

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 99 (2008)
Heft: 1

Artikel: Application de supercondensateurs dans le transport individuel
Autor: Barrade, Philippe / Destraz, Blaise / Hauser, Sylvain
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855810>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Application de supercondensateurs dans le transport individuel

Etude expérimentale d'un scooter électrique avec assistance en puissance

La plupart des véhicules électriques utilisent des accumulateurs électrochimiques qui sont sollicités par des puissances instantanées élevées. Ces derniers posent le problème de leur longévité et du rendement énergétique. Cet article présente une approche du problème basée sur l'expérimentation, en esquisant des possibilités de faire une assistance en puissance à l'aide de supercondensateurs.¹⁾ Le dimensionnement de ces derniers est basé sur une reconnaissance de parcours en ville de Lausanne qui permet de bien mettre en évidence les problèmes spécifiques. En plus de l'aspect de dimensionnement dans un contexte réel, l'article présente aussi une solution de convertisseur statique mieux adapté à l'embarquement de par le poids réduit des composants passifs inductifs.

La propulsion électrique est une solution particulièrement attractive pour les transports urbains à cause de l'absence d'émissions polluantes. Cependant, les véhicules

*Philippe Barrade, Blaise Destraz,
Sylvain Hauser, Alfred Rufer*

électriques conventionnels souffrent d'une autonomie réduite, d'un poids total élevé, mais sont aussi pénalisés de par les temps de recharge importants.

Pour le transport individuel urbain, une solution très attractive est donnée par le

scooter électrique (figure 1), par exemple pour se rendre au travail avec un trajet limité. Le faible poids ainsi que les dimensions typiques d'un véhicule à deux roues se combinent parfaitement avec sa réserve restreinte en énergie, liée principalement à la faible densité énergétique des accumulateurs en général. Le parcours du lieu de travail bénéficie également de temps d'immobilité pour une recharge adaptée, aussi bien durant la nuit que durant la journée.

Un des problèmes principaux du scooter électrique est lié au vieillissement des accu-

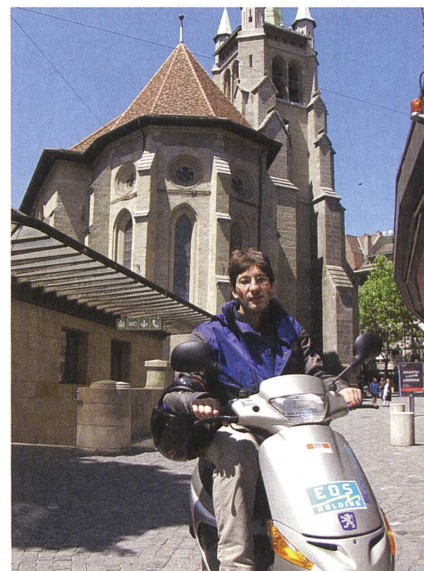


Figure 1 Le scooter électrique dans la ville de Lausanne.

multateurs, ceux-ci étant généralement sollicités fortement en puissance, principalement dans les phases d'accélération. Dans ce sens, les supercondensateurs sont appelés à jouer un rôle important pour limiter la sollicitation des batteries en courant instantané [1, 2, 3]. La récupération d'énergie au freinage est également d'un grand intérêt. Pour le dimensionnement d'une solu-

