

REGLAGE DE LA VITESSE D'UNE MACHINE ASYNCHRONE PAR LOGIQUE FLOU ET CONVENTIONNEL

R. Lalalou⁽¹⁾, T. Bahi⁽¹⁾
& N.E. Debbache⁽²⁾

⁽¹⁾Département d'Electrotechnique

⁽²⁾Département d'Electronique

Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Badji Mokhtar, 23000, Annaba

Abstract

Performances assured by the conventional regulator of the variable speed drive may be insufficient in controlling systems subjected to variations parameters.

This paper, present a performances comparison between conventional control and fuzzy logic, applicated for induction machine.

We present at first the modelisation of the asynchronous machine and principle of the control by for its application to the command of the speed. After the simulations of behaviours the state variables and the characteristic parameters variation of the machine. Finally, a comparative study between the two techniques of the control allowing to evaluate theirs sensibilities to parametric variations.

Résumé

Les performances assurées par le réglage conventionnel des entraînements électriques à vitesse variable sont limitées par la variation des paramètres de la machine.

Cet article présente le réglage de la vitesse d'une machine asynchrone à cage par la commande à logique floue et la commande conventionnelle. Les résultats de simulations des comportements des variables d'état lors de démarrage et de la variation des paramètres de la machine pour les deux techniques de commande sont présentés. Une étude comparative de ces résultats permettant d'estimer la sensibilité des commandes aux variations paramétriques termine ce papier.

Mots clés Logique floue, machine asynchrone, sensibilité.

1- Introduction

La commande des machines électriques est devenue un domaine de recherche très actif durant ces trois dernières décennies. Cet intérêt est motivé par le fait que les machines électriques constituent l'actionneur peu coûteux et peu encombrant pour le plus part des entraînements industriels.

Le moteur asynchrone présente des difficultés quant à sa commande à cause de son modèle non linéaire et fortement couplé [1]. La commande par flux orienté [2] permet de découpler et de commander séparément le flux et le couple. Ainsi, en intégrant cette stratégie de commande dans le schéma de contrôle de la machine

Asynchrone, elle se comporte comme une machine à courant continu à excitation séparée. Toutefois, cette commande présente une grande sensibilité aux variations des paramètres de la machine et en particulier la résistance rotorique. Cette

résistance est difficilement mesurable dans le cas d'un moteur à cage. Alors, toute imprécision entre les paramètres qui sont utilisés dans l'algorithme de la machine se traduit par un mauvais découplage entre le flux et le couple. Grâce à la commande vectorielle, des régulateurs Proportionnel Intégral (PI) présentent des performances limitées en raison de la complexité réelle des non linéarités du système. Or, selon le principe de la théorie des ensembles flous, les contrôleurs basés sur la stratégie de réglage par logique floue [3] s'adaptent mieux pour le contrôle de la machine asynchrone grâce à son aptitude à techniques classiques et modernes de commande peuvent être appliquées à la machine asynchrone. Les réglages conventionnels à base de appréhender les problèmes pour lesquels les réglages conventionnels sont mal adaptés. Ce travail présente les potentialités offertes par la logique floue au réglage de la vitesse de la machine asynchrone à cage par rapport au réglage conventionnel.

2 Structure de la commande

Le modèle de la machine est établi en considérant les hypothèses simplificatrices à savoir que la machine est symétrique fonctionnant en régime non saturé et que les différentes pertes sont négligeables.

Dans le repère de Park, la représentation d'état de la machine asynchrone est un modèle non linéaire couplé :

