

· 自动化技术 ·

# 纯电动汽车直流双电源无缝切换技术

陈勇, 乐登

(电子科技大学能源科学与工程学院 成都 611731)

**【摘要】**针对纯电动汽车动力电池组突然失压的问题,提出了一种基于直流双电源的无缝切换控制算法。该算法在纯电动汽车上增设一组备用电池,一旦检测到动力电池组有失压趋势,立即启用备用电池及升压电路,与动力电池组并联向负载供电,同时进一步检测动力电池组电压性能,根据检测结果决定采用动力电池组或备用电池供电线路。该算法能够实现直流双电源无缝切换,保证负载设备的安全可靠运行,仿真结果表明了该算法的可行性和有效性。

**关键词** 升压; 双电源; 纯电动汽车; 无缝切换

中图分类号 TN86

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.06.014

## Seamless Switching Technology for Pure Electric Vehicles Based on DC Dual Powers

CHEN Yong and YUE Deng

(School of Energy Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610731)

**Abstract** To the sudden voltage-loss problem of battery pack in pure electrical vehicles, this paper proposes a seamless switching algorithm used for dual DC power supply. The key of this algorithm is to place a spare battery on the pure electrical vehicles as additional energy for the battery pack. When detected the pack battery has a trend of loss of voltage, in no time, the control system start the boost circuit of the spare battery. At the same time, the control system makes the battery pack and the spare battery in parallel as the power supply for the motor driver system. Then the performance of the battery pack is tested further to put in use of the battery pack power supply or the spare battery power supply. This algorithm can achieve seamless switching, make sure the load voltage stability and the equipment operation safety and reliably. The simulation results demonstrate the validity and feasibility of the proposed algorithm

**Key words** Boost voltage; dual powers; pure electric vehicle; seamless switching

随着国民经济的发展,能源和环保问题日益突出,节能减排和环境保护成为维持经济和社会可持续发展的重大任务。世界各国加强了对新能源汽车的研究,纯电动汽车以其清洁无污染、零排放的优越性能,成为当今世界最有发展前途的交通工具之一。由于纯电动汽车动力系统具有供电单一的特点,一旦动力电池组发生失压故障,将造成纯电动汽车紧急停车,引发连续追尾事故。为了保障驾乘人员和车辆的安全,在纯电动汽车上增设一组备用电源,当动力电池组发生失压故障时,启用备用电池向负载供电,为驾驶员争取一定的应急时间,同时保证切换过程中纯电动汽车平稳运行。因此基于纯电动汽车直流双电源无缝切换控制技术的研究具有重要的意义<sup>[1]</sup>。

传统的双电源切换都采用人工切换方式,即主电源发生故障时,通过人工切换,由辅助电源为负载供电。这种切换方式虽然在一定程度上提高了直流电源设备运行的可靠性,但切换过程中会造成负载供电的短时中断,影响设备的安全可靠运行,这种切换方式应用在负载对切换时间要求很低场合,因此,针对纯电动汽车动力电池组的突然失压的切换控制,采用人工切换是不可能的<sup>[2]</sup>。当前的切换一般采用控制芯片实时监测主电源的供电状态,一旦检测到主电源发生失压故障,经过一定的故障判断延时和死区延时,控制器切断主电源供电线路,接通备用电源供电线路。这种切换控制方式在一定程度上缩短了电源供电中断时间,但在设备对电源连续性要求非常高的场合,依然可能使负载

收稿日期: 2012-07-23; 修回日期: 2013-03-21

基金项目: 国家自然科学基金(61105030); 中央高校基本科研业务费专项资金(ZYGX2011J02); 四川省科技支撑计划(2013GZ0054)

