

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

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technique

Filière : Génie électrique

Spécialité : contrôle et diagnostic des systèmes électriques

Thème

**Machine à courant continu étude et
simulation**

Réalisé par :

Moulati Yakoub

Dhaou Hani

Amouri Badreddine

Encadré par :

Mr :Labdani Rafik

Promotion : 2010



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience , qu'il nous a donné durant toutes ces longues années .

Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr. Labdani rafik pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils.

Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à accomplir ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants qui a contribué à notre formation par ailleurs, Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

En fin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour le soutien moral et matériel...



LISTE DES ABREVIATIONS

- P : nombre de paires de pôles
- a : nombre de paires de voies d'enroulement
- N : nombre de conducteurs « ou de brin-deux par spire »
- Φ : flux maximum à travers les spires (en Webers, Wb)
- Ω : Vitesse de rotation (en rd /s)
- E : Force contre électromotrice (f.c.e.m)V
- K : constant
- K' : constante interne de la machine
- $\vec{I}$: Courant de fils
- G : Générateur
- M : Moteur à courant continu
- $\vec{F}$: Force électromotrice
- P_{em} : puissance électromagnétique (w)
- T_{em} : couple électromagnétique (N.m)
- I_a : Courant dans l'induit (A)
- R_a : Résistance de l'induit (W)
- U_a : Tension de l'induit (v)
- R_f : Résistance de l'inducteur
- I_f : Courant dans l'inducteur (A)

P_a : puissance absorbée (w)

U : Tension aux bornes de la machine V

P_u : Puissance utile (w)

R : Résistance (W)

T_u : Couple utile (N.m)

P_{fer} : Pertes fer

P_{rot} : Pertes mécaniques rotationnelles

P_{js} : Pertes joules statoriques

P_{jr} : Pertes joules rotoriques

T_{mec} : Couple mécanique

η : rendement

E_v : f.c.e.m à vide

*INTRODUCTION
GENERALE*



INTRODUCTION

L'industrie, au sens le large du terme, ont plus besoin de systèmes à vitesse variable, doués de souplesse et de précision, bien sûr, les solutions mécaniques sont encore utilisées, mais les solutions électriques sont aujourd'hui plus appréciées, leur succès vient des caractéristiques incomparables que leur confère l'électronique sur le plan de conversion de l'énergie.

Les machines à courant continu sont des machines tournantes qui sont réversibles, c'est-à-dire qu'elles peuvent fonctionner indifféremment soit comme réceptrice (moteur) soit comme génératrice (dynamo). La commande des moteurs à courant continu est considérée comme étant facile à réaliser et ceci à un coût coûteux que ceux des moteurs à courant alternatif. On peut varier très rapidement la tension continue tout en disposant d'une puissance de commande très faible.

Le présent mémoire est composé d'une introduction, de deux chapitres et une conclusion, et répartie comme suit :

Le premier chapitre, constitue un rappel des généralités sur la structure des machines à courant continu, le principe de fonctionnement et les différentes caractéristiques des trois machines à courant continu à excitation : shunt, série et séparée.

Dans le deuxième chapitre, nous allons simuler, en se servant du PSIM, la machine à courant continu en deux modes: générateur et moteur.

CHAPITRE I

***GENERALITE SUR LES MACHINES
A COURANT CONTINU***

I.1.Introduction:

Les machines électriques tournantes sont des convertisseurs d'énergie. Lorsqu'elles transforment de l'énergie électrique en énergie mécanique, on dit qu'elles fonctionnent en **moteur**. En revanche, si elles transforment l'énergie mécanique apportée par une autre machine en énergie électrique, on dit qu'elles fonctionnent en **génératrice**.

La machine à courant continu est une machine électrique tournante qui fonctionne, comme son nom l'indique, à partir de tensions et de courants continus. Dans le cas de petits moteurs, elle est donc adaptée à des sources d'énergie électrochimiques. Pour les fortes puissances, on la trouve dans les lignes de métro-rer où elle fonctionne en moteur (traction) ou en génératrice (freinage), [1]

I. 2 Structure de la machine à courant continu

Une [HYPERLINK "http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=157"](http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=157) machine électrique à courant continu est constituée d'un rotor et d'un stator:

Figure I.1 structure de la machine à courant continu

I.2.1.Un circuit magnétique inducteur (stator)

Le stator, appelé aussi inducteur, produit le champ magnétique, on parle de flux d'excitation, ce champ est créé soit à partir d'un bobinage soit à l'aide d'aimants permanents collés à l'intérieur du stator si le moteur est de petite taille de quelques Watts à une centaine de Watts. Se compose de trois parties:

La carcasse, les pôles principaux et les pôles de commutation sont entièrement feuilletés. Les composants du stator sont soudés ensemble dans un bati de fixation qui aligne et presse les tôles ensemble en une unité monobloc, [2]

I.2.1.1 La carcasse:

C'est à dire la partie de la machine à laquelle sont fixes les pôles principaux et à l'aide de laquelle la machine est réunie à la fondation. Une partie de la carcasse qui sert au passage du flux produit par les pôles principaux est appelée culasse, [3]

Figure I.2 Carcasse de la machine à courant continu

I.2.1.2 Les Pôles inducteur [4]

Les pôles inducteurs ont pour rôle de créer *le flux inducteur* dans la machine « entre la culasse et l'induit »

- * Ce flux est généré soit par des enroulements, soit par des aimants.
- * Ce flux est canalisé dans la machine par des matériaux ferromagnétiques « parties hachurées ». (Figure I.1)
- * Ce flux étant constant dans la partie portant les pôles inducteurs et dans les pôles inducteurs eux-mêmes.

I.2.1.3. Les bobines

sont réalisées avec du fil de cuivre isolé (vernis isolant) qui est enroulé autour du noyau polaire de telle sorte à réaliser un électro-aimant .

Figure I.3 Stator (inducteur) d'une machine à courant continu

I.2.2 Un circuit électrique induit(Rotor)

Le rotor, partie mobile de la machine courant continu, appelé également induit, constitué par un cylindre d'acier doux à la périphérie duquel sont disposés des conducteurs reliés aux lames du collecteur sur lesquelles frottent deux charbons, ou balais, qui assurent la liaison avec les bornes de moteur,[4]

Le rotor(induit) tourne un champ magnétique fix



Matériau
magnétique

collecteur

re I.4 rotor(induit) machine à courant continu

I.2.3 Une armature de l'induit (encoche)

réalisée à l'aide de tôles empilées, montées directement sur l'arbre par insertion chaude, soit assemblées par queue d'aronde pour les grandes machines. Les encoches fermées par des becs d'encoches peuvent être de forme arrondie ou rectangulaire.

I.2.4 Balais

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

Les balais permettent l'alimentation de l'induit (partie en rotation) grâce à un contact glissant entre les lames du collecteur reliées aux conducteurs de l'induit et le circuit électrique extérieur, [5]

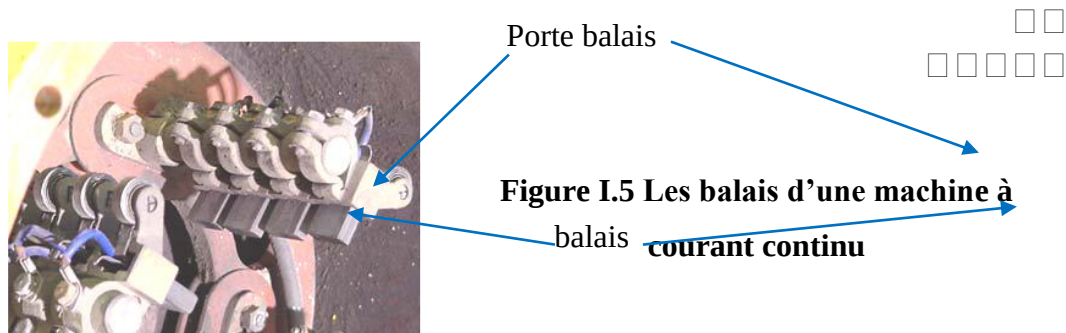


Figure I.5 Les balais d'une machine à
courant continu

I.2.5 Collecteur

Le collecteur est formé d'un certain nombre de lames en cuivre isolées les unes des autres et l'arbre par mica. Collecteur est un redresseur mécanique. Sur le collecteur frottent des balais fixes à l'aide de porte-balais, qui relient l'enroulement d'induit au circuit extérieur, [2]

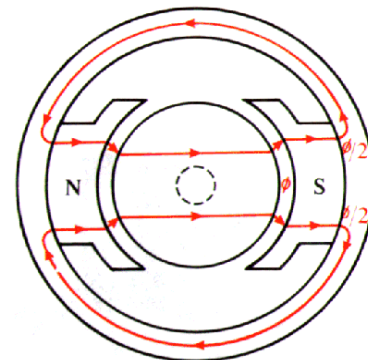
I.3 Organes mécaniques

Le stator autoporteur reçoit de chaque côté un flasque sur lequel le rotor sera positionné grâce à des roulements à billes ou à rouleaux suivant le type de charge «

Un ventilateur est placé en bout d'arbre, sur le rotor, pour le refroidissement de la machine. Il peut être équipé par une ventilation forcée motorisée pour le refroidissement aux vitesses lentes, [4]

I.4 Circuit magnétique d'une machine à courant continu

On appelle champ magnétique l'un des deux aspects du champs électromagnétique excité par les charges électriques de particules en mouvement ou par, des variations du champ électrique et caractérisé par la force exercée sur les particules chargées en mouvement et aussi, par conséquent, sur les courants électriques.



Lors de la rotation de l'induit, les lignes de champ, qui ont tendance à se concentrer dans les dents (entrefer minimal), se déplacent autour d'une position moyenne: papillotement.

Page 22 PAGE * MERGEFORMAT

L'épanouissement polaire est le siège de courants de Foucault. Pour limiter leur action, il faut le feuilletter. Il est souvent plus économique de feuilletter l'ensemble du pôle.

I.4.1 Réaction d'induit

Figure I.9 Réaction d'induit dans la machine à courant continu

Il y a distorsion des lignes de champ dans le sens de la rotation du rotor et les variations de l'induction sont importantes, certaines parties de l'épanouissement polaire étant saturées, d'autres démagnétisées. Il y a une mauvaise répartition des différences de potentiel entre les lames du collecteur : risque d'arc. La f.e.m. diminue.

I.4.2 Phénomène de commutation de la machine à courant continu

On définit la commutation dans les systèmes électriques, comme changement d'état
Brusque , [7]

- On entend par la commutation d'une section est son passage d'une voie de l'induit dans la suivante quand les lames de collecteur entre lesquelles elle est montée passent face à une ligne de balais. Les deux lames étant au contact des mêmes balais, la section est mise en court-circuit. Durant ce court-circuit, le courant dans la section doit s'inverser puisqu'elle passe d'une voie à une autre.

On distingue deux types de commutation, simple et multiple.

I.4.2.1 Commutation simple :

La commutation est simple si la largeur des balais est égale à celle d'une lame de collecteur. Alors un balais ne met en court-circuit qu'une section à la fois.

Ce cas théorique, car les balais sont plus larges, permet de voir ce qui se passe durant la commutation d'une section, [8]

Figure I.10 Commutation simple.

I.4.2.2 Commutation multiple :

Pour une largeur du balai dépassent la largeur d'une lame de collecteur. Le phénomènes de commutation se produisent simultanément dans plusieurs sections court-circuitées par les balais. La variation du courant dans une section pendant la commutation dépendra non seulement de la f.e.m d'auto inductione **es**, de la section commutée mais aussi de la f.e.m d'induction mutuelle **em** avec les sections voisines placées dans la même encoche.

Figure I.11 Commutation multiple.

I.4.3 Force électromotrice

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

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

$$E = \frac{P}{2\pi a} N\Phi\Omega \quad \text{I.1}$$

Avec

P : nombre de paires de pôles ;

a : nombre de paires de voies d'enroulement ;

N : nombre de conducteurs « ou de brin-deux par spire » ;

Φ : flux maximum à travers les spires (en Webers, Wb) ;

Ω : Vitesse de rotation « en rd/s ».

