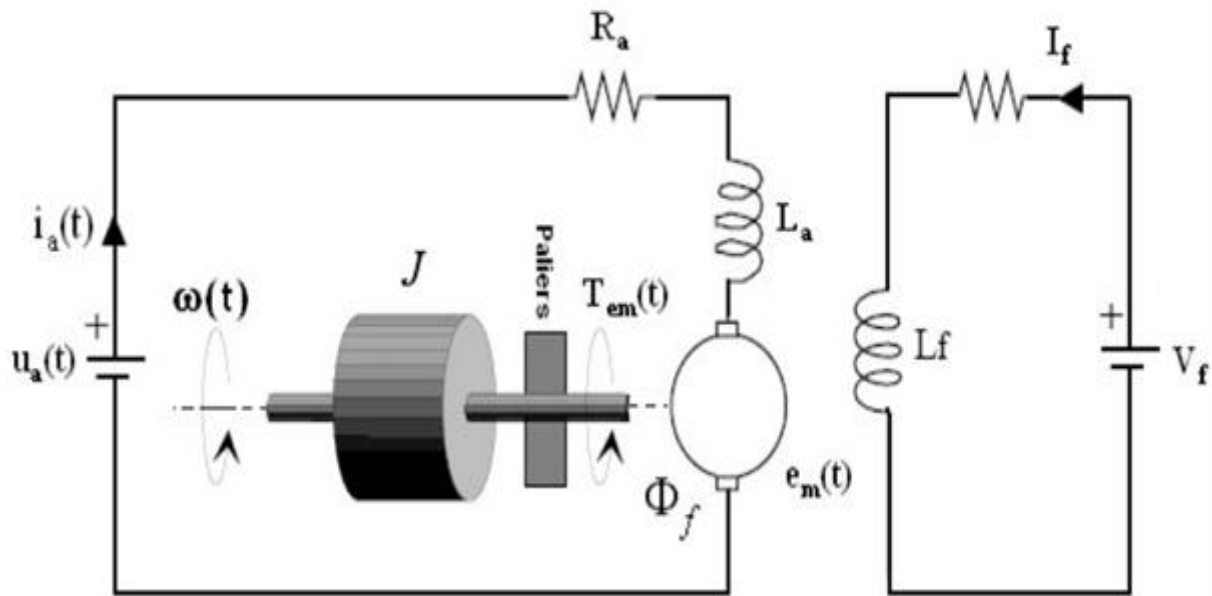


Fig.1 : Schéma d'un entraînement avec une MCC à excitation indépendante

Les signaux y intervenant sont les suivants :

- La tension aux bornes de l'induit $u_a(t)$ (l'indice 'a' correspond à Anker, c'est-à-dire induit en langue allemande) ;
- le circuit électrique de l'induit, faisant apparaître :
- La résistance de l'induit R_a ;
- L'inductance de l'induit L_a ;
- Une tension $e_m(t)$ appelée f.e.m. (force électromotrice), proportionnelle à la vitesse angulaire $\omega(t)$;

Le courant traversant le circuit d'induit $i_a(t)$

- Le couple électromagnétique instantané $T_{em}(t)$ produit ;
- L'inducteur, fixé au stator, créant un flux magnétique d'excitation Φ_f ,
- La charge mécanique, dépendante de l'application (inertie J , frottement visqueux, élasticité de la transmission, etc.) ;

La vitesse $\omega(t)$ du rotor du moteur.

1) Equations électriques :

Prenant en compte la résistance R_a et l'inductance L_a du circuit d'induit, du collecteur, des balais et des connexions, et en les supposant toutes deux constantes (pas de variation due à l'échauffement ni à la saturation magnétique), l'équation de tension induite s'écrit :

$$u_a(t) = R_a \cdot i_a(t) + \frac{d\psi}{dt} = R_a \cdot i_a(t) + \frac{d(N \cdot \phi_f)}{dt}$$

$$u_a(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \frac{di_a}{dt} + e_m(t)$$

2) Equations électromécaniques :

La tension induite $e_m(t)$, appelée F.E.M ("force électromotrice" dans l'optique de l'exploitation en, générateur) est proportionnelle à la vitesse angulaire $\omega(t)$ et au flux inducteur $\Phi_f(t)$:

$$e_m(t) = k \cdot \Phi_f(t) \cdot \omega(t)$$

k est une constante dépendant de la construction de la machine. La première équation montre que $e_m(t)$ s'oppose à $u_a(t)$, c'est à dire que le moteur réagit en créant une F.E.M

$e_m(t)$ tendant à équilibrer à $u_a(t)$, Cet effet correspondra à une contre-réaction bien visible dans le schéma fonctionnel du moteur.

Le couple électromagnétique $T_{em}(t)$ développé a pour expression :

$$T_{em}(t) = k \cdot \Phi_f(t) \cdot i_a(t)$$

• Equation mécanique :

Le moteur en rotation est décrit par l'équation (de la dynamique) d'équilibre suivante :

$$J_t \frac{d\omega}{dt} = T_{em}(t) - B_m \omega(t) - T_r(t) - T_f(t)$$

Où

J_t : inertie totale entraînée (moteur J_m et charge J_c).

B_m : coefficient de frottement visqueux.

T_r : couple résistant.

T_f : couple de frottement de coulomb.

Voilà en somme les équations régissant le fonctionnement du moteur. Mais pour mieux les exploiter, nous allons utiliser leurs transformées de Laplace.

III- transformées de Laplace :

Les transformées de Laplace des équations sont les suivantes :

$$u_a(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \frac{di_a}{dt} + e_m(t) \longrightarrow U_a - E_m = R_a \cdot I_a + s \cdot L_a \cdot I_a$$

$$e_m(t) = k \cdot \Phi_f(t) \cdot \omega(t) \longrightarrow E_m = k \cdot \Phi_f \cdot \Omega$$

$$T_{em}(t) = k \cdot \Phi_f(t) \cdot i_a(t) \longrightarrow T_{em} = k \cdot \Phi_f \cdot I_a$$

$$J_t \frac{d\omega}{dt} = T_{em}(t) - T_r(t) - B\omega(t) - T \longrightarrow T_{em} - T - B\omega(t) - T_f = s \cdot J_t \cdot \Omega$$

IV- schémas blocs :

Les transformées de Laplace obtenues nous permettent de modéliser le moteur sous forme de schéma bloc ou schéma fonctionnel. Ces schémas présentent les fonctions de transfert suivant les paramètres d'entrée et de sortie considérés.

- Si on considère comme grandeur d'entrée la tension appliquée aux bornes de l'induit et comme grandeur de sortie la vitesse du moteur, nous obtenons le schéma bloc tension - vitesse. Ce dernier nous permet de voir l'évolution de la vitesse avec la tension.