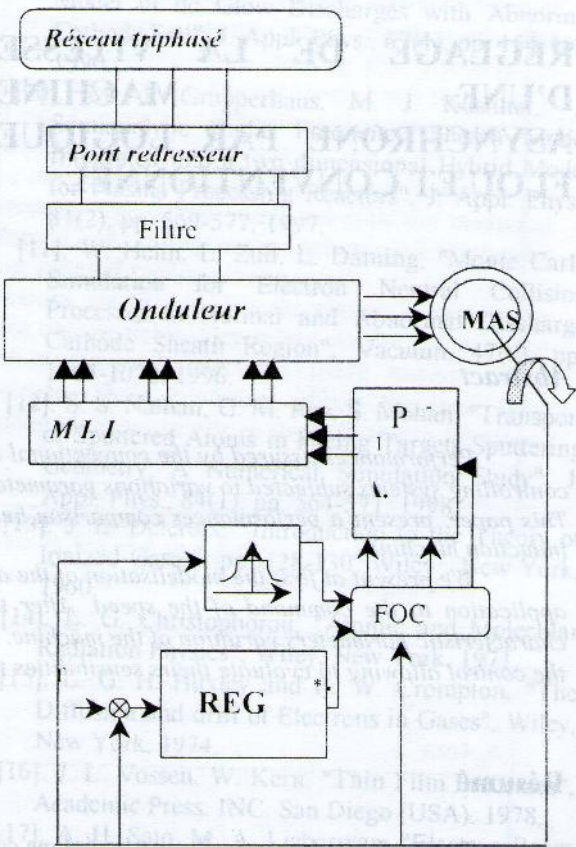
$$\begin{aligned} \frac{di_{ds}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} [-(R_s + L_m^2 R_r / L_r^2) i_{ds} + \sigma L_s \omega_s i_{qs} + (L_m R_r / L_r^2) \Phi_{dr} + (L_m / L_r) \Phi_{qr} \omega_m + V_{ds}] \\ \frac{di_{qs}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} [-(R_s + L_m^2 R_r / L_r^2) i_{qs} - \sigma L_s \omega_s i_{ds} - (L_m / L_r) \Phi_{dr} \omega_m + L_m R_r / L_r^2 \Phi_{qr} + V_{qs}] \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} &= (L_m R_r / L_r) i_{ds} - (R_r / L_r) \Phi_{dr} + (\omega_s - \omega_m) \Phi_{qr} \\ \frac{d\Phi_{qr}}{dt} &= (L_m R_r / L_r) i_{qs} - (R_r / L_r) \Phi_{qr} + (\omega_s - \omega_m) \Phi_{dr} \\ \frac{d\omega}{dt} &= (p^2 L_m / J L_r) (\Phi_{dr} i_{qs} - \Phi_{qr} i_{ds}) - K_f \omega_m / J - p C_r / J \\ C_{em} &= (p L_m / L_r) (\Phi_{dr} i_{qs} - \Phi_{qr} i_{ds}) \end{aligned}$$

Pour découpler le flux du couple et pouvoir les commander séparément, nous optons pour l'orientation du flux rotorique en choisissant un référentiel d-Ω_{rf} de telle sorte que l'axe « d » coïncide avec le vecteur du flux rotorique (Φ_r). Dans ce cas, la composante en quadrature du flux rotorique est nulle et le modèle de la machine devient :

$$\begin{aligned} \frac{di_{ds}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} [-(R_s + L_m^2 R_r / L_r^2) i_{ds} + \sigma L_s \omega_s i_{qs} + (L_m R_r / L_r^2) \Phi_{dr} + (L_m / L_r) \Phi_{qr} \omega_m + V_{ds}] \\ \frac{di_{qs}}{dt} &= \frac{1}{\sigma L_s} [-(R_s + L_m^2 R_r / L_r^2) i_{qs} - \sigma L_s \omega_s i_{ds} - (L_m / L_r) \Phi_{dr} \omega_m + L_m R_r / L_r^2 \Phi_{qr} + V_{qs}] \\ \frac{d\Phi_{dr}}{dt} &= (L_m R_r / L_r) i_{ds} - (R_r / L_r) \Phi_{dr} \\ \frac{d\omega}{dt} &= (p^2 L_m / J L_r) (\Phi_{dr} i_{qs}) - K_f \omega_m / J - p C_r / J \\ C_{em} &= (p L_m / L_r) (\Phi_{dr} i_{qs}) \end{aligned}$$

Dans le cas d'une régulation de la vitesse, il suffit d'y adjoindre au modèle précédent, d'une part un régulateur pour la boucle de vitesse, et d'autre part un contrôle du flux rotorique par réaction à travers un bloc de défluxage défini par la non linéarité suivante :

$$\begin{aligned} \Phi_{ref} &= \Phi_{rn} & \text{si } |\Omega_r| &\leq \Omega_{rn} \\ \Phi_{ref} &= \Phi_{rn} - \Omega_{rn} / \Omega_r & \text{si } |\Omega_r| > \Omega_{rn} \end{aligned}$$



