

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département d'Automatique
Laboratoire de commande des processus



Mémoire de master en Automatique

Présenté par :

SAIDJ Sabah Hana

INTITULE

Caractérisation des défauts d'une machine à courant continu

Proposé par :

M. Chakir

Enseignant à l'ENP

M. Tadjine

Professeur à l'ENP

Juin 2015

École Nationale Polytechnique, 10 Avenue Hassen Badi, El-Harrach, Alger. Algérie

Remerciements

En premier lieu, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour réaliser ce travail.

Nous remercions nos parents, qui nous ont soutenus tout au long de nos études.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent particulièrement à Messieurs M.CHAKIR et M.TADJINE nos promoteurs à l'ENP d'avoir proposé ce sujet mais aussi pour leur aide et leur disponibilité.

Ce modeste travail, fruit de notre cursus, n'a été possible que grâce au concours de tous nos enseignants dont nous louons les efforts qu'ils ont consentis durant toutes ces années.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon père et à ma très chère mère qui m'ont toujours encouragé, soutenu et ont été et seront à jamais la source de mes forces.

A ma très chère sœur, à qui je souhaite tout le bonheur du monde,

A toute ma famille, mes tantes, mes oncles et mes cousins,

A tous mes amis, camarades d'études et ma compagne d'aventure Amina,

Enfin à ma deuxième famille, les membres du CAP, à qui je souhaite la réussite dans tout ce qu'ils entreprendront.

Sabah

Résumé

Ce mémoire de master s'intitule, Caractérisation des défauts d'une machine à courant continu. Ce travail consiste à modéliser la machine, sous environnement de simulation MATLAB, et les différents défauts qui peuvent s'y introduire, éventuellement dans les éléments la constituant. En outre, nous essayerons de formuler par la suite les algorithmes de détection de défauts et de pannes, nécessaires pour la protection du système.

Mot clés : diagnostic, défauts, détection, localisation, machine à courant continu.

Abstract

This thesis is dedicated to the diagnosis of DC motor. The task allocated to us is to model the machine in MATLAB environment for simulation and to insert the different faults that may occur in each element of the system. Also, we will generate different approaches to localize and detect the faults in order to prevent the eventual breakdowns and damages.

Key words: DC motor, faults, localization, detection, diagnosis.

ملخص

في هذا العمل نهتم بدراسة المحرك و نماذجه الرياضية و نقوم بمحاكاته في ظروف عادية. بعد ذلك، نتطرق لدراسة الآلة و مختلف العيوب المحتملة الظهور في واجزائها، من حيث تأثيرها على المردودية الاجمالية بغرض إقتراح طريقة لرصدها وتشخيصها.

كلمات مفتاحية: اعطاب، عيوب، رصد، تشخيص، محرك.

Table des matières

Introduction Générale	8
Chapitre 1 Description générale d'une machine à courant continu	10
1.1 Introduction.....	10
1.2 Choix de la Machine	11
1.2.1 Modélisation mathématique.....	13
1.2.2 Simulations sous Matlab.....	15
Chapitre 2 Défauts de la machine à courant continu.....	18
2.1 Introduction.....	18
2.2 Classification des défauts	19
2.3 Les défauts des machines électriques à courant continu	20
2.3.1 Les pannes d'ordre mécanique.....	20
2.3.2 Les pannes d'ordre électrique :.....	20
2.3.3 Simulation des défauts de la machine.....	22
2.4 Diagnostic de la machine DC.....	26
2.4.1 La méthode du diagnostic par observateur.....	26
2.4.2 La méthode du diagnostic par approche neuronale	28
Conclusion générale et perspectives	30
Bibliographie	31

Table des figures

Figure 1-1 Schéma électrique d'une machine à courant continu.....	13
Figure 1-2 Schéma de la machine DC sous Simscape.....	15
Figure 1-3 Résultats de simulation en mode sain.....	16
Figure 2-1 Résultats de simulation de l'essai 0 en mode sain.....	23
Figure 2-2 Résultats de simulation de l'essai 1	24
Figure 2-3 Résultats de simulation de l'essai 2	24
Figure 2-4 Résultats de simulation de l'essai 3	25
Figure 2-5 Résultats de simulation de l'essai 4	25
Figure 2-6 Résultats de simulation de l'essai 5	26
Figure 2-7 Résultats de simulation de l'essai 6	26

Introduction générale

Introduction Générale

Le diagnostic de défaillances des systèmes industriels, s'il est réalisé avec efficacité ou s'il permet de détecter de façon précoce une dégradation, représente un des moyens pour contribuer à gagner des points de productivité. La nécessité de sécurité et de fiabilité est encore plus cruciale lorsqu'il s'agit de systèmes pour lesquels une fausse manœuvre peut coûter très cher, notamment des vies humaines. Un système de diagnostic de défauts comporte trois fonctions : détection, la localisation et l'identification.

Une machine à courant continu ou à courant alternatif est une machine électrique qui est soumise aux aléas de son fonctionnement, de l'environnement immédiat et de l'utilisation qui en est faite.

Ainsi, son omniprésence dans de nombreuses applications tel que le pompage photovoltaïque nécessite la mise en œuvre de processus de supervision afin d'assurer un bon fonctionnement.

L'objet donc de cette étude est de caractériser les défauts d'une machine à courant continu pour pouvoir les détecter par la suite.

Le premier chapitre est dédié à la description générale de la machine à courant continu puis le second sera un ensemble d'essais et de simulations de plusieurs défauts afin de pouvoir arriver aux fin de cette étude qui est de caractériser ces défauts.

Description générale d'une machine à courant continu

Chapitre 1 Description générale d'une machine à courant continu

1.1 Introduction

Le moteur d'un groupe motopompe convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il peut être à courant continu ou alternatif. Dans ce dernier cas, un convertisseur électronique ou un onduleur est nécessaire pour convertir le courant continu provenant d'un générateur photovoltaïque en courant alternatif.

