

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'Ingénierat

Département :

Électrotechnique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de

**LICENCE ACADEMIQUE**

Thème:

Moteur a courant continu

Présenté par : **Miroud ABDENOUR** & Drablia abderaouf

Encadrant : *Dr. Bensiali nadia*

Examineurs :

Année Universitaire : 2020/2021

## Remerciements

Nous tenons à remercier du fond du cœur, avant tout, le BON DIEU qui Nous a donné la volonté, le courage et la continuité dans nos études, Et nous a gardé jusqu'à l'atteinte de ce niveau, Et nous exprimons notre profonde gratitude.

Nous remercions à notre encadreur Dr. BENSIALI NADIA Pour l'honneur qu'elle nous a donné en acceptant de nous encadrer dans ce travail, et qui a contribué avec son aide et ses efforts ainsi que son soutien en plus des différentes documentations Moyens mis à disposition pour la réalisation de notre travail.

Nous tenons également à remercier tous les enseignants qui ont contribué à nous former depuis le primaire jusqu'à l'université

## Dédicaces

*À Mes parents, symboles de courage et de volonté.*

*À Toute mes frères et mes sœurs.*

*À Tous ma famille.*

*À tous mes amis.*

*À Toute les étudiants.*

**ABDENOUR**

*Avec toute ma reconnaissance je dédié ce travaille à*

*À mes très chéris parents qui ont m'a aidé durant toute ma vie  
que dieu les protègent.*

*À tous mes proches.*

**ABDERAOUF**

## Résumé

Une machine à courant continu est une machine électrique. C'est un transformateur électromécanique qui permet une conversion d'énergie bidirectionnelle entre les installations électriques transmises en courant continu et le dispositif mécanique ; Selon la source d'alimentation, ce petit projet se compose de quatre parties. Le premier est consacré à l'étude des différents types de moteurs à courant continu, et le second est destiné à l'alimentation, au démarrage et au freinage des MCC utilisés. Dans la troisième partie, nous donnons le mode de réglage de la vitesse du MCC. Enfin, dans la quatrième partie, la modélisation et la simulation sont présentées.

## ملخص

آلة التيار المباشر هي آلة كهربائية. إنه محول كهر وميكانيكي يسمح بتحويل الطاقة ثنائي الاتجاه بين التركيبات الكهربائية المنقولة في التيار المباشر والجهاز الميكانيكي ؛ اعتمادًا على مصدر الطاقة يتكون هذا المشروع الصغير من أربعة أجزاء. الأول مخصص لدراسة الأنواع المختلفة لمحركات التيار المستمر ، والثاني مخصص للعرض والبدء والكبح لمراكز التحكم في المحرك المستخدمة. في الجزء الثالث ، نعطي وضع ضبط سرعة مركز التحكم في المحرك. أخيرًا ، في الجزء الرابع ، يتم عرض النمذجة والمحاكاة

## **Table des matières**

### **Résumé- abstract- ملخص**

***Introduction générale.....***

### ***Chapitre 1 : études différents de type de moteur a courant continu***

I.1 Introduction .....

I.2 Définition d'une moteur a courant continu .....

I.3 principe de moteur à courant continu .....

I.4 Les différents types de moteurs .....

I.4.1 Les moteurs à inducteur à aimant permanent .....

I.4.2 Les moteurs à inducteur bobiné .....

I.4.2.1/moteur à excitation séparée .....

I.4.2.2 Le moteur à excitation série .....

I.4.2.3/Le moteur à excitation shunt .....

I.4.2.4/Le moteur à excitation composée .....

I.5 Comparaison entre les différents types de moteurs .....

I.6 les avantages et inconvénients de MCC .....

I.6.1 les avantage .....

I.6.2 les inconvénients .....

I.7 conclusion .....

### ***Chap2 : Démarrage et freinage des MCC***

II.1 Introduction .....

II.2/Démarrage du moteur à courant continu .....	
II.2.1/Démarrage manuel .....	
a/Construction .....	
b/Fonctionnement .....	
II.2.2Démarrage de contacter .....	
a/Démarrage à contacteur non inverseur .....	
b/Démarrage à contacteur inverseur .....	
<i>II.3 Procèdes de démarrage.....</i>	
II.4 Problème de démarrage .....	
II.5Freinage d'un moteur à courant continu .....	
a/ Freinage rhéostatique .....	
b/ freinage à contre-courant .....	
c/ freinage par récupération .....	
II.6 Le Freinage et inversion du sens de la marche .....	
II.7 Caractéristiques de freinage des moteurs à courant continu .....	
II.8 inconvénients du freinage mécanique .....	
II.9conclusion .....	
 <b><i>Chapitre III : Mode de Réglage de la vitesse des MCC</i></b>	
III Introduction .....	
III.2. Principe du variateur de vitesse pour un moteur à courant continu ....	
III.3/Méthodes de réglage de la vitesse .....	

a/Réglage rhéostatique....	
b/Action sur U (réglage par la tension) .....	
C /Action sur o (réglage par le flux) .....	
III.4/Différents modes de réglage de la vitesse d'un moteur à courant continu...	
A/ Réglage rhéostatique .....	
b/ Réglage de vitesse par variation de la tension d'induit .....	
III.5 Les quadrants de fonctionnement d'une machine à courant continu.....	
III.6 Conclusion .....	

#### ***Chapitre IV : Modalisation et simulation***

IV.1 INTRODUCTION.....	
IV-2 Modélisation de la MCC (machine à courant continu).....	
IV- 3 Equations de la machine à courant continu.....	
IV-4 La vitesse $w(t)$ du rotor du moteur.....	
A/ Equations électriques .....	
.B/Equations électromécaniques.....	
C/Equation mécanique.....	
IV/5 Schémas blocs.....	
IV/6 Modèle Simulink de la machine à courant continu.....	
A/ La partie électrique .....	
B/ La partie mécanique.....	
IV/7 Simulation d'une machine à courant continu à excitation séparée.....	
IV/8 Simulation d'une machine à courant continu à excitation shunt.....	
IV/9 Simulation d'une machine a courant continu à excitation série.....	
IV/10 CONCLUSION .....	

## ***La LISTE DE FIGURE***

### **Chapitre01**

Figure 1.1 Moteur à courant continu.....	
Figure 1.2 Moteur à aimant permanent.....	
Figure 1.3 moteur à excitation séparée .....	
Figure 1.4 moteur à excitation série .....	
Figure 1.5 moteur à excitation shunt .....	
Figure 1.6 moteur à excitation composé .....	

### **Chapitre02**

Figure 2.1 Interrupteur pour démarrage manuel .....	
Figure 2.2 branchement d'un interrupteur sectionneur pour démarrage manuel...	
Figure 2.3 d'un démarreur à contacteur non inverseur.....	
Figure 2.4 un démarreur à contacteur inverseur.....	
Figure 2.5 principe de démarrage d'un MCC.....	
Figure 2.6 courbe $n(l)$ .....	
Figure 2.7 Rhéostat démarrage .....	
Figure 2.8 courbe $n(Rh)$ .....	
Figure 2.9 Réglages Rhéostatique.....	
Figure 2.10 Freinage contre-courant.....	
Figure 2.11 Freinage par récupération.....	
Figure 2.12 Exemple moteur-génératrice .....	



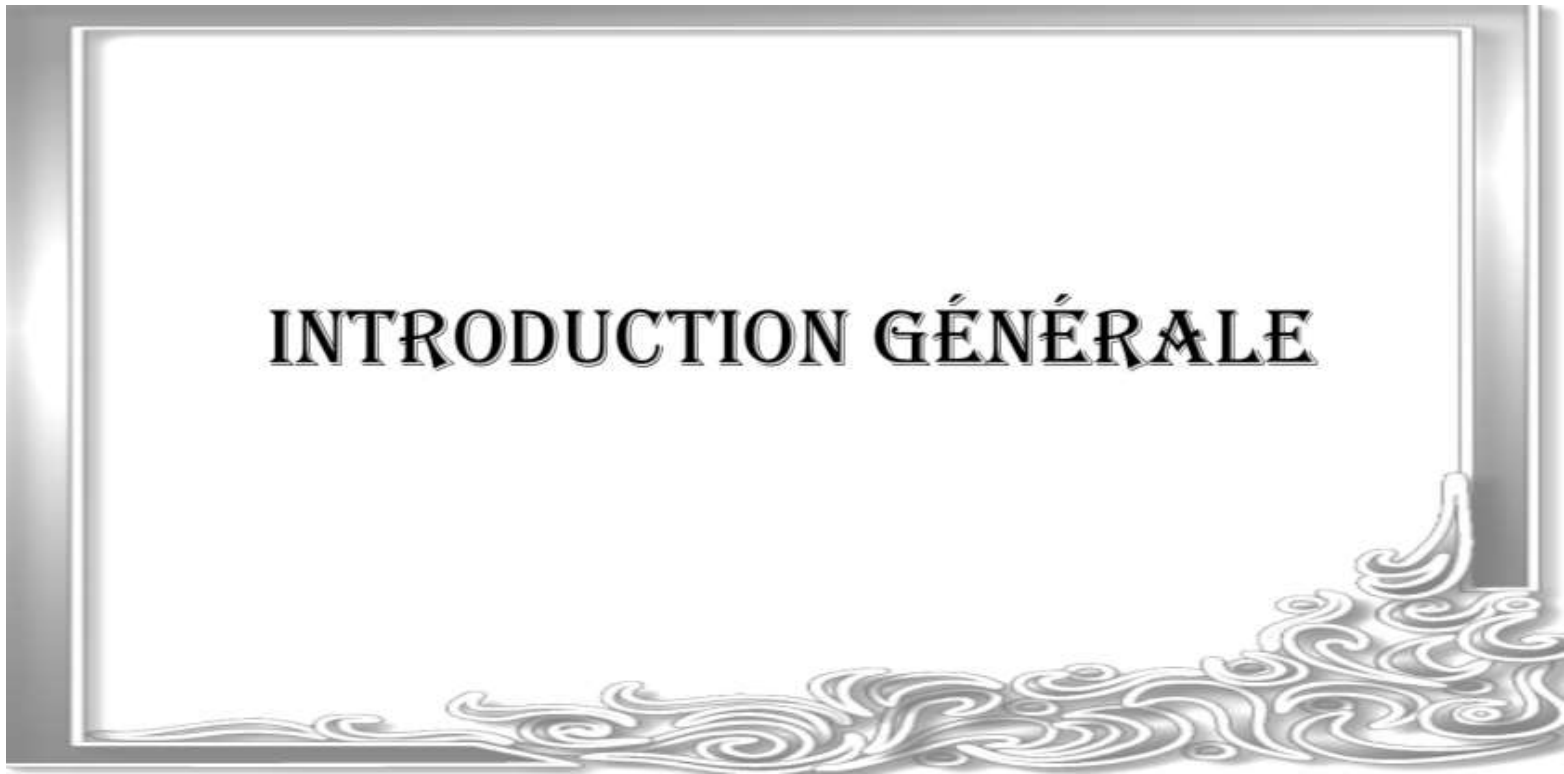
### **Chapitre 03**

Figure 3.1 schéma général d'un variateur de vitesse .....	
Figure 3.2 Réglage Rhéostatique .....	
Figure 3.3 Réglage par U et Réglage par $\Phi$ .....	
Figure 3.4 Réglage de la vitesse par variation de résistance d'induit .....	
Figure 3.5 Caractéristique de réglage par la variation du flux magnétique.....	
Figure 3.6 Caractéristique de réglage par variation de la tension d'induit.....	
Figure 3.7 Quadrants de fonctionnement d'une machine à courant continu...	
Figure 3.8 Variations (vitesse & courant) dans les quatre quadrants.....	