Finalement

$$E = K\Phi\Omega \quad \text{I.2}$$

Avec:

$$\text{EMBED Equation.3} \quad \text{I.3}$$

Si de plus la machine fonctionne à flux constants

$$\text{EMBED Equation.3} \quad \text{I.4}$$

Avec :

EMBED Equation.3 ,[4] I.5

I.5 Principe de fonctionnement d'une machine à courant continu

I.5.1 Cas d'un moteur

On alimente on excite l'inducteur (stator), puis on alimente l'induit (rotor) on aura une rotation d'après le phénomène d'induction :

* Un conducteur traversé par un courant, placé dans un champ magnétique est soumis à une force de Laplace. C'est le phénomène de base à prendre en compte dans une conversion d'énergie électrique en énergie mécanique, [6]

I.5.2 Cas d'une génératrice

On tourne l'induit (rotor) à l'aide d'un moteur auxiliaire ensuite on excite l'inducteur (stator) on aura une tension aux bornes de l'induit d'après le phénomène d'induction suivant :

* Un conducteur se déplaçant dans un champ magnétique va être le siège d'une f.e.m. induite. Il s'agit donc d'une conversion de sens inverse, d'énergie mécanique en énergie électrique, [6]

I.6 Définition d'une génératrice à courant continu

On appelle dynamo une machine électrique qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique à courant continu que la machine fournit aux récepteurs

Figure I.12 symbole et conversion d'énergie d'une génératrice à courant continu

I.6.1 Types des génératrice courant continu

On distingue trois types d'excitation

✓ Génératrice à excitation en dérivation (ou shunt, parallèle)

Est une machine très répandue, car elle n'exige pas une source indépendante. Elle est donc auto-excitée. L'induit et l'inducteur sont connectés en parallèle.

✓ Génératrice à excitation série

Les deux enroulements (inducteur et induit) sont branchés en série. L'enroulement de l'induit, qui est parcouru par un courant élevé comporte peu de spires de forte section donc de résistance faible.

✓ **Génératrice à excitation séparée (ou indépendante)**

Est caractérisée par son inducteur alimenté par une source indépendante de la génératrice. La tension de l'induit est différente de celle de l'inducteur, [9]

I.6.2 Fonctionnement en génératrice

Si une source d'énergie mécanique essaie d'augmenter la vitesse de la machine, « la charge est entraînante : ascenseur par exemple », ω augmente donc E augmente.

Comme U reste constante, le produit $R_i I_i$ devient négatif et augmente en valeur absolue, donc I_i augmente, donc le couple T augmente lui aussi et lutte contre l'augmentation de vitesse : c'est un ***couple frein***. Le signe du courant ayant changé, le signe de la puissance consommée change lui aussi. La machine consomme une ***puissance négative***, donc elle fournit de la puissance au circuit. Elle est devenue génératrice.

Ces deux modes de fonctionnement existent pour les deux sens de rotation de la machine. Celle-ci pouvant passer sans discontinuité d'un sens de rotation ou de couple à l'autre. On dit alors qu'elle fonctionne dans les quatre quadrants -du plan couple vitesse, [4]

I.7 Moteur à courant continu

I.7.1 Définition d'un moteur à courant continu

Le moteur est une machine électrique qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Son principe de fonctionnement est basé sur l'interaction des courants dans l'induction avec le champ magnétique créé par des pôles principaux, [10]

Figure I.14 symbole et conversion d'énergie d'une moteur cc

I.7.2 Couple électromagnétique [11]

Soient deux conducteurs formant une spire parcourue par un courant I . Ceux-ci étant placés dans un champ magnétique $\mathbf{B}$, ils sont soumis aux forces de Laplace $\mathbf{F}_1$ et $\mathbf{F}_2$, qui forment un couple de force.

EMBED Equation.3

I.6

EMBED Equation.3 forment un trièdre direct. On peut appliquer la règle de la main droite:

EMBED Equation.3 correspond à l'index.

EMBED Equation.3 correspond au majeur.

EMBED Equation.3 correspond au pouce.

Figure I.13 Schéma explique l'application de la règle de la main droite par le M.C.C

I.7.3 Expression du moment du couple électromagnétique

Si l'induit présente une f.é.m induite $\mathbf{E}$ et s'il est parcouru par un courant I , il reçoit une puissance électromagnétique

EMBED Equation.3

I.7

La puissance développée par le couple électromagnétique est:

P **EMBED Equation.3**

I.8

D'après le principe de conservation de l'énergie, on a **EMBED Equation.3** P

d'où

EMBED Equation.3 **EMBED Equation.3** **EMBED**

Equation.3 **EMBED Equation.3** **I.9**

Or

EMBED Equation.3 **EMBED Equation.3**

I.10

Donc:

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

I.11

EMBED Equation.3 s'exprime en Nm, EMBED Equation.3 en Wb et

EMBED Equation.3 en A.

Remarque: le K qui intervient dans cette formule est le même que celui intervient dans la formule donnant la force électromotrice E .

✓ **Cas d'une génératrice:** -Un couple extérieur entraîne l'induit.

-Les forces de Laplace sont résistantes.

-On a une f.é.m induite.

Figure I.14 sens de la f.é.m induite

✓ **Cas d'un moteur:** -Les forces de Laplace entraînent l'induit

- Le couple extérieur dû à la charge est résistant.

- On a une f.c.é.m induite.

Figure I.15 sens du courant

I.7.4 Les différents types de moteur à courant continu

On distingue plusieurs types des moteurs à courant continu

I.7.4.1 Moteur shunt

L'enroulement d'inducteur et en parallèle à l'enroulement d'induit comme le montre la figure suivante.

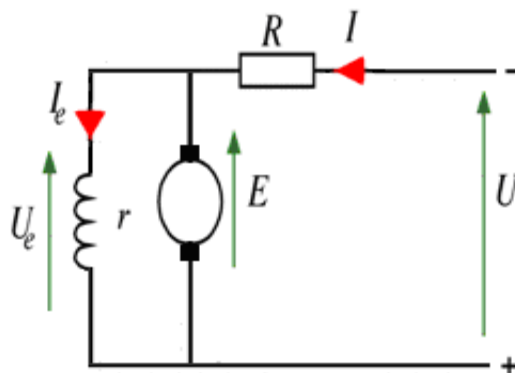


Figure I.16 Schéma équivalent du Moteur shunt.

Un moteur shunt est construit de la même façon qu'une dynamo shunt. La tension aux bornes du rotor est la même que celle aux bornes du stator: **EMBED**

Equation.3

Les équations de la machine deviennent :

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

I.12

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

I.13

I.7.4.2 Moteur série

Il tourne toujours dans le même sens quel que soit le sens du courant fourni (sens □ inverse du générateur) car si on change le sens du courant d'alimentation puisqu'induit et inducteur sont en série,

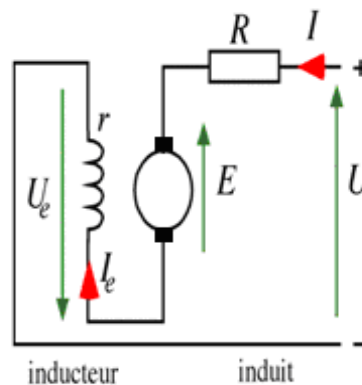


Figure I.17 Schéma équivalent d'un Moteur série.

Les équations de la machine deviennent :

$$I = I_a = I_f \quad \square$$

EMBED Equation.3 **EMBED Equation.3** **EMBED**
Equation.3 I.14

EMBED Equation.3
I.15

EMBED Equation.3

Le courant dans l'induit est donné par :

$$I_a = \frac{U - E}{R_a} \quad \text{I.17}$$

I.7.4.3 Moteurs à excitation séparée

Comme dans le cas des génératrices à excitation indépendante, le bobinage inducteur des moteurs à excitation indépendante est raccordé à une alimentation à courant continu séparée. Par conséquent, le courant qui alimente l'inducteur est indépendant de celui qui alimente l'induit.

Figure I.18 Schéma équivalent du Moteur à excitation indépendante

$$U = K \cdot \Phi \cdot \Omega \quad \text{I.18}$$

EMBED Equation.3 **EMBED Equation.3**
I.19

EMBED Equation.3
I.20

Expression de la vitesse:

EMBED Equation.3 **EMBED Equation.3**
I.21

donc :

EMBED Equation.3

I.22

Remarque si $\Phi = 0 \text{ Wb}$ donc: EMBED Equation.3 $= 0$, alors Ω tend vers

l'infini (emballement du moteur),[12]

I.8 fonctionnement en moteur

Lorsque l'on veut la faire travailler, en appliquant un couple résistant sur son axe, cela la freine donc E diminue. Comme U reste constante, le produit $R_i I_i$ augmente donc I_i augmente, donc le couple T augmente lui aussi et lutte contre la diminution de la vitesse, c'est un **couple moteur**. Plus on le freine, plus le courant augmente pour lutter contre la diminution de vitesse. C'est pourquoi les moteurs à courant continu peuvent « griller » lorsque le rotor est bloqué, si le courant de la source n'est pas limité à une valeur correcte, [4].

I.9 Bilan de puissance de la machine à courant

continu

Nous avons reporté sur les figures ci-dessous le bilan de puissance et des pertes d'un moteur et d'une génératrice à courant continu.

Figure I.19 bilan des puissances du moteur à courant continu

Figure I.20 bilan des puissances du génératrice à courant continu

I.9.1 Moteur à courant continu

I.9.1.1 La puissance absorbée « en entrée »

C'est la puissance électrique absorbée par un moteur à courant continu, cette puissance EMBED Equation.3 est calculée par la relation suivante :

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

I.23

I.9.1.2 La Puissance utile « sur l'arbre en sortie moteur »

C'est La puissance utile qui fournit par un moteur à courant continu, la puissance utile EMBED Equation.3 se calcule par la relation suivante:

EMBED Equation.3

I.24

I.9.1.3 La puissance électromagnétique

La puissance électromagnétique EMBED Equation.3 est donnée par les relations suivantes:

EMBED Equation.3

I.25

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

I.26

I.9.1.4 Les pertes variables

Ce sont les pertes par effet Joule dans l'induit et dans l'inducteur. Elles sont dissipées par les résistances équivalentes des circuits, de sorte que, au stator (inducteur) :

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

I.27

et au rotor (induit):

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

I.28

I.9.1.5 Puissance mécanique

Puissance mécanique développée par le moteur est déterminée par l'équation :

EMBED Equation.3

EMBED Equation.3

I.29

Où

EMBED Equation.3

– Couple moteur en N·m(Newton·mètres) ;

EMBED Equation.3

– Vitesse angulaire en rad/sec.

I.9.1.6 Vitesse de rotation :

La vitesse de rotation est donnée par la relation suivante :

EMBED Equation.3

I.30

*Si le flux d'excitation Φ (généré par l'inducteur) est constant, on peut écrire :

EMBED Equation.3

Avec K en Volt/(rd/s), Ω en rd/s

I.31

La f.e.m E est proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur

I.9.1.7 Le Rendement

Le rendement η d'un moteur à courant continu est le rapport entre sa puissance utile (celle qu'elle délivre) et la puissance qu'elle consomme. La relation du rendement d'un moteur à courant continu est :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + P_{jR} + P_{JS} + \underbrace{P_f + P_{rot}}_{P_{cste}}} = \frac{P_a - P_{jR} - P_{JS} - \overbrace{(P_f + P_{rot})}^{P_{cste}}}{P_a} \quad \text{I.32}$$

□

I.10 Génératrice à courant continu

I.10.1 La puissance absorbée

C'est la puissance mécanique absorbée par une génératrice à courant continu, la puissance absorbée EMBED Equation.3 se calcule par la relation suivant :

$$P_a = T_{em} \Omega \quad \text{I.33}$$

I.10.2 La Puissance utile

C'est La puissance électrique qui fournit par une génératrice à courant continu, la puissance utile EMBED Equation.3 se calcule par la relation suivante :

$$\text{EMBED Equation.3} \quad \text{I.34}$$

Remarquons que, même en mode génératrice, une puissance électrique doit être fournie à l'inducteur de la machine de façon à fournir l'excitation. Nous avons négligé cette puissance électrique parce qu'elle est en général bien inférieure à la puissance mécanique absorbée.

I.10.3 Rendement de la génératrice

Le rendement η d'une génératrice à courant continu est le rapport entre sa puissance utile (celle qu'elle délivre) et la puissance qu'elle consomme .la relation du rendement d'un génératrice est : , [12]

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_u}{P_u + P_{jR} + \underbrace{P_f + P_{rot}}_{P_{cste}}} = \frac{P_a - P_{jR} - \overbrace{(P_f + P_{rot})}^{P_{cste}}}{P_a} \quad \text{I.35} \quad \square$$

I.11 Caractéristique d'une machine à courant continu

I.11.1 Caractéristique à vide d'une machine à courant continu

I.11.1.1 Caractéristique à vide $E V = f(\Phi)$ à Ω constante:

Quand l'interrupteur est ouvert, la machine ne débite aucun courant. On relève la E_v tension pour plusieurs valeurs de i_e , courant d'excitation, injecté dans l'inducteur. On trouve la courbe suivant :

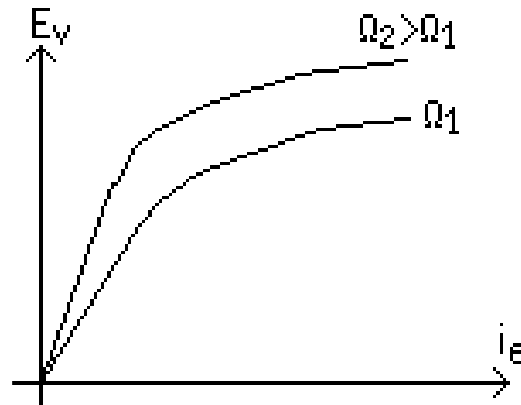


Fig:I.21 Caractéristique à vide d'un MCC ($\Omega = \text{cste}$)

Cette courbe est appelée caractéristique à vide. Elle correspond à une vitesse de rotation donnée. Pour un i_e fixé, une augmentation de la vitesse de rotation entraînera $E_v = K \cdot (i_e) \cdot \Omega$

Remarque: La courbe ressemble à une courbe d'aimantation de matériau magnétique, ce qui est normal, puisque l'on caractérise un circuit magnétique avec entrefer.