作者简介: 陈勇(1977-),男,博士,副教授,主要从事电机控制技术、电力电子技术、先进控制理论方面的研究。

系统断电,影响设备的安全可靠运行。文献[3]把无缝切换思想应用到逆变器中,使逆变器输出的电压频率、幅值,相位跟踪电网的电压频率、幅值、相位,实现并网与脱网两种工作模式的无缝切换。文献[4]把无缝切换思想应用到双向AC/DC变换器中实现各并联模块整流与逆变之间的无缝切换。本文把无缝切换思想应用于双并联电源中,实现负载双电源供电的无缝切换,不仅可以使负载电压在切换过程中保持稳定,而且使负载的两个供电电源之间的切换时间达到零秒。该算法适用于对切换时间要求非常高的场合,特别适用于纯电动汽车动力电池组突然失压的安全控制装置中。

## 1 纯电动汽车双电源供电整体结构

动力电池组是纯电动汽车的主要动力源,一旦动力电池组发生失压故障,将造成纯电动汽车紧急停车,引发连续追尾事故。因此,采用双电源供电方式的纯电动汽车供电系统具有重要的研究意义,其结构如图1所示。

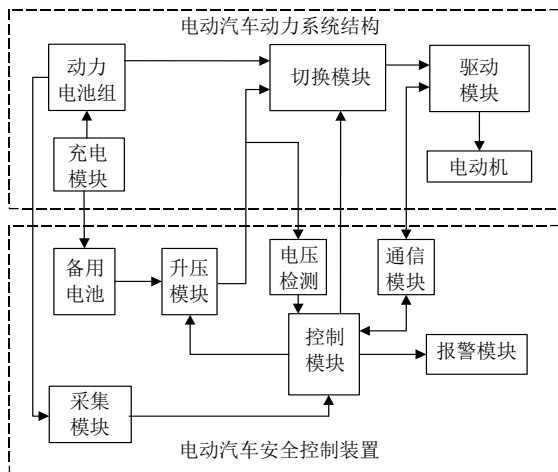


图1 纯电动汽车的双电源供电系统

纯电动汽车供电系统包括动力电池组、备用电池、升压模块、切换模块、采集模块、电动机及其驱动模块。动力电池组是纯电动汽车的主要动力源,当动力电池组发生失压故障时由备用电池为系统供电,使纯电动汽车有短暂的续航能力,给驾驶员一定的应急时间,防止事故发生。出于对成本和重量的考虑,通常备用电池的规模和数量均小于动力电池组,其输出电压也低于动力电池组,为了与动力系统的逆变器电压等级相匹配,需要升压后才能接入动力系统。采集模块实时监测动力电池组电压状况,把检测结果送入控制模块,控制模块根据检测结果控制动力电池组与备用电池供电线路的开通与

关断。

## 2 升压电路的设计

纯电动汽车的动力系统是一个高压电气系统,其驱动电动机的供电电压在300 V以上,如丰田B6纯电动汽车动力电池组的输出电压是320 V,日产凌风纯电动汽车动力电池组的输出电压是345 V。考虑一定的裕量,动力电池组的输出电压为350 V,相应的升压电路输出电压也为350 V。出于对成本和整车重量的考虑,备用电池的规模和数量要远小于动力电池组,综合方面因素,备用电池的电压为100 V。

