

M/621.752

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrotechnique et Automatique



**Mémoire de fin d'études**  
**Pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : Sciences et Technologie  
Filière : Génie Electrique  
Spécialité : Commande des machines électriques

---

**Modélisation et Identification des Paramètres d'une machine à courant continu**

---

Présenté par :  
DJITNI THELDJA

Sous la direction de :  
Mr BOUCHELKHA ABDELHAFID

JUIN 2012



## Remerciments

*Louanges à Dieu le tout puissant de nous avoir donné courage, espoir et abnégation de réussir dans ce parcours d'érudition et de savoir.*

*J'exprime ici toutes nos profondes reconnaissances envers :*

*Mr Bouchelkha abdelhafidh pour se encouragement, se patience et se précieux conseil.*

*J'ai à remercier cordialement toutes les personnes qui j'ai aidés à réaliser ce travail et qui j'ai passionnés et motivé durant toute l'année*

*Je remercie vont aussi aux, membres du jury qui ont bien accepté d'examiner mon travail.*

*J'exprime également mon profonde gratitude et je sincères remercie envers ceux qui a contribué de prés ou de loin dans le projet, sans oublier mes amis.*

*Une grande salutation pour tous les étudiants de la promotion le 02/06/2012*

**Sabrina**

# Sommaire

Introduction Géniale .....01

## 1 Identification des paramètres d'une bobine a' noyau de fer

1-1 Introduction .....02

1-2 Modélisation de la bobine .....03

1-3 Mesure en alternatifs .....03

1.3.1 Méthode harmonique .....03

1.3.2 Montage Volt-Ampéremètre.....04

1.3.3 Montage en Ponts.....05

1-3-3-1 Pont de maxwell on pont P.Q.....05

1-3-3-2 Pont d'Owen ou Pont P.C .....06

1-4 Mesure en continu .....07

1-4-1 Méthode du pont de Wheatstone .....07

1-4-2 Essai indiciel .....10

1.4.2.1 Essai d'établissement du courant.....11

1.4.2.2 Essai de rupture du courant .....11

1.4.3 Réponse a' un signal carré .....12

## Chapitre 2 : Modélisation d'un moteur a' courant continu

2.1 Introduction .....14

2-1 Généralités ..... 14

2.1.1 Rôle et connaissances ..... 14

2-1-2 Principe de fonction et modes d'excitation.....16

2-2 Mise en équation d'un moteur a' courant continu.....	18
2-3-1Hypothèse d'étude .....	18
2-3-2 Schéma équivalent.....	18
2-3-3Equation de tensions.....	19
a-Tension d'induit .....	19
b-La force électromotrice.....	19
C-La tension d'excitation.....	19
2-3-4 Equation des couples .....	19
2-3-5Model dynamiques.....	20
2-4 Schéma structurel du moteur .....	20
2-5 Diagramme fonctionnel et fonction de transfert du moteur a' commande d'induit.....	23
2-5-1 Diagramme fonctionnel .....	23
2-5-2 Fonction de transfert du moteur non perturbé pour la vitesse.....	25
2-5-3 La fonction de transfert pour le courant.....	26
 <b>Chapitre 03 : Simulation d'un moteur a' courant continu</b>	
3-1 Introduction.....	27
3-2 Identification des paramètres du circuit d'excitation.....	27
3-2-1 Mesure de la résistance $R_f$ .....	27
3.2.2 Mesure de l'inductance $L_f$ .....	29
3.3 Identification des paramètres d'induit .....	31
3.4 Mesure de l'inductance mutuelle d'induit.....	34
3.5 Identification des paramètres mécaniques.....	35
<b>Conclusion .....</b>	<b>37</b>

---

## Introduction Générale :

La modélisation des propriétés dynamique d'un système est un pas très important dans l'analyse et la conception de leur système de contrôle et de protection.

La modélisation résulte en un modèle paramétrique du système qui contient plusieurs paramètres inconnus. Des données expérimentales sont donc nécessaires pour estimer les paramètres inconnus. C'est dans cet axe que s'insère notre travail dont l'intitulé est : « *Modélisation et identification des paramètres d'un moteur a courant continu* ».

Dans le premier chapitre en évoquera, les méthodes classiques d'identification des paramètres d'une bobine à noyau de fer, chose faite en abordera au deuxième chapitre la modélisation de la machine à courant continu.

Le dernier chapitre sera consacré au test de certaines méthodes d'identification évoqué au chapitre 1 sur un bloc machine électrique (DC machine) de la boîte à outil "**simpower système**" de "**Matlab-simulink**".

# **Identification des paramètres d'une bobine à noyau de fer**

### 1-1 Introduction :

La bobine à noyau de fer constitue indéniablement la structure de base de toutes les machines électriques (transformateurs, machines à courant continu, alternateurs, machines asynchrones, etc....) Il est donc intéressant d'appliquer l'ensemble des acquis en identification paramétrique sur cet exemple d'application.

### 1-2 Modélisation de la bobine :

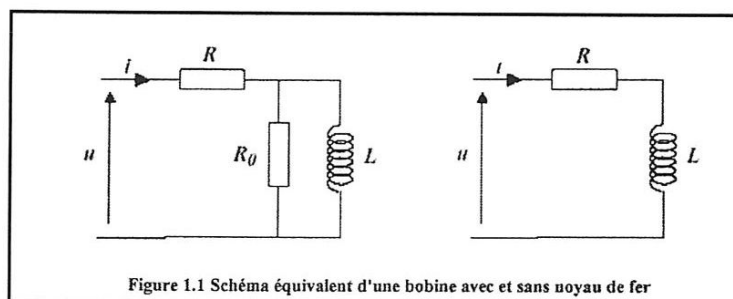
Une bobine à noyau de fer est constituée d'un enroulement et d'un circuit magnétique. Lorsqu'elle est parcourue par un courant alternatif, deux phénomènes secondaires apparaissent et engendrent des pertes d'énergie dans le circuit magnétique. Ces pertes, appelées pertes fer, correspondent à :

- ✓ des pertes par hystérésis,
- ✓ des pertes par courants de Foucault

qui sont induit par la variation du flux dans les tôles magnétiques [ROB 89].

Dans le cas où les pertes fer du noyau de fer ne peuvent être négligées, elles peuvent être approximativement regroupées dans un dipôle linéaire unique en parallèle avec l'inductance magnétisante afin de traduire leur proportionnalité au carré de la tension d'alimentation. Lorsque ces pertes sont négligeables, la bobine est correctement représentée par un circuit électrique équivalent R L.

La figure 1-1 représente le schéma électrique équivalent de la bobine avec et sans noyau de fer.



Il existe plusieurs méthodes classiques pour la mesure des paramètres de la bobine (résistance, inductance) nous les classons ici en deux grandes groupes principaux :

- *Méthodes de mesure en alternatif*
- *Méthodes de mesure en continu.*

## 1-3 Mesure en alternatifs :

## 1.3.1 Méthode harmonique :

Cette méthode de mesure est basée sur la recherche de la résonance, d'où la nécessité d'utilisation d'un condensateur de capacité connue, en série avec la bobine à identifier pour la réalisation d'un circuit oscillant. Une résistance de faible valeur doit être également placée en série avec ce circuit afin de limiter le courant à la fréquence de résonance. Les valeurs de  $R$  et  $C$  sont choisies de façon à obtenir une résonance assez aigües.

Le dispositif expérimental est décrit par la figure suivante :

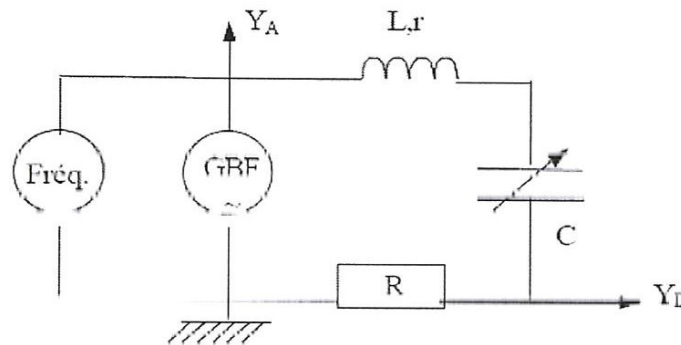


Figure 1.2 : Méthode harmonique

Le circuit est alimenté par une génératrice basse fréquence (GBF).

Un oscilloscope affiche :

- ✓ la tension sinusoïdale de fréquence  $f$  délivrée par le GBF sur  $Y_{A+}$
- ✓ l'image du courant dans le circuit, c.à.d. la tension aux bornes de la résistance série  $R$  sur  $Y_{B+}$

Dans ce montage, le GBF et l'oscilloscope doivent être isolés l'un par rapport à l'autre, il y a plusieurs solutions possibles : GBF isolé, ou oscilloscope différentiel ou oscilloscope muni d'une sonde différentielle.

Le principe de la méthode est d'agir sur la fréquence de la tension d'alimentation pour obtenir une résonance. C'est à dire chercher la fréquence pour laquelle le déphasage entre le courant et la tension est nul : C'est la fréquence de résonance.

A la résonance  $Z = \sqrt{R_t^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$  prend une valeur minimale ; c'est à dire  $Z=R_t$ . donc  $L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$



Comme nous connaissons la valeur de C et celle de la fréquence ( $\omega = 2\pi f$ ), nous

déduisons la valeur de L à partir de l'équation :  $L = \frac{1}{C\omega^2}$

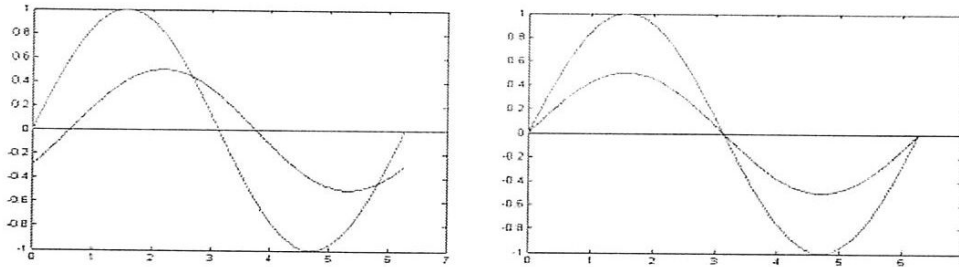


Figure 1.3 : déphasage avant et à la résonance

### 1.3.2 Montage Volt- Ampèremètre

Pour la mesure de l'inductance de la bobine on peut utilisé le montage longue dérivation de la figure 1.4 alimenté par une tensions alternative de fréquence connue f (HZ)

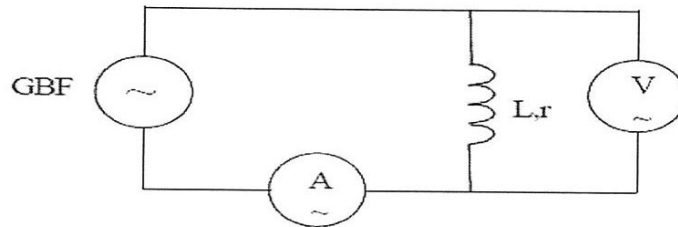


Figure 1.4 Montage volt-ampèremètre

La mesure des valeurs efficace de la tensions  $V_{eff}$  aux bornes de la bobine et du courant efficace  $I_{eff}$  qui la traverse permettre de déterminer l'impédance  $Z = \frac{V_{eff}}{I_{eff}}$ .

