

Application des outils du traitement du signal à la commande des machines tournantes

Notre travail a porté sur l'application des filtres de Kalman et des estimateurs fréquentiels pour l'estimation de la vitesse des machines électriques. La finalité de cette approche est la maîtrise du coût algorithmique des algorithmes de commande avec ou sans capteur mécanique.

La mise en œuvre d'un filtre de Kalman estimant le flux et la vitesse des machines asynchrones est généralement effectuée dans sa formulation matricielle, excessivement gourmande en temps de calcul. Pour cette raison, nous avons modifié la méthode de conception de ce filtre étendu, que nous avons nommé filtre de Kalman à état virtuel. La réduction très importante du coût algorithmique de ce nouveau filtre justifie son application dans les variateurs de vitesse de faible puissance où le coût de revient des cartes électroniques est conséquent. Il est également possible de conserver les équations traditionnelles du filtrage de Kalman tout en réduisant la complexité algorithmique. Pour cela, nous avons appliqué le filtrage de Kalman à deux niveaux et à deux périodes d'échantillonnage pour l'estimation de la vitesse mécanique.

Nous avons également optimisé le réglage des paramètres du filtre de Kalman. La dynamique de l'estimateur est réglée en fonction de la dynamique des grandeurs régulées, des bruits de mesure et des incertitudes paramétriques. Ce réglage permet de rendre l'estimateur robuste aux variations paramétriques et d'éviter des instabilités lorsque les estimations sont incluses dans les boucles de régulation (pour les systèmes non-linéaires).

Pour ne pas être soumis aux incertitudes paramétriques du moteur, le contenu spectral des courants statoriques consommés peut être analysé grâce à des estimateurs de vitesse à faible coût algorithmique. Les résultats expérimentaux obtenus avec une machine à courant continu et une machine asynchrone montrent que l'estimation de la vitesse est excellente en régime permanent. Cependant, les fonctionnements à basse vitesse et la capacité de poursuite ne sont pas aussi performants que ceux d'estimateurs construits à partir du modèle dynamique de la machine. L'interconnexion de deux estimateurs complémentaires, un estimateur fréquentiel et un estimateur basé sur le modèle dynamique, a été mise en œuvre pour palier aux inconvénients de chacun. Cette stratégie de pilotage a été testée expérimentalement avec succès pour une commande sans capteur mécanique d'une machine à courant continu.

Signal processing approaches for control of electrical machines

The main objectives of our research was the application of Kalman filters and frequency estimators for the sensorless speed estimation of electrical machines with a restrained computational cost.

Extended Kalman filters are frequently used to estimate the flux and rotor velocity of an induction machine. Generally, these filters are implemented through their conventional equations, although their large computational burden. Therefore, we present a modification of the Kalman filter equations that we call « extended Kalman filter with virtual state ». The significant decrease of the computational burden justifies its application on low power variable speed drives where electronic hardware represents an important part of the cost price. We also experienced the use of optimal two stages Kalman filters for the estimation of the rotor velocity.

We propose a procedure for the optimization of the Kalman filter parameters, according to the dynamics of the controlled variables, to the sensor noise level and to parameters uncertainties. This procedure allows the estimator to be robust against parameters variations and to avoid instability when they are included in a feedback loop.

To avoid parameter dependencies, the stator currents can be analysed with frequency estimators with low computational cost. The experimental results obtained with both a DC motor and a induction motor showed that the speed estimation is accurate at steady state. However, the results at low speed and the tracking capability during transients are slightly lower than those obtained by observers based on a state space model of the machine. The interconnection of these complementary estimators, a frequency estimator and a parameter-dependent observer is proposed to compensate for the drawbacks of each one. This approach was successfully experimented for the sensorless control of a DC motor.

Mots clés :

Filtre de Kalman, estimateur de vitesse mécanique, estimateur fréquentiel, réglage du filtre de Kalman, machines électriques, moteur asynchrone, commande sans capteur.