L'énergie électrique appliquée à un moteur est transformée en énergie mécanique en variant le sens du courant circulant dans un induit (habituellement le rotor) soumis à un champ magnétique produit par un inducteur (habituellement le stator). La commutation du courant dans le rotor d'un moteur à courant continu est effectuée à l'aide de balais composés de charbon et de graphite ou par commutation électronique.

Les moteurs à balais sont les plus communs, mais leurs balais doivent être changés périodiquement. Ceci est particulièrement problématique dans le cas des pompes à moteur immergé où la pompe doit être retirée du forage pour changer les balais. De plus, l'isolation du moteur ne doit pas être compromise afin de ne pas la fragiliser aux infiltrations d'eau, ce qui n'est pas évident sur le site. Certains manufacturiers offrent des moteurs à balais de longue durée, réduisant cet entretien à toutes les 5 000 heures de fonctionnement.

Les moteurs à commutation électronique (sans balais) utilisent un circuit électronique pour inverser le courant circulant dans le rotor. Ces moteurs ne requièrent pas autant de maintenance, mais le circuit électronique peut être une cause de problèmes et doit être conçu pour un environnement difficile.

Le champ magnétique de l'inducteur dans un moteur à courant continu est produit soit par un bobinage électromagnétique, soit par des aimants permanents. Dans le cas d'inducteur à bobinage, les moteurs peuvent être de type série, de type parallèle (moteur shunt) ou de type à excitation composée (moteur compound) selon la manière dont l'induit et l'inducteur sont alimentés.

1.2 Choix de la Machine

Afin d'entraîner la pompe, un moteur doit être mis en place pour lui fournir l'énergie mécanique nécessaire. Trois types de moteurs sont généralement utilisés dans les systèmes de pompage photovoltaïques : les moteurs à courant continu, les moteurs DC sans balais, à commutation électronique (Brushless permanent magnet DC motors) et les moteurs à courant alternatif (asynchrone). Les critères à l'aune desquels on établit le choix du moteur le plus adéquat sont :

- Un bon rendement
- Souplesse de fonctionnement
- Robustesse et coût d'entretien et réparation
- Fiabilité et autonomie
- Faible puissance de démarrage (un courant de démarrage qui ne dépasse pas les $4 \cdot I$ nominal)

Dans un moteur série à bobinage électromagnétique, l'enroulement inducteur est en série avec l'induit. Le couple moteur est relativement grand à faible vitesse et décroît à mesure que la vitesse augmente. Réciproquement, le moteur ralentit lorsque le couple résistant augmente. Ainsi, un moteur série ne peut fonctionner à vide car il peut s'emballer. Lorsque le courant décroît rapidement, la vitesse augmente et peut prendre des valeurs dangereuses. D'autre part, la puissance demandée croît moins vite que le couple résistant, ce qui limite l'importance des variations du courant lorsque le couple résistant varie.

Le moteur série s'adapte particulièrement à la traction électrique parce que sa vitesse varie en fonction de la tension et son couple moteur est bien adapté au service demandé. Ainsi, en régime de démarrage, à faible vitesse, le couple moteur est important et permet de fournir l'énergie cinétique suffisante pour la mise en route d'un équipement présentant une grande inertie. À vitesse normale, le couple décroît, mais le moteur n'a plus qu'à vaincre les divers frottements. Ce type de moteur est donc bien adapté à un pompage variable au fil du soleil.

Et c'est la raison pour laquelle nous avons choisi un moteur DC pour notre chaîne de pompage.

Moteur	Avantages	Désavantages
Asynchrone	<p>Disponible pour une large plage de charge avec un faible coût d'achat</p> <p>Entretien quasiment nul étant donné qu'il ne comporte pas de pièces de frottement</p> <p>Son choix augmente l'autonomie de la chaîne</p> <p>Rapport puissance / poids est élevé</p>	<p>Nécessité d'utiliser un onduleur solaire, ce qui engendre un coût supplémentaire</p> <p>Chute de rendement en faibles puissances</p> <p>Un courant de démarrage élevé, voire 5*courant nominal</p>
CC	<p>Simplicité de commande et régulation (vitesse et couple moteur)</p> <p>Il est directement lié au générateur (pas besoin d'un onduleur)</p> <p>Son rendement est élevé pour les faibles charges</p>	<p>Comporte un balais et un collecteur qui il faut vérifier périodiquement</p> <p>Il est plus coûteux et plus lourd</p>
Brushless	<p>Rendement élevé pour une large plage de vitesse</p> <p>Il est directement connecté au générateur photovoltaïque</p> <p>Ne nécessite pas fréquemment la maintenance et a une bonne fiabilité</p>	<p>Nécessite un système de commutation et donc son coût est relativement élevé</p>

Tableau 1 Récapitulation des avantages et désavantages de chaque type de moteur

La machine à courant continu a été longtemps le type d'entraînement le plus utilisé pour les applications à vitesse variable grâce principalement à la simplicité de sa commande, ce qui a une incidence directe sur le niveau des performances, que ce soit en termes d'asservissement ou en termes économiques. Pour une puissance allant de 500 [W] à 50 [kW], la machine DC est désormais fortement concurrencée et souvent remplacée par des entraînements AC sans balais, de types synchrones auto-commutés ou asynchrones. Néanmoins, l'étude de la commande des servo-entraînements DC garde tout son intérêt car il est très facile de commander en couple un tel entraînement ce qui influence directement les performances obtenues.