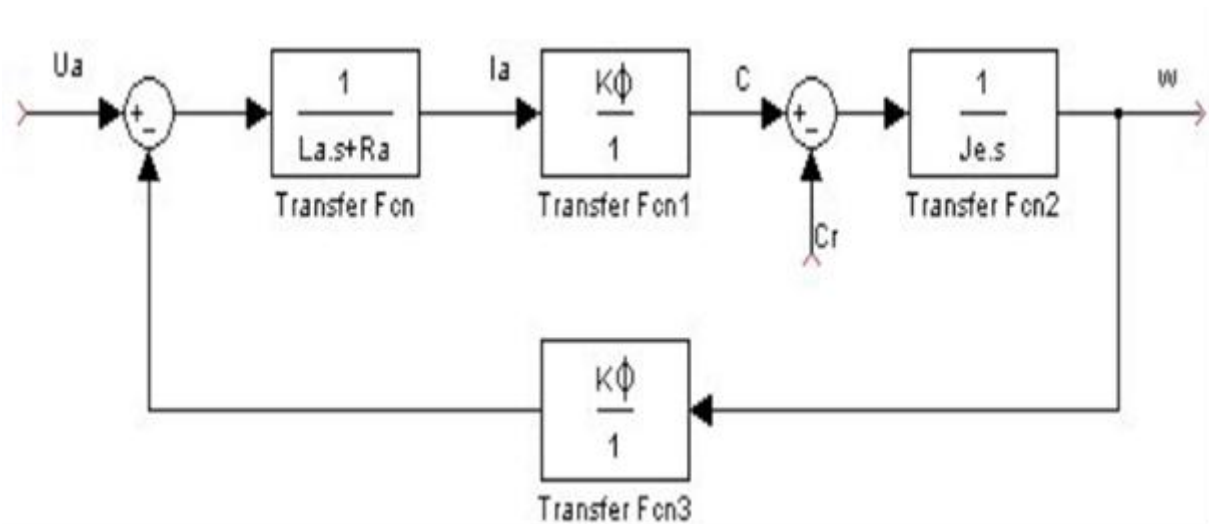


Fig.2 : Schéma bloc tension-vitesse du moteur à courant continu.

- Si le courant à la sortie et gardée toujours la tension à l'entrée on a :

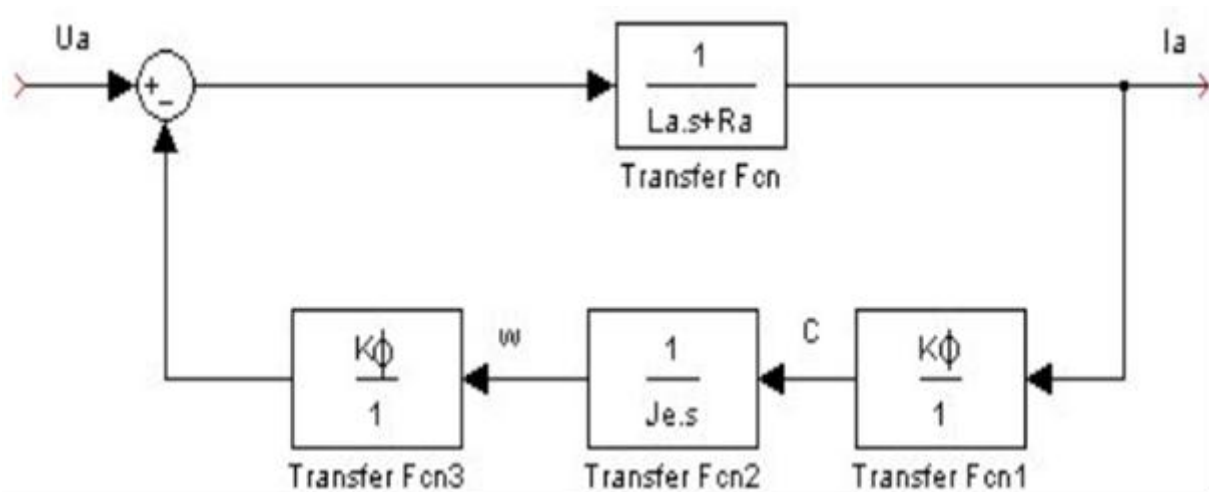


Fig.3 : Schéma bloc tension-courant du moteur à courant continu

CHAPITRE V :

**Simulation et
interprétation des
résultats**

I-1- introduction :

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

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

Les redresseurs à diodes, ou redresseurs non contrôlés, ne permettent pas de faire varier le rapport entre la ou les tensions alternatives d'entrée et la tension continue de sortie. De plus, ils sont irréversibles, c'est-à-dire que la puissance ne peut aller que du côté alternatif vers le côté continu.

Les redresseurs à thyristors, ou redresseurs contrôlés, permettent, pour une tension alternative d'entrée fixée, de faire varier la tension continue de sortie. Ils sont de plus réversibles ; lorsqu'ils assurent le transfert de puissance du côté continu vers le côté alternatif, on dit qu'ils fonctionnent en onduleurs non autonomes.

II-Les Redresseurs :

II-1- Les trois types de montages redresseurs :

Pour obtenir une tension continue, on redresse un ensemble de q tensions alternatives, d'ordinaire supposées sinusoïdales et formant un système polyphasé équilibré (nombre de phases q).

Ces tensions peuvent être les tensions aux bornes d'un alternateur. Généralement, elles sont fournies par le réseau monophasé ou, plus souvent, par le réseau triphasé, d'ordinaire par l'intermédiaire d'un transformateur. On distingue trois types de montages :

Pq : montages avec source en étoile et un seul commutateur ou redresseur "simple alternance"

PDq : montages-avec source en étoile et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source étoilée.

Sq : montages avec source en polygone et deux commutateurs ou redresseurs "en pont" avec source polygonale.

La figure 1 donne le schéma électrique des montages **P3**, **PD3** et **S3**. Ces trois montages sont le plus communément utilisés pour le redressement de tensions triphasées.

Remarque :

L'indication du type (**P**, **PD** ou **S**) suivie de celle du nombre q de phases suffit à caractériser un redresseur.

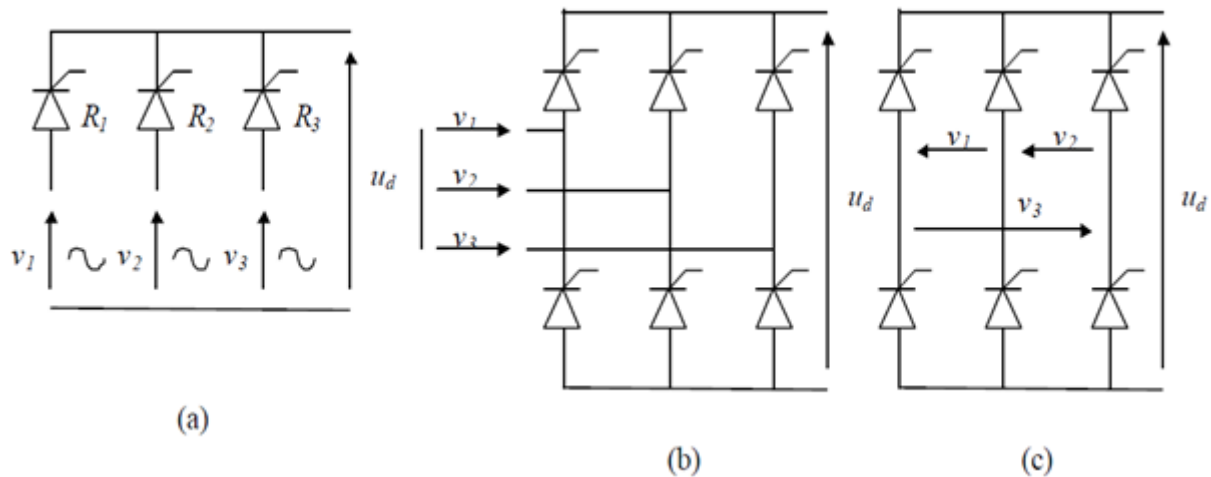


Fig.1 :Redresseurs triphasés. (a) P3. (b) PD3. (c) S3

II-2 Commutation des redresseurs :

Lorsque plusieurs redresseurs ont une électrode commune, on verra que chacun n'est éducatrice que pendant une durée limitée et qu'un seul conduit à chaque instant (lorsque l'on considère les interrupteurs redresseurs comme parfaits).

Si le courant produit par le montage redresseur est ininterrompu, ce qui représente le cas général, cela impose que l'enclenchement d'un redresseur s'accompagne du blocage de celui qui induisait auparavant. La **figure2** montre qu'à l'instant t_1 le redresseur **R2** devient conducteur tandis que **R1** se bloque.

