

DOI: 10.3969/j.issn.1001-4551.2013.03.027

纯电动汽车高压回路安全监测系统设计

张 俊, 谢伟东*

(浙江工业大学 车辆工程研究所, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对纯电动汽车高压回路的安全监控问题,对纯电动汽车高压回路的配置、绝缘检测、预充电、高低压保护、高压环路互锁等方面进行了研究,对纯电动汽车驻停过程中高压回路的故障诊断与安全控制策略进行了归纳,提出了一种基于STM32 ARM Cortex-M3内核单片机以及CAN总线技术的监测系统,利用高压直流试验台对纯电动汽车的绝缘电阻以及发生故障时高压断路响应时间进行了测试。研究结果表明,该系统能实时监测高压系统的各项电气参数,能够实现绝缘检测、预充电、高低压保护、高压环路互锁等多项功能,系统故障断路响应迅速、可靠性高。

关键词: 纯电动汽车; 高压电安全; 监测; STM32

中图分类号: TM934; U469.72 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)03-0364-04

Design of high voltage circuit safety monitoring system for pure electric vehicles

ZHANG Jun, XIE Wei-dong

(The MOE key Laboratory of Vehicle Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at realizing high voltage safety circuit monitoring of the pure electric vehicle, insulation monitoring, pre-charging, high & low voltage protection and high voltage interlocking of the high voltage circuit were researched, and the monitoring system based on STM32 ARM Cortex-M3 and CAN bus technology was proposed. The insulation resistance and the failure cut response time of high voltage system were tested by using high voltage DC test rig. The results indicate that the system can real-time monitor the electrical parameters of the high-voltage, realize the function of insulation monitoring, pre-charging, high & low voltage protection and high voltage interlocking, and it has fast response and high reliability.

Key words: pure electric vehicles; high voltage safety; monitoring; STM32

0 引 言

近年来,能源危机和环境污染日趋严重,这与汽车工业的飞速发展有着密切的联系,当前发展高效、节能、零排放的纯电动汽车已成为汽车工业发展的必然趋势^[1],自20世纪90年代以来,针对电动汽车关键技术的研究在全球各大车企及高校陆续展开,丰田、日产、雪佛兰在这一领域的开拓最具代表性,其相当一部分技术已运用于实际车型^[2-3]。国际标准化组织(ISO、IEC)、美国、日本以及欧盟都在上世纪70年代

开始开展电动车辆安全的标准化工作,并相继发布一些标准^[4],国内的研究起步较晚,产业化程度也远远落后于国际先进水平,我国直到2001年,才发布了一系列有关电动汽车安全的国家标准^[5-7]。电动汽车的一个重要特点是装载有保证足够动力性能的高压电源,并形成具有高电压、大电流的动力回路,由3.6 V的单体电池串联而成的电池组,工作电压可在300 V以上,正常工作电流可达到数十甚至数百安培,瞬时短路电流更是成倍增加。当发生高压电路安全故障时,高压和大电流将会危及车上乘客的人身安全,同时还会

收稿日期: 2012-09-07

作者简介: 张 俊(1983-),男,浙江金华人,主要从事新能源汽车电气安全方面的研究. E-mail: zucczj@gmail.com

通信联系人: 谢伟东,男,教授,硕士生导师. E-mail: xwd@zjut.edu.cn

影响低压电气和车辆控制器的正常工作。因此,针对当前国内研究的滞后性,以及考虑到纯电动汽车的可靠性和安全性^[8],笔者认为对纯电动汽车高压电安全监测的研究工作具有极其重要的意义。

本研究设计的纯电动汽车高压回路安全监测系统,是在研究电动汽车高压回路特性的基础上,根据中华人民共和国国家标准 GB/T 18384.1-2001 中提出的绝缘电阻计算模型而设计的高压回路安全监测系统。该系统通过对纯电动汽车的高压回路进行实时监控,并利用现代检测手段给乘客提供多种反馈信息,以实现纯电动汽车高压回路在车辆启停过程中的有效控制以及高压回路故障的及时报警,最后通过综合分析车辆启停及故障响应过程相关电气参数,从而达到对整个监测系统性能的有效评估。

1 纯电动汽车高压回路配置

为了保证高压回路安全,根据纯电动汽车的实际结构和回路特性,研究者必须针对高压电防护进行特别的规划与设计:①蓄电池分组串联,每组电压 ≤ 96 V并配有熔断器,发生意外短路,可切断电池之间的连接;②将蓄电池组与相关的高压元件集成在一个封闭的箱体中,并在蓄电池箱体中设置直流接触器以保证发生故障时可手动或自动切断动力电源;③在电池包中设计高压回路安全监测系统,对电动汽车上所有与高压母线相连的各分路进行实时监控与故障诊断^[9]。这些设计是确保驾乘人员和车辆设备安全可靠运行的关键。

