

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.03.06

电动汽车能量管理单元电路板自动测试系统

刘奕任, 齐铂金, 郑敏信

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘 要: 针对电动汽车能量管理单元其电路板测试繁杂的问题, 研究设计一种自动测试系统。采用 **Frescale MC9S12** 系列 MCU 作为主控芯片, 通过 CAN 总线实现上位机、下位机、被测板之间的数据传输。系统实现了对能量管理单元 4 种板件及整机的 6 类不同测试。上位机软件可对测试项目进行高度灵活地配置, 实时显示测试结果, 保存至数据库, 并生成 Word 报表。经前期测试, 对于同一种板件的全功能测试可在 1 min 内完成, 单个通道的绝对误差可小于 0.05 V, 并且其故障检出率可达到 100%。

关键词: 能量管理单元; 自动化测试; CAN 总线; 系统框架; 软件架构

中图分类号: TB22; TP274.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2016) 03-0022-06

Printed Circuit Board Assembly (PCBA) Automatic Test System for Energy Management Unit of Electric Vehicles

LIU Yiren, QI Bojin, ZHENG Minxin

(School of Mechanical Engineer and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: To solve the problem of Energy Management Unit (EMU) of electric vehicles, we develop an automatic test system. MCU of **Frescale MC9S12** series is used as master chip. Upper computer, lower computer and unit to be tested are connected with CAN. 6 different tests of unit and its 4 types of PCBA can be tested by automatic test system. The test items can be configured highly flexible. Upper computer software shows the test results in real time, saves the data to the database and creates the Word table. After the early testing, all tests of one kind of PCBA can be finished in 1 minute. The absolute error of the automatic test system is less than 0.05V, and its fault detection rate is 100%.

Key words: energy management unit; automatic test; CAN; system framework; software architecture

0 引言

电动汽车能量管理单元主要实现对其电池组电压、温度等参数的监控, 同时根据各个单节电池状态进行输出功率分配与管理, 从而实现电动汽车性能的有效提高^[1]。目前, 生产能量管理单元的一些企业依然采用人工检测的方法^[2], 其低下的检测效率远远无法满足企业自身对生产效率的要求。本文针对某型号电动汽车能量管理单元及其电路板的测试需求进行分析, 基于 **FrescaleMC9SEP100MAL** 单片机, 通过 CAN 总线与被测试电路板及工控机通信, 实现对电动汽车能量管理单元的高精度测试与老炼测试, 有效提高了检测效率^[3]。

1 系统总体框架设计

1.1 测试需求分析

电动汽车能量管理单元主要由功率板、控制板、综合板组成。故测试系统需分别对功率板、控制板、综合板以及装配后的组合板与整机进行测试。对于同种板件, 需实现四块板件的同步测试。对于单个板件, 系统需测试短路、输出电压、I/O 输入、I/O 输出、DA 输出、AD 输入 6 种测试项目, 其整机还要进行老炼测试。其中短路测试主要检查被测试板件供各供电端口间是否存在短路现象。对于向其他板件供电的板件需检测输出电压, 从而保证当其装配后可正常为其他板件供电。由于能量管理单元与电动汽车其他模块间有双向数字信号, 与模拟信号的交换, 所以需对其进行 I/O 输入、I/O 输出、DA 输出、AD 输入测试。

1.2 系统构成

本系统主要用于能量管理单元电路板的测试, 可以模拟供电正常 (24 V)、供电欠压 (20 V)、供电过

收稿日期: 2016-04-18; 修回日期: 2016-04-26

作者简介: 刘奕任 (1991-), 男, 宁夏中卫人, 硕士研究生, 主要研究方向为自动化测试系统; 齐铂金 (1963-), 男, 湖南湘潭人, 教授, 博士, 主要研究方向: 先进逆变电源技术与成套装备。

压(30 V)三种工作电压下的测试。如图1所示,系统主要由工控机,基于FrescaleMC9SEP100MAL单片机的主控电路,配电箱,通道选择及信号输出模块,信号采样模块等几个部分组成。工控机通过CAN总线向主控电路发送测试配置信息、测试命令,主控电路接收到配置信息后控制配电箱向待测试电路板输入指定工作电压,控制信号输出模块向待测试电路板输入激励信号。激励信号经由待测试电路板后由信号采样模块采集响应信号或待测试电路板由CAN总线向主控电路板发送测试结果完成测试^[4]。

