

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.09.019

高压共轨 ECU 下线测试系统设计与开发

孙立行,周文华*,聂 飞

(浙江大学 能源工程学院,浙江 杭州 310027)

摘要:针对国内 ECU 测试设备智能化程度低、扩展性差等问题,对高压共轨 ECU 输入/输出信号和工作原理进行了分析,对现有的 ECU 测试方法进行了研究,设计了一款基于虚拟仪器的高效、智能、可扩展的下线测试系统,实现了 ECU 自动连接、电源管理、程序烧录、一键测试和数据库管理等功能;该系统采用模拟 ECU 实际工况和读取 ECU 存储单元内部数据的方法来判断 ECU 对应功能的正常与否,测试系统和待测 ECU 的通信采用基于 CAN 总线的 CCP 协议;通过上位机程序结合 LabVIEW 和 TestStand 软件各自优点,分 3 层架构完成了测试系统软件开发,实现了简单直观的软件用户界面。实际测试结果表明:该系统能够实现 ECU 的全功能下线测试,消除了人为操作对测试结果的影响。

关键词:虚拟仪器;高压共轨;下线测试系统;LabVIEW;TestStand

中图分类号:TP273;U464.11⁺3

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)09-1001-05

Design and development of eol test system on common rail ECU

SUN Li-hang, ZHOU Wen-hua, NIE Fei

(College of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the problems of domestic ECU test system, such as low intelligence and poor scalability, the input/output signals and functions of high pressure common rail ECU were analyzed, and the existing achievements of ECU test system were summarized. A high efficiency, intelligent and extensible EOL (end of line) test system was designed which can perform automatic connection, power management, program downloading, test with one click and database management. Simulation of the actual working conditions and fetching the content of the right location was used to test the corresponding function, and can calibration protocol was used to communicate between ECU and test system. According to the advantages of Labview and TestStand software, the test system software, which has simple and intuitive user interface, was developed in three layers. The test results of several ECUs indicate that, the test system can complete full function test of high pressure common rail ECU, eliminate the effect of human operation on test results.

Key words: virtual instrument; high pressure common rail; end of line test system; LabVIEW; TestStand

0 引 言

高压共轨燃油喷射系统不但可以降低柴油机的噪声和排放,也有利于提高柴油机的动力性和经济性^[1-2]。高压共轨系统中的核心部件是 ECU,开发高效成熟的 ECU 下线测试系统具有重要意义。

目前,博世、德尔福等 ECU 供应商已掌握成熟的 ECU 测试技术。在国内,ECU 功能测试系统国产化成为重要一环。基于 dSPACE 的汽车电控系统半实物仿

真测试,可对 ECU 进行全功能测试,但价格昂贵、测试步骤复杂、测试时间长,无法部署在生产线上^[3]。基于信号模拟设备的发动机 ECU 测试系统可以完成 ECU 各类输入信号的仿真,但其测试过程需要人工干预,不适用于自动测试^[4]。上海交通大学基于 PXI 平台搭建的发动机电控单元测试系统采用探针直接连接 ECU 测试点和测试板卡,对工装夹具的设计要求极高^[5]。

