



HAL
open science

Méthodologie pour la conception d'observateurs basée sur l'enregistrement de données à hautes fréquences en temps réel

Samar Alhaj Hassan, Romain Delpoux, Lubin Kerhuel, Vincent Léchappé,
Xavier Brun

► To cite this version:

Samar Alhaj Hassan, Romain Delpoux, Lubin Kerhuel, Vincent Léchappé, Xavier Brun. Méthodologie pour la conception d'observateurs basée sur l'enregistrement de données à hautes fréquences en temps réel. CONGRÈS ANNUEL DE LA SAGIP, May 2024, VILLEURBANNE, France. hal-04591837

HAL Id: hal-04591837

<https://hal.science/hal-04591837v1>

Submitted on 29 May 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Société d'Automatique,
de Génie Industriel & de Productique

Méthodologie pour la conception d'observateurs basée sur l'enregistrement de données à hautes fréquences en temps réel

Samar ALHAJ HASSAN¹, Romain DELPOUX¹, Lubin KERHUEL²,
Vincent LECHAPPE¹, Xavier BRUN¹

¹ INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Ecole Centrale de Lyon, CNRS, Ampère,
UMR5005, 69621 Villeurbanne, France

samar.alhaj-hassan@insa-lyon.fr romain.delpoux@insalyon.fr
vincent.lechappe@insa-lyon.fr xavier.brun@insa-lyon.fr

² Microchip Technology
Lubin.Kerhuel@microchip.com

Mots-clés : *Automatique, Observateurs, Méthodologie de conception*

1 Introduction

Les observateurs sont souvent utilisés pour compléter ou remplacer les capteurs dans les systèmes industriels. Leur synthèse peut s'avérer compliquée en fonction de la connaissance du système, sa complexité, la variation de ses paramètres. . .

L'approche la plus complète serait de faire un modèle qui prenne en compte les incertitudes des paramètres et les contraintes d'implémentation et d'instrumentation : quantification, bruits de mesure, précisions des capteurs, retards... Cependant, cela peut vite conduire à des modèles complexes, très spécifiques à l'application et lents à simuler.

Ce papier présente une méthodologie pour un développement plus rapide d'observateurs en Boucle Ouverte (BO) (l'observateur est utilisé pour estimer les grandeurs) avant le passage en Boucle Fermée (BF) (les estimations sont utilisées dans le contrôle à la place des grandeurs mesurées). Des enregistrements à hautes fréquences (20 kHz) sont effectués en temps réel sur le microcontrôleur, et utilisés comme entrées pour affiner et valider l'observateur en simulation. Cela permet de prendre en compte les contraintes d'implémentation le plus tôt possible dans le processus de développement. Cela permet de s'affranchir des approximations de modélisation. La simulation utilisant ces données enregistrées, présente plusieurs avantages :

- accélérer la vérification en BO : une simulation à pas fixe est plus rapide que les tests sur bancs,
- minimiser de réglages sur banc, puisque les données utilisées sont plus proches du comportement embarqué,
- avoir un benchmark unifié pour la comparaison hors ligne de différents observateurs,
- prendre en compte les contraintes d'implémentation pour la validation en BO de l'observateur sans carte de contrôle physique.

L'approche suggérée est illustrée par la conception d'un observateur d'angle rotorique pour la commande sans capteur mécanique d'une Machine Synchrone à Aimants Permanents (MSAP).

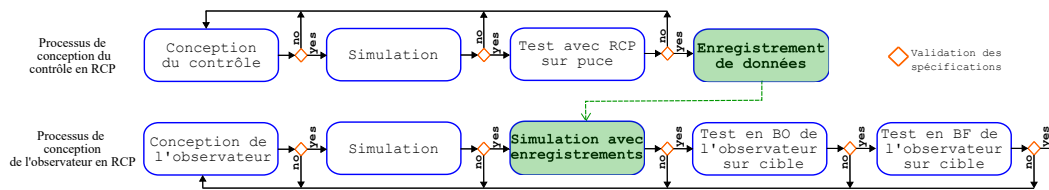


FIG. 1 – Méthodologie proposée pour la conception d'observateur

La solution est mise en œuvre sur un banc de test, en utilisant un dsPIC, microcontrôleur industriel à faible coût, avec Prototypage Rapide (PR) sur Matlab/Simulink.

Cette méthode est limitée à la validation de l'observateur en BO, vu que l'utilisation des estimations dans le contrôle modifie le modèle.

Les contributions de ce travail sont les suivantes : (i) une méthodologie complète pour accélérer la conception d'observateurs, basée sur une solution PR qui cible des microcontrôleurs à faible coût, (ii) la mise en œuvre du benchmark et de la méthodologie proposés pour la commande sans capteur de MSAP, et (iii) des résultats expérimentaux sur banc avec des données enregistrées disponibles en ligne sous licence open-source[1].

2 Méthodologie proposée

La méthodologie proposée est détaillée dans FIG. 1, les différences avec la méthode proposée dans [3] sont surlignées en vert. Habituellement, l'observateur est validé en simulation avec un modèle simplifié, puis directement testé sur puce en BO, puis en BF. L'étape intermédiaire rajoutée permet de simuler le comportement de l'observateur sur puce en utilisant en entrée les données pré-enregistrées, prenant en compte les contraintes d'implémentation : quantification, bruits de mesure, précisions des capteurs, retards... Cela permet de mieux adapter les gains en simulation, avant le passage sur banc, étape qui implique souvent des réglages de gain par essais et erreurs, accélérant ainsi le temps de conception.