纯电动汽车整车高压回路典型配置图如图1所示。图1中,粗实线为整车高压线路,框图标记的区域为纯电动汽车高压回路,整个回路由高压动力蓄电池组供电,经过DC/DC变换之后输入到整车高压回路中。高压回路包括3路:一路经过DC/AC变换形成三相交流电为车辆推进电机供电,驱动汽车行驶;一路同样经过DC/AC变换形成三相交流电给空调压缩机供电;还有一路则经过DC/DC变换形成12 V直流为其

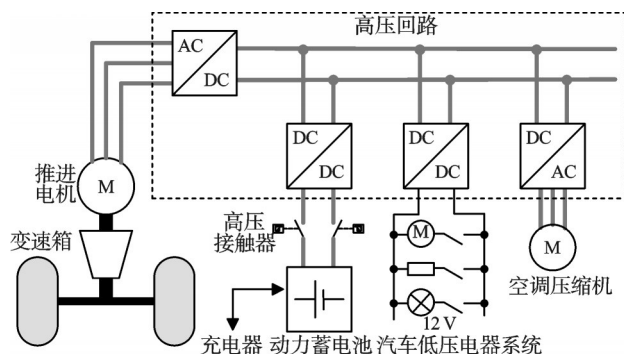


图1 纯电动汽车整车高压回路典型配置图

他汽车低压电器供电。整个高压回路的安全保护由监测系统控制高压接触器的通断来实现。

2 安全监测系统的硬件设计

系统硬件设计是整个系统设计的基础,本研究根据纯电动汽车高压回路安全设计要求,首先定义系统所实现的相应功能,再针对不同的功能设计各个硬件模块。

2.1 设计要求

根据国家标准 GB/T 18384.1-2001 以及通过人体电流安全标准 IEC 60479-1:2005^[10],纯电动汽车高压安全要求如下:

(1) 漏电流不能超过人体安全阈值($30 \text{ mA} \cdot \text{s}$),接触电压不能超过人体安全电压(36 V);

(2) 绝缘电阻阻值除以标称电压值至少大于 $100 \text{ } \Omega/\text{V}$,最好大于 $500 \text{ } \Omega/\text{V}$;

(3) 接通时需有预充电过程,以避免接通时的瞬态高压电冲击;

(4) 无论在什么情况下,高压接触器的断开时间应小于 20 ms ;

(5) 电源断开 1 s 后,任何可触及的导电部分和地之间的交流峰值电压应低于 42.4 V ,直流电压应低于 60 V ,并且存储的能量应少于 20 J 。

2.2 系统功能和组成

纯电动汽车高压回路安全监测系统是实现高压故障诊断和安全监测的智能系统。针对高压回路可能发生的故障,系统应具备如下主要功能:

(1) 绝缘电阻检测;

(2) 上电防瞬态冲击;

(3) 高低压保护;

(4) 过电流检测;

(5) 高压环路互锁检测;

(6) CAN总线通讯。

纯电动汽车高压回路安全监测系统的结构原理图如图2所示。

STM32芯片发出的信号可控制 R_0 是接入蓄电池正端还是接入蓄电池负端;电池组正负端对地电压、电池组总电压、高压系统两端电压以及负载端电压都经过A/D转换后传入监测系统的STM32芯片;高压环路互锁检测模块产生一个激励信号输入高压系统回路,然后接收返回的信号,根据返回信号的幅值判断高压系统回路的连接状况;负载工作状态则由负载状态检测模块实时检测;CAN通讯模块可与PC相连,输出自行分析诊断结果和更为全面的高压系统状态信息、响应过程和执行情况。

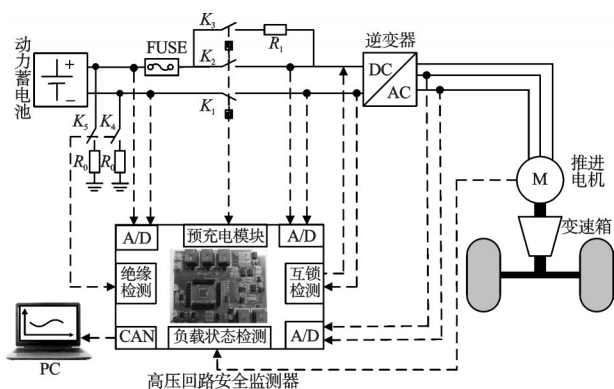


图2 纯电动汽车高压回路安全监测系统结构原理图

K_1, K_2 —由高压回路安全检测器的STM32芯片控制的高压主电路常开直流接触器开关; K_3 —预充电控制模块控制的高压常开直流接触器开关;FUSE—高压熔断器,起到过流熔断保护作用; K_4, K_5 —由绝缘检测模块控制的继电器

