



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



Université Ahmed Draia ADRAR,
Faculté Des Sciences et de la Technologie
Département Des Sciences de Technologie

MEMOIRE
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences Techniques
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Commande Electrique

Intitulé

**Observateur non linéaire de Luenberger
pour estimer les grandeurs d'états d'un
moteur asynchrone**

Présenté par :

- **Mohammed Benamrani**
- **Mahkloufi Omar**

Encadreur :

Dr : Bourbia Wafa

Promotion 2019/2020





Remerciements

*Nous tenons à remercier tout d'abord le bon dieu qui
nous*

à faciliter cette tâche Et jusque-là nous protège.

*Nous tenons à exprimer mes sincères remerciements
ainsi que*

*mes vives grâces envers tous ceux qui ont
contribué de près*

ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

*Mes sincères remerciements et reconnaissances vont
à mon*

*encadreur Dr. :Bourbia.W pour avoir dirigé ce
projet.*



Mes plus vifs remerciements

*Que tous les enseignants de l'université Ahmed
DRAIA qui*

ont contribué à ma formation reçoivent ma gratitude.

*Sans oublier d'exprimer mes remerciements à tous
mes amis*

*Chacun avec son nom et tous ceux qui m'ont aidé de
près ou de
loin*





Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à
toutes les
personnes qui me sont chères,
mes deux chers
parents pour leurs soutiens, mes
sœur pour leurs Encouragements,
Sans oublier tous mes amis
Et la Promotion
Master LMD
« 2019-2020 ».*

Omar

Dédicace

Je dédie mon travail avant tout à mes
chers Parents qui m'ont soutenu
pendant toute
la durée de ces longues études, « Que
Dieux me
les protègent ».

À Mes chers Frère et Soeur.

À toute la Famille Benamrani

.
*À tout ceux qui m'ont aidé à réaliser
ce
mémoire.*

Mohammed

الخلاصة

تطرح التطبيقات الصناعية لقيادة الآلة غير المتزامنة العديد من مشاكل التحكم والمراقبة لأن الآلة غير المتزامنة هي نظام غير خطي وغير ثابت. لهذا السبب من الضروري استخدام التقنيات غير الخطية لتركيب المراقبين مما يسمح بتقدير متغيرات الحالة غير القابلة للقياس للآلة غير المتزامنة.

الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على أهمية تقنيات التقدير أو الملاحظة لمتغيرات الحالة للآلة غير المتزامنة من أجل استبدال الحد الأقصى من أجهزة استشعار الأجهزة ببرمجيات استشعار للأجهزة وبالتالي تقليل عدد أجهزة استشعار الأجهزة ثم تحسين موثوقية أنظمة الإنتاج القائمة على الآلات الكهربائية وزيادة المعرفة اللازمة لتنفيذ إجراءات التحكم والمراقبة والتشخيص لهذه الأنظمة. بفضل تطوير تقنيات التقدير لمتغيرات الحالة الخاصة بالنظام ، ولا سيما تقنيات المراقب مثل مراقب Luenberger غير الخطي ، فمن الممكن تقدير متغيرات الحالة غير القابلة للقياس (تدفق الدوار ، سرعة الدوران) بالاستعانة بالقياسات المتاحة مثل قياسات التيار. أخيرًا ننهي هذا العمل بنتائج المحاكاة لمتغيرات الحالة غير القابلة للقياس والعزم الكهرومغناطيسي.

(LMI) الكلمات المفتاحية: الآلة الامتزامنة ، المراقب الخطي ، المراقب غير الخطي ، متراجحة المصفوفة الخطية

Abstract

The industrial applications for driving the asynchronous machine pose many control and monitoring problems because the asynchronous machine is a non-linear and non-stationary system. This is why it is essential to use nonlinear techniques for the synthesis of observers allowing the estimation of the non-measurable state variables of the asynchronous machine.

The aim of this work is to highlight the importance of techniques for estimating or observing the state variables of the asynchronous machine in order to replace the maximum number of hardware sensors with software sensors and consequently by minimizing the number of hardware sensors we improve the reliability of production systems based on electrical machines and we increase the knowledge necessary for the implementation of the control, monitoring and diagnostic procedures of these systems. Thanks to the development of techniques for estimating the parameters and the state of a system, in particular the techniques of the observer such as the nonlinear Luenberger observer, it is possible to estimate non-measurable state variables (rotor flux, rotation speed) from available measurements such as stator current measurements. Finally by finishing the work with the simulation results of these unmeasurable state variables and the electromagnetic torque.

Keywords : Induction motor, Linear Observer, Non-Linear Observer, linear matrix inequality (LMI).

Résumé

Les applications industrielles d'entraînement de la machine asynchrone posent beaucoup de problèmes de commande et de surveillance du fait que la machine asynchrone est un système non linéaire et non stationnaire. C'est pourquoi il est indispensable de recourir aux techniques non linéaires pour la synthèse d'observateurs permettant d'estimer les variables d'état non mesurables de la machine asynchrone.

Le but de ce travail est de mettre en évidence l'importance des techniques d'estimation ou d'observation des variables d'état de la machine asynchrone pour remplacer le maximum de capteurs matériels par des capteurs logiciels et par conséquent en minimisant le nombre de capteurs matériels on améliore la fiabilité des systèmes de production à base de machines électriques et on augmente les connaissances nécessaires à la mise en œuvre des procédures de commande, de surveillance et diagnostic de ces systèmes. Grâce au développement des techniques d'estimation des paramètres et de l'état d'un système, notamment les techniques de l'observateur tel que l'observateur de Luenberger non linéaires, on peut estimer les variables d'état non mesurables (flux rotorique, vitesse de rotation) à partir des mesures disponibles telles que les mesures de courants statoriques. En fin en terminant le travail avec les résultats de simulation de ces variables d'état non mesurables et le couple électromagnétique.

Mots clés : Machine Asynchrone, Observateur Linéaire, Observateur Non Linéaire, inégalité matricielle linéaire (LMI).

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre 01 : Estimateur d'état

1.1	Introduction	03
1.2	Principe d'estimation d'état	04
1.3	Système linéaire	04
1.3.1	Définition	04
1.3.2	Observabilité des systèmes linéaires	05
1.3.3	Commandabilité	05
1.3.4	Les observateurs linéaires	06
1.4	Systèmes non linéaires	11
1.4.1	Représentation des systèmes non linéaire	11
1.4.2	Observabilité des systèmes non linéaire	12
1.4.3	Observateur des systèmes non linéaires	12
1.4.4	Observateur de luenberger non linéaire à temps continu	12
1.5	Conclusion	16
	Chapitre 02 : Application de l'observateur non linéaire de luenberger au MAS	
2.1	Constitution d'une machine asynchrone	18
2.1.1	Hypothèse simplificatrice	19
2.2	les équations triphasé de MAS	19
2.2.1	Equation électriques	20
2.2.2	Equations magnétiques	20
2.2.3	Equation mécanique	21
2.3	Transformation de clark	21
2.4	Transformation du concordia	22
2.5	Choix du référentiel	23
2.5.1	Repère lie au stator	23
2.5.2	Repère lie au rotor	23
2.5.3	Repère lie au champ tournant	23
2.6	Modélisation dans le repère α, β	23

2.7 Modèle de la machine asynchrone dans l'espace d'état	23
2.8 Application de l'observateur de Luenberger sous le moteur asynchrone	24
2.9 Conclusion	26

Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats

3.1. Introduction	28
3.2. Simulation de l'observateur de Luenberger non linéaire	29
3.3 Conclusion	35
Conclusion générale	37
Référence bibliographique	39

Liste des figures

Chapitre 01

Figure 1.1 : Principe d'estimation d'état	04
Figure 1.2 : Schéma fonctionnel d'un observateur	06
Figure 1.3 : - Structure d'un observateur d'ordre complet pour un système linéaire.	07
Figure 1.4 : Structure d'un observateur d'ordre réduit pour un système	09
Figure 1.5 : Schéma structural de l'observateur de Luenberger	10

Chapitre 02

Figure 2.1 : Structure d'une machine électrique	18
Figure 2.2 : Représentation schématique de la MAS	19
Figure 2.3 : Interprétation de la transformation de Concordia	22

Chapitre 03

Figure 3.1 : Tension d'alimentation	29
Figure 3.2 : Tension de Commande	29
Figure 3.3 : Bloc de simulation	31
Figure 3.4 : Courant statorique de référence et estimé suivant l'axe α	32
Figure 3.5 : Courant statorique de référence et estimé suivant l'axe β	32
Figure 3.6 : Flux rotorique de référence et estimé suivant l'axe α	33
Figure 3.7 : Flux rotorique de référence et estimé suivant l'axe β	33
Figure 3.8 : Vitesse mécanique rotorique de référence et estimée	33
Figure 3.9 : Couple électromécanique de référence et estimé	34
Figure 3.10 : Vitesse mécanique rotorique de référence et estimée (application d'une charge à l'instant $t=0.7$)	34
Figure 3.11 : Couple électromécanique de référence et estimé (application d'une charge à l'instant $t=0.7$)	34
Figure 3.12 : Vitesse mécanique rotorique de référence et estimée en deux sens ...	35

Liste des tableaux

Tableau 3.1 : Caractéristiques de la machine asynchrone	28
--	----

Liste des symboles

- s, r : Indice du stator et du rotor .
- R_s : Résistance d'une phase statoriques [Ω].
- R_r : Résistance d'une phase rotoriques [Ω].
- l_s : Inductance propre d'une phase statorique [H].
- l_r : Inductance propre d'une phase rotorique [H].
- m : Inductance mutuelle [H].
- f : Coefficient de frottement [N.s/rad].
- J : Moment d'inertie des masse tournantes [$kg.m^2$].
- P : Nombre de paires de pôles.
- T_r : Constante de temps rotorique [s].
- σ : Coefficient de dispersion ou (de Blondel).
- C : Couple électromagnétique [N.m].
- C_r : Couple résistant [N.m].
- u_s : Vecteur des tensions statoriques [V].
- u_r : Vecteur des tensions rotoriques [V].
- I_s : Vecteur des courants statoriques [A].
- I_r : Vecteur des courants rotoriques [A].
- ϕ_s : Flux statorique [wb].
- ϕ_r : Flux rotorique [wb].
- θ : Angle entre un axe du stator et un axe du rotor [rad].
- θ_s : Angle d'un axe lié au champ tournant par rapport au repère du stator.
- ω_s, ω_r : Pulsations statorique et rotorique .
- Ω_r : Vitesse mécanique.
- $[P(\theta)]$: Matrice de Park.
- $V(x)$: Fonction de Lyapunov

MAS : Machine Asynchrone

LMI : Inégalité matricielle linéaire

Introduction générale

Introduction générale

La commande des entraînements électriques a bénéficié ces dernières années par des recherches méthodologique et technologique significatives. En effet, l'amélioration de l'électronique numérique et le développement des composants de l'électronique de puissance permet de mettre en œuvre des algorithmes de commande envisageable. Dans diverses applications industrielles modernes, la machine asynchrone bénéficie d'une attention particulière due essentiellement à sa fiabilité, sa robustesse, son cout relativement faible et sa simplicité de construction.

La commande et la surveillance de la machine asynchrone nécessite la mesure des grandeurs d'état tel que : les courants, les flux et la vitesse En effet, l'utilisation des capteurs de flux et de vitesse dans le domaine industriel présente trop d'inconvénients. Il est donc indispensable de synthétiser un observateur ou estimateur, appelé aussi capteur logiciel permettant de remplacer le capteur matériel, pour l'estimation des autres variables d'état non mesurables à partir des mesures des grandeurs électriques (variables d'états mesurables) disponibles.

L'objectif principal de notre travail est de synthétiser un observateur pour estimer ces grandeurs d'états non mesurables d'un moteur asynchrone, cet observateur est l'observateur de Luenberger non linéaire.

Notre mémoire est organisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré pour introduire le principe d'estimation dans les systèmes linéaires et non linéaires.
- Le deuxième chapitre porte la modélisation de la machine asynchrone et l'application de l'observateur de Luenberger non linéaire à la MAS.
- Les résultats de simulation numérique sous l'environnement Matlab/Simulink de l'observateur de Luenberger non linéaire pour estimer les grandeurs d'états de la machine asynchrone sont présentés et interprétés au troisième chapitre.

