

控制理论与应用

基于统一诊断服务协议电动汽车集成控制器 检测平台设计

熊 刚, 王文明, 谢勇波, 冯 拔
(长沙中车智驭新能源科技有限公司, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 为提高电动汽车电驱动集成控制器出厂检测的效率和通用性, 文章构建了一种基于统一诊断服务 (UDS) 协议的自动化通用检测平台。其采用检测模型数据标识 (DID) 的纯数字表示方式, 并以该模型的集合作为检测配置文件实现检测平台通用性; 对检测项目按类别依次分解设计, 统一分配 DID, 并结合检测模型设计了被测产品的诊断协议, 以实现对集成控制器检测的灵活控制和数据读取, 减少了传统检测方式中刷写检测程序的环节。实际应用结果表明, 该测试台能满足集成控制器通用化的需求, 较传统测试台精简了测试流程, 提升测试效率近 31%。

关键词: 电动汽车; 集成控制器; 统一诊断服务协议; 自动化测试; 出厂检测

中图分类号: U467.5⁺2; U469.72 文献标识码: A 文章编号: 2096-5427(2021)02-0023-07
doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2021.02.004

Test Platform Design of Integrated Controller for Electric Vehicle Based on UDS Protocol

XIONG Gang, WANG Wenming, XIE Yongbo, FENG Ba
(Changsha CRRC Zhiyu New Energy Technology Co., Ltd., Changsha, Hunan 410083, China)

Abstract: In order to improve the efficiency and versatility of factory function test of electric drive integrated controller for electric vehicles, it constructs an automated universal test platform based on unified diagnostic services (UDS) protocol. A pure digital representation method of data identification (DID) is designed for detection model, and the collection of this model is used as the detection configuration file to achieve the universality of the detection platform. The detection items are decomposed and designed by category, and the DID is uniformly assigned. Combined the detection model, a diagnostic protocol is designed for tested products, which realizes flexible control and data reading of the detection for integrated controller, and reduces the link of writing detection program in traditional detection. Practical application results show that the test bench can meet the generalization requirements of integrated controller, simplify the test process compared with the traditional test bench, and improve test efficiency by nearly 31%.

Keywords: electric vehicle; integrated controller; unified diagnostic services protocol; automatic test; factory function testing

0 引言

近年来, 随着电动汽车技术的日益成熟和市场竞

争日趋白热化, 为满足轻量化、小体积、高功率密度的市场需求并降低生产成本, 各汽车生产厂商和动力总成控制器厂商纷纷推出集成控制器^[1]产品。集成控制器通常是将电动汽车上所用电驱动控制器和控制单元集成在一起, 以减少元件和线束冗余配置, 并具有多种功能。相对于分立的控制器, 集成控制器在

收稿日期: 2020-09-09

作者简介: 熊刚 (1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事新能源汽车整车控制研究。

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFB0104501)

结构和连接等方面复杂程度大大增加，对控制器出厂功能检测工作提出了挑战和更高的要求。一方面，对于集成控制器多功能的检测要求，需要采用高效、自动的检测方式以保障交货周期^[2-6]；另一方面，市场多样化的需求促使集成控制器功能模块的裁剪和控制程序的多样化，这需要检测试验平台具有通用性^[7-11]。为了提高集成控制器出厂检测效率并满足通用化的要求，本文基于统一诊断服务（unified diagnostic service, UDS）协议和 CAN 通信协议，设计通用的诊断协议及检测控制单元间的交互协议；在原有集成控制器检测平台的基础上，通过结合可配置协议的上位机，实现通用化自动测试平台，以实现集成控制器功能测试的通用化和高效率。

1 常规集成控制器检测平台

电动汽车集成控制器一般由整车控制器、发电机控制器、驱动电机控制器、DC/DC 电源模块、DC/AC 电源模块、配电模块等部件整合而成，接口丰富，功能全面。检测中，将集成控制器当成黑匣子，通过控制器对外接口和驱动负载，检测所有设定状态，包括低压接口各输入输出接口状态检测和各功能部件驱动性能检测。各类型检测项目及表 1 所示。

表 1 检测需求

Tab. 1 Test requirements

检测项目	检测要求
低压电源	
低压接口	开关量输入输出
	每一个接口线路连接正确，
	模拟量输入输出
	每一个接口按类型独立使
	能、动作后能够控制或检测
CAN 网络通信口	
高压开关	预充电接触器
	主电路接触器
	按指令闭合和断开
电机控制器	按控制器指令输出
DC/DC 电压模块	按控制器指令输出
DC/AC 电压模块	按控制器指令输出