1.2.1 Modélisation mathématique

Le moteur DC à collecteur est constitué d'un stator ou inducteur muni d'un circuit électrique ou d'un aimant permanent qui crée un flux magnétique d'excitation Φ_f dans lequel sera plongé le rotor ou l'induit. Le schéma technologique d'un entraînement DC à excitation séparée est représenté sur la figure suivante

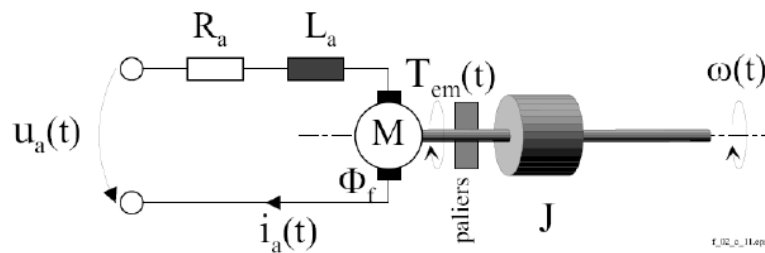


Figure 1-1 Schéma électrique d'une machine à courant continu

Les signaux intervenants

- la tension aux bornes de l'induit $U_a(t)$
- le circuit électrique de l'induit, faisant apparaître : la résistance et l'inductance de l'induit R_a, L_a ;
- la Force Electromotrice $e_m(t)$ proportionnelle à la vitesse angulaire $\omega(t)$;
- le courant traversant le circuit d'induit $i_a(t)$;
- le couple électromagnétique instantané $T_{em}(t)$ produit ;
- l'inducteur, fixé au stator, créant un flux magnétique d'excitation Φ_f ;
- la charge mécanique : inertie J , frottement visqueux, élasticité de la transmission, ...etc)
- la vitesse $\omega(t)$ du rotor du moteur.

Tableau 2 Signaux intervenants dans le fonctionnement d'une machine DC

1.2.1.1 L'usure du MCC

La transmission de la puissance $P_a(t) = U_a(t) \cdot I_a(t)$, doit en effet s'effectuer en faisant passer le courant d'induit $I_a(t)$ de la partie fixe à la partie mobile au moyen d'un dispositif mécanique relativement complexe, le collecteur. Celui-ci est constitué de balais solidaires du stator et néanmoins en contact mécanique par frottement avec la partie mobile afin de conduire le courant électrique $I_a(t)$ entre le stator et le rotor. L'usure en résultant fait que les balais doivent être plus ou moins fréquemment remplacés, selon les conditions de travail du moteur. Cette même usure entraîne l'apparition de poussières et dégrade le contact électrique, ce qui se traduit par une augmentation de la résistance du circuit d'induit, un échauffement supplémentaire voire des arcs électriques. En effet, les microcoupures du contact électrique peuvent provoquer des chutes de tension inductive $L_a \frac{dI_a}{dt}$ importantes, sachant que $I_a(t)$ est typiquement un courant constant.

1.2.1.2 Equations caractéristiques

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

$$u_a(t) = R_a \cdot i_a(t) + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + e_m(t) \quad 1.2-1$$

La tension induite $e_m(t)$, est proportionnelle à la vitesse angulaire $\omega(t)$ et au flux inducteur $\Phi_f(t)$ suivant une constante k dépendant de la construction de la machine.

$$e_m(t) = k \cdot \phi_f(t) \cdot \omega(t) \quad 1.2-2$$

La première équation montre que $e_m(t)$ s'oppose à $u_a(t)$, ceci est du fait que le moteur réagit en créant une FEM $e_m(t)$ tendant à équilibrer $u_a(t)$.

Le couple électromagnétique $T_{em}(t)$ développé est proportionnel au courant d'induit $i_a(t)$ et a pour expression

$$T_{em}(t) = k \cdot \phi_f(t) \cdot i_a(t) \quad 1.2-3$$

Les trois équations ci-dessus, complétées par l'équation de la dynamique,

$$J_t \cdot \frac{d\omega}{dt} = T_{em}(t) - R_{ft} \cdot \omega(t) - T_{res} \quad 1.2-4$$

Où J_t est l'inertie totale entraînée (moteur J_m et charge J_{ch}), décrit complètement le comportement dynamique de la machine DC. Aucun des signaux n'est supposé constant, ce qui permettra l'étude du régime transitoire.

1.2.2 Simulations sous Matlab

Pour nos simulations nous avons choisi une machine à courant continu série dont les caractéristiques sont les suivantes :

Tableau 1-3 paramètres de la machine en état normal

Puissance nominale	120 W	Résistance R_a	1.21 Ω
Tension nominale	24V	Inductance L	5,84.e-3 H
Vitesse nominale	2688 Tr/min	Moment d'inertie J	1,42.e-5 N.M.s
Coefficient de FEM (K_e)	8,57.e-2 V/(Tr/min)	Coefficient de frottement fr	2.45 e-3 NM/(Tr/min)