为了得到稳定的输出电压,升压电路采用Boost型闭环升压电路,电路原理图如图2所示。

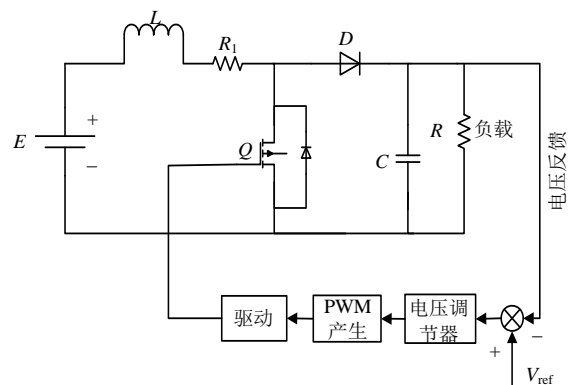


图2 Boost闭环升压电路原理图

图中,  $V_{ref}$  为给定的参考电压,即动力电池组正常运行时的输出电压,与反馈电压进行比较后经过PI调节器进入控制模块,产生PWM波,控制MOSFET开关管的开通与关断。电路中的电感  $L$  值和电容  $C$  值较大,当  $Q$  处于通态时,电源  $E$  向电感  $L$  充电,充电电流基本恒定为  $I$ ,同时电容  $C$  上的电压向负载  $R$  供电,由于电容  $C$  值较大,基本保持输出电压  $U$  为恒值。设  $Q$  处于通态的时间为  $t_{on}$ ,此阶段电感  $L$  上积累的能量为  $El t_{on}$ ;当  $Q$  处于断态时,  $E$  和  $L$  共同向电容  $C$  充电,并向负载  $R$  提供能量,  $Q$  处于断态的时间为  $t_{off}$ 。当电路处于稳态时,一个周期  $T$  内,电感积累的能量与释放的能量相等,即:

$$El t_{on} = (U - E) I t_{off}$$

可计算得到:

$$U = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} E = \frac{T}{t_{off}} E$$

式中,  $T/t_{off} \gg 1$ 。输出电压高于输入电压,即使在负载波动情况下,通过闭环控制,实时调节PWM波的占空比,使升压电路的输出值始终稳定在350 V,维持电动汽车驱动系统的稳定可靠运行<sup>[5-6]</sup>。

### 3 动力电池组的失压趋势判断

纯电动汽车电气系统的电压高达300多伏, 为了便于电压信号采集, 本文算法采用分压的方式使采样输出电压在0~5 V的范围内变化, 经过A/D转换送入控制系统进行信号分析。电动汽车在运行中是一个复杂的能量转换过程, 蓄电池放电时的电流会随着电动汽车的实际运行状况的不同而发生很大的变化, 电压亦有一定的波动, 特别是长时间运行时, 蓄电池的温度会升高, 而温度是电池内部化学反应的催化剂, 温度高使电池反应加剧, 其电压也会发生较大的变化, 因此需对动力电池组是否失压进行预测, 防止切换系统频繁动作。

动力电池组是由多个单体电池串联而成, 根据12 V单体锂电池放电终止电压为10.5 V, 计算得到350 V动力电池组的放电终止电压为306 V。当动力电池组的电压低于放电终止电压时, 不仅无法驱动纯电动汽车, 而且继续放电, 动力电池组的电压会急剧下降, 造成无法正常供电, 这将导致动力电池组的使用寿命大大缩短。因此本文算法中采用动力电池组的正常电压与放电终止电压的算术平均值作为判定其有失压趋势的临界电压值<sup>[7-10]</sup>。

### 4 无缝切换原理

直流双电源无缝切换装置由信号采集模块、升压模块、微处理器控制系统、逆止电路、IGBT组件开关等组成, 其原理图如图3所示。

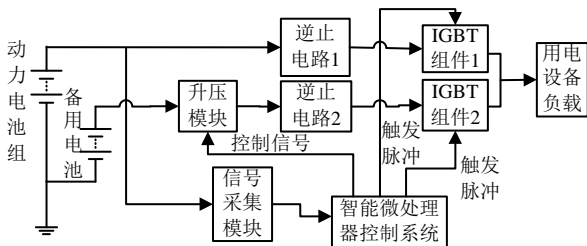


图3 无缝切换原理图

针对传统的直流双电源切换时间过长导致负载电压变化的问题, 本文装置采用无缝切换控制算法, 使负载电压保持基本稳定。目前的双电源自动切换装置由具有机械闭锁的两个接触器构成, 都有触点开关, 开关时间长而且有火花产生。优秀的双路开关切换延迟时间是0.1~60 s。而一些敏感的设备如可编程控制器在断电的一个周波即20 ms后就会自动重新启动, 所有逻辑都将自动复位, 因此切换开关组件的选择对缩短切换时间、保持负载电压稳定具有重要的意义。本文提出的控制算法中切换开

关采用耐高压的IGBT器件, IGBT是一种新型的开关器件, 具有无触点、快速、无火花接痕等特点, 其开通关断时间仅为几微妙, 非常适合作为无缝切换控制系统的切换开关。