2. Figure 1 Schéma bloc de commande

3 Réglage par logique floue

3.1 Généralité

L'idée principale du réglage par logique floue RLF est la règle de commande linguistique. Il est conçu pour produire une sortie floue constituant la base de connaissance sur le processus à régler. Les antécédents et les conséquences de ces règles sont des ensembles flous. L'intérêt de cette commande provient du fait que la théorie des ensembles flous permet de traiter et de raisonner à l'aide de variables qui intègrent la notion d'imprécision, d'incertitude, des appréciations subjectives ou encore des quantifications linguistiques ; ce qui permet au contrôleur flou d'être conçu pour remplacer un opérateur humain expérimenté.

Les contrôleurs à logique floue ont donné d'excellents résultats pour la commande des systèmes non linéaires et à paramètres variables [3,4].

3.2 Contrôleur à logique floue

L'origine du développement de la théorie du contrôle flou en boucle fermée a été le contrôle de processus basé sur la connaissance de l'opérateur. La figure 2

montre le schéma synoptique général d'un contrôleur flou.

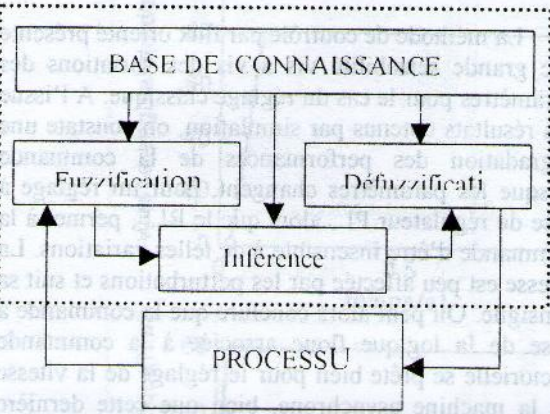


Figure 2: synoptique d'un contrôleur flou

Il est composé :

- a) une base de connaissances composées d'une base de données fournissant les définitions nécessaires utilisées pour définir les règles de contrôle linguistique et la manipulation des données floues dans le contrôleur.
- b) une interface de fuzzification dont le rôle est de définir les fonctions d'appartenance pour les variables d'entrées. Elle réalise le passage des grandeurs physiques en variables linguistiques qui peuvent ainsi être traitées par les règles d'inférence.
- c) L'interface de défuzzification fournissant une action physique de contrôle à partir d'une action de contrôle flou. Pour cette étude nous utilisons la méthode du centre de gravité [5].
- d) L'inférence ou la prise de décision est le noyau du contrôleur flou. Elle est capable de simuler la prise de décision de l'être humain en se basant sur les concepts flous et les règles d'inférence.

Pour une raison de simplification et pour avoir le même effet de réglage dans les deux sens de rotation nous utilisons des fonctions d'appartenance triangulaires avec intersection de 50% placées symétriquement par rapport à zéro.

La figure 3 montre que les intervalles d'intérêt des variables d'entrée : l'erreur de vitesse, la variation de l'erreur et de la sortie sont subdivisés en sept classes.

L'erreur de la vitesse est normalisée dans un univers de discours de $[-0.1, +0.1]$. Celui de la dérivée de l'erreur est $[-0.06, +0.06]$. Enfin, l'univers du discours de la variable de sortie qui représente le couple de référence dans notre cas est normalisé entre $[-0.75, +0.75]$.