Voici le schéma équivalent à la structure d'une machine à courant continu

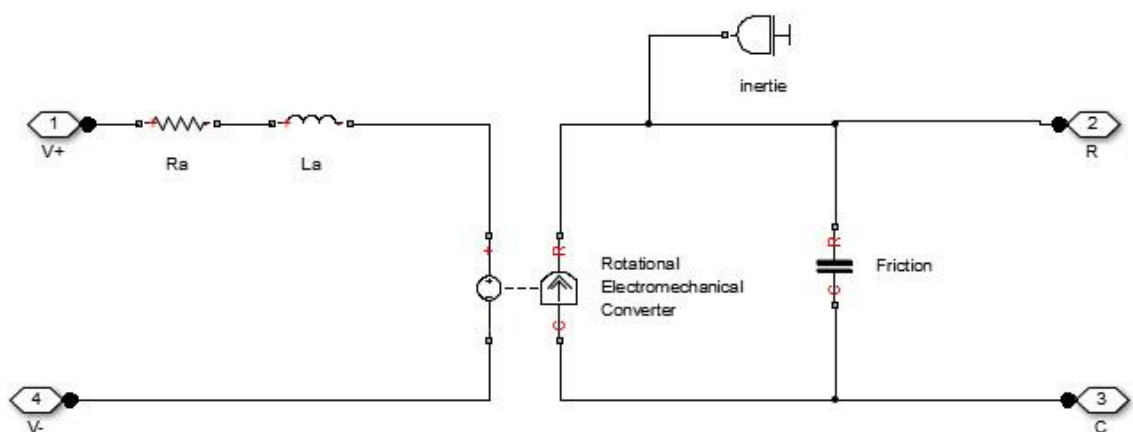


Figure 1-2 Schéma de la machine DC sous Simscape

1.2.2.1 Résultats de simulation mode sain

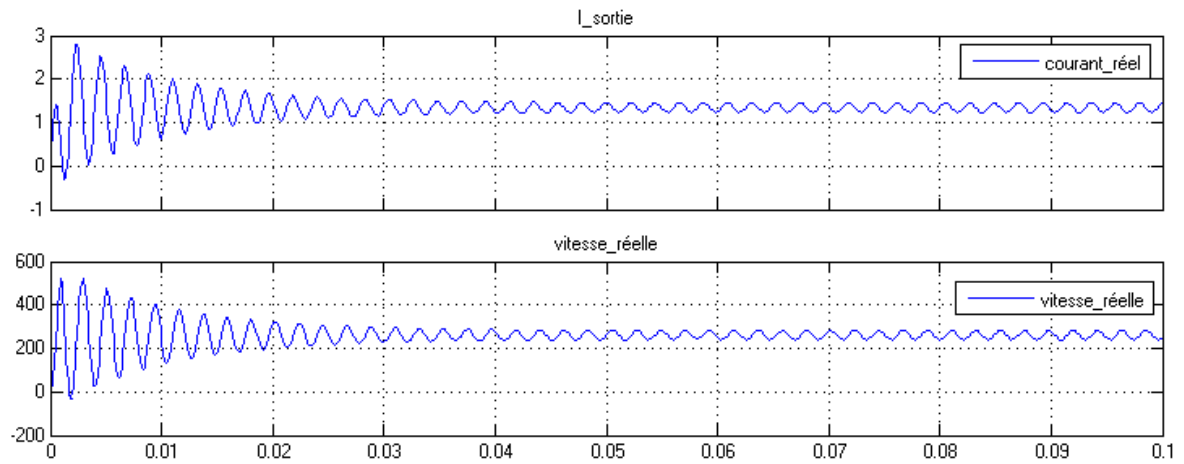


Figure 1-3 Résultats de simulation en mode sain

Défauts de la machine à courant continu

Chapitre 2 Défauts de la machine à courant continu

2.1 Introduction

Une machine est une combinaison d'organes est destinée à remplir un travail défini.

Cependant, ces éléments sont sujets à des défauts qui peuvent altérer le bon fonctionnement de la machine, voire même la détériorer. D'où l'intérêt de la connaissance de la nature de ces défauts, leur répercussion sur le rendement ainsi que le comportement en cas défaillant et enfin leur influence sur les réponses de la machine.

Pour ce faire, nous établirons lors de ce chapitre une base de connaissances qui pourra servir de répertoire tablant la manière dont se manifestent ces différents défauts au niveau de la machine à divers taux de sévérité.

Ce genre de travaux rentre dans le cadre des banques de données d'apprentissage qui sont d'une efficacité éminente lors de la reconnaissance des pannes [1], parfois même lorsque des défauts ne sont pas répertoriés peuvent être déduits ou extraits des résultats déjà obtenus.

2.2 Classification des défauts

On peut classer les défauts selon les parties affectées du système qui est dans ce cas précis la machine [2] :

- **Défaut capteur** : se manifeste par une fausse projection des grandeurs physiques à mesurer. On peut y remédier à ce défaut via la redondance matérielle qui sert à augmenter la tolérance aux défauts du système d'acquisition d'informations. Cependant, les coûts supplémentaires occasionnés remettent souvent en cause la mise au point de cette solution.
- **Défaut actionneur** : ce type de défauts altère le signal d'entrée du système, il peut provoquer la perte totale ou partielle de ce dernier. On peut citer maints exemples comme les fuites hydrauliques ou la défaillance d'un interrupteur de commande d'un onduleur.
- **Défaut système (composants internes)** : c'est un défaut qui atteint les composants internes constituant le système. En d'autres termes, ils représentent les variations paramétriques et donc introduisent la modification de la dynamique. On peut regrouper ces défauts sous deux catégories : des défauts additifs qui influent sur la moyenne du signal de sortie et les défauts multiplicatifs qui influent sur la variance et les corrélations du système de sortie.

Par ailleurs, on peut aussi procéder à une classification suivant la caractéristique temporelle :

- **Défaut abrupt** : se traduit par l'arrêt total ou partiel de l'élément et provoque une discontinuité de l'évolution de la variable temporelle.
- **Intermittent** : caractérise les défauts de faux contacts. On peut le définir comme un cas particulier des défauts abrupts qui varient aléatoirement.
- **Graduel ou progressif** : c'est un défaut difficile du fait qu'il agit de la même manière que les changements paramétriques lents. Un exemple caractérisant cette catégorie est l'usure du dispositif.

2.3 Les défauts des machines électriques à courant continu

Les pannes d'une machine électrique à courant continu peuvent avoir deux origines, à savoir mécanique et électrique [3].

2.3.1 Les pannes d'ordre mécanique

Ce genre de pannes diverses surgit rarement et on en cite :

2.3.1.1 Echauffement des coussinets

Ceci est dû à un manque d'huile, un blocage de la bague de graissage, une tension excessive de la courroie ou à un mauvais alignement de l'accouplement.

2.3.1.2 Echauffements des roulements :

Causés par leur mauvais état ou par un manque de graissage, la tension excessive de la courroie mais aussi par un mauvais alignement de l'accouplement ou par un jeu interne insuffisant du roulement.

2.3.1.3 Vibrations et bruit divers :

Provenant d'un manque de rigidité du socle, d'un mauvais état des roulements, balourd dans le rotor mais également son frottement contre le stator, celui du ventilateur, ou même d'un corps étranger dans l'entrefer.