### **Chapitre 04**

Figure 4.1 schéma d'un entraînement avec une MCC excitation indépendante....	
Figure 4.2 Schéma bloc tension-courant du moteur à courant continu.....	
Figure 4.3 schéma bloc tension vitesse du moteur à courant continu.....	
Figure 4.4 Réalisation de la partie électrique de la MCC sous Simulions.....	
Figure 4.5 Réalisation de la partie mécanique de la MCC sous Simulions.....	
Figure 4.6 Réalisation de la MCC sous Simulions.....	
Figure 4.7 Bloc de la MCC sous Simulions.....	
Figure 4.8 Simulation d'une machine à courant continu à excitation séparée....	
Figure 4.9 Simulation d'une machine à courant continu à excitation shunt.....	
Figure 4.10 Simulation d'une machine à courant continu à excitation série.....	

# INTRODUCTION GÉNÉRALE



## **Introduction générale**

La classe des moteurs à courant continu n'intègre que les moteurs à collecteurs alimentés en courant continu. Elle exclut les moteurs alternatifs à excitation série, dits universels, qui utilisent la même structure à collecteur, ainsi que les structures « Brushless », où le collecteur devient électronique.

Le moteur à collecteur fut la première machine électrique inventée. L'histoire retient le nom de Zénobie Gramme pour sa première réalisation industrielle en 1871. Werner Von Siemens proposa peu après la version à induit cylindrique de cette machine. Ces deux machines, conçues comme une application de la théorie des champs, ne fonctionnaient alors qu'en génératrice. Elles engendrèrent bien des sourires face à la puissance de la vapeur. Mais leur application rapide comme moteur réversible leur valut un franc succès et, dès 1880, des trains de mines furent électrifiés et un premier ascenseur électrique fut construit. Au début du siècle, la traction électrique acquit ses lettres de noblesse, avec plusieurs vitesses record de 205 km/h. le moteur à courant continu a l'avantage d'être facile à appréhender, car les deux bobines qui le composent sont non seulement fixes dans l'espace grâce à l'action du collecteur, mais aussi faiblement couplées. Il offre donc une introduction facile au fonctionnement de ses homologues, en donnant des repères clairs, auxquels le néophyte pourra toujours se raccrocher.

Les moteurs à courant continu ont pendant longtemps été les seuls aptes à la vitesse variable à large bande passante (robotique). Ils ont donc fait l'objet de nombreuses améliorations, et beaucoup de produits commercialisés aujourd'hui n'ont rien à envier à leurs homologues sans balais.

Ce sont les progrès de l'électronique de puissance qui ont détrôné les machines à balais, à l'avantage des technologies synchrones autopilotées. Mais les raisons essentielles de ces choix restent l'accès à des vitesses de rotation plus grandes, une meilleure compacité et, très rarement, la fiabilité.

La structure de ce mémoire est la suivante :

- Dans le premier chapitre nous présenterons, dans une

Première partie les études des différents types de moteur acourant.

- Le deuxième chapitre est consacré pour la partie de Démarrage Et freinage des MCC
- Le troisième chapitre est expliqué le Mode de Réglage de la vitesse des MCC
- Dans le dernier chapitre est présenté la modélisation et simulation

Enfin, nous terminant par une conclusion générale qui présente l'intérêt de notre travail



# CHAPITRE I

*Etude des différents types de moteur  
à courant continu*

### ***I-1/Introduction***

Le moteur à courant continu est une solution technologique possible pour réaliser la fonction ‘Convertir une énergie électrique en une énergie mécanique. Il est très utilisé pour les petites et moyennes puissances car il apporte une très grande souplesse de fonctionnement avec un encombrement minimum. Dans ce chapitre une étude des différents types de moteur à courant continu a été effectuée.

### ***I-2/définition d’un moteur a courant continu***

Un moteur à courant continu est une machine électrique. Il s'agit d'un convertisseur électromécanique permettant la conversion bidirectionnelle d'énergie entre une installation électrique parcourue par un courant continu et un dispositif mécanique.

- En fonctionnement moteur, l'énergie électrique est transformée en énergie mécanique.
- En fonctionnement générateur, l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique. La machine se comporte comme un frein. (1)

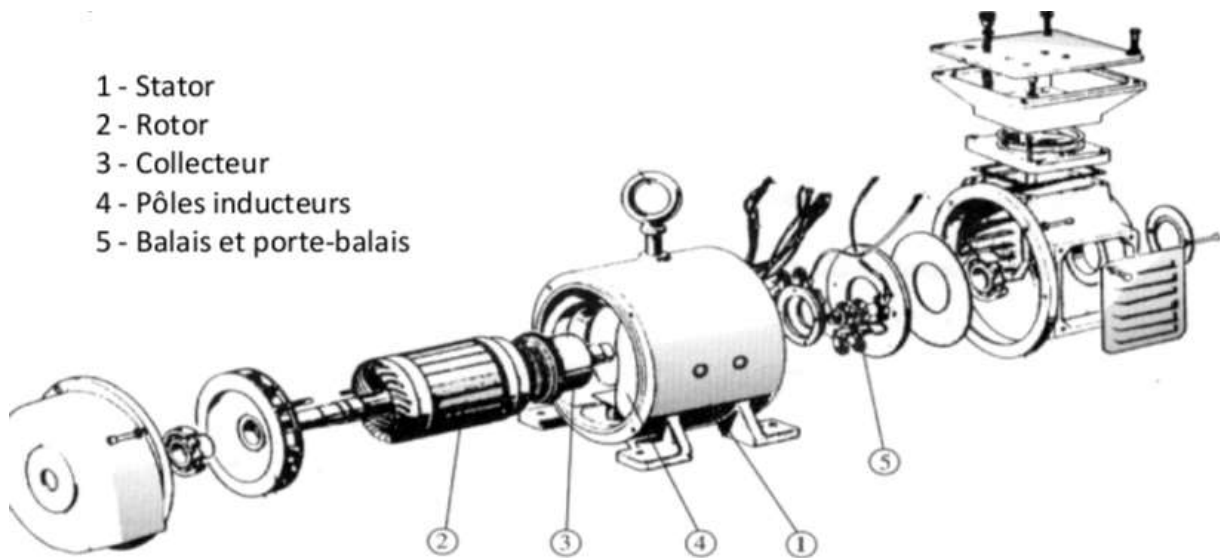


Figure (I-01) : Moteur à courant continu

### ***I.3/ principe de moteur à courant continu :***

Le moteur à courant continu se compose :

- de l'inducteur ou du stator,
- de l'induit ou du rotor,
- du collecteur et des balais.

Lorsque le bobinage d'un inducteur de moteur est alimenté par un courant continu, sur le même principe qu'un moteur à aimant permanent (comme la figure ci-dessous), il crée un champ magnétique (flux d'excitation) de direction Nord-Sud.

Une spire capable de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique. De plus, les deux conducteurs formant la spire sont chacun raccordés électriquement à un demi collecteur et alimentés en courant continu via deux balais frotteur.

D'après la loi de Laplace (tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force), les conducteurs de l'induit placés

de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces  $F$  égales mais de sens opposé en créant un couple moteur : l'induit se met à tourner !

Si le système balais-collecteurs n'était pas présent (simple spire alimentée en courant continu), la spire s'arrêterait de tourner en position verticale sur un axe appelé communément "ligne neutre". Le système balais-collecteurs a pour rôle de faire commuter le sens du courant dans les deux conducteurs au passage de la ligne neutre. Le courant étant inversé, les forces motrices sur les conducteurs le sont aussi permettant ainsi de poursuivre la rotation de la spire.(2)

#### ***I-4/ Les différents types de moteurs :***

##### ***I-4-1/ Les moteurs à inducteur à aimant permanent :***

Il n'y a pas de circuit inducteur, le flux inducteur est produit par un aimant permanent.

Tous les moteurs à courant continu de faible puissance et les micromoteurs sont des moteurs à aimant permanent.

Ils représentent maintenant la majorité des moteurs à courant continu. Ils sont très simples d'utilisation [02].

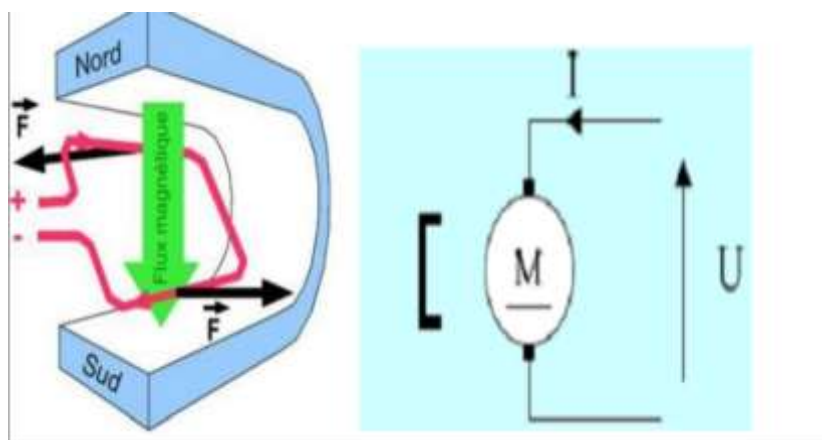


Figure (I-2) : Moteur à aimant permanent



#### ***I.4.2/ Les moteurs à inducteur bobiné :***

Il existe 4 types différents de moteurs électriques qui sont classés en fonction du type d'excitation qui est employé, qui sont :

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

##### ***I.4.2.1/moteur à excitation séparée :***

Le moteur à excitation indépendante est raccordé une alimentation à courant continu séparée. Par conséquent, le courant qui alimente l'inducteur.

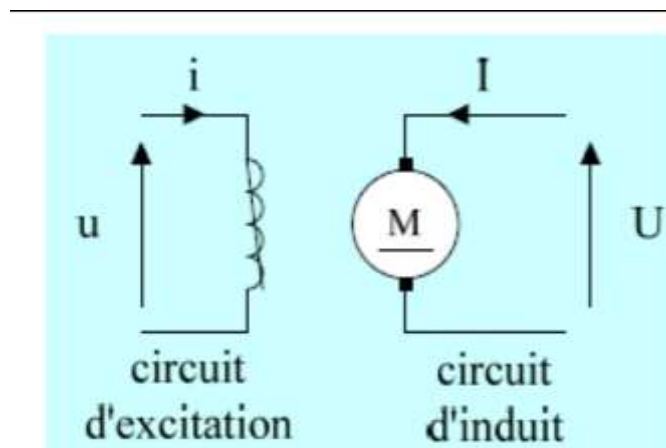


Figure (I-3) : moteur à excitation séparée

##### ***I.4.2.2 Le moteur à excitation série :***

L'induit et l'inducteur sont alimentés par la même source de tension. Ce type de moteur présente un très fort couple au démarrage, il reste encore utilisé dans certaines applications de traction électrique

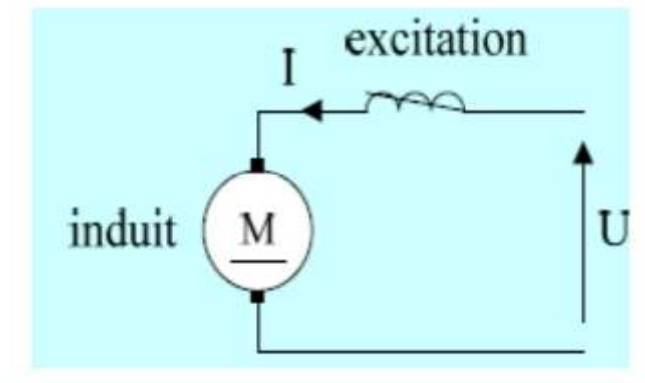


Figure (I-4) : moteur à excitation série

**1.4.2.3/Le moteur à excitation shunt :**

La même source d'alimentation alimente l'induit et l'inducteur. L'inducteur est mis en parallèle avec l'induit. Ce mode d'excitation offre à l'utilisateur une fréquence de rotation pratiquement indépendante de la charge et qui peut démarrer à vide.