电动汽车集成控制器的电气接口和产品功能随市场订单需求而变化，存在一定的差异。采用传统出厂功能检测方法检测时，需根据差异调整检测方式和检测程序，检测平台难以实现通用，并且需要刷写特定检测程序，这将耗费大量的检测时间。

图 1 示出集成控制器出厂检测平台结构。集成控制器高、低压电源由外部电源提供；各功能模块功率输出连接负载柜，以模拟车辆实际工况下的真实输出；低压线束接口与模拟器相连，并通过 CAN 网络连接到上位机中，对测试过程进行控制；控制信

息和状态信息的传输基于 UDS 协议设计，保障通用化的信息交互框架协议，实现不同信息的统一传输。为保障测试平台的持续运转，采用水冷系统为功率部件散热。

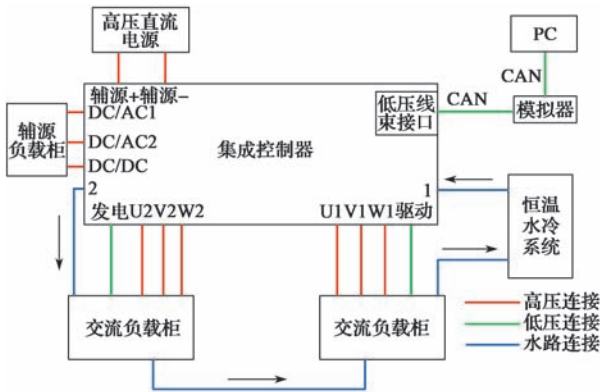


图 1 集成控制器出厂检测平台结构

Fig. 1 Structure of the factory test platform for integrated controllers

2 基于 UDS 协议的集成控制器检测平台控制框架

针对传统检测平台通用性差和需刷写特定测试程序的问题，在原有检测平台硬件的基础上，基于 UDS 协议设计电动汽车集成控制器检测平台的控制框架（图 2），其由检测控制单元和被测产品及其负载组成。检测控制单元由检测控制和电气接口两个功能单元模块组成，二者间通过基于 UDS 的诊断协议进行标定和信息交互查询。检测控制模块通过配置测试项目对被测产品下发测试项目指令，并根据反馈数据判断测试结果实现对各部件的自动测试。电气接口与被测集成控制器低压接口按类型进行对接，各接口采用控制器原有的编号定义，以保障通用性；对于被测产品的输入接口检测，电气接口根据检测指令输出相同类型的电气量到被测产品的输入接口，并通过 UDS 查询并获取输入接口接收的状态信息；输出接口检测由检测指令通过 UDS 协议标定的被测输出接口动作，并通过对应电气接口检测输出结果。对于各功能模块的检测，按检测要求，使用 UDS 标定和查询方法进行。

被检测集成控制器在基于 UDS 协议的检测平台上检测时，需要支持 UDS 协议，并对相关测试项目进行配置。使用 UDS 协议能够降低集成控制器应用程序要求，在检测中不再需要刷写特定检测程序，从而减少了刷写程序的时间，降低了集成控制器内应用程序维护风险和成本，大大提高了检测效率。

