

一种气体发动机 ECU 下线检测系统设计 *

陈思涛¹, 罗素云¹, 吴长水¹, 从田增²

(1. 上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620; 2. 潍坊力创电子科技有限公司, 山东 潍坊 261000)

摘要: 以一种气体发动机的 ECU 作为测试对象, 基于 STM32F103 系列主控芯片设计了一种 ECU 下线检测系统。系统由上位机、测试板卡层、被测对象 ECU 三部分组成, 可以实现 ECU 输入所需的开关量、模拟量、频率量等检测及 ECU 输出量的检测。检测系统基于 CAN 通信网络由 PC 上位机下发数据指令, 测试板卡层执行, 可以完成 ECU 硬件及功能的检测。实际应用表明, 所设计的系统具有耗时短、效率高、工作稳定、体积小等优点。

关键词: ECU; 下线检测; 测试板卡

中图分类号: TP399

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.200225

中文引用格式: 陈思涛, 罗素云, 吴长水, 等. 一种气体发动机 ECU 下线检测系统设计[J]. 电子技术应用, 2020, 46(9): 106–109.

英文引用格式: Chen Sitao, Luo Suyun, Wu Changshui, et al. Design of a gas engine ECU offline detection system[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(9): 106–109.

Design of a gas engine ECU offline detection system

Chen Sitao¹, Luo Suyun¹, Wu Changshui¹, Cong Tianzeng²

(1. School of Mechanical & Vehicle Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. Weifang Litro Electrical Technology Co., Ltd., Weifang 261000, China)

Abstract: An ECU of a gas engine is used as a test object, and an ECU offline(EOL) test system is developed based on the STM32F103 series main control chip. It consists of a host computer, a test board layer, and a test ECU. It can implement switching detection, analog detection, and frequency detection and etc. The host computer transmits data instructions, and the test board layer performs, which can complete the detection of ECU hardware and functions. The application shows that the EOL system has the advantages of short time consumption, high efficiency and stable work.

Key words: ECU; offline detection; test board layer

0 引言

随着微控制器和半导体技术的快速发展, 汽车电子控制系统的设计及功能越来越复杂, 汽车在出厂前的检测也变得日益复杂和严格, 其中汽车电子控制系统的检测备受关注。在整个汽车电子控制系统中, 发动机电子控制单元(ECU)是汽车控制系统中最核心部件^[1]。它直接关系到发动机的运行状态, 进而影响汽车的性能和安全性。因此, 发动机电子控制单元测试的可靠性和测试过程的效率也就直接影响了 ECU 的开发及应用^[2]。目前, 博世、德尔福等 ECU 供应商已掌握成熟 ECU 测试技术^[3]。但是, 当前国内 ECU 检测设备价格昂贵, 设备体积大, 测试对象单一, 对测试环境要求高等, 从而造成了测试设备难以推广。比如上海交通大学基于 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^[4]。

本文根据工程测试需要, 针对企业生产的一种气体发动机 ECU, 利用嵌入式软件与硬件相结合技术模拟发动机信号来驱动 ECU, 设计了一种 ECU 下线检测系统, 从而对气体发动机 ECU 进行功能及硬件检测, 保证出厂产品质量。本文所设计的检测系统能够实现开关量、频率量、模拟量检测等, 并且对测试数据可进行保存、打印。同时测试配置数据可更改, 通用性较强, 不仅满足气体发动机, 还可以应用于其他不同发动机的 ECU。

1 系统总体方案

发动机电子控制单元(ECU)主要由传感器接口部分、单片机及外围电路、执行器驱动部分、通信电路、电源电路等组成^[5]。发动机工作主要以转速信号为基准, 确定基本喷油脉宽和点火提前角, 再根据冷却液温度、进气温度、进气压力等参数去修正喷油脉宽和点火提前角, 从而使发动机处于最佳工作状态。因此下线测试系统方案的重点部分是对发动机所需传感器信号进行模拟, 确保驱动 ECU, 并且通过 CAN 通信网络采集 ECU 工作时

* 基金项目: 上海市科委“创新行动计划”(17030501300)