供电系统正常运行时, IGBT组件1导通, IGBT组件2关断, 由动力电池组向负载供电, 信号采集模块实时监测动力电池组的电压。当监测到动力电池组有失压趋势, 微处理器控制系统发出控制信号启动升压电路, 同时发出触发脉冲, 开通IGBT组件2, 此时动力电池组和备用电池并联向负载供电。最终动力电池组和备用电池中电压较大者为负载的供电电源, 逆止电路可以隔离故障电源, 防止两电源串联。在双电源并联供电过程中, 微处理器控制系统进一步判断动力电池组的电压状况, 经过一定的延时, 排除外界因素或负载扰动引起动力电池组电压的波动。若动力电池组发生失压故障, 微处理器控制电路发出触发脉冲切断IGBT组件1, 由备用电池经过升压向负载供电; 若动力电池组电压是由于负载扰动或外界因素引起的短暂电压降, 则等待其电压恢复正常时, 微处理器控制电路发出触发脉冲切断IGBT组件2, 由动力电池组继续向负载供电。该算法的优点是在判断动力电池组是否失压过程中, 由双电源并联向负载供电, 填补了判断过程中系统断电的空白, 使负载电压保持稳定, 实现了电源无缝切换。

### 5 仿真结果与分析

在升压电路仿真中设置的PI参数为:  $K_P=0.01$ ,  $K_I=0.000\ 000\ 01$ , 备用电池的电压为100 V, 仿真模块的搭建和仿真波形分别如图4和图5所示。

图4为闭环Boost升压电路的仿真模型图, 采用滞环比较器产生PWM波控制MOSFET管的开通与关断, 实时调节占空比, 使输出电压精确达到给定值。

图5为传统的切换控制与无缝切换控制算法对比仿真图, 其中动力电池组和备用电池均采用可控电源模拟动力电池组的电压波动与失压故障。根据备用电池的升压仿真结果控制可控电源的升压时间和输出的升压值。动力电池组失压趋势和失压故障的判断均采用滞环比较器。

图6为备用电池升压仿真波形, 由图中可以看出, 采用闭环Boost升压方案, 一旦控制系统启动升压电路, 在8 ms内, 备用电池的电压可以由100 V升高到350 V, 而且稳定在350 V, 满足电机驱动系统电压要求。