2.3.2 Les pannes d'ordre électrique :

Un moteur à courant continu peut être sujet à plusieurs dérangements que nous résumerons dans le tableau suivant :

Effet observé	Origine du défaut	Vérification et résolution
Le moteur ne démarre pas	Absence de tension aux bornes du moteur	Vérification du courant
	Fonte des fusibles	Vérification des fusibles
	Coupure dans l'induit	Déplacer l'induit légèrement et remettre le courant ceci devrait provoquer un démarrage accompagné avec de fortes étincelles sous les balais. Pour y

		remédier, il faudra réparer ou changer le bobinage.
	Coupure ou mauvais contact (rhéostat à titre d'exemple)	Vérification visuelle ou avec appareils de mesures (voltmètres, ohmmètre...).
Le moteur démarre mal	Mauvais contact à une borne du moteur	Vérification du serrage.
	Mauvais calage des balais	Recherche de la bonne position.
	Coupure dans l'induit	Visiblement, ce défaut se manifeste sur le collecteur où deux lames noircissent suite aux étincelles.
	Courroie trop tendue	Essai sans courroie ou bien la détendre
	Couple résistant trop élevé au démarrage	La vérification se fait par un essai à vide du moteur au démarrage. Quant à la résolution serait que le moteur est trop faible.
Le moteur s'emballe	Dans le cas d'un moteur série	Un moteur série s'emballe toujours à vide, c'est pourquoi il faut toujours le faire tourner en charge.
	Coupure dans une excitation dérivée du circuit inducteur	Vérification successive du rhéostat de champs puis les inducteurs.
	Mauvais branchement de l'excitation	Comparaison des connexions à la plaque à bornes avec un schéma.
	Tension d'alimentation trop élevée	Vérification sur la plaque à bornes la bonne tension.
Les balais produisent trop d'étincelles	Court-circuit ou coupure dans le bobinage de l'induit	Un rebobinage partiel ou complet est envisageable.

	Use du collecteur, émergence des lamelles de mica	Rectification au tour le collecteur et grattage des micas en retrait des lames.
	Charbons trop durs ou trop tendres	Se référer à la notice du constructeur.
	Surcharge du moteur	Vérification du courant par un ampèremètre et le comparer à celui inscrit sur la plaque du moteur
Les fusibles fondent	Coupure du circuit d'excitation	Rupture du contact et vérification de l'existence d'une étincelle ou bien par le biais d'un ohmmètre.
	Court-circuit dans l'installation du moteur	Branchement d'un voltmètre au lieu d'un fusible et débranchement du moteur à la plaque à bornes. En fermant l'interrupteur, s'il y a lieu d'une déviation au niveau du voltmètre alors le court-circuit n'est pas dans le moteur mais dans la ligne ou l'appareillage.

Tableau 2 Répertoire des pannes électriques d'une machine à courant continu

2.3.3 Simulation des défauts de la machine

Pour les essais des défauts nous avons choisi quelques-uns répertoriés comme suit :

N° du défaut	Le défaut
0	Aucun défaut
1	Augmentation de la résistance R_a avec 0.5Ω
2	Augmentation de la résistance R_a avec 1.4Ω
3	Usure de balais
4	Coupure de la bobine du rotor
5	Court-circuit dans deux lames adjacentes

6	Déconnexion de la bobine de la lame de collecteur
---	---

Grâce aux travaux réalisés antérieurement [4] pour l'estimation des paramètres du système à ces divers défauts. Nous les exploiterons pour essayer d'élaborer un plan pour la caractéristique des modes défailants de la machine. En essayant d'en tirer une loi de commande.

Cette estimation s'est faite par réseau de neurones et les variations des paramètres est la suivante :

N° défaut	Ra (Ω)	L* e-3 (H)	Ke* e-2	J* e-5	Fr *e-5
0	1.203	5.584	8.574	1.416	2.450
1	1.703	5.5837	8.399	1.3949	2.489
2	2.03	6.4942	8.490	1.519	2.020
3	1.769	6.0798	9.124	1.567	2.468
4	1.794	5.7591	8.639	1.568	2.453
5	1.174	4.405	7.340	1.221	4.014
6	1.436	8.755	8.065	1.485	4.323