Enfin, des conclusions et perspectives sont exposées. Elles résument les avantages d'observateur non linéaire proposé dans le cadre de ce travail.

Chapitre 1 : Estimateur d'état

Chapitre 1 : Estimateur d'état

1.1.Introduction

En général, une bonne maîtrise d'un procédé est nécessaire d'obtenir de bonnes informations sur ce procédé. Les variables directement mesurées ne couvrant généralement pas la totalité des grandeurs susceptibles de décrire le comportement du procédé (les états), on peut se poser le problème de reconstruction de l'information non directement mesurée au moyen de celle disponible : c'est le rôle de l'estimateur d'état qui porte le nom d'observateur dans un cadre déterministe et de filtre dans un cadre stochastique. Au cours des dernières décennies, une partie importante des activités de recherche en automatique s'est focalisée sur le problème de l'estimation de l'état des systèmes dynamiques. Ceci est motivé par le fait que l'estimation de l'état est une étape importante voire indispensable pour la synthèse de lois de commande, pour le diagnostic ou la supervision des systèmes industriels. Le problème de l'estimation d'état a été résolu dans le cas des systèmes linéaires. La plupart des systèmes physiques sont non linéaires et contrairement aux systèmes linéaires dont la représentation d'état est déterminée de la même façon pour tous les systèmes linéaires, par quatre matrices (d'état, de commande, d'observation et directe), les systèmes non linéaires ont des représentations d'état très variées, qui exploitent la structure et les propriétés de la fonction non linéaire qui intervient. De plus, la notion d'observabilité (c'est-à-dire, la capacité à reconstruire l'état à partir des mesures) dans le cadre des modèles de représentation non linéaire ne renvoie pas à un concept global unique et dépend fortement du signal d'excitation appliqué au système. Par conséquent, il semble difficile d'établir une théorie générale en mesure de synthétiser un observateur basé sur un modèle non linéaire non spécifié [3].

Cependant, différentes approches, conduisant à une estimation d'état pour des classes spécifiques de modèles non linéaires, ont été proposées dans la littérature (voir par exemple, la plupart de ces approches sont des prolongements des concepts introduits par Kalman ou par Luenberger, les plus classiques et répandues sont sans aucun doute le filtre de Kalman étendu et l'observateur de Luenberger étendu. Dans le cadre de ces approches, l'estimation de l'état du système est réalisée à partir d'une linéarisation à chaque instant du modèle non linéaire le long des trajectoires estimées. Cette approche n'est valable que pour des modèles localement différentiables et la convergence de l'erreur d'estimation n'est garantie que localement (la convergence peut dépendre par exemple de l'état initial). La fonction non linéaire étant linéarisée autour de l'estimation courante. D'autres techniques dites par transformation permettent d'obtenir un système linéaire auxiliaire, issu d'une transformation (changement de coordonnées) de l'état non linéaire du système. Il est ainsi possible,

à l'aide des techniques classiques, de concevoir un observateur dans le nouveau repère du système. Une transformation inverse conduit ensuite à l'obtention d'un observateur non linéaire pour le système non linéaire de départ [3].

Le principal inconvénient de cette approche est dû aux conditions restrictives d'existence d'une transformation appropriée. Les observateurs à grand gain sont applicables aux systèmes qui ne peuvent pas être linéarisés par un changement de coordonnées, à condition toutefois que le système soit globalement Lipschitzien. Ces observateurs présentent une structure proche de celle de l'observateur de Luenberger. Comme l'indique très bien son nom, cet observateur utilise un grand gain qui augmente conformément aux constantes de Lipschitz du système. Ce gain permet de compenser les effets de la partie non linéaire du système sur l'erreur d'estimation [3].

1.2. Principe d'estimation d'état

Un observateur est un système dynamique qui permet la reconstruction (asymptotique ou exponentielle) de l'état d'un système, à partir de ses entrées, de ses sorties, et de la connaissance de son modèle dynamique, qui sont les seules informations disponibles. Ce principe est illustré par la figure 1.1 [3].

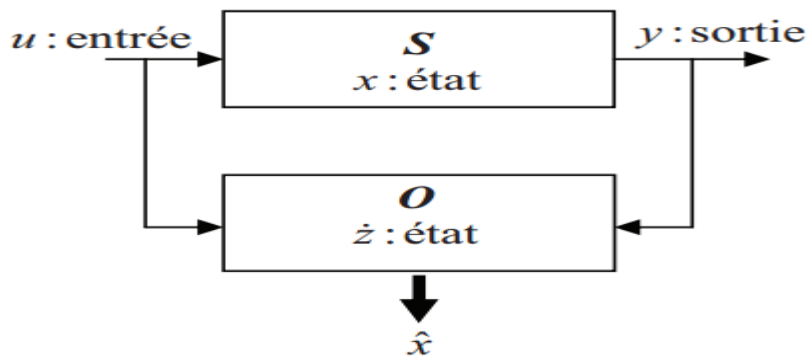


Figure 1.1 : Principe d'estimation d'état

1.3. Systèmes linéaires

1.3.1. Définition

On appelle système linéaire ζ (la donnée de l'équation linéaire)

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = k_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2p}x_p = k_2 \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{np}x_p = k_n \end{cases} \quad (1.1)$$

Où x_1, x_2, \dots, x_p sont les p inconnues du système, k_1, k_2, \dots, k_n sont les n termes du second membre ou constant et les a_{ij} sont les $n.p$ coefficients du système.

Remarque 1(fondamentale): tout système linéaire peut s'écrire sous la forme d'une équation matricielle.

$Ax = k$ où $A = (a_{ij})$ est la matrice des coefficients.

$X = (x_1, x_2, \dots, x_p)^t \in R_c^p$ est la matrice colonne des inconnues et $K = (k, k, \dots, k_p) \in R_c^p$ est la matrice colonne des constants [2].

1.3.2. Observabilité des systèmes linéaires

Soit un système continu décrit par l'équation d'état déterministe suivante:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax(t) + Bu(t) \\ y = Cx(t) \end{cases} \quad (1.2)$$

Où les vecteurs $x(t) \in R^n$, $u(t) \in R^m$ et $y(t) \in R^p$ représentent respectivement l'état, la commande et la sortie du système. Les matrices A, B et C sont des matrices constantes de dimensions appropriées. L'observabilité du système linéaire (1.2) est garantie si et seulement si :

$$\text{Rang}(O) = \text{Rang} \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{(n-1)} \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Par conséquent le système linéaire (1.2) est observable, si le rang de la matrice d'observabilité O est égal à la dimension n de ce système. Dans le cas où le rang de la matrice O est inférieur à n , on parle alors, d'observabilité partielle [1].

1.3.3. Commandabilité

De la même façon, on établit la matrice de commandabilité du système $CO = [B \ AB \ A^2B \ \dots \ A^{n-1}B]$. Le système est dit commandable si le rang de la matrice de commandabilité est égal à « n ».

1.3.4. Les observateurs linéaires

a- Généralité

La structure d'un observateur d'état est indiquée sur la Figure 1.2. Un observateur est un développement mathématique permettant de reconstituer les états interne d'un système à partir uniquement des données accessibles, c'est-à-dire les entrées imposées et les sorties mesurées.

L'observation se fait en deux phases; la première est une étape d'estimation et la seconde est une étape de correction. L'estimation se fait par le calcul des grandeurs d'état à l'aide de modèle proche du système et la correction se fait par l'addition ou la soustraction de la différence entre les états estimés et ceux mesurés (erreur d'estimation) que l'on multiplie par un gain G . Ce gain régit la dynamique et la robustesse de l'observateur. Donc son choix est important et doit être adapté aux propriétés du système dont on veut effectuer l'observation des états [5].

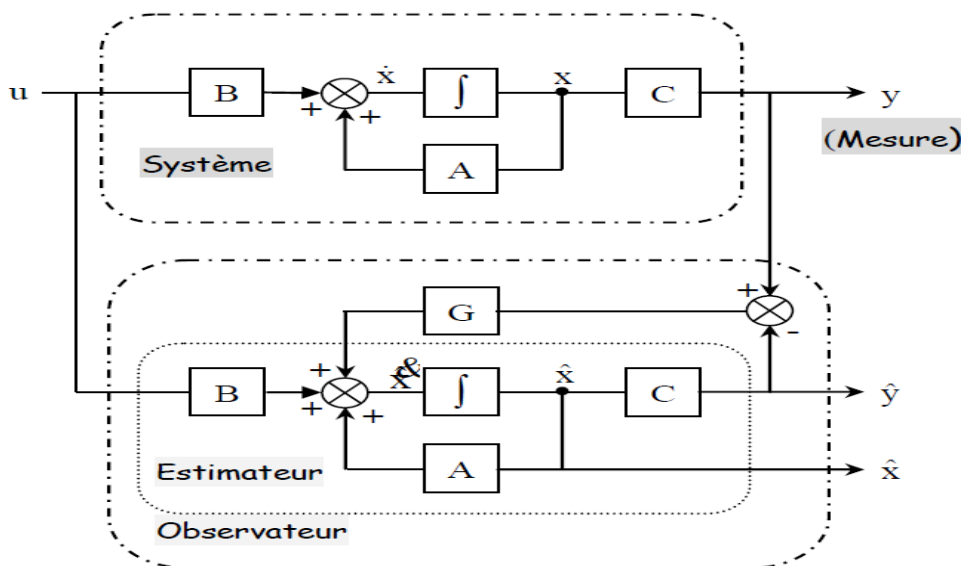


Figure 1.2: Schéma fonctionnel d'un observateur

b- Les observateurs linéaires d'ordre complet

Considérons un système continu linéaire, où sa dynamique est donnée par :

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + BU \\ y = Cx \end{cases} \tag{1.6}$$

L'observateur du système linéaire défini par les équations (1.6) a la forme générale suivante :

$$\dot{\hat{x}} = \hat{A}x + Hu + Ky \tag{1.7}$$

Où l'état \hat{x} de l'observateur a la même dimension que l'état x du processus. Les matrices H , K et \hat{A} de l'équation (1.7) doivent être choisies d'une manière à satisfaire les propriétés exigées par l'observateur : l'état de l'observateur doit converger vers l'état du processus indépendamment de l'état x et l'entrée u . Pour déterminer ces matrices l'erreur d'estimation est donnée par :

$$e = x - \hat{x} \tag{1.8}$$

A partir des équations (1.6) et (1.7) on obtient :

$$\dot{e} = \hat{A}e + (-\hat{A} + A - KC)x + (B - H)u \tag{1.9}$$

Pour que l'erreur converge vers le zéro, indépendamment de x et de u , les conditions suivantes doivent être satisfaites :

$$\begin{cases} \hat{A} = A - KC \\ H = B \end{cases} \tag{1.10}$$

Si ces conditions sont satisfaites, l'erreur de l'estimation est gouvernée par :

$$\dot{e} = \hat{A}e \tag{1.11}$$

Cette erreur converge vers zéro si \hat{A} est une matrice stable. Cela veut dire que ses pôles doivent se trouver dans le demi-plan gauche. La correction de l'observateur est obtenue par la sélection de la matrice de gain K , puisque les matrices A, B et C sont définies par le processus. Il est très important de noter que le choix judicieux des gains de la matrice K permet de fixer la dynamique de l'observateur. Plusieurs méthodes sont proposées pour déterminer la matrice K .