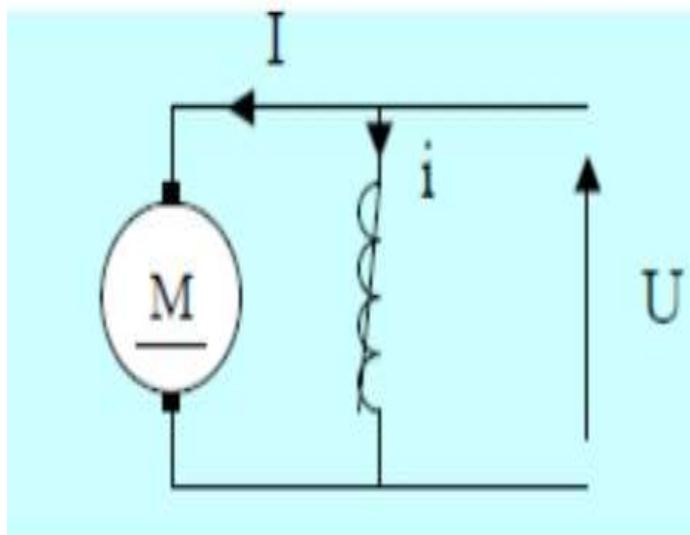


Figure (I-5) : moteur à excitation shunt.

#### **I.4.2.4/Le moteur à excitation composée :**

Le moteur à excitation composé, est a raccordé à avec deux excitations, excitation série et excitation shunt en même temps.

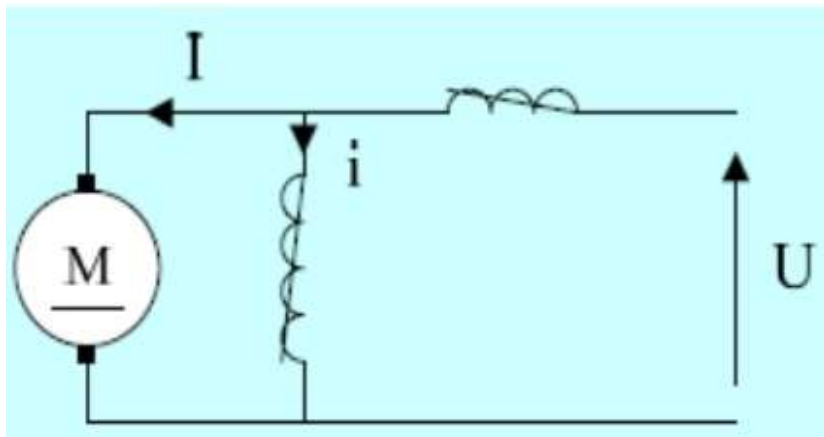


Figure (I-6) : moteur à excitation composée.

#### **I.5/Comparaison entre les différents types de moteurs :**

Ilest intéressant de comparer les propriétés du moteur à courant continu à excitationshunt, séparée et série pour en déduire les domaines d'applications de chaque type deMoteur. Le moteur a excitation séparée a les mêmes caractéristiques que le moteur shunt,On peut conclure que :

Pour un moteur shunt et un moteur a excitation séparée la tension appliquée à L'enroulement d'excitation le courant d'excitation sont indépendants de laCharge.

La vitesse d'un moteur shunt ou à excitation séparée diminue légèrement lorsque le couple augmente, alors que la vitesse d'un moteur série diminue très rapidement quand le couple augmente. L'emploi du moteur série s'impose donc pour des entraînements qui présentent des démarrages fréquents sous un couple élevé ainsi que de brusquesparutions de charges. Cependant quand les grandes variations de vitesse en fonction la charge sont tolérables, il faut utiliser un moteur shunt.(3)

#### **I.6 Avantages et inconvénients :**

### ***1.6.1/les avantages :***

- Une large gamme de variations de vitesse au-dessus et au-dessous de la vitesse de régime.
- Un fonctionnement avec des couples constants ou variables.
- Une accélération, un freinage et une inversion du sens de rotation très rapide, ce qui est avantageux dans le cas des appareils de levage et des machines-outils.
- Une vitesse de rotation qui peut être réglée par l'intermédiaire d'un système de rétroaction.
- Une facilité de récupération d'énergie (fonctionnement dans les 4 quadrants).(4)

### ***1.6.2/les inconvénients :***

- Une alimentation stator et rotor par courant continu (pont redresseur).
- Un mauvais facteur de puissance à basse vitesse.
- Nécessite beaucoup de maintenance, notamment pour le remplacement des balais et du collecteur
- Ne peut pas être utilisé dans des environnements explosifs, le frottement des balais sur le collecteur engendre des étincelles.(4)

### **1.7/conclusion :**

Cette partie nous a permis de connaître la différence entre les types de moteurs à courant continu et quelle est la différence entre eux. Dans le prochain chapitre, nous examinerons le démarrage et le freinage des MCC.



## CHAPITRE II

### *Démarrage et freinage*

## ***II.1 Introduction :***

Démarrage et le freinage sont deux facteurs principaux dans le moteur, le premier étant un transducteur réversible. Lorsque l'énergie électrique est convertie en énergie mécanique, la machine agit comme un moteur. Lorsque l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique, la machine agit comme un générateur, et la seconde consiste à inverser soudainement le sens du courant dans le moteur. En inversant le courant d'induit, la tension du circuit devient égale à la somme de la tension d'alimentation et de la tension induite.

## ***II.2/Démarrage du moteur à courant continu :***

Les moteurs à courant continu de faible puissance peuvent être connectés directement à la source d'alimentation, donc à pleine tension, du fait que le courant et le couple du démarrage sont faibles.

Il existe deux types de démarrage à pleine tension :

- le démarrage manuel ;
- le démarrage à contacteur.

### ***II.2.1/Démarrage manuel***

Le démarrage manuel convient aux moteurs de puissance allant jusqu'à une dizaine de kW.

#### ***a/Construction :***

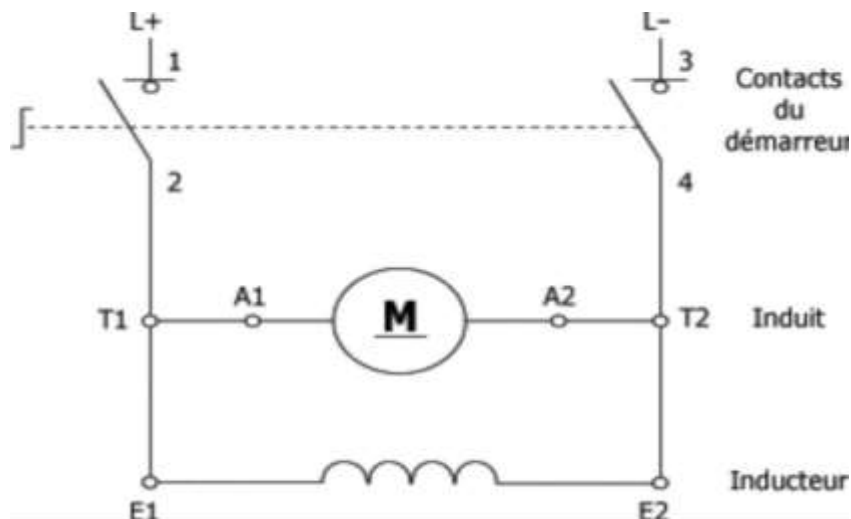
Les démarreurs manuels sont interrupteur sectionneur. Ces démarreurs sont contenus dans un boîtier. La figure suivante vous montre un démarreur généralement constitués d'un manuel.



*Figure(II-1)* Interrupteur pour démarrage manuel

***b/Fonctionnement :***

Un démarreur manuel se branche dans le circuit de puissance du moteur. La figure suivante représente le schéma de branchement d'un démarreur manuel pour un moteur à courant continu. Les points identifiés par la lettre "L" du démarreur sont connectés à la source, tandis que ceux marqués par la lettre "T" sont connectés au moteur.



*Figuré (II-2)* de branchement d'un interrupteur sectionneur pour démarrage manuel

## II.2.2 Démarrage de contacteur :

### a/Démarrage à contacteur non inverseur :

Les démarreurs à contacteur sont les démarreurs de moteurs à pleine tension les plus fréquemment employés en industrie. On les utilise lorsqu'on désire commander un moteur à distance à l'aide d'un poste de commande à bouton-poussoir ou lorsque la puissance du moteur excède la capacité maximale des démarreurs manuels.

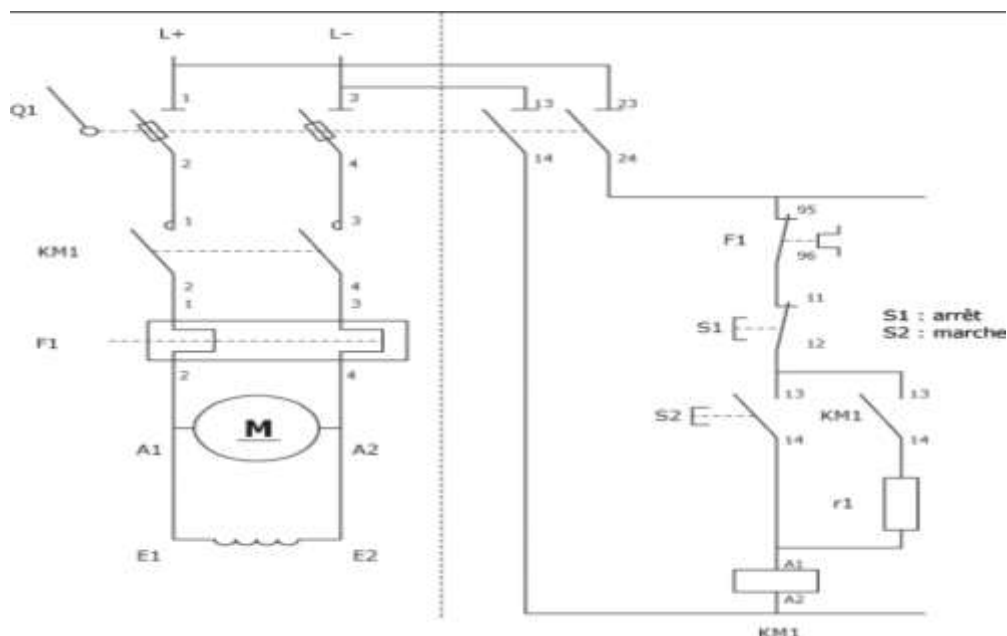


Figure II-3 d'un démarreur à contacteur non inverseur

### b/Démarrage à contacteur inverseur :

Le démarreur inverseur est constitué par :

- d'un contacteur commandant la marche avant KM1 ;
- d'un contacteur commandant la marche arrière KM2 ;
- d'un relais thermique F1.



