

文章编号:1005-0523(2012)06-0030-05

燃料电池与超级电容复合双电源系统功率控制研究

徐晓玲, 刘 璐

(华东交通大学电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要:车载复合电源系统作为电动汽车的一项关键技术已成为研究热点。研究人员更多地关注整车能量管理研究与经济性。针对燃料电池FC(fuel cell, FC)+超级电容UC(ultra-capacitor, UC)复合电源构型进行瞬时功率研究,提出采用惯性环节对FC进行瞬时功率抑制以使其响应低频负载的控制方案。系统采用上下级的控制方案并采用CAN(controller area network, CAN)通讯方式进行交互。最后进行了功率分配实验与工况测实验证明控制方案正确。

关键词:复合电源;功率控制;惯性环节;电动汽车

中图分类号:TM921/U469.72

文献标志码:A

车载复合电源系统作为电动汽车的一项关键技术已成为研究热点。复合电源的功率管理决定了系统的性能与寿命与成本,复合电源功率分配是电动汽车能量管理策略研究的关键。国内外众多研究人员对电动汽车复合电源进行了广泛研究。燃料电池FC视为电动汽车电源的极佳选择,但它外特性太软且不适用于冲击性负荷而常与其它电源组合构成复合电源系统提供能量,超级电容UC具备高功率能力而能量密度过小,两者恰能互补,因而燃料电池与超级电容(FC+UC)复合电源方案被研究人员广泛采用。

Uzunoglu, Alam等^[1]人采用FC+UC复合电源方案,功率需求较低时,FC提供平均功率向负载供电同时超级电容充电;负载功率需求较高时,FC则以额定功率向负载供电而超级电容放电提供不足功率部分;超级电容回收减速或刹车时的能量。Ardalan, Wesley^[2]利用分散式模型预测控制(MPC)方法对混合电动汽车HEV(hybrid electric vehicle, HEV)能量管理进行控制。FC和UC都有自己的MPC控制器,控制器决定瞬时约束许可性及UC和FC的最优电流值。控制器通过目标函数及需匹配的功率对FC和UC的动态与约束条件进行解耦。Rodatz等^[3]研究人员则旨在对FC和它的辅助能量存储系统之间进行实时的功率分配控制,优化全局的氢气消耗,控制策略依然是以等效燃料消耗最小策略为基础。Zdenek, Pavel^[4]利用UC回收制动能量。Julia, Oliver^[5]等应用对FC+UC复合电源以最小燃料消耗控制策略来保证最小燃料消耗。Mahshid, Shahrokh等^[6]人利用等效燃料最小策略,用模糊算法对FC+UC混合电动车进行了仿真研究。Fazal, Dimitar等^[7]人运用模糊算法对燃料经济性进行了研究。清华大学研究人员^[8-10]燃料电池城市客车为研究对象,探讨了FC+UC驱动型式的特点及整车的参数匹配,建立整车仿真模型,对整车的动力和燃料经济性进行了仿真研究。

Schell等^[11]人采用模糊控制法对电动车的复合电源进行控制,认为模糊控制适应性强,使复杂的FC-HEV系统更可行更灵活。文献[12]针对FC+B构型,利用解耦算法在保障蓄电池SOC(state of charge)的情况下对最小燃料消耗进行了研究。Wu, Sheldon^[13]则对等效燃料消耗最小策略与负载跟随控制策略进

收稿日期:2012-10-22

作者简介:徐晓玲(1962—),女,副教授,主要研究方向为电机拖动及电动汽车技术。

行了分析比较。华东交通大学研究人员^[14]对超级电容储能装置进行了研究。

国内外研究集中于利用算法提高车辆运行的经济性,研究人员更多地关注整车的能量管理。众多研究在标准工况进行测试,实验中所测工况已知,通过事先制定各种规则进行功率管理,因而往往针对某一工况具有很好的特性,而其它工况表现稍差,并且实际运行中的工况往往事先并不可知。本文针对FC+UC的电动汽车复合电源系统,从电气角度出发,关注任意时刻各电源子系统的瞬时功率分配,实时处理任意工况下的功率分配。