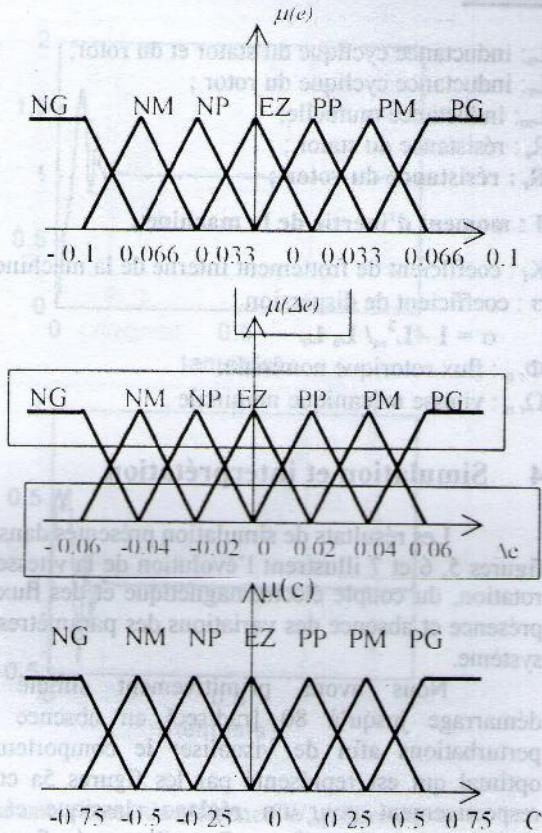


Figure 3 : fonctions d'appartenance

3.3 Matrice des inférences

La méthode d'inférence retenue est la méthode min/max [6]. La description des inférences est illustrée par la table de la figure 4.

$\Delta e / e$	NG	NM	NP	EZ	PP	PM	PG
NG	NG	NM	NP	EZ	PP	PM	PG
NM	NG	NM	NP	EZ	PP	PM	PG
NP	NG	NP	NP	EZ	PP	PP	PM
EZ	NM	NP	NP	EZ	PP	PP	PM
PP	NP	EZ	EZ	EZ	PP	PP	PG
PM	EZ	EZ	EZ	PP	PM	PM	PG
PG	EZ	EZ	EZ	PP	PM	PM	PG

Figure 4 : matrice d'inférence

Paramètres de la machine :

$R_r = 0.305 \, \Omega$ $R_s = 4.85 \, \Omega$ $P=2$
 $L_r = L_s = 0.274 \, H$ $L_m = 0.258 \, H$
 $J = 0.031 \, Kg.m^2$ $U = 220 \, V$

Index:

L_s : inductance cyclique du stator et du rotor;

L_r : inductance cyclique du rotor ;

L_m : inductance mutuelle;

R_s : résistance du stator ;

R_r : résistance du rotor ;

J : moment d'inertie de la machine ;

K_f : coefficient de frottement interne de la machine ;

σ : coefficient de dispersion

$$\sigma = 1 - L_m^2 / L_s L_r$$

Φ_{rn} : flux rotorique nominale;

Ω_{rn} : vitesse mécanique nominale .

4 Simulation et interprétation

Les résultats de simulation présentés dans les figures 5, 6 et 7 illustrent l'évolution de la vitesse de rotation, du couple électromagnétique et des flux en présence et absence des variations des paramètres du système.

Nous avons primitivement simulé un démarrage jusqu'à 80 [rad/sec] en absence des perturbations afin de visualiser le comportement optimal qui est représenté par les figures 5a et 5b respectivement pour un réglage classique et un réglage par logique floue. Par ailleurs, la figure 6 résume l'effet de la variation du moment d'inertie sur le comportement des grandeurs de la machine lors d'un démarrage. On note que pour une augmentation du moment d'inertie de deux fois sa valeur nominale, la vitesse n'atteint pas sa valeur de consigne pour le réglage classique, ce qui présente une erreur statique non négligeable. Par contre, pour le réglage flou, la vitesse atteint la vitesse de référence en un temps plus court et se stabilise à cette valeur. Enfin, les figures 7a et 7b montrent les effets de l'augmentation de la résistance rotorique de 50%. On remarque que pour le réglage classique, cette augmentation provoque une augmentation de la composante quadratique du flux rotorique alors que le couple subit une légère déformation et la composante directe du flux subit une diminution. On constate alors la perte du découplage et une diminution des performances dynamiques. Contrairement, l'influence de ce type de variation n'est presque pas perceptible dans le cas du réglage par logique floue.

Conclusion

La méthode de contrôle par flux orienté présente une grande sensibilité vis à vis des variations des paramètres pour le cas du réglage classique. A l'issue des résultats obtenus par simulation, on constate une dégradation des performances de la commande lorsque les paramètres changent, pour un réglage à base de régulateur PI ; alors que le RLF, permet à la commande d'être insensible à de telles variations. La vitesse est peu affectée par les perturbations et suit sa consigne. On peut alors conclure que la commande à base de la logique floue associée à la commande vectorielle se prête bien pour le réglage de la vitesse de la machine asynchrone, bien que cette dernière présente un modèle non linéaire assez complexe et qu'elle révèle une meilleure robustesse par rapport aux perturbations générées.