La figure suivante vous montre les circuits de commande et de puissance d'un moteur commandé par un démarreur inverseur. Le moteur tournera donc dans les deux sens de rotation.

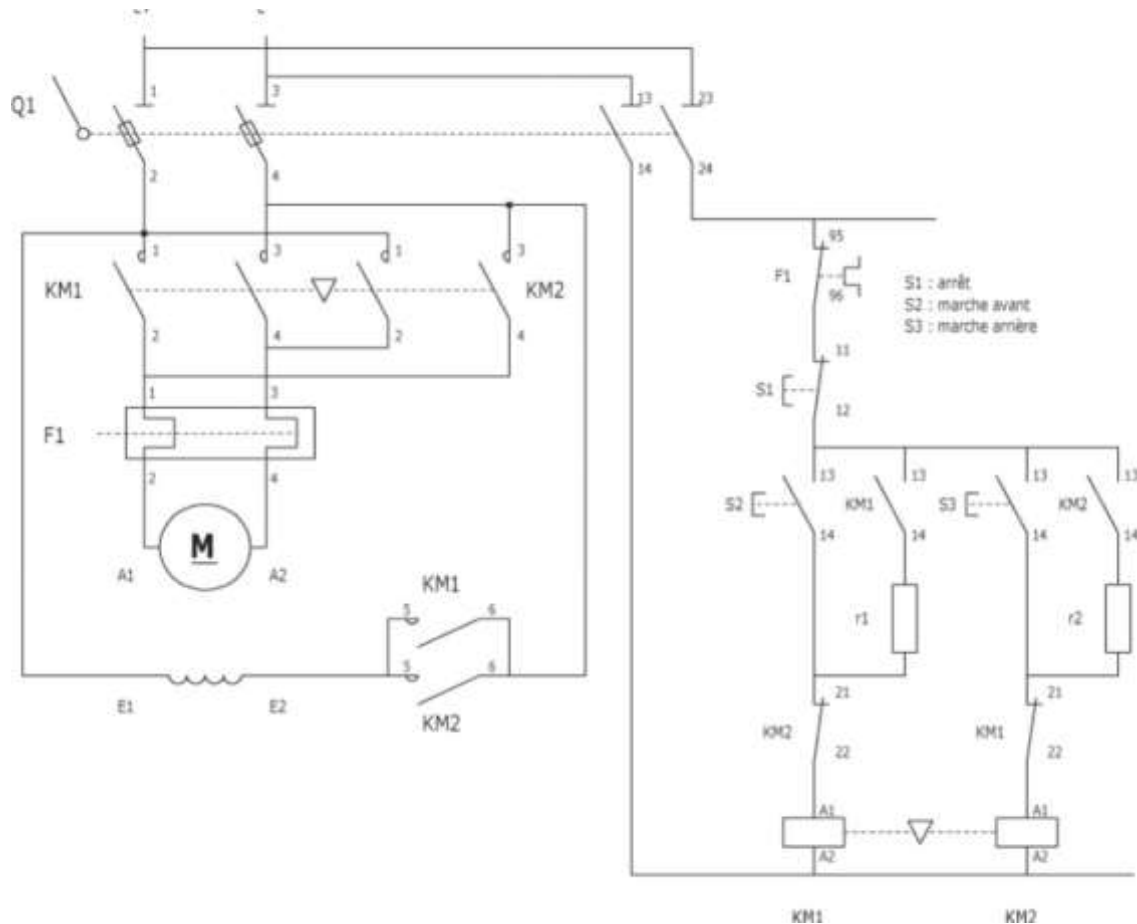


Figure II-4d'un démarreur à contacteur inverseur

Si l'on appuie sur le bouton-poussoir S2 "avant", on alimente la bobine KM1, ce qui provoque :

- la fermeture des deux contacts de puissance KM1 ;
- la fermeture du contact auxiliaire KM1 (13-14) ;
- l'ouverture du contact auxiliaire KM1 (21-22).

Le moteur démarre. Le courant suit le circuit L+, Q1 (1-2), KM1 (1-2), F1 (1-2), A1, A2, F1 (4-3), KM1 (4-3), Q1 (4-3), L-.(5)

### II.3 Procèdes de démarrage :

On cherche, par une division convenable de la résistance totale du rhéostat de démarrage, à maintenir la valeur du courant entre un maximum  $I_{max}$  et un minimum  $I_{min}$ (6)

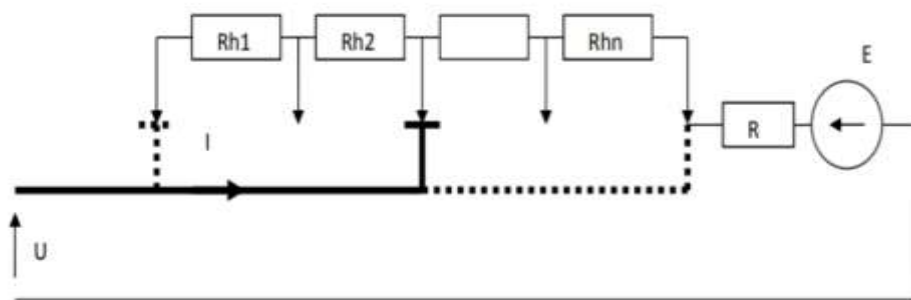
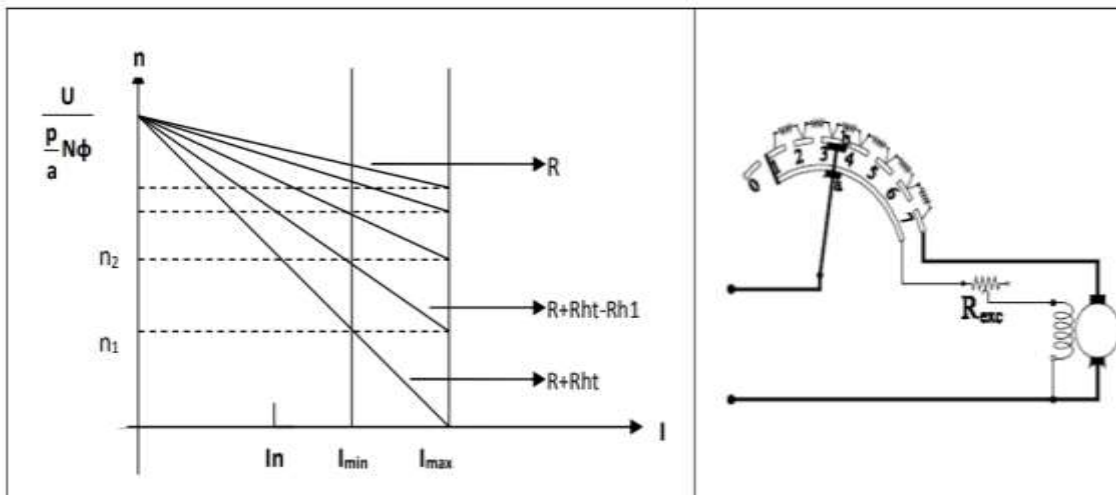


Figure II-5 principe de démarrage d'un moteur à courant continu

L'équation de la tension est la suivante :



Figuré II-0 courbe  $n(I)$ . Figuré II-0 Rhéostat démarrage

#### Calcul de $R_{hi}$ :

Si l'on faisait varier la résistance  $R_h$  du rhéostat de façon continue de manière à maintenir  $i$  constant,  $n=f(R_h)$  serait un segment de droite. En effet :

$$E = U - (R + R_h) I \quad I = \frac{P}{a} n N \phi \Rightarrow n = \frac{U - (R + R_h) I}{\frac{P}{a} N \phi}$$

Avec :  $U = \text{constante}$  ;  $I = \text{constante}$  ;  $\phi = \text{constante}$

Autrement

$$\text{Au décollage } I_d = I_{\max} = \frac{U}{R_t} \Rightarrow R_t = \frac{U}{I_{\max}}$$

🚦 Analysons le passage de 1 au 2 plot :

🚦 Immédiatement avant  $U = E + R_t I_{\max}$

🚦 Immédiatement après :  $U = E + (R_t - R_{h1}) I_{\max} = E + R_1 I_{\max}$

$$\text{Soit : } R_t I_{\min} = R_1 I_{\max} \Rightarrow R_1 = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} R_t$$

$$\text{De même : } R_2 = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} R_1 = \frac{I_{\min}}{I_{\max}} * \frac{I_{\min}}{I_{\max}} R_t$$

## II.4 Problèmes du démarrage :

Pour assurer le démarrage d'un moteur, on doit se poser les deux questions

Suivantes :

- Le couple moteur est-il suffisant pour vaincre le couple résistant ?
- L'intensité appelée au moment du démarrage n'est-elle pas trop élevée ?

Le problème du couple suffisant au démarrage est toujours résolu avec le moteur shunt, on est simplement amené à limiter la valeur du courant appelé. Si l'on ne

Prend pas de précaution spéciale en appliquant la tension nominale à un moteur au repos, l'appel de courant la est forcément très élevé, car le moteur étant arrêté, sa F.c. .m. est nulle.

Une telle surintensité entraînerait la destruction de l'induit. Pour la limiter, on pourrait réduire la tension d'alimentation. Malheureusement, cette solution, qui est utilisée dans le groupe Léonard, n'est pas possible si la tension

d'alimentation est fixe. Dans ce cas on est obligé d'utiliser un rhéostat de démarrage.

### ***II.5 Freinage d'un moteur à courant continu :***

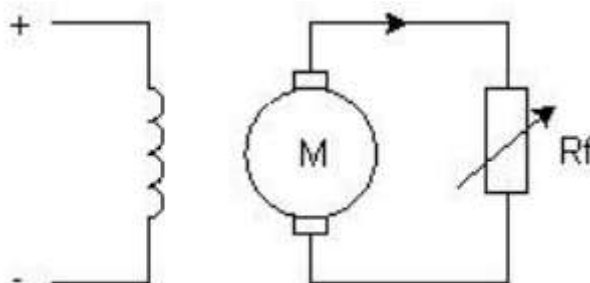
C'est l'opération qui consiste à immobiliser instantanément l'arbre du moteur en transformant l'énergie cinétique du moteur et de la charge en énergie électrique. On utilise des fois des freins mécaniques (patins...).

1. Freinage rhéostatique
2. Freinage par contre-courant
3. Freinage par récupération d'énergie

***a/ Freinage rhéostatique :*** L'énergie de freinage est dissipée dans un rhéostat : l'inducteur doit rester alimenté. On coupe l'alimentation de l'induit et on le fait débiter dans le rhéostat. Le moteur fonctionne alors en génératrice.