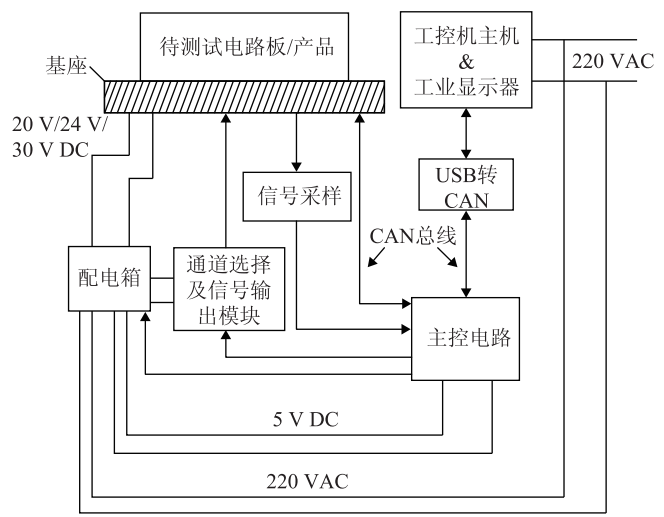


图1 自动测试系统总体结构图

1.3 系统测试原理

测试系统需实现能量管理单元中4类板件的测试,以及最后的整机性能测试与老炼测试,每类板件均需完成短路、输出电压、I/O输出、I/O输入、DA输出、AD输入6种测试项目,每种测试项目都有多达几十个测试通道,此外系统还需实现四块同类板件同步测试,其测试种类繁杂,测试通道多,需合理设计其测试原理,从而实现高效的测试。六种测试项目的测试原理总体可分为三类,图2给出了三类测试方式的原理框图。

方式一,信号输出模块同时向待测试的四个板件输出激励信号,当前待测试模块使能,其多路选择器开启指定通道,激励信号经测试通道后生成响应信号,经数据选择器后传向采样电路并生成采样信号,主控板单片机对采样信号采样,通过CAN总线发送到上位机,如图2中模块A所示。其中功率板、综合板的所有测试项目均采用了此方式。

方式二:主控板MCU通过CAN总线向被测板MCU发出测试信息,被测板接收到测试信息后输出指

定激励信号,激励信号经测试通道后生成响应信号,由数据选择器选择并传向采样电路生成采样信号,主控板MCU对采样信号采样,如图2中模块B所示。其中控制板、综合板、整机的I/O输出、DA输出测试均采用了此方式。

方式三,信号输出模块产生激励信号,经多路选择器分配后发送至测试通道,测试通道响应激励信号,其产生的响应信号传向被测板MCU,被测板MCU对其采样,然后通过CAN总线向主控板MCU发送采样结果,如图2中模块C所示。其中控制板、综合板、整机的I/O输入、AD输入测试均采用了此方式。