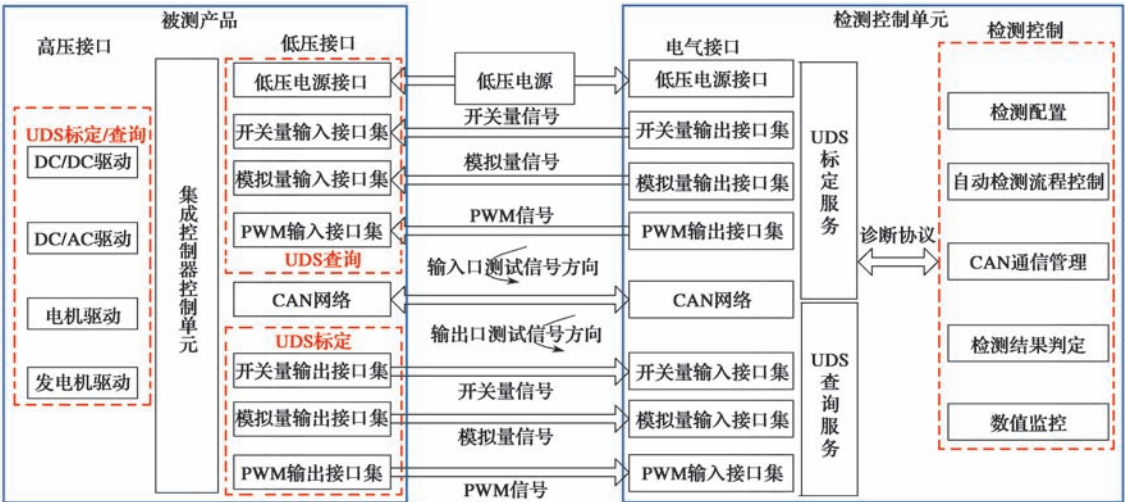


图 2 检测平台控制框架
Fig. 2 Control framework of the test platform

3 基于 UDS 的诊断协议设计

本节针对支持 UDS 协议的集成控制器，通过定义检测平台中所用的诊断协议，实现协议的通用化。

3.1 基于 UDS 的检测模型

检测中，针对最小测试单元 A 的测试步骤可以表述为^[12-13]

$$f(A)=(O,C,U)$$
 (1)

式中：O——测试对象；C——测试预置条件；U——测试对象在预置条件下的动作响应。

基于以上描述，被测对象的测试步骤可描述为

$$f(A)=(\text{时间,测试对象,测试预置条件,响应})$$
 (2)

式中：时间指该步骤的维持时间；测试对象为测试部件的标识。

基于 UDS 诊断框架，选取根据 ID 读取数据服务和输入输出控制服务，将预置条件和响应用 DID(数

据标识) 来表示，测试步骤如下：

$f(A)=(\text{时间,测试类型,预置条件 DID 数量 } n,\text{响应 DID 数量 } m,\text{预置条件 DID1,VALUE1,}\cdots,\text{预置条件 DIDn,VALUEn,响应时间,响应 DID1,有效范围 1,}\cdots,\text{响应 DIDm,有效范围 } m)$ (3)

式 (3) 将预置条件转化为 DID 和其预置的 VALUE 值，响应转化为响应变量的 DID 和其在测试中要求的有效范围。在该步骤中预置条件使用到的 DID 数量为 n ，响应中要求的 DID 数量为 m ， n 和 m 不一定相等且 n 或 m 可为 0。式 (3) 对测试的描述即为检测配置文件中的基本测试步骤形式。检测中包含多个测试对象，每个测试对象分为多个测试步骤，通过测试步骤的集合即可完成集成控制器的检测。

3.2 DID 设计

为将检测变量表示为 UDS 协议中的 DID，需对检测项目进行分解，图 3 展示了部分项目 DID 的分解。

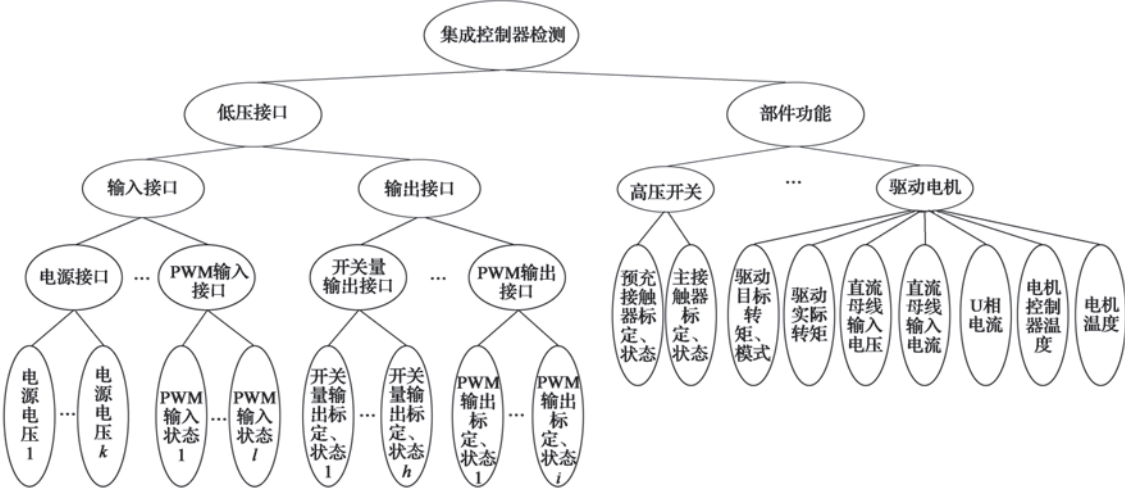


图 3 DID 分解设计
Fig. 3 DID decomposition design

检测项目主要分为低压接口项目和部件功能项目。低压接口按类型分为输入接口和输出接口。输入接口包括电源接口、CAN 接口、开关量输入接口、模拟量输入接口及 PWM 输入接口，每类接口有若干个子接口，将各类接口按硬件编号，依次定义各接口的 DID。输出接口分为开关量输出接口、模拟量输出接口及 PWM 输出接口，同样对每类接口的各子接口定义 DID，需注意输出接口应分别定义标定的 DID 和状态的 DID。

