

Palivový článek jako zdroj pro elektrický pohon - simulace

Vojtěch Blahník

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky, Západočeská univerzita v Plzni

Electrical Engineering and Informatics 2008

Abstract

The paper deal with using of the fuel cell as a alternative electric source in light traction branch. The fuel cell is simulated by equivalent electric diagram and this diagram is used for simulation of the light traction drive. The next part is concern to control of power converters, which are necessary for the electric power source well operating.

Keywords

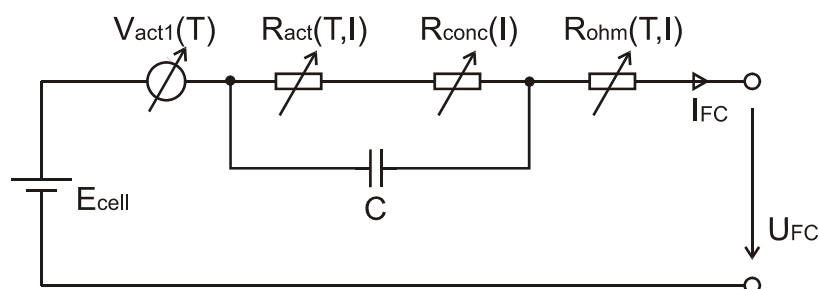
Fuel cell, DC / DC converter, simulation, power converters control

Úvod

V dnešní době se jeví velice pozitivně nasazení palivového článku jako napájecí jednotky pro dopravní prostředky, je to jedna z možných alternativ ke klasickým zaběhlým spalovacím motorům. Použití palivového článku pro napájení má své nesporné výhody jako je jeho ekologičnost, vysoká účinnost a nezávislost na fosilních palivech, ale i svá negativa kterou je v dnešní době hlavně cena palivového článku a příslušného dalšího vybavení (elektrická výzbroj). Palivový článek má své speciální vlastnosti a požadavky, které musí být zohledněni při použití pro napájení vozidel. V tomto článku je uvažováno použití palivového článku PEM (Proton Exchange Membrane) který je v současné době považován za nejvhodnější pro napájení vozidel.

Simulace palivového článku

Palivový článek (FC) je zdroj elektrické a tepelné energie, je tvořen zásobníkem v němž je určitý počet jednotlivých palivových článků, v tomto případě 48 článků spojených v sérii. Na výstupních svorkách je stejnosměrné napětí, které je závislé na konstantních parametrech (počet článků v zásobníku, geometrické uspořádání článku, fyzikální a chemické konstanty) a na proměnných parametrech (teplota článku, odebíraný proud, a tlak paliva). Simulace palivového článku BALLARD MAN5100078 byla vytvořena s pomocí docenta Mirana Rodiče, Ph.D. z Univerzity v Mariboru a bylo čerpáno z literatury [1] až [6]. Na obr 1 je použité náhradní el. schéma palivového článku