L'énergie cinétique du moteur est dissipée par effet joule

$$EC = R_F \cdot I^2 \cdot t$$



Figuré II-09 Freinage Rhéostatique

Le couple de freinage  $C_f = K \Phi = k' I$  et  $I = \frac{E}{R + R_f}$

Pour maintenir le couple de freinage suffisant, on doit diminuer progressivement la résistance du rhéostat. A la fin de la phase de freinage, il faut prévoir un procédé de blocage mécanique si un couple à l'arrêt est nécessaire.

***b/ freinage à contre-courant :***

Ce mode de freinage est utilisé lorsqu'on exige un arrêt brutal de déplacement de la charge (engins de levage...). Il consiste à croiser les deux bornes de l'alimentation de l'induit.

Il faudra nécessairement introduire un capteur tachymetrique pour détecter l'annulation de vitesse et couper l'alimentation de l'induit avant que le moteur ne change de sens de rotation

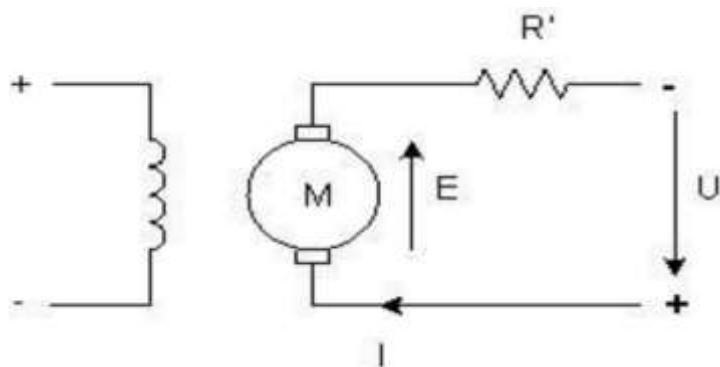


Figure II-10. Freinage contre-courant

$$I = \frac{U + E}{R + R'}$$

Il est possible de régler le couple de freinage en modifiant le courant I à l'aide de la résistance R'.

***c/ freinage par récupération :***

Dans ce mode de freinage, le moteur qui devient une génératrice doit débiter dans la source ce qui offre la possibilité de récupérer l'énergie de freinage. Ceci nécessite que la force électromotrice du moteur soit supérieure à celle de la source :  $E > U$

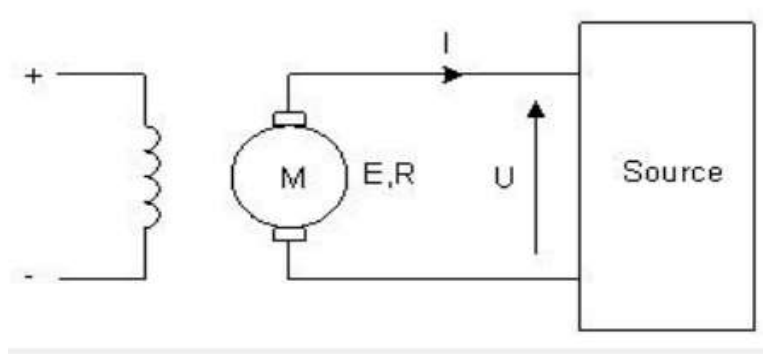


Figure II-11 freinage par récupération

Si la source est à tension fixe, la condition  $E > U$  ne peut être réalisée que si la vitesse du Groupe augmente légèrement. Ce procédé est aussi appelé Freinage en survitesse et utilisé en traction de montagne dans les descentes. Ce procédé permet seulement de récupérer l'énergie Sans réduire la vitesse de rotation de la machine.

S'il s'agit d'une voiture électrique, elle fonctionne alors dans le quadrant 4

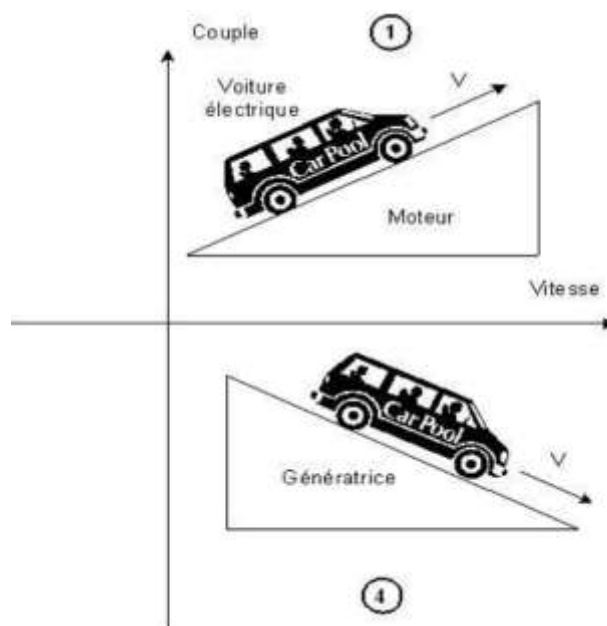


Figure II-12 Exemple moteur-génératrice

Si la tension de la source est réglable, cela suppose l'utilisation d'un convertisseur statique qui Est un redresseur à thyristors par exemple fonctionnant en régime d'onduleur assisté. (7)

## ***II.6 Le Freinage et inversion du sens de la marche***

La génératrice série n'étant pas stable, on ne peut obtenir le freinage électrique d'un moteur série que si on l'alimente en excitation séparée. Ce procédé est utilisé en traction électrique.

Pour inverser le sens de marche, on doit, comme pour le moteur shunt, permuter les connexions entre l'inducteur et l'induit.

## ***II.7 Caractéristiques de freinage des moteurs à courant continu***

Ces caractéristiques sont très importantes dans de nombreuses applications. Exemples : treuil de mine, locomotive électrique ... en descente, ...

### ***a/ Freinage avec récupération d'énergie :***

En excitation indépendante ou dérivée, si le couple moteur change de signe, la vitesse dépasse  $\Omega_g V_a / e_g$  le courant s'inverse et la machine fonctionne en génératrice 4<sup>e</sup> quadrant. Il est évidemment indispensable que la source puisse fournir un courant négatif. Ce fonctionnement est atteint par une locomotive en descente (si le moteur est en descente couplé en excitation indépendante).

Un fonctionnement en génératrice est également atteint dans le 2<sup>e</sup> quadrant où la vitesse est inversée sans que le couple le soit, cas d'un ascenseur à la descente.

L'étude de la dynamique de la machine a également montré qu'il était possible de faire fonctionner transitoirement la machine dans le quatrième quadrant par simple modification de la valeur de la tension d'alimentation ou du courant d'excitation.

En excitation série, la caractéristique est limitée à deux quadrants, le couple ne peut s'inverser par rapport à la vitesse. Le freinage n'est possible qu'en passant en excitation indépendante (ou dérivée).

Ce type de freinage est très économique.

***b. Freinage à contre-courant :***

Ce freinage est peu économique. Il consiste à insérer une résistance en série avec l'induit et à inverser les bornes du moteur-.

***c. Freinage Dynamique :*** Au point de vue économique, ce type de freinage se situe entre les deux premiers. Il consiste à débrancher l'induit du moteur de la source et à le connecter sur une résistance de charge ».

En excitation série, il convient d'inverser l'enroulement d'excitation à cause du rémanent.

***II.8 Inconvénients du freinage mécanique :***

- *Les principaux inconvénients du freinage mécanique sont les suivants : -*
- *Il nécessite un entretien fréquent et le remplacement des sabots de frein.*
- *La puissance de freinage est gaspillée sous forme de chaleur..*
- Malgré certains inconvénients de freinage mécanique, il est également utilisé avec le freinage électrique pour assurer un fonctionnement fiable de l'entraînement. Il est également utilisé pour maintenir le variateur à l'arrêt, car de nombreuses méthodes de freinage ne produisent pas de couple à l'arrêt

***II.9 conclusion***

Nous avons dans ce chapitre parlé du démarrage et du freinage du moteur à courant continu et on a présenté les caractéristiques pendant les deux régimes de fonctionnement. Le chapitre trois, est consacré à l'étude des modes de réglage de la vitesse des MCC





*Mode de Réglage de la vitesse des MCC*

### ***III.1/Introduction :***

Dans ce chapitre il décrit le mode de Réglage de la vitesse des MCC.

### ***III.2. Principe du variateur de vitesse pour un moteur à courant continu :***

Il y a plusieurs façons de procéder pour varier la vitesse d'un moteur à courant continu.

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

### ***III.3/Méthodes de réglage de la vitesse***

La relation de la vitesse d'un moteur à courant continu (à excitation shunt ou séparée) est

$$\Omega = \frac{U - RI}{K\phi}$$

Donnée par :

En explorant cette relation, il apparaît clairement trois possibilités pour le réglage de la Vitesse :

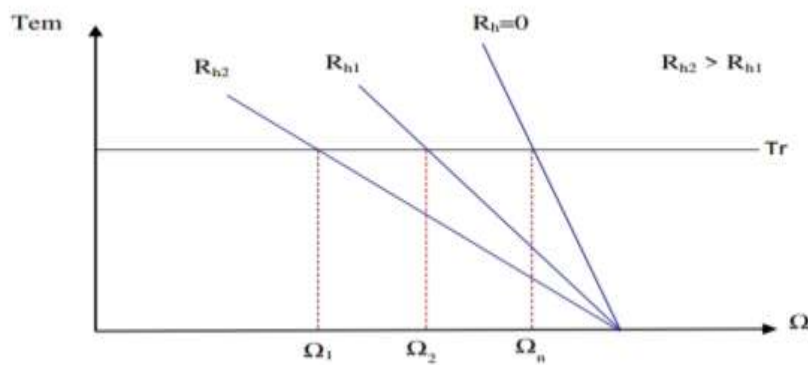
- Action sur R (réglage rhéostatique) ;
- Action sur U (réglage par la tension).
- Action sur  $\phi$  (réglage par le flux) ;

#### ***a. Réglage rhéostatique***

La tension et le flux étant fixes à leur valeur nominale, on peut réduire la vitesse en augmentant la résistance de l'induit à l'aide d'un rhéostat ( $R_h$ ) branché en série avec l'induit.

$$\Omega = \frac{U - (R + R_h)I}{K\phi}$$

D'autres, on :  $T_m = K\phi I = \frac{T_m}{K\phi}$  D'où  $\Omega = \frac{U - (R + R_h)T_m}{(K\phi)^2}$



Figuré (III.2) de Réglage Rhéostatique

- Lorsqu'on augmente  $R_h$ , le couple  $T$  diminue.
- Avec une résistance insérée, la chute de Vitesse augmente avec la charge.

Un bon réglage doit entraîner un déplacement des caractéristiques parallèlement à la caractéristique d'origine ce qui n'est pas le cas.

- Du point de vue économique, la consommation d'énergie dans le rhéostat est d'autant plus importante que la chute de vitesse réclamée est plus élevée.
- A la demi-vitesse, on consomme autant d'énergie dans le rhéostat que dans le Moteur.
- Dans la pratique, ce procédé de réglage n'est utilisé que pour le démarrage ou le Freinage.

*b. Action sur U (réglage par la tension) :  $Q > n$*

A excitation constante, la vitesse peut être variée d'une valeur nulle à la valeur nominale en variant la tension d'induit de zéro à la valeur nominale.

- ❖ Le couple est constant quel que soit la vitesse de rotation sans échauffement a normale.
- ❖ La puissance augmente avec la vitesse.