Pour mettre en valeur le rôle de la matrice de gain de l'observateur, et expliquer les exigences des conditions données par (1.10) et (1.11), l'observateur peut être écrit comme suit :

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x}(t) + Hu(t) + K(y - C\hat{x}) \tag{1.12}$$

Cette équation peut être représentée par le schéma-bloc dans la figure suivante :

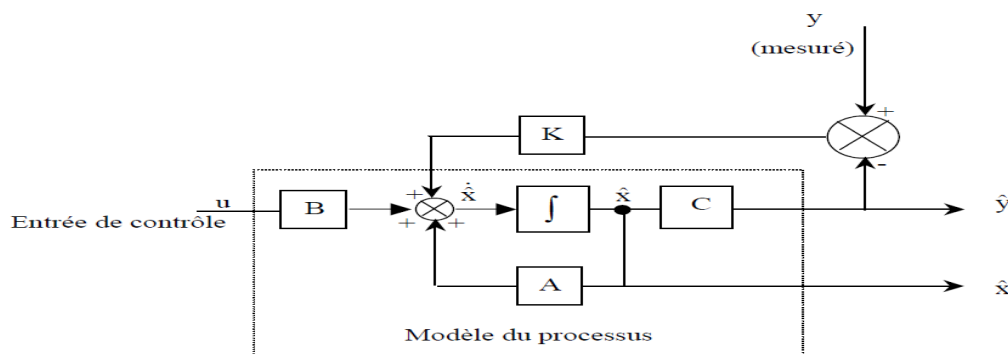


Figure 1.3 : - Structure d'un observateur d'ordre complet pour un système linéaire.

c- Les observateurs linéaires d'ordre réduit

L'observateur d'ordre complet décrit dans la section précédente a le même ordre que le processus. Si le système comporte n états et m sorties mesurables, il paraît redondant d'estimer les

états connus. Théoriquement, on a besoin d'estimer les états inconnus, cela résulte dans un observateur de dimension $(n - m)$ où n présente la dimension du vecteur d'état et m le nombre des observations. Quand le nombre des observations est comparable à la dimension du vecteur d'état, un observateur d'ordre réduit peut représenter une simplification considérable. La description de l'observateur d'ordre réduit est simplifiée si le vecteur d'état peut être segmenté en deux vecteurs :

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_2 \end{bmatrix} \tag{1.13}$$

Tel que :

$$x_1 = y = Cx \tag{1.14}$$

x_1 : vecteur d'observation de dimension m .

x_2 : vecteur d'état contient des composants non mesurables de dimension $(n - m)$.

Alors la dynamique du processus est donnée par :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + B_1u \\ \dot{x}_2 = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + B_2u \end{cases} \tag{1.15}$$

Puisque x_1 est mesurés alors :

$$\hat{x}_1 = x_1 = y \tag{1.16}$$

Nous définissons l'observateur d'ordre réduit par :

$$\hat{x}_2 = Ky + z \tag{1.17}$$

Où z est l'état d'un système d'ordre $(n - m)$:

$$\dot{z} = \hat{A}z + Ly + Hu \tag{1.18}$$

Un schéma-bloc de l'observateur réduit est présenté par la figure (2.5) :

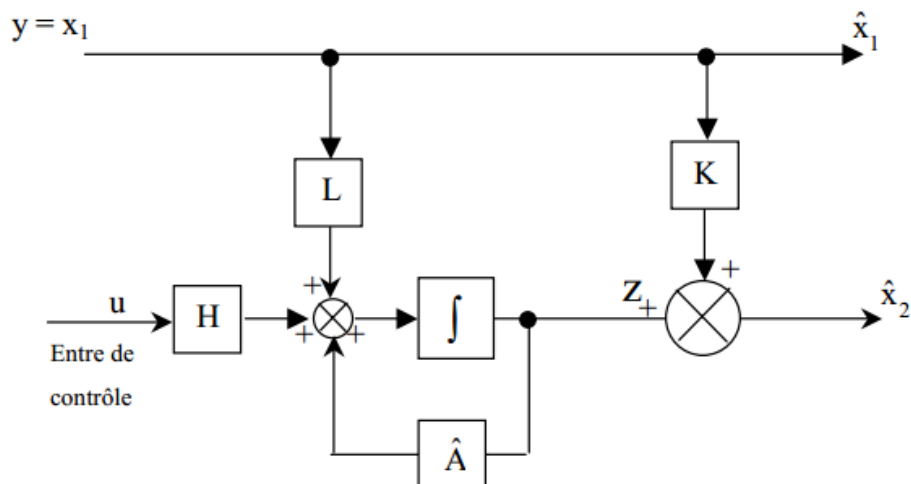


Figure 1.4- Structure d'un observateur d'ordre réduit pour un système linéaire.

Les matrices \hat{A} , L , H et K sont choisies, comme dans le cas de l'observateur d'ordre complet, pour assurer que l'erreur dans l'estimation d'état converge vers zéro, indépendamment de x , y et u . Comme il n'est y a aucune erreur dans l'estimation de x_1 , alors :

$$e_1 = x_1 - \hat{x}_1 = 0 \quad (1.19)$$

Donc, il est nécessaire d'assurer seulement la convergence de e_2 vers zéro.

$$e_2 = x_2 - \hat{x}_2 \quad (1.20)$$

À partir des équations (1.15) à (1.18), on a :

$$\dot{e}_2 = (A_{21} - KA_{11} + \hat{A}K - L)x_1 + (A_{22} - KA_{12} - \hat{A})x_2 + \hat{A}e_2 + (B_2 - KB_1 - H)u \quad (1.21)$$

Comme dans le cas d'un observateur d'ordre complet, et pour faire disparaître les coefficients de x_1 , x_2 et u , il est indispensable d'assurer les conditions suivantes :

$$\begin{cases} \hat{A} = A_{22} - KA_{12} \\ L = A_{21} - KA_{11} + \hat{A}K \\ H = B_2 - KB_1 \end{cases} \quad (1.22)$$

Lorsque ces conditions sont satisfaites, l'erreur de l'estimation sera donnée par :

$$\dot{e}_2 = \hat{A}e_2 \quad (1.23)$$

La matrice de gain K doit être choisie de telle sorte que les pôles de $\hat{A} = A_{22} - KA_{12}$ doivent se trouver dans le demi-plan gauche ; A_{22} et A_{12} de l'observateur d'ordre réduit jouent le rôle des matrices A et C de l'observateur d'ordre complet.

d- Observateur de Luenberger

La théorie de l'observation de Luenberger repose essentiellement sur des techniques de placement de pôles. En se place dans le cas déterministe, où les bruits w et v sont nuls, Luenberger propose l'observateur suivant pour le système (1.2):

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + K(y(t) - \hat{y}(t)) \\ \hat{y}(k) = C\hat{x}(t) \end{cases} \quad (1.24)$$

La dynamique de l'erreur d'estimation ; $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ a pour expression :

$$\dot{e}(t) = (A - KC)e(t) \quad (1.25)$$

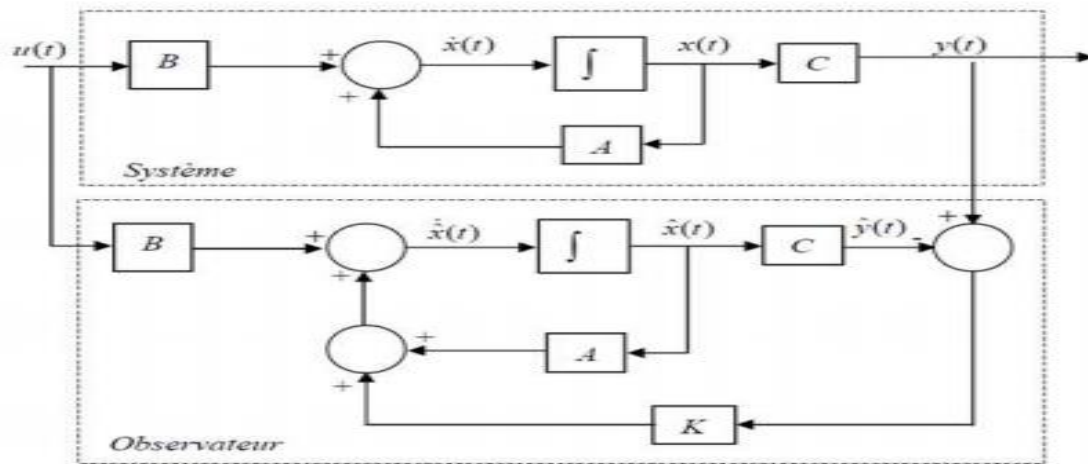


Figure 1.5 :Schéma structural de l'observateur de Luenberger

En utilisant une technique de placement de pôles, il suffit alors de choisir le gain K de l'observateur de telle sorte que les valeurs propres de la matrice $(A - KC)$ soient dans le demi-plan complexe gauche.

Pour ce type d'observateur, une grande liberté est laissée au choix des valeurs propres, mais en pratique on choisit une dynamique d'erreur plus rapide que celle du processus.

Cependant, on ne peut les prendre infiniment grandes parce que on ne peut utiliser que des gains réalisables et l'augmentation de la bande passante du reconstruteur ne permet plus de négliger les bruits qui deviennent prépondérants en hautes fréquences [8].

e- Observateur de Luenberger étendu

L'observateur de Luenberger étendu intervient, soit au niveau du système original avec un gain constant, soit par le biais d'un changement de coordonnées avec un gain dépendant de l'état à estimer. Dans le premier cas un modèle linéarisé est nécessaire, et le gain de l'observateur est calculé par placement de pôles. Ce type d'observateur ne peut être utilisé que lorsqu'on est sûr que l'état restera au voisinage de l'état d'équilibre. Pour cette raison, l'utilisation de cet observateur peut être compromise par les instabilités qui peuvent se révéler si l'on s'éloigne du point de fonctionnement [10].

1.4. Systèmes non linéaires

Un système est non linéaire s'il ne vérifie pas le principe de superposition.

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x, u) \\ y = h(x, u) \end{cases} \quad (1.26)$$

Les conditions de proportionnalité et d'additivité ne s'appliquent plus aux systèmes non linéaires. Lors de l'étude des systèmes non linéaires on se heurte à plusieurs difficultés.

- L'analyse par des fonctions de transfert est impossible ;
- La notion des pôles disparaît ;
- Un système non linéaire possède en général plusieurs points d'équilibre et l'étude de leur stabilité est plus complexe que dans le cas linéaire pour lequel le concept de stabilité est global ;
- La non linéarité d'un système peut être intrinsèque ou peut être isolée, c'est-à-dire que l'on peut avoir une association d'éléments à caractéristiques non linéaires à un système linéaire ;

Comme pour les systèmes linéaires, il est possible de distinguer, aussi les modèles non linéaires par les caractères suivants:

- A temps continu/à temps discret ;
- Invariants dans le temps/variant dans le temps ;
- Mono-variables/multi-variables,
- Déterministes/stochastiques [9] ;

1.4.1. Représentation des systèmes non linéaire

La forme la plus utilisée pour la représentation des systèmes non linéaires est la suivante :

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t) \quad u(t) > 0 \quad (1.27)$$

Où t est le temps, $x(t) \in R^n$ est le vecteur d'état, $u(t) \in R^m$ est le vecteur de commande ou d'entrée.

$f: R^n \cdot R^m \cdot R + R^n$ est une fonction non linéaire [9].

1.4.2. Observabilité des systèmes non linéaires

Pour les systèmes non linéaires, étant donné l'espace de l'état $X \in R^n$ et l'ensemble U des entrées, la notion d'observabilité est basée sur la possibilité de différencier deux conditions initiales distinctes. On parlera ainsi de la distinguabilité d'un couple de conditions initiales. On considère le système non linéaire donnée par :

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x) + g(x)u \\ y = h(x) \end{cases} \quad (1.28)$$

Où les vecteurs $x(t) \in R^n$ et $u(t) \in R^m$ sont respectivement le vecteur d'état et de commande [1].

a) Distinguableté

Deux états initiaux x_{10} et x_{20} sont dits indistinguables si pour tout $t > 0$, les sorties $y(t, x_{10})$ et $y(t, x_{20})$ sont identiques pour toute entrée u admissible. Sinon, ils sont distinguables [1].

1.4.3. Observateur des systèmes non linéaires

Une fois l'observabilité du système non linéaire (1.29) est assurée, on passe à la synthèse de l'observateur. La plupart des observateurs synthétisés pour les systèmes non linéaires et qui existent dans la littérature ont la structure suivante :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = f(\hat{x}, u) + \rho(y, \hat{x}) \\ y = h(\hat{x}) \end{cases} \quad (1.29)$$

C'est-à-dire une copie du modèle, plus un terme correcteur $\rho(y, \hat{x})$ qui établit la convergence de l'état estimé \hat{x} vers l'état réel x en un temps fini.

En général le gain d'observation et la stabilité de l'observateur synthétisé pour les systèmes non linéaires dépendent de l'entrée [10].