本研究基于 NI PXI 平台构建完成下线测试台搭建,设计出高测试效率且功能完善的高压共轨 ECU 下

收稿日期:2017-12-11

作者简介:孙立行(1993-),男,河北邢台人,硕士研究生,主要从事发动机电子控制技术方面的研究。E-mail:sunlihang@126.com

通信联系人:周文华,男,副教授,硕士生导师。E-mail:zhouwh999@126.com

线测试系统。

1 系统功能设计

高压共轨 ECU 功能结构框图如图 1 所示。

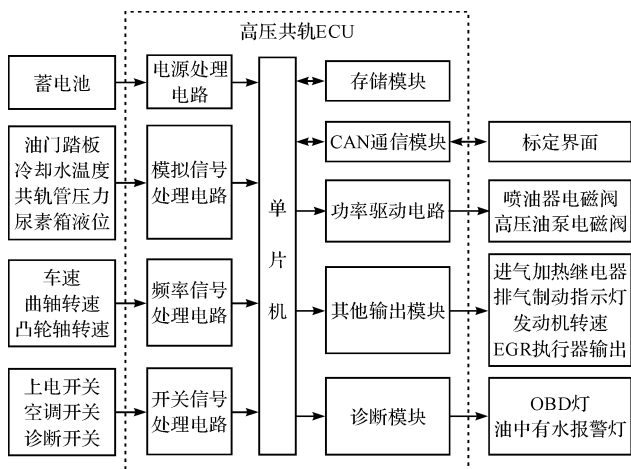


图 1 高压共轨 ECU 功能结构框图

下线测试系统整体方案如下:模拟 ECU 各个传感器信号,同时上位机通过 CAN 通讯读取 ECU 对应传感器信号的测量量,若测量量近似等于模拟信号设定值,即可认为 ECU 输入模块、存储模块、CAN 通信模块和单片机无任何故障;同理上位机通过 CAN 通讯更改输出信号标定量,同时采集输出信号,若标定值近似等于采集值,即可认为 ECU 单片机和输出模块无任何故障。系统结构框图如图 2 所示。

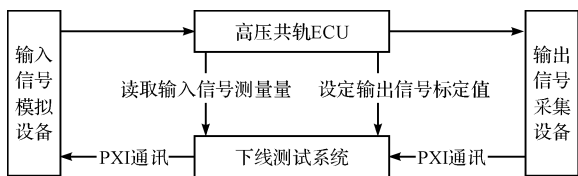


图 2 下线测试系统结构框图

高压共轨 ECU 下线测试系统需要实现以下功能:

- (1) 夹具控制功能。控制气泵夹具等实现 ECU 和测试线束之间的自动装夹,以提高 ECU 下线测试效率;
- (2) 电源可编程控制功能。为实现 ECU 的自动上下电和多款 ECU 的供电,通过串行通信控制程控电源调节 ECU 电源电压;
- (3) 程序烧录功能。由于后续测试项包括 ECU 部分功能的验证,需要在测试前完成 MCU 引导程序和共轨控制程序烧录;
- (4) CAN 通信功能。使上位机可以正确地读取 ECU 对应标定量和测量量的数值;
- (5) 输入信号模拟功能。分析 ECU 输入信号特征,模拟各种输入信号以替代传感器信号,包括各种常见的故障信号;

(6) 输出信号采集功能。分析 ECU 输出信号特征,精确地采集对应各种执行器的输出信号;

(7) 故障注入功能。完成开路、对地短路和对电源短路等执行器故障的模拟,进而判断 ECU 能否监测到执行器故障。

2 系统硬件设计

ECU 下线测试系统硬件主要包括主控制器、烧录设备、CAN 通讯设备、传感器信号模拟板卡、控制信号采集板卡等。6 缸柴油机信号类型、要求、数量以及板卡选择如表 1 所示。

表 1 板卡选择

需求类型	要求	数量	选用板卡
电压输入信号	0 ~ 5 V	11	PXI - 6704
电阻输入信号	70 kΩ ~ 50 kΩ	10	PXIe - 2727
频率输入信号	0 ~ 500 kHz, 0 ~ 5 V	4	PXI - 6733
开关输入信号	0 ~ 24 V	20	PXI - 6528
开关输出信号	0 ~ 24 V	13	
频率输出信号	0 ~ 100 kHz	7	PXI - 6624
喷油信号	采集具体波形图像	6	PXIe - 5105
夹具控制/执行器故障	继电器控制	70	PXIe - 2569
CAN 通讯		1	PXI - 8512
主控制器		1	PXIe - 8840
机箱		1	PXIe - 1062Q

此外,烧录设备采用 Infineon DAP miniWiggler;可编程直流电源采用 TDK-Lambda GEN30 - 5;电流变送器选用星晖 LHB-D-Y2 负责将喷油电流信号转换为电压信号以便示波器板卡采集;扫码枪负责读取 ECU 上的条形码。

下线测试台线束分为测试设备端和 ECU 端,测试设备端将所有板卡资源通过接线盒整理到 216 芯连接器母端;ECU 端将所有 ECU pin 脚连接到 216 芯连接器公端。测试不同款 ECU 时仅需要更换 ECU 端线束,避免复杂接线。