L'acquisition des données à hautes fréquences nécessite généralement des outils PR assez coûteux comme DSpace. Ici, les données ont été enregistrées avec un câble USB à UART 2.0 Hi-Speed (FT232H USB to UART), un moniteur série (RealTerm dans ce cas) permet de récupérer les données sur PC. Avec un baud rate de 8×10^6 baud, 6 données ont été enregistrées avec une fréquence de 20 kHz.

3 Tests réalisés

Le banc de test utilisé pour illustrer la méthodologie se compose de deux MSAP Teknic-2310P (MSAP1 et MSAP2) reliés par leurs arbres. Pour évaluer la convergence de l'observateur pour différentes plages de vitesse et sa robustesse aux variations du couple de charge, un benchmark industriel [4] est utilisée, où l'échelle a été adaptée aux valeurs nominales des MSAP utilisées. Les deux MSAPs sont contrôlées à l'aide d'une commande vectorielle : la vitesse de la première est régulée afin d'imposer une trajectoire de vitesse et le courant de la seconde est régulé pour appliquer un couple de charge. L'algorithme de contrôle est détaillé dans [2]. Le modèle de la MSAP dans les différents repères y est aussi présenté. L'observateur testé est un mode glissant discrétisé pour estimer la Force Electromotrice (f.e.m), et un observateur adaptatif pour la vitesse et position de la MSAP, les équations des observateurs ainsi que le réglage des gains est détaillé dans [5].

L'observateur est validé selon la méthodologie détaillé ci-dessus, puis implémenté sur puce. Un démarrage sans capteur peut être mis en place [6], ce n'est cependant pas le but de ce papier.

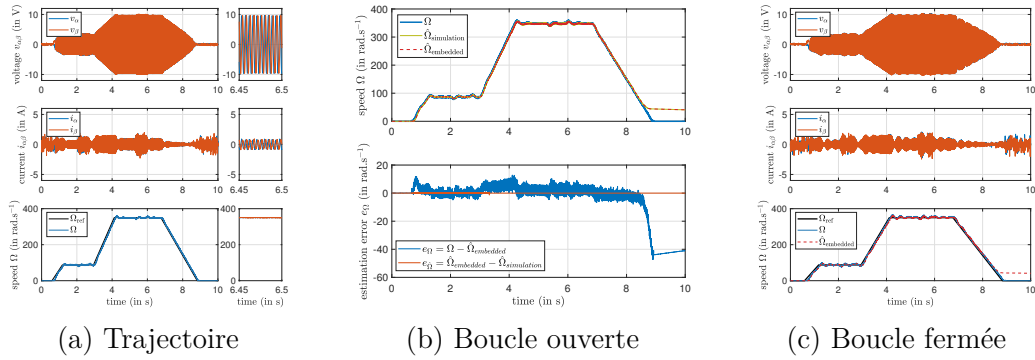


FIG. 2 – Résultats expérimentaux

4 Résultats expérimentaux

Les courants et tensions dans le repère $\alpha\beta$ ont été enregistrés FIG. 2(a) pour la simulation de l’observateur. Ω et $\hat{\Omega}_{embedded}$, la vitesse de la MSAP et la vitesse estimée, ont été enregistrées pour la comparaison avec la simulation. Vers la fin de l’enregistrement, l’estimation de la vitesse diverge, à cause de la perte d’observabilité à faible vitesse.

Les résultats expérimentaux en BO montrent que les estimations en simulation avec les enregistrements sont identiques à celles obtenues sur la puce. L’erreur $e_{\hat{\Omega}}$ entre l’estimation sur puce et en simulation avec les enregistrements est nulle FIG. 2(b).

Les gains de l’observateur ont été ajustés en simulation avec les enregistrements. L’observateur a été testé en BF entre 1.2 et 8s pour éviter les problématiques de faible vitesse. Le résultat est représenté sur la FIG. 2(c).

5 Conclusion

Dans cet article, une méthodologie a été présentée pour un développement plus rapide des observateurs. Cela a permis de prendre en compte dès que possible les contraintes d’implémentation. Les travaux futurs se concentreront sur l’utilisation du benchmark utilisé pour la comparaison de différents observateurs issus de la littérature. Il serait également intéressant d’étendre la référence à d’autres types de moteurs synchrones.

Références

- [1] *ctrl + elec - github*. URL : <https://github.com/rdelpoux/ctrl-elec>.
- [2] *ctrl + elec - Motor Control University*. URL : <https://ctrl-elec.fr>.
- [3] Romain DELPOUX, Lubin KERHUEL et Vincent LÉCHAPPÉ. “On Chip Rapid Control Prototyping for DC motor”. In : *J3eA* 20 (2021), p. 0001.
- [4] Alain GLUMINEAU et Jesús DE LEÓN MORALES. *Sensorless AC Electric Motor Control : Robust Advanced Design Techniques and Applications*. Springer International Publishing, 2015.
- [5] Thiago BERNARDES et al. “Discrete-Time Sliding Mode Observer for Sensorless Vector Control of Permanent Magnet Synchronous Machine”. In : *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (2014).
- [6] Zihui WANG, Kaiyuan LU et F. BLAABJERG. “A Simple Startup Strategy Based on Current Regulation for Back-EMF-Based Sensorless Control of PMSM”. In : *IEEE Transactions on Power Electronics - IEEE TRANS POWER ELECT* (2012).