

Asservissement de la tension délivrée par un convertisseur de type Buck

Positionnement thématique

Régulation, Electronique de puissance, Systèmes embarqués

Mots-clés

Mots-clés (en français)

Convertisseur statique DC/DC

Linéarisation

Régulation

Systèmes embarqués

Régulateur PID

Mots-clés (en anglais)

DC/DC Buck converter

Linearization

Control

Embedded systems

PID controller

Bibliographie commentée

Un convertisseur statique, également appelé hacheur, est un composant électronique qui permet d'adapter une source d'énergie électrique à un récepteur donné en la convertissant. Deux grands types de convertisseurs peuvent être distingués : les ré-hausseurs de tension, ou convertisseurs « Boost », et les abaisseurs de tension, ou convertisseurs « Buck » [1]. Les premiers sont essentiellement utilisés dans l'industrie automobile ou navale. Les téléphones mobiles intègrent quant à eux un convertisseur Buck. C'est ce modèle qui sera l'objet de notre étude. La tension délivrée par ces convertisseurs doit être régulée afin de maintenir sa valeur malgré des variations possibles de la charge et de la tension délivrée par la source d'alimentation. Cette dernière subit en effet des cycles de charge / décharge et son niveau de charge est caractérisé par une grandeur appelée State of Charge (Soc) [2]. Ce cycle présente en première approximation une forme triangulaire, générant ainsi sur la tension de sortie une perturbation pouvant être assimilée à une rampe. Le schéma électrique équivalent du convertisseur « Boost » est composé d'un ensemble de composants électroniques passifs (résistance, capacité, inductance), et d'un transistor fonctionnant en mode interrupteur. Le schéma électrique équivalent du convertisseur présente deux configurations possibles en fonction de la position de l'interrupteur. Un modèle « moyen » peut être obtenu à partir des lois de Kirchoff en considérant que la fréquence d'ouverture et de fermeture de l'interrupteur est relativement élevée par rapport à la rapidité du système [3]. Ce modèle est alors composé de deux équations différentielles non-linéaires, et la variable de commande est le rapport cyclique de commande du convertisseur. Le courant circulant dans une branche du circuit est alors une moyenne des courants circulant dans cette branche sur une période du cycle d'ouverture et de fermeture de l'interrupteur. L'asservissement des systèmes non-linéaires a été abordé de différentes manières dans la littérature. Les méthodes les plus anciennes consistent à linéariser le modèle non-linéaire autour d'un point de fonctionnement [4]. Le modèle linéaire ainsi obtenu permet de déterminer un régulateur pour répondre au cahier des charges en termes de performances et de robustesse. Plusieurs méthodes ont été proposées pour la synthèse d'un régulateur. Le réglage d'un correcteur de type PID peut être réalisé à l'aide de la méthode de Ziegler-Nichols [5] ou à l'aide de techniques fréquentielles plus élaborées permettant notamment de fixer la Marge de Phase de l'asservissement [6]. Cette dernière approche est intéressante car, la linéarisation

conduisant à une approximation du modèle, les marges de robustesse doivent être suffisantes afin de préserver la stabilité du système en présence de ces erreurs de modèle. Pour contourner ce problème et assurer un fonctionnement correct de l'asservissement indépendamment du point de fonctionnement choisi, des approches utilisant le modèle non-linéaire ont été récemment proposées. Elles sont basées sur des techniques issues de la théorie de Lyapunov [7], mais dépassent le cadre théorique de notre approche. La fonction de transfert du régulateur était historiquement réalisée analogiquement à l'aide de circuits électroniques actifs à base d'amplificateurs opérationnels. A l'heure actuelle, cette approche est de plus en plus abandonnée au profit de l'utilisation de systèmes embarqués présentant plus de possibilités et de flexibilité. L'algorithme de commande est basé sur des équations de récurrence, et implémenté dans le microcontrôleur situé sur la carte de contrôle/commande de type Arduino, par exemple [8]. Ces équations de récurrence sont obtenues par discrétisation de la fonction de transfert du régulateur. La période d'échantillonnage doit être judicieusement choisie afin de respecter le critère de Shannon [9].

Problématique retenue

L'algorithme d'asservissement implémenté sur une carte Arduino doit assurer de bonnes marges de robustesse en raison des erreurs de modélisation liées à la linéarisation. Il doit en outre permettre de compenser les variations de la tension délivrée par la batterie provenant de ses cycles de charges /décharges.

Objectifs du TIPE

Je me propose : (i) de déterminer la fonction de transfert du convertisseur Buck à partir de son modèle physique, (ii) de choisir une méthode de synthèse d'un régulateur de type PI Avance de Phase et de vérifier ses performances et ses limites en simulation, et (iii) d'implémenter le régulateur sur la carte Arduino et de valider les performances de l'asservissement avec une batterie chargée et une batterie partiellement déchargée.

Références bibliographiques

- [1] Philippe BARRADE : *Electronique de Puissance, Methodologies et convertisseurs élémentaires*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2006.
- [2] Akram EDDAHECH : *Modélisation du vieillissement et détermination de l'état de santé de batteries lithium-ion pour application véhicule électrique et hybride*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 2014.
- [3] H SIRA-RAMIREZ et R SILVA-ORTIGOZA : *Control design technics in power electronics devices*, chapitre 2. Springer, 2016.
- [4] P. DE LARMINAT : *Automatique*. Hermes, 1996.
- [5] B. WAYNE BECQUETTE : *Process control, modelling design and simulation*. Prentice Hall, 1957.
- [6] K. J. ASTROM et B. WITTENMARK : *Adaptive control*. Prentice Hall, 2014.
- [7] Amin SHOTORBANI et Ebrahim BABAEI : Robust nonlinear controller based on control lyapunov function and terminal sliding mode for buck converter. *International Journal of Numerical Modelling : Electronic Networks, Devices and Fields*, 2016.
- [8] G. V. ARUN KUMAR : A technical seminar on embedded-system-programming-using-arduino-microcontroller, 2015. Consulté le 5 juillet 2016 <http://fr.slideshare.net/ArunKumar1709/embedded-system-programming-using-arduino-microcontroller>.
- [9] M. CHARBIT et G. BLANCHET : *Eléments de base pour le traitement numérique du signal et de l'image*, 2010. Polycopié de cours, Telecom ParisTech.