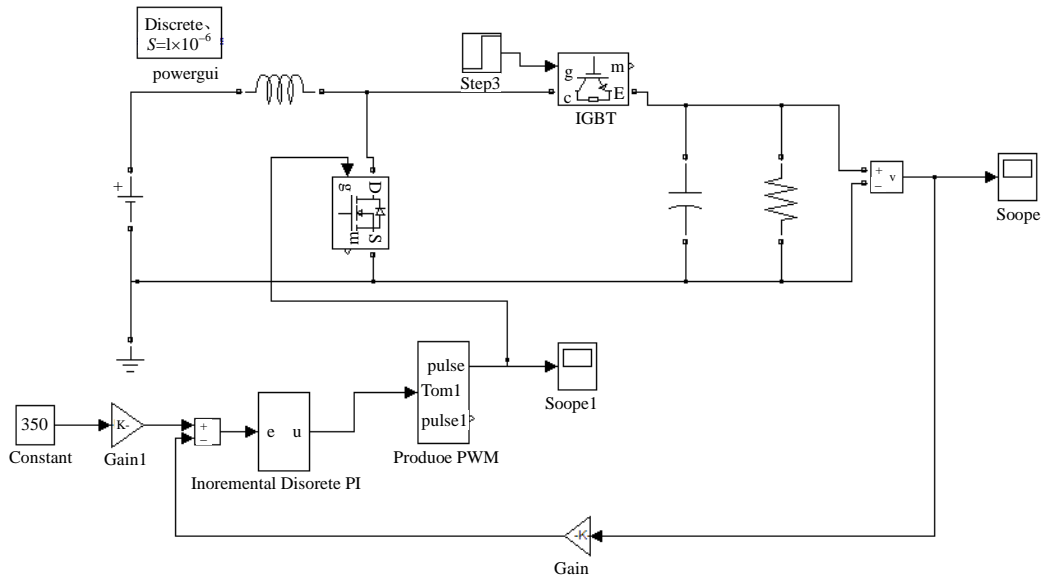


图4 备用电池升压仿真模型

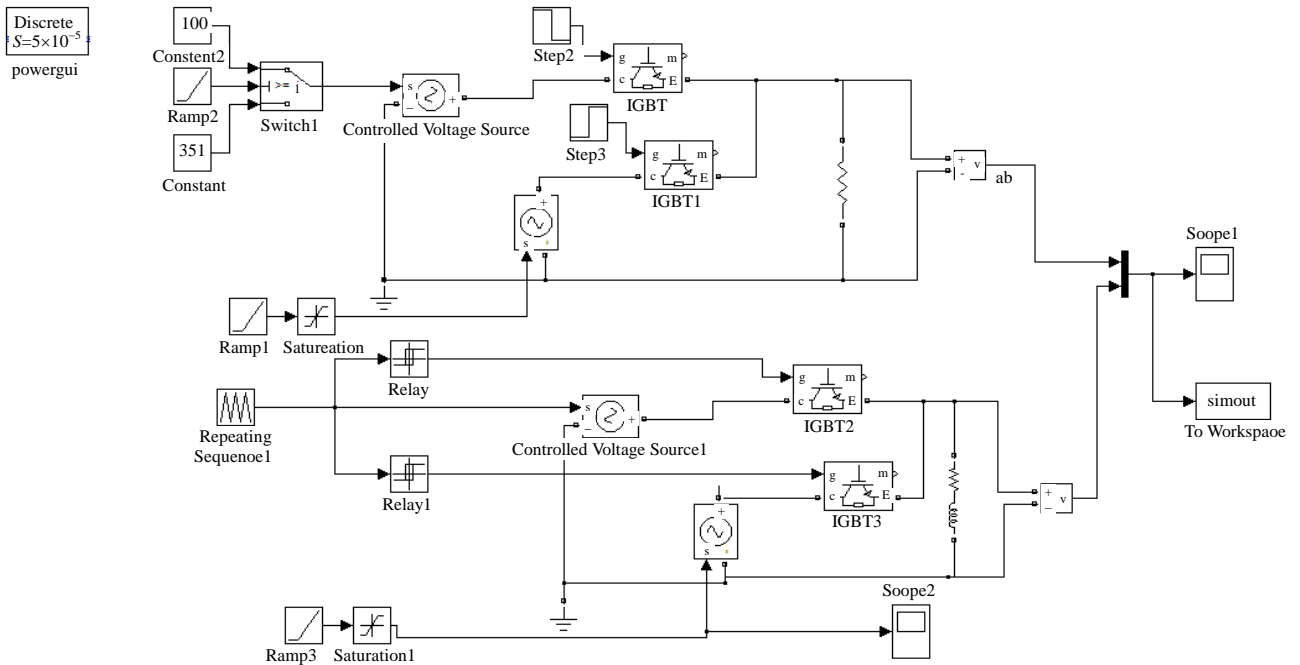


图5 切换算法对比仿真模型

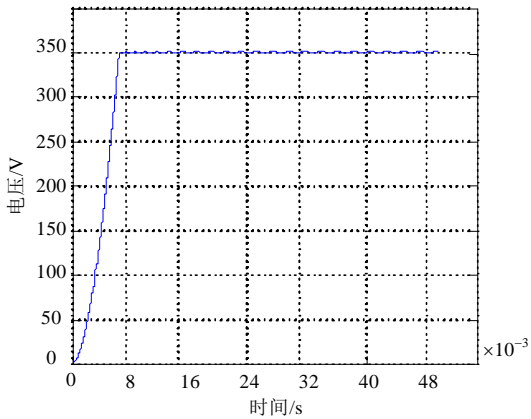


图6 备用电池升压仿真结果波形

图7为传统的切换方法与无缝切换算法仿真波形对比图，实线曲线为传统切换方法仿真波形，虚线曲线为无缝切换控制算法仿真波形。由图可以看出，传统切换方法在备用电池组突然失压的情况下不能及时切换到备用电池，而且在切换过程中，系统会有一段时间的断电，这对于敏感设备会造成系统重启，影响系统的安全运行。无缝切换算法在工作电源断电的情况下，能无缝切换到备用电池供电，维持供电的连续性，保障了系统安全稳定运行。