1 复合电源驱动系统

为了对车载复合电源进行研究,本文研制开发了一款车用复合供电系统实验台。试验台的设计比实际电动汽车的功率要小得多,进行了比例缩小。实验台可分为两部分:驱动系统部分与负载系统部分,其结构图如图1所示。

性能不同的电源构成的复合电源系统通过一定规则驱动一个直流电机—驱动电机,形成试验台的动力总成。另外一个直流电机—负载电机通过联轴器和驱动电机相连,它在驱动状态下充当发电机作用,此电机与其后的实验台负载系统相联一起构成驱动系统的负载,其中实验台负载系统可编程并实时变化以模拟车辆的功率与能量需求。

FC+UC车载复合电源驱动系统如图2所示。



图1 试验系统结构图
Fig.1 Structure scheme of test bench

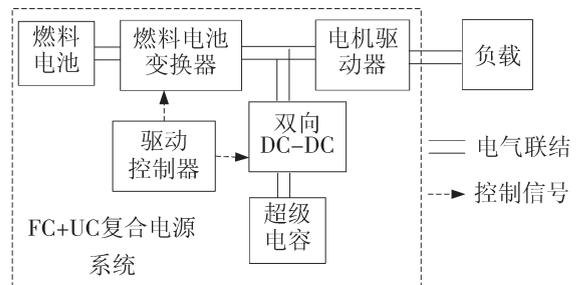


图2 FC+UC复合电源系统结构
Fig.2 FC+UC power supply system structure

燃料电池接单向DC-DC(燃料电池变换器)之后构成燃料电池电源子系统,而超级电容与双向DC-DC(超级电容变换器)一起构成超级电容电源子系统。这两个子系统在驱动控制器的控制下一同构成FC+UC车载复合电源系统。

FC+UC复合电源系统采用上下级控制管理方案,控制器分为上下两层,上层为驱动控制器,它负责管理执行层的功率分配;下层为执行层,它最终完成上层意图,提供功率,并具备一定的独立工作能力。上下层级通过CAN(controller area network,CAN)通讯方式进行联系。

由于FC伏安外特性特别软,当电流增加时电压下降较快且当它工作于大电流工况时效率较低,因此稳定FC出力将是复合电源系统的工作目标之一。直流母线电压稳定有利于电机的控制,保持母线电压在一定范围内变化。燃料电池不适于冲击性负载而加以限制,引入一阶惯性滤波环节能有效地抑制其响应变化率使FC变换器只响应低频负荷需求,同时算法采用PI控制算法。

2 瞬时功率控制

复合电源系统采用上下分层控制方案,即驱动控制器充当上层控制器完成功率的分配计算,以CAN通讯方式发令,下层的各个电源变换器子系统收到各自的给定量,充当执行机构完成最终的功率分配。

复合电源系统将FC变换器控制目标设定为恒定直流母线电压。对此变换器加入一阶惯性环节滤波以抑制其响应高频负载,使其平稳地提供能量。考虑到燃料电池的动态响应时间常数为1s,因此取变换器的惯性时间常数为1s以保证燃料电池不去响应高频负载的同时对其功率进行有效利用。

UC变换器控制目标为跟踪给定电流。UC变换器对所有负载均响应,不限制其功率输出变化率。

$$\begin{cases} p_{FC} = \frac{p_L}{1+TS} \\ p_{UC} = p_L - p_{FC} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $T = 1 \text{ s}$; S 为拉氏变换算子; p_L 为负载需求功率; p_{FC} 为FC变换器功率; p_{UC} 为UC变换器功率。