La majorité des applications industrielles fonctionnent dans cette zone

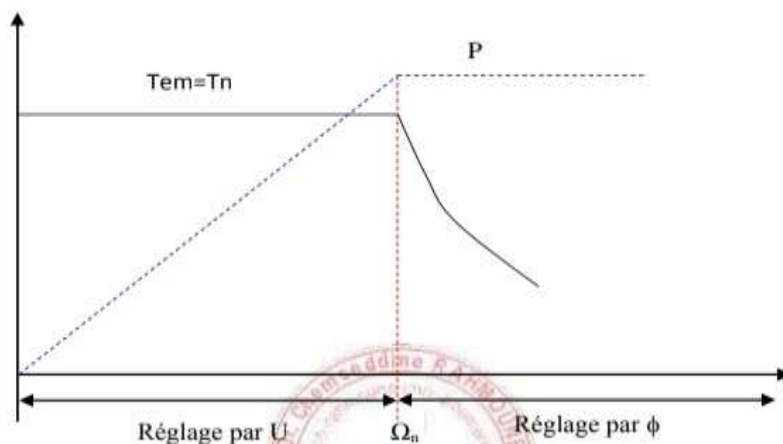


Figure (III-3) de Réglage par U et Réglage par  $\phi$

*C. Action sur  $\phi$  (réglage par le flux)*

Lorsque le moteur atteint sa vitesse nominale, on peut encore accroître sa vitesse en diminuant le flux inducteur.

Dans cette zone :

- ❖ La tension d'induit étant constante, le moteur ne peut plus fournir un couple nominale car le flux étant graduellement réduit.
- ❖ La puissance sans dépasser le courant nominale est constante.

Ce régime de fonctionnement ne couvre environ que 5% des applications industrielles.(8)

### III.4/Différents modes de réglage de la vitesse d'un moteur à courant continu

**A/ Réglage rhéostatique :** La tension et le flux sont fixés à leurs valeurs minimales, on peut réduire la vitesse en augmentant la résistance du circuit d'induit avec un rhéostat branché en série avec l'induit.

L'expression de la vitesse est :

$$N = U_n - (R_a + R_{add}) I_n / k$$

Pour :  $C=0$ ,  $I=0$ ,  $n=U/K$

$$\text{Pour : } n=0C = \frac{KU}{(R_a + R_r)}$$

$$\text{Et : } C = \frac{KU}{(R_a + R_r)}$$

Ainsi on obtient un faisceau de droites comme la montre «figure III-04»

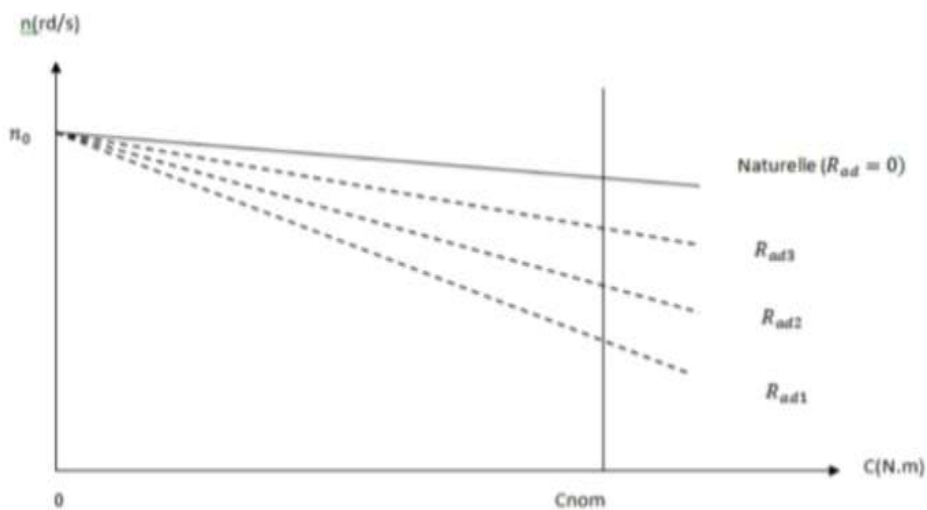


Figure (III-4) : Régulation de la vitesse par variation de résistance d'induit.

**B/Réglage par de flux :** Démarrage de ce type de moteur doit être assuré à flux maximal. Une fois la vitesse est nominale, il sera possible de réduire le flux en utilisant des résistances variables appelées rhéostat d'excitation. Mais plus le flux est faible le couple que peut développer la machine à courant continu est faible.

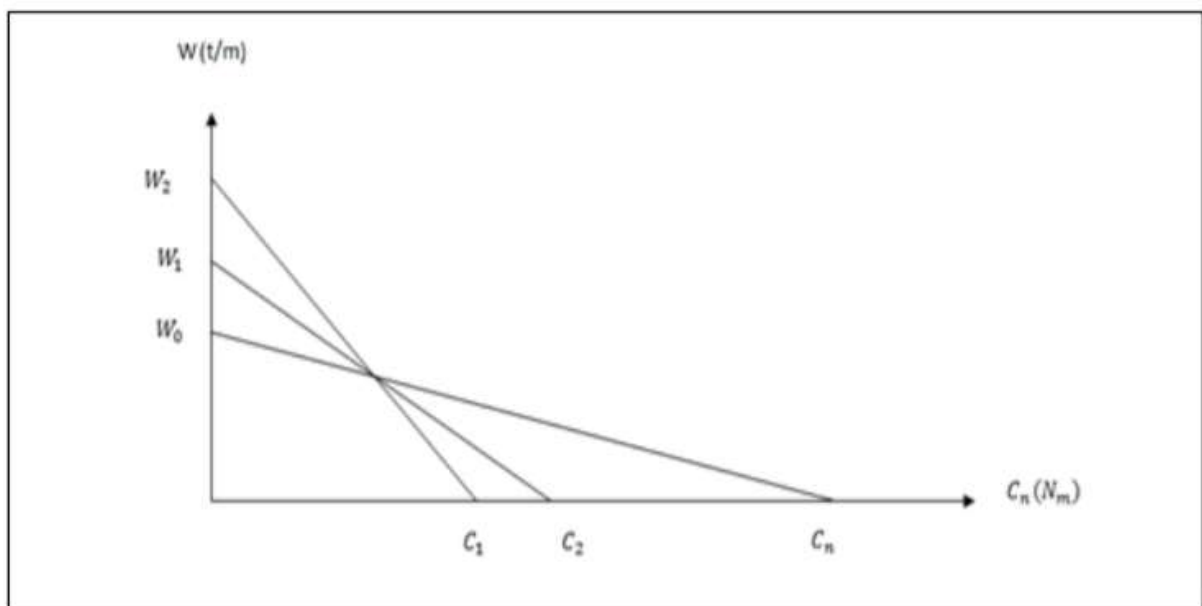
$$n_1 = \frac{U}{K\phi_1} - \frac{RT}{k\phi_1}$$

$$\phi_N > \phi_1 > \phi_2$$

$$n_2 = \frac{U}{K\phi_2} - \frac{RT}{k\phi_2}$$

$$n_N < n_1 < n_2$$

$$n_N = \frac{U}{K\phi_2} - \frac{RT}{k\phi_2}$$



Figuré(III.5) Caractéristique de réglage par la variation du flux magnétique.

Avec ce procédé on ne peut qu'augmenter la vitesse du moteur par rapport à sa vitesse nominale.

$$N = U - R_a \frac{I_a}{K\phi}$$

### C/ Réglage de vitesse par variation de la tension d'induit :

Le flux est mis à sa valeur nominale. En appliquant des tensions faibles par rapport à la tension nominale, on obtient une famille de caractéristique parallèles.

Ce mode de réglage permet de réduire la vitesse et il est excellent du point de vue technique et économique, car aucune énergie n'est gaspillée.

Ce mode de réglage a fait l'objet de notre étude. Pour varier la tension on utilisera un pont redresseur à thyristors.

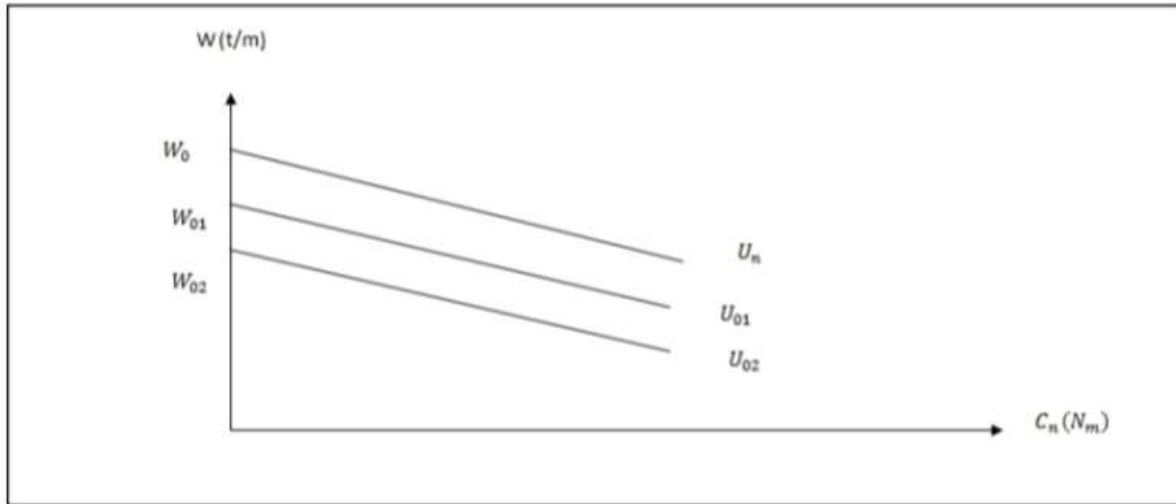


Figure (III-6) : Caractéristique de réglage par variation de la tension d'induit.

### ***III.5 Les quadrants de fonctionnement d'une machine à courant continu***

Deux paramètres qui définissent le fonctionnement de système sont le couple et la vitesse. Le couple dépend de la charge qui peut être entraînée ou entraînante. Le signe de la vitesse dépend du sens de rotation du moteur. Quatre quadrants définissent les zones de fonctionnement.

