

Algorithme de filtrage adaptatif pour la gestion d'énergie d'un véhicule électrique multi-source

Bakou Traoré

Université de Nantes, IREENA Lab EA4642
ESEO School of Engineering
10 Bd Jean Jeanneteau, Angers, France
bakou.traore@etu-univ-nantes.fr

Moustapha Doumiati

ESEO School of Engineering
IREENA Lab EA 4642
10 Bd Jean Jeanneteau, Angers, France
moustapha.doumiati@eseo.fr

Cristina Morel

ESEO School of Engineering
10 Bd Jean Jeanneteau, Angers, France
cristina.morel@eseo.fr

Abstract—Ce papier présente un algorithme de gestion d'énergie basée sur une nouvelle méthode de filtrage adaptatif pour un véhicule multi-source "batterie-supercondensateur". Comparée à la littérature où la plupart des techniques de filtrage adaptatif développées sont basées sur les connaissances empiriques du système, la méthode proposée ajuste la fréquence du filtre en ligne pour optimiser un coût qui est fonction de l'état de charge du supercondensateur. L'approche développée permet une meilleure répartition de la demande de puissance entre les deux sources électriques tout en respectant leurs contraintes et limites. Des simulations sur Matlab/Simulink valident les performances de la stratégie développée.

Index Terms—Véhicule électrique, Stratégie de gestion d'énergie, SuperCondensateur (SC), Batterie, Filtrage Adaptatif.

I. INTRODUCTION

Les stratégies de gestion d'énergie (EMS) utilisant le filtrage à fréquence fixe représentent une méthode simple de répartition spectrale de l'énergie entre les sources d'énergie pour protéger celle(s) ayant une faible dynamique interne telles que la batterie ou la pile à combustible (PC). Contrairement aux méthodes utilisant le contrôle optimal et la programmation dynamique qui nécessitent de connaître à l'avance le profil de charge complet, l'approche fréquentielle a l'avantage de réaliser une optimisation en temps réel. Elle a été notamment appliquée pour un système Batterie-SC [1], à un système PC-Batterie [2] et à une source hybride PC-Batterie-SC [3], [4]. Pour respecter les contraintes sur l'état de charge du SC, des méthodes améliorées utilisant le filtrage adaptatif ont été proposées dans [1] et [5]. Ces approches utilisent un contrôleur externe pour ajuster la fréquence de filtrage en fonction de l'état de charge du SC. Ces contrôleurs sont essentiellement basés sur les connaissances empiriques du système étudié; leurs réglages ne sont donc pas nécessairement optimisés.

Cet article présente une stratégie de gestion d'énergie basée sur une nouvelle méthode de filtrage adaptatif. Contrairement aux méthodes proposées dans la littérature, cette méthode ajuste la fréquence en ligne en optimisant une fonction coût liée à l'état de charge du SC.

II. DESCRIPTION DU SYSTÈME ÉTUDIÉ

Comme le montre la Fig.1, le système étudié est un véhicule à motorisation électrique alimenté via le bus DC par une batterie et un pack de supercondensateurs SC. Chaque source est connectée au bus DC via un convertisseur de puissance réversible.

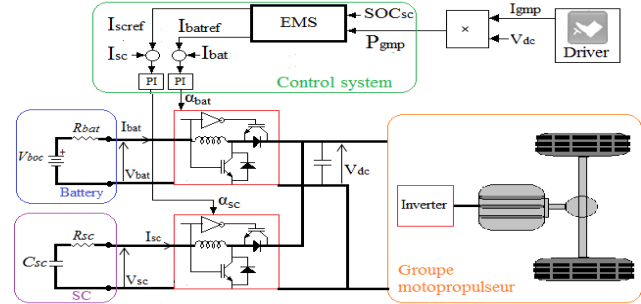


Fig. 1. Architecture du système.

Le groupe motopropulseur (GMP), alimenté à travers le bus DC, doit fournir la puissance mécanique nécessaire pour suivre les consignes de vitesse du conducteur. Dans ce travail, les profils de charge de la Fig.2 correspondant aux cycles NEDC (New European Driving Cycle) et IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) sont utilisés. Ils représentent des cycles de conduite urbaine avec freinages et accélérations réguliers.