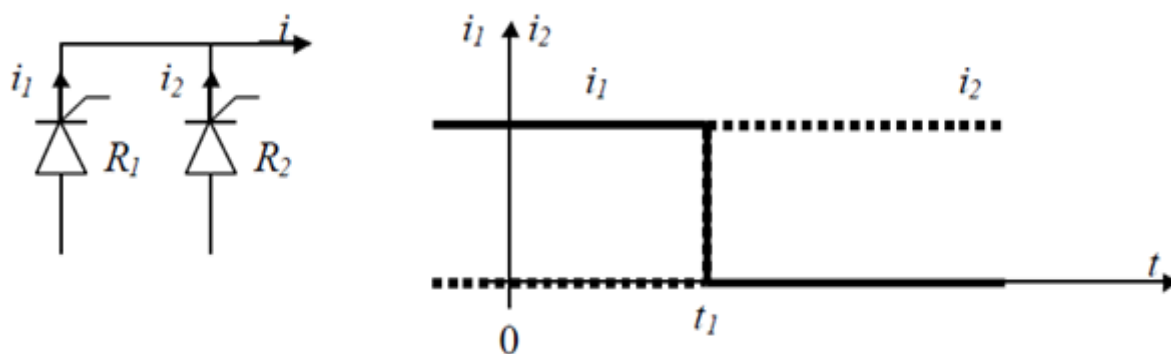


Fig.2: Commutation instantanée des interrupteurs redresseurs

On distinguera plusieurs types de commutation suivant le mode de blocage du redresseur à déclencher :

- Commutations par la charge ou par la source (dite également commutation naturelle) lorsque ce sont des conditions extérieures (et donc naturelles) au convertisseur (tensions ou f.é.m. de la charge ou de la source) qui contraignent au blocage le redresseur conducteur quand un nouveau redresseur s'enclenche ;
- Auto commutation (ou commutation forcée) lorsque le redresseur est commandé quelles que Soient les conditions extérieures (charge ou source).

III- Facteur de forme :

La valeur du facteur de forme caractérise la tension redressée. Plus cette valeur est proche de l'unité, plus la tension obtenue est voisine d'une grandeur continue.

Ce coefficient sert à comparer des montages redresseurs différents entre eux.

Par définition, on nomme facteur de forme le rapport :

$$F = \frac{U_{eff}}{U_0}$$

Avec :

U_{eff} : valeur efficace de la tension considérée.

U_0 : valeur moyenne de la tension considérée.

IV - Principe de l'étude d'un montage :

L'étude d'un montage doit servir, pour le concepteur, à déterminer les caractéristiques de chaque élément constitutif (transformateur, diodes, thyristors,...). Elle doit également permettre de calculer et définir les protections contre des échauffements dus à des surtensions ou sur courants (dus à des court-circuits) éventuels.

On procède en général en quatre étapes :

- **Etude des tensions** : (de l'entrée vers la sortie). En partant des tensions alternatives à l'entrée, on calcule la tension redressée à vide et la tension maximale aux bornes des semi-conducteurs.

Pour cette étude on suppose négligeables les impédances de la source et des éléments du montage, ce qui est réaliste compte tenu des faibles chutes de tension qu'elles occasionnent.

- **Etude des courants :** (de la sortie vers l'entrée). A partir du courant débité supposé continu, on calcule la valeur du courant dans les semi-conducteurs ainsi que dans les enroulements secondaires et primaires du transformateur. Les chutes de tension dues aux impédances citées précédemment sont négligées.
- **Etude des chutes de tension :** A l'aide des courants ainsi déterminés, on peut maintenant calculer les diminutions de la tension redressée dues aux résistances, aux inductances et à la chute de tension interne des semi-conducteurs.

V- différent type de redresseur :

V-I- Redressement non commandé (diodes) :

Ce type de redresseur permet d'obtenir en sortie une tension redressée dont la valeur moyenne est fixée (Non réglable). Ce dispositif est réalisé à partir de diodes.

Exemple de redresseuse simple alternance : montage **P3**

Dans le cas général, les q phases, sièges des q tensions alternatives à redresser, sont couplées en Étoile. Grâce à q diodes formant par exemple un commutateur "plus positif", à chaque instant, la Borne **M** est reliée à la plus positive des bornes 1, 2, ..., q . La tension redressée u_d est recueillie Entre M et Le point neutre **N**.

Dans ce type de redresseur, les diodes effectuent un seul choix. Nous utilisons l'adjectif parallèle (P) pour ce type de montage car entre les deux bornes de sortie, on trouve en parallèle les q voies formées chacune par un enroulement une diode.

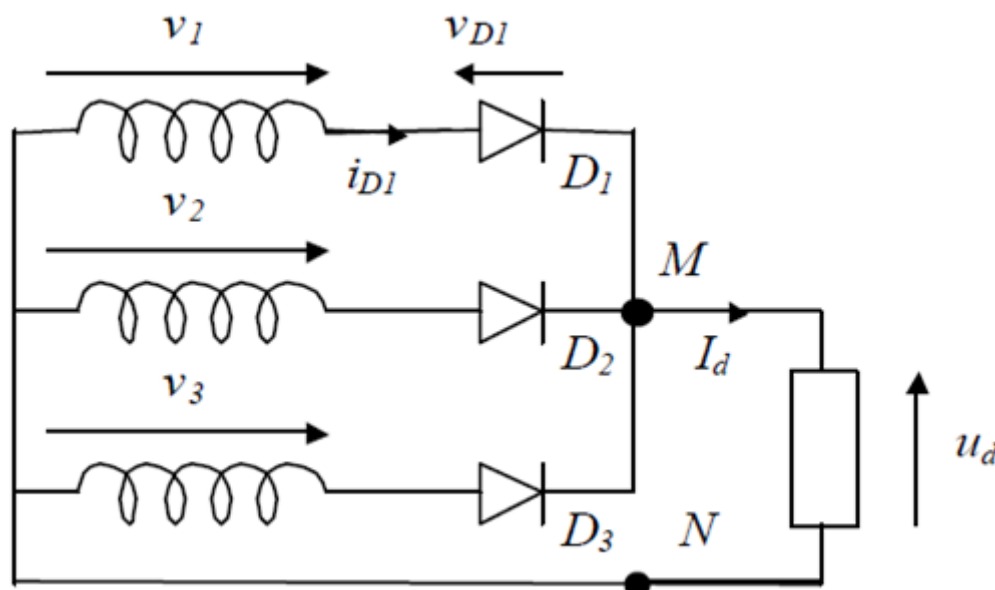


Fig. 3 : Redresseur simple alternance. Montage parallèle P3.

V-2- Redressement commandé (Thyristors) :

On nomme « redresseur commandé » un montage redresseur dont une partie des diodes a été Remplacée Par un ensemble équivalent de transistors.

-Exemple: montage monophasé PD2 :

Le pont mixte monophasé considéré est décrit à la **figure 4** On considère une charge fortement Inductive, soit un courant $i_d(t)$ considéré comme constant et égal à I_d .

T_1 est amorcé à : $\Delta t = \frac{\alpha}{\omega}$

Lorsque la tension $v(t) = v_1(t) - v_2(t)$ est positive. Le potentiel en B étant inférieur au potentiel en A, D2 conduit.