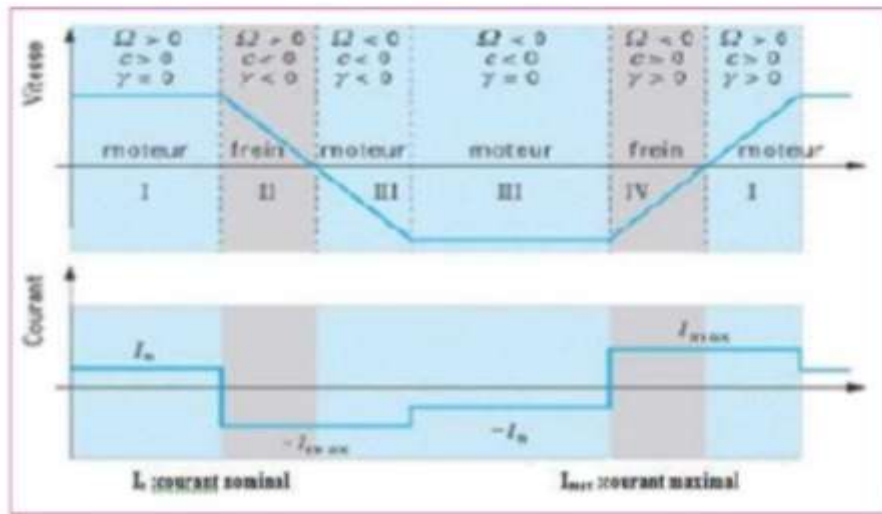


Figure (III-07) Quadrants de fonctionnement d'une machine à courant continu

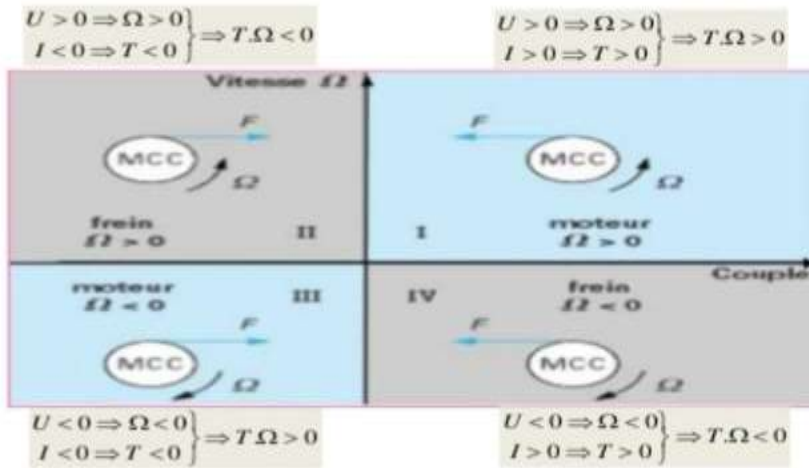


Figure [III-8] : Variations (vitesse & courant) dans les quatre quadrants

### III.6 Conclusion :

Ce chapitre nous permet de décrire les Mode de Réglage de la vitesse des Mcc.





## CHAPITRE III

### *Modélisation et Simulation*

## ***VI.1/Introduction :***

Dans ce chapitre, nous parlerons de la simulation et de la modélisation, où la modélisation est une étape importante, sinon nécessaire, du chemin de simulation.

## ***IV/.2 Modélisation de la machine à courant continu :***

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

Ces trois groupes d'équations nous permettrons de mieux appréhender la Machine à courant continu dans son fonctionnement réel.

Du coté 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  $w(t)$ .

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

## **IV- 3 Equations 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 pourrons donc obtenir les autres modèles moyennant des Modifications à partir du premier.

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

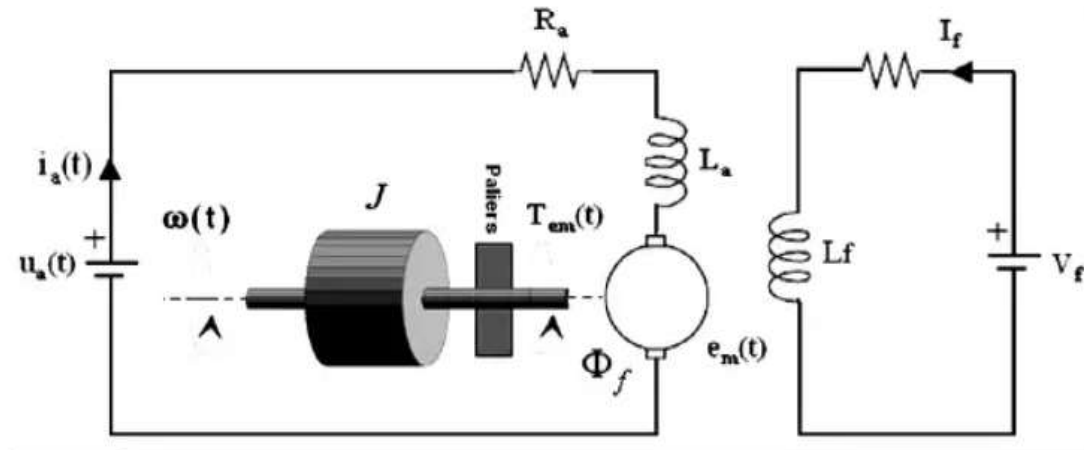


figure (IV-1) schéma d'un moteur à excitation indépendante

Les signaux 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.é.m. (force électromotrice), proportionnelle à la vitesse angulaire  $w(t)$  ;
- 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  $\Phi_f$  ;
  - La charge mécanique, dépendante de l'application (inertie  $J$ , frottement visqueux, Elasticité de la transmission, etc.) ;

#### **IV/4 La vitesse $w(t)$ du rotor du moteur.**

##### **A/ 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 :

$$U_a(t) = R_a I_A(t) + \frac{d\psi}{dt} = R_a i_a(t) + \left( \frac{d(N\phi_f)}{dt} \right)$$

$$U_a(t) = R_a I_A + L_a \frac{di_a}{dt} + e_m(t)$$

### **B/Equations électromécaniques**

La tension induite  $E_M(t)$ , appelée FEM (« force électromotrice » dans l'optique

De l'exploitation en générateur) est proportionnelle à la vitesse angulaire

$\omega(t)$  et au flux inducteur  $\phi_f$  :

$$E_M(t) = k \phi_f(t) \cdot \omega(t)$$

$k$  est une constante dépendant de la construction de la machine. La

Première équation montre qu'  $E_M(t)$  s'oppose à  $U_a(t)$ , c'est-à-dire

Que le moteur réagit en créant une FEM

$E_M(t)$  tendant à équilibrer  $U_a(t)$ . 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 :

$$T_{em}(t) = k \cdot \phi_f(t) \cdot I_A(t)$$

### **C/Equation mécanique**

Le moteur en rotation est décrit par l'équation (de la dynamique)

D'équilibres suivants :

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

Ou

$J_T$  : inertie totale entraînée (moteur  $J_M$  et charge  $J_{ch}$ )

$B_M$  : 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.

### Transformées de Laplace

Les transformées de Laplace des équations sont les suivantes :

$$U_a(t) = R a i_a(t) + L_a \frac{d i_a}{dt} + E_M(t) \Rightarrow U_a - E_M = R a i_a + s \cdot L_a I_A$$

$$(t) E_M = k \cdot \varphi(t) \cdot \omega(t) \Rightarrow E_M = k \cdot \varphi f \cdot \Omega$$

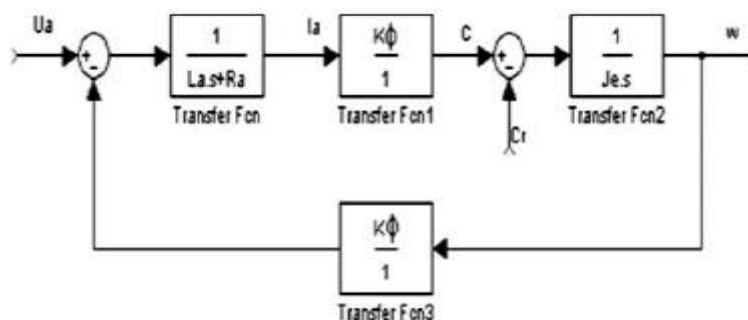
$$T_{em}(t) = k \cdot \varphi(t) \cdot i_a(t) \Rightarrow T_{em} = k \cdot \varphi f \cdot I_a$$

$$\int t \frac{d\omega}{dt} = T_{em}(t) B_m \omega(t) - T_r(t) - T_f(t) \Rightarrow T_{em} - T - B_M \omega(t) - T = s \cdot J_T \Omega$$

### IV/5 Schémas blocs

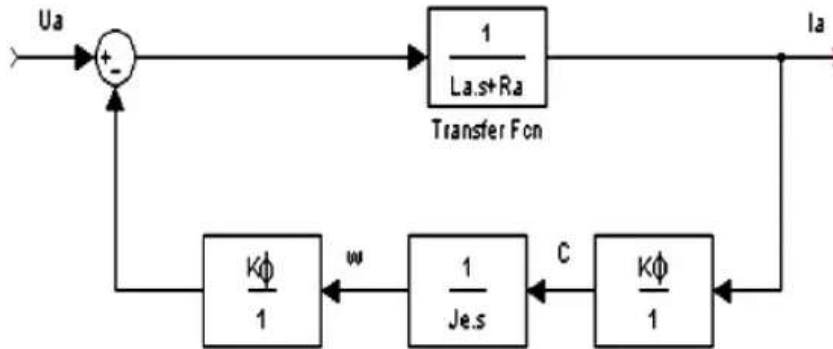
Les transformées de Laplace obtenues nous permettent de modéliser le moteur sous forme de schéma bloc ou schéma fonctionnel. Ces schémas présentent les Fonctions de transfert suivant les paramètres d'entrée et de sortie considérés.

- 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.



Figure(IV-2) : Schéma bloc tension-courant du moteur à courant continu.

Si le courant a la sortie et gradéetoujours la tension a l entrée, on a;



Figure(IV-3) schéma bloc tension vitesse du moteur a courant continu

#### IV/6 Modèle Simulink de la machine à courant continu

L'ensemble de ce qui précède nous permet de réaliser le modèle Simulink (c'est à dire le modèle utilisé en simulation dans Mat Lab/Simulions) de la machine à Courant continu comme Suit

##### A/ La partie électrique

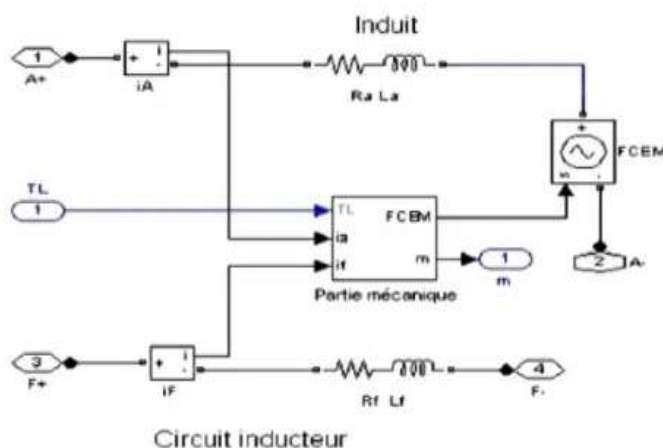


Figure (IV-4) Réalisation de la partie électrique de la MCC sous Simulions.

## B/ La partie mécanique

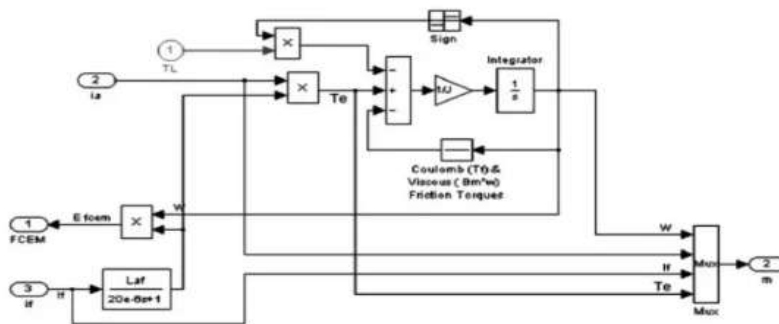


Figure (IV-5) Réalisation de la partie mécanique de la MCC sous Simulions.