Remarque: En faisant décroître i_e , on peut observer un léger effet d'hystérésis

I.11.1.2 Caractéristique à vide $E_v = f(\Omega)$ à Φ constante

Fig:I.22 Caractéristique à vide d'un MCC ($\Phi = \text{cste}$)

Donc

I.36

EMBED Equation.3

Remarque : la caractéristique est linéaire tant que la saturation n'est pas atteinte, [13]

I.11.2 Caractéristique électrique

Ce sont des courbes qui traduisent graphiquement les relations entre les variables courant absorbée, tension et vitesse.

Figure I.23

Schéma équivalent de l'induit

de l'induit

d'un moteur à courant continu

Figure I.24

Schéma équivalent

d'un génératrice à courant continu

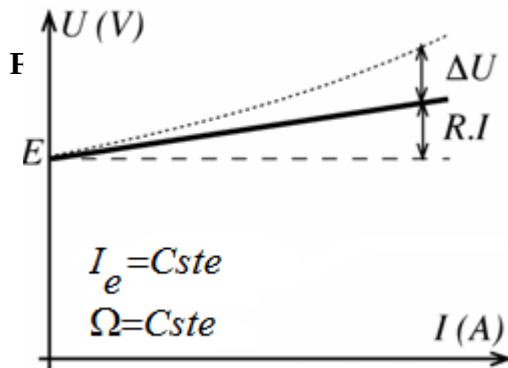


Figure I.26 Cas de la génératrice

- Pour un moteur

$$E = U - RI \quad \text{ou} \quad U = E + RI$$

- Pour une génératrice

$$U = E - RI \quad \text{ou} \quad E = U + RI$$

La résistance du bobinage provoque une légère chute de tension ohmique dans l'induit $R.I$

- Le courant qui circule dans l'induit crée un flux indésirable de sorte que le flux total charge

$\Phi_{charge}(I_e, I) < \Phi_{vide}(I_e)$. Cela se traduit par une chute de tension supplémentaire : c'est la réaction magnétique d'induit.

- La distribution du courant d'induit par les balais et le collecteur provoque également une légère chute de tension (souvent négligée).

I.12 Caractéristique mécanique

I.12.1 Moteur à excitation indépendante

La caractéristique mécanique est la relation entre la vitesse de rotation et le couple moteur. La caractéristique mécanique est représentée sur la figure ci-dessous

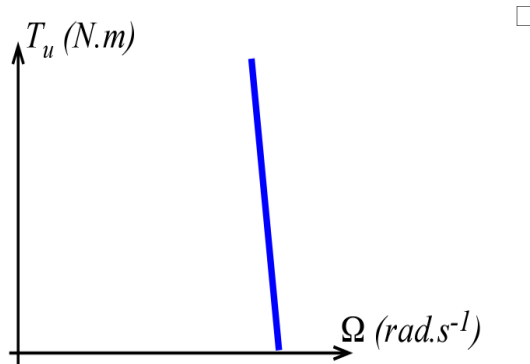


Figure I.27 Caractéristique mécanique d'un moteur à excitation indépendante

La caractéristique mécanique est relevée à tension d'alimentation et à flux constants. Lorsque le courant d'induit augmente, le couple qui lui est proportionnel augmente, ainsi que la chute de tension aux bornes de l'induit. Cette dernière fait chuter la force contreélectromotrice.

Par conséquent, la vitesse diminue puisqu'elle est proportionnelle à la f.c.é.m. Ce type d'excitation est fréquemment utilisé lorsqu'on désire faire varier la vitesse entre de larges limites avec un couple moteur constant. Dans ce cas, le flux étant maintenu constant, on fait varier la tension d'alimentation de l'induit à l'aide d'une génératrice à tension réglable.

La vitesse étant inversement proportionnelle au flux, si le flux s'annule (ce qui peut se produire, par exemple, par rupture du circuit d'excitation), la vitesse prendra des valeurs très élevées et le moteur aura tendance à s'emballer. On doit donc prévoir un dispositif de protection du circuit inducteur , [13]

I.12.2 Moteur à excitation série

Figure I.28 Caractéristique mécanique d'un moteur série

Les caractéristiques d'un moteur série sont complètement différentes, de celle du moteur shunt. Le flux Φ par pôle est constant pour toute charge normale, et le flux dépend du courant qui circule dans l'induit.

- Lorsque un moteur série fonctionne à pleine charge, le flux par pôle est le même.
- Le flux utile sous un pôle est proportionnel au courant d'excitation $\Phi \propto I$ (circuit magnétique non saturé) :
avec $\Phi = k_f I$, [14]

I.12.3 Moteur à excitation shunt

Figure I.29 Caractéristique mécanique d'un moteur shunt

Par élimination graphique de I entre les courbes $N(I)$ et $Cu(I)$, on obtient la caractéristique mécanique $Cu(N)$. son abscisse à l'origine est la vitesse 0 N à vide.

Sa rencontre avec l'axe de ordonnées donne le couple à l'arrêt (décollage).

Comme les limites d'emploi courant du moteur cette caractéristique est faiblement inclinée sur l'axe de l'ordonnée, le degré de stabilité dC / dN du moteur est grand.

- il semble néanmoins que le moteur puisse avoir une marche instable quand la caractéristique $C(N)$ à l'allure indiquée (fig.) par suite de la prépondérance de la réaction d'induit.

Cependant la discussion complète des conditions de stabilité montre que celle-ci se maintient pratiquement dans une large zone au delà du minimum de vitesse.

Toute fois, si dans cette région la charge varie trop brutalement, il peut en résulter des oscillations de vitesse et de consommation (on dit alors que le moteur pompe) de plus, si le couple résistant est une fonction croissante de la vitesse (pompe centrifuge par exemple), l'emballement est à craindre.

I.12.4 Point de fonctionnement

Figure I.30 Point de fonctionnement

I.13 Les avantages et les inconvénients d'une machine à courant continu

Le principal problème de ces machines vient de la liaison entre les balais, ou « charbons » et le collecteur rotatif. Ainsi que le collecteur lui-même comme indiqué plus haut et la complexité de sa réalisation. De plus il faut signaler que :

Plus la vitesse de rotation est élevée, plus la pression des balais doit augmenter pour rester en contact avec le collecteur donc plus le frottement est important.

Aux vitesses élevées les balais doivent donc être remplacés très régulièrement.

Le collecteur imposant des ruptures de contact provoque des arcs, qui usent rapidement le commutateur et génèrent des parasites dans le circuit d'alimentation, ainsi que par rayonnement électromagnétique.

Un autre problème limite les vitesses d'utilisation élevées de ces moteurs lorsque le rotor est bobiné, c'est le phénomène de « défretage », la force centrifuge finissant par casser les liens assurant la tenue des ensembles de spires « le fretage ».

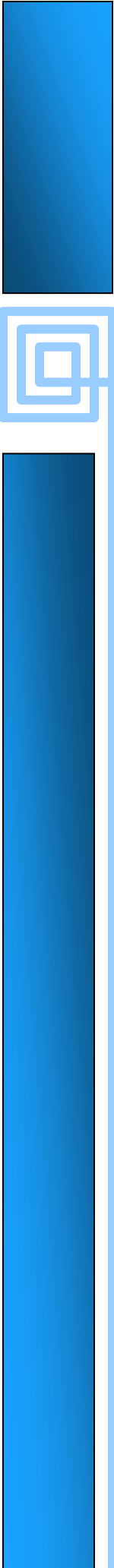
Un certain nombre de ces inconvénients ont partiellement été résolus par des réalisations de moteurs sans fer au rotor, comme les moteurs « disques » ou les moteurs « cloches », qui néanmoins possèdent toujours des balais.

Les inconvénients ci-dessus ont été radicalement éliminés grâce à la technologie du moteur *brushless*, aussi dénommé « moteur à courant continu sans balais », ou moteur sans balais, [4]

I.14 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons passé en revue la machine à courant continu en fonctionnement génératrice et en fonctionnement moteur, cité ses composants, les différents types de son excitation, présenté quelques-unes de ses caractéristiques.

Dans le chapitre qui suit, nous allons simuler, en se servant du PSIM, la machine à courant continu en deux modes : générateur et moteur.



CHAPITRE II

SIMULATION DES MACHINES A COURANT CONTINU

II.1 Introduction

La simulation est un outil informatique qui a pour but la résolution par des graphes des équations mathématiques reflétant le comportement d'un système. Pour notre cas le système à simuler est une machine à courant continu fonctionnant en mode moteur et un outil est un logiciel appelé PSIM.