3 安全监测系统的软件设计

纯电动汽车高压回路的故障诊断与安全监测程序整体的设计思想是要保证纯电动汽车在上电、运行、断电全过程的高压用电安全。

3.1 上电过程控制策略

纯电动汽车高压回路存在大量容性负载,在高压电路上电时,由于系统容性负载的存在,将会对整个高压系统造成瞬态冲击,在上电过程中研究者需要对高压电路进行预充电。当纯电动汽车接到有效启动命令之后,高压回路安全监测系统上电,这时如果蓄电池剩余电量充足,电压正常,并且电路无互锁、绝缘和短路等故障,则接通预充电系统,进行高压电路预充电,如果预充电在规定时间内完成,系统接通高压回路,否则禁止接通高压回路。

3.2 运行过程诊断策略

高压回路预充电结束并成功接通回路之后,车辆进入正常运行状态。这时为了保证高压回路用电安全,避免对乘客和车辆损害,系统进入实时故障诊断状态,利用原理计算模型对绝缘电阻、电压、电流等与高压电安全直接相关的重要电气参数进行实时循环检测,根据发生故障的严重程度做出相应的故障处理。当发生绝缘故障、高低压故障、高压环路互锁故障、短路或车辆碰撞、侧翻时,应及时断开高压回路并报警。

3.3 断开过程控制策略

当系统接收到正常断开信号后,则进入断电程序,在正式切断主接触器之前,本研究需要首先检测车辆电池组温度值,在温度值许可的情况下直接完成断电,如果温度值过高,则需要强制降温到许可值时再切断高压回路。最后一步是完成系统余电泄放。

高压回路安全监测系统程序流程示意图如图3所示,展示了上电、运行、断电过程程序的设计思路。

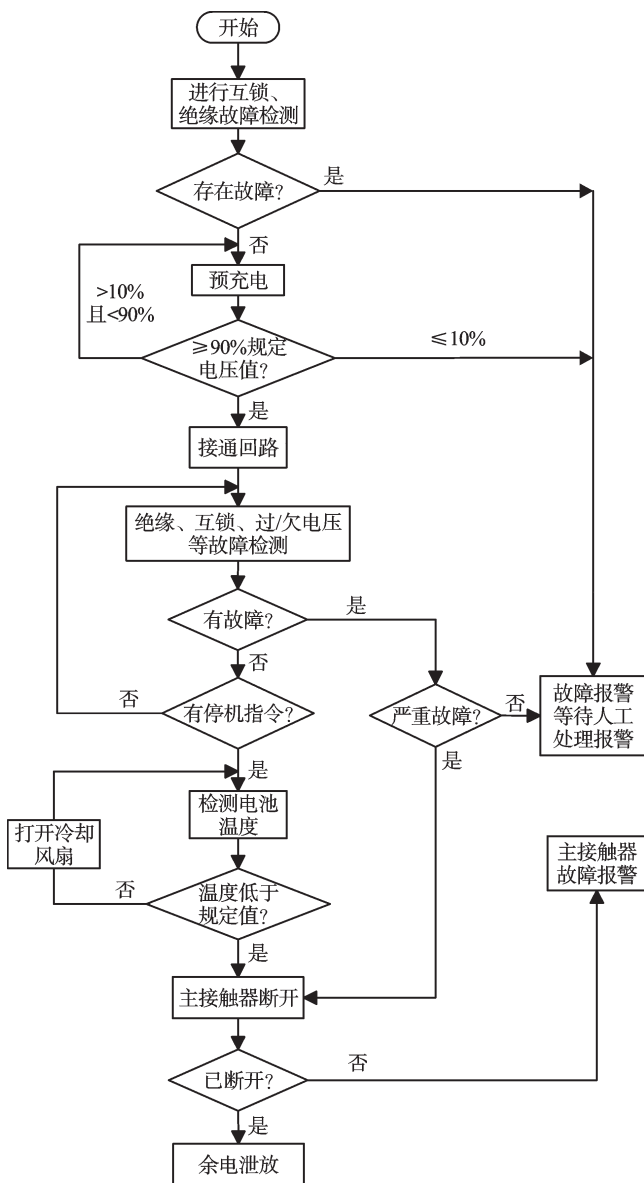


图3 高压回路安全监测与控制流程示意图

4 测试与结果分析

本研究利用高压直流试验台作为试验载体对纯电动汽车的绝缘电阻以及高压故障断路响应时间进行了测试。

4.1 绝缘电阻计算模型验证实验

绝缘电阻的阻抗是需要测量的,所以不方便直接用来做验证实验。本研究采用的测试方法是可将已知阻抗的电阻 R_0 接入电路中,监测程序根据采集的电气参数和计算模型计算出绝缘电阻值,通过对测量值和理论值的比较,验证绝缘电阻计算模型的准确性。其中实验用电池组电压200 V。测试结果如表1所示。