部件功能测试项目包括高压开关、电机控制器、DC/DC 电源、DC/AC 电源等。高压开关包括预充接触器和主接触器，每一个接触器包括标定和状态两种 DID。电机控制器需定义的 DID 包括标定 DID 如目标转矩、目标模式和周期读取 DID（包括实际转矩、母线电流及电压、三相输出电流、电机控制器温度、电机温度及电机状态等）。DC/DC 和 DC/AC 电源 DID 项均包括标定开启指令，周期读取 DID 包括输入电压、输入电流、输出电压、输出电流、电压状态信息等。

DID 采用两个字节的长度表示。为保证通用性，低压输入输出接口标识不与应用软件中的实际定义对应，而是采用底层驱动映射的接口标识进行定义，实现与嵌入式应用软件的解耦，从而保障 DID 通用于采用不同应用软件的集成控制器。测试中 DID 的定义如表 2 所示，其定义了各检测项目的 DID 范围，各项状态对应的实际 DID 在该范围内被依次定义。其中低压接口状态和部件参数状态为只读，安全等级为默认等级；低压接口控制和部件功能使能控制为读写模式，需要进入扩展模式方可使用。

表 2 检测 DID 定义
Tab. 2 Detection DID definition

测试项目	DID 范围	安全等级
低压接口状态	0x0300~0x0400	默认
部件参数状态	0x0500~0x0800	默认
低压接口控制	0x0A00~0x0B00	安全等级 2
部件功能使能控制	0x0B00~0x0C00	安全等级 1

3.3 基于 UDS 的诊断协议设计

根据式 (3) 描述，每一测试步骤中的配置信息将

分解给不同执行单元，如图 4 所示。将配置信息中的开始执行时间、类型、预置条件 DID 数量和响应 DID 数量下发到 UDS 协议控制单元，装载预置 DID 和对应的 VALUE 及响应 DID，并决策其执行时序和执行端口，生成输入输出控制和根据 DID 读取数据两项服务，并将其转化基于 UDS 协议的 CAN 通信协议发送给被测控制器。被测控制器执行测试动作后，通过读取数据服务将响应数据发送给检测控制单元并与预期响应 VLAUE 进行对比，判断测试结果。最大响应时间用于控制读取数据时间，保障信息交互的持续进行。

输入输出控制服务用于执行测试动作^[14]，根据类型和 ID 确定执行的端口。由于预置条件中的 DID 包括了检测控制单元和被测控制器，但 DID 设计中未强制将检测控制单元统一分配 DID，因此使用类型来分辨 DID 属于检测控制单元或被测控制器。类型包括低压输入接口、低压输出接口、高压开关、电机等。根据 UDS 协议的 DID 读取数据服务来读取响应数据，并通过判断响应数据是否在 VALUE 值的范围内来判断响应数据是否符合要求。表 3 为 UDS 诊断协议，即检测控制单元与被测控制器的通信协议。其中，输入输出控制服务每次只能发送一个控制量；读取数据服务一次性读取多个状态量，发送各状态量 DID，被测控制器按 UDS 协议回复各 DID 当前数值^[15]。

表 3 UDS 诊断协议
Tab. 3 UDS diagnostic protocol

序号	输入输出控制服务	根据 DID 读取数据服务
1	0x2F	0x2A
2,3	DID	DID1
4~n	设定值 (VALUE)	DID2~DIDm

为保障数据安全，在配置信息尾部设置 CRC 校验位。在配置命令分解下发时，传输双方对接收到的信息进行 CRC 校验，以防止数据丢失和被篡改。检测控制单元与被测控制器之间的 CAN 通信基于 UDS 协议，存在完善的应答和重发机制，以保障数据安全。