测试过程中,主控板MCU负责控制信号输出模块输出电压,同时控制多路选择器、数据选择器按时序要求选择测试通道,从而实现整个测试系统的协同高效工作。

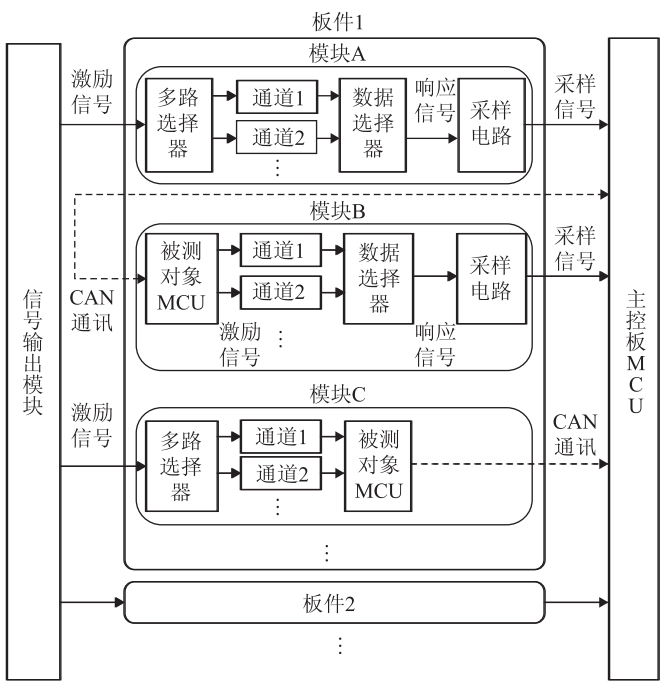


图2 测试原理框图

2 系统硬件设计

2.1 信号输出模块

如图3所示为系统的激励信号输出模块,主要由串行输入数模转换器 U_1 与高输出驱动运放 U_2 组成。 U_1 的输出电压 V_{out} 输出范围是0 V到其供电电压 V_{DD} 。 V_{out} 经电阻 R_3 后接至高输出驱动运放 U_2 的正相输入端,此处运放 U_2 为同相比比例运算电路,工作在线性放大区,其差分输入内阻达数百兆欧, R_3 电阻阻值通常为

几千欧, 故其压降可以忽略不计, 电阻 R_4 的阻值选择 0Ω , 则激励信号输出电压 V_{DaOut} 为

$$V_{DaOut} = (1 + \frac{R_2}{R_1}) V_{out} \quad (1)$$

激励信号输出模块最后产生的激励电压范围为 0 到 $(1 + \frac{R_2}{R_1}) V_{DD}$ 之间。

当串行输入数模转换器 U_1 选择 12 位精度的数模转换器时, 输出分辨力为 0.024%。电压转换速率通常可达 $1 \text{ V}/\mu\text{s}$, 完全可保证激励信号的高精度高速率输出, 实现高速测试的目的。

高输出驱动运放 U_2 的作用不仅在于构成同相比例运算电路扩大激励信号的电压范围, 还有效提高了激励信号的带载能力, 其最高输出电流通常远大于串行输入数模转换器 U_1 的输出电流, 这样可以有效保证大功率测试板件的正常测试^[5]。

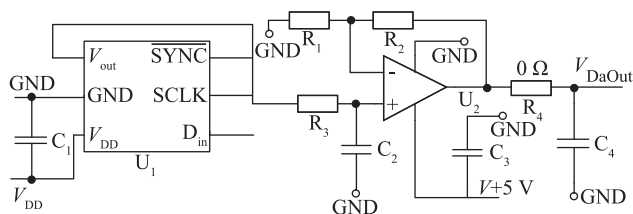


图 3 激励信号输出电路原理图

2.2 采样电路

系统采样电路原理如图 4 所示, 其不同模块的结构与元器件选型稍有不同, 但其设计思路基本一致。

经测试通道与数据选择器后的响应信号 V_{test} 接入电阻 R_1 的一端, 图 4 中运放 U_1 差分输入内阻远大于 R_2 的值, 故输入运放正相输入端电压可视为 V_{test} 在 R_1 与 R_2 串联电路上的分压所得。运放 U_1 被设计为电压跟随器, 其输出电压等于正向输入电压, 输出电压经 R_4 后直接输入主控板 MCU 的 A/D 采样端口。 R_4 的阻值通常选择在 500Ω 左右, 远小于主控板 MCU A/D 采样端口的内阻, 故压降可忽略不计, 则可计算 MCU A/D 采样端口采样电压 V_{AD} 为

$$V_{AD} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{test} \quad (2)$$

当主控板 MCU A/D 采样端口获得 V_{AD} 的数值后, 则可推算出响应信号电压 V_{test} 为

$$V_{test} = (1 + \frac{R_1}{R_2}) V_{AD} \quad (3)$$

图 4 中二极管 D_1 与 D_2 分别起到限制主控板 MCU

A/D 采样端口采样电压的上限与下限的作用。当 V_{AD} 大于 5 V 时, D_1 导通, V_{AD} 电压被拉回 5 V ; 当 V_{AD} 小于 0 V 时, D_2 导通, V_{AD} 电压被拉回 0 V , 从而有效保护了主控板 MCU 的 A/D 采样模块。