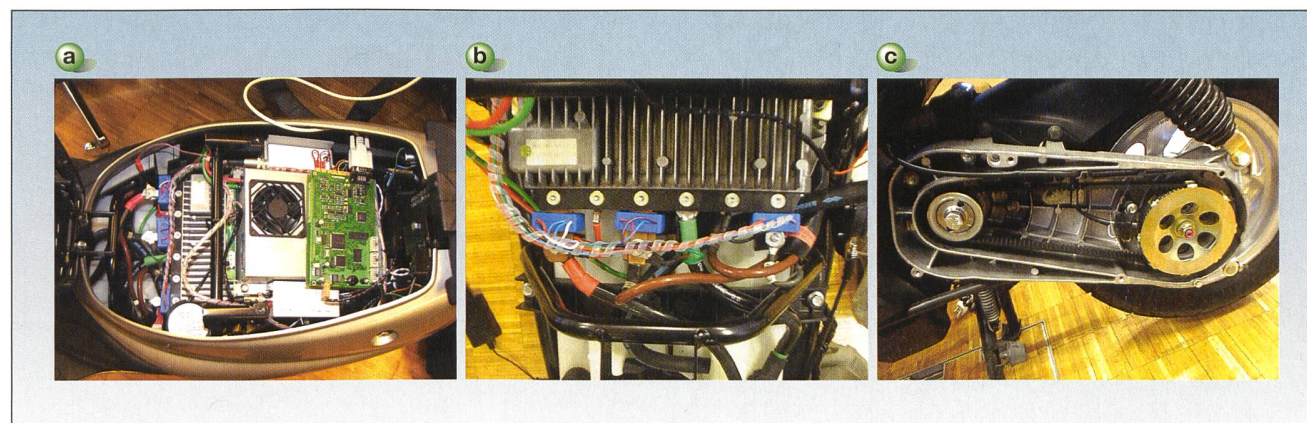


Figure 2 Installation de l'équipement spécifique à bord d'un scooter.

Figure 2a: carte à microcontrôleur pour l'enregistrement des grandeurs liées au parcours; figure 2b: capteurs de courants; figure 2c: capteur de vitesse intégré à l'équipement d'origine.

Figure 3 Courbes enregistrées sur un parcours type en ville de Lausanne.

Figure 3a: Vitesse.

Figure 3b: Courant batterie.

Figure 3c: Courant moteur.

Figure 3d: Tension batterie.

Figure 3e: Tension moteur.

tion hybride basée sur l'association d'une batterie électrochimique et de supercondensateurs, il est primordial de connaître la sollicitation de puissance demandée sur un parcours donné et de pouvoir évaluer les bénéfices réels obtenus en ajoutant le banc de supercondensateurs. La ville de Lausanne aura été le cadre d'une évaluation de contraintes réelles et est particulièrement intéressante du point de vue de la topographie de la ville.

La reconnaissance de la demande de puissance sur un trajet donné

Une campagne de mesures a été organisée pour la reconnaissance de la sollicitation réelle de la batterie du scooter à l'aide d'une instrumentation appropriée. Les variables permettant de caractériser la charge de la batterie ont été enregistrées, à l'exemple des courants et tensions et même de la vitesse du véhicule en fonction du temps. Pour cela, un équipement spécifique a été installé à bord tel qu'illustré par la figure 2. Les composants principaux comprennent d'abord une carte à microcontrôleur avec une capacité mémoire suffisante pour l'enregistrement direct des grandeurs liées au parcours. Les signaux sont enregistrés dans une mémoire intégrée SRAM de 256 kbytes de 16 bit. Deuxièmement, des circuits d'interface avec les capteurs ont été prévus (figures 2b et 2c). Pour la restitution et l'évaluation des grandeurs enregistrées, une interface pour le traitement par Matlab est également prévue.

Profils de puissance liés à un parcours

Plusieurs parcours typiques de la ville de Lausanne ont été enregistrés avec les équipements, en particulier le trajet allant du Palais de Beaulieu à une altitude de 535 m à l'endroit appelé Blécherette (570 m). Le trajet se poursuit avec des rampes alternées jusqu'à la Cathédrale.

Les grandeurs indiquées sont tout d'abord la vitesse, illustrant bien le parcours modulé. Ensuite, on a représenté les courants du moteur et le courant soutiré de la batterie. En ajoutant les courbes de tension aux bornes du moteur et aux bornes de l'accumulateur, on a une possibilité