Connaissant r et f on peut calculer la réactance par  $X = \sqrt{Z^2 - R^2}$ , puis L par l'équation :

$$L = \frac{X}{\omega} = \frac{X}{2\pi f}$$

### 1.3.3 Montages en ponts :

Les ponts ont été très utilisés pour la mesure des résistances, des inductances et capacités voire même des fréquences jusqu'aux années 75. Les progrès de l'électronique les ont rendus peu obsolètes pour les applications de métrologie. Toutefois la structure en pont reste utilisée dans de nombreux montage.

Selon les cas, ces ponts sont alimentés en continu par un générateur de f.é.m.  $E$  ou en alternatif par un Générateur Basse Fréquence (GBF). En alternatif les ponts sont formés par l'association de quatre impédances  $Z_1$  à  $Z_4$  comme montré à la figure 1.4, alors qu'en continu les impédances seront remplacés par des résistances (voir paragraphe 1.4).

*Dans tous les cas L'équilibre du pont est obtenu lorsque les produits en croix des impédances sont égaux.*

En générale, deux dipôles seront des résistances pures de précision. Le troisième sera l'impédance inconnue et le quatrième sera constituée de condensateurs de précision associé à des résistances de précision. Les possibilités d'associations sont assez nombreuses et nous allons examiner les plus utilisées.

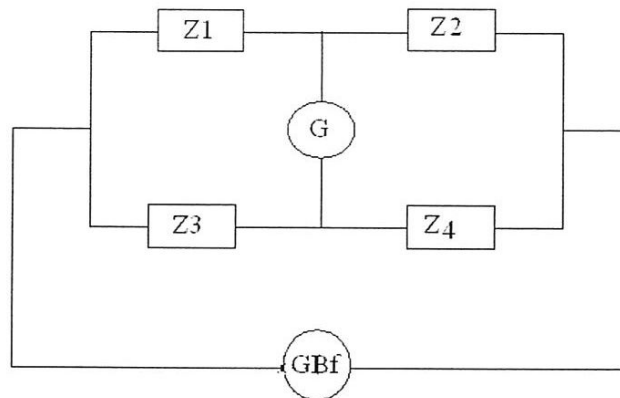


Figure 1.5 Pont en alternatif

#### 1-3-3-1 Pont de maxwell <sup>ou ?</sup> ou pont P.Q

Dans le pont (P.Q) figure 1.6,  $Z_3 = P$  et  $Z_4 = Q$  sont des résistances pures.  $Z_1$  est une impédance inconnue ayant un facteur de qualité  $\frac{L\omega}{R}$  médiocre donc représenté par le modèle série  $Z_1 = (R_x + jX_x)$  et  $Z_2 = (R + jX)$  une impédance variable et connue formée d'un condensateur  $C$  en parallèle avec une résistance  $R$  tous les deux ajustables.

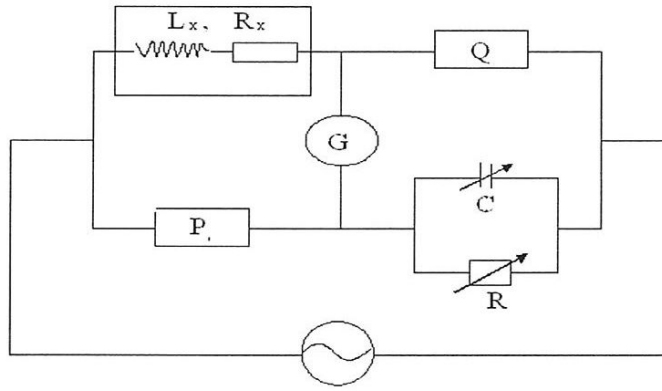


Figure 1.6 Pont de Maxwell

A l'équilibre :

$$PQ = (R_x + jX_x)(R + jX)$$

$$= R \cdot R_x - X \cdot X_x + j(R \cdot X_x + R_x \cdot X)$$

On a donc  $P \cdot Q = R \cdot R_x - X \cdot X_x$  Et  $\frac{R_x}{R} = -\frac{X_x}{X}$ .

d'où:  $R_x = \frac{P \cdot Q}{R}$

et  $L_x = P \cdot Q \cdot C$ .

IL est difficile à équilibrer un tel pont et on procède souvent en deux étapes :

- On commence par alimenter le pont en continu, le condensateur possède alors une impédance infinie et l'inductance une impédance nulle. A l'équilibre on obtient  $R_x = \frac{PQ}{R}$  comme dans un pont de Wheatstone classique.
- Ensuite, et sans modifier R, on alimente le pont en alternatif et on modifie C pour obtenir l'équilibre.

### 1-3-3-2 Pont d'Owen ou Pont P.C :

Dans les ponts (P.C) figure 1.7,  $Z_3 = P$  est une résistance pure et  $Z_4$  est un condensateur idéal.  $Z_1 = R_x + j\omega L_x$  (Modèle série) ou  $Z_1 = R_x // j\omega L_x$  (modèle parallèle) est une impédance inconnue, alors que  $Z_2$  est une impédance variable.

Si on utilise le modèle série pour la bobine  $Z_1$ ,  $Z_2$  sera un condensateur variable  $C_v$  en série avec une résistance ajustable R ; alors que si l'on utilise le modèle parallèle pour la

bobine  $Z_1, Z_2$  sera un condensateur variable  $C_v$  en parallèle avec une résistance ajustable. Dans les deux cas on aura :  $R_x = \frac{P.C}{C_v}$  et  $L_x = P.C.R$ .

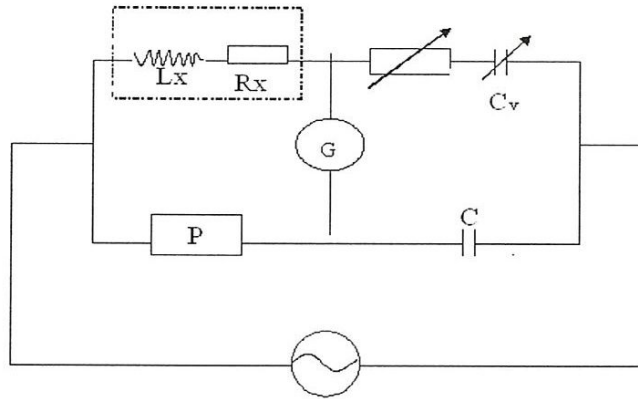


Figure 1.7 Pont P.C

1-4 Mesure en continu :

1-4-1 Méthode du pont de Wheatstone :

L'idée de base pour mesurer l'inductance est basée sur la méthode de Jones qui utilise un circuit électrique sous forme de pont de Wheatstone. La bobine ( $L_1$  henry,  $R_1$  ohms) est connectée par trois résistances ( $R_2, R_3, R_4$ )

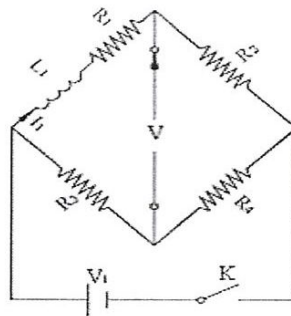


Figure Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document.1.8 Pont de Wheatstone

Le régime permanent du pont de Wheatstone est obtenu après fermeture de l'interrupteur et ajustement de  $R_2, R_3, R_4$  jusqu'à obtention de l'équilibre pour  $V=0$ . A

cet instant on a :  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ . Si  $R_2, R_3$  et  $R_4$  sont des résistances connues, la résistance

à mesurer  $R_1$  est donnée par  $R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$

Le régime transitoire du pont de Wheatstone commence à  $t=0$  (ouverture de K), et le courant  $I_1$  à travers l'inductance a initialement la valeur du régime permanent  $I_1$ , et décroît jusqu'à zéro selon le schéma de la figure 1.9.

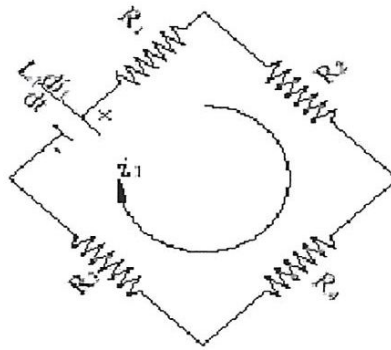


Figure 1.9 Schéma pour le régime transitoire

L'inductance est transformée en une source de tensions  $L_1 \frac{di_1(t)}{dt}$  et le courant garde la même direction du régime permanent.

La tensions du pont est données par :

$$V = L_1 \frac{di_1(t)}{dt} - (R_1 + R_3) i_1(t) \dots\dots\dots (1.1)$$

$$V = (R_2 + R_4) I_1 \dots\dots\dots (2.2)$$

En remplace (2) dans (1) on obtient,

$$V = L_1 \frac{di_1(t)}{dt} - \frac{R_1 + R_3}{R_2 + R_4} V \dots\dots\dots (1.3)$$

Avec  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$  l'équation (I.3) se simplifié à :

$$V = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} L_1 \frac{di_1}{dt} \dots\dots\dots (1.4)$$

On intégrant (4) :

$$\int_0^\infty v dt = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \int_0^\infty L_1 \frac{di_1}{dt} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \int_0^{I_1} L_1 di_1 = \frac{L_1 I_1}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

On obtient l'expression donnant l'inductance  $L_1$  :

$$L_1 = \frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{I_1} \int_0^\infty v dt \dots\dots\dots (1.5)$$

Où  $I_1$  est le courant permanent à travers  $L_1$  avant l'ouverture de l'interrupteur

Par conséquent, quand on mesure  $\int_0^\infty v dt$  on peut obtenir la valeur de l'inductance  $L_1$ .

De la même façon ; on peut mesurer l'inductance mutuelle (commune) par l'utilisation d'un pont similaire. La figure 1.10 montre le circuit.

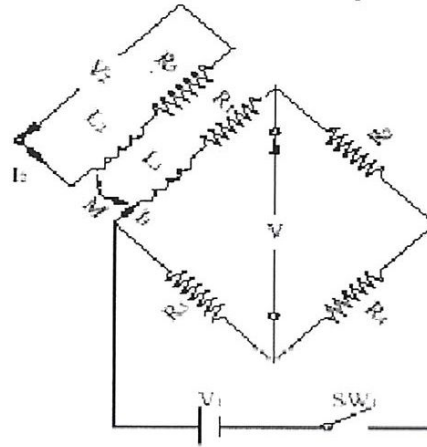


Figure 1.10 : mesure de l'inductance mutuelle

L'inductance mutuelle est obtenue par :

$$M = \frac{1 + \frac{R_1}{R_2}}{I_1} \int_0^\infty v_2 dt \dots\dots\dots(1.6)$$

Dans le cas de l'inductance mutuelle, il n'y a pas nécessité d'utilisation d'un pont de Wheatstone on peut l'atteindre par le circuit de la figure (1.11) mais il faut réduire la valeur de  $I_1$  à sa valeur initiale « zéro », intégrer «  $V_2$  ».