II.2 Simulation des machines à courant continu

II.2.1 Machine à courant continu à excitation indépendante

II.2.1.1 Schéma de simulation

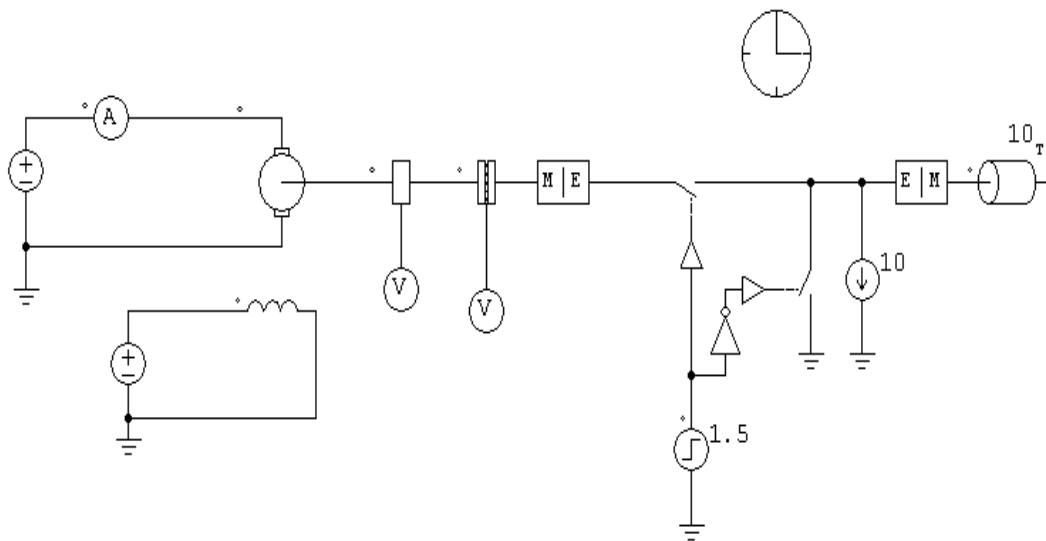


Figure II.1 Schéma de simulation de la MCC à excitation indépendante

II.2.1.2 Résultats de simulation

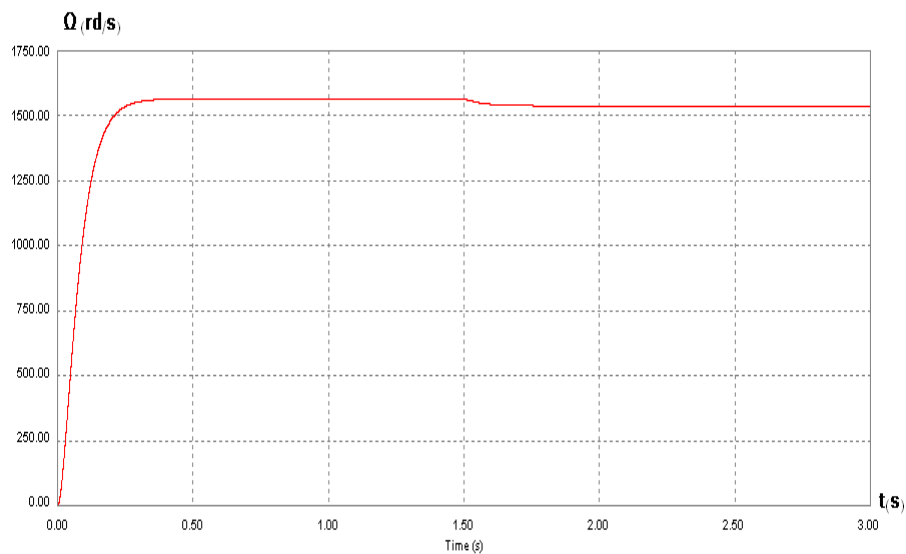


Figure II.2 Evolution de la vitesse en fonction de temps

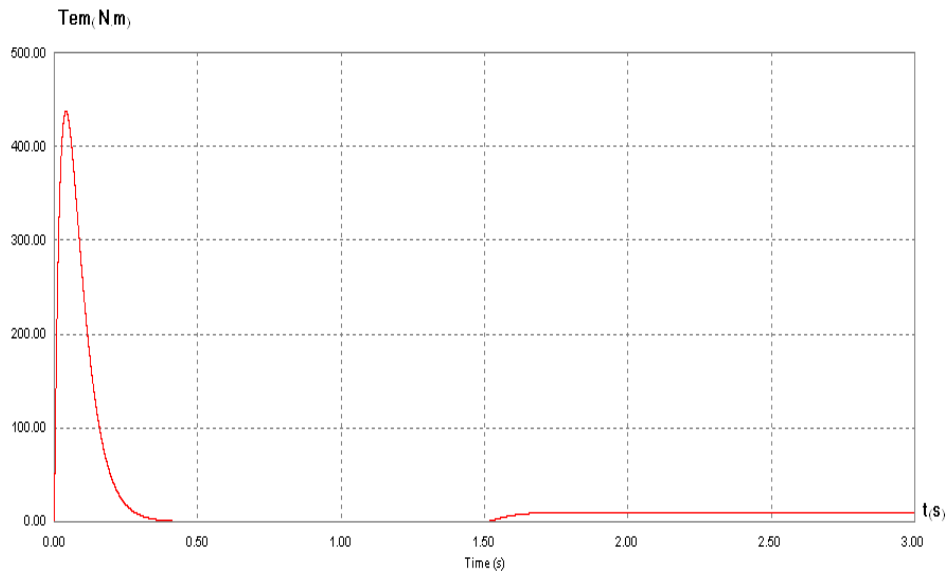


Figure II.3 Caractéristique du couple

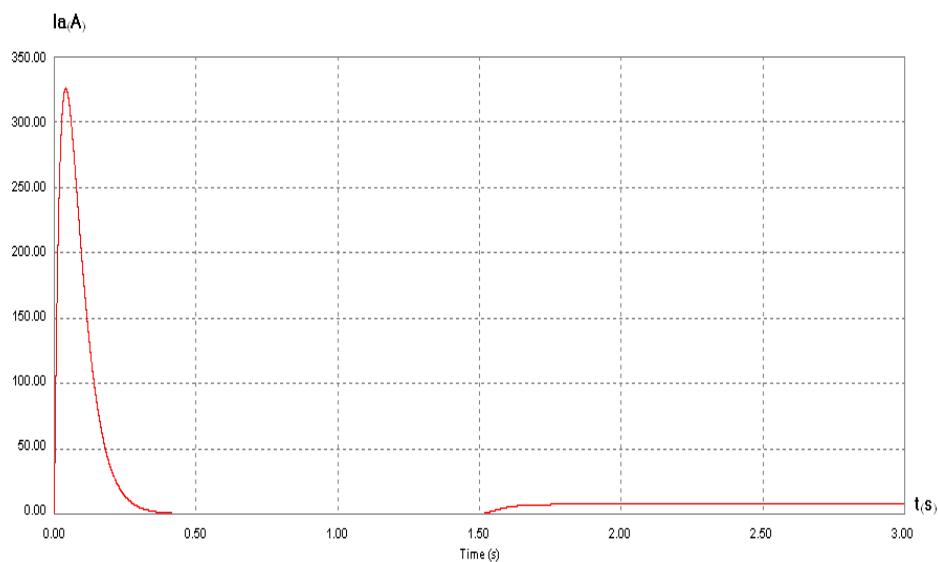


Figure II.4 L'allure du courant d'induit

II.2.1.3 Interprétation des resultants de simulation

Courant et couple

Nous observons que la forme de la courbe du courant I_a et celle du couple électromagnétique T_{em} est identique. Les deux augmentent pendant l'intervall $0 \leq t < 0.15$ s.

On a $t = 0.15$ s le courant et le couple atteint une valeur maximale $I_{a \text{ MAX}} = 3.25 \cdot 10^2$ A et $T_{em \text{ MAX}} = 4.35 \cdot 10^2$ N.m, et après cet temps, les deux diminuent jusqu'à une valeur minimale, et sont devenus presque nulles à l'intervalle $0.5 \leq t \leq 1.5$ s. A l'instant d'application de la charge un appel du courant est nécessaire traduit par une augmentation d'amplitude sur la courbe du courant et du couple.

Vitesse

Dans la courbe de vitesse, il existe deux régimes :

- Régime transitoire à l'intervalle $0 \leq t < 2,5 \cdot 10^{-1} \text{ s}$ la vitesse augmente jusqu'à une valeur constante de l'ordre de 1600tr/mn, le temps de ce régime à cause de l'effet du moment d'inertie.
- Régime permanent à l'intervalle $2,5 \cdot 10^{-1} \leq t \leq 1,5 \text{ s}$ la valeur de la vitesse est stable

$N=1600\text{tr/mn}$.

L'application de la charge à l'instant 1.5s montre clairement la diminution de la vitesse.

On conclure que :

- au démarrage le courant et le couple électromagnétique sont très grands.
- Il y'a une relation corrélative entre le courant et le couple électromagnétique.
- Il y'a une relation proportionnelle entre le courant, le couples électromagnétique et la vitesse.

II.2.2 Machine à courant continu à excitation shunt

II.2.2.1 Schéma de simulation

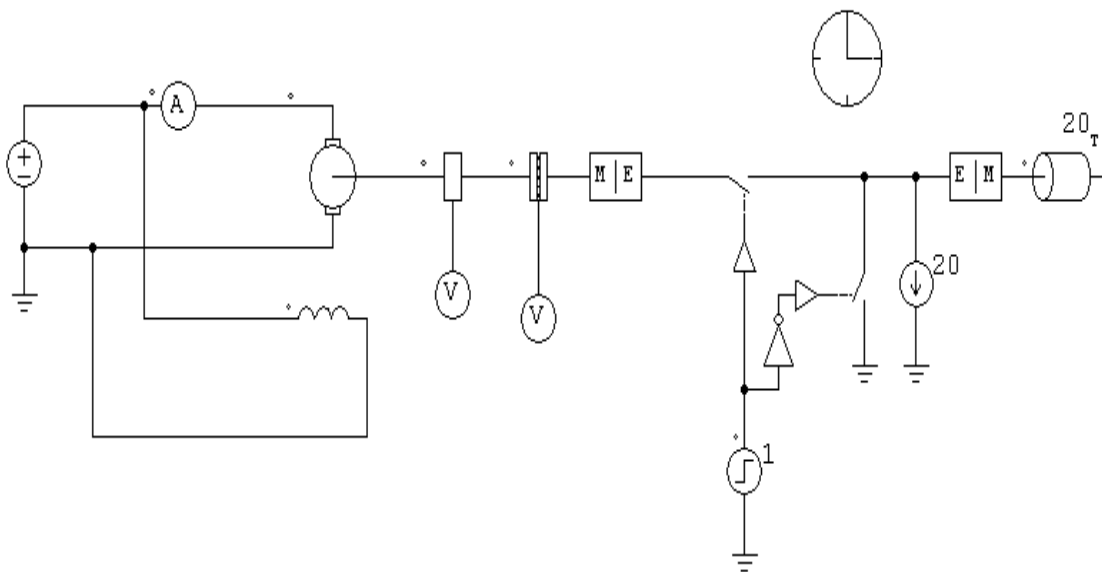


Figure II.5 Schéma de simulation de la MCC à excitation shunt

II.2.2.2 Résultats de simulation

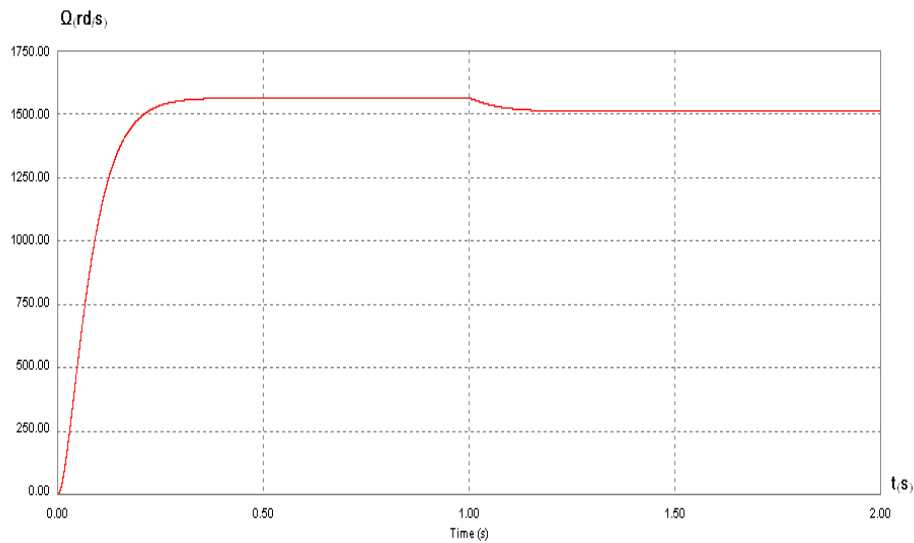


Figure II.6 Caractéristique de la vitesse

II.2.2.3 Interprétation des résultats de simulation

Vitesse

L'allure de cette caractéristique présente dans le premier instant de démarrage un accroissement presque linéaire. Au cours de cet accroissement il se produit la transformation de l'énergie électromagnétique en énergie mécanique, la vitesse s'établit à une vitesse constante. Lorsqu'on applique une charge (couple résistant), on observe quelques oscillations et puis la machine stabilise à une vitesse inférieure à la vitesse précédente.

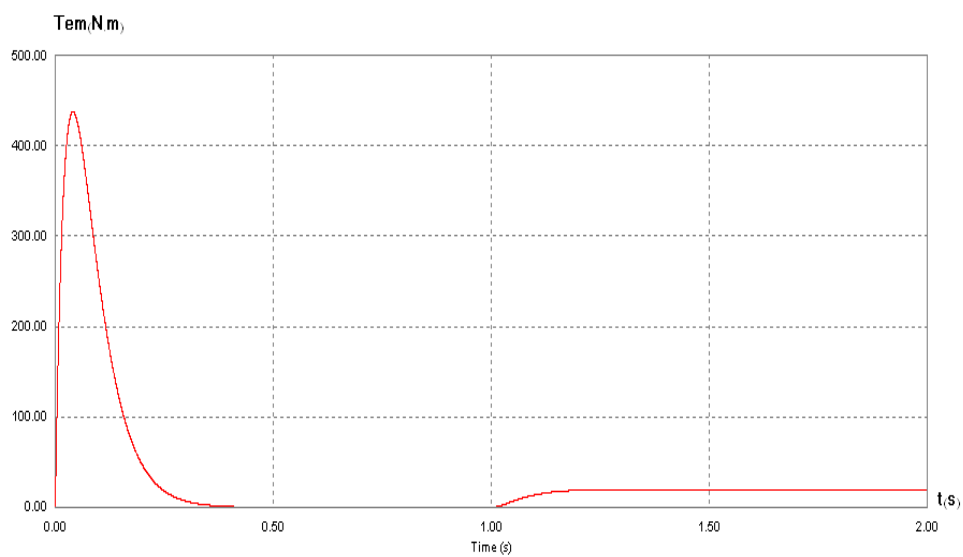


Figure II.7 Caractéristique du couple

Couple

Cette courbe représente aux premiers instants de démarrage des battements importants à ce qui explique le bruit engendré par la partie mécanique. Dès que la vitesse s'établit, le couple tend vers le régime de charge considérée.