2.3.3.1 Résultats des simulations

3.3.1.1 Défaut n° 0 (mode sain)

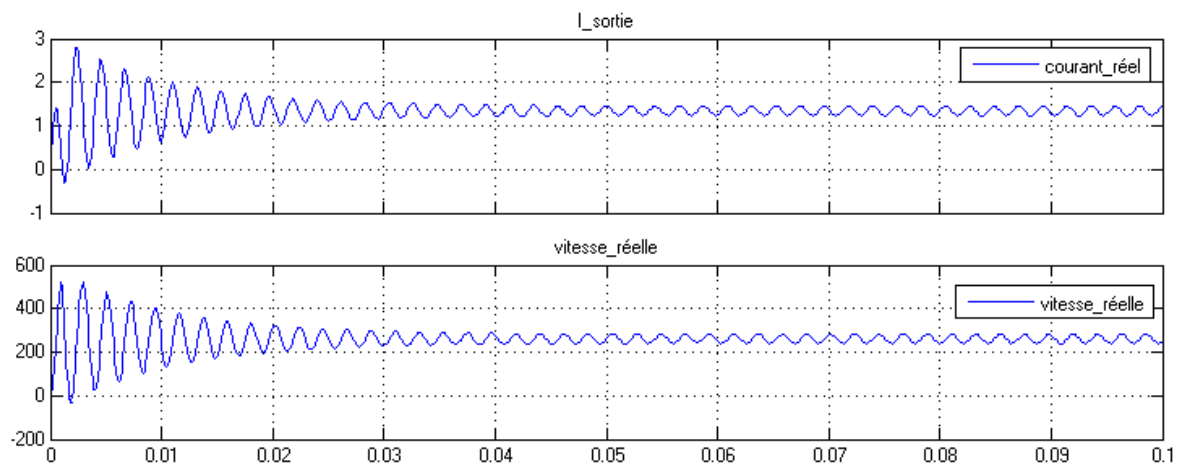


Figure 2-1 Résultats de simulation de l'essai 0 en mode sain

Valeur finale : 239.7 rad/s

3.3.1.2 Défaut n°1

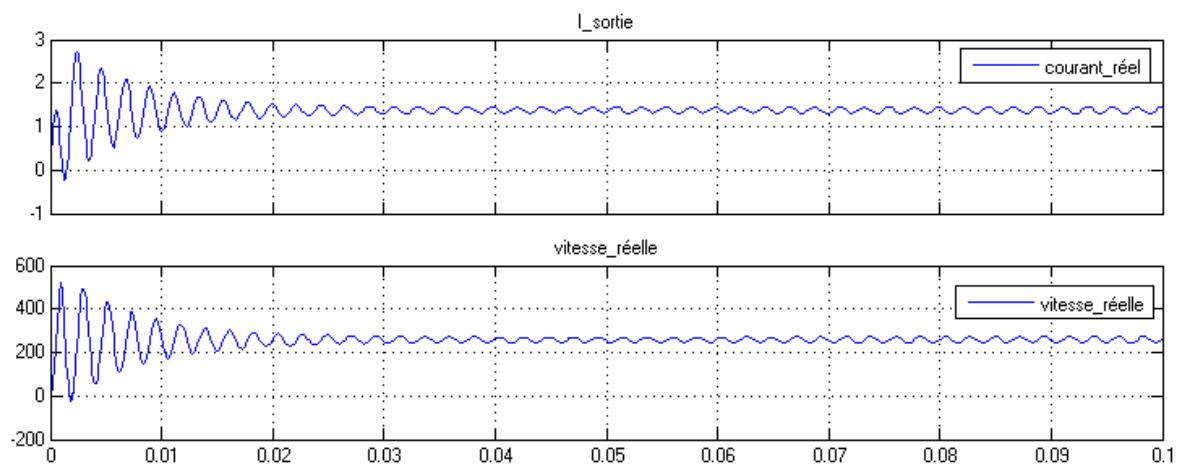


Figure 2-2 Résultats de simulation de l'essai 1

Valeur finale : 244.6 rad/s

3.3.1.3 Défaut n°2

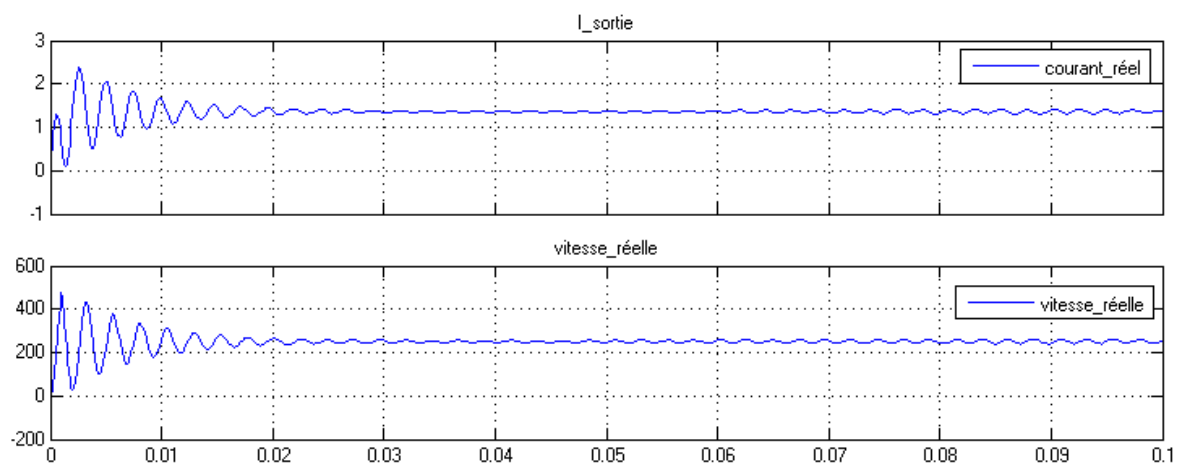


Figure 2-3 Résultats de simulation de l'essai 2

Valeur finale : 236.4 rad/s

3.3.1.4 Défaut n°3

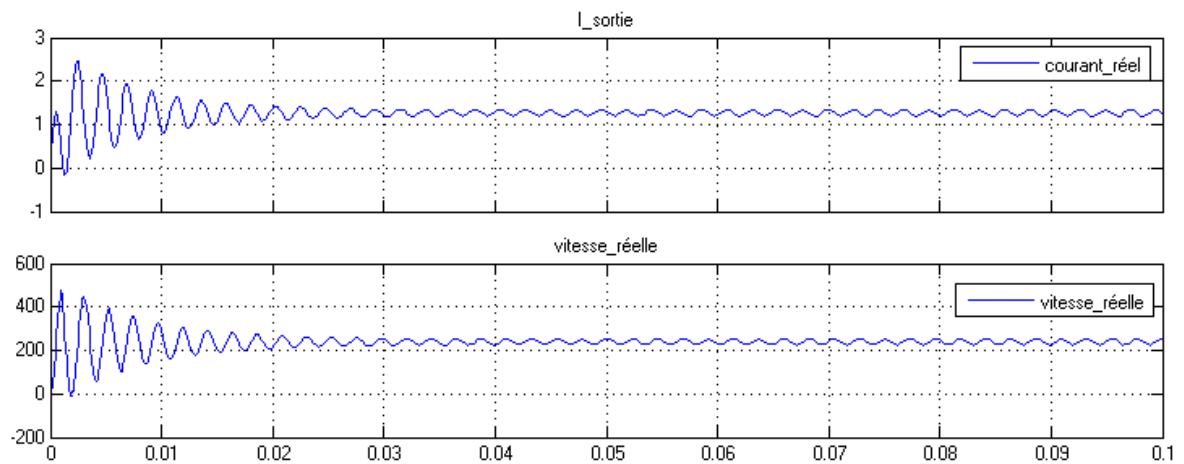


Figure 2-4 Résultats de simulation de l'essai 3

Valeur finale : 250.4 rad/s

3.3.1.5 Défaut n°4

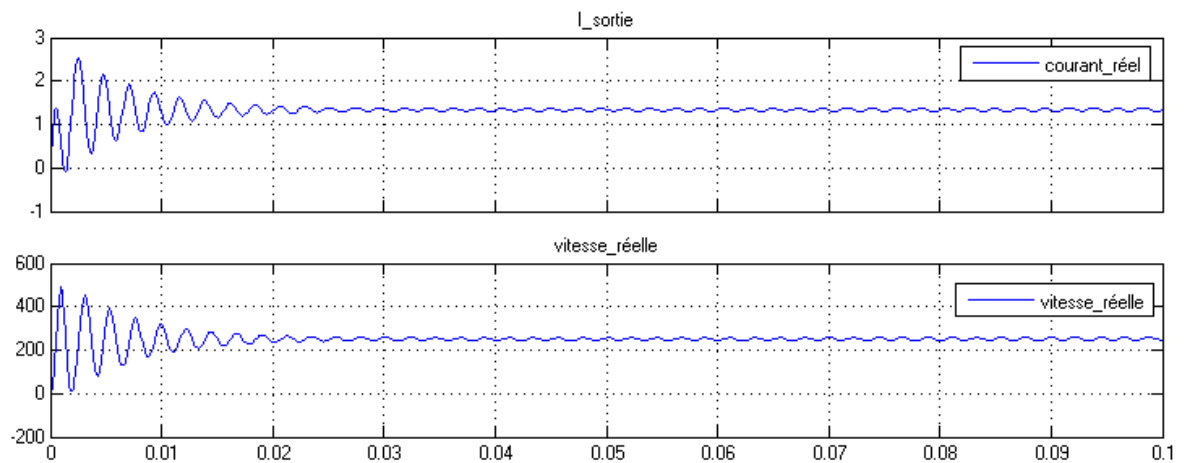


Figure 2-5 Résultats de simulation de l'essai 4

Valeur finale : 259.8 rad /s

3.3.1.6 Défaut n°5

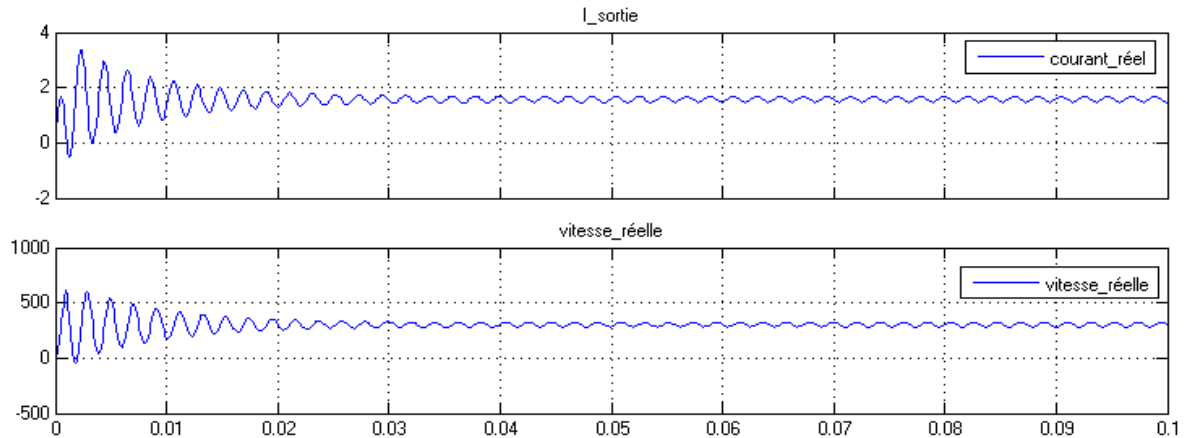


Figure 2-6 Résultats de simulation de l'essai 5

Valeur finale : 302 rad/s

3.3.1.7 Défaut n° 6

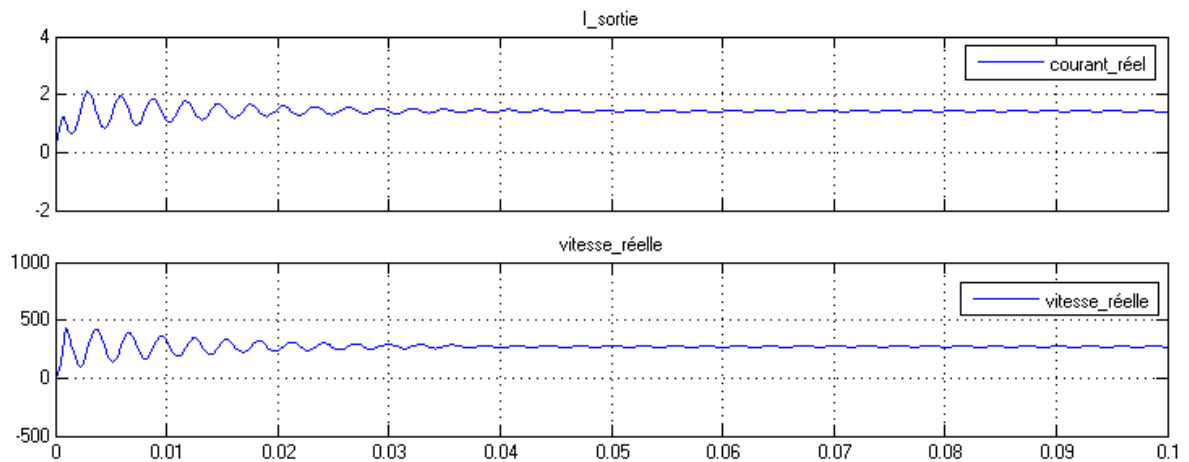


Figure 2-7 Résultats de simulation de l'essai 6

Valeur finale : 282.8 rad /s

2.4 Diagnostic de la machine DC

2.4.1 La méthode du diagnostic par observateur

Les méthodes les plus récentes développées en matière de diagnostic de défaut comprennent les méthodes basées sur les équations de redondance analytique [16], celles utilisant une approche stochastique [17, 18], et les méthodes basées sur les observateurs [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26].

Généralement, les modèles mathématiques des dynamiques des machines électriques (machine à courant continu, machine synchrone ou asynchrone) comportent des termes non linéaires. Par conséquent, pour des fins de commande ou bien pour le diagnostic des défauts, synthétiser des observateurs non linéaires s'avèrent d'une utilité indéniable.

Ainsi, l'observateur est utilisé comme générateur de résidus. Le vecteur d'état estimé qu'il fournit servira à calculer une erreur d'estimation. Cette erreur sera ensuite utilisée comme résidu afin de détecter les défauts.