嵌入式技术

Embedded Technology

的状态数据,把数据上传至上位机与下发的数据进行比较,从而达到对 ECU 硬件及功能的检测。图 1 为系统总体方案框图。

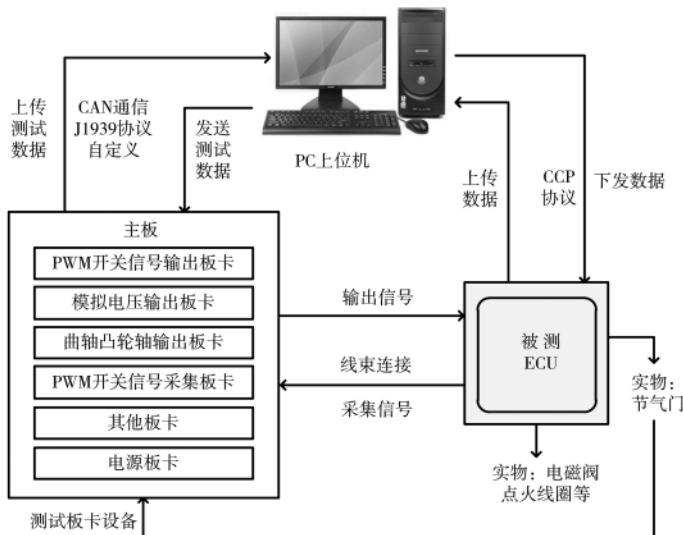


图 1 系统总体方案

图 1 系统方案设计具有三层结构,分别是 PC 上位机、测试板卡设备、被测对象 ECU。PC 上位机安装有测试软件,用于测试数据配置、发送测试命令、接收反馈命令、显示测试结果、数据自动保存、查询打印等;测试板卡设备以 STM32F103 为主控芯片,分为主板和功能板,测试板卡用于接收 PC 上位机命令后执行相应指令,包括输出开关量信号、模拟电压信号、曲轴信号等,或采集开关量信号、PWM 信号等;测试对象为气体发动机 ECU。分层式的架构方便后期调试,且测试板卡设备可随时进行更换和增加,若在测试过程中有板卡损坏也不会造成此系统的瘫痪,其余板卡也可正常工作。

由于 CAN 总线采用时间驱动协议,在消息对媒体的访问中采用非破坏性仲裁机制,以规避总线冲突,保证系统安全^[6],因此整个测试系统采用 CAN 总线网络。其中 PC 上位机与测试板卡之间的通信是基于 CAN 通信 J1939 自定义协议,若后期针对其他 ECU,则可相应地增加 J1939 自定义协议,灵活性高。以模拟电压信号输出为例,表 1 列出发送数据帧格式命令。测试板卡与被测对象 ECU 采用线束连接;上位机与被测对象 ECU 之间采用 CAN 通信 CCP 协议通信。同时 CCP 协议也是目前汽车上主要使用的通信协议,在理论研究还是标准制定方面都比较成熟^[7]。

表 1 模拟电压发送数据帧格式命令

起始字节	字节长度	SPN 定义
1	1	板卡编号
2	1	bit1~bit8 代表通道 1~8
3~4	2	设置电压输出值(0~5 000 mV)
5~8	4	0xAA
默认优先级:7	数据页:0	参数组编号:65283(0xFF03)

2 功能设计

2.1 上位机软件设计

上位机是整个检测系统操作和展示的一个平台。为了测试 ECU,需要建立一套发动机的标准数据库,因而数据库采用灵活的 SQL,且数据量不受限制,可以快速插入数据、快速查询及替换数据^[8]。上位机软件开发采用 C# 语言,移植性优越,支持.NET 技术。其中数据库中包含下发命令数据帧和发动机工况点数据两部分。上位机软件的主要功能是负责发送测试命令,并且不断监听总线上的数据帧,若接收到测试板卡或者被测 ECU 反馈的命令,则与后台数据库数据进行对比,并将结果显示到上位机界面,从而判断被测 ECU 某个功能是否通过测试。图 2 为上位机软件测试流程。

2.2 硬件设计

测试板卡工作一方面需要进行大量运算,另一方面受实际工程精确度的约束。因此为满足测试需求,采用意法半导体公司的 STM32F103 系列的 32 bit 单片机作为主控芯片,它具有 8 个定时器,2 路 SPI,1 路 CAN 通信,12 bit 的数模和模数转换等模块,CPU 频率最大支持 72 MHz^[9],外加设计最小系统和功能电路,可以实现开关量、频率量、负载驱动等信号的产生与采集。图 3 为功能板卡硬件总体框架图。图 4 为众多板卡中的编程电阻功能板卡硬件实物图。