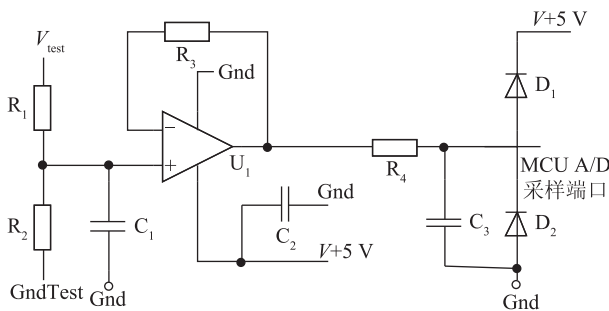


图 4 采样电路原理图

3 系统软件设计

3.1 系统软件设计需求

根据系统总体框架与具体硬件的设计, 以及系统软件总体需实现的测试逻辑与时序、数据采集、数据处理等功能, 系统软件总共可由上位机软件、下位机主控板程序、被测板程序三部分组成。上位机软件主要实现对测试任务的配置, 测试数据的接收、判断、显示等功能; 下位机主控板程序主要实现激励信号的产生与响应信号的采样, 并将测试数据并返回给上位机; 被测板程序主要功能为响应测试信号并产生相应反馈信号, 从而协助实现检测被测板相关通道。系统软件三部分相互独立, 通过 CAN 实现通讯。

3.2 上位机软件

如图 5 所示, 上位机软件由人机交互层、功能模块层、数据层以及驱动层组成。各层之间相互独立, 通过相应接口函数实现层与层之间的功能连接与数据传递。对于没有接口函数对接的层, 需通过中间层间接进行对接。如人机交互层无法直接与数据层和驱动层进行交互, 需通过功能层作为中间层才能进行交互。

人机交互层主要由多个操作界面组成, 实现对测试板件种类的选择、测试资源的配置以及测试信息的显示。对于测试资源配置界面, 可实现对测试资源高度自由化配置。对于板件测试界面, 其显示同时测试的 4 块板件的具体测试信息, 可在线实时显示由下位机主控板 MCU 上传的测试数据。

功能层中各模块起到支撑测试系统上位机软件应用与逻辑功能的作用, 其核心模块分别为测试数据处

理模块；配置文件管理模块，老炼时序管理模块，Word 报表生成模块。测试数据处理模块将下位机传来的数据解包，然后传输至人机交互层板件测试界面以供实时显示；配置文件管理模块主要实现对生成与提取配置文件的作用；老炼时序管理模块实现压力老炼测试时对各类型测试时间的配置与监控；Word 报表生成模块作用是抽取配置文件与测试数据处理模块进行解包后的数据，并根据模板生成用户最终所需要的 Word 测试报表。

数据层主要由用户账号数据库、测试数据库以及配置文件组成。其在本机磁盘中存储系统的用户信息，测试记录以及测试配置等重要数据。驱动层各驱动模块为功能层模块实现具体功能提供了底层驱动，其主要由第三方动态链接库组成。

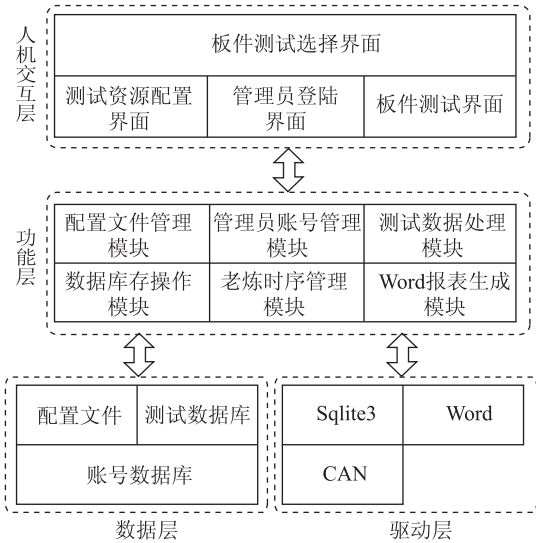


图 5 上位机软件架构图

上位机软件的测试流程图如图 6 所示。进入上位机测试软件后首先选择待测试的板件类型，然后判断是否有配置文件，若没有，则需进入配置文件所在界面，对所需测试功能及其通道进行选择，选择完成后生成配置文件并进行保存。完成配置后，将其配置文件载入上位机测试软件，选择测试板件序号，其最多可同时进行四块板件的测试。接下来选择测试模式，测试模式分为自动测试与单步测试，单步测试又可选择短路、输出电压、I/O 输入、I/O 输出、DA 输出、AD 输入 6 种不同种类的测试。在压力老炼测试时还需对老炼时长与老炼周期进行配置。