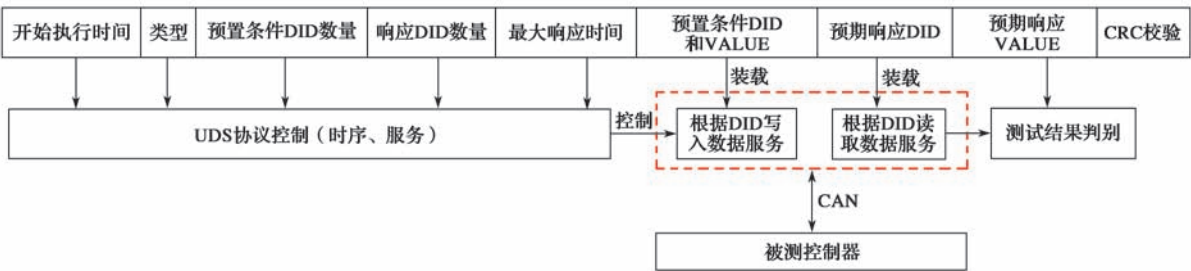


图 4 基于 UDS 的诊断协议设计
Fig. 4 Design of the diagnostic protocol based on UDS

3.4 基于诊断协议检测流程

检测过程中由检测控制单元下发测试项目 DID，执行接口接收后进行相关的功能检测。检测流程如图 5 所示。其包含扩展会话、低压接口检测和部件功能检测。

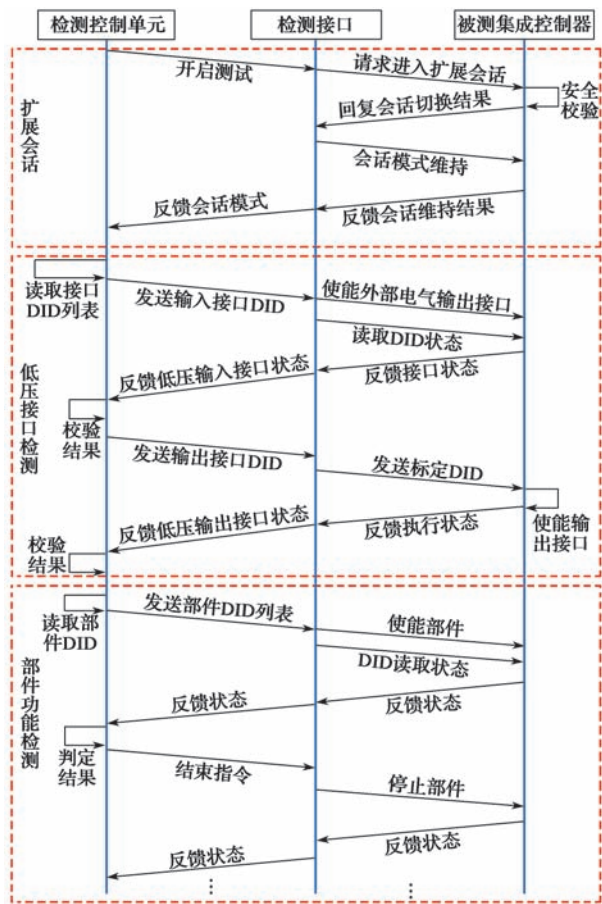


图 5 检测流程
Fig. 5 Inspection process

检测控制单元发起检测任务，执行接口接收后，通过 UDS 服务的会话控制服务将其请求切换到扩展会话中，检测控制单元与被测产品使用相同算法进行安全校验，被测产品反馈会话切换结果。

检测控制单元读取低压接口的 DID 信息列表，并发送至执行接口；执行接口根据 DID 使用读取数据服务和输入输出控制服务，依次检测低压接口。对于输入接口的检测，其由检测控制单元根据 DID 使能所对接的执行接口，使之输出有效信号，并使用 DID 读取输入状态信息。对于输出接口，其使用写入数据服务使能输出接口，并通过检测控制单元的输入接口获取被测接口的输出；检测控制单元将获取的数据进行对比以获取检测结果，接口检测完成后，将接口状态恢复到原始状态。

对部件功能检测，按单个部件依次检测，控制单元下发某部件的 DID，使用输入输出控制服务使

能部件，并通过定义的 DID 读取定义的各状态，再发送至检测控制单元中，从而对各参数进行判断，待参数符合测试要求后将部件状态恢复到安全状态。

4 工程实现与验证

本文在原有检测试验平台上通过配置外围供电和负载电路，并使用数据模拟器和检测上位机作为检测控制单元，搭建了一种基于 UDS 协议的电动汽车集成控制器检测平台。

4.1 检测平台控制单元实现

在原有检测平台硬件基础上，重新设计检测控制单元，设备间关系如图 1 所示。模拟器加 PC 上位机构成检测控制单元。模拟器采用与被测集成控制器同平台的整车控制器，实现与被测集成控制器低压电气接口的连接，并设计程序实现 UDS 诊断协议和检测机制。基于 Visual Basic 进行上位机开发，构建一体化试验台的人机交互界面，以实现配置文件读取、试验指令下发和检测结果判定等功能。