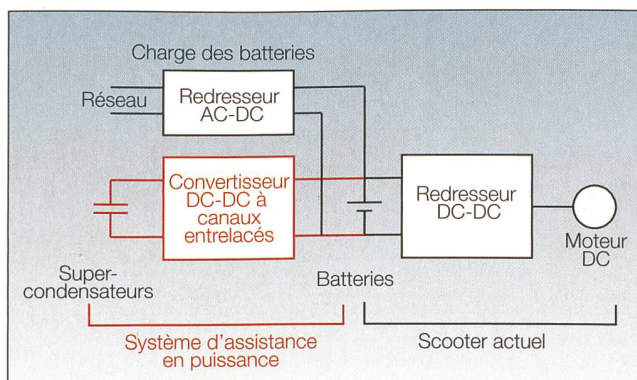
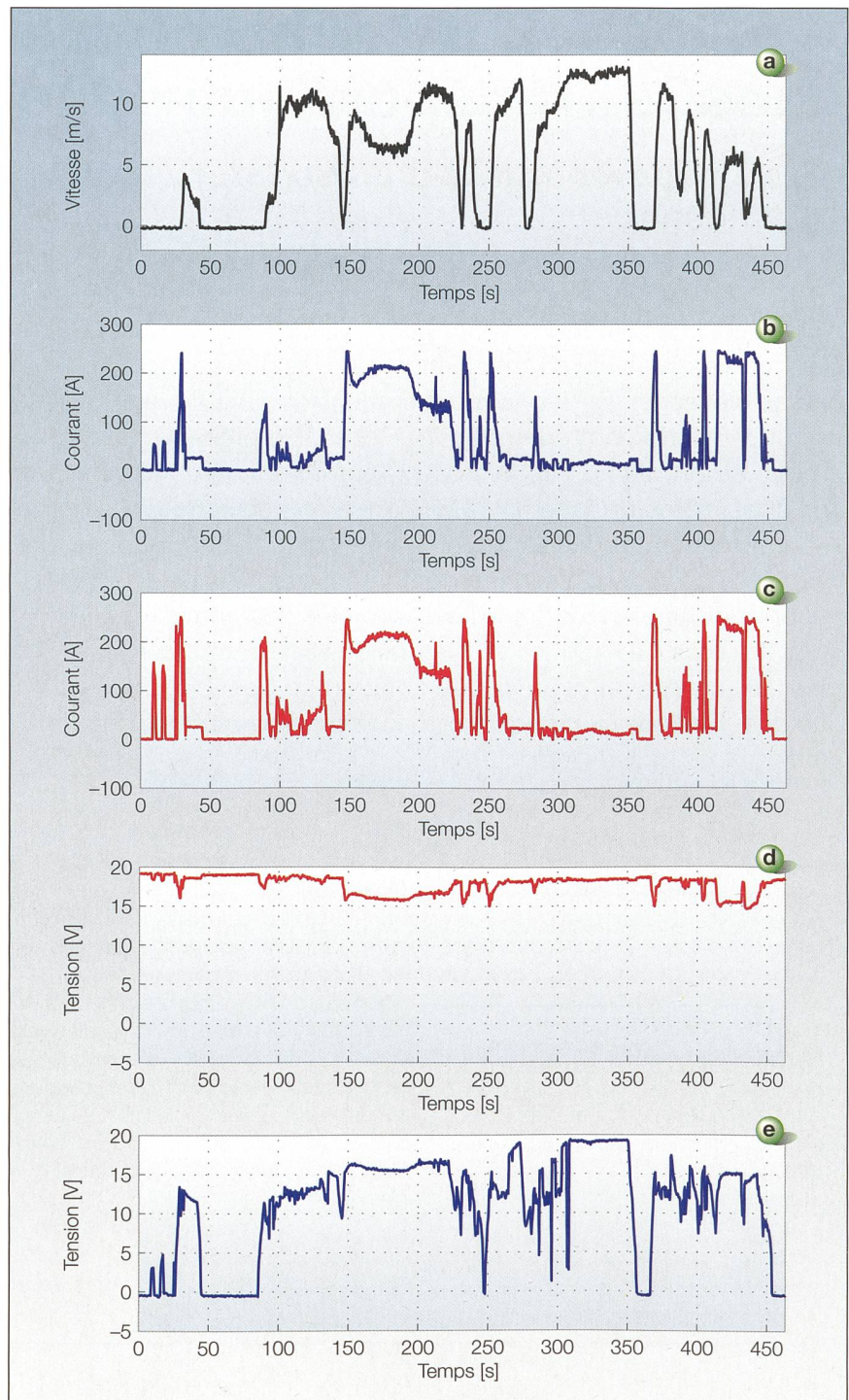


Figure 4 Diagramme structurel du scooter assisté par un banc de supercondensateurs.