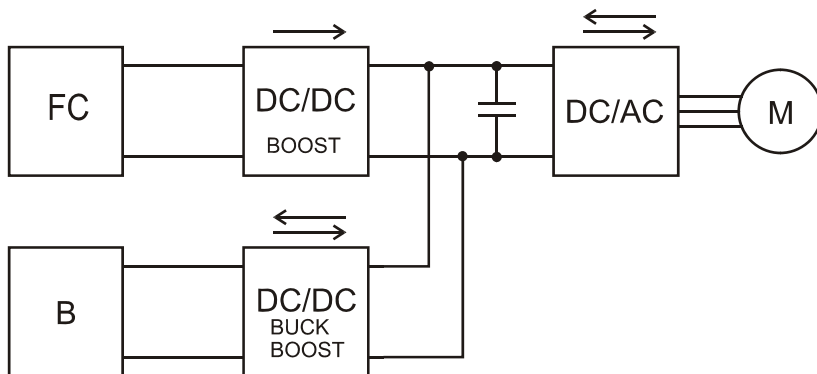


Obr. 1 Náhradní elektrické schéma palivového článku

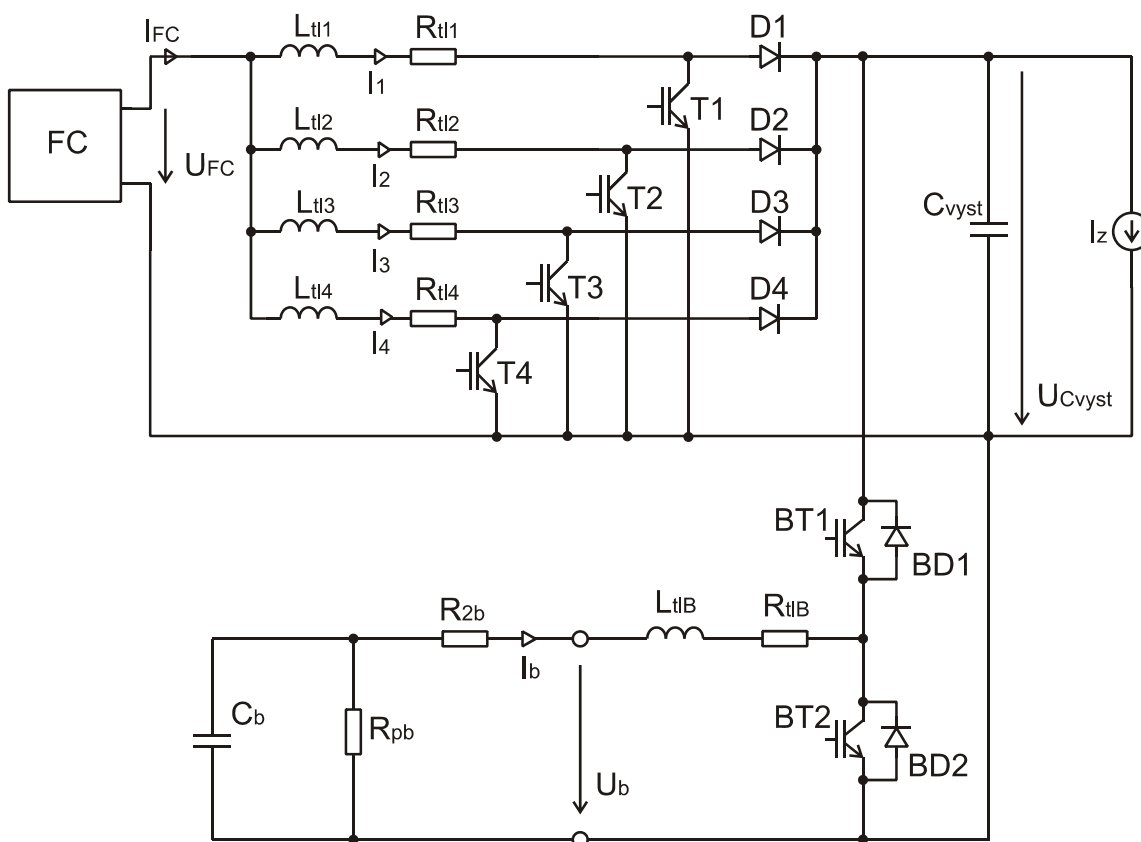
Jak je vidět z obrázku tak model je závislý na teplotě, která se dopočítává zvlášť v termodynamickém bloku. Termodynamický blok byl v tomto případě simulován jako el.schéma viz [4].

Simulace zdroje s palivovým článkem

Pro napájení elektrického motoru je zvolena topologie elektrického zdroje uvedená na obr 2. Napětí z palivového článku je zvýšeno zvyšovacím pulzním měničem na hodnotu 350 V. Protože palivový článek vykazuje pomalé dynamické vlastnosti je nutné použít pomocný bateriový obvod, který kryje energetické potřeby pro rychlé přechodové stavy a navíc je tento obvod využit při brzdění motoru a rekuperaci elektrické energie. Simulační schéma výkonového obvodu pohonu je uvedeno na obr 3.