上位机界面如图 6 所示。其中，右上侧为工况设置模块，用于加载试验工况文件；最右侧设置了 CAN 连接、开始、急停、记录数据、绘制曲线等功能按钮；各测试功能单元的显示模块包括低压端口检测模块、高压接触器模块、辅件电源检测模块、电机检测模块。上位机控制被设计为多线程形式，以实现协议解析、数据收发、结果判定、画图等多个并行功能，最终实现自动检测。

4.2 低压接口检测示例

以一款 7 合 1 的集成控制器为例，根据其在检测平台上的检测数据依次为其配置 9 个开关量输入接口对接模拟器开关量输出接口，DID 高电平有效，时间为 1 s，之后输出低电平；同样对集成控制器的 2 个输出接口通过 DID 配置 1 s 高电平输出后输出低电平。模拟量端口测量通过初始状态、1 200、1 800、初始状态 4 个点来检测，将 PWM 频率设置为 100 Hz。输出结果如图 7 所示，其中 ins 为上位机下发的指令，DII1 为开关量输入端口 1 检测的输入，DII2 为开关量输入端口 2 检测的输入，DIO1 为检测到被测控制器开关量输出 1 的输出量，DIO2 为检测的开关量输出 2 的输出量；AI_1- AI_4 为模拟量设置的 4 个输入，其中 AI_1 和 AI_4 为初始状态，其值为模拟量检测的死区状态信息，存在一定的波动；PWM1 为频率检测信号，检测结果为 100 Hz。

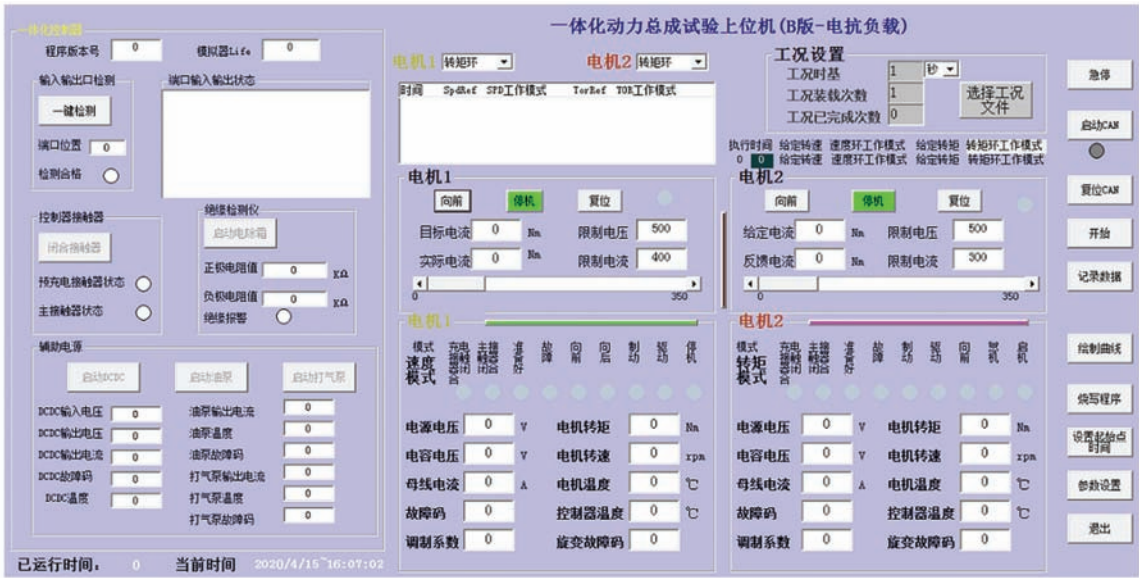


图 6 集成控制器检测平台上位机
Fig. 6 The upper computer on integrated controller detection platform