La batterie, considérée comme la source principale, est modélisée par l'association en série d'une source de tension V_{boc} et d'une résistance R_{bat} (voir Fig.1) [6].

Le supercondensateur (SC), caractérisé par sa grande puissance spécifique et sa longue durée de vie, est utilisé comme auxiliaire de puissance. Comme le montre la Fig.1, le modèle simple du SC est constitué d'une capacité C_{sc} en série avec la résistance R_{sc} .

III. GESTION D'ÉNERGIE

Dans le système étudié, à chaque échantillonnage k de la période T_s , les contraintes peuvent être résumées comme suit:

$$\begin{cases} P_{gmp}(k) = P_{bat}(k) + P_{sc}(k) \\ P_{batmin} \leq P_{bat}(k) \leq P_{batmax} \\ P_{scmin} \leq P_{sc}(k) \leq P_{scmax} \\ SOC_{scmin} \leq SOC_{sc}(k) \leq SOC_{scmax} \end{cases} \quad (1)$$

où P_{gmp} , P_{bat} et P_{sc} sont respectivement la puissance demandée par le GMP et les puissances fournies par la batterie et le SC.

Pour satisfaire ces contraintes, une stratégie de gestion basée

sur une nouvelle méthode de filtrage adaptatif est proposée (voir Fig. 3). L'objectif étant de protéger la batterie contre les fortes dynamiques de puissance tout en maintenant l'état de charge du SC dans une certaine plage.

À chaque instant k , la puissance P_{gmp} demandée par le GMP est envoyée au filtre passe-bas qui détermine la puissance de référence de la batterie P_{bat} pour différentes valeurs de $\omega_c \in [0, \omega_{cmax}]$ avec un pas de fréquence $\delta\omega_c$ en utilisant le modèle discret de filtre (2):

$$P_{bat}(k, \omega_c) = P_{pt}(k) + (P_{bat}(k-1) - P_{pt}(k))e^{-\omega_c \cdot T_s} \quad (2)$$

où ω_{cmax} représente la valeur maximale de ω_c .

En tenant compte des contraintes définies dans (1), la puissance du SC peut être déterminée par (3):

$$P_{sc}(k, \omega_c) = P_{pt}(k) - P_{bat}(k, \omega_c) \quad (3)$$

La fréquence optimale ω_{cOpt} est déterminée dans l'intervalle $[0, \omega_{cmax}]$, à chaque échantillonnage afin de minimiser un coût C fonction du SOC_{sc} et de sa valeur de référence SOC_{scref} :

$$C(k, \omega_c) = |SOC_{scref} - SOC_{sc}(k, \omega_c)| \quad (4)$$

Le coût minimum C_{min} , la fréquence optimale correspondante ω_{cOpt} , et les puissances de référence des sources, P_{batref} et P_{scref} sont ainsi déterminés par:

$$\begin{cases} C_{min}(k) = \min(C(k, \omega_c)), \omega_c \in [0, \omega_{cmax}] \\ \omega_{cOpt}(k) = \arg\min_{\omega_c} C(k, \omega_c) \\ P_{batref}(k) = P_{bat}(k, \omega_{cOpt}) \\ P_{scref}(k) = P_{sc}(k, \omega_{cOpt}) \end{cases} \quad (5)$$

Par la suite, comme le montre les Fig.1 et 3 les courants de référence des sources sont calculés et imposés aux différents convertisseurs de puissance par des contrôleurs de type PI dont le calcul n'est pas détaillé dans cet article.

IV. SIMULATIONS

Des simulations Matlab de l'algorithme développé ont été effectuées pour les profils de charge NEDC et IFSTTAR. L'état de charge initial du SC est fixé à 50 %. Le temps d'échantillonnage est $T_s = 0,001$ sec. Les Fig.4 et 5 montrent respectivement les courants de la batterie et du SC. Pour chaque cas, on peut remarquer l'effet de filtrage: les courants de forte dynamique sont fournis par le SC tandis que la batterie fournit les courants moyens. Les allures correspondantes de SOC_{sc} sont données sur la Fig. 6. On peut remarquer que le SOC du SC n'atteint jamais ses valeurs extrêmes et revient en fin de cycle à environ moins de +10% du SOC de référence. En effet, les SOC finaux du SC sont de 59,5% et 55 % pour les cycles de conduite NEDC et IFSTTAR, respectivement. Comparée aux EMSs utilisant le filtrage passif classique, la méthode développée présente une meilleure régulation de SOC du SC comme le montre la Fig.7.

