جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الطاقة الكهربائية

نمذجة ديناميكية لنظام هجين خلايا وقود- مكثفات فائقة السعة مستخدم في المركبات الكهربائية

Dynamic Modeling of Hybrid Fuel Cell –Supercapacitor System used in Electric Vehicles

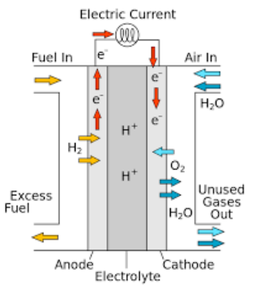
إعداد المهندس عمرو السعدي
إشراف الدكتور المهندس وسيم سعيد

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة مركبة كهربائية تستخدم منبعاً هجيناً مكوناً من خلايا الوقود الهيدروجينية ذات غشاء التبادل البروتوني والمكثفات فائقة السعة، والتعمق في الخصائص الساكنة والديناميكية لمكونات هذا المنبع الهجين بإجراء دراسة مرجعية تتناول أهم الدراسات العالمية والمحلية التي درست كل من الخلايا الوقودية والمكثفات فائقة السعة والنظم الهجينة بصورة عامة، ومن ثم إجراء دراسة نظرية بغرض وضع المعادلات التي تصف هذا النظام وتساعد في حساب مكوناته، إضافة إلى دراسة المبدلات الكهربائية المستخدمة لربط هذه المنابع مع محرك المركبة، لينتهي البحث بجمع مكونات هذه المركبة في نموذج حاسوبي شامل في بيئة MATLAB يصف سلوك هذه المركبة ومكوناتها عند العمل لتأمين المتطلبات اللحظية للمركبة عند مختلف ظروف التشغيل من تسارع وسير بسرعة ثابتة وكبح باستعادة القدرة.

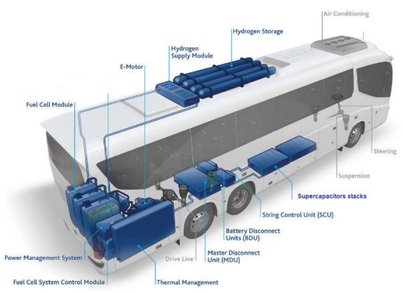
دراسة مرجعية

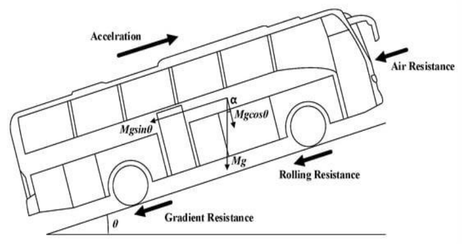
دراسة أهم الأبحاث التي تناولت كلاً من الخلايا الوقودية والمكثفات فائقة السعة، إضافة إلى تسليط الضوء على بعض الأبحاث التي درست النظم الهجينة المكونة من خلايا الوقود والمكثفات فائقة السعة أو المدخرات، وفي هذا الإطار سيتم تناول بعض الأبحاث العالمية إضافة إلى أهم الأبحاث المنجزة في قسم هندسة الطاقة الكهربائية في جامعة دمشق، وذلك بغاية الإفادة من هذه الأبحاث في الدراسة النظرية، ومعرفة حدود هذه الدارسات بغرض التوسع فيها وتناول الجوانب التي أغفلتها.



دراسة نظرية

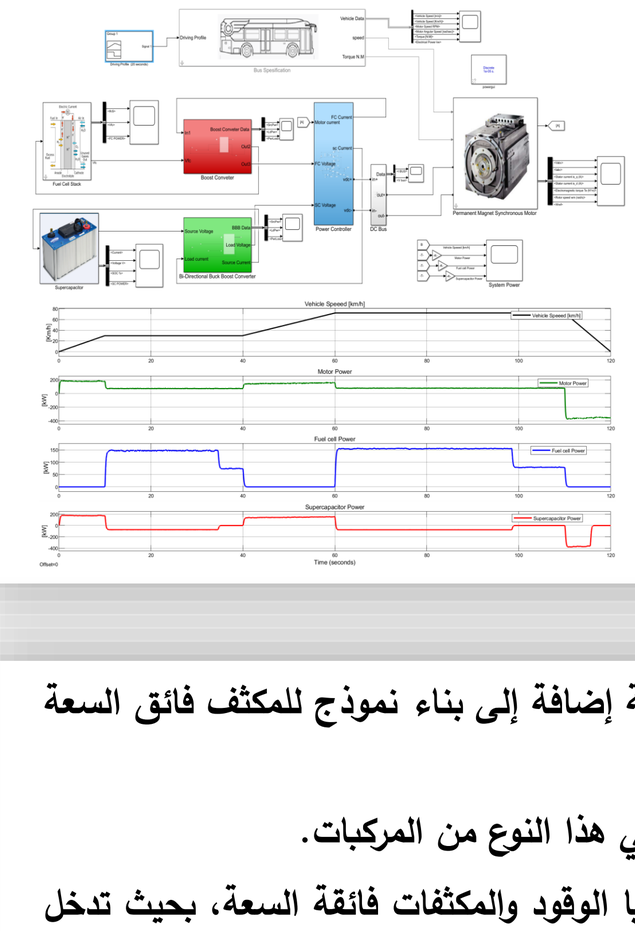
دراسة نظرية للخلايا الوقودية من حيث بنيتها وآلية عملها وأهم أنواعها واستخداماتها وتطبيقاتها والمعادلات الرياضية التي تصفها في الحالة الساكنة عند مختلف الظروف التشغيلية، إضافة إلى دراسة السلوك الديناميكي لهذه الخلية. كما تمت دراسة المكثفات فائقة السعة من حيث بنيتها وآلية عملها وأهم تطبيقاتها، ووضع النموذج الرياضي والكهربائي المكافئ لها، ودراسة السلوك الديناميكي لهذه المكثفات. كما أجريت دراسة للمبدلات الإلكترونية المستخدمة لربط هذه المنابع مع محرك المركبة، إضافة إلى دراسة مكونات هذه المركبة وتحديد استطاعة الجر اللازمة لها ومن ثم اختيار المحرك المناسب وحساب نظام الخلايا الوقودية ونظام المكثفات فائق السعة بما يحقق الاستطاعة المطلوبة من كل منهما عند مختلف ظروف عمل المركبة.