5 Bibliographie

- [1] A.Addkins, RG.Harley The General theory of alternating current machines ». Capman and Hall 1975.
- [2] M.L.Mazenc « les techniques de commande vectorielle des machines asynchrones destinées à la variation de la vitesse à haute performance ». Direction des études et recherche, département de machine électrique. EDF 1992.
- [3] Li zhen and Longya Xu, Senior Member, IEEE « on -line fuzzy tuning of indirect field-oriented induction machine drives ». IEEE trans, pp.134-141 vol 13, N°1, January1998.
- [4] E. Cerruto, A. Consoli, A. Raciti, and A. Testa, «Adaptive fuzzy Control of high performance motion systems ». in proc. IEEE IECON Conf. Rec., San Diego, CA, Nov. 9-13, 1992, pp. 88-94
- [5] Hansruedi Buhler « Réglage par logique floue ». Traité d'électricité; presse.
- [6] E.Erruto, A. Consoli, A. Raciti, A. Testa « Adaptive fuzzy control of high performance motion system ». proc IEEE IECON San Diego, Nov 1992, pp :88-94

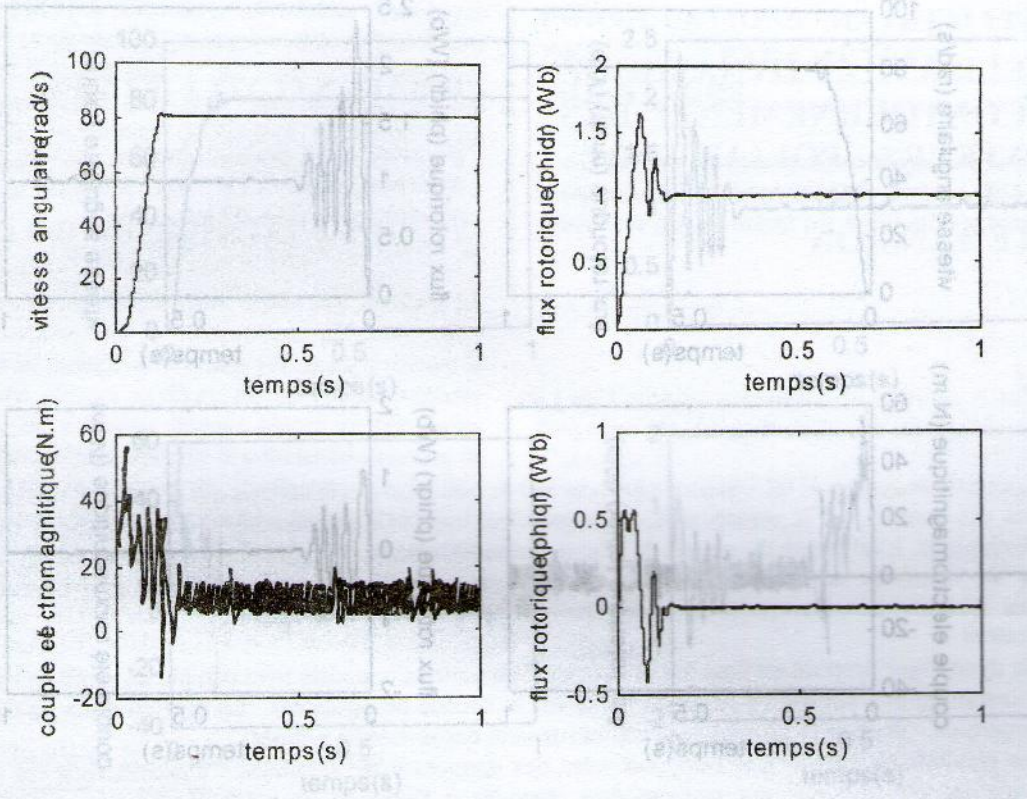


Figure 5.a démarrage lors du réglage classique pour une vitesse de référence $W_{ref}=80\text{rad/s}$