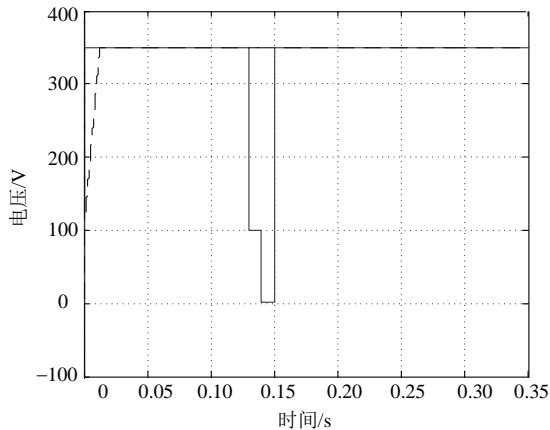


图7 无缝切换和传统切换仿真波形对比

## 6 结 论

本文提出了一种无缝切换控制算法, 当系统检测到动力电池组有失压的趋势, 控制系统迅速启动升压, 将备用电池与动力电池组并联向负载供电; 在判断动力电池组是否失压的过程中, 负载的供电电源是动力电池组与备用电池电压较高的一个; 然后进一步检测动力电池组的电压状况, 根据检测结果决定切断动力电池组供电线路或者切断备用电池供电线路, 在切换过程中维持负载电压稳定, 实现了无缝切换。仿真结果充分证明了该无缝切换控制算法是可行的、有效的。

### 参 考 文 献

- [1] HILLENBRAND M, HEINZ M, ADLER N, et al. Failure mode and effect analysis based on electric and electronic architectures of vehicles to support the safety lifecycle[C]// 21st IEEE/IFIP International Symposium on Rapid System Prototyping. [S.l.]: IEEE, 2010.
- [2] LIU B, YANG L, ZHU J. Research of electric vehicle high voltage safety test system[J]. *Automobile Engineering*, 2005, 27(3): 274-277.
- [3] 高健, 刘昆. 一种新颖有效的逆变器无缝切换方法[J]. *电力电子技术*, 2006, 40(5): 56-57.  
GAO Jian, LIU Kun. A novel and effective seamless handover method of inverter[J]. *Power Electronics Technology*, 2006, 40(5): 56-57.
- [4] 张犁, 吴田进, 冯兰兰. 模块化双向AC/DC变换器并联系统无缝切换控制[J]. *中国电机工程学报*, 2012, 32(6): 90-96.  
ZHANG Li, WU Tian-jin, FENG Lan-lan. The seamless handover method control of modular bidirectional AC/DC converter[J]. *Journal of Electrical Engineering*, 2012, 32(6): 90-96.
- [5] LI Q, WOLFS P. A review of the single phase photovoltaic module integrated converter topologies with three different DC link configurations[J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2008, 23(3): 1320-1333.
- [6] ALONGE F, D'IPPOLITO F, CANGEMI T. Identification and robust control of DC/DC converter Hammerstein model[J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2009, 23(6): 2990-3000.
- [7] GU Shan-min, HE Ming-zhi. The new dual input DC power supply system[C]//2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. [S.l.]: IEEE, 2012.
- [8] ZHANG Zan-song, CAI Xuan-san. The principle and design of switching power supply[M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2004.
- [9] POP V, BERGVELD H, NOTTEN P, et al. State-of-the-art of battery state-of-charge determination[J]. *Measurement Science and Technology*, 2005, 16(12): 93-110.
- [10] HANSEN T, WANG C. Support vector machine based battery state of charge estimator[J]. *Journal of Power Sources*, 2005, 141(2): 351-358.

编辑 漆 蓉