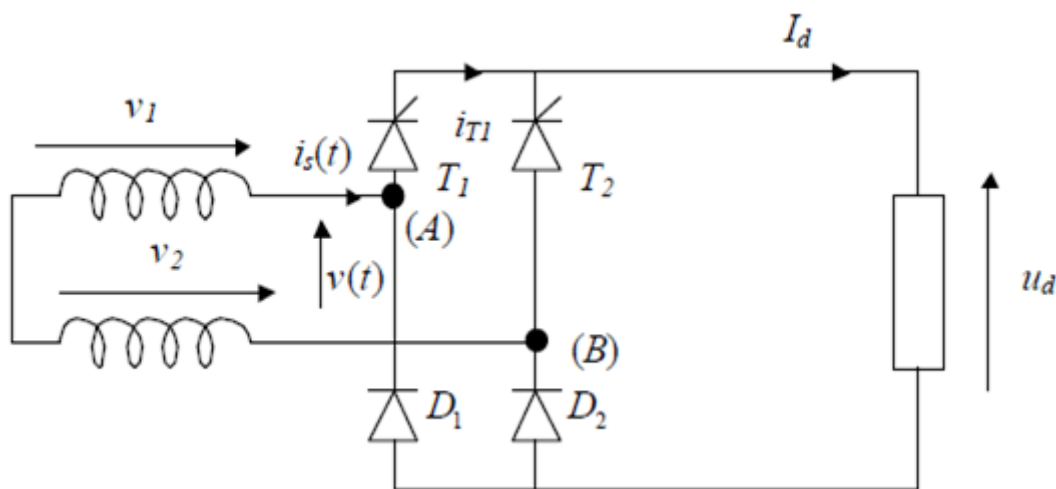


Fig. 4 : Pont PD2 mixte

VI- Association machines – redresseur :

VI-1- Commande de vitesse d'un moteur à courant continu :

- La force contre électromotrice **FC_{EM}**

$$E' = \frac{p}{a} N \cdot n \cdot \emptyset$$

N: Nombre de conducteurs actifs sous un pôle

n: Vitesse de rotation en tr/s

∅: Flux sous un pôle

E': Force contre électromotrice en V

p: Nombre de pair de pôle

a: Nombre de pair de voie d'enroulement

- Loi d'Ohm :

$$U = E' + RI$$

- Vitesse de rotation :

$$N = \frac{a}{p} * \frac{U - RI}{N\Phi}$$

Pour faire varier la Vitesse d'un moteur à courant continu, on peut agir sur deux grandeurs

- le flux produit par l'inducteur F :

Lorsque le flux d'excitation (produit par l'inducteur) diminue, le moteur accélère mais le couple diminue. On dit alors que l'on fait de la variation de vitesse à puissance constante.

- la tension U aux bornes de l'induit :

La tension d'induit est directement proportionnelle à la vitesse de rotation.

La puissance varie mais le couple reste constant. On dit alors que l'on fait de la variation de vitesse à couple constant.

VI-2-Exemple d'application des redresseurs commandés: alimentation des moteurs à courant continu :

Nous considérons le cas simple d'une alimentation des moteurs à courant continu :

Nous considérons le cas simple d'une alimentation par un pont monophasé mixte PD2 (**figure 5**). sur la **figure 5**,

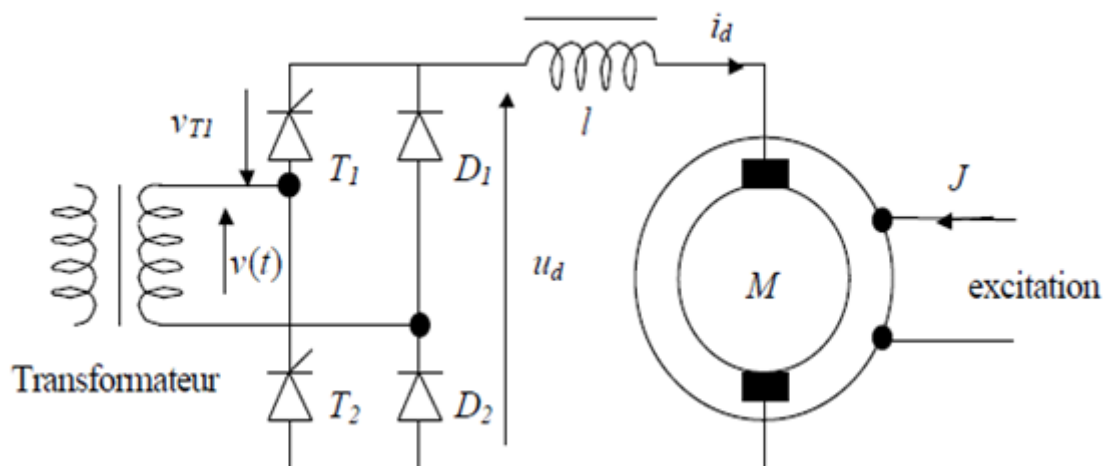
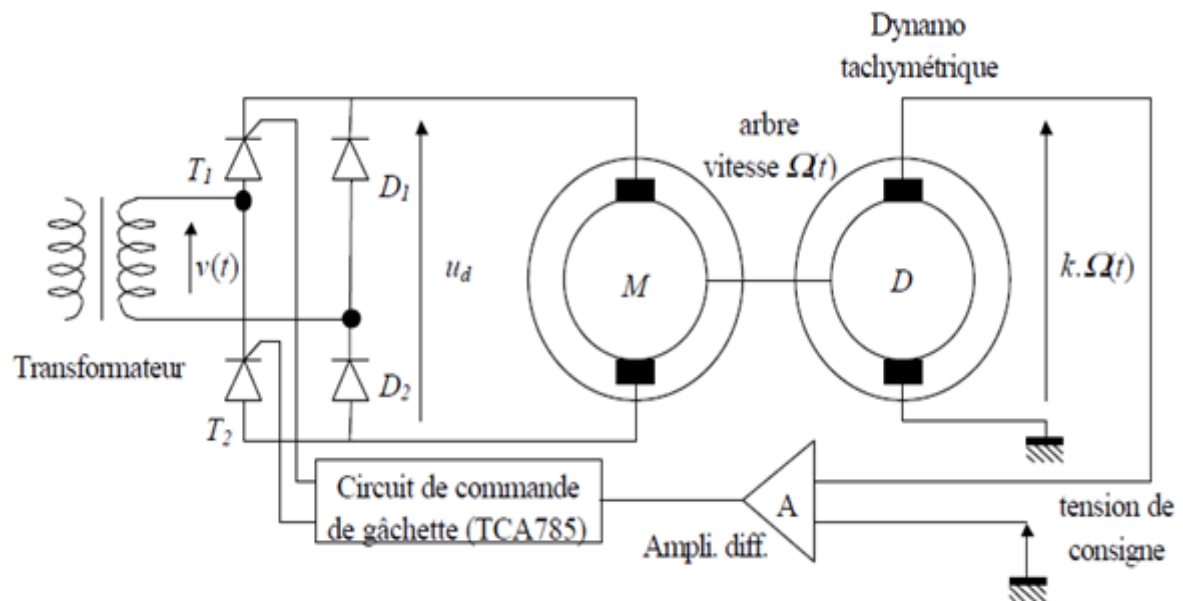


Fig.5 : Moteur à courant continu alimenté par un pont redresseur mixte PD2. L'inductance

VI- 3-Régulation de la vitesse :



F ig.6 : Régulation en vitesse d'un moteur à courant continu.