1.4.4. Observateur de Luenberger non linéaire à temps continu**a- Observateur basé sur la propriété de Lipschitz**

Considérons un système non linéaire de la forme générale suivante :

$$\dot{x}(t) = F(x(t), u(t)) \quad (1.30)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (1.31)$$

La fonction non linéaire $F(x(t), u(t))$ est supposée continue et Lipschitz par rapport à son argument $x(t)$, par conséquent, nous avons la propriété de Lipschitz suivante :

$$\forall x(t), \hat{x}(t), \exists \gamma / \|F(x(t), u(t)) - F(\hat{x}(t), u(t))\| \leq \gamma \|x(t) - \hat{x}(t)\|$$

En se basant sur le fait qu'un observateur est une copie du système considéré, plus un terme de correction proportionnel à l'erreur d'estimation, alors un observateur non linéaire peut être synthétisé de la manière suivante [11][6] :

$$\dot{\hat{x}}(t) = F(\hat{x}(t), u(t)) + LC(x(t) - \hat{x}(t)) \quad (1.32)$$

$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \quad (1.33)$$

En posant $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ comme erreur d'estimation, la dynamique de l'erreur d'estimation est alors donnée par :

$$\dot{e}(t) = \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) = F(x(t), u(t)) - F(\hat{x}(t), u(t)) - LCe(t) \quad (1.34)$$

En choisissant une fonction de Lyapunov candidate de la forme $V = e^T P e$, la dérivée de cette fonction de Lyapunov s'écrit alors :

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= \dot{e}^T(t) P e(t) + e^T(t) P \dot{e}(t) = \\ &= -e^T(t) [C^T L^T P + PLC] e(t) + 2e^T(t) P (F(x(t), u(t)) - F(\hat{x}(t), u(t))) \end{aligned} \quad (1.35)$$

En utilisant la propriété de Lipschitz, le second terme de droite s'écrit :

$$2e^T(t) P \|F(x, u) - F(\hat{x}, u)\| \leq 2e^T(t) P \gamma \|e(t)\| \quad (1.36)$$

En remplaçant ce résultat dans l'expression de la dérivée de la fonction de Lyapunov on obtient :

$$\dot{V}(t) = \dot{e}^T(t) P e(t) + e^T(t) P \dot{e}(t) \leq -e^T(t) [C^T L^T P + PLC - 2P\gamma] e(t) \quad (1.37)$$

Pour que cette dérivée soit négative il faut que le terme entre crochet soit positif

Lemme de Schur : Pour toute matrice carrée A , B et C telles que : A positive et $A - BC^{-1}B^T$ positive alors on a l'inégalité linéaire matricielle (LMI) suivante qui est aussi positive :

$$\begin{bmatrix} A & B \\ B^T & C \end{bmatrix} \succ 0$$

Ce lemme, appelé aussi complément de Schur, peut être aussi exprimé sous la forme équivalente

suivante : C positive et $C - B^T A^{-1} B$ positive alors $\begin{bmatrix} A & B \\ B^T & C \end{bmatrix} \succ 0$

En utilisant le complément de Schur, on transforme l'inégalité algébrique (terme entre crochet), relation (1.36), en une inégalité linéaire matricielle (LMI) comme suit :

$$\begin{bmatrix} PLC + C^T L^T P & P \\ P & \frac{1}{2\gamma} P \end{bmatrix} \succ 0 \quad (1.38)$$

Pour le calcul de la constante de Lipschitz la relation suivante, appelée relation de Schwartz, est utilisée :

$$\lambda_{\min}(P)\|e(t)\|_2^2 \leq e^T(t)Pe(t) \leq \lambda_{\max}(P)\|e(t)\|_2^2 \quad (1.39)$$

Dans ces conditions la dérivée de la fonction de Lyapunov s'écrit sous la forme suivante:

$$\dot{V}(t) = -e^T Qe(t) + 2e^T(t)P\gamma\|e(t)\| \leq -\lambda_{\min}(Q)\|e(t)\|_2^2 + 2\gamma\lambda_{\max}(P)\|e(t)\|_2^2 \quad (1.40)$$

$$\text{Avec : } [PLC + C^T L^T P] = -Q$$

La négativité de la fonction de Lyapunov est assurée par la négativité de l'expression suivante :

$$\dot{V}(t) < 0 \Leftrightarrow -\lambda_{\min}(Q) + 2\gamma\lambda_{\max}(P) < 0 \Rightarrow \gamma < \frac{1}{2} \frac{\lambda_{\min}(Q)}{\lambda_{\max}(P)} \quad (1.41)$$

b- Cas des systèmes décomposables en partie linéaire partie non linéaire

Le système non linéaire (1.30), (1.31) peut être aussi décomposé en une partie linéaire et une partie non linéaire selon la forme suivante :

$$\dot{x}(t) = F(x(t), u(t)) = Ax(t) + F_1(x(t), u(t)) \quad (1.42)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (1.43)$$

Si nous considérons le cas où la partie linéaire est sous la forme standard :

$$\dot{x}(t) = F(x(t), u(t)) = Ax(t) + Bu(t) + F_2(x(t), y(t)) \quad (1.44)$$

Alors l'observateur non linéaire peut être synthétisé de la manière suivante :

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + F_2(\hat{x}(t), y(t)) + LC(x(t) - \hat{x}(t)) \quad (1.45)$$

$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \quad (1.46)$$

En posant $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ comme erreur d'estimation, la dynamique de l'erreur d'estimation est alors donnée par :

$$\begin{aligned}
\dot{e}(t) &= \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) = \\
&= Ae(t) + F_2(x(t), y(t)) - F_2(\hat{x}(t), y(t)) - LCe(t) \\
&= (A - LC)e(t) + F_2(x(t), y(t)) - F_2(\hat{x}(t), y(t))
\end{aligned} \tag{1.47}$$

En choisissant une fonction de Lyapunov candidate de la forme $V = e^T P e$, la dérivée de cette fonction de Lyapunov s'écrit alors :

$$\begin{aligned}
\dot{V}(t) &= \dot{e}^T(t) P e(t) + e^T(t) P \dot{e}(t) = \\
&= e^T(t) \left[(A - LC)^T P + P(A - LC) \right] e(t) + 2e^T(t) P (F_2(x(t), y(t)) - F_2(\hat{x}(t), y(t)))
\end{aligned}$$

En utilisant la propriété de Lipschitz comme dans le cas précédent la dérivée de la fonction de Lyapunov s'écrit :

$$\begin{aligned}
\dot{V}(t) &= \dot{e}^T(t) P e(t) + e^T(t) P \dot{e}(t) \\
&\leq e^T(t) \left[(A - LC)^T P + P(A - LC) + 2P\gamma \right] e(t)
\end{aligned} \tag{1.48}$$

Pour que cette dérivée soit négative il faut que le terme entre crochet soit négatif.

$$(A - LC)^T P + P(A - LC) + 2P\gamma = -Q \tag{1.49}$$

En utilisant le complément de Schur, on transforme l'inégalité algébrique (terme entre crochet) en une inégalité linéaire matricielle (LMI) comme suit :

$$\begin{bmatrix} (A^T - C^T L^T)P + (A - LC)P & P \\ P & -\frac{1}{2\gamma} P \end{bmatrix} \leq 0 \tag{1.50}$$

Pour le calcul de la constante de Lipschitz dans ce cas la dérivée de la fonction de Lyapunov s'écrit sous la forme suivante:

$$\dot{V}(t) = -e^T Q_1 e(t) + 2e^T(t) P \gamma \|e(t)\| \leq -\lambda_{\min}(Q_1) \|e(t)\|_2^2 + 2\gamma \lambda_{\max}(P) \|e(t)\|_2^2$$

$$\text{Où } (A - LC)^T P + P(A - LC) = -Q_1$$

La négativité de la fonction de Lyapunov est assurée par la négativité de l'expression suivante :

$$\dot{V}(t) < 0 \Leftrightarrow -\lambda_{\min}(Q_1) + 2\gamma \lambda_{\max}(P) < 0 \Rightarrow \gamma < \frac{1}{2} \frac{\lambda_{\min}(Q_1)}{\lambda_{\max}(P)} \tag{1.51}$$

1.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné d'une part quelques rappels sur des concepts relatifs à l'observabilité et la commandabilité des systèmes, d'autre part, nous avons présenté quelques observateurs utilisés dans le cas des systèmes linéaires et dans le cas des systèmes non linéaires. L'observation ou l'estimation de l'état d'un système est une nouvelle technique pour déterminer des grandeurs non mesurables à partir des mesures des autres grandeurs disponibles. Cette technique d'observation ou d'estimation permet de réaliser la commande de la machine asynchrone en utilisant un minimum de capteurs, c'est-à-dire, en se basant sur un algorithme d'estimation qui remplacera le capteur matériel. Ceci permet d'augmenter la fiabilité des systèmes d'entraînement par réduction du nombre de capteurs matériels.

Chapitre 2 : Application de l'observateur non linéaire de Luenberger sur MAS

Chapitre 2 : Application de l'observateur non linéaire de Luenberger sur MAS

2.1. Constitution d'une machine asynchrone

La machine asynchrone est souvent appelée machine à induction comprend un stator et un rotor, constitués d'empilement de tôles d'acier au silicium et comportant des encoches dans lesquelles sont placées les enroulements. Le stator est fixe ; on y trouve les enroulements reliés à la source, l'objectif étant d'obtenir une répartition des forces magnétomotrices et du flux la plus sinusoïdale possible dans l'entrefer. Le rotor est monté sur un axe de rotation. Selon que les enroulements du rotor sont accessibles de l'extérieur ou sont fermés sur eux-mêmes en permanence, sont définis deux types de rotor : bobiné ou à cage d'écureuil, toutefois, la dernière structure est souvent prise lors des modélisations comme électriquement équivalente à celles d'un rotor bobiné dont les enroulements sont en court-circuit. Dans ce travail, nous intéressent à la machine asynchrone à cage d'écureuil, dont les principales parties qui constituent la machine asynchrone sont représentés comme suit:

- **Le stator** : C'est une partie fixe, qui est connectée à l'alimentation électrique, il est constitué par cinq éléments sont: Carter, Boîtes à bornes, Circuit magnétique, Conducteurs et Isolants.
- **Le rotor** : est une partie tournante, qui permet de mettre en rotation la charge mécanique. Il est constitué par quatre éléments sont : Circuit magnétique, Conducteurs, Arbre et Ventilateur.
- **Les paliers** : sont des organes mécaniques permettant la mise en rotation du rotor et assurant le maintien des différents sous-ensembles (Flasques et Roulement à billes) [6].

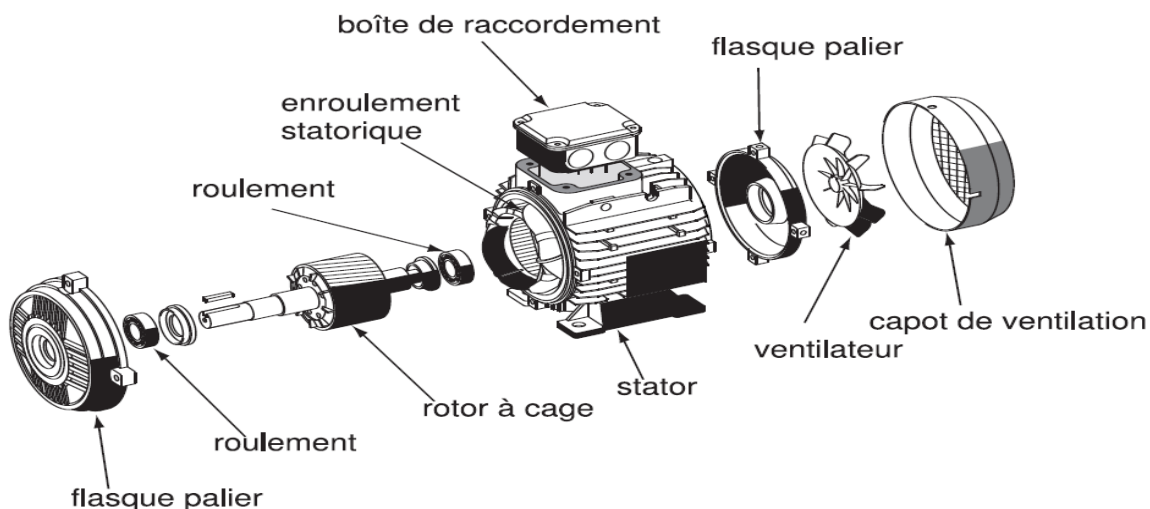


Figure 2.1 : Structure d'une machine électrique

2.1.1. Hypothèses simplificatrice

Afin de développer un modèle permettant une bonne description de la dynamique de la machine asynchrone et employé dans les étapes de conception et de mise en œuvre des stratégies de commande, il faut admettre comme approximation les hypothèses simplificatrices suivantes:

- La parfaite symétrie de la machine tant magnétique qu'électrique.
- Les forces magnétomotrices créent par chaque phase du stator ou du rotor a une répartition sinusoïdale.
- L'effet de la variation de la température sur les résistances statorique et rotorique est négligeable
- L'effet de peau est négligeable.
- L'entrefer constant.
- Le circuit magnétique non saturé et perméabilité constant.
- Les pertes ferromagnétiques négligeables [7].