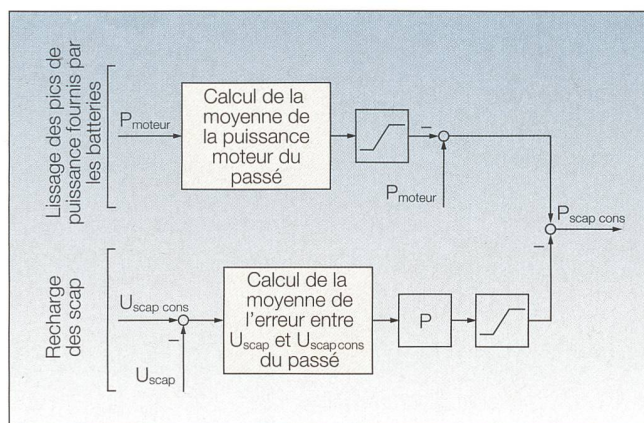


Figure 5 Schéma de la commande du système.

d'évaluer aussi bien la puissance soutirée de la batterie que la puissance dissipée à l'intérieur de celle-ci. Les rendements énergétiques associés sont évidemment d'un grand intérêt (figure 3).

L'assistance en puissance par l'intermédiaire d'un stockage supercapacitif

Un diagramme structurel de l'équipement du scooter est donné à la figure 4. Les composants d'origine comprenant moteur, convertisseur, batterie et chargeur y sont représentés en noir, alors que l'équipement d'assistance en puissance ajouté est indiqué en rouge. L'équipement additionnel comprenant le banc de supercondensateurs et un convertisseur spécial est interfacé au niveau de la batterie.

Sur la base des courbes enregistrées sur le parcours et en intégrant la courbe de puissance consommée, on peut aisément établir le profil en énergie du parcours. Par cette méthode, on peut dimensionner une capacité de stockage additionnelle bien adaptée de 172 kJ (47,8 Wh). Une telle capacité peut être réalisée en combinant environ 30 éléments de supercondensateurs, amenant à un poids supplémentaire d'environ 15 kg.

Sur la figure 5, le schéma de principe de la commande du système est donné. Ce système comprend deux parties distinctes. Une première partie est dédiée au lissage des pointes de puissance consommée par l'entraînement. Pour cela, on calcule la valeur moyenne sur un intervalle de temps donné, et on en soustrait la valeur instantanée consommée. Le signal résultant est ensuite utilisé pour composer le signal de référence pour la puissance du convertisseur d'interface avec les supercondensateurs. Comme résultat, on obtient que la puissance instantanée demandée par le moteur est fournie par le banc de supercondensateurs, alors que la valeur moyenne est fournie par la batterie.

Dans la deuxième partie du système de contrôle, on cherche à maintenir l'état de charge moyen du banc de stockage auxiliaire (les supercondensateurs). On estime pour cela la valeur moyenne de la différence entre valeur de consigne et valeur réelle de la tension du banc. À l'aide d'un régulateur superposé, on peut ainsi définir la puissance nécessaire au maintien de l'état chargé de ce banc.

Fonctionnement simulé du parcours avec assistance en puissance

Le résultat final découlant d'une implémentation correcte de la stratégie de commande pour une assistance de puissance provenant du banc supercondensateur est illustré à la figure 7. Les courbes représentées illustrent le comportement du scooter

sur des mêmes parcours de ville tels que décrits précédemment. La première courbe de la figure illustre le niveau de puissance demandé par l'entraînement, et la seconde courbe montre la puissance délivrée par le banc de supercondensateurs. Dans la troisième courbe, on voit la courbe de la puissance limitée que l'on désire avoir au niveau de la batterie. On s'aperçoit que la limite imposée de 1300 W est bien respectée.

Le deuxième groupe de courbes (figure 7b) montre la sollicitation imposée à la batterie (tension et courant). On voit également que la chute de tension interne de la batterie est limitée indirectement par la limitation de courant.

Le dernier groupe de courbes (figure 7c) illustre les conditions de fonctionnement des supercondensateurs. On remarque que le taux de décharge minimal est fixé à 50% comme fixé lors du dimensionnement de ces composants.