表1 绝缘电阻值测试结果(单位:k Ω)

	测量值	理论值	误差
第1次	98	100	2
第2次	105		5
第3次	101		1
第4次	107		7
第5次	95		5
平均值	101.2		1.2
标准偏差		4.919	

由表1可知,绝缘电阻的测量值相对于理论值100 k Ω 有1.2%相对误差,标准偏差为4.919,这也就证明了绝缘电阻计算模型的正确性。

4.2 接触器断开响应实验

高压回路接触器断开响应时间是判定纯电动汽车高压回路安全监测系统性能优劣的一个重要技术指标。本研究通过采集接触器线圈电流和触点断开数据,可获取高压接触器的断开响应过程数据,接触器断开响应曲线图如图4所示,输入端口电平拉高后,接触器线圈电流迅速减小,由于线圈为感性元件,电流不会立即为零,需要经一个二极管反向放电,此时输出端口仍然为低电平,放电过程完成后,输出端口高电平,接触器完全断开。

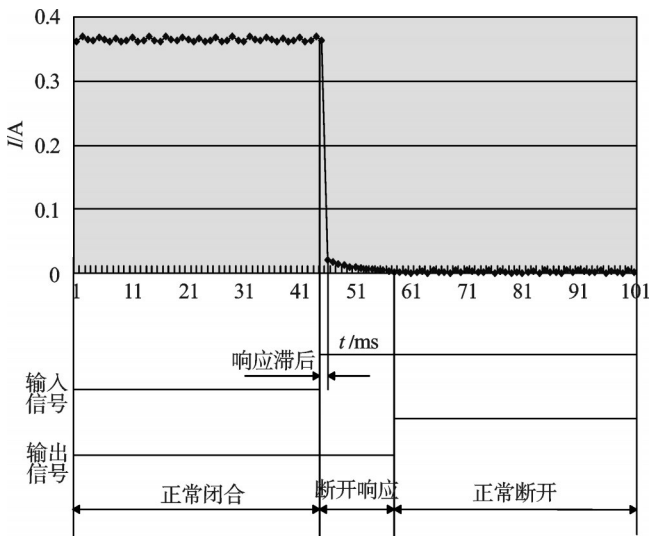


图4 接触器断开响应曲线

图4中,断开响应时间大约为14 ms,与国家标准(GB/T 18384.1-2001)中所要求的安全值(20 ms)相比,断开响应速度提高了30%。

5 结束语

在对纯电动汽车高压回路典型配置进行研究的基础上,笔者提出了一种纯电动汽车高压回路安全监控硬件配置形式,作为系统硬件设计的依据;接着,设计了一套系统高压回路在上电、运行、断开全过程的安全监控流程,作为系统软件设计的基本流程;最后,利用高压直流试验台对绝缘电阻值和断路响应时间进行了验证。

研究结果表明,该监测系统绝缘电阻测量的结果符合设计要求,系统断路响应迅速、可靠性高。

参考文献(References):

- [1] 边耀璋. 汽车新能源技术[M]. 北京:人民交通出版社, 2003.
- [2] Car of the Year 2011: Close win for Nissan Leaf [EB/OL]. [2010-11-29]. [http://www. caroftheyear. org/winner/Nissan/Leaf/2011_52/coty](http://www.caroftheyear.org/winner/Nissan/Leaf/2011_52/coty).
- [3] 陈 超,谢 瑞,何湘宁,等. 电动汽车车载锂电池分段充电策略研究[J]. 机电工程, 2011, 28(7): 887-890, 900.
- [4] International Standard Organized. ISO 6469-1: 2009 Electrically propelled road vehicles Safety specifications-Part1: On-board rechargeable energy storage system (RESS) [S]. Switzerland Geneva: Standards Policy and Strategy Committee 2009.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18384. 1-2001 电动汽车 安全要求 第1部分: 车载储能装置[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18384. 2-2001 电动汽车 安全要求 第2部分: 功能安全和故障防护[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 18384. 3-2001 电动汽车 安全要求 第3部分: 人员触电防护[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [8] WESTBROOK M H. The Electric Car [M]. London: The Institution of Electrical Engineers, 2001.
- [9] 电动汽车网. 纯电动客车高压电气安全技术及使用规范 [EB/OL]. [2012-07-30]. http://news. ddc. net. cn/news-view_41479. html.
- [10] International Electro technical Commission. IEC 60479-1: 2005 Effects of current passing through the human body-Part 1: General aspects[S]. Switzerland Geneva: Standards Policy and Strategy Committee, 2005.

[编辑:李 辉]