2.2. Les Equations triphasés de la MAS :

Le moteur asynchrone à double alimentation comporte trois bobines statorique (A, B, C), et aussi trois bobines rotoriques décalées entre elles par un angle de $2\pi/3$ identique de répartition et similaire à celles du stator (a,b,c).

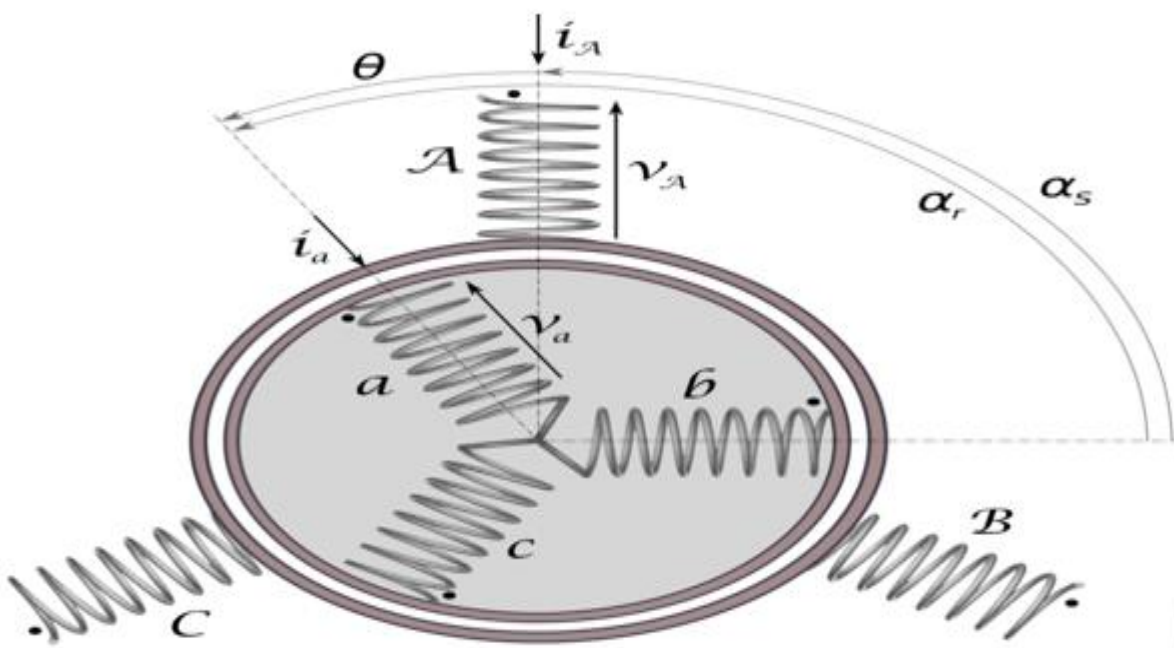


Figure 2.2. Représentation schématique de la MAS

Dans les conditions précédentes les équations sous forme matricielle s'écrivent comme suit:

2.2.1 Equations électriques :

- Pour le stator :

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_A \\ \varphi_B \\ \varphi_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

- Pour le rotor :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_r & 0 & 0 \\ 0 & R_r & 0 \\ 0 & 0 & R_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

2.2.2. Equations magnétiques :

Les hypothèses simplificatrices proposées, nous permettent de représenter les équations magnétiques de la MADA comme suit :

$$\begin{bmatrix} \varphi_A \\ \varphi_B \\ \varphi_C \\ \varphi_a \\ \varphi_b \\ \varphi_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_s M_s & M_s M_1 M_2 M_3 \\ M_s l_s M_s M_2 M_1 M_3 \\ M_s M_s l_s M_3 M_2 M_1 \\ M_1 M_3 M_2 l_r M_r M_r \\ M_2 M_1 M_3 M_r l_r M_r \\ M_3 M_2 M_1 M_r M_r l_r \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \\ I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Avec :

l_s, l_r : Inductances propres d'une phase statorique et rotorique.

$M_{1,2,3}$: Inductance mutuelle instantanée entre phases statoriques et phases rotoriques.

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = M_0 \begin{bmatrix} \cos(\theta) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

M_0 Maximum de l'inductance mutuelle entre une phase statorique et une phase rotorique.

La matrice des flux réels fait apparaître deux sous matrices d'inductances :

$$\begin{cases} [\varphi_{ABC}] = [L_s][I_{ABC}] + [M_{sr}][I_{abc}] \\ [\varphi_{abc}] = [M_{rs}][I_{abc}] + [L_r][I_{abc}] \end{cases} \quad (2.5)$$

Avec :

$$[L_s] = \begin{bmatrix} l_s M_s M_s \\ M_s l_s M_s \\ M_s M_s l_s \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$[L_r] = \begin{bmatrix} l_r M_r M_r \\ M_r l_r M_r \\ M_r M_r l_r \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$[M_{sr}] = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Sachant que : $[M_{rs}] = [M_{sr}]^t$: Matrice des inductances mutuelles du couplage entre stator et rotor.

Le couple électromagnétique peut être exprimé par l'équation suivante [7]:

$$C_e = P \frac{m}{T_r} (\varphi_{r\alpha} i_{s\beta} - \varphi_{r\beta} i_{s\alpha}) \quad (2.9)$$

2.2.3. Equation mécanique [7]

$$C_e - C_r = J \frac{d\Omega}{dt} + f\Omega \quad (2.10)$$

2.3. Transformation de Clark

La modélisation du fonctionnement de la machine asynchrone sous forme d'équations mathématiques ou relations reliant les variables d'entrées aux variables de sorties reste cependant très complexe. D'où la nécessité de rechercher des transformations mathématiques permettant de simplifier cette modélisation. L'idée de Clark repose sur le fait qu'un champ créé par un système triphasé peut être identique à celui créé par un système biphasé composé de deux bobines décalées l'une par rapport à l'autre d'un angle de $\frac{\pi}{2}$ dans l'espace. Dans ces conditions, il est nécessaire pour cette transformation que le champ ou les forces électromotrices et la puissance instantanée soient conservés. On peut donc remplacer le système triphasé de courant i_{as} , i_{bs} , i_{cs} parcourant N spires par un système biphasé $i_{s\alpha}$, $i_{s\beta}$ parcourant $N1$ spires [6].

2.4. Transformation du Concordia

La transformation de Concordia est une modification de la matrice de Clark afin de permettre l'invariance de la puissance instantanée. On peut donc remplacer le système triphasé de courant i_{as}, i_{bs}, i_{cs} parcourant N spires par un système biphasé $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ parcourant $N/2$ spires. La relation de transformation est donnée par:

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \tag{2.11}$$

La transformation inverse peut donc être obtenue et s'écrit :

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{bmatrix} \tag{2.12}$$

La figure schématise la transformation de Concordia :

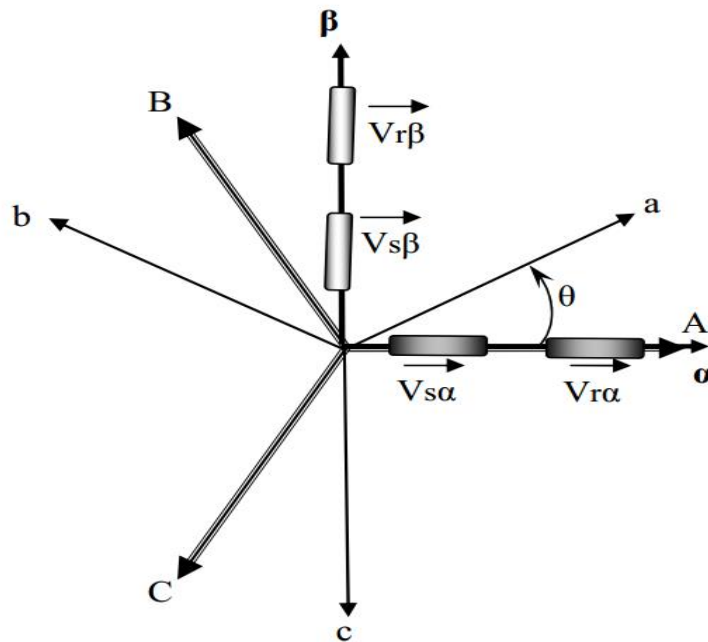


Figure 2.3. Interprétation de la transformation de Concordia

2.5. Choix du référentiel

Pour simplifier le modèle de la machine asynchrone, plusieurs choix pour le positionnement du repère de Concordia existent, parmi lesquels nous pouvons citer.

2.5.1. Repère liée au stator : La position des axes d et q du repère de Park par rapport aux axes statoriques assure que les relations suivantes soient vérifiées : $\frac{d\theta_s}{dt} = 0$, et $\frac{d\theta_r}{dt} = -\omega_r$.

Ce repère est choisi dans le cas des applications nécessitant des variations importantes de la vitesse de rotation associées ou non à des variations de la fréquence d'alimentation.

2.5.2. Repère lié au rotor : La position des axes d, q du repère de Park par rapport aux axes rotoriques assure que les relations suivantes soient vérifiées: $\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s$, et $\frac{d\theta_r}{dt} = 0$.

Ce choix est nécessaire dans l'étude des régimes transitoires où la vitesse de rotation est constante.

2.5.3. Repère lié au champ tournant : Ce type de référentiel est caractérisé par les relations suivantes: $\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s$, et $\frac{d\theta_r}{dt} = \omega_s - \omega_r$.

Dans ce qui suit, on retiendra le modèle de la machine qui est défini par rapport au référentiel lié au stator [6].

2.6. Modélisation dans le repère α, β

Dans le cas du référentiel lié au stator le modèle de machine asynchrone s'écrit alors :

$$\begin{cases} u_{s\alpha} = R_s i_{s\alpha} + \frac{d\varphi_{s\alpha}}{dt} \\ u_{s\beta} = R_s i_{s\beta} + \frac{d\varphi_{s\beta}}{dt} \\ u_{r\alpha} = R_r i_{r\alpha} + \frac{d\varphi_{r\alpha}}{dt} + \omega_r \varphi_{r\beta} \\ u_{r\beta} = R_r i_{r\beta} + \frac{d\varphi_{r\beta}}{dt} - \omega_r \varphi_{r\alpha} \end{cases} \quad (2.13)$$

2.7. Modèle de la machine asynchrone dans l'espace d'état

Nous obtenons le modèle suivant de la machine asynchrone lié au stator avec les courants statoriques, flux rotoriques et vitesse rotorique comme vecteur d'état :

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_{s\alpha} \\ \frac{d}{dt} i_{s\beta} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{r\alpha} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{r\beta} \\ \frac{d}{dt} \Omega_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\delta & 0 & \frac{K_S}{T_r} & K_S P \Omega_r & 0 \\ 0 & -\delta & -K_S P \Omega_r & \frac{K_S}{T_r} & 0 \\ \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & -P \Omega_r & 0 \\ 0 & \frac{m}{T_r} & P \Omega_r & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ -\frac{P.m}{J T_r} \varphi_{r\beta} & \frac{P.m}{J T_r} \varphi_{r\alpha} & 0 & 0 & -\frac{f}{J P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \varphi_{r\alpha} \\ \varphi_{r\beta} \\ \Omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma l_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma l_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \\ C_r \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

Où définir tous les constants tel que

$$K_S = \frac{m}{\sigma l_s l_r}$$

$$T_r = \frac{l_r}{R_r}$$

2.8. Application de l'observateur de Luenberger sous le moteur asynchrone

Dans l'ordre de l'implantation de l'approche de Luenberger non linéaire, le modèle de la machine est réécrit sous la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_{s\alpha} \\ \frac{d}{dt} i_{s\beta} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{r\alpha} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{r\beta} \\ \frac{d}{dt} \Omega_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\delta & 0 & \frac{K_S}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & -\delta & 0 & \frac{K_S}{T_r} & 0 \\ \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{f}{J P} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \varphi_{r\alpha} \\ \varphi_{r\beta} \\ \Omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_S P \Omega_r \varphi_{r\beta} + \frac{1}{\sigma l_s} u_{s\alpha} \\ -K_S P \Omega_r \varphi_{r\alpha} + \frac{1}{\sigma l_s} u_{s\beta} \\ -P \Omega_r \varphi_{r\beta} \\ P \Omega_r \varphi_{r\alpha} \\ \frac{P.m}{J T_r} (\varphi_{r\alpha} i_{s\beta} - \varphi_{r\beta} i_{s\alpha}) - \frac{1}{J} C_r \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \varphi_{r\alpha} \\ \varphi_{r\beta} \\ \Omega_r \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Où :

$$A = \begin{bmatrix} -\delta & 0 & \frac{K_s}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & -\delta & 0 & \frac{K_s}{T_r} & 0 \\ \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{f}{JP} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$x(t) = [i_{s\alpha}, i_{s\beta}, \varphi_{r\alpha}, \varphi_{r\beta}, \Omega_r]^T$: Le vecteur d'état de la machine asynchrone.