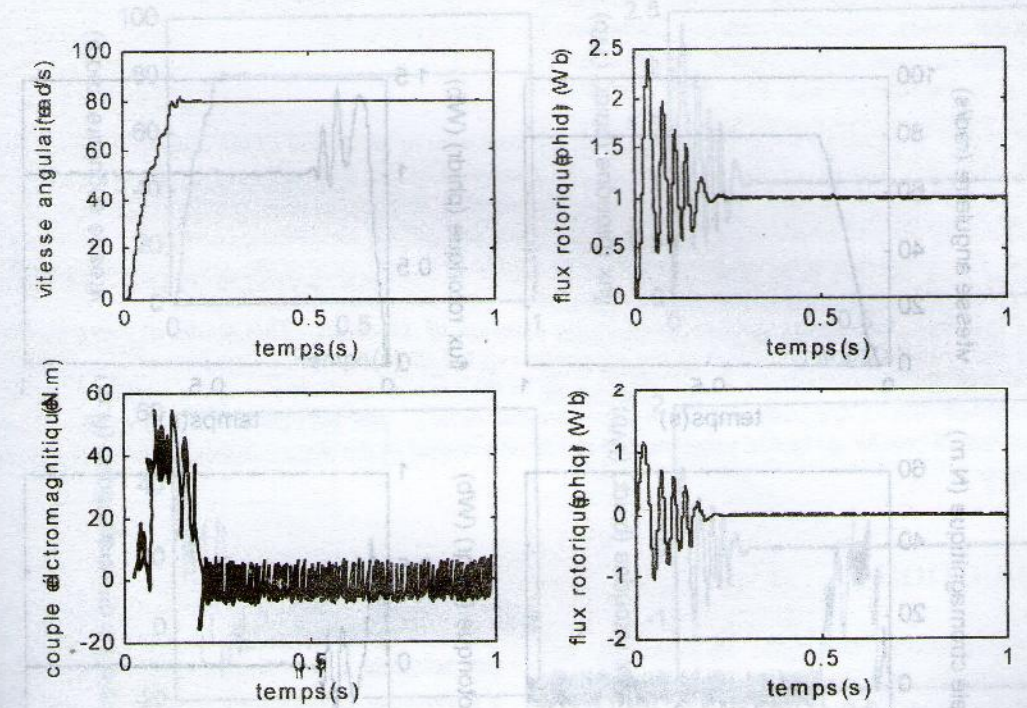


Figure 5.b démarrage lors du réglage flou pour une vitesse de référence $W_{ref}=80\text{rad/s}$