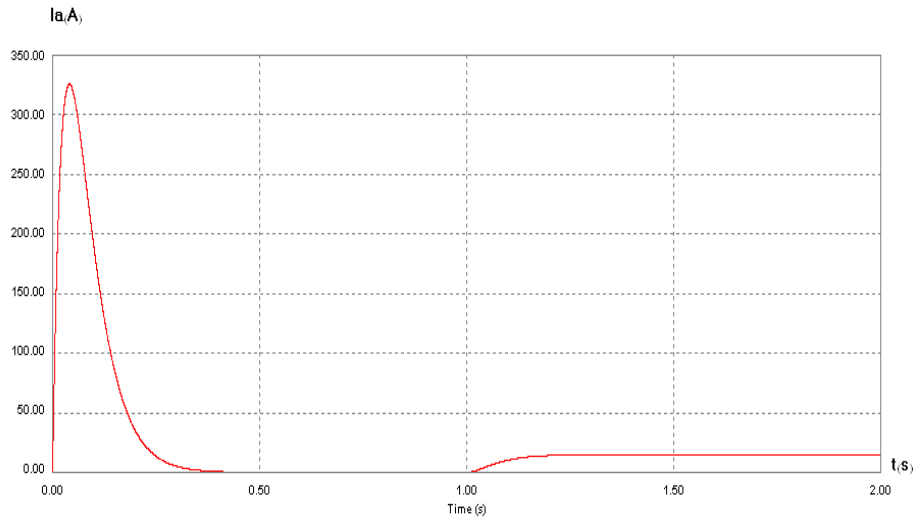


Figure II.8 Caractéristique du courant de l'induit

Courant

Au démarrage sous une tension nominale et aux premiers instants le courant possède des grandes valeurs, mais il diminue au bout de quelques seconds pour donner lieu à une valeur constante, et lorsqu'on applique un couple résistant le courant atteint une nouvelle valeur supérieure à la précédente.

II.2.3 Machine à courant continu à excitation série

II.2.3.1 Schéma de simulation

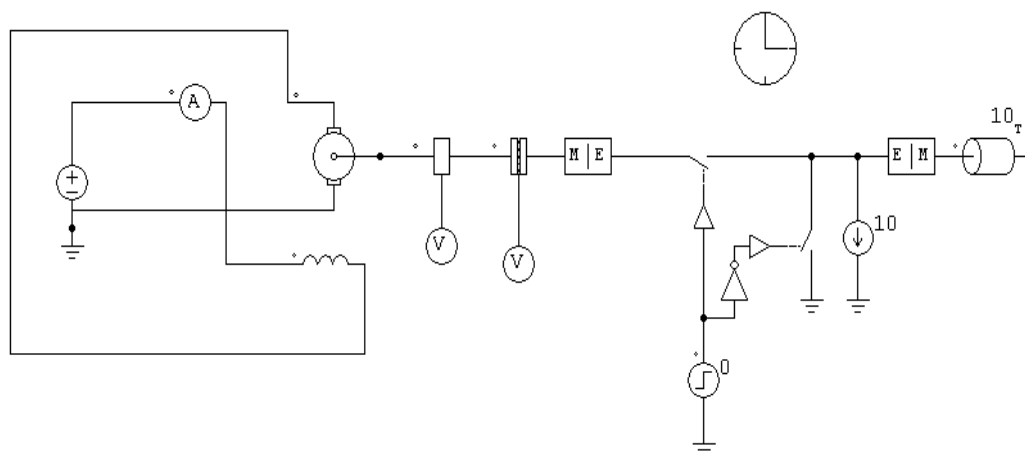


Figure II.9 Schéma de simulation de la MCC à excitation série

Dans ce type des machines à excitation série ,démarrage a vide et en charge

II.2.3.2 Résultats de simulation

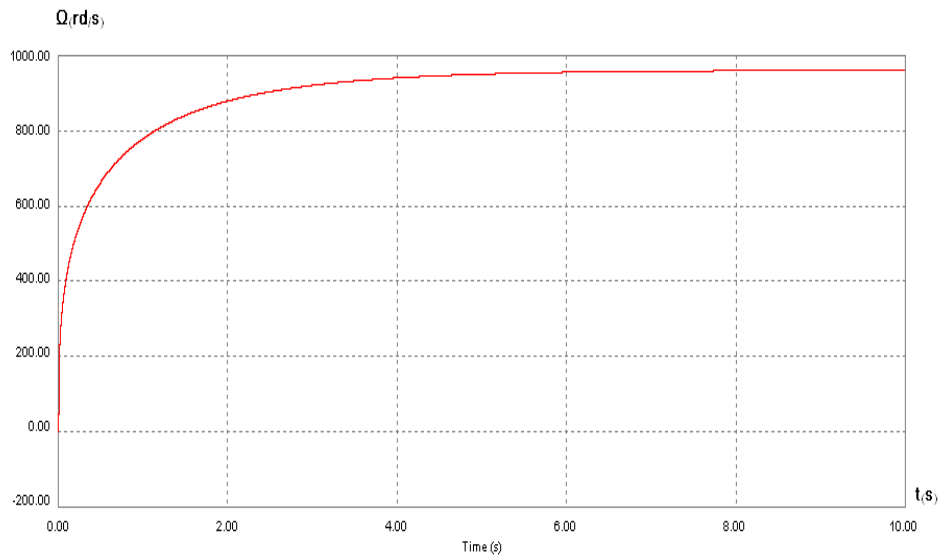


Figure II.10 Caractéristique de la vitesse en charge ($C_r=20\text{Nm}$)

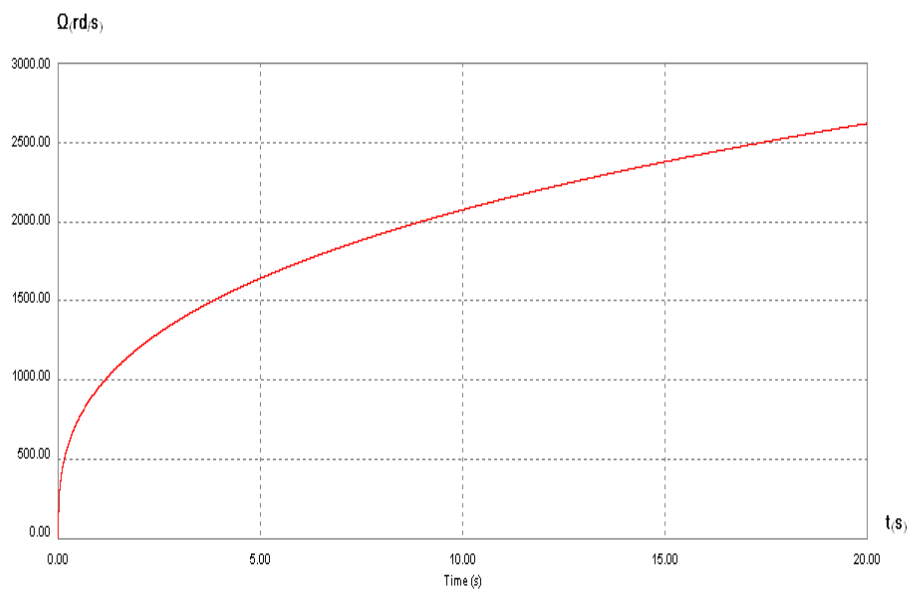


Figure II.11 Caractéristique de la vitesse à vide ($C_r=0\text{Nm}$)

II.2.3.3 Interprétation des résultats

La comparaison des deux courbes montre clairement l'inconvénient majeur de la machine à courant continu à excitation shunt, c'est l'emballement, lorsque le moteur démarre à vide. On remarque qu'avec un double temps d'exécution et la vitesse à vide continue leur augmentation c à d tend vers l'infini.

II.3 Conclusion

Le comportement des machines à courant continu (moteur) a été simulé et analysé. Les courbes obtenues par simulation expliquent clairement l'évolution dans le temps des différentes grandeurs électriques et mécaniques.

*CONCLUSION
GENERALE*



CONCLUSION

A travers ce modeste travail nous pouvons dire que la machine à courant continu (MCC) repose sur le phénomène physique de création d'une force électromotrice (f.e.m.) aux extrémités d'un conducteur en mouvement dans un champ d'induction magnétique (par la loi de Faraday). Réciproquement, la circulation d'un 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 poles inducteurs permet d'exprimer la loi d'évolution de la f.e.m. en fonction du flux sous les poles 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 unidirectionnelle.

Le couple électromagnétique observé sur l'arbre d'une MCC 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.

L'outil informatique PSIM quant à lui, nous a montré clairement le comportement de la machine durant son fonctionnement moteur dans les deux régimes transitoires et permanent.

ANNEXE



Tableau des valeurs de la machine à courant continu que nous avons utilisée pour le sumilation avec le logiciel " PSIM"

R_a	0.5Ω
L_a	$0.01H$
R_f	$75\ \Omega$
L_f	$0.02H$
<i>Moment d'inertie</i>	$0.3\ S.I$
V_t	$120\ V$
I_a	$10\ A$
<i>Vitesse nominale</i>	$1500\ tr /min$
I_f	$1.6\ A$



- [1] : **Louis** ; « commande des machine à courant continu à vitesse variable » ;Méthodes et pratique de l'ingénieur ;1990.
- [2]: **Gustave Monod** , « actionneurs machine à courant continu avec balais » , sience de l'ingénieur terminal S année 2002/2003
- [3]:**ANOUAR HALILA** « etude machine à courant continu » Mémoire présenté à la faculté des études supérieures Université Laval Mai 2001.
- [4]: **BESEKHRIA , MAATAR NADIR**« conception d'une carte de commande de la machine à courant continu par un microcontrôleur PIC 16F877A », university batna ,"Mars 2009".
- 5]: Machine à courant continu ,pdf
- [6] [http:// www.Phisque Ens-cachan.Fr/ pargreg p/ enseignement /elec/ eletrotech/cours-Mcc.pdf](http://www.Phisque.Ens-cachan.Fr/pargregp/enseignement/elec/eletrotech/cours-Mcc.pdf).
- [7] : **Azeddine benoudjit** : « introduction aux machines électriques machine à courant continu ». Presses de l'université de Batna oct 1995.
- [8] : **Guy SEGUIER, Francis NOTELET** « ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE ».
- [9] : **professeur : G. Maléjacq**, Sciences de l'Ingénieur « LE MOTEUR A COURANT CONTINU» , document, lycée de l'éloren académie de renne.
- [10]: "**Machines électriques** " digitaly singed by biblioteca UTM "
- [11]: **j.Bernaud** « Moteur à courant continu : principe, réversibilité»
- [12]: Cours d'Electricité 2 Électrotechnique La machine à courant continu
- [13]: **Professeur : Claude Divoux**, Moteur à courant continu, document, 1/12/1997.
- [14]: **Théodore WILDI**, Avec la collaboration de Gilbert Sybille. 3 édition «ÉLECTROTECHNIQUE»

بسم الله الرحمن الرحيم



السلام عليكم ورحمة الله وبركاته



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

Option: Génie électrique

Thème

Machine à courant continu

Étude et Simulation

Dirigé par:

Mr: Mr R. Labdani

présenté par:

HANI DHAOU
MOULATI YAKOUB
AMOURI BADREDDINE

Promotion: juin 2010

Plan de l'exposé

- ➔ *Introduction générale*
- ➔ Chapitre I:
 - ➔ *Définition de la machine à courant continu*
 - ➔ *Structure de la machine à courant continu*
 - ➔ *Principe fonctionnement*
 - ➔ *Différents types de la machine à courant continu*
- ➔ Chapitre II:
 - ➔ *Simulation machine à courant continu*
- ➔ *Conclusion générale*