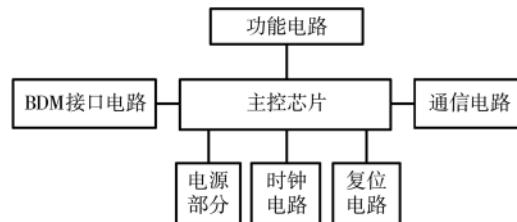


图 3 功能板卡硬件总体框架

2.3 驱动设计

测试板卡底层驱动程序使用 Keil uVision5 平台,采用 STM32F10X 固件库进行代码编写,编写调试完成后,使用 J-LINK 下载器将程序分别下载到相应的功能板卡,分别进行功能调试。功能板卡的驱动程序设计步骤如图 5 所示。

2.3.1 ECU 开关测试

上位机发送启动开关信号、转速信号及高低速开关信号,测试层相应板卡接收到指令,将对指令中相应的

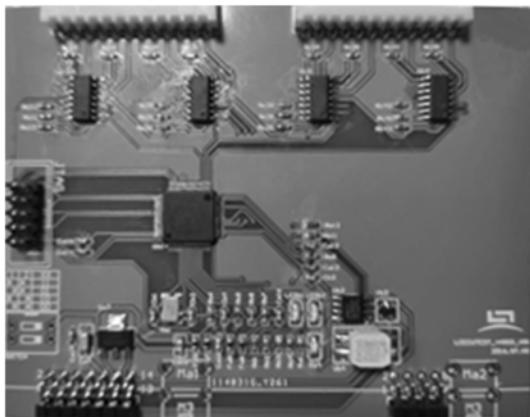


图 4 编程电阻功能板卡

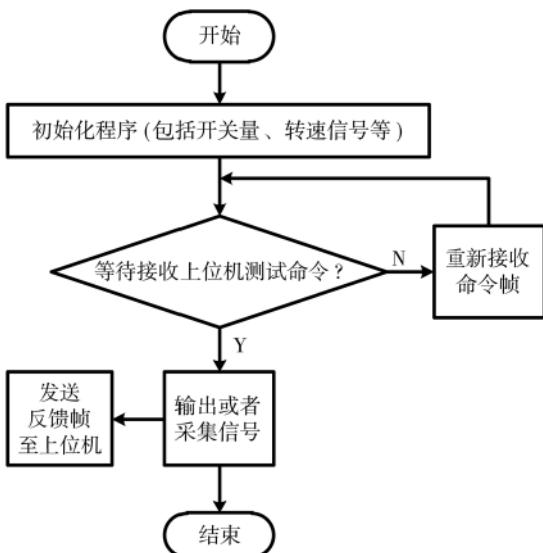


图 5 程序设计步骤

MCU I/O 端口 1 个 32 位的置位/复位寄存器 BSRR 进行写 0 或 1 操作,然后经过电源转换收发器 74LVC4245 把 3.3 V 电压转换成 5 V,之后再经过达林顿阵列型的 ULN2003 电流驱动芯片实现 5 V 至 24 V 电压转换,从而控制测试板卡输出 0 V、24 V 开关信号输入到 ECU 内部。同时上位机软件实时监听被测 ECU 的各种开关状态和转速,然后显示到上位机界面,与起始下发的指令进行对比,确定测试是否通过。

2.3.2 模拟温度测试

温度的模拟主要产生一个可变的电阻值信号输入到 ECU 内部的温度传感器中。由上位机通过 CAN 通信 CCP 协议进行 ECU 温度的采集,来对比下发前后的温度,从而确定测试是否通过。主要原理:测试板卡中的编程电阻板卡接收到温度指令信号,MCU 通过四线制 SPI 串口,拉低对应的 CS 片选线 I/O,开始传输数据给与相应的 MCP42010T 芯片,该芯片最小输出阻值约为 50 Ω,最大达到 9.8 kΩ,由程序输入的数值改变内部电位计位置,可以改变电阻。因为受芯片阻值差异影响,采用电阻