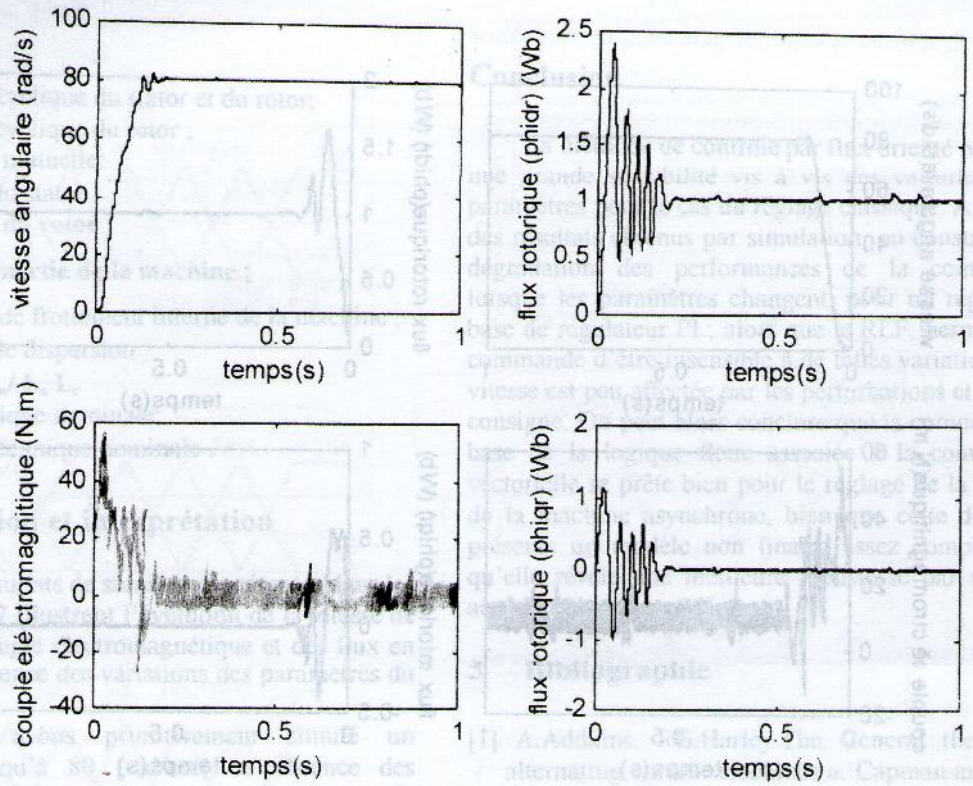


Figure 6 a Réglage classique lors de la variation du moment d'inertie de $100\% \cdot J_n$

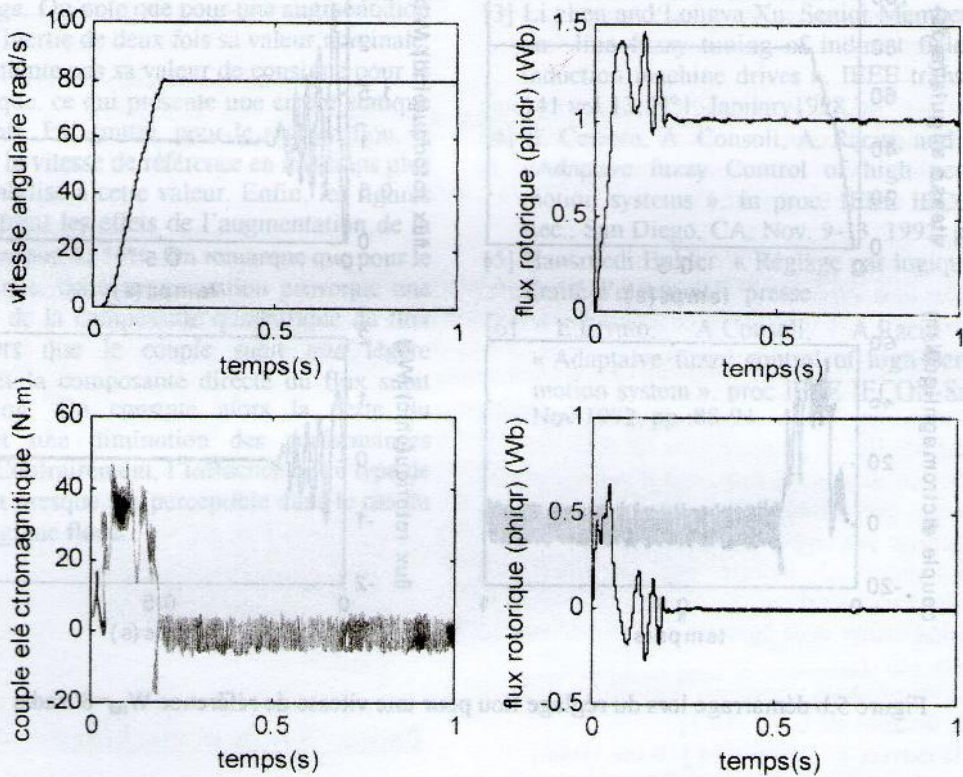


Figure 6.b Réglage flou lors de la variation du moment d'inertie de $100\% \cdot J_n$