VII-Simulation à l'aide du logiciel MATLAB :

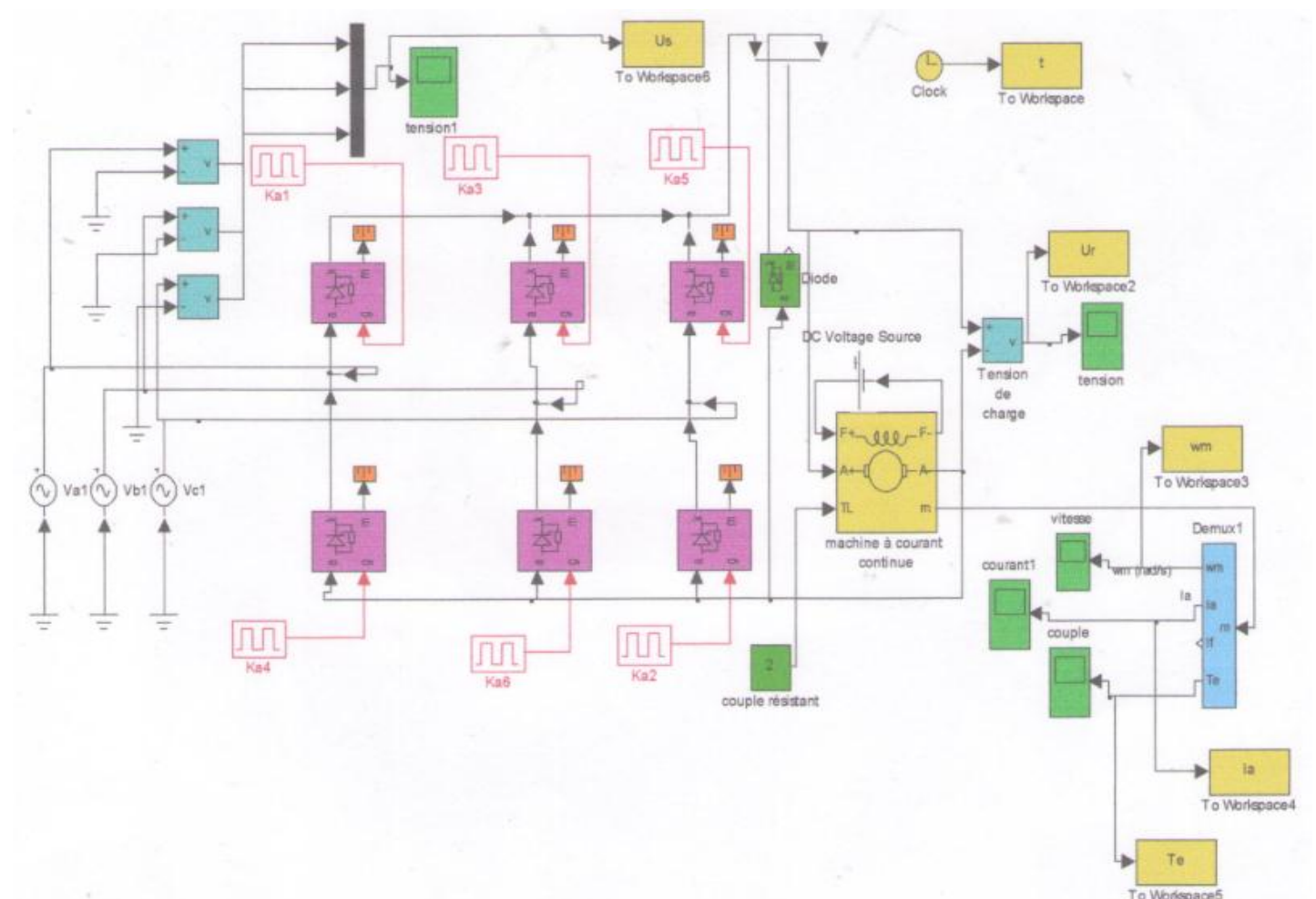
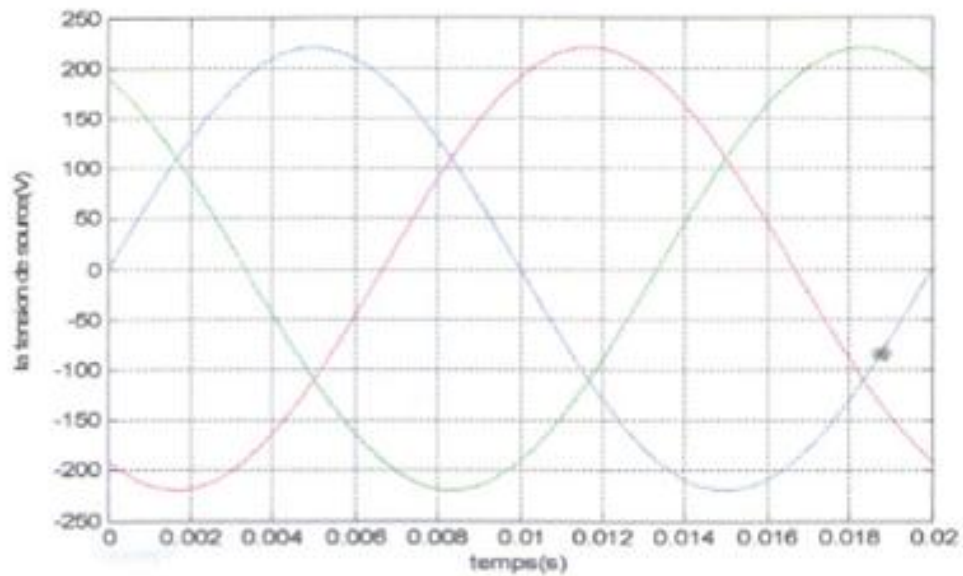


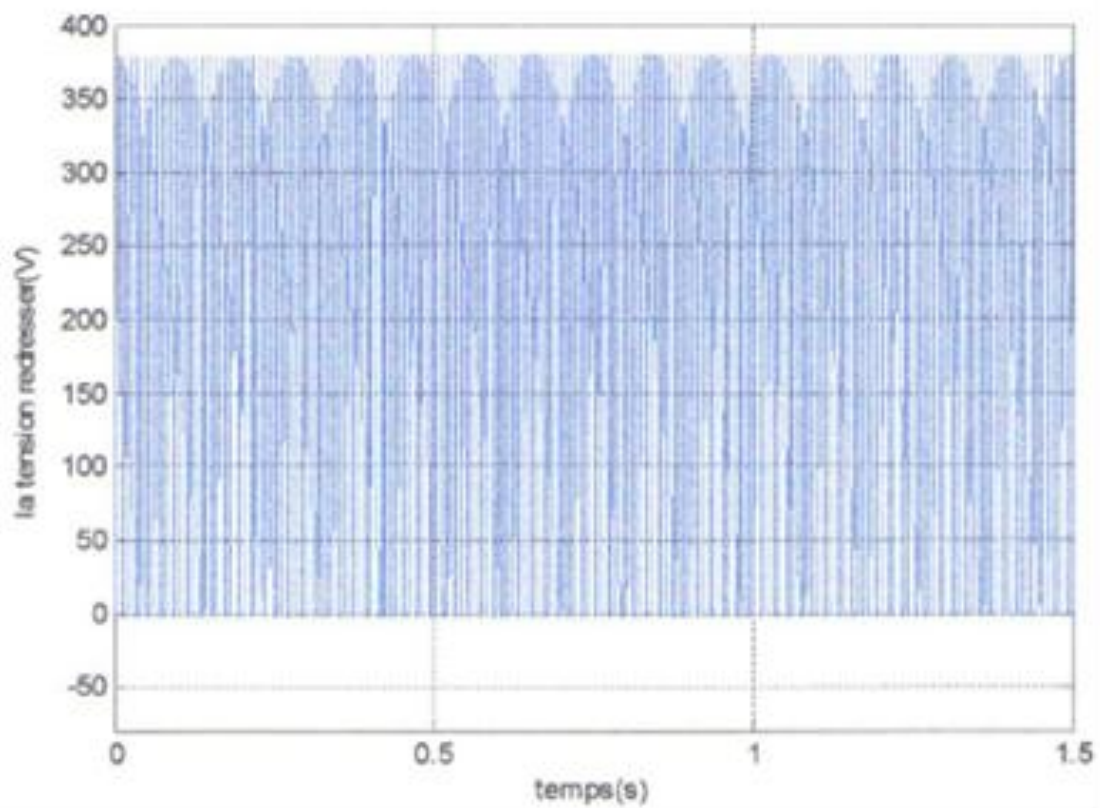
Fig.7 : Schéma bloc d'un redresseur triphasé commandé-moteur à courant continu à excitation séparée