Convertisseur à haut rendement énergétique et masse réduite

Un convertisseur DC-DC spécial a été développé pour l'application du scooter, pour lequel on choisit de multiples canaux en parallèles et à pulsation décalée. Le fonctionnement de chaque canal dans un mode appelé «courant intermittent» permet de réduire en plus les pertes de commutation à une valeur très faible [4]. Cette structure de convertisseur permet ainsi d'obtenir un rendement énergétique élevé et également une densité de puissance élevée de l'équipement global sous la forme d'un

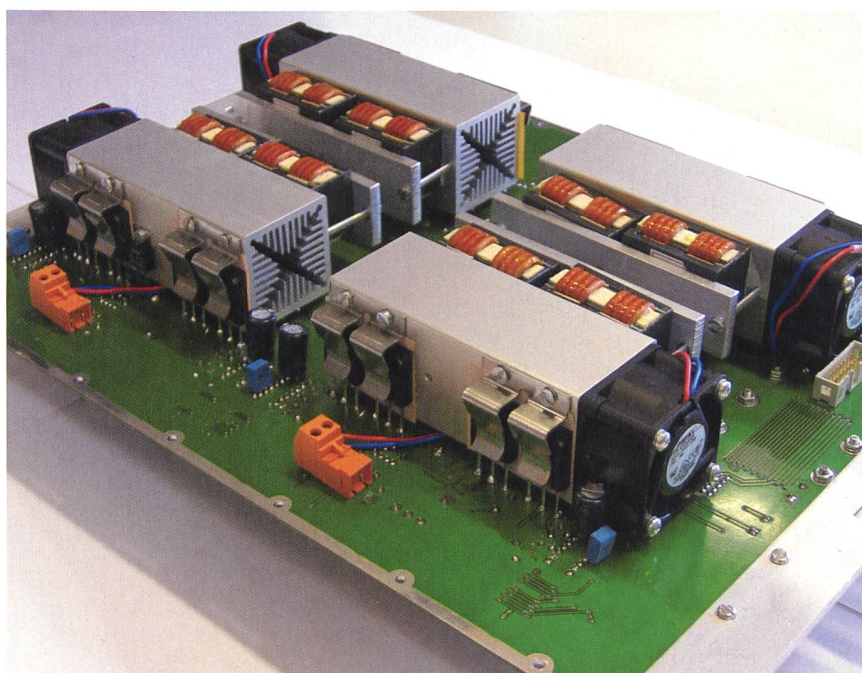


Figure 6 Convertisseur DC-DC à inductances de lissage intégrées.