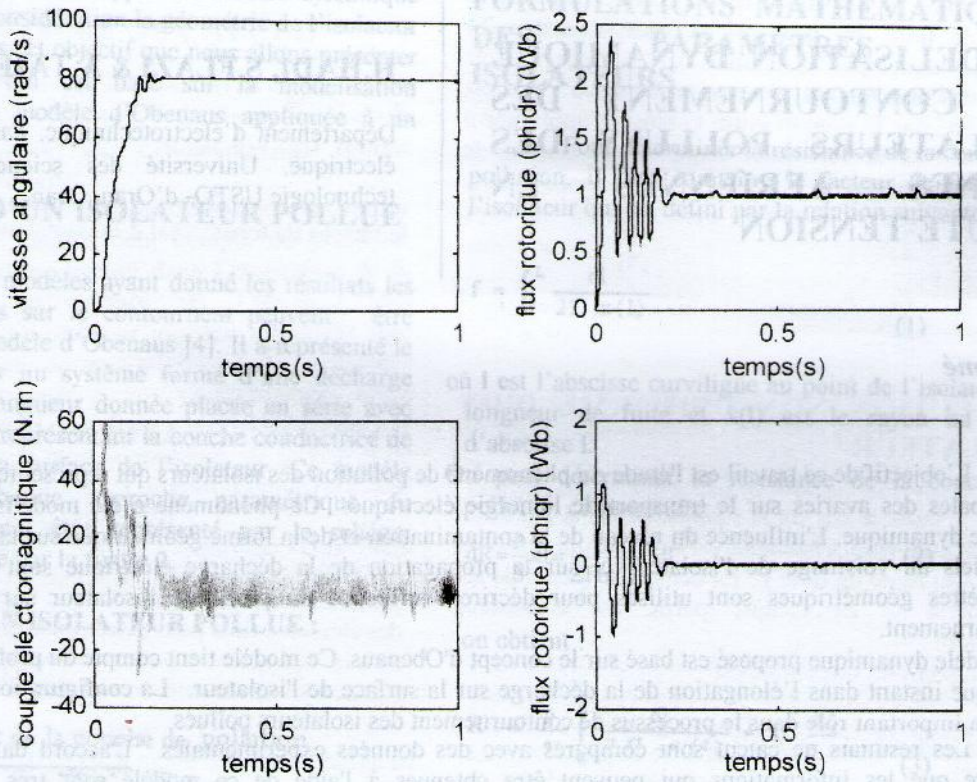


Figure 7.a Réglage classique lors de la variation de la résistance rotorique de $50\% \cdot R_r$

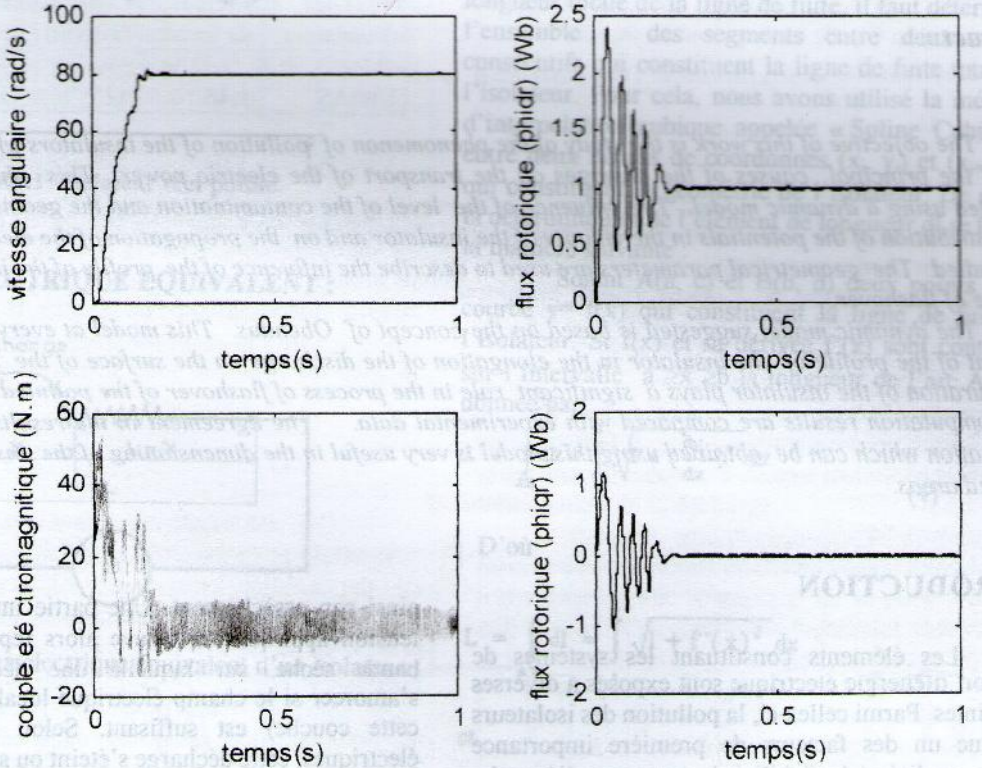


Figure 7.b Réglage flou lors de la variation de la résistance rotorique de $50\% \cdot R_r$