النمذجة والمحاكاة

تمت نمذجة مكونات المركبة في بيئة MATLAB اعتماداً على الدراسة النظرية وبنيت خوارزمية للإفادة منها في نمذجة متحكم يحقق عملية تتالي فصل المنابع ووصلها في المركبة وذلك وفقاً لظروف عملها وحالة هذه المنابع، وتم تجميع مكونات هذا النظام في برنامج MATLAB واختبار أدائه واستجابة المنابع الكهربائية فيه عند مختلف ظروف العمل.



النتائج

1. تم في هذا البحث بناء نموذج شامل لخلية الوقود ذات غشاء التبادل البروتوني قادر على وصف سلوكها في الحالتين الساكنة والديناميكية إضافة إلى بناء نموذج للمكثف فائق السعة يبين سلوكه عند حالة شحنه وفي حالة الاستراحة وعند تفريغه.
2. تم حساب مكونات المركبة الهجينة والتي تمثل حافلة مدينة لنقل الركاب، ووُضعت محددات هذه المركبة بالإفادة من النشرات الفنية لمصنعي هذا النوع من المركبات.
3. تم بناء خوارزمية تحاكي النظام التحكمي لإدارة عملية تتالي فصل ووصل مكونات المنبع الهجين المستخدم في المركبة والمكون من خلايا الوقود والمكثفات فائقة السعة، بحيث تدخل المكثفات فائقة السعة لتغذية محرك المركبة عند الإقلاع من الوقوف أو التسارع أو لاستعادة قدرة كبح المحرك.
4. تم بناء نموذج شامل باستخدام بيئة MATLAB لنظام المركبة الهجينة المكونة من الخلايا الوقودية والمكثفات فائقة السعة والمبدلات الإلكترونية المستخدمة لربط المنابع مع محرك المركبة عن طريق المتحكم الذي يقوم بالتبديل بين المنابع عند حالات الإقلاع والتسارع والسير بسرعة ثابتة والكبح لاستعادة القدرة. وتم تشغيل النموذج عند دورتي قيادة مختلفتين لمحاكاة مختلف ظروف عمل المركبة من تسارع وسير بسرعة ثابتة وكبح ومراقبة تسلسل استجابة فصل المنابع ووصلها عند حالات القيادة المختلفة.

المراجع

[1] San Martín, I., Ursúa, A., & Sanchis, P. (2014). Modelling of PEM fuel cell performance: Steady-state and dynamic experimental validation. *Energies*, *7*(2), 670-700.
[2] Saeed, E. W., & Warkozek, E. G. (2015). Modeling and analysis of renewable PEM fuel cell system. Energy Procedia, 74, 87-101
[3] Berrueta, A., Ursúa, A., San Martín, I., Eftekhari, A., & Sanchis, P. (2019). Supercapacitors: electrical characteristics, modeling, applications, and future trends. Ieee Access, 7, 50869-50896.
[4] Hinov, N., Vacheva, G., & Zlatev, Z. (2018, December). Modelling a charging process of a supercapacitor in MATLAB/Simulink for electric vehicles. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2048, No. 1, p. 060023). AIP Publishing LLC.
[5] Wu, W., Partridge, J. S., & Bucknall, R. W. G. (2018). Stabilised control strategy for PEM fuel cell and supercapacitor propulsion system for a city bus. international journal of hydrogen energy, 43(27), 12302-12313.
[6] Allahham, A., Warkozek, G., & Saeed, W. (2019). An Approach for Energy Management in Fuel Cell Vehicle (Modeling and Simulation). Innovative Applied Energy (IAPE 2019).
[7] Lajnef, T., Abid, S., & Ammous, A. (2013). Modeling, Control, and Simulation of a Solar Hydrogen/Fuel Cell Hybrid Energy System for Grid-Connected Applications. Advances in Power Electronics.
[8] Lee, C. H., & Yang, J. T. (2011). Modeling of the Ballard-Mark-V proton exchange membrane fuel cell with power converters for applications in autonomous underwater vehicles. Journal of Power Sources, 196(8), 3810-3823.
[33] Hwang, G., Lee, K., Kim, J., Lee, K. J., Lee, S., & Kim, M. (2020). Energy Management Optimization of Series Hybrid Electric Bus Using an Ultra-Capacitor and Novel Efficiency Improvement Factors. Sustainability, 12(18), 7354.