$u(t) = [u_{s\alpha}, u_{s\beta}, C_r]^T$: Le vecteur d'entrée et de commande de la machine.

$y(t) = [i_{s\alpha}, i_{s\beta}]^T$: Le vecteur mesurable de sortie.

Le modèle de la machine peut décomposer sous la forme suivante :

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_{s\alpha} \\ \frac{d}{dt} i_{s\beta} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{r\alpha} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{r\beta} \\ \frac{d}{dt} \Omega_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\delta & 0 & \frac{K_s}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & -\delta & 0 & \frac{K_s}{T_r} & 0 \\ \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{f}{JP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \varphi_{r\alpha} \\ \varphi_{r\beta} \\ \Omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \\ C_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_s P \Omega_r \varphi_{r\beta} \\ -K_s P \Omega_r \varphi_{r\alpha} \\ -P \Omega_r \varphi_{r\beta} \\ P \Omega_r \varphi_{r\alpha} \\ \frac{Pm}{JT_r} (\varphi_{r\alpha} i_{s\beta} - \varphi_{r\beta} i_{s\alpha}) \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\text{Où } B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \quad F_2(x(t), y(t)) = \begin{bmatrix} K_s P \Omega_r \varphi_{r\beta} \\ -K_s P \Omega_r \varphi_{r\alpha} \\ -P \Omega_r \varphi_{r\beta} \\ P \Omega_r \varphi_{r\alpha} \\ \frac{Pm}{JT_r} (\varphi_{r\alpha} i_{s\beta} - \varphi_{r\beta} i_{s\alpha}) \end{bmatrix}$$

Alors l'observateur non linéaire peut être synthétisé de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \frac{d}{dt} \hat{i}_{s\alpha} \\ \frac{d}{dt} \hat{i}_{s\beta} \\ \frac{d}{dt} \hat{\varphi}_{r\alpha} \\ \frac{d}{dt} \hat{\varphi}_{r\beta} \\ \frac{d}{dt} \hat{\Omega}_r \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\gamma & 0 & \frac{K_S}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & -\gamma & 0 & \frac{K_S}{T_r} & 0 \\ \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{f}{JP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_{s\alpha} \\ \hat{i}_{s\beta} \\ \hat{\varphi}_{r\alpha} \\ \hat{\varphi}_{r\beta} \\ \hat{\Omega}_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma l_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma l_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \\ C_r \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} K_S P \hat{\Omega}_r \hat{\varphi}_{r\beta} \\ -K_S P \hat{\Omega}_r \hat{\varphi}_{r\alpha} \\ -P \hat{\Omega}_r \hat{\varphi}_{r\beta} \\ P \hat{\Omega}_r \hat{\varphi}_{r\alpha} \\ \frac{Pm}{JT_r} (\hat{\varphi}_{r\alpha} \hat{i}_{s\beta} - \hat{\varphi}_{r\beta} \hat{i}_{s\alpha}) \end{bmatrix} + LC \left(\begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \varphi_{r\alpha} \\ \varphi_{r\beta} \\ \Omega_r \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{i}_{s\alpha} \\ \hat{i}_{s\beta} \\ \hat{\varphi}_{r\alpha} \\ \hat{\varphi}_{r\beta} \\ \hat{\Omega}_r \end{bmatrix} \right) \tag{2.18}
 \end{aligned}$$

$$\hat{y}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_{s\alpha} \\ \hat{i}_{s\beta} \\ \hat{\varphi}_{r\alpha} \\ \hat{\varphi}_{r\beta} \\ \hat{\Omega}_r \end{bmatrix} \tag{2.19}$$

La matrice L est calculée d'après la résolution de LMI cité au premier chapitre.

2.9. Conclusion

La modélisation dans l'espace d'état des machines électriques est nécessaire pour pouvoir appliquer les techniques modernes d'observation non linéaire et de commande, essentiellement la commande sans capteurs ou plus exactement la commande utilisant un minimum de capteur dans un objectif d'augmenter la robustesse et la fiabilité des systèmes utilisant la machine asynchrone et par conséquent de réduire le coût des systèmes d'entraînement et de commande. En effet, la réduction du nombre de capteurs élimine les éventuelles défaillances qui seraient dues à ces capteurs. De plus, pour les systèmes d'entraînement embarqués l'encombrement se trouve réduit.

Chapitre 3 : Simulation et interprétation des résultats

Chapitre 3 : Simulation et interprétation des résultats

3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons expérimenter en simulation un observateur non linéaire. Tel que l'observateur de Luenberger non linéaire pour estimer le vecteur d'état d'un moteur asynchrone (courants statoriques, flux rotoriques et vitesse rotorique). Avant d'implanter l'observateur cité auparavant, nous allons tester le modèle de la machine asynchrone qui sera utilisé dans ce travail. Enfin, nous faisons une comparaison entre les résultats obtenus à l'observateur de Luenberger non linéaire avec le modèle de la machine. Les simulations ont été effectuées sous Matlab.

Les caractéristiques de la machine asynchrone bipolaire de puissance 1.5 Kw considérée dans cette simulation sont présentées dans le tableau (3.1) :

Grandeur	Valeur	Unité
Fréquence	50	Hertz (Hz)
Tension	220	Volts (V)
Résistance statorique	4.85	Ohms (Ω)
Résistance rotorique	3.805	Ohms (Ω)
Inductance statorique	0.274	Henry (H)
Inductance rotorique	0.274	Henry (H)
Inductance mutuelle	0.258	Henry (H)
Coefficient de frottement	$1.14 \cdot 10^{-3}$	N.s/rd
Moment d'inertie	0.031	Kg^2/s
Pulsation rotorique	297.25	rd/s

Tableau 3.1 : Caractéristiques de la machine asynchrone

Avant de passer à la technique d'observation et d'estimation des grandeurs non mesurables de notre machine, il est nécessaire de faire une étude sur sa dynamique. La figure 3.1 présente la tension d'alimentation des trois axes a, b, c. La figure 3.2 présente les tensions de commande suivant les deux axes α , β .

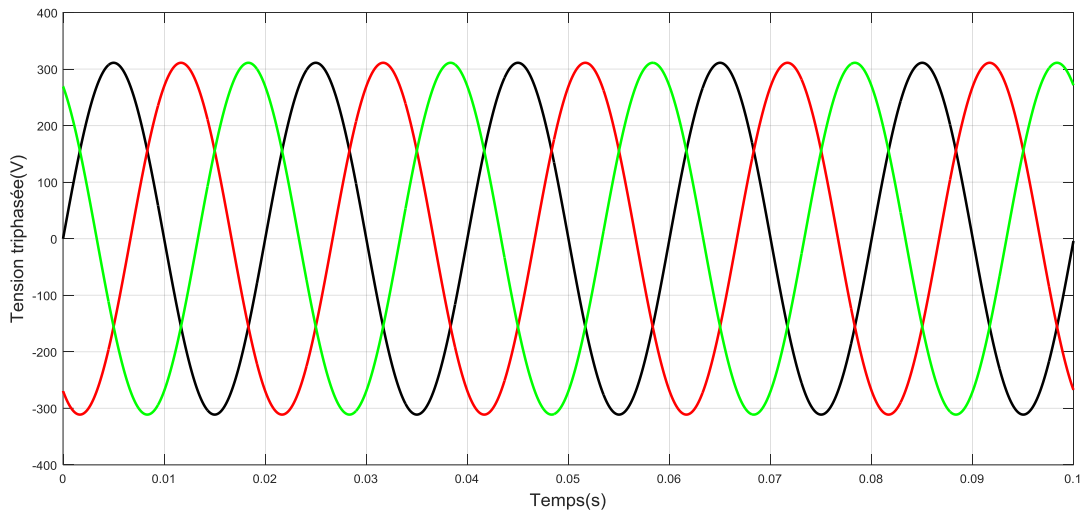


Fig 3.1 : Tension d'alimentation

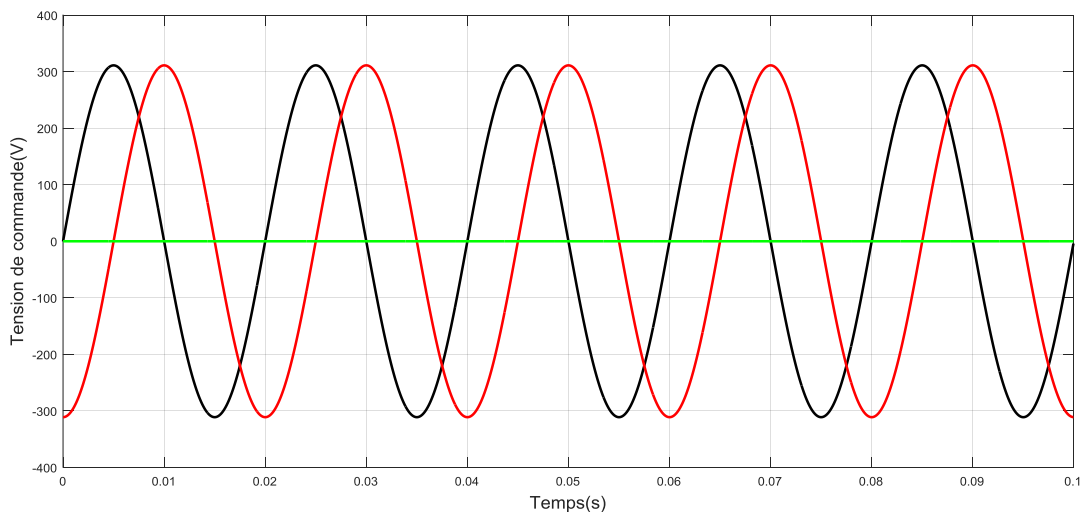


Fig 3.2 : Tension de Commande

3.2. Simulation de l'observateur de Luenberger non linéaire

Dans cette partie, nous allons expérimenter l'observateur de Luenberger non linéaire pour estimer le vecteur d'état (les courants statoriques, les flux rotoriques et la vitesse rotorique).