测试台硬件整体结构如图 3 所示。

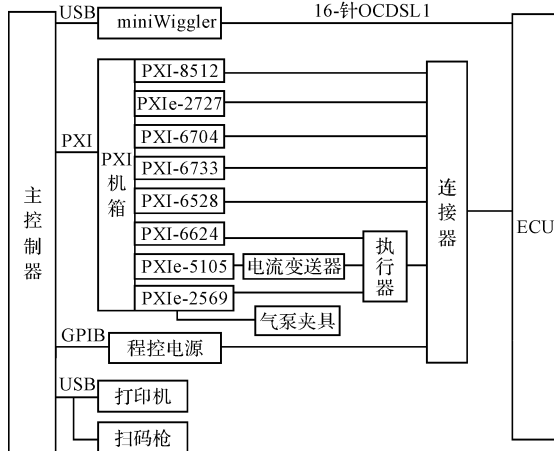


图 3 硬件整体结构

3 系统软件设计

下线测试系统软件主要采用 NI LabVIEW 和 TestStand 进行开发,其中,LabVIEW 是专为测试、测量和控制应用而设计的系统工程软件,适合测试软件的开发^[6]。TestStand 是一款行业标准的测试管理软件,可帮助测试和验证工程师更快速构建和部署自动化测试系统。TestStand 支持多种测试代码语言、灵活的报表生成和并行/多线程测试^[7-8]。

本文将系统软件由下及上分为 3 层:代码模块层、测试序列层和用户界面层。

系统软件结构如图 4 所示。

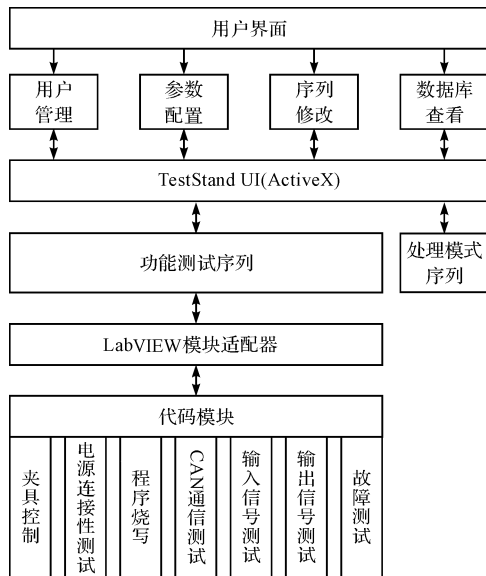


图 4 系统软件结构框图

3.1 代码模块层

代码模块采用 LabVIEW 软件开发,用来实现具体的测试项或非测试相关动作。测试项包括电源连接测试、CAN 通讯测试、输入信号测试、输出信号测试、输入信号故障测试、执行器故障测试等。非测试相关动作指不直接与被测单元功能验证相关联的任务,包含夹具控制、电源控制、程序烧写、条形码扫描等。下面以输入信号测试下的曲轴位置信号测试项为例进行代码模块设计介绍,曲轴位置信号测试项主要包括信号模拟和 ECU 对应变量读取两部分。

磁电式曲轴位置传感器输出信号近似为正弦信号,在缺齿处会出现一定量的形变。曲轴模拟信号使用标准正弦波和部分圆弧拼接翻转而成,拼接时

要保证拼接点 t_0 对齐且匹配^[9]。模拟信号通过 DAQ 配置 PXI-6733 板卡输出,模拟信号的转速、幅值、总齿数和缺齿数均可自由配置,以适应不同工况和曲轴齿盘。

下线测试端变量测量采用命令控制模式,这种模式实现简单,适合单个变量测量。本研究使用 ECU Measurement and Calibration Toolkit 解析 A21 文件,获取 CAN_ID 和 BAUDRATE 完成 CAN 卡和 ECU 的通讯连接;查询 A21 文件中 Epm_nEng(曲轴转速变量名)对应地址,联合使用 SET_MTA 和 UPLOAD 命令,上传对应地址数据^[10]。