完成以上所有设置后点击开始按钮，上位机向下位机发送之前所配置的测试信息，收到下位机返回的确认信息后发送开始测试命令。上位机 CAN 模块时刻

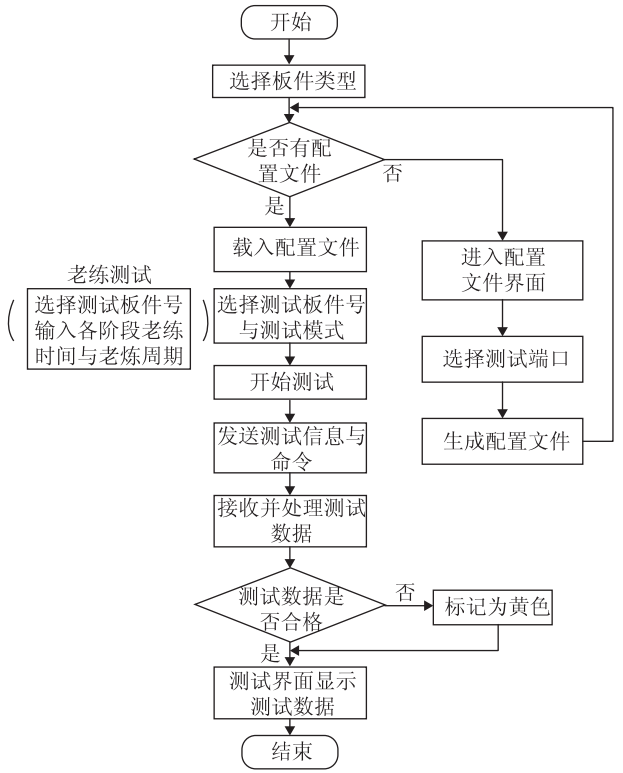


图 6 上位机软件测试流程图

监听返回信息，当接收到下位机传来的测试数据后，判断测试数据的种类，对测试数据进行解包。最后上位机测试界面显示解析后的数据，并对存在问题的数据进行标记，提醒操作人员注意待测试板件存在问题。如图 7 所示，对于还未返回测试数据以及测试合格的测试项目，其表格中所在行颜色显示为蓝色（图 7 中为颜色较浅的表格），对于存在问题的测试项目系统将其标记为黄色（图 7 中为颜色较深的表格）。



图 7 上位机软件板件测试界面

3.3 下位机测试软件

下位机软件主要实现测试逻辑与测试时序的功能，与此同时还需能够通过 CAN 总线接收与发送测试命令，向上位机发送测试数据。图 8 是下位机软件的测试流程图。软件初始化后，CAN 功能处于监听状态，当接收到测试命令后进入中断，判断是否自动测试。若是自动测试，则按图 8 中顺序依次完成全部测试；若不是，则再具体判断为何种测试，并执行其测试任务。当测试任务完成后，退出中断，系统 CAN 功能再次进入监听状态。