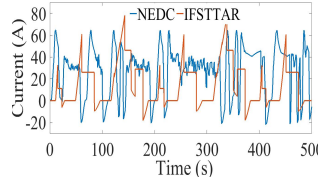


Fig. 2. Profils de courant NEDC et IFSTTAR

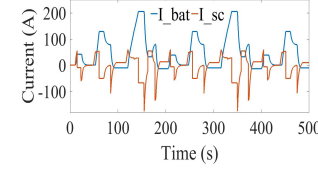


Fig. 4. Courant des sources avec l'EMS proposé pour le profil NEDC

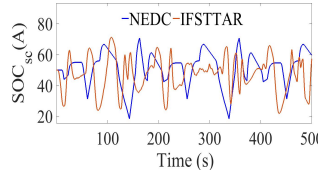


Fig. 6. Etat de charge du SC de l'EMS adaptatif pour le profil NEDC et IFSTTAR.

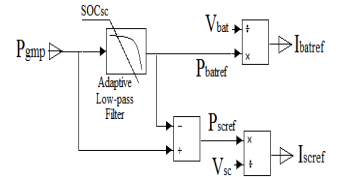


Fig. 3. Principe de l'EMS adaptatif et IFSTTAR

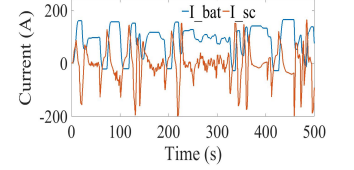


Fig. 5. Courant des sources avec l'EMS proposé pour le profil IFSTTAR.

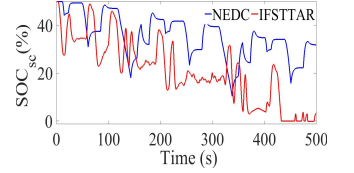


Fig. 7. Etat de charge du SC de l'EMS utilisant filtrage simple pour le profil NEDC et IFSTTAR.

V. CONCLUSION

Cet article présente un nouvel algorithme de filtrage adaptatif pour la gestion d'énergie dans un véhicule électrique à batterie-SC. Des simulations avec différents profils de courant confirment que l'EMS développé assure une bonne régulation de l'état de charge du SC tout en assurant une répartition spectrale de la puissance demandée par le GMP entre la batterie et le pack de supercondensateurs SC. De plus, l'algorithme développé n'est pas gourmand en temps de calcul et pourrait donc convenir pour des utilisations temps-réel.

REFERENCES

- [1] A. Florescu, I. Munteanu, A. I. Bratcu, and S. Bacha, "Frequency-separation-based energy management control strategy of power flows within electric vehicles using ultracapacitors," *IECON2012-38th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Montréal, Canada*, pp. 2957-2964, 2012.
- [2] H. Alloui, K. Marouani, M. Becherif, M. N. Sid, and M. Ben, "A control strategy scheme for fuel cell-vehicle based on frequency separation," *IEEE ICCE, Tunisia*, pp.170-175, 2014.
- [3] W. Nwesaty, A. I. Bratcu, and O. Senane, "Lpv control for power source coordination - application to electric vehicles energy management systems," *ECC2014*, 2014.
- [4] B. Traoré, M. Doumiati, C. Morel, O. Soumaoro, and J. C. Olivier, "Energy management strategy design based on frequency separation, fuzzy logic and lyapunov control for multi-sources electric vehicles," *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Lisbon, Portugal*, pp. 2676-2681.
- [5] J. Snoussi, S. B. Elghali, M. Benbouzid, and M. F. Mimouni, "Auto-adaptive filtering-based energy management strategy for fuel cell hybrid electric vehicles," *Energy*, 2018.
- [6] K. Abdennadher, "Etude et élaboration d'un système de maintenance prédictive pour les condensateurs et les batteries utilisées dans les alimentations sans interruption (asi)," *Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon 1*, 2010.