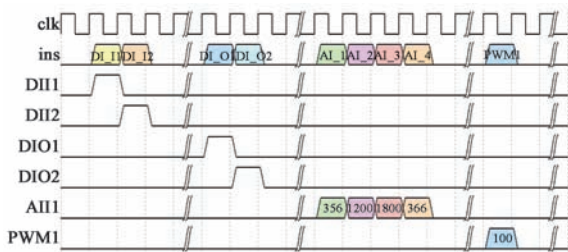


图 7 开关量端口检测结果
Fig. 7 Detection results of switch ports

由图 7 可见，通过 UDS 诊断协议能够自由地配置各种类型接口的检测，检测条件的执行与检测结果响应在时序上基本一致，从而能够快速实现检测。

4.3 电机控制器检测示例

试验中，由上位机读取配置数据，通过协议将数据 DID 和对应值发送给模拟器；模拟器按诊断协议发送转矩和控制模式信息给集成控制器内的驱动电机控制模块；驱动电机功率模块通过三相桥式逆变器输出三相电流到负载柜。试验由外部 440 V 直流稳压电源供电；转矩分为 50 N·m，300 N·m 和 500 N·m 三档，各档工作时间为 36 s，试验数据如图 8 所示。目标转矩为指令中的转矩，实际转矩为电机控制器输出转矩，实际转矩通过诊断协议的 DID 进行读取。输入电压和输入电流均为电机控制器输入量，其值利用 DID 进行读取。在电机控制软件中，转矩增长速度被加以限制以防止转矩突变，因此实际转矩和输入电流在转矩切换过程中存在跟随的过程。检测中使用负载柜，因此不存在电机的调速过程，输出转矩和电流很稳定，有利于检测结果的判定。图 8 中结果显示，通过 UDS 诊断协议能够有效地控制电机检测。

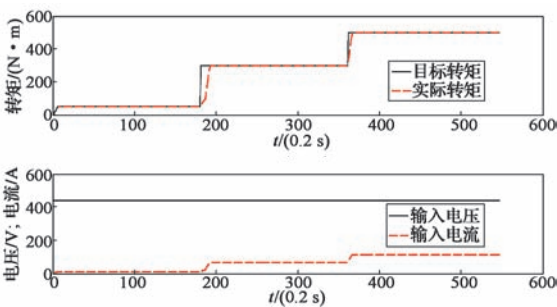


图 8 电机控制器检测数据
Fig. 8 Test data of motor controller

4.4 与传统检测方法对比

为满足集成控制器多项参数的检测要求，传统检测方法需要在检测前对被检测控制器刷写特定的检测程序，并在检测完所有项目后再刷写产品程序，同时对各检测项目的参数结果进行工对确认。本文检测方法在产品程序框架内进行功能标定和参数读取，不需要为被测产品刷写特定的检测程序，并且在配置中已对各检测项的检测参数进行了设定，上位机软件可自行判定检测结果，从而实现自动检测。

将集成控制器传统检测方法与本文方法进行对比，其检测流程耗时如图 9 所示。

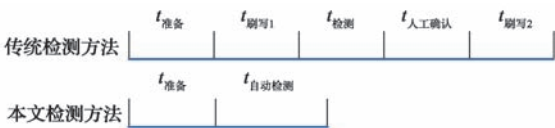


图 9 检测方法流程对比
Fig. 9 Process comparison of detection methods

传统检测方法与本文方法检测的时间统计见表 4。传统方法每次检测需刷写两次程序，刷写时间约为 198 s，该过程约占检测时间的 30%；另外，辅件检

测时需上高压，采用自动检测方法更高效；但在低压接口检测时，自动检测需对模拟量确认更多采集点，因此多耗时 7 s；电机检测工况一致，两种方法的检测时间相当。本文所提检测方法减少了刷写程序和人工确认环节，较传统检测方法效率提升了约 31%。

表 4 检测时间对比
Tab. 4 Comparison of detection time

检测项目	传统方法检测时间 /s	本文方法检测时间 /s
准备测试工作	/	/
刷写测试程序	92	0
加载配置文件	2	3
低压接口检测	46	53
辅件检测	63	55
电机检测	337	335
刷写装机程序	106	0

5 结语

本文对电动汽车集成控制器检验平台的通用性和高效性进行研究，在原有检测平台基础上设计了一种基于 UDS 通用诊断协议的检测控制系统；分析了检测模型并结合 UDS 协议中的 DID 诊断形式，设计了检测步骤的通用表现形式；对集成控制器检测量进行分解，统一设计了 DID；结合检测步骤的表现形式，设计了通用 UDS 诊断协议和基于该诊断协议的检测步骤，从而能够通用地根据配置自动对电动汽车集成控制器进行检测，避免了因产品配置变化而更改检测程序现象的发生，且由于裁剪了检测过程中的刷写检测程序步骤，进一步提高了检测平台的通用性和检测效率。针对当前检测中需根据配置文件单步检测问题，后续可考虑根据检测需求的固化，基于 UDS 协议中的例程服务，一次性检测一个模块，进一步提升检测效率并简化配置文件的编写。

参考文献：

[1] 朱正礼,周红丽. 新能源客车高压附件集成控制器开发[J]. 机械与电子, 2020, 38(7): 50-54.
ZHU Z L, ZHOU H L. Development of Integrated Controller for High Voltage Accessories of New Energy Bus[J]. Machinery & Electronics, 2020, 38(7): 50-54.