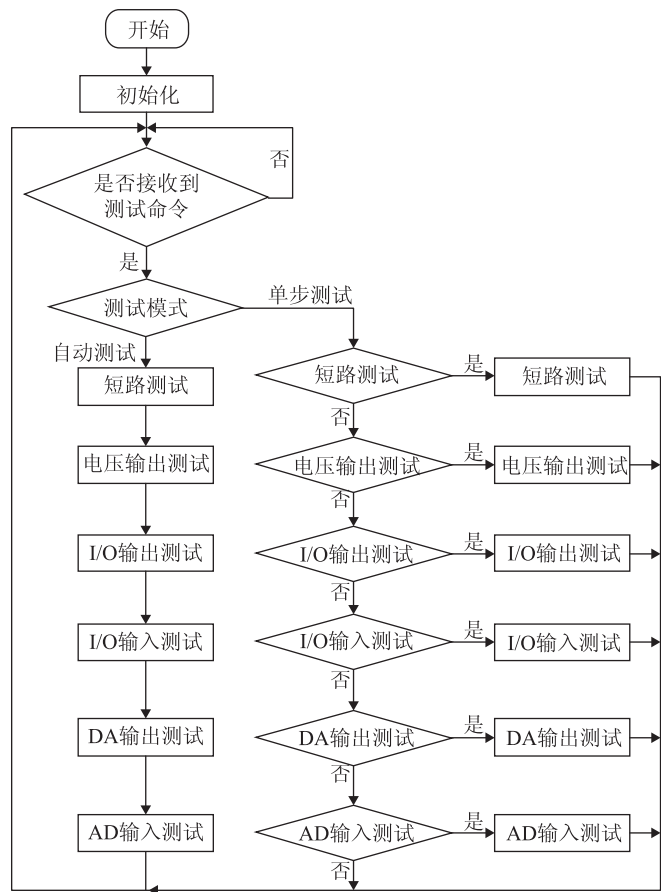


图 8 下位机软件测试流程图

对于每种测试其具体的测试流程如图 9 所示。首先判断是否测试被测试板件的信号产生功能，如果是，则通过 CAN 总线向被测试板件发出测试信息，然后主控板 MCU 的 A/D 采样模块开启，进行连续采样并求其平均值；若不是，则控制信号输出模块产生激励信号，然后根据是否测试被测板信号采样功能来决定接收 CAN 总线传来的信号还是开启 A/D 采样模块采样。最后，主控板 MCU 将其接收到的数据打包成指定格式后通过 CAN 总线返回给上位机，完成本测试。

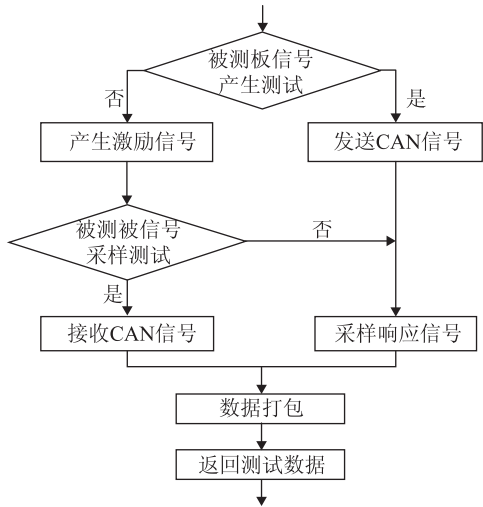


图 9 各测试具体测试流程

4 测试结果

采用同一块被测板分别对系统同种板件的四个测试插口进行测试。现选取综合板中 I/O 输出、I/O 输入、DA 输出、AD 输入四种测试，如表 1 所示。表 1 中每种测试选取其中一个通道的测试值作为比较，测试 1，2，3，4 分别对应系统综合板测试的四个插口对同一块被测板进行测试后的测试结果，人工测试指使用万用表对被测板测试的结果。现将人工测试数据视为标准数据，则 I/O 输出最大绝对误差为 0.04 V，I/O 输入最大绝对误差为 0.02 V，DA 输出最大绝对误差 0.014 V，AD 输入最大绝对误差为 0.007 V，四种测试绝对误差均小于 0.05 V。并且，在完成的四种板件及整机的测试中，经初步统计故障检出率可达到 100%。

表 1 系统综合板测试结果 V

项目	测试 1	测试 2	测试 3	测试 4	人工测试
I/O 输出	13.27	13.31	13.27	13.24	13.28
I/O 输入	4.77	4.76	4.77	4.76	4.78
DA 输出	2.659	2.664	2.662	2.652	2.65
AD 输入	2.738	2.745	2.740	2.733	2.74

表 2 给出了能量管理单元所有种类板件及整机的自动测试与人工测试时间。对于自动测试，均可在 1 min 内完成，且测试系统可实现对 4 块同种板件的同步测试，并一键生成最终所需的测试报表。对于人工测试，最快的功率板也需至少 5 min，对于其他板件，需要更长的时间，且测试完毕后还需对测试数据进行整理，并制作测试报表，花费时间远远大于自动测试。

表2 自动测试与人工测试时间

测试板件	自动测试/s	人工测试/min
功率板	20	5
控制板	47	22
综合板	44	20
组合板	35	16
整机	35	15

能量管理单元自动测试系统的另一大优势还体现在老练测试的自动化上，传统人工老练测试需测试人员在每个老练周期对产品进行测试，整个老练时间往往几十小时甚至上百小时，对测试人员的精力与体能消耗巨大。测试系统则可自动化地完成老练测试，如图10所示，为能量管理单元I/O输出某通道的老练测试曲线，测试系统老练测试共设置8个周期，每周期共10 h，其中通电9 h，断电1 h，在通电第4.5 h时对被测产品进行测试。老练测试的前两个周期模拟供电欠压（20 V），中间四个周期模拟供电正常（24 V），最后两个周期模拟供电过压（30 V）。