FC+UC复合电源系统匀速驱动电源功率分配如图3所示,图中实线为FC变换器输出功率,在图中下部的点线为UC变换器输出功率,在图中上部的虚线为总功率需求。从图3中可以看出在功率要求平稳时,FC变换器提供全部功率而UC变换器几乎不提供功率,满足算法要求。

实验结果可以看到在此控制方案下整个能量系统能满足负载功率需求,而在功率需求平衡运行时,燃料电池变换器提供所有出力,而UC变换器几乎不工作,满足系统控制目标要求。

FC+UC复合电源系统进行变功率运行实验,其结果如图4所示,图中实线为FC变换器输出功率,虚线为总的功率需求。图5为此实验转速转矩参考值。

从图5中可以看出FC变换器以惯性曲线形式提供功率避免其响应高频负载而UC变换器提供不足功率。在此控制方案下当功率变化时,FC变换器的功率变化按照控制方式即惯性环节特性进行变化。因此利用惯性环节可以有效抑制其响应高频负载,满足系统控制目标要求。

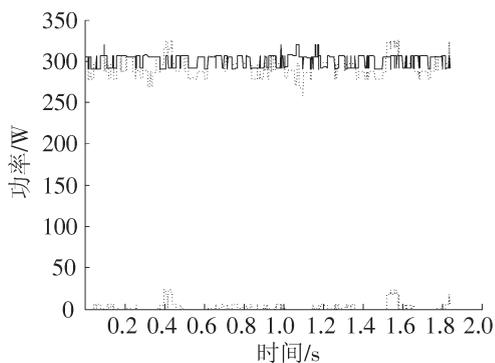


图3 FC+UC电源系统匀速驱动电源功率分配
Fig.3 FC+UC Power allocation of power sources in uniform velocity driving

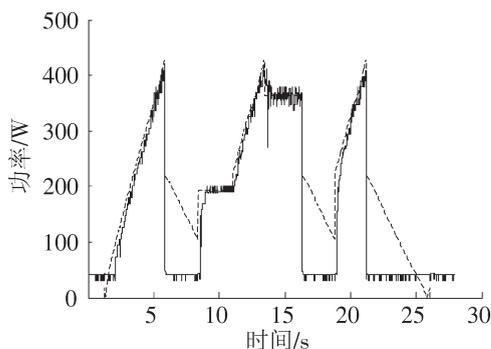


图4 FC+UC复合电源系统变功率电源功率分配
Fig.4 Power allocation of power sources in variable power

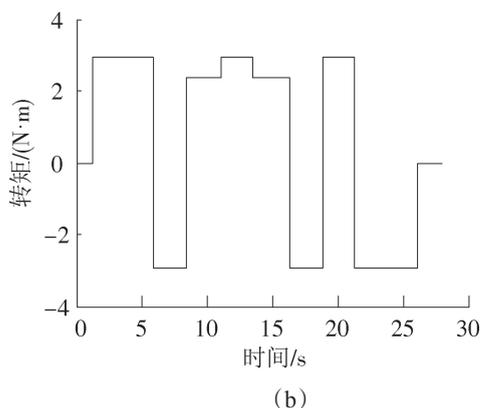
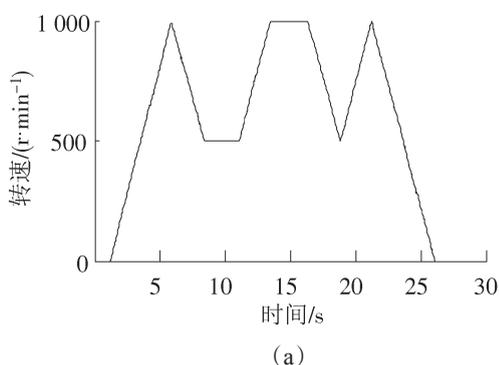


图5 FC+UC复合电源系统转速转矩参考值
Fig.5 Rotate speed and torque reference values

将此控制算法用于进行UDDS(urban dynamometer driving schedule, UDDS)运行的功率控制以测试其效果。FC+UC复合电源系统UDDS工况测试如图6所示,图中虚线为参考值而实线为跟踪值,两者几乎重合,实验结果表明系统能很好的进行复杂工况运行。