值标定的方法来准确输出对应电阻至 ECU 内部,从而达到模拟温度的目的。

2.3.3 模拟电压测试

ECU 所需进气压力、增压压力、燃气压力等在 ECU 内部均以一个电压值参与程序计算。当模拟电压输出板卡接收到上位机命令后,通过模拟 I/O 的高低电平与时序关系,从而模拟出 SPI 通信,发送具体的数据给 TLC5620 芯片,该芯片供电是由 ECU 5 V 供电端经过电阻分压至 2.5 V 供给,再由发送指令使电压倍增到 5 V,这样输出端可输出一个 0~5 V 的电压信号。该芯片为 8 位数模转换芯片,具有 4 路模拟电压输出,且精度较高,满足 ECU 测试要求。TLC5620 芯片的模拟电压计算公式(1)如下:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{REF}} \times \frac{\text{Code}}{256} \times 2 \quad (1)$$

式中: V_{REF} 为参考电压 2.5 V。

2.3.4 转速信号测试

转速信号测试主要包括曲轴信号和凸轮轴信号。转速信号板卡只负责输出转速信号,所以主芯片采用定时中断的方法来产生曲轴和凸轮轴信号。使用一个通用定时器 TIM2,预分频为 360,达到 10 μs 计 1 次数,每隔 50 μs 进一次中断,当确定一定转速,依次翻转 I/O 电平输出,信号经过由运算放大器 LM358DR2G 组成的减法电路与加法电路,曲轴信号波形由 0 至 3.3 V 范围变为 -1 V 至 9 V 范围,凸轮轴信号变为 0~5 V 范围。最后通过 CCP 协议读取 ECU 转速值,可判断当前转速是否为下发命令时规定转速,数值均显示在上位机界面中。

2.3.5 氧传感器测试

ECU 外接氧传感器,去测试无氧状态下氧传感器数值是否符合 ECU 内部程序值。通过使用球阀对通孔铁管两端进行封闭,内部充入氩气,侧边安装上氧传感器。由于氧传感器工作启动较慢,需等待 ECU 在一定转速下运行一段时间,再去通过上位机下发指令获取氧传感器数值,与数据库中的标准进行比较,从而显示测试结果。

2.3.6 负载驱动测试

由测试板卡层输出启动开信号、一定转速信号、模拟电压信号等,可使 ECU 驱动,与此同时 ECU 外接的节气门、电磁阀、点火线圈等开始工作,通过 CCP 实时读取 CAN 总线消息,可得到节气门开度、电磁阀电流值、点火提前角等值,再与数据库中标准工况点的值进行比较,可以判定测试结果。图 6 为工作过程中的测试板卡设备实物。

3 功能验证

对测试系统进行耐久试验,通过多天的不停机工作,测试台设备均正常稳定工作。该测试对象为发电机组用气体发动机 ECU,ECU 测试过程包括启动工况、怠速工况、过渡工况、目标工况。连接硬件,配置上位机测试顺序,开始启动测试。首先对启动工况进行测试,由上位机

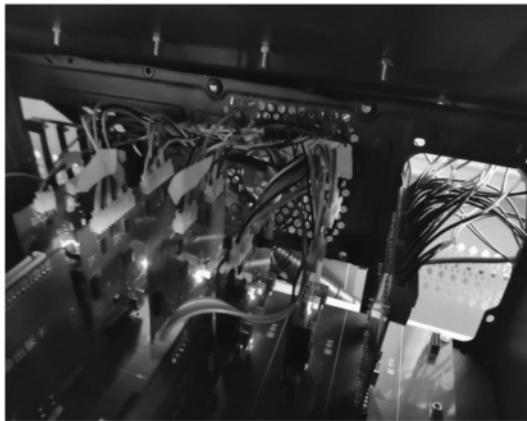


图 6 测试板卡设备

发出 ECU 开关命令, 转速 400 命令, 确保 ECU 开始工作, 然后继续发送温度信号、压力信号等测试命令, 同时 PC 上位机通过 CAN 通信 CCP 协议实时检测 ECU 状态并返回 ECU 状态值, 并在 PC 上位机中与下发的测试命令进行对比。然后依次检测怠速工况 600 转速下 ECU 状态、过渡工况 800 转速下 ECU 状态以及目标工况 1 500 转速下 ECU 状态。图 7 列出该型号气体发动机 ECU 在检测系统下的部分工况测试结果。由测试结果和简单分析可知, 该测试对象 ECU 的硬件及功能均符合设计要求, 同时满足 ECU 下线要求。为了验证此系统的准确性和稳定性, 分别对 30 个 ECU 进行 20 次检测。表格 2 统计了 30 个 ECU 的测试结果。