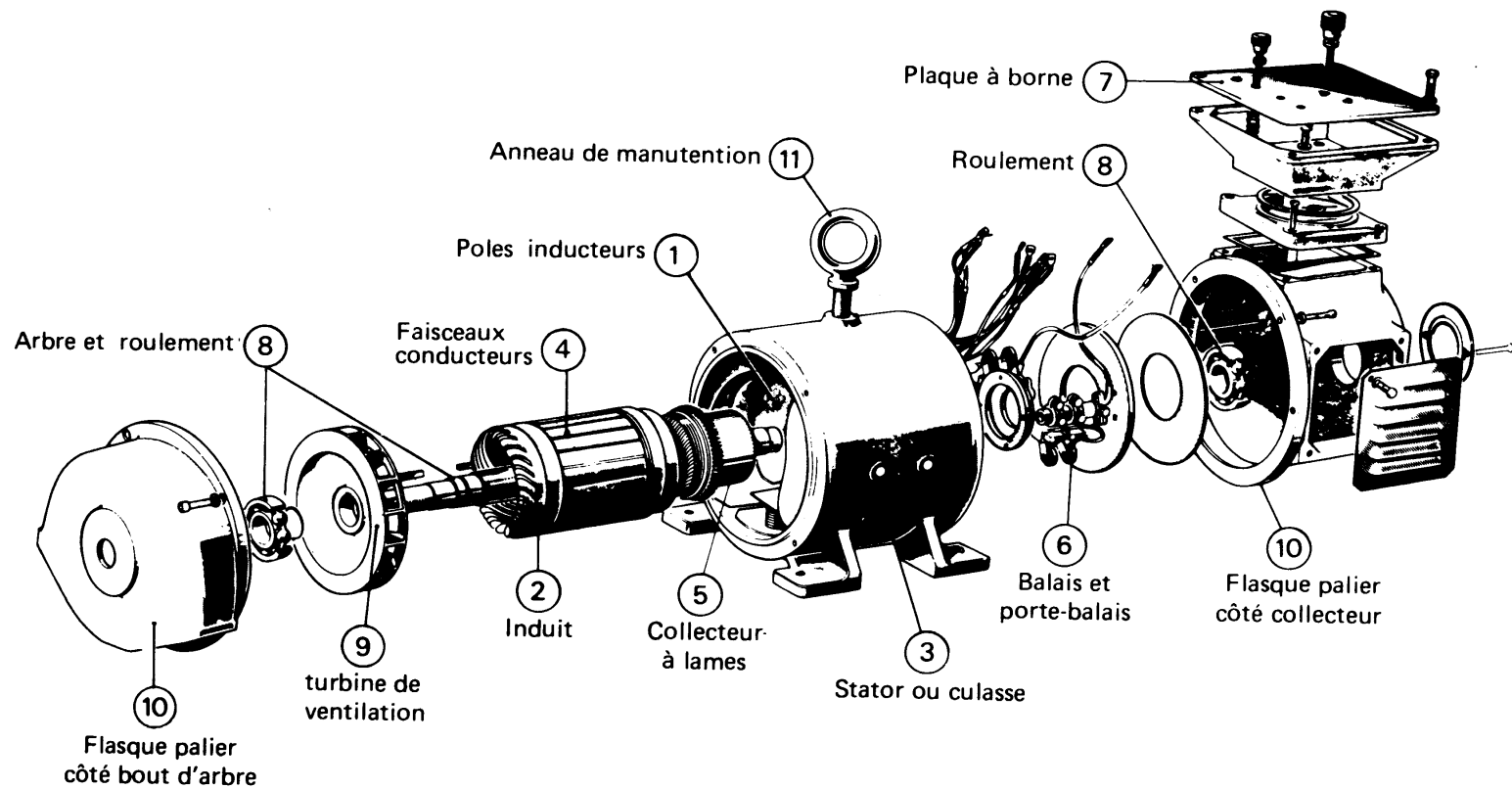
Introduction

L'industrie, au sens le large du terme, ont plus besoin de systèmes à vitesse variable ,doués de souplesse et de précision , bien sur, les solutions mécaniques sont encore utilisées, mais les solutions électriques sont aujourd'hui plus appréciées ,leur succès viennent des caractéristiques incomparables que leur confère l'électronique sur le plan de conversion de l'énergie.

DEFINITION

Les machines à courant continu sont
des machines électriques
tournantes sont des convertisseurs d'énergie.

Vue éclatée



La machine à courant continu est constituée de deux parties principales :

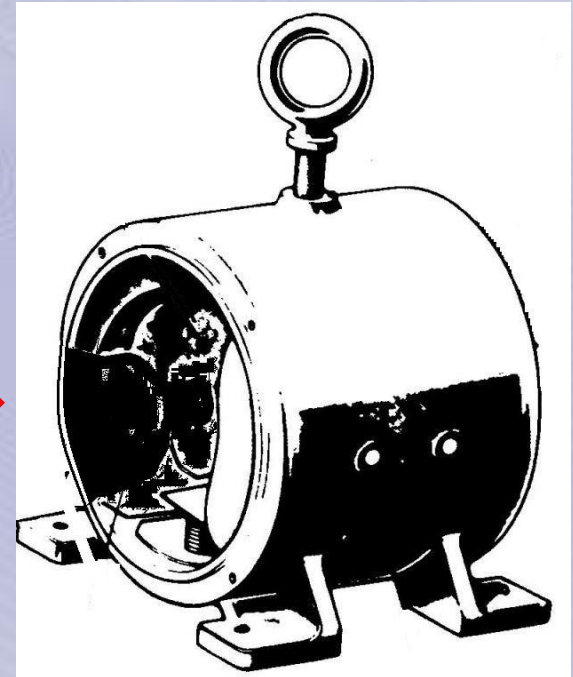
❑ *l'inducteur*

❑ *l'induit*

Induit



Inducture



Appelé aussi stator produit le champ magnétique, on parle de flux d'excitation.

se compose de trois parties :

■ ***La carcasse:***

C'est à dire la partie de la machine à la quelle sont fixes les pôles principaux et à l'aide de laquelle la machine est réunie à la fondation.

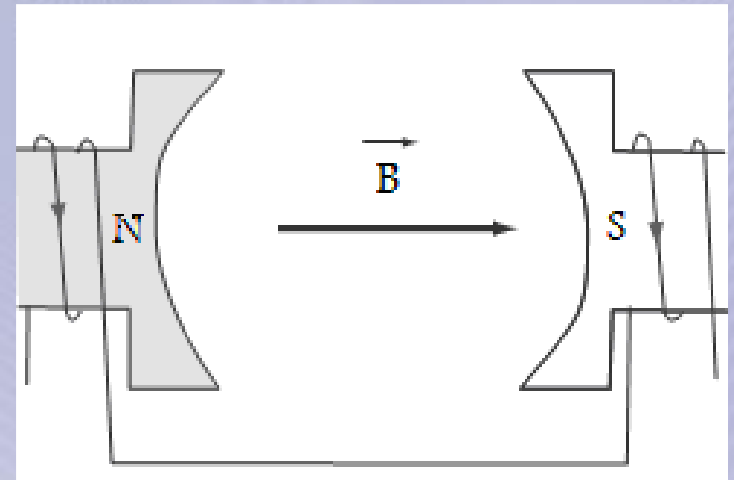


■ Les Pôles inducteur

Les pôles inducteurs ont pour rôle de créer le flux inducteur dans la machine « entre la culasse et l'induit »

■ Les bobines

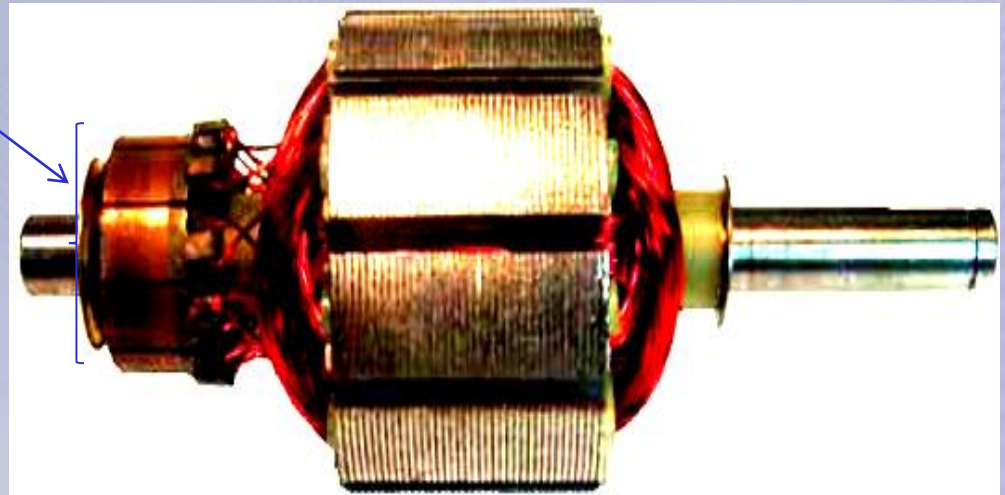
sont réalisées avec du fil de cuivre isolé (vernis issuant) qui est enroulé autour du noyau polaire de telle sorte à réaliser un électro-aimant .



Induit (Rotor)

L'induit, partie mobile de la machine à courant continu, appelé également rotor.

Collecteur-balais



Le collecteur :

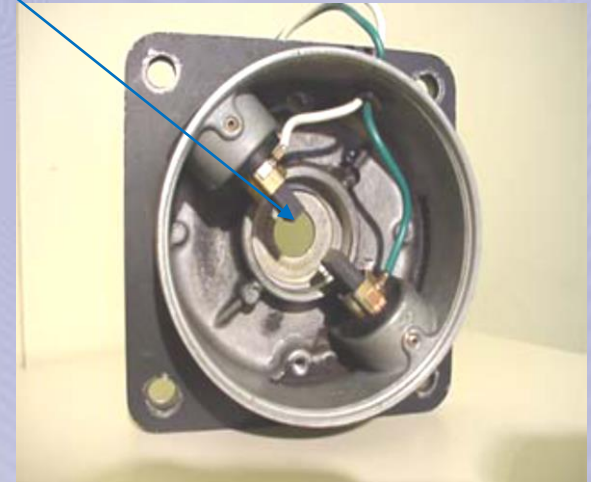
est un ensemble de lames de cuivre où sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit.

Les balais (ou charbons)

sont situés au stator et frottent sur le collecteur en rotation.

Le dispositif collecteur / balais permet donc de faire circuler un courant dans l'induit.

balais

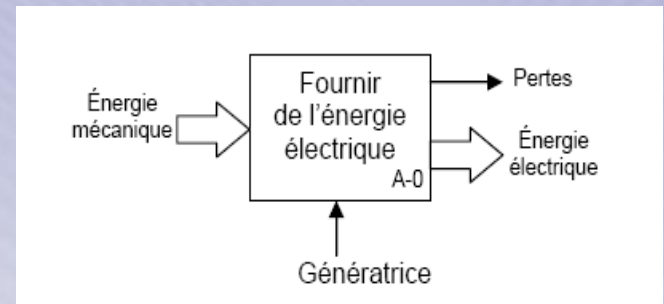
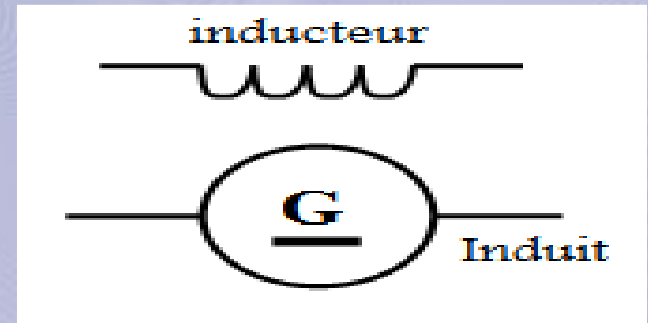


Principe fonctionnement

La machine à courant continu est totalement réversible
elle peut fonctionner indifféremment en moteur ou en génératrice.

➤ **GENERATEUR**

On appelle dynamo une machine électrique qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique



On distingue trois types d'excitation:

■ ***Génératrice à excitation séparée (ou indépendante) :***

Est caractérisée par son inducteur alimenté par une source indépendante de la génératrice

■ ***Génératrice à excitation en dérivation (ou shunt, parallèle):***

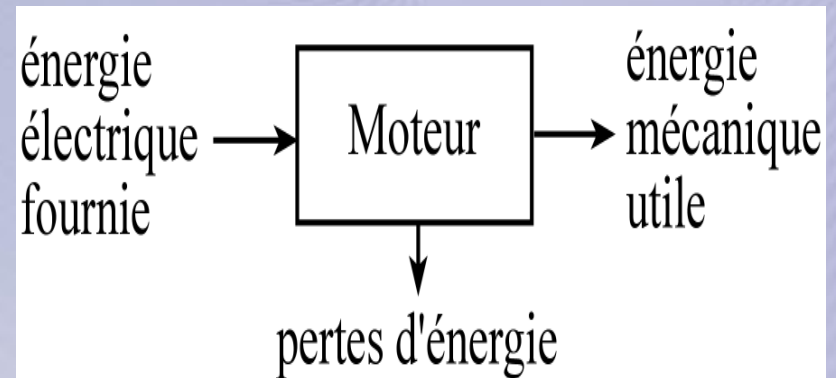
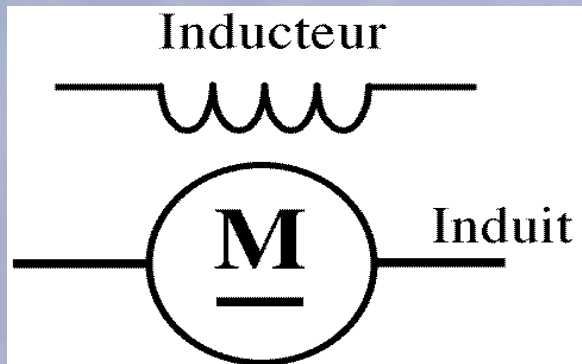
L'induit et l'inducteur sont connectés en parallèle.