最后封装曲轴信号测试子 VI,输入端口为转速设定值、幅值、总齿数、缺齿数、A21 地址、变量名,输出端口为转速测量值和故障信息。

3.2 测试序列层

序列层使用 TestStand 开发,用于管理和执行测试项,主体使用顺序过程模型,分为功能测试序列和处理模式序列两部分。

功能测试序列负责依据测试需求配置测试项和非测试相关动作,即封装好的代码模块,功能执行流程图如图 5 所示。

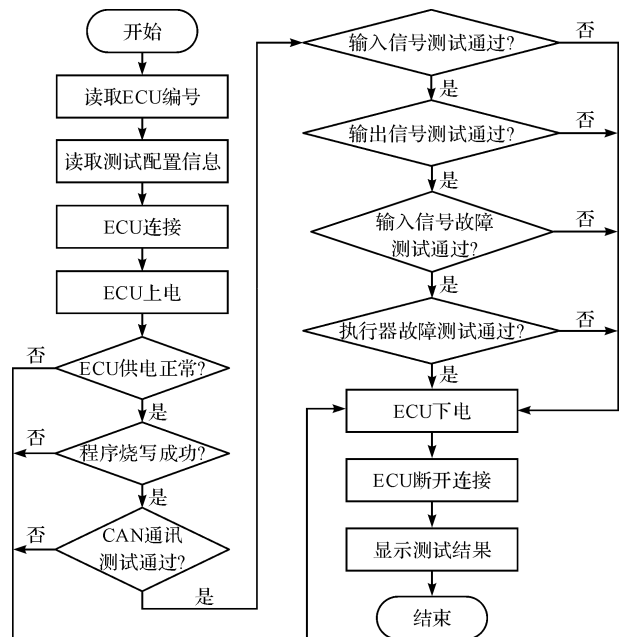


图 5 功能序列执行流程图

其中,配置信息从 ini 文件中读取,包含测试用例设置、测试步骤的 Pass/Fail 条件和 hex、A21 文件路径等。电压、电阻信号测试和电源连接测试步骤使用 Numeric Limit Test;频率和喷油信号测试步骤使用

Multiple Numeric Limit Test; 开关信号测试步骤使用 Pass/Fail Test; CAN 通讯测试和程序烧写步骤使用 String Value Test; 夹具控制等非测试相关动作步骤使用 Action; 测试主序列调用测试子序列或不同线程序列测试步骤使用 SequenceCall。所有步骤均在打开序列文件时加载,以提高测试效率。

处理模式序列主要负责序列号追踪、报告生成和数据库记录,采用各自对应的回调序列进行修改配置。以报告生成为例,一个完整的测试报告包括表头、主体和表尾 3 个部分。表头包含工作站 ID、操作员、测试起始时间等基本信息;主体包含详细的测试数据;表尾包含一些脚注或商标信息。在具体测试步骤 Module 属性框中勾选“Log”选项就可以将对应变量记录到报告主体中。自定义表头和表尾需要分别修改 ModifyReportHeader 和 ModifyReportFooter 序列。ModifyReportHeader 序列的重要参数是 Parameters. ReportHeader,表头的所有信息都储存在这个参量中。比如在回调序列中添加表达式:Parameters. ReportHeader = “ < img src = ‘ C : \ \ ECUTest \ \ Images \ \ CompanyLogo. jpg ’ > ” + Parameters. ReportHeader,就可以在表头部分添加公司 Logo。

3.3 用户界面层

TestStand 自带的图形化界面适用于前期序列的开发和调试,但是对于生产线上的操作人员来说过于复杂,因此需要使用 LabVIEW 软件额外设计简单直观的测试界面。由于直接从底层调用 TestStand API,编程工作量巨大,本文使用基于 ActiveX 的 TestStand UI 控件进行用户界面开发。其中应用程序管理控件负责加载或卸载序列文件和启动执行;序列文件试图管理控件负责追踪当前执行序列;执行视图管理控件负责更新当前测试的报告内容。对 TestStand UI 控件的编程主要使用了属性节点、方法节点和注册回调事件等。

用户界面设计流程如图 6 所示。

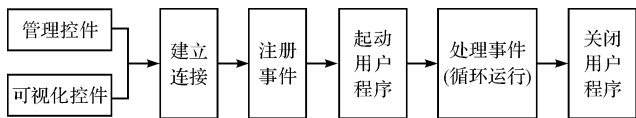


图 6 用户界面设计流程

出于测试系统管理和安全角度的考虑,本研究将测试系统用户分为操作员和技术员两组,操作员只可以执行自动测试,技术员还可以使用测试参数配置、测

试序列修改和查看数据库等功能。通过用户界面识别不同的用户权限,将操作员不具备操作权限的选项设置成灰色不可选取状态。

操作员用户界面如图 7 所示。



图 7 操作员使用界面

4 测试系统分析与验证

4.1 需求覆盖度分析

高压共轨 ECU 功能复杂、测试需求繁多,为避免对关键需求的疏忽以及验证测试序列的完整性^[11],本研究采用 NI 需求管理软件 (Requirements Gateway) 创建测试系统需求文档、应用程序和测试报告之间的追踪关系,生成追踪和影响分析报告,总体的需求覆盖度检查结果如图 8 所示。