■ 测试详情

序号	测试项	测试台执行情况	ECU 测量变量	变量值	测试结果
4	进气压力传感器1-IV	执行成功	进气压力	822.9647	通过
5	进气压力1温度-300Ω	执行成功	进气温度	776.1	通过
6	燃气温度-300Ω	执行成功			
7	节气门开度		节气门开度	500.8696	通过
8	点火线圈		点火提前角	23.05	通过
9	空燃比		空燃比	1.0861	通过
10	燃气压力传感器1-IV	执行成功	燃气压力	2084.125	通过
11	电磁阀	1通道电流值:29, 2通道电流值:29, 3通道电流值:28, 4通道电流值:24, 5通道电流值:22, 6通道电流值:19			
12	进气压力1温度-480Ω	执行成功	进气温度	655.32	通过
13	高低速开关	执行成功	高低速开关	1	通过
14	高低速关	执行成功	高低速开关	0	通过
15	并机线4V	执行成功	并机电压	3.991	通过
16	进气压力传感器1-IV	执行成功	进气压力	2564.518	通过
17	进气压力1温度-790Ω	执行成功	进气温度	515.36	通过
18	燃气压力传感器1-IV	执行成功	燃气压力	10551	通过
19	燃气温度-790Ω	执行成功			
20	进气压力传感器1-2.5V	执行成功	进气压力	1861.917	通过
21	燃气压力传感器1-2.5V	执行成功	燃气压力	6336.25	通过

图 7 某型号 ECU 部分测试结果

为了更进一步验证检测系统的准确性, 对 30 个 ECU 进行人工复检, 经查明, 存在 2 个 ECU 过渡工况的功能参数设置出现错误, 1 个 ECU 目标工况的某硬件损坏, 其余 ECU 均无问题。这充分证明该检测系统测试准确, 性能稳定。

表 2 ECU 测试统计

测试工况	ECU 测试数量/个	合格数量/个	合格率/%
启动工况	30	30	100
怠速工况	30	30	100
过渡工况	30	28	93.3
目标工况	30	29	96.6

4 结论

本文利用高频大容量芯片作为板卡的主控芯片, 所设计的 ECU 下线检测系统, 信号采集和输出精确度和实时性比同级芯片更优越, 且所设计系统性能稳定, 体积小, 而且自主开发的 PC 上位机对测试人员要求较低, 操作便捷, 检测系统已应用于企业生产中。此外, 不仅适用于气体发动机 ECU 测试, 还可在此系统基础上, 增加功能板卡, 完成其他种类 ECU 的测试, 灵活性高, 节省了企业开发 ECU 的周期。

参考文献

- [1] 方长根.基于 CAN 总线的发动机 ECU 检测系统的研究和开发[D].镇江:江苏大学, 2016.
- [2] 吴昊, 李一鸣, 付成伟, 等.汽车发动机电子控制单元的自动测试系统开发[J].汽车技术, 2014(5): 35-39.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 李建秋, 赵六奇, 韩晓东, 等.汽车电子学教程(第 2 版)[M].北京:清华大学出版社, 2011.
- [6] 余彬彬.基于 CCP 协议的电控柴油机数据采集系统设计[D].南京:东南大学, 2016.
- [7] DALLMAYR C, SCHLUTER O. ECU software development with diagnostics and flash down-loading according to international standards[DB/OL].[2004-03-08](2020-03-24).<http://doi.org/10.4271/2004-11-0273>.
- [8] THANISCH P, NIEMI T, NUMMENMAA J, et al. Detecting measurement issues in SQL arithmetic expressions and aggregations[J]. Data & Knowledge Engineering, 2019(122): 116-129.
- [9] ST. STM32F103xC, Datasheet production data[Z]. 2018.

(收稿日期: 2020-03-24)

作者简介:

陈思涛(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 汽车电子。

罗素云(1976-), 女, 博士, 副教授, 主要研究方向: 无人驾驶汽车环境感知及控制、汽车电子。

吴长水(1978-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 新能源汽车动力总成、发动机电控、汽车电子。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所