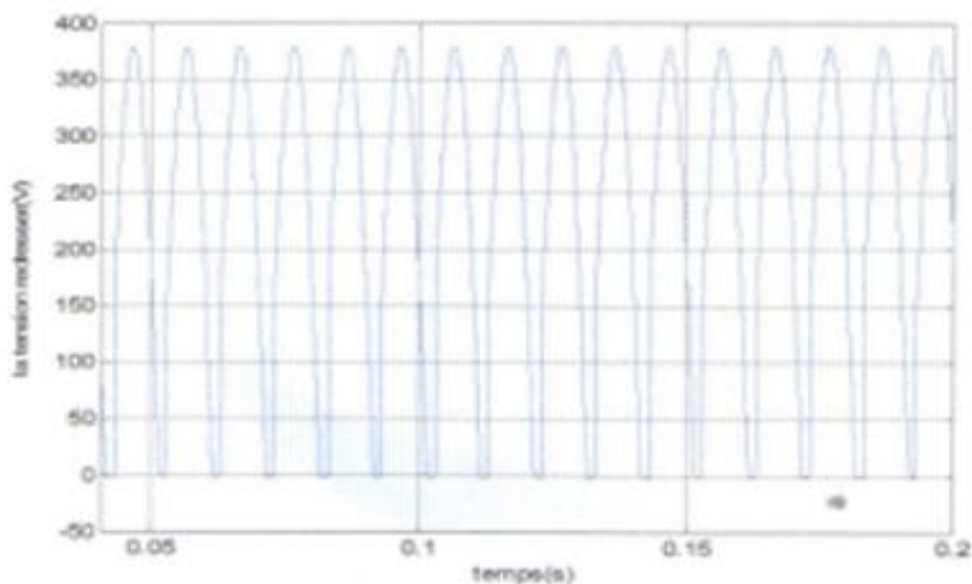
A-La tension d'alimentation de réseau :



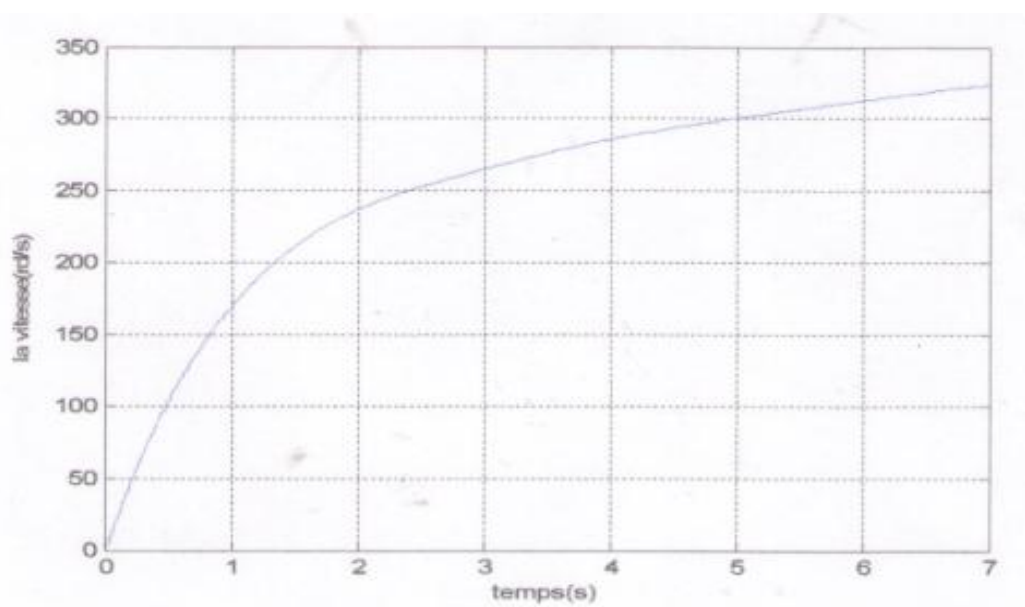
Pour $\alpha=30^\circ$

B -La tension redressée :