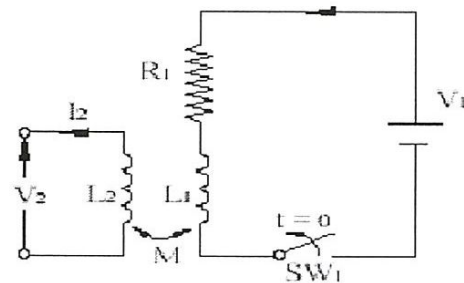


Figure 1.11 : montage pour la mesure de l'inductance mutuelle

$$M = \frac{1}{I_1} \int_0^\infty v_2 dt \dots\dots\dots(1.7)$$

En pratique l'erreur résiduelle due au flux rémanent est éliminée par renversement du courant  $I_1$  pendant la période d'intégration :  $M = \frac{1}{2I_1} \int_0^\infty v_2 dt$

La méthode de pont de Wheatstone pour mesurer l'inductance et l'inductance mutuelle est développée dans une partie complète appelé (Pont Inductance à courant continu).

Pratiquement le PICC est composé par trois grandes parties :

- ✓ Première partie : un double pont de Wheatstone
- ✓ Deuxième partie : un intégrateur électrique
- ✓ Troisième partie : un voltmètre numérique

La figure (1.12) schématise la connexion entre le (PICC) et l'inductance à mesurer.

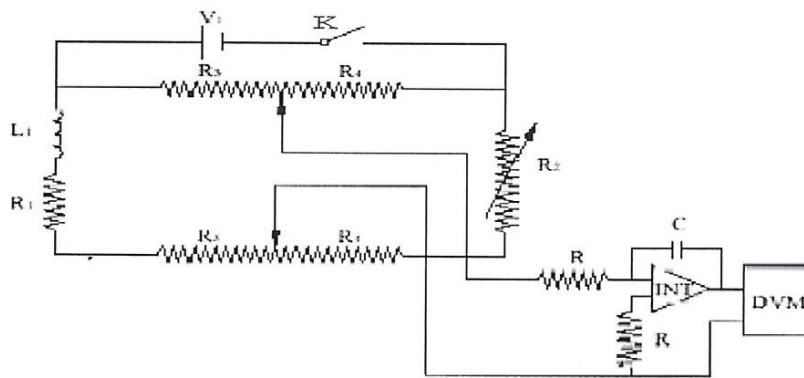


Figure 1.12 schéma du Pont Inductance à courant continu

### 1-4-2 Essai indiciel

Cette méthode consiste en l'observation de l'évolution temporelle du courant dans la bobine à identifier, soumise à un échelon de tension. Pour Une bonne précision, cette méthode n'est applicable que pour des valeurs d'inductances supérieures à  $10\mu\text{H}$ .

Deux réalisations possibles de l'essai utilisant une résistance pour visualiser l'établissement ou la rupture du courant sont présentées ci-après

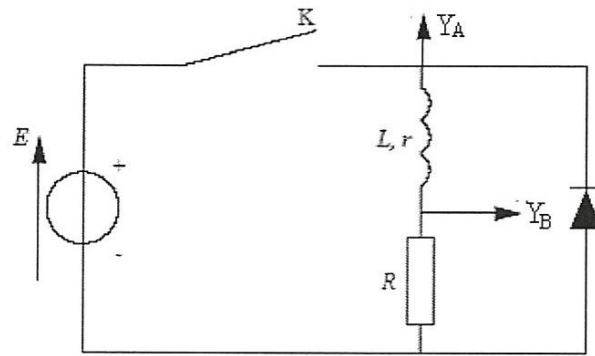


Figure 1.13 : Essai indiciel

### 1.4.2.1 Essai d'établissement du courant

A l'instant  $t=0$  on ferme l'interrupteur  $K$  et on trace la caractéristique  $i = f(t)$ . L'intensité du courant ne passe pas immédiatement de la valeur  $E/R$  car il y a production dans la bobine d'une f.é.m. d'inductance qui tend à s'opposer à toute variation de  $i$

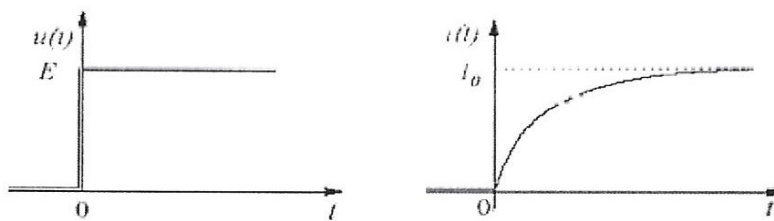


Figure 1.14 : Essai d'établissement du courant

L'intensité du courant dans le circuit suit la loi :

$$I(t) = I_0(1 - e^{-t/\tau}) \text{ avec } I_0 = \frac{E}{R_t} \text{ et } \tau = \frac{L}{R_t} = \frac{L}{r+R}$$

Après avoir mesuré  $I_0$  la valeur de la résistance  $R_0$  est déduite de la valeur de la résistance totale de charge par :  $r = (R_t - R) = \frac{E}{I_0} - R$ . Alors que la valeur de l'inductance est déduite de la valeur de la constante de temps  $\tau = \frac{L}{R_t}$ .

### 1.4.2.2 Essai de rupture du courant

De même on peut en déduire la valeur de  $L$  à partir d'un essai de rupture du courant et qui peut être résumé de la façon suivante :



Supposons que la valeur de l'intensité  $I_0 = \frac{E}{R}$  pratiquement atteinte dans le circuit précédent, et ouvrant l'interrupteur K à un instant  $t$  que nous choisissons comme nouvelle origine des temps  $t=0$ . Le tracé suivant est obtenu

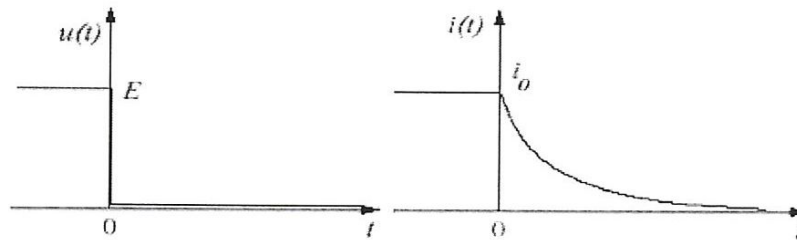


Figure 1.25 : Essai de rupture de courant

L'intensité du courant dans le circuit obéit cette fois à la loi :

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad \text{avec } I_0 = \frac{E}{R_t} \quad \text{et } \tau = \frac{L}{R_t} = \frac{L}{r+R}$$

### 1.4.3 Réponse à un signal carré :

Pour cette étude le circuit RL sera attaqué par une tension périodique  $V$  se présentant sous forme de signaux carrés délivrés par un Générateur Basse Fréquence.

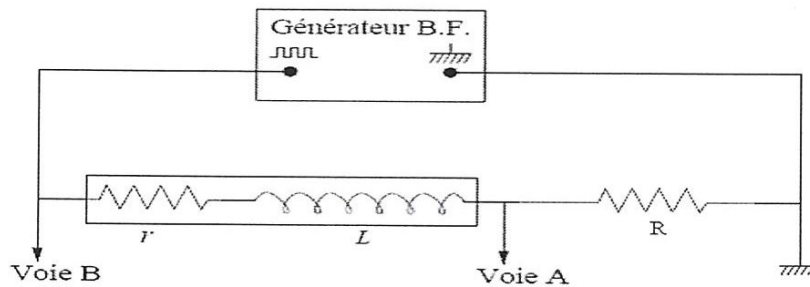
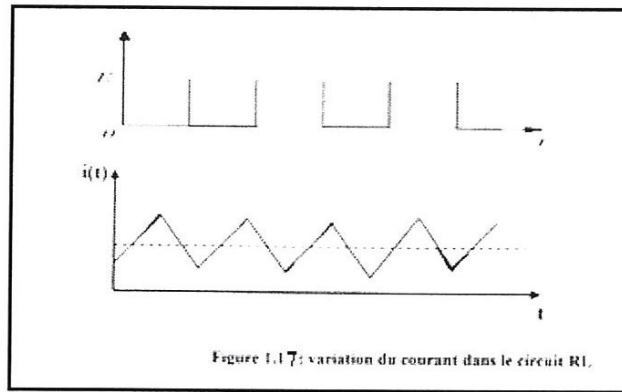


Figure 1.36 Schéma de montage

Enregistrer la variation au cours du temps de la différence de potentielle aux bornes de  $R$ , qui est proportionnelle à l'intensité  $I$  du courant dans le circuit.

Compte tenu des résultats énoncés au paragraphe 1.4.2, la variation du courant en fonction du temps dans le circuit  $R L$ , dans le cas où l'inductance est grande, est représentée sur la figure 1.17



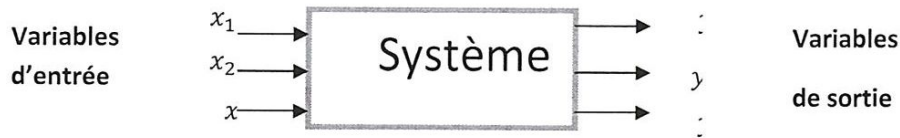
Si  $L_t$  représente l'inductance globale (lissage+bobine) et que l'on néglige les résistances  $r$  et  $R$  on constate que  $L_t = \frac{\alpha(1-\alpha)}{\Delta i} E$

Si on connaît l'inductance de lissage, il suffit de soustraire sa valeur pour trouver celle de la bobine  $L = L_t - L_s$

# Modélisation d'un moteur à courant continu

## 2.1 Introduction

Un système physiques, chimique, biologique, économique, peut se concevoir comme étant une relation entre des causes (ou variables d'entrée) et des conséquences (ou variables de sortie, ce que l'on peut schématiser comme suit :



Scientifiquement étudier un tel système, c'est généralement clochera prévoir son comportement, c'est-à-dire quel sera l'état ou l'évolution des grandeurs de sortie en réponse à une valeur ou une variation des grandeurs d'entrée.

Pour ce faire il est intéressant de synthétiser un modèle dont le comportement soit analogue à ce lui du système étudié, c'est-à-dire reproduisant les mêmes relations entre ses grandeurs d'entrée et ses grandeurs de sortie, le modèle simule le comportement du système on utilise quatre types de ce modèle :

- modèle mathématique
- modèle analogique.
- modèle numérique.
- modèle de connaissance (modèle de conduite).

### 2-2- Généralités :

#### 2.2.1 Rôle et connaissances :

Les machines à courant continu sont des convertisseurs électromécaniques d'énergie. Ces machines sont réversibles, donc ils peuvent fonctionner en moteur ou en générateur. Ces machines sont constituées essentiellement de deux parties, l'une fixe appelé induit ou stator, et l'autre mobile appelé inducteur ou rotor.

#### Stator (Partie fixe) :

Le stator est composé de :

- 1- La culasse.
- 2- des pôles principaux et auxiliaires
- 3- des bobines magnétiques statiques

Les bobines inductrices traversées par le courant d'excitation créent un flux dont les lignes de champ sortants des pôles nord traversent l'entrefer puis l'induit et retournent vers le

pole sud à travers l'entrefer, puis rejoint le pôle nord en circulant dans la culasse. Donc le rôle du stator est de créer un flux magnétique.