■ ***Génératrice à excitation série:***

Les deux enroulements (inducteur et induit) sont branchés en série

➤ ***MOTEUR***

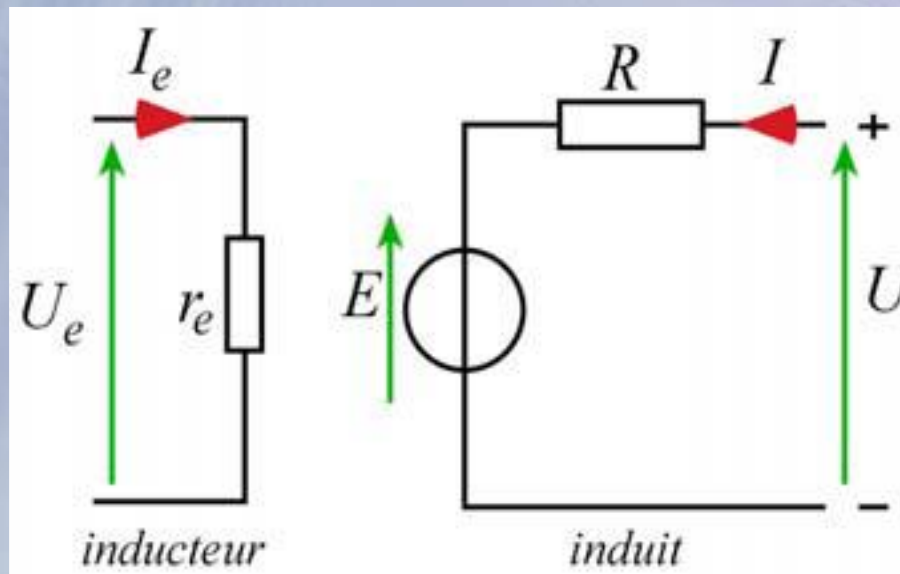
Le moteur est une machine électrique qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique.



➤ Les différents types de moteurs à courant continu

1. Moteur à excitation séparée

l'induit et l'inducteur sont alimentés par des sources séparées

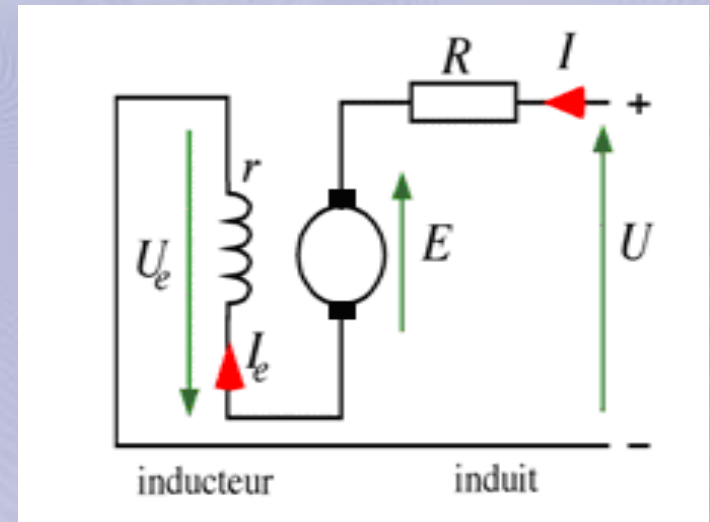


■ Moteur à excitation série :

Il tourne toujours dans le même sens quel que sens du courant fourni (sens inverse du générateur).

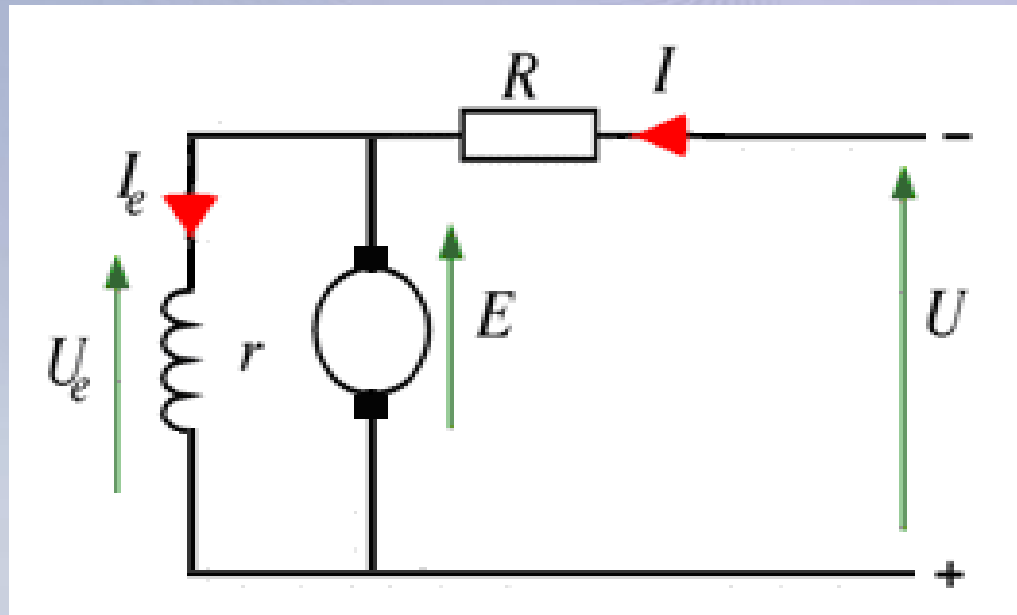
➤ L'induit et l'inducteur sont alimentés par la même source de tension

➤ Ce type de moteur présente un très fort couple au démarrage, il reste encore utilisé dans certaines applications de traction électrique.

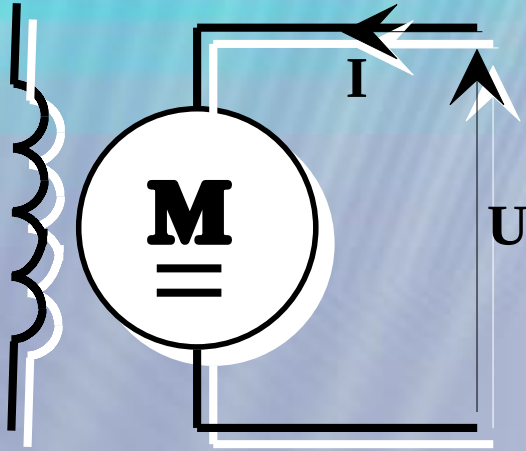


■ Moteur à excitation shunt :

- L'enroulement d'inducteur et en parallèle à l'enroulement d'induit
- Un moteur shunt est construit de la même façon qu'une dynamo shunt. La tension aux bornes du rotor est la même que celle aux bornes du stator: $U_a = U_f = U$



■ Equations de fonctionnement du moteur à courant continu



$$U = E' + R.I$$

$$E' = K.n.\phi$$

$$n = (U - R.I) / K.\phi$$

$$T = k.\phi.I$$

Avec :

E' : force contre-électromotrice (V)

U : tension d'alimentation de l'induit (V)

R : résistance de l'induit (Ω)

I : courant absorbé par l'induit (A)

ϕ : flux créé par l'inducteur (Webers)

T : couple moteur (Nm)

K et k sont des constantes de fabrication du moteur

■ Réglage de la vitesse des moteurs à courant continu

$n = U - R.I / K.\phi$ la résistance de l'induit R est très faible, elle peut être négligée

on obtient donc $n = U / K.\phi$

➤ Si on alimente l'inducteur sous tension fixe le flux ϕ est constant, on voit que l'on peut régler la vitesse du moteur par action sur la tension d'alimentation de l'induit U .

La vitesse est pratiquement proportionnelle à la tension d'induit.

➤ Si on alimente l'induit sous tension fixe, il est possible de fonctionner en sur vitesse en diminuant le courant d'excitation, donc le flux.

Nous allons simuler, en se servant du PSIM, la machine à courant continu en deux modes: générateur et moteur.

➤ ***Machine à courant continu à excitation indépendante:***

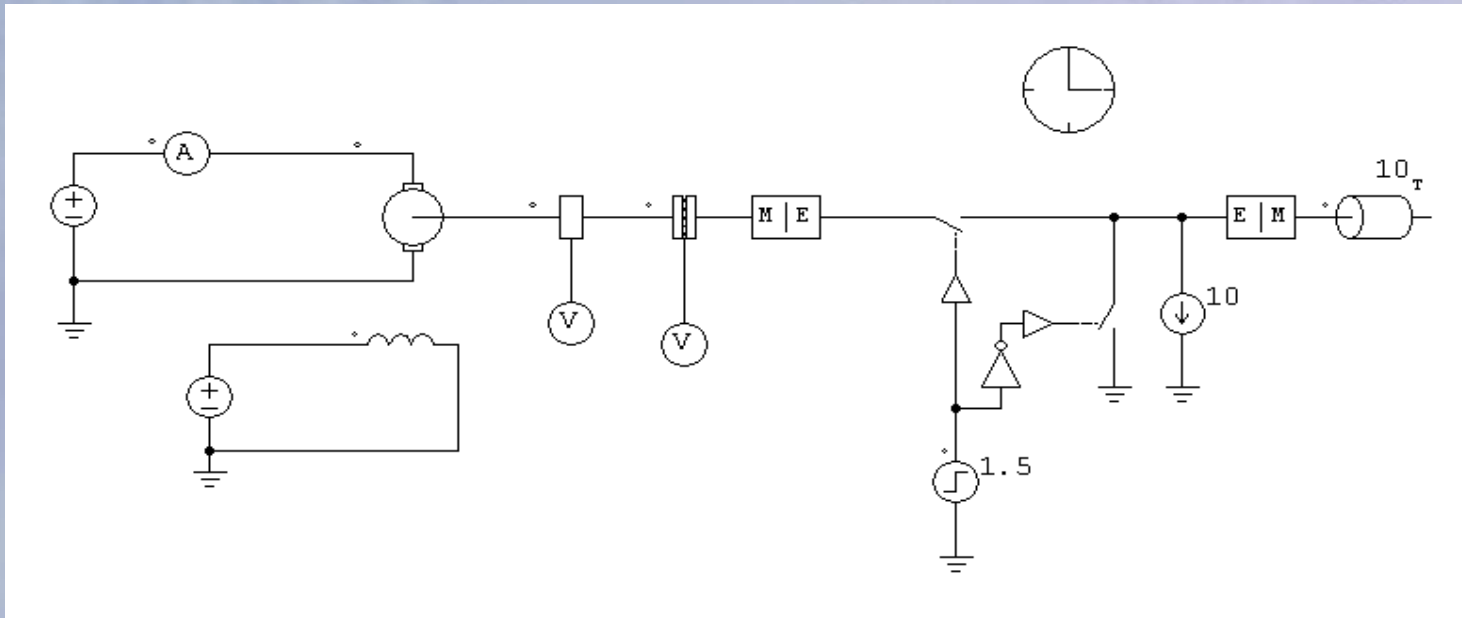
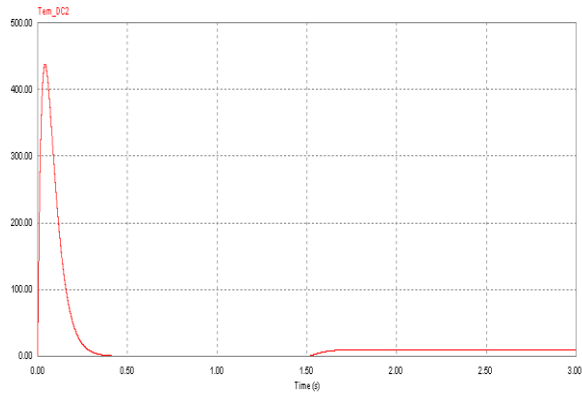
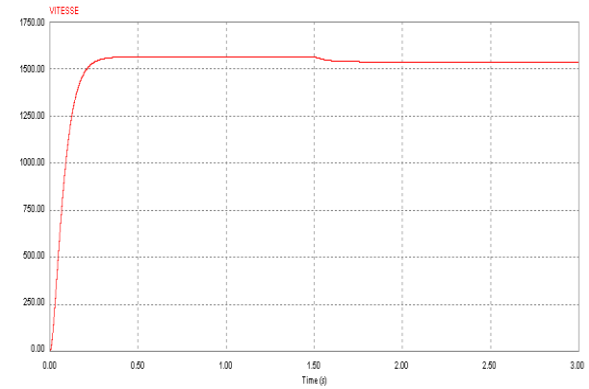