2.4.1.1 Synthèse de l'observateur de la machine

En exploitant les équations régissant le fonctionnement d'une machine à courant continu, exposées lors du premier chapitre, nous obtenons le système d'équations différentielles suivant [27]:

$$\begin{cases} Lai = -Ra - KmLf.\Omega + u \\ J\dot{\Omega} = -D\Omega - KmLf.i^2 - Tl \\ y = [i, \Omega] \end{cases} \quad 2.4-1$$

Tels que La et Ra sont respectivement l'inductance ainsi que la résistance de la machine. J est le facteur d'inertie et D celui de la friction, quant à Tl c'est l'entrée du système.

L'observabilité fut vérifiée autour d'un point de fonctionnement.

2.4.1.2 Dimensionnement de l'observateur

Le système d'état de l'observateur

$$\begin{cases} Lai\hat{i} = -Ra - KmLf.\hat{\Omega} + u - K1(i - \hat{i}) \\ J\dot{\hat{\Omega}} = -D\hat{\Omega} - KmLf.\hat{i}^2 - Tl - K2(\Omega - \hat{\Omega}) \\ \hat{y} = [\hat{i}, \hat{\Omega}] \end{cases} \quad 2.4-2$$

Les gains Ki furent choisis assez grands pour garantir la convergence du système.

2.4.2 La méthode du diagnostic par approche neuronale

Cette méthode est celle utilisée par les auteurs du travail [4] elle se base à avoir une estimation des paramètres du système en état sain. Puis des défauts sont injectés au système. Par la suite on effectue une autre estimation paramétrique, en comparant les deux séries de paramètres nous pourrions alors détecter le défaut.

- Constatations :
 1. Un seul défaut engendrerait plusieurs variations paramétriques
 2. On ne peut faire des tests de sévérité rien qu'avec les variations paramétriques, en effet le seuil entre les différents défauts est proche, donc si on augmente l'un paramètre pensant qu'on accroît la sévérité d'un défaut, il est probable qu'on est en train d'en modéliser un autre
 3. Tout défaut, altère les réponses en sortie à savoir la vitesse et le courant, notamment en régime transitoire

Conclusion générale

Conclusion générale et perspectives

En somme, cette étude se voit comme un essai de caractérisation des défauts d'une machine à courant continu qui fera la base d'un diagnostic d'une machine introduite dans une chaîne entière de pompage photovoltaïque. Les prochains travaux étendront l'horizon d'études de l'installation qui adviendra à l'évidence inébranlable sous n'importe quelle condition.

- ❖ Nous avons procédé à la réalisation de six essais lors de cette étude de caractérisation des défauts d'une machine DC
- ❖ Des cinq paramètres utilisés nous concluons que R_a , L_a influent l'amplitude et la période des signaux, notamment en régime transitoire
- ❖ le coefficient de friction aurait également des valeurs significatives

Ce que nous proposons serait de faire une analyse vibratoire du régime transitoire en mode normal/défaillant qui pourrait être efficace non seulement pour la détection de défauts mais aussi pour l'identifier.

Bibliographie

- [1] Arquès, P. (2009). *Diagnostic prédictif et défaillances des machines: théorie, traitement, analyse, reconnaissance, prédiction*. Editions Technip.
- [2] MOKRETARI, N. BENMERABET, M. (2013). *Commande et observation des convertisseurs multicellulaires. Projet de fin d'étude à l'Ecole Nationale Polytechnique*
- [3] MERLET, R. (1966). *Technologie d'électricité générale et professionnelle. Tome III. Bobinage des machines électriques*.
- [4] Liu, X. Q., Zhang, H. Y., Liu, J., & Yang, J. (2000). Fault detection and diagnosis of permanent-magnet DC motor based on parameter estimation and neural network. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 47(5), 1021-1030.
- [5] Yassine, B., Samir, L., & Khathir, K. (2013). *Commande Multi-modèle du moteur à courant Continu*.
- [6] M. Staroswiecki and G. Comtet-Varga. *Analytical redundancy relations for fault detection and isolation in algebraic dynamic systems. Automatica*, 37 :687–699, 2001.
- [7] T. Boukhobza. *Contribution aux formes d'observabilité pour les observateurs à modes glissants et étude des commandes par ordres supérieurs. Thèse de doctorat, Paris-Sud, Orsay, novembre 1997*.
- [8] Q. Zhang, M. Basseville, and A. Benveniste. *Fault detection and isolation in nonlinear dynamics systems a combined input-output and local approach. Automatica*, 34(11) :1359–1998, 1998.
- [9] A. Akhenak, M. Chadli, J. Ragot, and D. Maquin. *State estimation of uncertain multiple model with unknown inputs. In IEEE CDC, December 14-17, volume 22, Bahamas, 2004*.
- [10] J. Aslund and E. Frisk. *An observer for nonlinear differential algebraic systems. Automatica*, 42 :959–965, 2006.
- [11] G. Besançon. *High-gain observation with disturbance attenuation and application to robust fault detection. Automatica*, 39 :1095–1102, 2003.
- [12] C. DePersis and A. Isidori. *A geometric approach to nonlinear fault detection and isolation. IEEE Trans. On Autom. Contr.*, 46(6) :853–865, 2001.
- [13] H. Hammouri, P. Kaboré, and M. Kinnaert. *A geometric approach to fault detection and isolation for bilinear systems. IEEE Trans. On Autom. Contr.*, 46(9) :1451–1455, 2001.
- [14] B. Jiang and F. N. Chowdhury. *Parameter fault detection and estimation of a class of nonlinear systems using observers. Journal of the Franklin Institute*, 342 :725–736, 2005.
- [15] T. F. Lootsma. *Observer-based fault detection and isolation for nonlinear systems. Thèse de doctorat, Université d'Aalborg, Danemark, 2001*.
- [16] A. Xu and Q. Zhang. *Nonlinear system fault diagnosis based on adaptive estimation. Automatica*, 40(7) :1181–1993, 2004