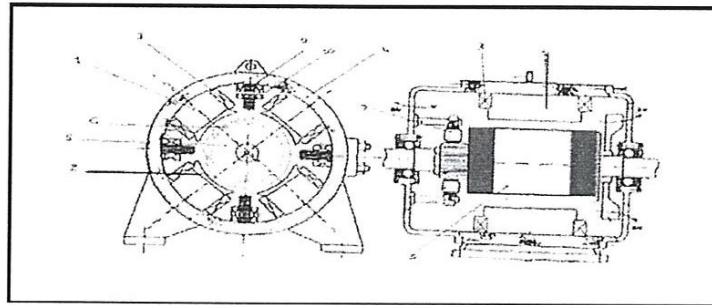


Figure 2.1 Schéma de Stator

**Rotor (partie mobile) :**

Le Rotor ce compose des éléments suivants :

- 1- système Balais-collecteur
- 2- Induit
- 3- Arbre

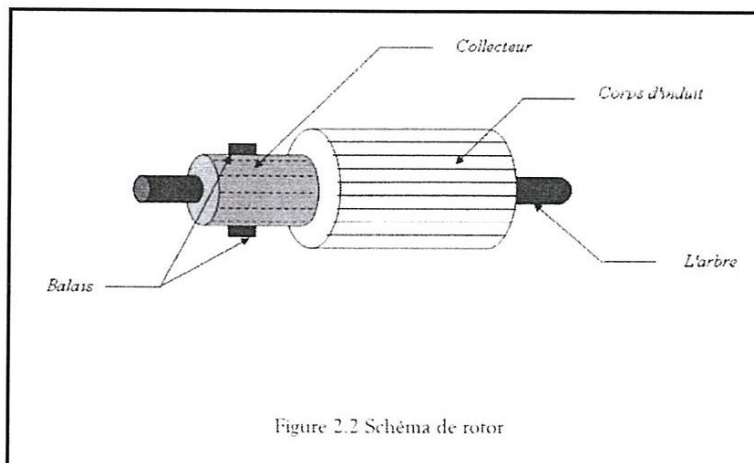


Figure 2.2 Schéma de rotor

**Induit rotorique:**

Le rotor, monté sur roulements à billes, tourne à l'intérieur du stator. Il porte les conducteurs actifs logés dans des encoches périphériques.

**Feuilletage:** Comme il tourne dans un champ magnétique fixe, le rotor est soumis à des variations de flux et est le siège de pertes par hystérésis et par courants de Foucault. Le rotor est donc essentiellement un assemblage de fines tôles magnétiques (0,2mm) découpées à la presse et isolées entre elles.

**Section:** Une spire est composée de 2 conducteurs. Plusieurs spires forment un bobinage appelé section. Cette section est logée dans 2 encoches presque diamétralement opposées et calée solidement.

**Collecteur et balais:** Le courant du rotor doit sortir (génératrice) ou entrer (moteur). Il faut un collecteur et 2 balais. Le collecteur est constitué d'une série de lames de cuivre juxtaposées et isolées entre elles. Il y en a autant que de sections et l'ensemble forme un cylindre placé en extrémité d'induit.

Les balais sont fixés sur la carcasse. Ces blocs de carbone (charbons) frottent sur le collecteur en assurant un bon contact électrique.

### 2-3 Principe de fonction et modes d'excitation :

#### Principe de fonction :

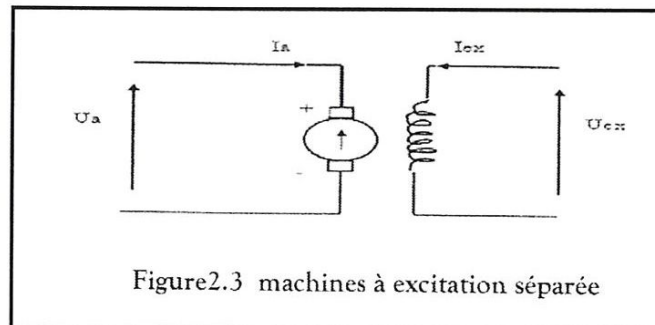
Les conducteurs actifs en rotation coupent le flux créé par le stator ce qui entraîne la création d'une force électromotrice ( $F.e.m$ ) sinusoïdale dans le surcircuit d'induit qui sera redressée par collecteur.

#### Modes d'excitation :

Selon le mode d'excitation ou d'alimentation de l'enroulement inducteur les machines à courant continu sont classées en :

##### a-machines à excitation séparée :

L'excitation est fournie par une source extérieure :

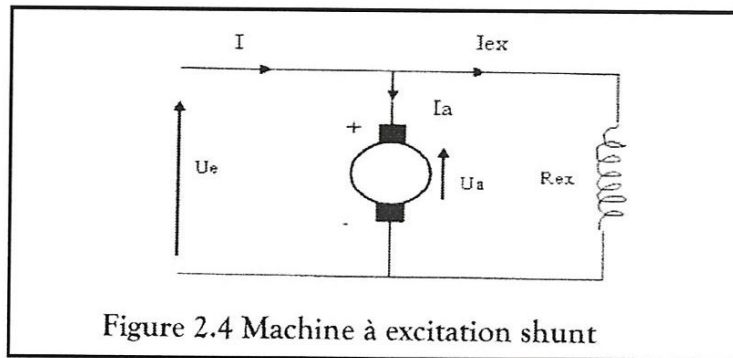


##### b-machines auto excitées :

Elles produisent elles-mêmes leur excitation.

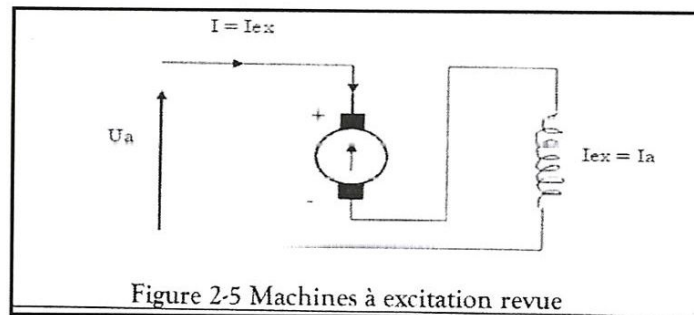
##### \* Machines à excitation shunt :

Elle est munie d'un enroulement inducteur à grand nombre de spires de faible section connectée en parallèle avec l'induit  $I = I_a + I_{ex}$



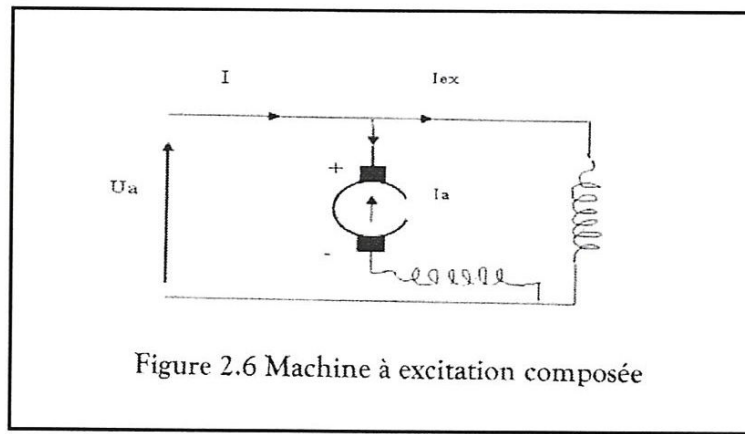
**\*\* Machines à excitation série :**

Elle est équipée d'un enroulement inducteur de faible nombre de spire et de forte section qui est connecté en série avec l'induit.



**\*\*\* Machines excitation composée :**

Comporte deux enroulement inducteur l'un en parallèle avec l'induit et l'autre en série.



## 2-4 Mise en équation d'un moteur à courant continu :

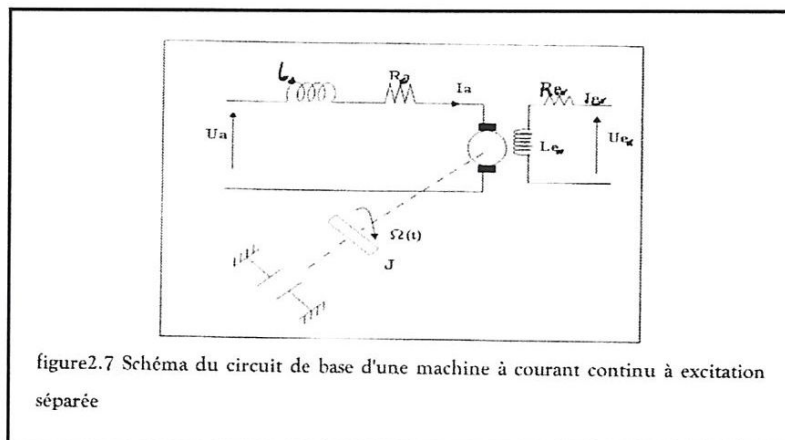
### 2-4-1 Hypothèse d'étude

Pour l'étude du comportement statique et dynamique des moteurs à courant continu, on admettra les suppositions suivant :

- ✓ La saturation du circuit magnétique est prise en considération seulement dans la culasse statorique. *??, exaopré (-il faut vérifier le modèle simplifier)*
- ✓ L'enroulement d'induit, avec l'enroulement des pôles auxiliaires, et un éventuel enroulement de compensation sont représentés par une inductance et une résistance équivalentes.
- ✓ La réaction d'induit n'est pas prise en considération.
- ✓ Les pertes dans le fer négligées.
- ✓ Les résistances et les inductances sont indépendantes de la température.
- ✓ L'effet pelliculaire est négligé.

### 2-4-2 Schéma équivalent :

Le schéma suivant m montre le circuit de base d'une machine à courant continu à excitation séparée.



$U_a$  : Tension aux bornes d'induit en "V"

$I_a$  : Courant d'induit en 'A'

$R_a$  : Résistance d'induit ' $\Omega$ '

$L_a$  : Inductance de l'enroulement d'induit en "H"

$E_a$  : Force électromotrice en 'V'



$U_{exc}$  : Tension d'excitation en 'V'

$I_{exc}$  : Courant d'excitation en 'A'

$L_{exc}$  : Inductance de circuit d'excitation en 'H'

$R_{exc}$  : Résistance de circuit d'excitation en '' $\Omega$ ''

$J$  : Moment d'inertie en  $kg.m^2$ .

$f$  : Coefficient de frottement visqueux

### 2-4-3 Equation de tensions :

#### a-Tension d'induit :

A partir de la loi des mailles on calcule la tension de l'induit de la forme :

$$U_a(t) = R_a i(t) + L_a \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (2.1)$$

#### b-La force électromotrice :

La force électromotrice d'un moteur est donnée par.

$$e = K_m \cdot \phi(t) \cdot \omega(t) = M_{qf} \cdot I_{ex}(t) \cdot \omega(t) \dots \dots \dots (2.2)$$

Avec :

$\phi$  : Le flux magnétique .....en ''web''.

$\omega$  : La vitesse de rotation .....en ''rd /s''.

$P$  : Le nombre de paire des pôles.

$N$  : Le nombre de conducteurs actifs de l'induit.

$A$  : Le nombre des branches parallèle.

$M_{qf}$  : Inductance mutuelle.