Schéma de simulation de la MCC à excitation indépendante

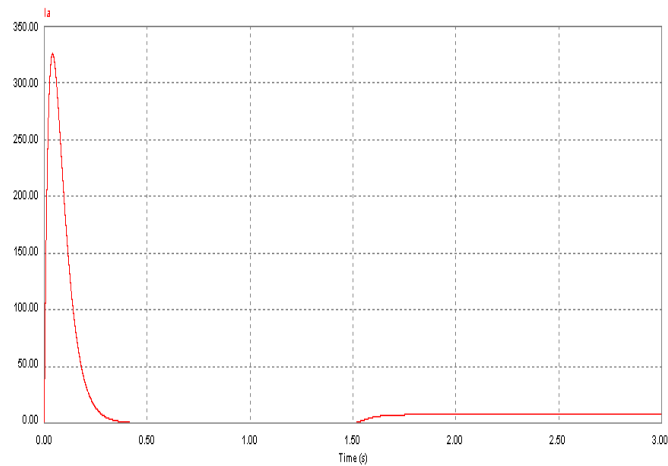
➤ Résultats de simulation



Caractéristique de couple



Evolution de la vitesse en fonction de temps



L'allure du courant d'induit

➤ *Machine à courant continu à excitation shunt:*

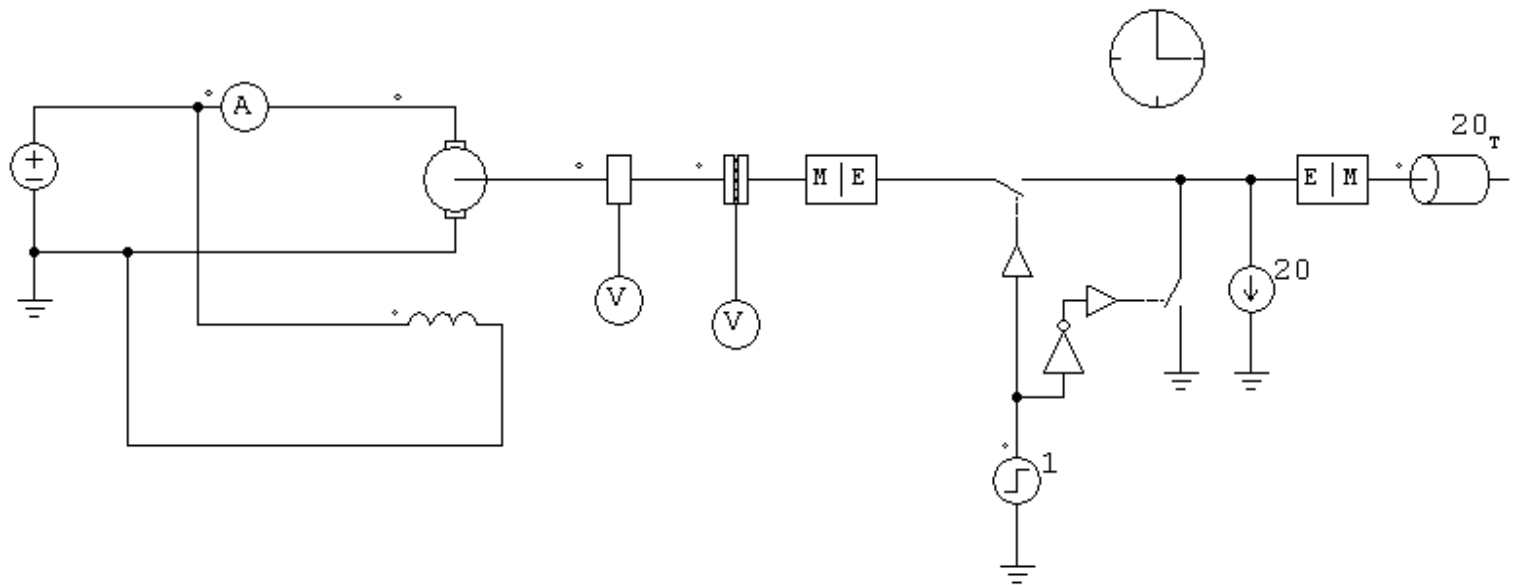
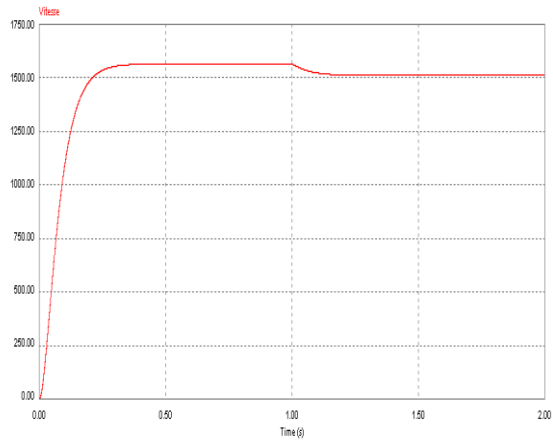
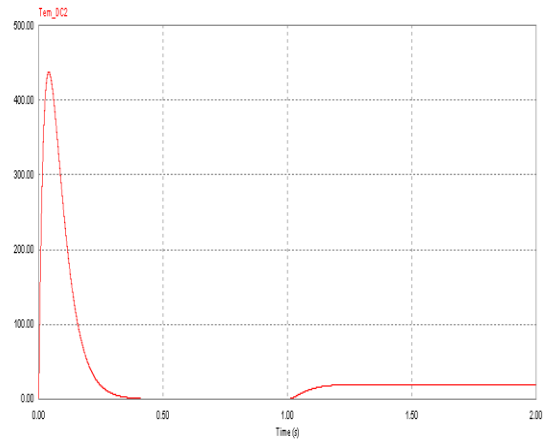


Schéma de simulation de la MCC à excitation shunt

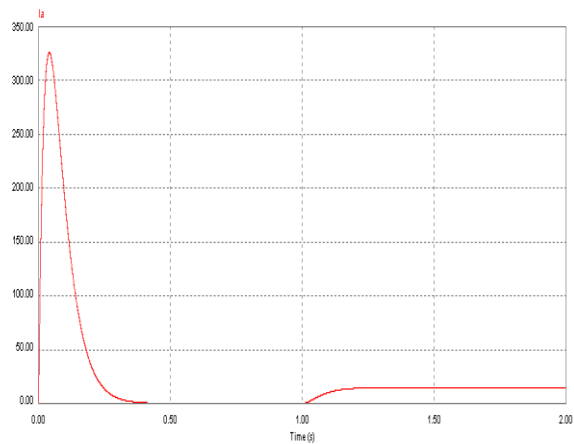
➤ Résultat de simulation



Caractéristique de la vitesse



Caractéristique de couple



Caractéristique du courant de l'induit

➤ *Machine à courant continu à excitation série:*

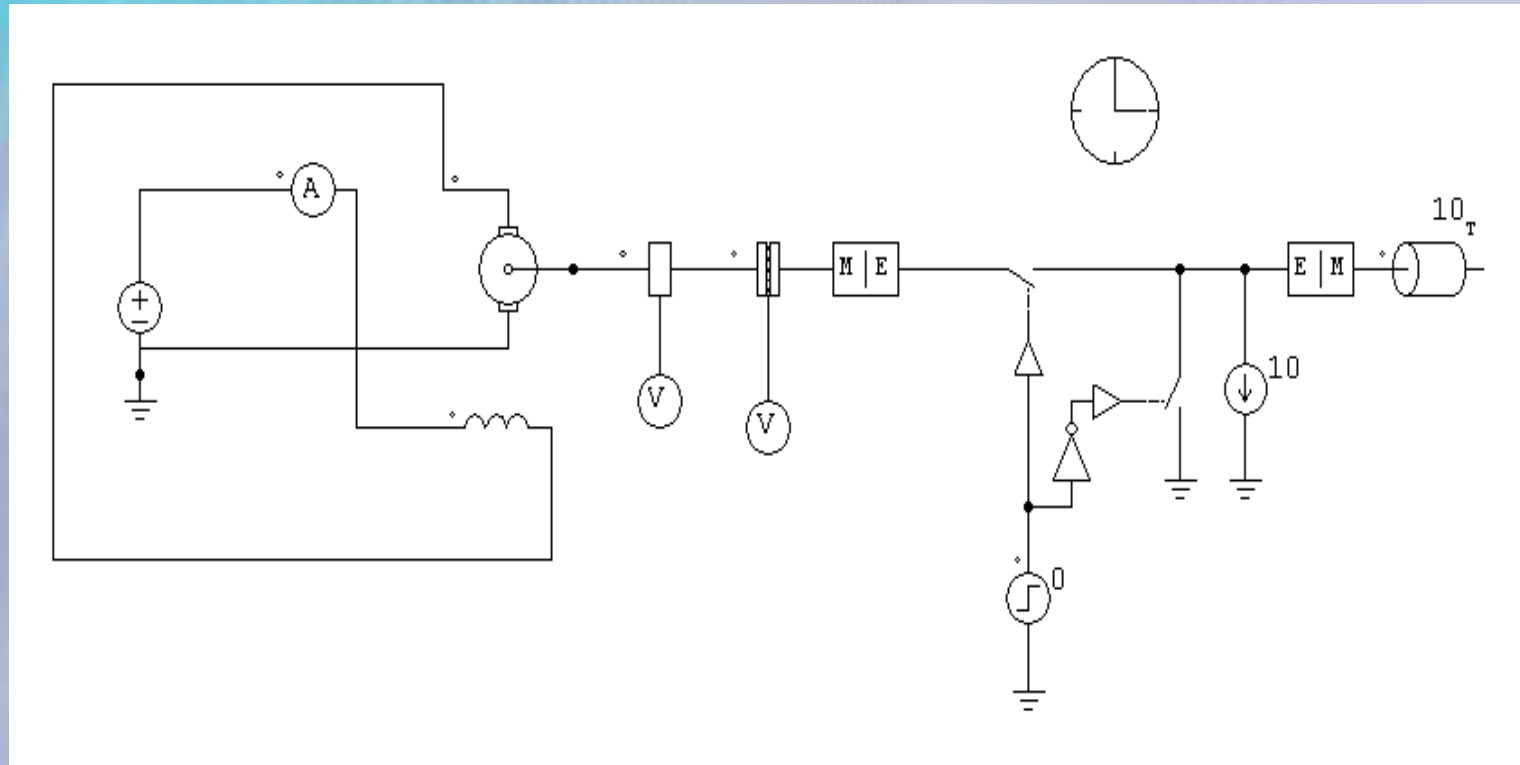
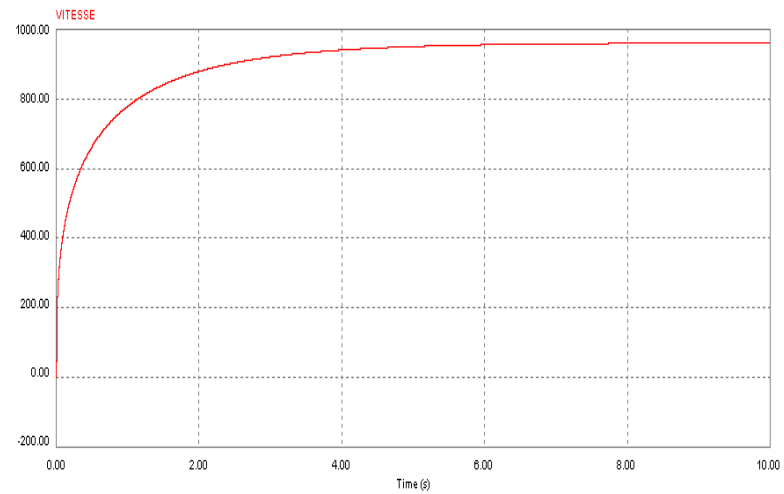
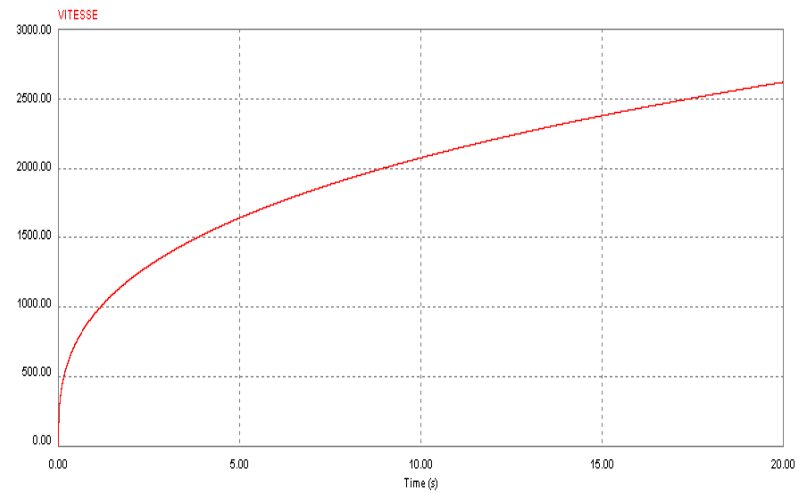


Schéma de simulation de la MCC à excitation série



Caractéristique de la vitesse en charge ($C_r=20\text{Nm}$)



Caractéristique de la vitesse à vide ($C_r=0\text{Nm}$)



Conclusion

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

**MERCI POUR VOTRE
ATTENTION**

تَم بِحَمْدِ اللَّهِ