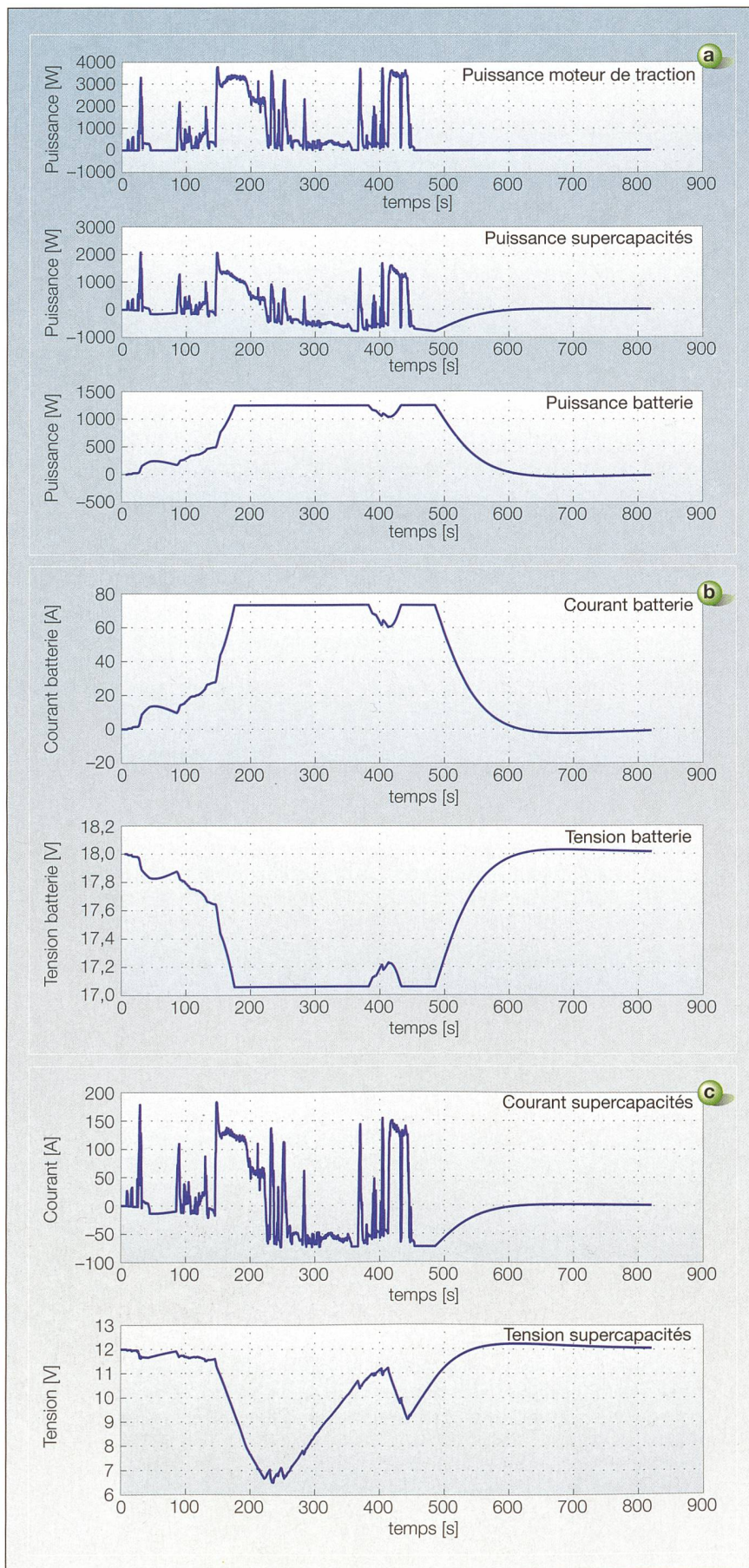


Figure 7 Courbes simulées des grandeurs électriques du système assisté en puissance.

Figure 7a: puissances dans le véhicule; figure 7b: sollicitation de la batterie; figure 7c: sollicitation des supercondensateurs.

convertisseur à composants de lissage intégrés. La densité de puissance élevée est un avantage du point de vue de l'encombrement du système, mais il faut remarquer que le poids embarqué est faible, même si la densité de puissance est grande. Le schéma du convertisseur réalisé est donné à la figure 8, et une vue du prototype réalisé est donné à la figure 6. Les excellentes performances en termes de rendement énergétique (plus de 95%) obtenues dans une plage de puissance comprise entre 200 et 2500 W sont présentées plus en détails dans [4]. Il faut tenir compte ici du fait que la tension de service du convertisseur est seulement de quelques dizaines de volts, ce qui pénalise grandement les performances en termes de pertes en conduction en électronique de puissance.

Conclusions et travaux futurs

Les bénéfices d'une assistance en puissance pour un véhicule électrique ont été clairement illustrés par l'utilisation d'un banc de supercondensateurs en permettant de réduire la sollicitation d'une batterie et par la même de réduire les pertes internes de celle-ci. Le dimensionnement a pu être réalisé en fonction de la sollicitation typique d'un parcours urbain en ville de Lausanne.

La structure de commande du système final a pu être testée en laboratoire par simulation et essais sur banc. Les tests routiers pourront être conduits après l'implémentation des équipements prétestés en laboratoire.