#### C-La tension d'excitation :

A partir de la loi des mailles on obtient la fourmille de tension d'excitation :

$$U_{ex}(t) = R_{ex} i(t) + L_{ex} \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (2.3)$$

### 2-4-4 Equation des couples :

Sur l'arbre d'un moteur a' courant continu agissent les couples suivent :

Couple électromagnétique :

$$C_e(t) = K_m \vartheta(t) i_a(t) = M_{qf} i_{ex}(t) i_a(t) \dots\dots\dots(2.4)$$

Couple statique :

$$C_s = C_0 + C_r \dots\dots\dots(2.5)$$

Couple dynamique :

$$C_J = J \frac{d\omega(t)}{dt} \dots\dots\dots(2.6)$$

La relation entre ces couples découle de la condition d'équilibre :

$$C_e(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + C_s(t) \dots\dots\dots(2.7)$$

#### 2-4-5 Model dynamiques :

Le comportement dynamique d'une machine courant continu est complètement décrit par le modèle suivant :

$$U_a(t) = R_a i(t) + L_a \frac{di_a}{dt} + e_a(t)$$

$$c_e(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + c_s(t)$$

$$e_a(t) = k_m \theta(t) \omega(t) = M_{qf} i_{ex}(t) \omega(t)$$

$$c_e(t) = k_m \theta(t) i_a(t) = M_{qf} i_{ex}(t) i_a(t) = C_m(t)$$

#### 2-5 Schéma structurel du moteur:

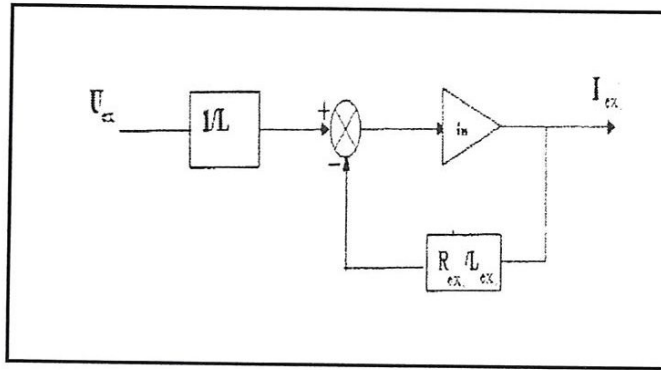
Le schéma structurel permet la représentation graphique d'équation différentielle linéaire et non linéaire. Il met en évidence la structure d'un système et permet, notamment, de bien visualiser les interactions entre les différents signaux, comme contre réactions, non linéarités...ect .

Les éléments qui composent le schéma structurel représentent des opérations mathématiques, à savoir addition, soustraction, multiplication par un coefficient, intégration et différentiation, ainsi que la division et la fonction non linéaire d'une variable.

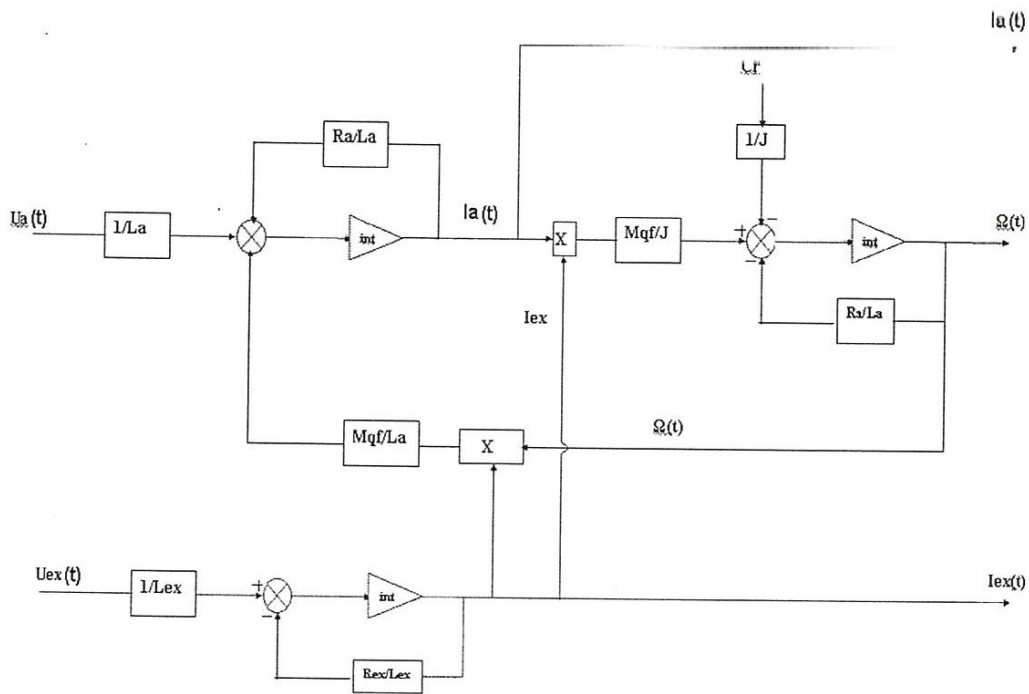
Pour l'élaboration du schéma structurel du moteur à courant continu on écrit les équations du modèle dynamique du moteur à courant continu sous la forme de variable d'état :

3- Schéma structurel de l'équation(2.10)

$$\frac{di_{ex}}{dt} = \frac{U_{ex}}{L_{ex}} - \frac{R_{ex}}{L_{ex}} i_{ex}$$



2-6 Schéma structurel du moteur:

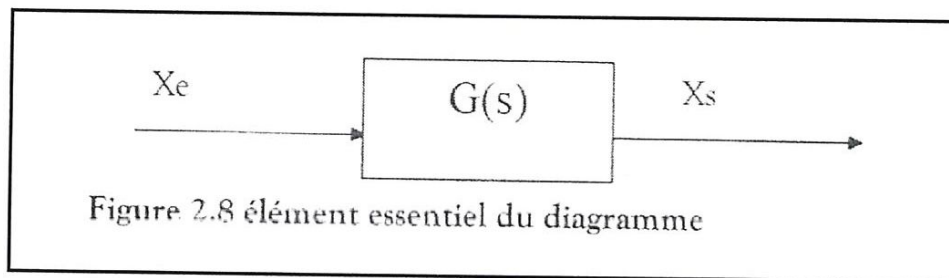


Figure(2.8) diagramme structurel du moteur

**2-7 Diagramme fonctionnel et fonction de transfert du moteur à commande d'induit :**

**2-7-1 Diagramme fonctionnel :**

Le diagramme fonctionnel est une variante pour la représentation graphique de système linéaire ou linéaire, dont l'élément essentiel est le bloc. Il contient la fonction de transfert  $G(s)$  liant le signal de sortie  $X_s$  au signal d'entrée  $X_e$ . Un bloc peut représenter un seul système ou un groupe de système. Les branches reliant les blocs représentent des signaux. En plus des blocs de transfert et des branches de connexion, le schéma bloc admet aussi des points de sommation ou de soustraction, comme dans le diagramme structurel.

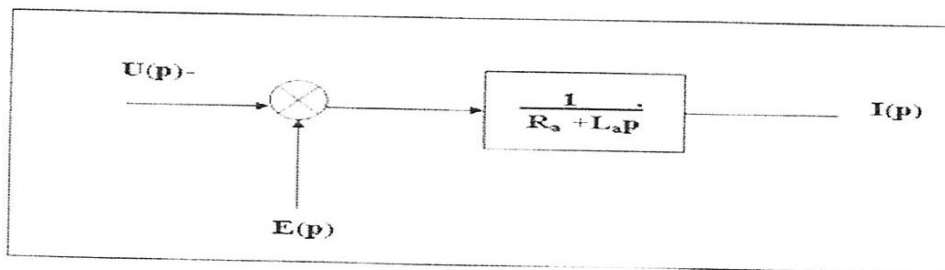


Le diagramme fonctionnel du moteur peut être obtenu après application de la transformation de Laplace sur le modèle dynamique.

$$U_a = (R_a + L_a P)I(P) + E_a(P)$$

$$I(P) = \frac{U_a(P) - E_a P}{R_1 + L_a P}$$

D'où le schéma bloc :

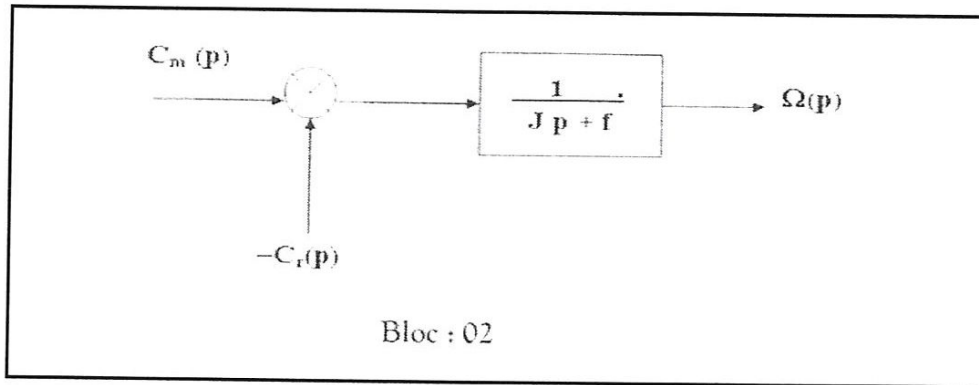


Bloc : 01

En appliquant la transformation de Laplace à l'équation ( 2.1)et on supposant que le couple de perte et donner par :  $c_0 = f \times \omega(t)$

On obtient :

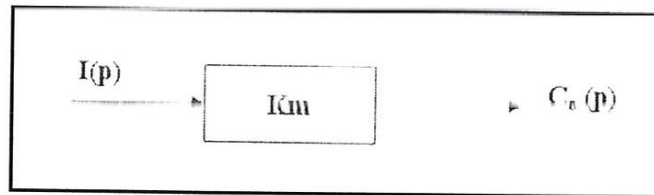
$$c_m(p) - c_r(p) = (Jp + f)\omega(p) \Rightarrow \omega(p) = \frac{c_m(p) - c_r(p)}{Jp + f}$$