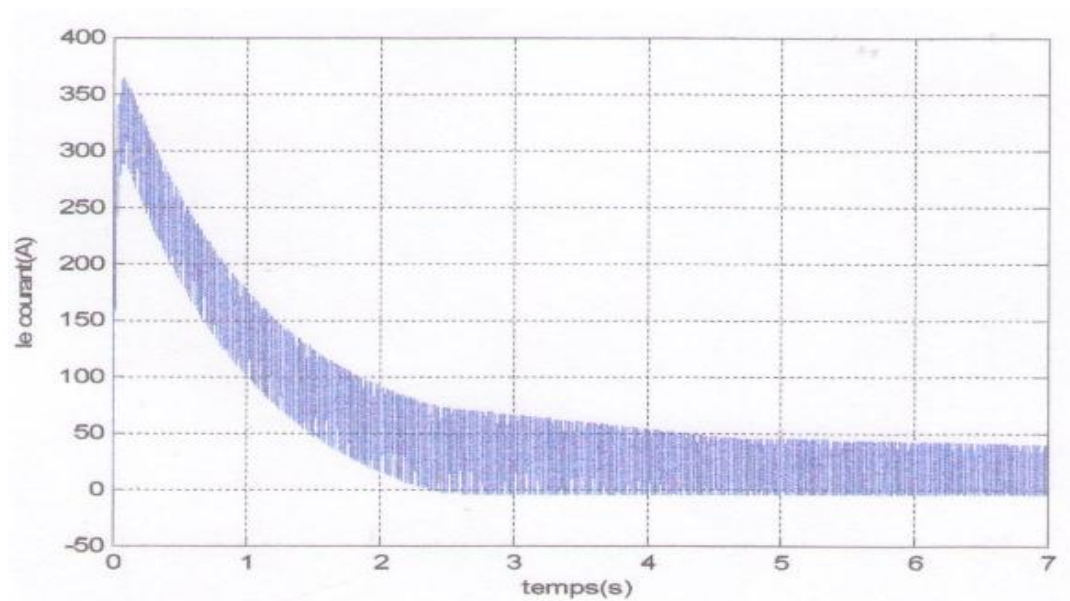




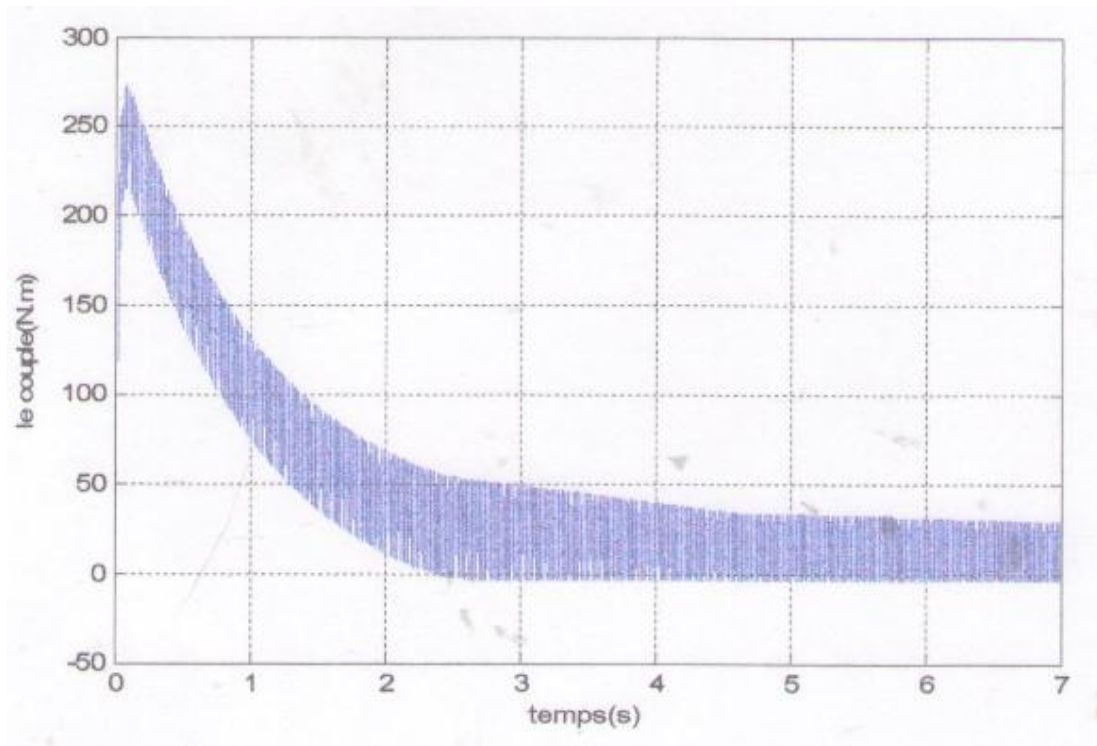
C-La vitesse :



D-Le courant de charge :

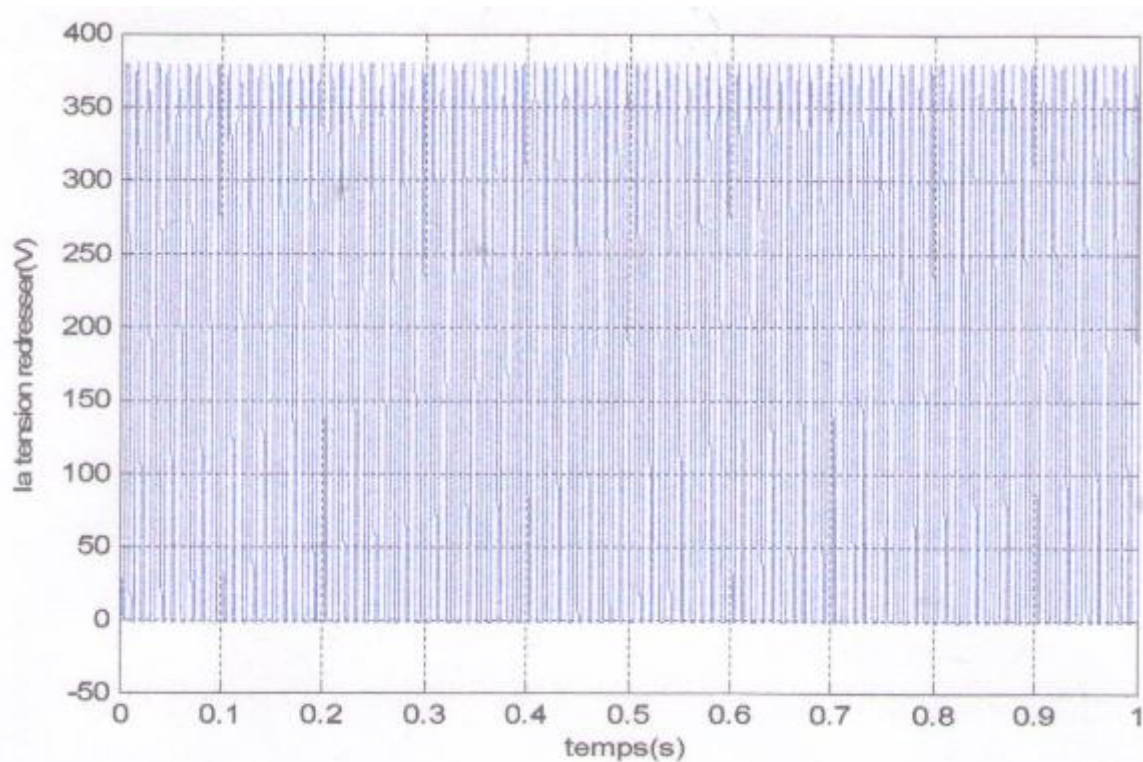


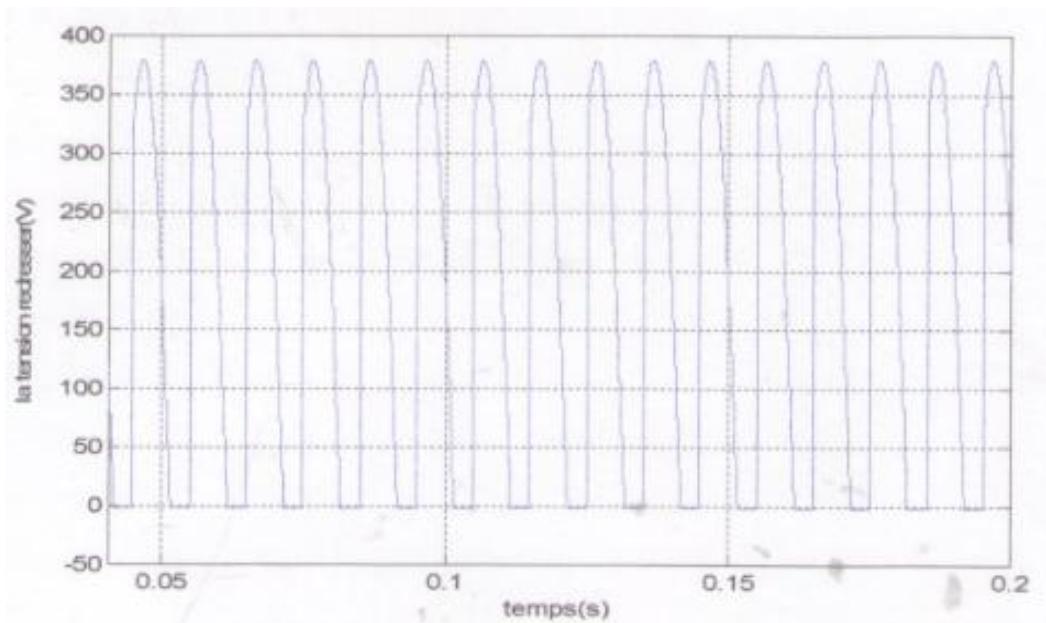
E-Le couple :