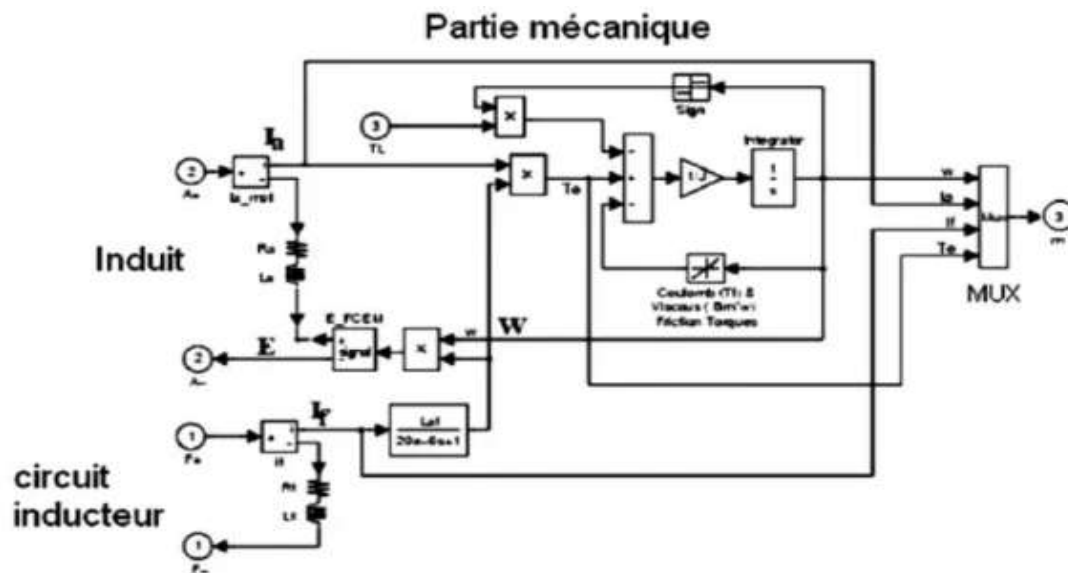


Figure (IV-6) Réalisation de la MCC sous Simulions.

Dans nos simulations nous n'utiliserons pas le modèle comme présenté au Schéma précédent mais en tant qu'un masque représenté par le bloc

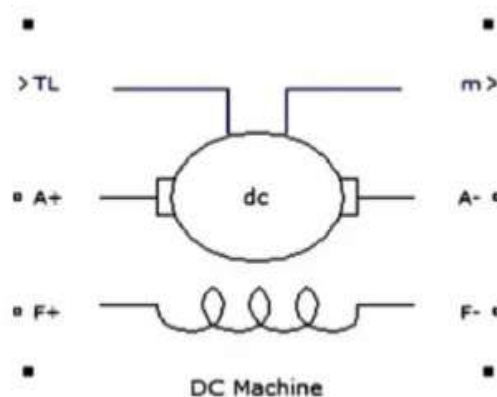
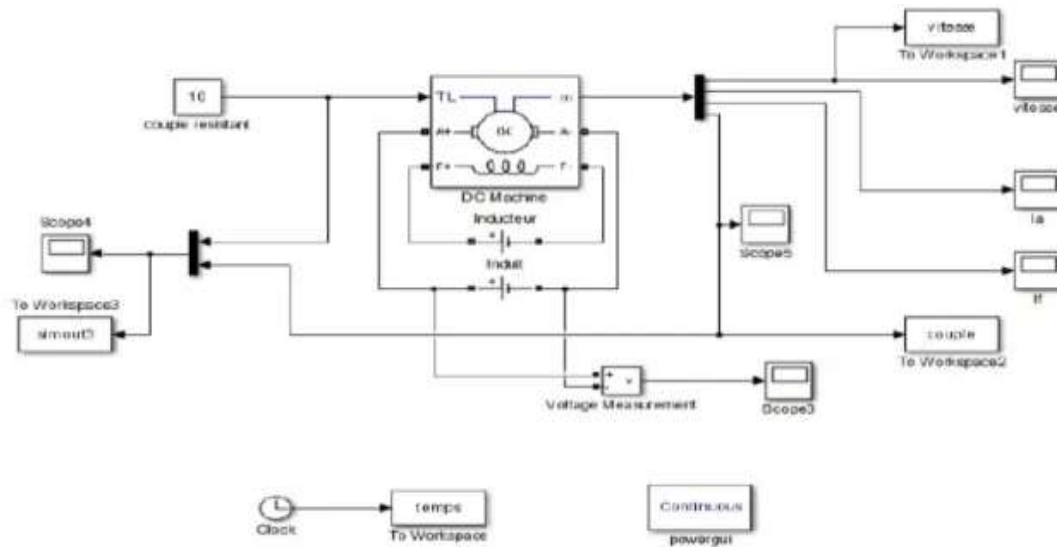


Figure (IV-7) Bloc de la MCC sous Simulions.

#### IV/7 Simulation d'une machine à courant continu à excitation séparée



Figure(IV-8) Simulation d'une machine à courant continu à excitation séparée

Dans les champs de réglage de la machine, on demande de régler les paramètres suivants

- Les paramètres de l'enroulement de l'induit :  $R_a = 2,52 \text{ Ohm}$ ,  $L_a = 0,048 \text{ H}$
- Les paramètres de l'enroulement d'excitation  $R_f = 92 \text{ Ohm}$ ,  $L_f = 5,257 \text{ H}$
- La somme des moments d'inertie de la machine et de la charge :

$$J = 0,017 (\text{Kg m}^2)$$

- Le coefficient de frottement visqueux  $B_v = 0,0000142 \text{ H.M.S}$  :
- Le coefficient de frottement à sec :  $T_c = 0,005968 \text{ Nm}$

On effectue enfin les derniers réglages sur le schéma ci-dessus en réduisant le

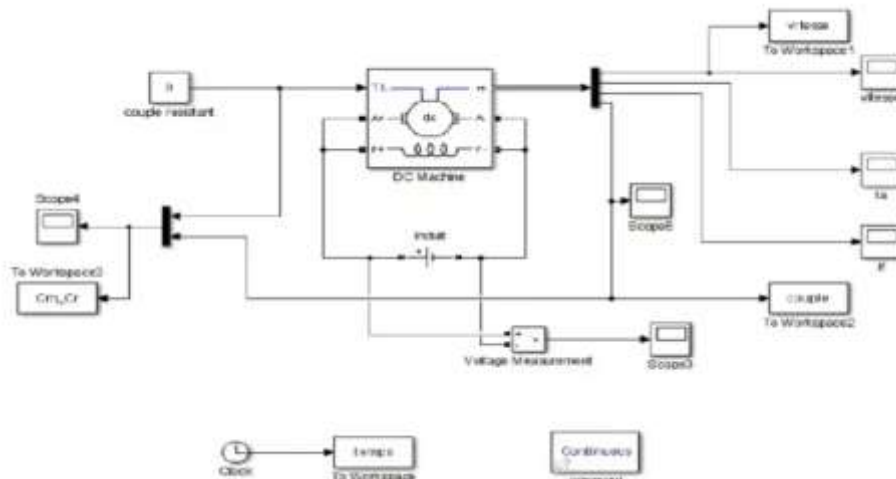
Temps de simulation de 10 à 0.5 secondes. En alimentant l'inducteur sous 220V, l'induit sous 240V, et en réglant le couple résistant constant sur 10Nm.

On peut maintenant passer à la simulation et à la visualisation des courbes.

#### IV/8 Simulation d'une machine à courant continu à excitation shunt



Dans cette partie, on utilise les mêmes outils que pour la simulation du moteur à excitation Indépendante, sauf qu'ici la source de tension de l'inducteur est supprimée et l'inducteur est mis en parallèle sur la source de tension de l'induit suivant le modèle de la figure suivante.



Figure(IV-9) Simulation d'une machine à courant continu à excitation shunt

#### IV/9 Simulation d'une machine à courant continu à excitation série

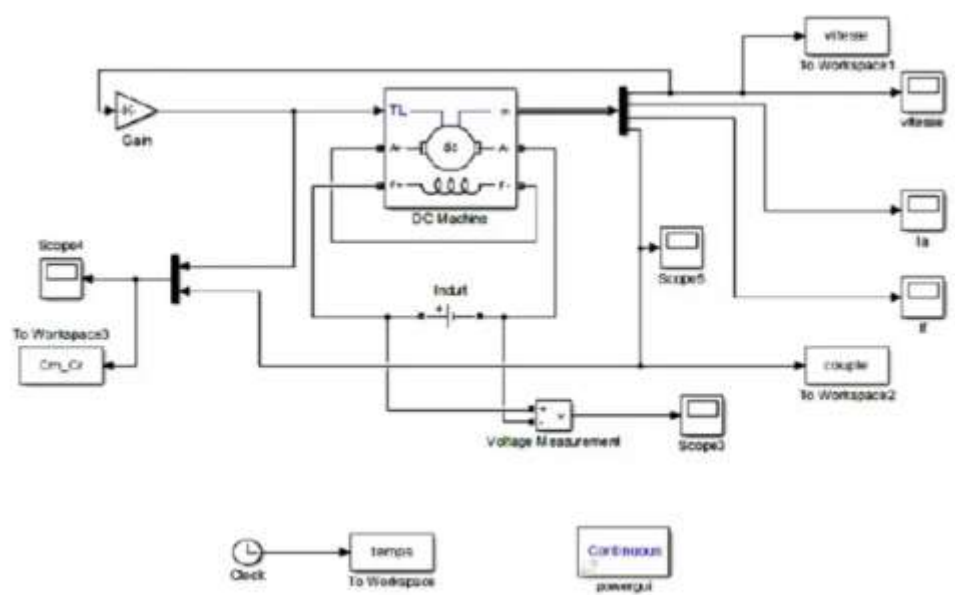


Figure (IV-10) Simulation d'une machine à courant continu à excitation série

#### IV/10 CONCLUSION :

Dans ce bon chapitre, nous vous présentons la modélisation, la simulation et les paramètres du moteur à courant continu.



## ***Conclusion et référence***

### **Conclusion générale :**

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

## Référence :

- [1][https://www.wikimeca.org/index.php/Moteur\\_%C3%A0\\_courant\\_continu#:~:texte=Un%20moteur%](https://www.wikimeca.org/index.php/Moteur_%C3%A0_courant_continu#:~:texte=Un%20moteur%20a%20courant%20continu)
- [2]<https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/10/Boulakroune-Souad.pdf>
- [3]Professeure Drid Saïd université de Batna 2 département 2019-2020
- [4]<https://fr.slideshare.net/sadakamine/mmoire-docpdf-63550011>
- [5]<https://www.maxicours.com/se/cours/demarrage-direct-des-moteurs-a-courant-continu/>
- [6][www.est-usmba.ac.ma](http://www.est-usmba.ac.ma)
- [7] <http://electronique1.blogspot.com/2011/02/freinage-dun-moteur-courant-continu.html?m=1>
- [8][https://r.search.yahoo.com/\\_ylt=AwrP4k8p4a5gG1QA2kmJylI5;\\_ylu=Y29sbwNpcjIEcG9zAzQEdn](https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrP4k8p4a5gG1QA2kmJylI5;_ylu=Y29sbwNpcjIEcG9zAzQEdn)
- [9]<https://fr.scribd.com/document/335620070/Etude-Simulation-de-Convertisseur-Machines-a-Courant>