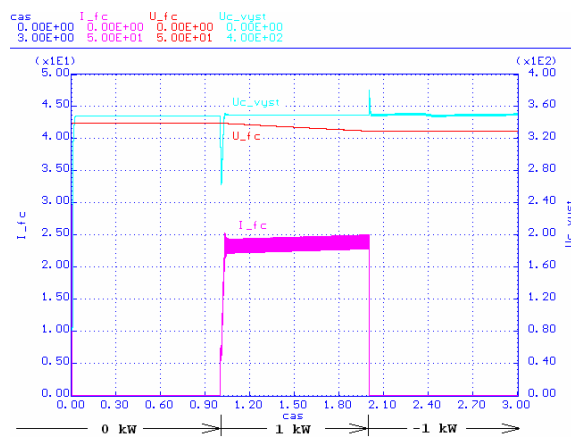


Obr. 2 Blokové schéma pohonu s palivovým článkem

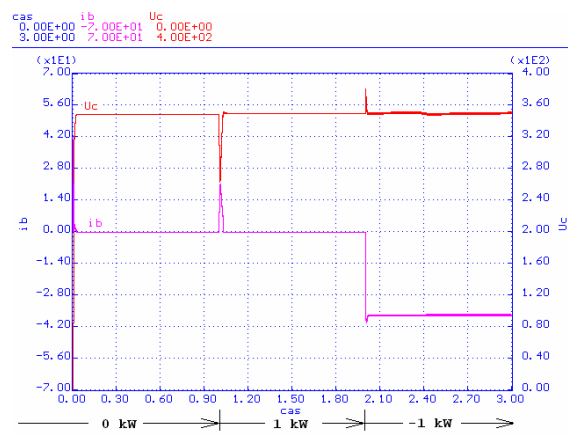


Obr. 3 Simulační schéma pohonu s palivovým článkem

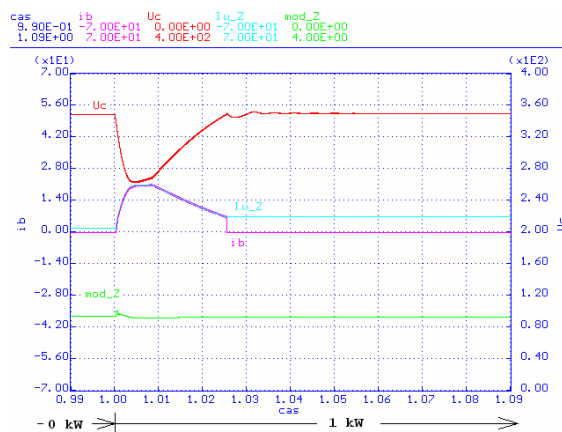
Na obr 4 je vidět průběh řízeného napětí U_{CVyst} , průběhy napětí a proudu palivového článku, při změnách zatížení. V době od 1 s do 2 s, kdy je odebíráán výkon 1 kW dojde rychle ke zvednutí proudu I_{FC} na potřebnou hodnotu a při přechodu do brzdného režimu jde tento proud velice rychle k nule viz obr 4. Napětí U_{FC} je vždy závislé na odebíraném proudu obr 4. Na obr 5 je vidět jak při změnách zatížení reaguje bateriový obvod. V čase 1s pokrývá velikou část spotřebované energie, která je odebíráána zátěží. V čase 2 s dojde k rychlému poklesu proudu I_{FC} k nule obr 4 a energie je rekuperována do baterie obr 5 proud i_b . Na obr 6 je v detailu vidět reakce bateriového zvyšovacího pulzního měniče (ZPM) na změnu zatížení, v době 1,025s je regulace bateriového ZPM úplně vypnuta a samotné doregulování U_{CVyst} na požadovanou hodnotu 350V je ponechááno na DC/DC měničů palivového článku. Na obr 7 je v detailu vidět přechod bateriového obvodu do režimu akumulátor.