Références

- [1] A. Vezzini, K. Reichert: Power Electronics Layout in a Hybrid Electric or Electric Vehicle Drive System. Power Electronics in Transportation, 1996, IEEE, 24-25 octobre 1996. Pages: 57-63.
- [2] W. Lhomme, P. Delarue, P. Barrade, A. Bouscayrol, A. Rufer: Design and Control of a Supercapacitor Storage System for Traction Applications. In IAS 05/2005, IEEE Industry Applications Conference - 40th IAS Annual Meeting, 2005, Hongkong.
- [3] A. Di Napoli, F. Giulii Capponi, L. Solero: Power Converter Arrangements with Ultracapacitors Tank for Battery Load Levelling in EV Motor Drives. European Conference on Power Electronics and Applications, EPE 99, septembre 1999, Lausanne.
- [4] B. Destraz, Y. Louvrier: High Efficient Interleaved Multi-channel DC/DC Converter Dedicated to Mobile Applications. IEEE IAS Annual Meeting, octobre 2006, Tampa, USA.

Informations sur les auteurs

D' **Philippe Barrade**, ingénieur en électricité, a obtenu son degré Ph. D. en Electrical Engineering de l'Institut national polytechnique de Toulouse (INP), France. Il intègre le Laboratoire d'électronique industrielle (LEI) de l'EPFL dès janvier 1999 en tant que premier assistant. Nommé chargé de cours, il reprend l'enseignement de base en électronique de puissance, tout en développant

des thèmes de recherche sur les structures de convertisseurs et l'utilisation de supercondensateurs pour le stockage et le traitement d'énergie. philippe.barrade@epfl.ch

Blaise Destraz, ingénieur électricien EPFL, a obtenu son diplôme en 2003 à l'EPFL au laboratoire d'électronique industrielle (LEI) sur le sujet de l'assistance énergétique pour une locomotive diesel-électrique avec un stockage supercapacitif. Il est actuellement assistant-doctorant au Laboratoire d'électronique industrielle. blaise.destraz@epfl.ch

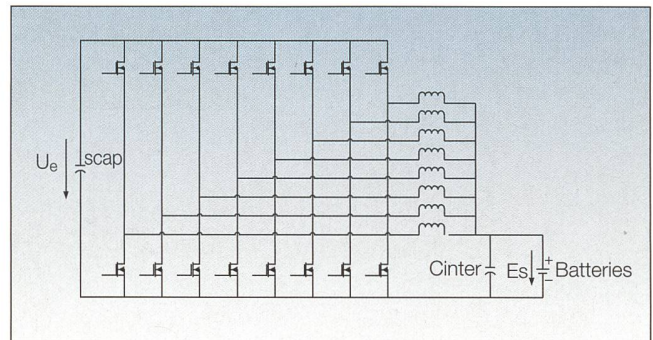
Sylvain Hauser a terminé ses études de technicien ET en électronique en 2001 à l'Ecole technique de Neuchâtel. De 2001 à 2003, il a travaillé dans le Laboratoire d'électronique industrielle (LEI) de l'EPFL sur différents projets de recherche mêlant le stockage supercapacitif. En 2003, Sylvain Hauser est entré dans le Laboratoire de systèmes microélectronique (LSM) comme technicien ET. sylvain.hauser@epfl.ch

Prof. Dr **Alfred Rufer** est professeur et directeur du Laboratoire d'électronique industrielle (LEI) de l'EPFL. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur de cette école en 1976 et bénéficie d'une expérience industrielle de 1978 à 1993. A cette date, il est nommé professeur assistant à l'EPFL, puis professeur ordinaire. En 1997, il reprend la direction du LEI au départ en retraite du professeur Hansruedi Bühler. alfred.rufer@epfl.ch

Philippe Barrade, Blaise Destraz et Alfred Rufer travaillent au Laboratoire d'électronique industrielle, Sylvain Hauser au Laboratoire de systèmes microélectroniques de l'EPFL, 1015 Lausanne.

¹⁾ Le projet d'étude a été soutenu par les Electriciens Romands à travers la commission RDF, la Ville de Lausanne, Maxwell, ainsi que par la Société EOS Holding. Les accumulateurs utilisés pour les tests et la mise au point du convertisseur ont été mis à disposition par la Société OEB Traktionsbatterien AG.

Figure 8 Schéma du convertisseur multi-canaux à pulsations décalées.