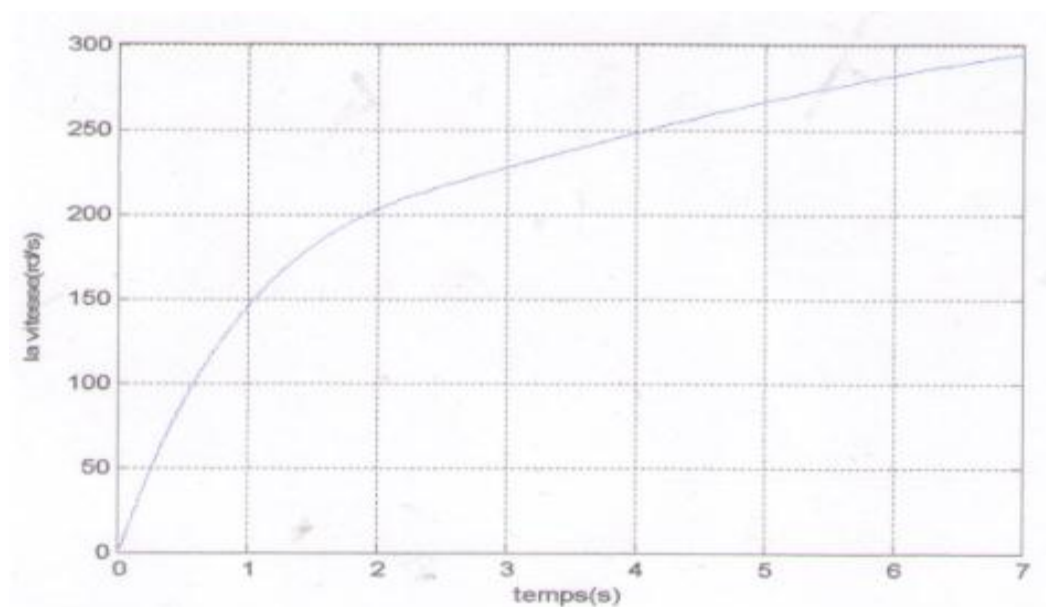
Pour $\alpha=60^\circ$

A-La tension redressée :

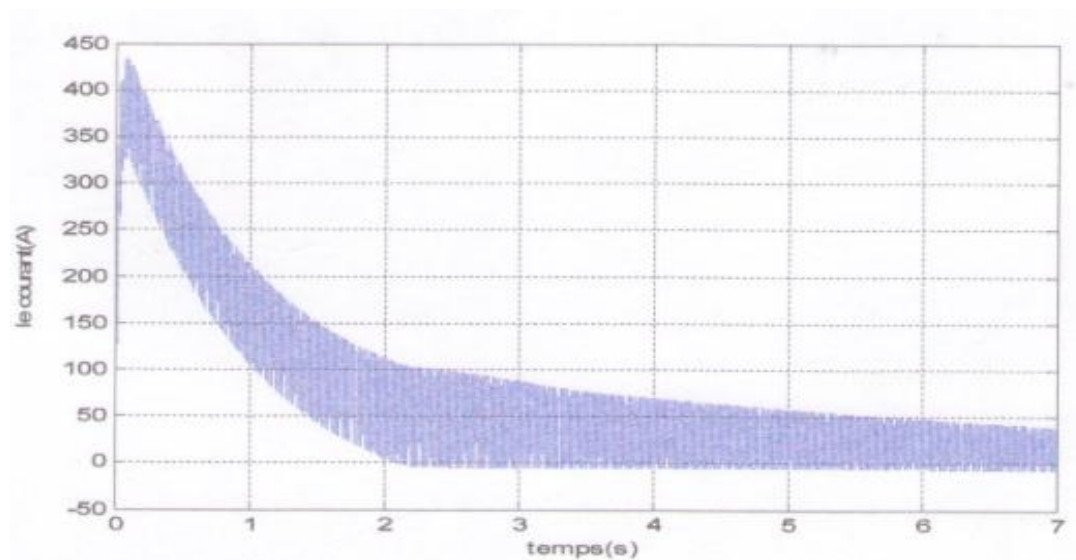


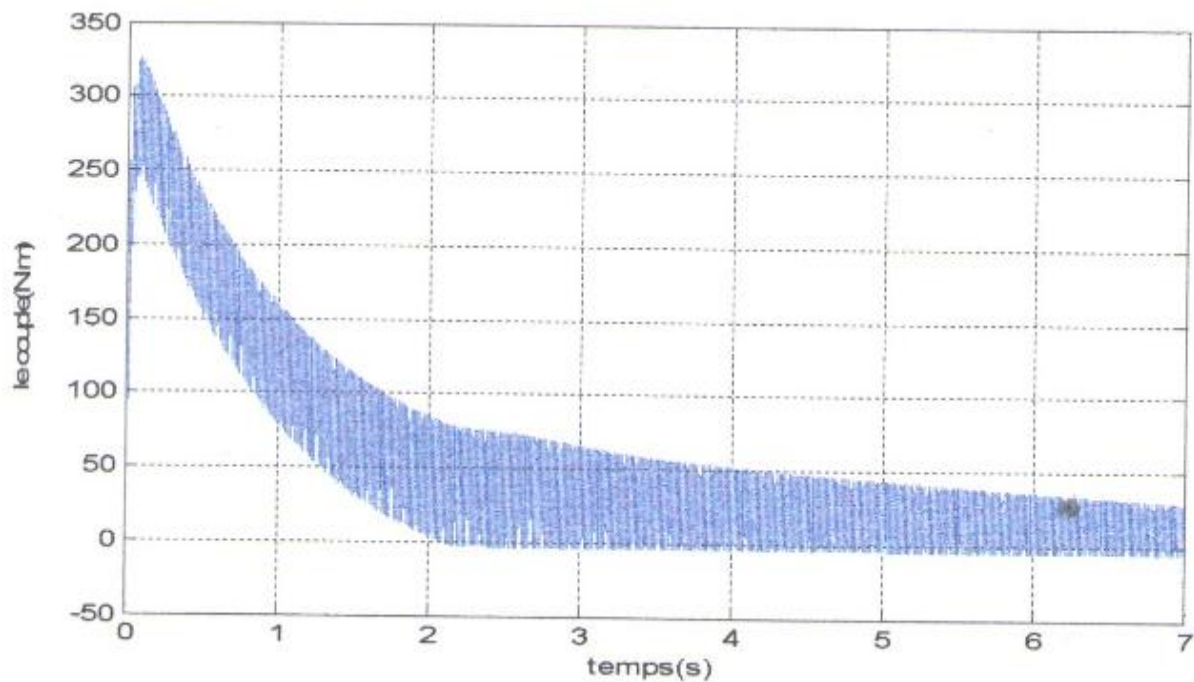


B -La vitesse :



C-Le courant de charge :



D-Le couple :**VIII-Conclusion :**

La machine à courant continu (MCC) a été utilisée très tôt dans les applications industrielles en raison de son principe de fonctionnement qui est très simple et d'une commande aisée. Mais le transit de la puissance par des contacts glissants au niveau du collecteur (le redressement mécanique) rend cette machine fragile et limite son utilisation (étincelles). Elle réclame un entretien périodique de contrôle des balais des lames du collecteur, voire du changement préventif de ces organes. C'est pourquoi dans les applications de puissance, elle tend actuellement à être remplacée par la machine asynchrone (MAS) qui est beaucoup plus robuste et plus économique. En raison de lois de fonctionnement non linéaires, il faut l'associer à des convertisseurs statiques (variateur de tension).

Conclusion général

La variation de la vitesse des moteurs est un domaine très vaste et très important. Jusqu'à l'heure actuelle, elle fait l'objet de maints travaux de recherche à l'échelle mondiale.

Les moteurs à courant continu, comme toute autre machine tournante, disposent de paramètres sensibles à ces variations. Mais avec l'apparition de l'électronique de puissance et de la micro-informatique, les conséquences de ces variations sont maîtrisables.

La partie la plus importante et intéressante est la régulation de l'ensemble, ou l'on s'est limité à la détermination uniquement des boucles importantes : celle du courant et celle de la vitesse.

Dans l'ensemble on peut conclure que, malgré que les moteurs à courant continu sont de moins en moins utilisés, leur performances, quant au réglage de la vitesse restent spectaculaires.

Bibliographie

[1] document :

- Modélisation et simulation de machine asynchrone alimenté par un onduleur de tension (2013 – 2014) .
- Modélisation d'une machine à courant continu a excitation série (2012 -2013) .
- Modélisation circuits magnétique de la machine à courant continu par la méthode des éléments Ennis (2013 – 2014) .
- Machine asynchrone étude modélisation et simulation (2013 -2014).

[2] site internet