Le modèle d'état de notre machine dans le repère lié au stator s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \frac{d}{dt} i_{s\alpha} \\ \frac{d}{dt} i_{s\beta} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{r\alpha} \\ \frac{d}{dt} \varphi_{r\beta} \\ \frac{d}{dt} \Omega_r \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\delta & 0 & \frac{K_S}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & -\delta & 0 & \frac{K_S}{T_r} & 0 \\ \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{f}{JP} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \\ \varphi_{r\alpha} \\ \varphi_{r\beta} \\ \Omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_s} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{s\alpha} \\ u_{s\beta} \\ C_r \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} K_S P \Omega_r \varphi_{r\beta} \\ -K_S P \Omega_r \varphi_{r\alpha} \\ -P \Omega_r \varphi_{r\beta} \\ P \Omega_r \varphi_{r\alpha} \\ \frac{Pm}{JT_r} (\varphi_{r\alpha} i_{s\beta} - \varphi_{r\beta} i_{s\alpha}) \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Où $x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5]^T = [i_{s\alpha}, i_{s\beta}, \varphi_{r\alpha}, \varphi_{r\beta}, \Omega_r]^T$: Le vecteur d'état de la machine asynchrone

$u(t) = [u_{s\alpha}, u_{s\beta}, C_r]^T$: Le vecteur de commande de la machine.

$y(t) = [i_{s\alpha}, i_{s\beta}]^T$: Le vecteur mesurable de sortie.

En tenant compte des valeurs numériques des différents paramètres de la machine cités dans le tableau 1, on peut obtenir facilement les matrices numériques suivantes du modèle de la machine asynchrone :

$$A = \begin{bmatrix} -264.7163 & 0 & 420.9129 & 0 & 0 \\ 0 & -264.7163 & 0 & 420.9129 & 0 \\ 3.5828 & 0 & -13.8869 & 0 & 0 \\ 0 & 3.5828 & 0 & -13.8869 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0183 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 32.1898 & 0 & 0 \\ 0 & 32.1898 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -32.2580 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Le premier pas de simulation consiste à la résolution des conditions de LMI (1.50),

En utilisant l’outil LMI existant dans le LMI toolbox de logiciel Matlab, nous obtenons la matrice de gain L de d’observateur non linéaire et la constante de Lipschitz γ :

$$L = \begin{bmatrix} 0.0035 & 0 \\ 0 & 0.0035 \\ 0.0162 & 0 \\ 0 & 0.0162 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ et } \gamma = 0.1026 ;$$

La matrice de Lyapunov correspondante de ce test de faisabilité LMI est :

$$P = \begin{bmatrix} 1.4748 & 0 & 0.3782 & 0 & 0 \\ 0 & 1.4748 & 0 & 0.3782 & 0 \\ 0.3782 & 0 & 0.2979 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3782 & 0 & 0.2979 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0896 \end{bmatrix}$$

La deuxième étape de simulation consiste à l’injection des valeurs numériques obtenues de la matrice gain L dans l’expression de l’observateur (2.18) et (2.19).

A l’aide de la fonction S-function et Matlab simulink. Le système non linéaire de la machine et l’observateur de Luenberger non linéaire sont simulés comme il est indiqué dans la figure 3.3, en tenant compte des conditions initiales de la machine $x_0 = [0.3,0.4,0.2,0.1,0]^T$.

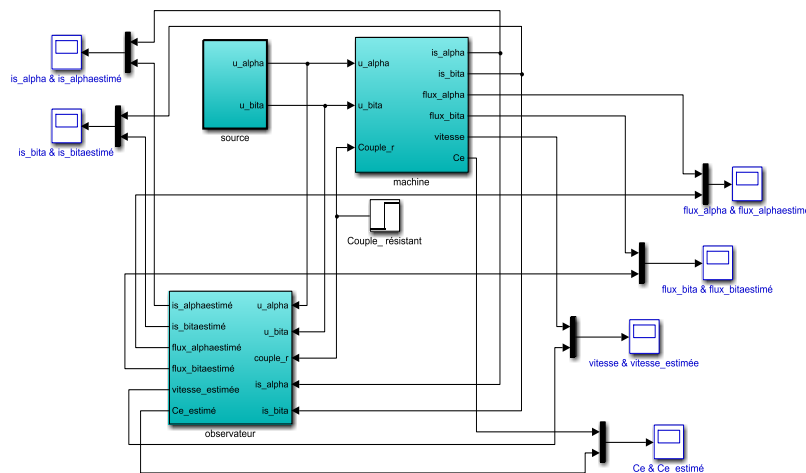


Fig 3.3 : Bloc de simulation

Les figures 3.4 à 3.9 représentent respectivement les variables d'états estimées à savoir : les courants statoriques, les flux rotoriques, la vitesse de rotation et le couple électromagnétique, les figures 3.10 et 3.11 présentent respectivement la vitesse et le couple électromécanique où on a appliqué une charge de 5 N.m et la figure 3.12 présente la vitesse de rotation en deux sens ; Il est clair que dans chaque figure, présente la différence entre la valeur mesurée et la valeur estimée de la variable d'état de la machine, dans celles-ci on remarque que la courbe de la grandeur estimée suit l'allure de la grandeur de référence et on peut voir que l'erreur d'estimation est nul après le régime transitoire, ceci confirme que l'observateur de Luenberger non linéaire estime parfaitement les variables d'état non mesurables de la machine asynchrone considérée.