实验结果表明对于FC+UC复合能量系统,该控制方案下能稳定的工作并且能有效的跟踪车辆对功率

的需求。

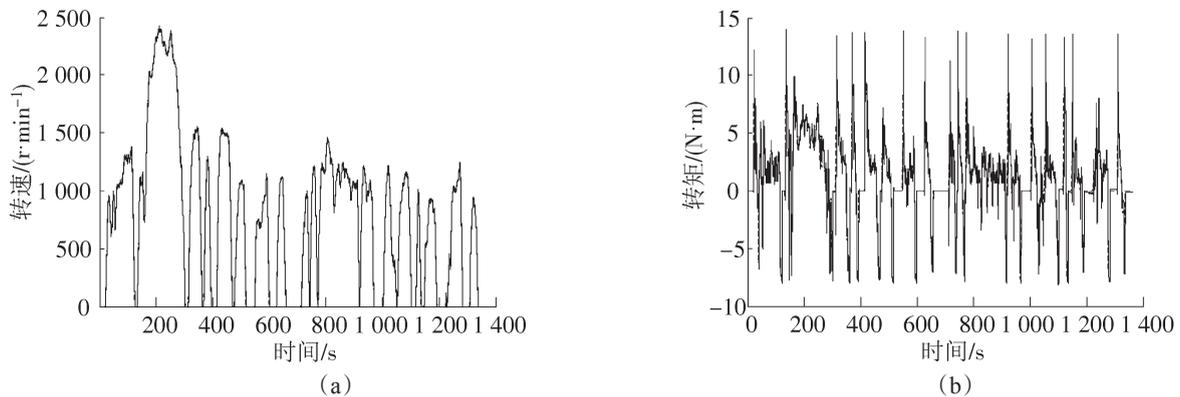


图6 FC+UC复合电源系统UDDS工况测试
Fig.6 UDDS work condition testing

4 小结

以往研究更多地关注整车能量管理研究与经济性,本文针对燃料电池(FC)+超级电容(UC)复合电源构型进行瞬时功率研究。复合电源系统采用上下级的分级控制方案,即驱动控制器充当上层控制器完成功率的分配计算,通过CAN通讯的方式发令,下层的各个电源变换器子系统收到各自的给定量,充当执行机构完成最终的功率分配。由于FC不利于响应高频负荷,对FC变换器加入一阶惯性延迟环节滤波以抑制其响应变化率。UC由于其很好的功率响应特性,对其功率响应不加限制,仅加入限流和限压保护。此方案可以抑制FC高频响应,对FC进行保护提高其工作效率与使用寿命而且对单片机的计算能力要求不高,易于工程化实现。

参考文献:

- [1] UZUNOGLU M, ALAM M S. Modeling and analysis of an FC+UC hybrid vehicular power System using a novel-wavelet-based load sharing algorithm [J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2008, 23(1): 263-272.
- [2] ARDALAN V, WESLEY G. A decentralized model predictive control approach to power management of a fuel cell-ultracapacitor hybrid [C]// Proceedings of the 2007 American Control Conference, New York, USA: IEEE, 2007: 5431-5437.
- [3] RODATZ P, PAGANELLI G, SCIARRETTA A, et al. Optimal power management of an experimental fuel cell/supercapacitor-powered hybrid vehicle [J]. Control Engineering Practice, 2005, 13(1): 41-53.
- [4] ZDENEK C, PAVEL M. Regenerative braking by electric hybrid vehicles using super capacitor and power splitting generator [C]//EPE Dresden, 2005, Dresden Germany: IEEE, 2005: 1-10.
- [5] JULIA S, JULIA S B, RIK W D. Optimized energy management for fuelcell-supercap hybrid electric vehicles [C]//Vehicle Power and Propulsion: 2005 IEEE Conference, Chicago, USA: IEEE, 2005: 341 - 348.
- [6] MAHSHID A, SHAHROKH F. Fuzzy control of a hybrid power source for fuel cell electric vehicle using regenerative braking ultracapacitor [C]//EPE-PEMC, 2006, Portoroz, Slovenia: IEEE, 2006: 1389-1394.
- [7] FAZAL U S, DIMITAR F. Fuzzy rule-based driver advisory system for fuel economy improvement in a hybrid electric vehicle [C]//Fuzzy Information Processing Society: Annual Meeting of the North American NAFIPS' 07, San Diego, USA: IEEE, 2007: 178-183.
- [8] 陈全世, 仇斌, 谢起成. 燃料电池电动汽车[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 28-38.
- [9] 仇斌, 陈全世, 黄勇. 采用超级电容的燃料电池城市客车参数匹配和性能仿真[J]. 汽车工程, 2007(1): 41-45.
- [10] 张冰战, 赵韩, 张炳力, 等. 超级电容与燃料电池发动机混合动力系统测试研究[J]. 汽车技术, 2008(4): 44-47.

- [11] SCHELL A, PENG H, TRAN D. Modeling and control strategy development for fuel cell electric vehicles[J]. Annual Reviews in Control, 2005(29):159-168.
- [12] OSVALDO B, ERIC R W, FRANCESCO V. Power management decoupling control for a hybrid electric vehicle [C]//Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control and the European Control Conference 2005, Seville, Spain: IEEE, 2005:2012-2017.
- [13] WU DI, SHELDON S W. Performance characterization and comparison of power control strategies for fuel cell based hybrid electric vehicles [C]//Vehicle Power and Propulsion Conference 2007, Arlington, USA: IEEE, 2007:55-61.
- [14] 曾建军. 超级电容储能装置的应用研究[J]. 华东交通大学学报, 2009, 26(5):54-58.

The Power Control Study of FC + UC Hybrid Power Supply System

Xu Xiaoling, Liu Jun

(Electrical & Electronic Engineering School, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: As a key technology of electric vehicles (EV), hybrid power system has become a hot research topic, especially concerning energy management and economy saving. After analyzing instantaneous power dispatching of the double power supply structure “fuel cell (FC) + ultra capacitor (UC)”, the paper proposes a control scheme to suppress FC’s instantaneous power output by adopting the inertia loop with the upper-lower layer management method and the two-layer interaction through CAN. A series of experiments have been carried out to prove correctness of the control scheme.

Key words: hybrid power supply; power control; inertia delay; electric vehicle

喜报 我校学报荣获教育部颁发的“中国科技论文在线优秀期刊”一等奖

日前,教育部科技发展中心公布了2011年度“中国科技论文在线优秀期刊”暨“中国科技论文在线科技期刊优秀组织单位”评选结果(教技发中心函[2012]182号),我校学报荣获“中国科技论文在线优秀期刊”一等奖,成为江西省惟一获得此项荣誉的期刊。获此殊荣是对学报办刊质量的充分肯定,同时也大大提升了华东交通大学学报的品牌效应和社会影响力。

这次优秀期刊的评选范围是在教育部主办的“科技论文在线”网站收录的教育部主管的600余种各类期刊中进行。优秀期刊评选分两个等级。共评出一等奖45项,二等奖72项。江西省高校主办的学报有三家获奖,仅我校学报获得一等奖。此次评选标准主要为期刊的影响因子和论文数据下载量等指标。我校学报论文2011年全年的下载量为25 316次,得分为29分(满分30分)。充分说明我校学报的整体质量有了很大的进步,受到专家学者的广泛关注。

学报编辑部将和全校教职工共同努力,创造更好的业绩,来回报关心和支持学报工作的各界人士的厚爱!

华东交通大学学报编辑部

2012-12-3