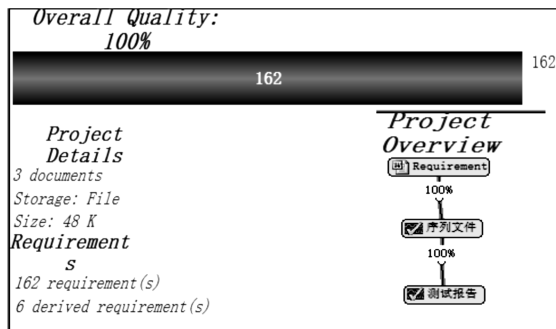


图 8 需求覆盖度检查结果

4.2 试验验证

实际测试过程中,操作人员只需要将待测 ECU 放到工位上,点击测试按钮,使用扫码枪读取 ECU 条形码信息,测试完成后取下待测 ECU 根据测试结果分类放置,测试结果基本不受操作员操作影响,满足测试系

统可再现性要求^[12]。测试系统采用的软、硬件都是成熟的商架产品,满足测试系统可重复性、线性和稳定性方面的要求。该测试系统已部署在 ECU 测试生产线上,目前已完成 BRE4. 2-2Y24V001、BRE4. 2-4Y24V001、BRE4. 2-6Y24V001 等 3 款 ECU 的下线测试,其中 BRE4. 2-4Y24V001 已开始小批量供货。

5 结束语

基于虚拟仪器技术和 CAN 通讯,本研究完成了高压共轨 ECU 下线测试系统的开发。测试系统可在 90 s 内完成单个高压共轨 ECU 的一键测试,保证了 ECU 生产的可靠性和 ECU 测试的高效性。

测试系统将所有的测试项封装成代码模块,当测试需求发生变化时,软件开发工程师只需要根据需求和软件之间的追踪关系对测试序列进行修改,即可实现测试软件的快速迭代,从而降低测试成本和加快生产周期。

由于缺乏 ECU 故障数据,当 ECU 测试不通过时,只能得到大概的故障区域,无法根据测试数据将故障精准定位到具体元件。

参考文献 (References):

- [1] 郭修其. 高压共轨 ECU 硬件系统及关键控制策略开发 [D]. 杭州:浙江大学能源工程学院,2011.
- [2] 黄 啸. 共轨电控系统轨压算法设计及关键部件诊断策

略研究 [D]. 杭州:浙江大学能源工程学院,2013.

- [3] 晏江华. 基于 DSPACE 的汽车电控系统半实物仿真测试技术研究 [D]. 天津:河北工业大学机械工程学院,2014.
- [4] 张凤娇,廖旭晖,夏 媛,等. 发动机 ECU 测试系统设计与试验验证 [J]. 现代制造工程,2015(9):109-113.
- [5] 刁春敏. 基于 PXI 和虚拟仪器的汽车发动机电控单元测试系统 [J]. 机电设备,2010(2):16-18.
- [6] 张元明. 基于 LabVIEW 的发动机 ECU 自动测试系统 [D]. 长春:吉林大学物理学院,2012.
- [7] 于洪泽,贺永鹏,袁绍民,等. 基于 LabVIEW 与 TestStand 的通用板卡自动测试系统 [J]. 电气传动,2015,45(9):66-69.
- [8] KARUNAKARAN R, MOZHI A. Integrated test process management for automotive products [R]. New York: SAE, 2011.
- [9] 段莹莹. 基于 LabVIEW 的发动机传感器信号发生器设计与试验的研究 [D]. 南京:南京林业大学机电工程学院,2013.
- [10] DU X, QI B, ZHENG M. Calibration system for battery management system based on CAN calibration protocol [C]. Industrial Electronics and Applications, Beijing: IEEE, 2011.
- [11] HIMMLER A, LAMBERG K, BEINE M. Hardware-in-the-Loop testing in the context of ISO 26262 [R]. New York: SAE, 2012.
- [12] 李秀娟,徐惠钢,谢 启. 基于虚拟仪器技术的发动机 ECU 自动测试系统 [J]. 机床与液压,2015,43(21):138-141.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

孙立行,周文华,聂 飞. 高压共轨 ECU 下线测试系统设计与开发 [J]. 机电工程,2018,35(9):1001-1005.

SUN Li-hang, ZHOU Wen-hua, NIE Fei. Design and development of eol test system on common rail ECU [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018,35(9):1001-1005.

《机电工程》杂志;http://www.meem.com.cn