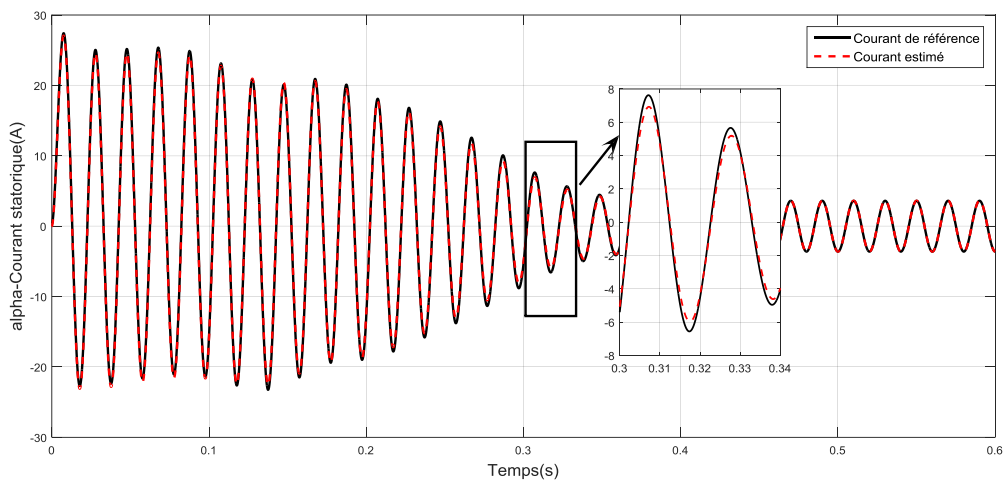


Fig 3.4 : Courant statorique de référence et estimé suivant l'axe α

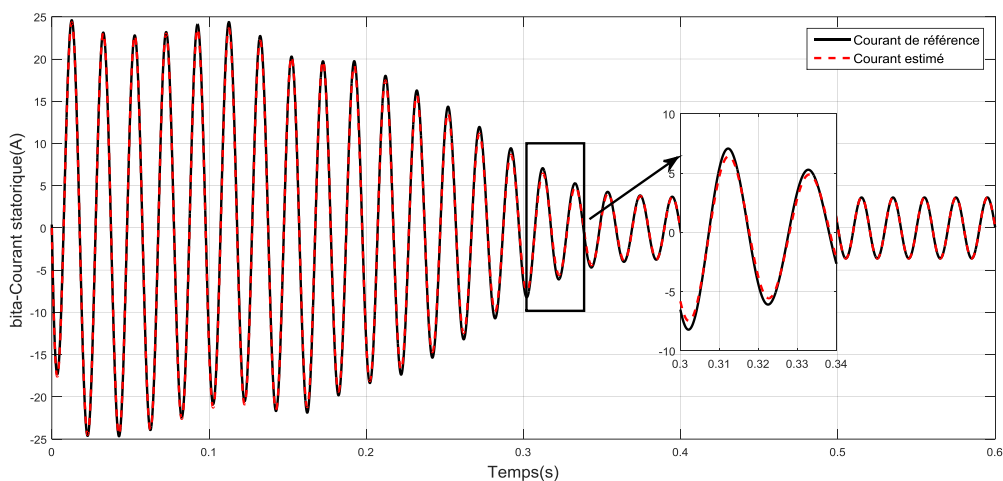


Fig 3.5 : Courant statorique de référence et estimé suivant l'axe β

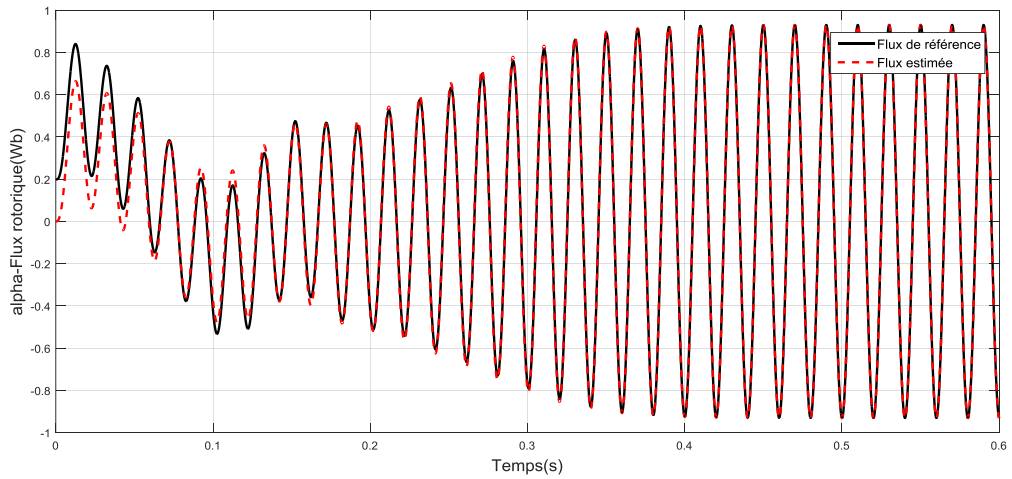


Fig 3.6 : Flux rotorique de référence et estimé suivant l'axe α

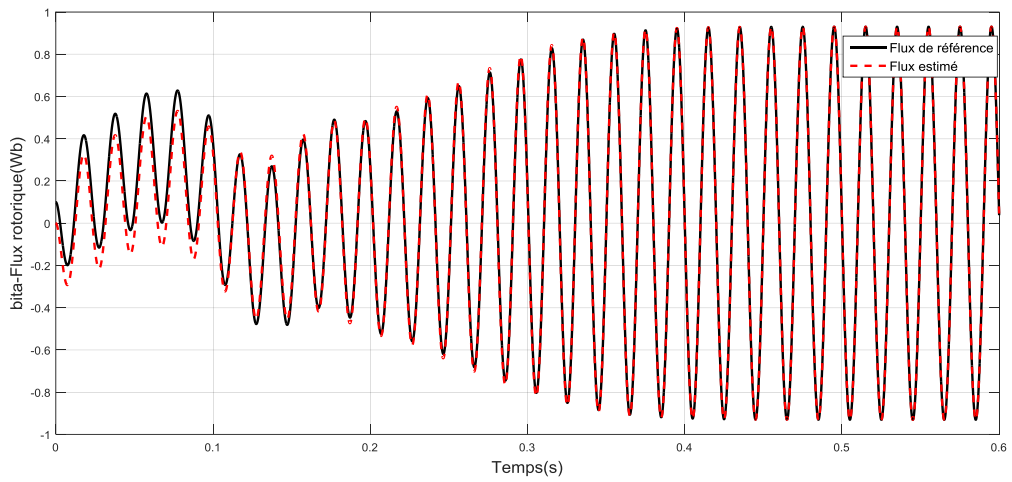


Fig 3.7 : Flux rotorique de référence et estimé suivant l'axe β

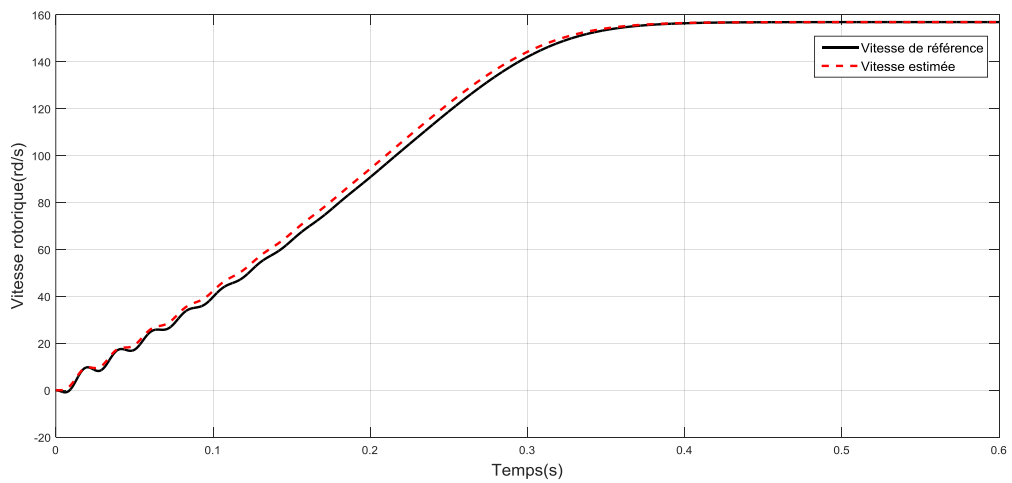


Fig 3.8 : Vitesse mécanique rotorique de référence et estimée

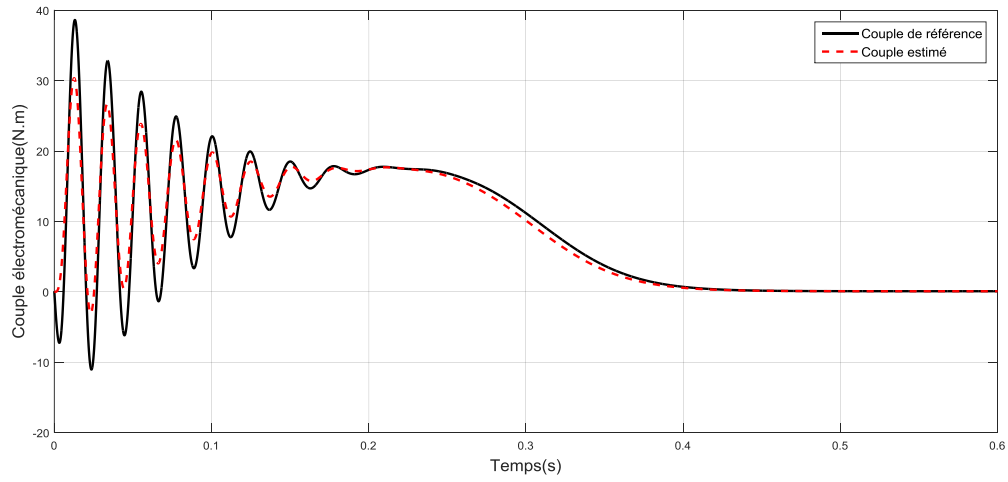


Fig 3.9 : Couple électromécanique de référence et estimé

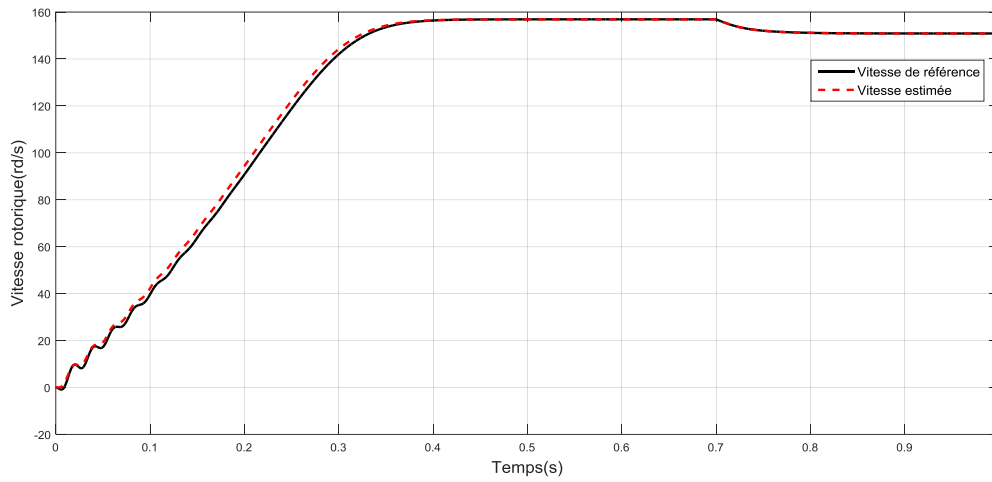


Fig 3.10 : Vitesse rotorique de référence et estimée (application d'une charge à l'instant $t=0.7$)

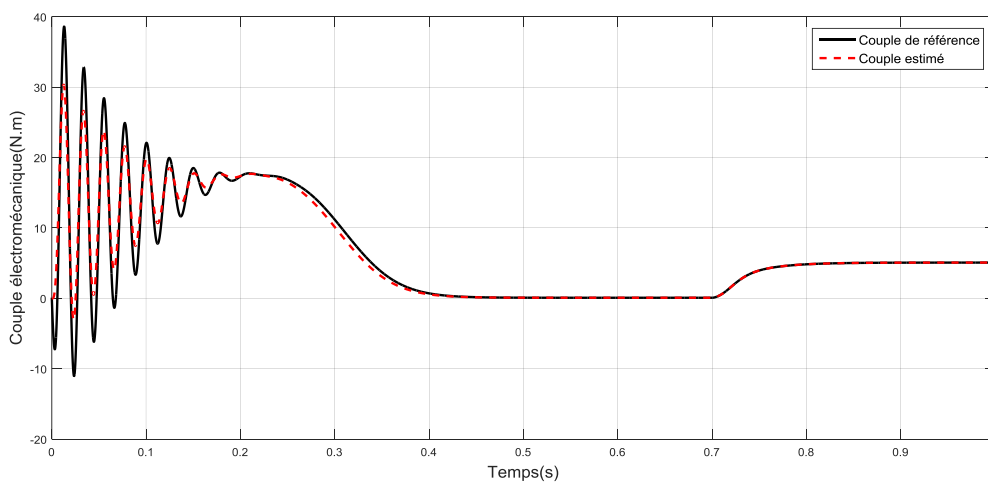


Fig 3.11: Couple électromécanique de référence et estimé (application d'une charge à l'instant $t=0.7$)

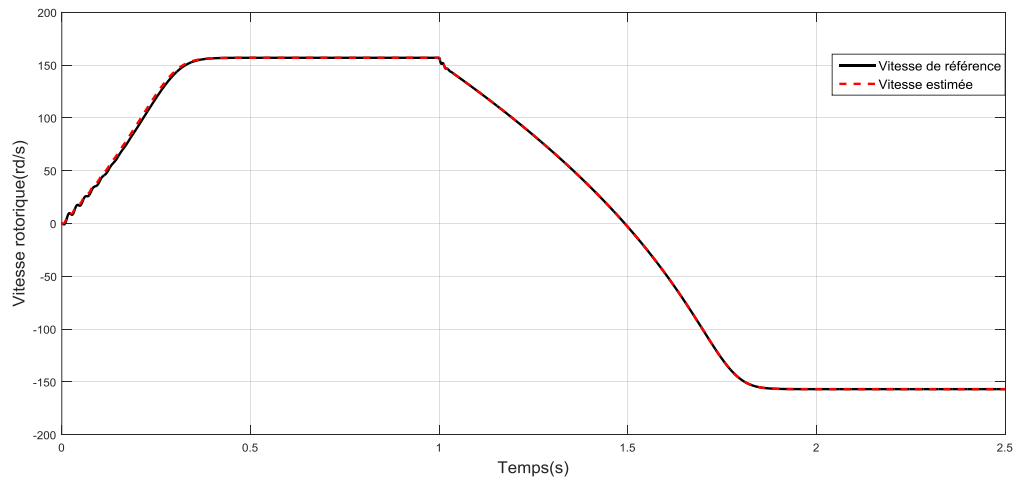


Fig 3.12 : Vitesse mécanique rotorique de référence et estimée en deux sens

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons testé l'observateur de Luenberger non linéaire. L'analyse des résultats obtenus, montre que les variables d'état estimés suivent leurs références en régime établi et restent très proches de ses références dans le régime transitoire. L'avantage principal de l'approche de l'observateur de Luenberger est qu'il permet d'exploiter directement les non linéarités de système sans essayer de les éliminer. Cependant, il introduit des matrices inégalités matricielles linéaires LMIs comme conditions de convergence de l'observateur, la résolution des LMIs détermine la matrice gain de l'observateur non linéaire.

L'analyse des différentes figures met en évidence que l'observateur non linéaire synthétisé, estime de façon efficace les variables d'état non mesurées et s'adapte aux variations du couple de charge. Par conséquent ils peuvent être exploités pour le choix d'une stratégie de commande sans capteur de la machine asynchrone ou le choix d'une procédure de surveillance de son fonctionnement.

Conclusion générale

Conclusion générale

La commande basé sur l'utilisation des capteurs logiciels est en plein évolution, cette évolution a pour but de réduire les capteurs et leurs inconvénients tel que : encombrement, fragilité, cout, ...etc.

Lors de ce mémoire, on a montré que les estimateurs ou capteurs logiciels peuvent être remplacent les capteurs matériels. Cette approche d'estimation des mesures des variables d'intérêt contribue aussi à l'amélioration de la fiabilité du système global qu'il soit linéaire ou non linéaire. A titre d'exemple d'application de ces estimateurs, nous avons sélectionné le moteur asynchrone tant que un système non linéaire et multi-variable.

Notre contribution se situe au niveau des techniques non linéaire. Dans ce cas l'observateur de Luenberger non linéaire a été présenté du point de vue théorique et mis en œuvre en simulation. On a conclu les résultats suivants :

- Un modèle non linéaire est utilisé dans le cas d'observateur de Luenberger non linéaire pour l'estimation des grandeurs d'état de la machine tel que flux et la vitesse donne des résultats très performants. Le gain d'estimation de cet observateur est calculé par la résolution de LMI.
- On peut dire que cette technique d'observation ou d'estimation linéaire ou non linéaire permettent de réaliser la commande de la machine asynchrone en utilisant un minimum de capteurs, c'est-à-dire, en se basant sur un algorithme d'estimation qui remplacera le capteur matériel.

Enfin Ceci permet d'augmenter la fiabilité des systèmes d'entraînement par réduction du nombre de capteurs matériels, et faire l'amélioration et la robustesse de la machine asynchrone.

Références

Références

- [1] Sediki Hamid, contribution à la synthèse d'observateurs des systèmes non linéaires. Application à la commande des machines électriques et réalisation d'un banc d'essai, thèse de doctorat (2010), Université Mouloud Mammeri, Tizi-ouzou.
- [2]http://imss-www.upmf_grenoble.fr/prevert/MathSHS/MASS1/Alg2/Cours/Chap7.htm
- [3] Merahi Kamel, Estimation d'Etat et Diagnostic de Fonctionnement des Systèmes non Linéaires, mémoire de magister (2010), Université Badji Mokhtar- Annaba.
- [4] Khalfa karima, Etude comparative des observateurs d'état du moteur asynchrone, mémoire de Master (2015), Université des frères Mentouri- Constantine.
- [5] Dissa Abddenour, Contrôle directe de couple d'un moteur à induction sans capteur de vitesse associée à un observateur non linéaire, mémoire de magister (2010), Université El hadj Lakhdar Batna.
- [6] BourbiaWafa, Etude Comparée des Estimateurs de Vitesse pour la Commande de la Machine Asynchrone, thèse de doctorat (2006), Université Badji Mokhtar-Annaba.
- [7] Berbouchi Khalil, Bouragaa Slimane, Commande vectorielle de la machine asynchrone à double alimentation intégrer dans un système éolien, mémoire de master (2018), Université Ahmed Draïa - Adrar.
- [8] Bouchareb Hanane, Observateur non linéaire mode glissant, mémoire de magister (2013), Université Ferhat Abbas -Sétif 1.
- [9] Amieur Toufik, Commande des Systèmes Non Linéaires par Mode Glissant Flou, mémoire de magister (2009), Université Mohamed Kheider - Biskra.
- [10] Benzahia Yasmina, Observateurs non linéaires : application sur un TRMS, mémoire de master (2016), Université Mohamed Boudiaf - M'sila.
- [11] Discrete-time nonlinear observer design using functional equations, *Systems & Control Letters(Elsevier)* vol.42 (2001) 81-94.