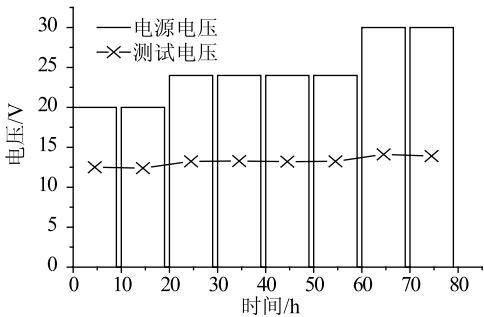


图10 能量管理单元 I/O 输出老练测试曲线

(上接第4页)

[6] PLATT U, PERNER D, PATZ H. Simultaneous measurement of atmospheric $\text{CH}_2\text{O}_2\text{O}_3$ and NO_2 by differential optical absorption [J]. Journal of Geophysical Research, 1979, 84 (10): 6329-6335.

[7] 郑朝晖, 刘文清, 宋炳超, 等. 差分光学吸收光谱 (DOAS) 技术在烟气监测中的应用研究 [J]. 量子电子学报, 2001, 12 (18): 65-69.

[8] 崔厚欣, 齐汝宾, 张文军, 等. 差分吸收光谱法大气环境质量在线连续监测系统的设计 [J]. 分析仪器, 2008 (1): 7-11.

[9] 宫红彩, 韩庆玉, 刘影, 等. 浅析无线传感器网络技术在物联网中的应用 [J]. 企业技术开发, 2012, 31 (8): 25-26.

[10] 国国家质量监督检验检疫总局. JJG968-2002 烟气分析仪检定规程 [S]. 北京: 中国计量出版社, 2002.

5 结论

本文阐述了电动汽车能量管理单元电路板自动测试系统的设计与开发，对其系统架构、检测原理、设计思路进行了重点论述。该系统可实现4种不同类型板件及整机的自动化测试，可同时对四块同种板件同步进行测试。此外该系统测试精度高，速度快，激励信号输出分辨力为0.024%，激励信号电压转换速率可达1 V/ μs 。

经过前期试验，对于各类板件及整机测试时间可控制在1 min以内，其故障检出率可达到100%，不仅在速度上远胜于传统人工测试，可靠性方面也优于人工。

参 考 文 献

[1] 王莹. PCBA自动测试平台研究与软件系统设计 [D]. 成都: 成都理工大学, 2014.

[2] 朱夏川. 基于虚拟仪器的电路板测试系统的研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2010.

[3] 吴震海. 大功率电机驱动器测试工装 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.

[4] Zhang Y, Qiao B, Chen L G. Design and Implementation of the Fuze Circuit Board Tester [C] //International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications. Amsterdam. Netherlands: Atlantis Press, 2015.

[5] Moreira J, Barnes H, Poisson V. PCB via field with embedded pitch transformation for ATE pogo pin blocks [C] //Signal and Power Integrity (SPI), 2015 IEEE 19th Workshop on. Berlin, Germany: IEEE, 2015: 1-4.

[11] Bisson S E, Kulp T J, Levi O, et al. A broadly tunable high resolution IR cavity ring-down spectrometer based on difference frequency generation in orientation-patterned GaAs [J]. SPIE, 2004, 5337: 112-116.

[12] 裘世鑫, 高晓明, 崔芬萍, 等. CO_2 的腔增强吸收与高灵敏吸收光谱研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25 (12): 1908-1911.

[13] 阎文斌. 微量气体定量分析的新方法: 光腔衰荡光谱 [J]. 低温与特气, 2007, 2 (25): 35-38.

[14] 爻伟群. 走进网络化校准—远程校准技术初探 (之一) [J]. 计算机应用研究, 2002, 19 (9): 23-26.

[15] 中国合格评定国家认可委员会. CNAS-CL25: 2014 检测和校准实验室能力认可准则在校准领域的应用说明 [S]. 北京: [出版者不详], 2014.

[16] 陈伟. 远程计量校准技术研究 [J]. 计测技术, 2007, 27 (S1): 25-27.