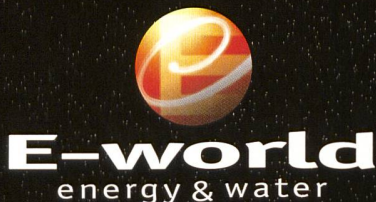
Zusammenfassung

Einsatz von Superkondensatoren im Individualverkehr

Studie für einen elektrischen Roller mit Leistungsreserve. Bei den meisten Elektrofahrzeugen werden elektrochemische Akkumulatoren eingesetzt. Diese werden kurzzeitigen Beanspruchungen durch Leistungsspitzen ausgesetzt, welche sich auf deren Lebensdauer und Wirkungsgrad negativ auswirken. Der Artikel stellt einen Lösungsansatz auf experimenteller Basis vor und skizziert Möglichkeiten, wie eine Leistungsreserve mittels Superkondensatoren realisiert werden könnte.¹⁾ Die Dimensionierung dieser Kondensatoren wurde in der Stadt Lausanne aufgrund von Versuchsfahrten ermittelt, welche es ermöglichten, die dabei auftretenden, spezifischen Probleme aufzuzeigen. Nebst dem Aspekt der Dimensionierung im Einsatz beschreibt der Artikel auch einen Lösungsansatz mit einem statischen Umformer, der dank dem geringeren Gewicht induktiver Passivbauteile eher zum Fahrzeugeinbau geeignet ist.

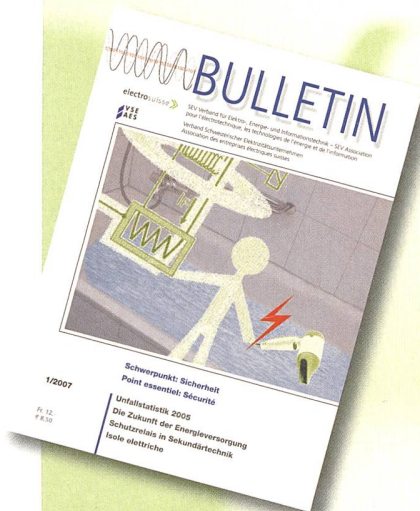
BUSINESS NETWORK

Essen / Germany **19.-21.2.2008**



www.e-world-2008.com • mail@e-world-essen.com • Hotline +49 (0)201.1022.210 con energy

Technology is our business



Zurücklehnen und weiterbilden.

Gönnen Sie sich 21 Ausgaben
des Bulletins SEV/VSE inklusive
Mitgliedschaft bei Electrosuisse
für nur CHF 140.– pro Jahr

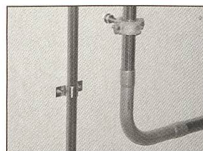
Jetzt anmelden unter
www.electrosuisse.ch/mitglied

electrosuisse >>

Dumme Frage?
Gibt es nicht.



www.technik-forum.ch



LANZ moderne Kabelführung aus **rostfreiem** Stahl A4

- Kabelschonend
- Funktionserhalt E30
- Sofort lieferbar
- Korrosionsbeständig
- Preisgünstig



LANZ fabriziert für die Lebensmittelindustrie, chem. Industrie, Abwasserreinigungs- und Kehrrechtverbrennungsanlagen, unterirdische Bauten, Bahn- und Strassentunnel:

- Multibahnen*- und Weitspann-Mb 100 mm – 400 mm 6 m lang, mit verzahntem MULTIFIX-Trägermaterial
- LANZ Gitterbahnen 100 mm – 400 mm Breite
- LANZ C- und G-Kanäle* 50 × 50 mm bis 75 × 100 mm
- ESTA Elektro-Installationsrohre Ø M16 – M63
- LANZ Rohrschellen für koordinierbare Installationen

→ Stahl A4 WN 1.4571 und 1.4539 max. korrosionsresistent

→ Schockgeprüft 3 bar und Basisschutz

→ *Geprüft für Funktionserhalt im Brandfall E 30 / E 90

☐ Mich interessieren Bitte senden Sie Unterlagen.

☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

Name / Adresse / Tel. _____

K2



lanz oensingen ag

CH-4702 Oensingen
Telefon 062 388 21 21
www.lanz-oens.com

Südringstrasse 2
Fax 062 388 24 24
info@lanz-oens.com