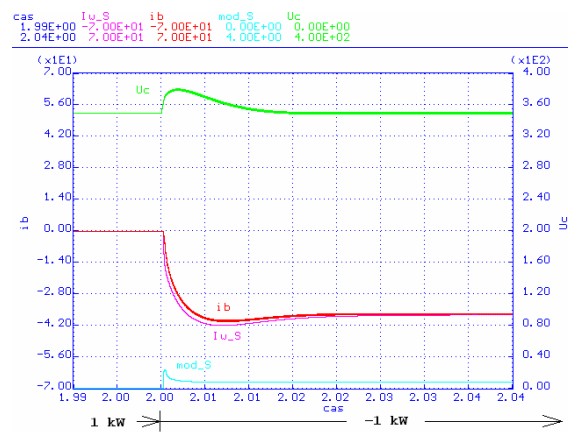
Obr. 4 Reakce palivového článku na změny zatížení pohonu



Obr. 5 Reakce bateriového obvodu při změnách zatížení pohonu



Obr. 6 Detail reakce bateriového obvodu na změnu zatížení pohonu ($P = 0 \text{ kW} \rightarrow P = 1 \text{ kW}$)



Obr. 7 Detail reakce bateriového obvodu na změnu zatížení pohonu ($P = 1 \text{ kW} \rightarrow P = -1 \text{ kW}$)

Parametry simulačního modelu pohonu s palivovým článkem

Jmenovitý výkon pohonu	$P_n = 1 \text{ kW}$
Tlumivky DC / DC měniče palivového článku	$L_{tl\ 1\div4} = 0,4 \text{ mH}$ $R_{tl\ 1\div4} = 0,05 \ \Omega$
Spínací frekvence IGBTs měniče palivového článku	$f_{spín} = 25 \text{ kHz}$

Tlumivka DC / DC měniče bateriového obvodu	$L_{tlB} = 1,66 \text{ mH}$ $R_{tlB} = 0,03 \Omega$
Spínací frekvence IGBTs měniče bateriového obvodu	$f_{spin} = 25 \text{ kHz}$
Parametry baterie	24V / 2 Ah
Výstupní kondenzátor	$C_{výst} = 0,1 \text{ mF}$
Požadované napětí na výstupním kondenzátoru	$U_{Cw} = 350 \text{ V}$

Hlavní přínos práce

- Realizace simulačního modelu palivového článku BALLARD MAN5100078.
- Sestavení simulačního modelu pohonu s palivovým článkem.
- Simulace ustálených i důležitých přechodových stavů pohonu, na kterých bylo ověřeno chování navrhnuté topologie pohonu s palivovým článkem.
- Podklady pro laboratorní prototyp na kterém budou výsledky práce ověřeny.

Literatura

- [1] Choi, W.; Enjeti, P.N.; Howze, J.W.; Development of an equivalent circuit model of a fuel cell to evaluate the effects of inverter ripple current, Nineteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC '04, Volume 1, 2004, pp. 355 – 361
- [2] Correa, J.M.; Farret, F.A.; Canha, L.N.; Simoes, M.G; An electrochemical-based fuel-cell model suitable for electrical engineering automation approach, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 51, Issue 5, Oct. 2004, pp. 1103 - 1112
- [3] Xin Kong; Khambadkone, A.M.; Soy Kee Thum; A hybrid model with combined steady-state and dynamic characteristics of PEMFC fuel cell stack, Conference Record of the 2005 Industry Applications Conference, 2005. Fourtieth IAS Annual Meeting, Volume 3, 2-6 Oct. 2005, pp.1618 – 1625
- [4] Caisheng Wang; Nehrir, M.H.; Shaw, S.R.; Dynamic models and model validation for PEM fuel cells using electrical circuits, IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume 20, Issue 2, June 2005, pp. 442 – 451
- [5] Zhihao Zhang, Xinhong Huang, Jin Jiang and Bin Wu; "An improved dynamic model considering effects of temperature and equivalent internal resistance for PEM fuel cell power modules", Journal of Power Sources, Volume 161, Issue 2, 27 October 2006, pp. 1062-1068.
- [6] R. F. Mann, J. C. Amphlett, M. A. I. Hooper, H. M. Jensen, B. A. Peppley, and P. R. Roberge, "Development and application of a generalized steady-state electrochemical model for a PEM fuel cell," J. Power Sources, vol. 86, pp. 173–180, 2000.