En appliquant la transformation de Laplace l'équation (2.4), on obtient :

$$c_e(p) = K_m I(p)$$

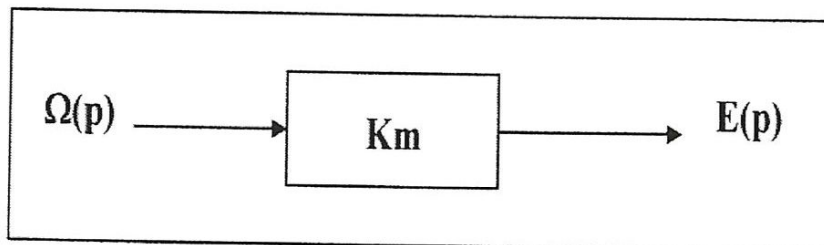
D'où le bloc 3



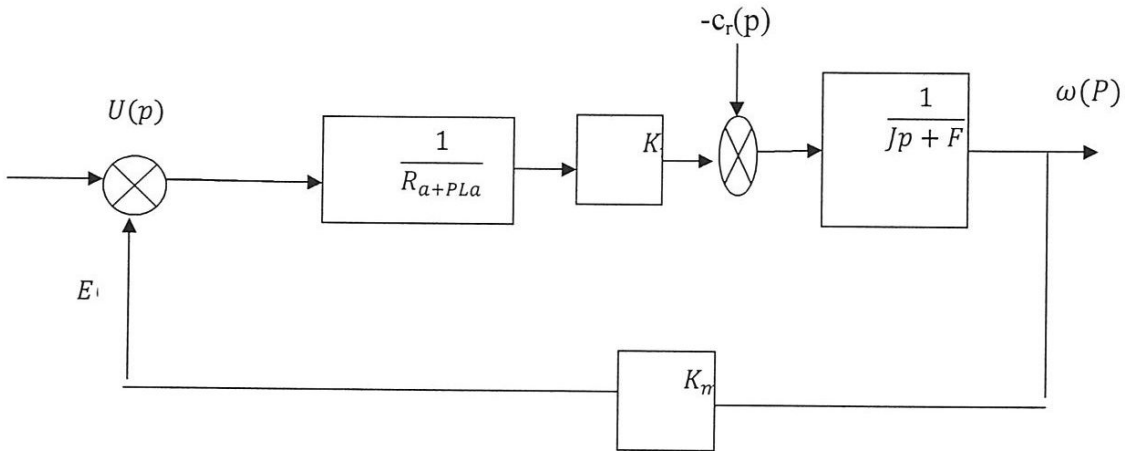
En appliquant la transformation de Laplace à l'équation (2.3), on obtient

$$E(p) = K_m \omega(p)$$

D'où le bloc 4 :



Ce qui conduit au diagramme fonctionnel suivant :



Figure(2.9) Diagramme fonctionnel du moteur a courant

2-7-2 Fonction de transfert du moteur non perturbé pour la vitesse :

On suppose que le couple résistant est nul  $c_r = 0$  la boucle de vitesse sera donnée par :

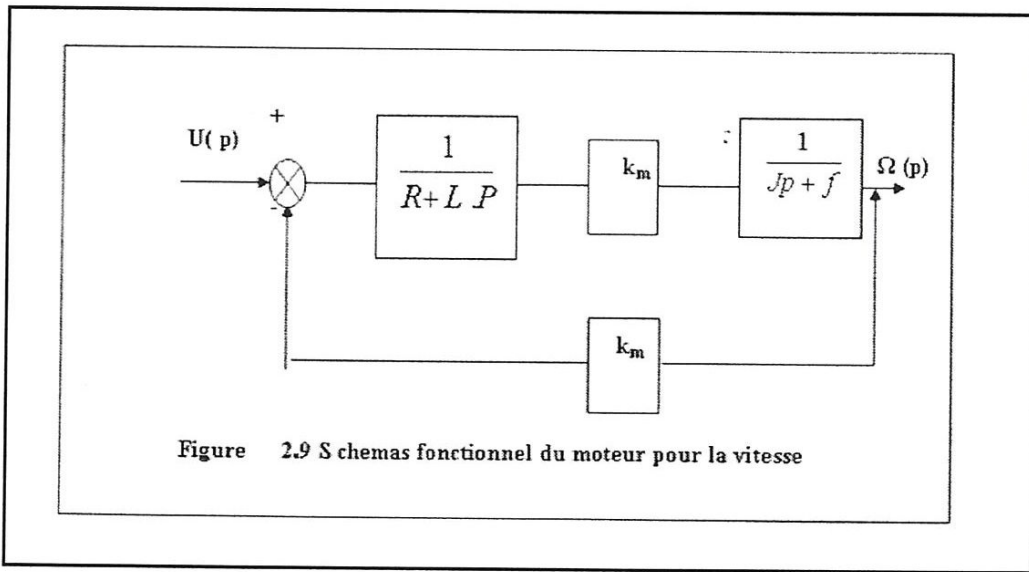


Figure 2.9 S chemas fonctionnel du moteur pour la vitesse

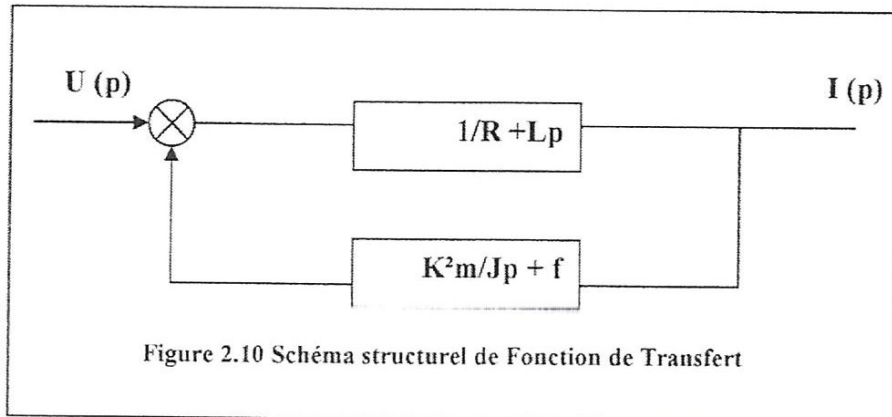
Donc la fonction de Transfert  $c_{mv}(p)$  du moteur pour la vitesse est donnée par :

$$c_{mv}(p) = \frac{\omega(p)}{U(p)} = \frac{\frac{1}{R+Lp} \times Km \times \frac{1}{Jp+f}}{1 + Km^2 / (R+Lp)(Jp+f)} = \frac{Km}{(R+Lp)(Jp+f) + Km^2} = \frac{Km(rf + Km^2)}{1 + \left[ \frac{RJ + Lf}{Rf + Km^2} \right] \times p + \left[ \frac{LJ}{Rf + Km^2} \right] p^2}$$

2-7-3 La fonction de transfert pour le courant :

Après la transformation de schéma fonctionnel figure « on aura un nouveau schéma fonctionnel figure ou l'entrée et la sortie son respectivement la tension d'induit et le courant d'induit.

La fonction de transfert sera :



$$G_{mI} = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{\frac{1}{R} + Lp}{1 + \frac{K^2m}{Jp+f} \times \frac{1}{R} + Lp} = \frac{(Jp+f)}{(Jp+f)(R+Lp) + K^2m} = \frac{(Jp+f)/(K^2m+Rf)}{(1+T_{em}p)(1+T_e p)}$$

$$G_{mI} = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{1}{(R + Lp) + \frac{K^2m}{Jp + f}}$$

# **Simulation d'un moteur à courant continu**



**3-1 Introduction :**

Dans le but de tester quelques une des méthodes évoquées au chapitre I, on ce propose d'identifier un bloc DC machine, de la librairie **simpowersystems matlab/simulink** dans les paramètres sont connues, mais qu'on suppose inconnus et notre objectif sera de les déterminer.

A cet effet des modèles **simulink** implémentant divers méthodes d'identification ont été élaboré et testé sur un bloc **DC machine** ayant les paramètres suivants :

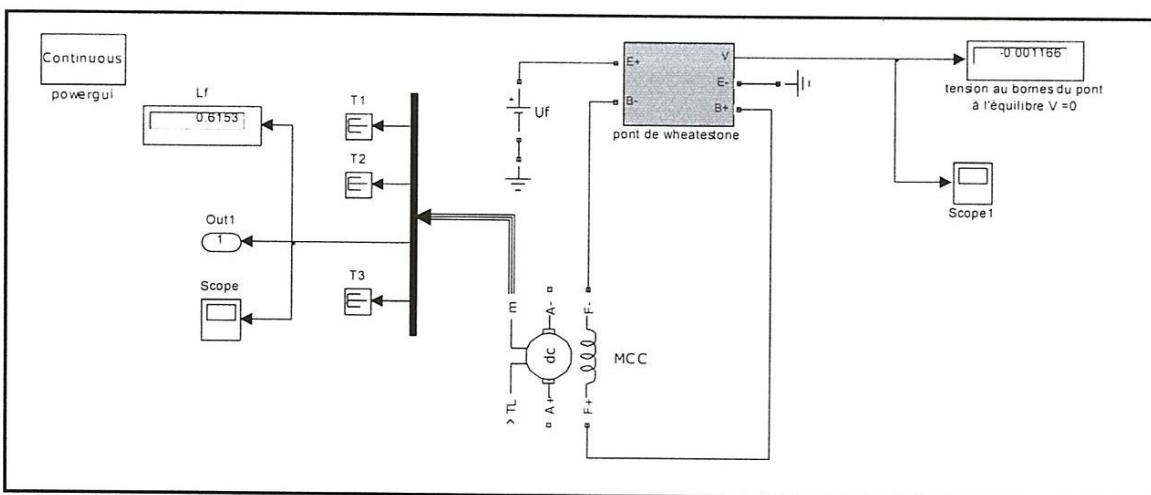
- Résistance d'induit..... $R_a = 0,8(\omega)$
- .Inductance d'induit..... $L_a = 1e^{-3}(\text{mH})$
- Résistance d'inducteur .....  $R_f=50(\omega)$
- Inductance d'inducteur..... $L_f=10(\text{H})$
- Inductance mutuelle ..... $M_{af}=0,25(\text{H})$
- Moment d'inertie.....  $J=0,03(\text{Kg. m}^2)$
- Coefficient de frottement visqueux..... $F=0,01(\text{N.m/S})$

Tous les modèles sont exécutés à partir de Matlab au moyen du scripte **ident\_mcc.m**

**3-2 Identification des paramètres du circuit d'excitation**

**3-2-1 Mesure de la résistance  $R_f$  :**

Pour la mesure de  $R_f$  on propose le modèle **simulink** de la **Figure 3.1**



**Figure 3.1. Modèle simulink pour la mesure de  $R_f$**

Dans ce modèle on trouve notamment les blocs suivants : Le bloc **MCC** qui représente la machine à courant continu à identifier, le bloc **Pont de Wheatstone** qui simule les trois résistances de commande  $R_2$ ,  $R_3$  et  $R_4$  du pont de Wheatstone ainsi que le galvanomètre

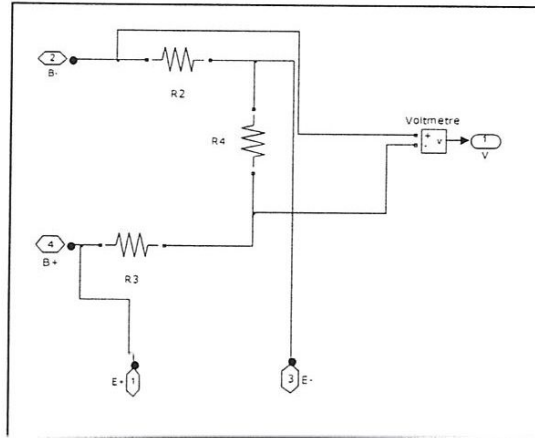


Figure 3.2 Bloc Pont de Wheatstone

La partie du script `ident_mcc.m` qui invoque le modèle de la figure 3.1 est donnée ci-après.

```

initialisation
clc,clear all; close all
%=====
% Paramètres de la machines à identifier

Ra=0.8; %résistance d'induit
La=1e-3; %Inductance d'induit
Rf=50; %résistance d'inducteur
Lf=10; %Inductance d'inducteur
Maf=0.25; % Inductance mutuelle
J=0.03; % Moment d'inertie
f=0.01; % coefficient de frottement
%=====
% Identification de l'inducteur %
%=====
%détermination de Lf et Rf par la methode du PONT DE WHEATESTONE
%=====
Uf=60;
Ua=0;

%Recherche de Rf (Equilibre du pont)
R2=25;
R3=20;
R4=10;
tsiml=1;
Ts=1e-5; %pas
rfmdl %chargement du modèle
opt=simset('solver','ode5',...
           'Fixedstep',Ts,...
           'SrcWorkspace','current');
powerinit('rfmdl','reset')
[t1,x,If]=sim('rfmdl',[0 tsiml],opt);
Rfw=R2*R3/R4;
If0=If(end,1) % valeur du courant final

```

Cet essai nous permettra de déterminer la valeur de  $R_f$  à travers la recherche de l'équilibre du pont qui est obtenu pour  $v=0$ , par ajustement de la valeur de  $R_2$ .

A cette fin la valeur de la résistance d'excitation est calculé par  $R_f = R_2 \frac{R_3}{R_4}$

### 3.2.2 Mesure de l'inductance $L_f$ :

Pour la mesure de  $L_f$  on propose le modèle **simulink** de la figure 3.3 Ainsi que la partie du script **ident\_mcc.m** qui invoque le modèle **lfmdl.mdl**.

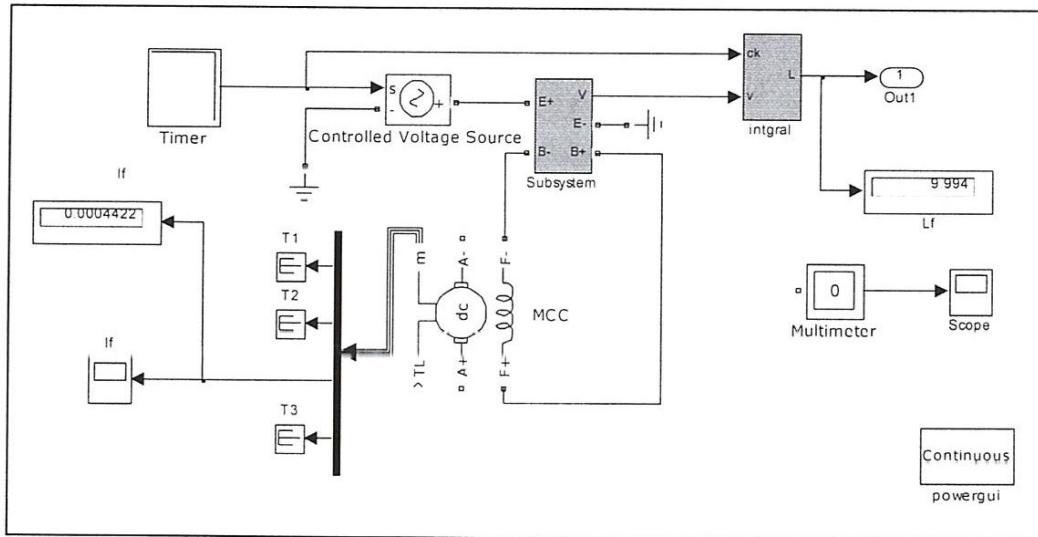


Figure 3.3. Modèle simulink pour la mesure  $L_f$

```
% Recherche de la valeur Lf
%-----
tsim2=2;
lfmdl                                     %chargement du modèle
opt =simset ('solver','ode5',...
            'Fixedstep',Ts,...
            'SrcWorkspace','current');
powerinit ('lfmdl','reset')
[t2,x,y] =sim('lfmdl',[0 tsim2] ,opt);
Lfw=max(y);
```

Ce modèle impoliment le montage PICC évoque au paragraphe 1.4.1 En plus des blocs cités ci avant on trouve les blocs **Timer** et **source de tension contrôlé** qui simulent le générateur de tension continu et l'interrupteur, et le bloc **Intégral** qui calcule l'intégrale de la tension au borne du pont.

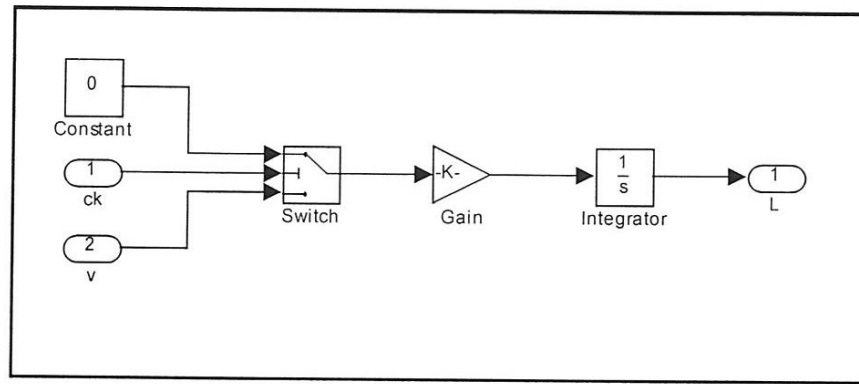


Figure 3.4 Bloc Intégrateur

L'essai peut-être divisée en deux phases :

### Phase 1

A l'instant  $t=0$  la source de tension est contrôlée pour délivrer une tension de 60v et l'entrée du bloc intégrateur est positionnée sur l'entrée 0v après une phase de régime transitoire le courant atteint sa valeur du régime permanent.

Cette valeur du courant finale doit être mesurée puisqu'elle servira avec  $R_a$  et  $R_2$  comme donnée pour le bloc intégrateur pendant la phase 2.

### Phase 2

A l'instant  $t=1s$  le régime permanent est atteint. Ce n'est qu'à cet instant que la source est contrôlé pour délivrer de 0V et que l'entrée du bloc d'intégrateur est commuté sur la borne v. A ce moment le phénomène de charge de l'inductance s'amorce. A la fin de la simulation le voltmètre nous délivre la valeur de l'inductance  $L_f = 10H$

En se référant au paragraphe 1.4.2,  $L_f$  et  $R_f$  peuvent être aussi déduite du graphe de la figure 3.5 qui enregistre l'évolution du courant pendant phase 1 de simulation.

```
%détermination de Lf et Rf a' partir de l'essai indiciel
%-----
figure(1), plot(t1,If)
If63=0.6333*If0;
I=max(find(If<=If63));
tauf=t1(I); % constante de temps inducteur
Rfi=Uf/If0-R2;
Lfi=tauf*(Rfi+R2);

%Resultats
resf=[Rfw;Rfi;Lfw;Lfi]
```

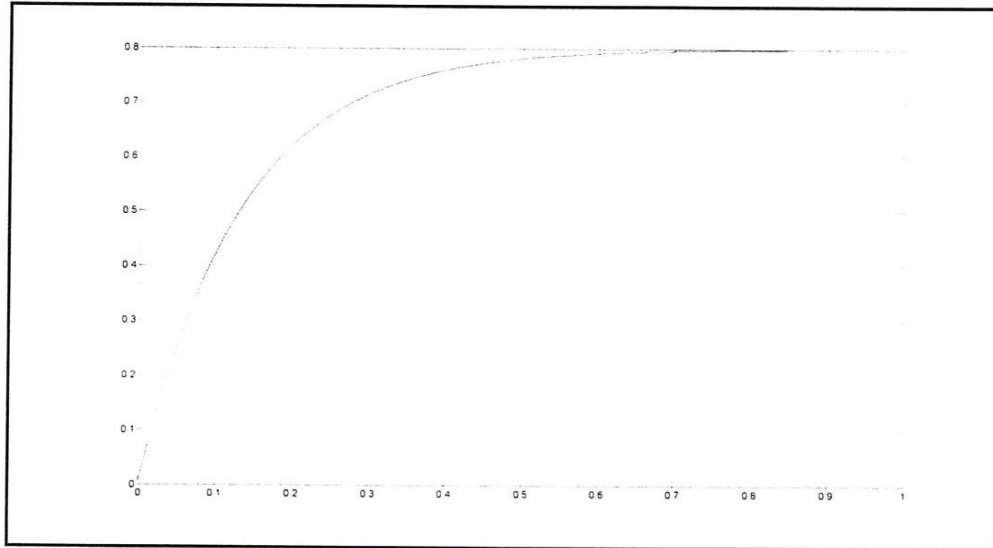


Figure 3.5. Réponse à coup de la bobine d'excitation

### 3.3 Identification des paramètres d'induit

Pour obtenir la résistance et l'inductance d'induit de la machine il faut parvenir à l'alimenter en continu sans qu'elle puisse tourner.

En effet, dans ce cas, seule la résistance et l'inductance d'induit seront prises en compte car la force électromotrice à l'arrêt est nulle.

Dans ces conditions on se ramène au cas du paragraphe 3.2 et on peut utiliser le même montage pour la mesure de  $R_a$  et  $L_a$  si l'on remplace le circuit inducteur par celui d'induit.

Les modèles simulink proposés pour la mesure de  $R_a$  et  $L_a$  sont présentés respectivement aux figures 3.6 et 3.7

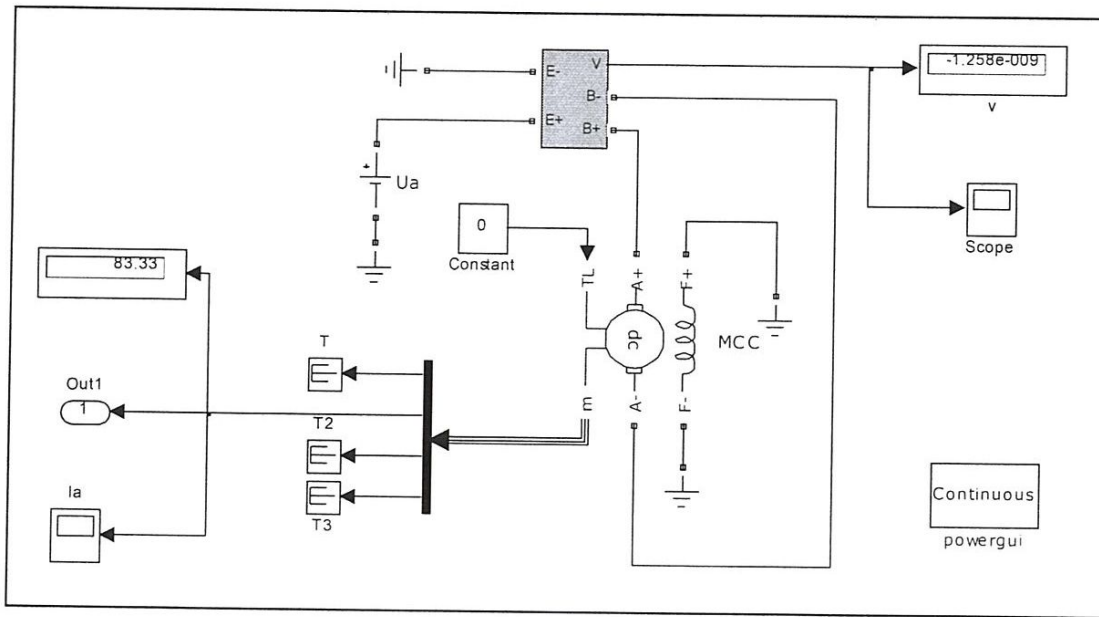


Figure 3.6. Modèle simulink pour mesure de Ra

```

%=====
% Identification de l'induit %
%=====
Uf=0;
Ua=100;

%détermination de Lf et Rf par la methode du PONT DE WHEATESTONE
%=====
%Recherche de l'équilibre du pont inducteur donc de Ra
R2=0.4;
R3=20;
R4=10;
tsim3=0.02;
Ts=1e-5;
ramdl %pas
ramdl %chargement du modèle
opt=simset('solver','ode5',...
           'Fixedstep',Ts,...
           'Srcworkspace','current');
powerinit('ramdl','reset')
[t2,x,Ia]=sim('ramdl',[0 tsim3],opt);
Raw=R2*R3/R4;
Ia0=Ia(end,1); %Valeur du courant final
    
```

### 3.4 Mesure de l'inductance mutuelle d'induit

La mesure de l'inductance mutuelle à l'aide du modèle PICC n'est pas possible sur le bloc **MCC**. C'est pour cette raison que l'on propose un autre modèle. Le nouveau modèle simulink, invoqué par la partie suivante du script **ident\_mcc.m**, suivant est donnée à la figure 3.9

```

=====
% Identification de l'inductance mutuelle Maf
=====
Uf=60;
Ua=100;
Cr=0;
tsim5=2;
Mafmdl
opt =simset('solver','ode5',...
            'Fixedstep',Ts,...
            'SrcWorkspace','current');
powerinit('Mafmdl','reset')
[t,x,y] =sim('Mafmdl',[0 tsim5],opt);
Iaf=y(end,2);
Iff=y(end,3);
Cof=y(end,4);
Maf=Cof/(Iaf*Iff)

```

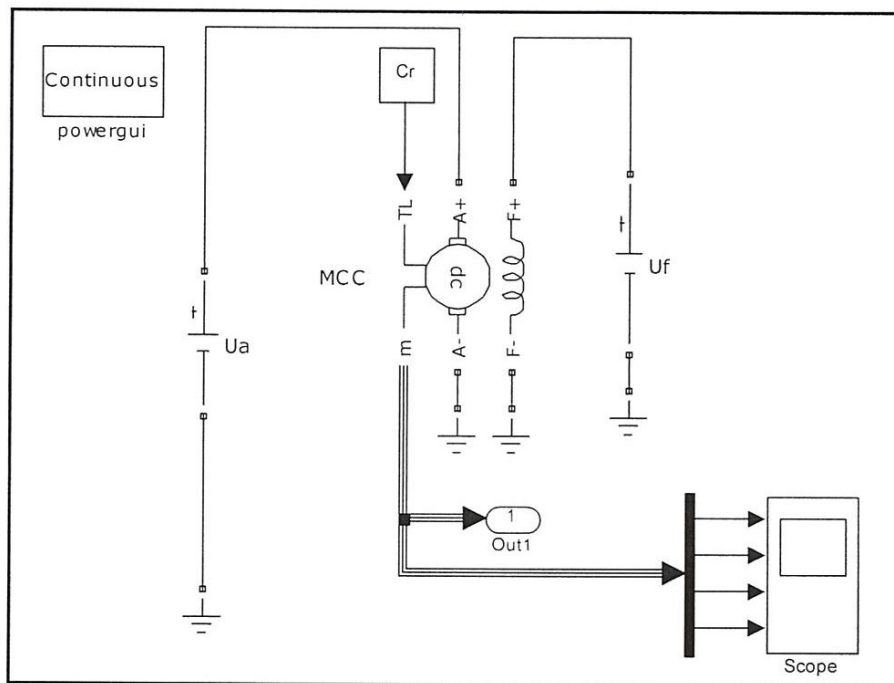


Figure 3.9. Modèle mesure de Maf

3.5 Identification des paramètres mécaniques :

En a vue au chapitre 2, que le mouvement dans les machines à courant continu sont gérés par l'équation différentielle du premier ordre suivante :

$$\frac{Jd\omega}{f dt} + \omega(t) = \frac{C_e - C_n}{f}$$

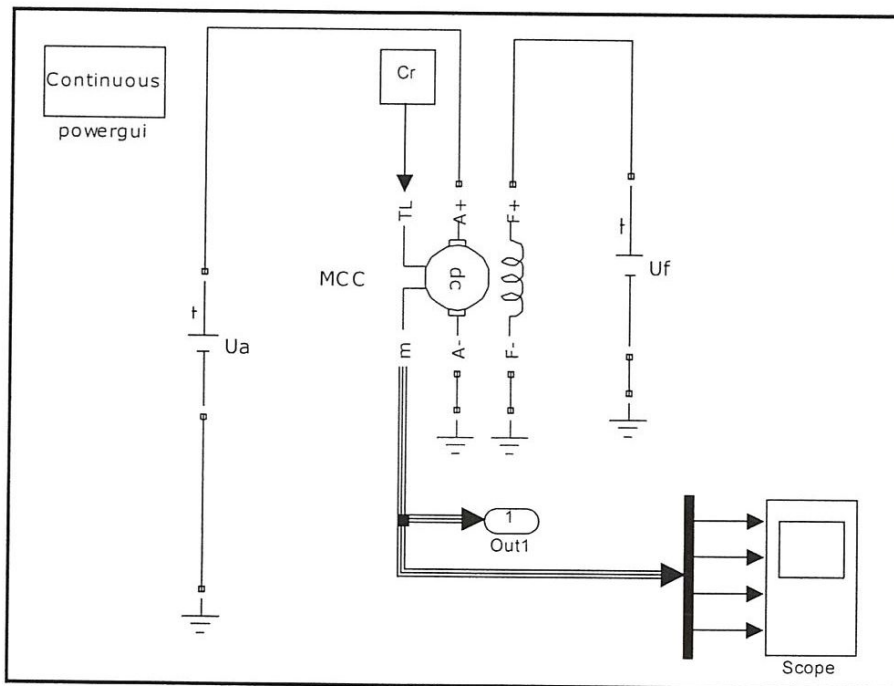
Cette équation admet pour solution :

$$\omega_{ex}(t) = \omega_f(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

Avec

$$\omega_f = \frac{C_e - C_r}{J} \text{ et } \tau = \frac{J}{f}$$

Pour l'identification de f et J on doit tracer  $\omega - F(t)$ . Pour ceci on excite le moteur avec une tension constante  $U_{ex}$ : constant et on enregistre  $\omega = f(t)$  à l'aide d'une table tracent.





```

=====
% Identification des paramètres mécaniques J et f
=====
w=y(:,1);
figure(3), plot(t,w)
wf=y(end,1);
w63=0.6333*wf;
I=max(find(w<=w63));
taum=t(I); % constante de temps mécanique
fi=(Ce-Cr)/wf;
Ji=fi*taum

```

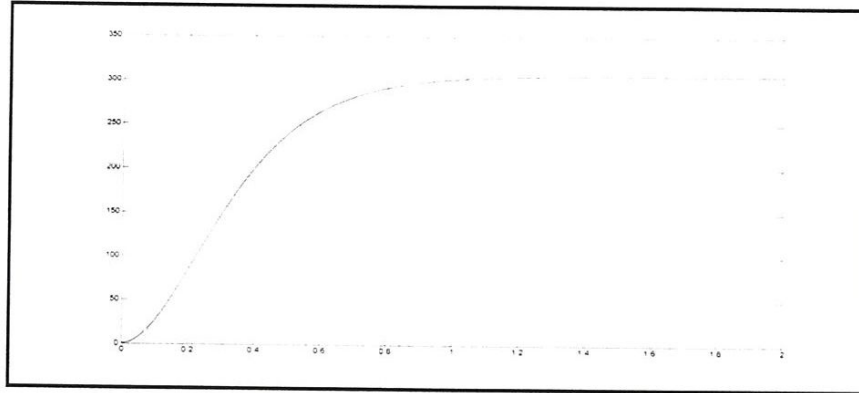


Figure 3.8. Réponse à coup de vitesse

En peut donc extraire les valeurs de  $\omega_f$  et  $\tau$  graphiquement à partir de la courbe, et en déduire ensuite les valeurs de  $J$  et  $f$ .

$$J = \frac{C_e - C_r}{\omega_f}$$

$$f = \frac{J}{\tau}$$

## Conclusion :

Dans ce travail divers montages de mesure et d'identification des paramètres de la machine à courant continu (résistance  $R$ , Inductance  $L$ , paramètre mécanique  $J$ , d....) ont été élaborés et testés sous Matlab/simulink.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances sur la machine à courant continu et de renforcer celles sur la simulation par Matlab/simulink on souhaite bien que les étudiants veulent s'initier dans le domaine d'Identification trouveront leur besoin dans ce travail.

Nous espérons aussi enfin que le travail servira de base de départ des essais d'Identification pratique dans les années avenir.

*à venir.*

*de*  
*pour*

## *Bibliographie*

- [1] -ARCHIVE-1-COMMANDE DES MCC , INTRODUCTION A LA MCC, COUR.
- [2]-HASNAOUI OTHMAN, COMMANDE DES MCC, COUR.
- [3]-FREDERI MOUCHART, CONDCEPTION ET REALISATION DUNE ALIMENTATION A DECOUPAGE MLI POUR MCC (1° PARTIE), MEMOIRE D'INGINIEUR 2008.
- [4] -ESTIMATION PARAMETRIQUE POUR LE DIAGNOSTIC : APLICATION A LA BOBINE A NAYAU DE FER, COUR.
- [5]-A.SAIFIA ,ETM.FETTOUM.MODELISATION ET IDENTIFICATION DES PARAMETRES DUNE MOTEUR A COURANT CONTINU,MEMOIRE DINGENIEUR 2006.
- [6]-X, JP HAUTIER,JP CARONE,P DEGOBERT,COMMANDE EN VITESSE DUNE CHARGE ENTRAINEE PAR UN ENSEMBLE MACHINE A COURANT CONTINU,IIACIIEUR EN PONT.ATELIER n°2 ;L2EP LILLE,ENSAM CER LILLE,8,Bd Louis XIV,59046 LILLE Cedex ,La modélisation dune machine a courant continu et l'identification des paramètres, Brochure de TP
- [7]-J .CHATELAIN, MACHINE ELECTRIQUE .TOME2,TRAITE DELECTRICITE, DELECTRONIQUE ET DELECTROTECHNIQUE. LIVRE.
- [8]-M BOUMABIRAT, A GOURDINE, METHODES NUMERIQUES APPLIQUEES, LIVRE.
- [9]-M.ZEGRARI, A.BADRI ET B.OUKARIF, IDENTIFICATION PAR LA METHODE DU MODELLE DES PARAMETRES DUNE MACHINE A COURANT CONTINU,COUR.
- [10]-M.DELOIZY, ASSERVISSMENT,COUR.
- [11]-ETUDE EXPRIMENTALE DE LETABLISMENT ET DE LA RUPTURE DU COURANT DES LES CIRCUITS 'RESISTANS-CAPACITE'ET 'RESISTANS-INDUCTANS',DEPARTEMENT DE PHYSIQUE -EEA, UNIVERSITE DE CAEN 10FEVRIER 2003.
- [12]-CHAPITRE 2,IDENTIFICATION PARAMETRIQUE NON LINEAIRE,Cour.