[2] 叶丽君,钱新恩,戴智财. 便携式 PLC 汽车仪表总成检测台的设计[J]. 甘肃联合大学学报(自然科学版), 2013, 27(3): 33-37.
YE L J, QIAN X E, DAI Z C. Design of Portable PLC Automobile Instrument Assembly Test Bench[J]. Journal of Gansu Lianhe University(Natural Sciences), 2013, 27(3): 33-37.

[3] 姚航,任晓明,那伟,等. 车用动力电池组管理系统检测设备的设计研究[J]. 电源技术, 2017, 41(10): 1464-1466.
YAO H, REN X M, NA W, et al. Research on design of vehicle power battery management system testing equipment[J]. Chinese Journal of Power Sources, 2017, 41(10): 1464-1466.

[4] 卢显达,郑文,樊旭然,等. 基于 LabVIEW 的电机出厂故障检测系统平台开发[J]. 测控技术, 2017, 46(6): 42-45.
LU X D, ZHENG W, FAN X R, et al. Motor Fault Detection System Platform Development Based on LabVIEW[J]. Measurement & Control Technology, 2017, 46(6): 42-45.

[5] 吴信丽,孟祥儒,杨国,等. 基于 VC++ 的充电机出厂检测系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2013(5): 178-181.
WU X L, MENG Y N, YANG GUO, et al. Charger Factory Test System Based on VC ++[J]. Automation & Instrumentation, 2013(5): 178-181.

[6] 朱庆林,王庆年,曾小华,等. 基于 V 模式的混合动力汽车多能源动力总成控制器开发平台[J]. 吉林大学学报(工学版), 2007, 37(6): 1242-1246.
ZHU Q L, WANG Q N, ZENG X H, et al. Development platform for HEV energy management system based on V-mode and its application[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2007, 37(6): 1242-1246.

[7] 邵思洋,张邦成,王占礼,等. 全自动汽车离合器盖总成综合性能检测试验台数据融合方法[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2017, 36(5): 37-42.
GAO S Y, ZHANG B C, WANG Z L. Data Fusion Method of Comprehensive Performance Test Bench for Full Automatic Automobile Clutch Cover Assembly[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2017, 36(5): 37-42.

[8] 杨旭东,刘方,雷斯聪. 油泵支架总成装配检测控制系统的设计[J]. 机械设计与制造工程, 2016, 45(5): 38-41.
YANG X D, LIU Fang, LEI S C. The control system development of the pump bracket assembly and test[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2016, 45(5): 38-41.

[9] 李怀珍,李建军. 中小型电机多工位出厂试验系统的设计[J]. 机械工程与自动化, 2019(3): 157-159.
LI H Z, LI J J. Design of Multi-Station Routine Test System for Medium and Small-Sized Motors[J]. MECHANICAL ENGINEERING & AUTOMATION, 2019(3): 157-159.

[10] 黄丽芳. UDS 诊断服务在车载 ECU 中的应用分析[J]. 汽车电器, 2012(6): 60-63.

[11] 汪春华,张玉稳,胡继康. 基于 UDS 的车身控制器故障诊断系统设计与实现[J]. 汽车电器, 2017(8): 41-45.
WANG C H, ZHANG Y W, HU J K. Design and Implementation of Fault Diagnosis System for BCM Based on UDS[J]. AUTO ELECTRICPARTS, 2017(8): 41-45.

[12] 刘凤新,李军辉. 基于脚本引擎的上位机监控程序的设计[J]. 计算机测量与控制, 2005, 13(10): 1135-1136.
LIU H X, LI J H. Design of Monitoring Program of Host computer Based on Script Engine[J]. Computer Measurement & Control, 2005, 13(10): 1135-1136.

[13] 龙小奇,张家欢,唐林,等. 一种嵌入式软件自动测试的脚本语言[J]. 控制与信息技术, 2019(3): 48-51.
LONG X Q, ZHANG J H, TANG LIN, et al. A Scripting Language for Embedded Software Automatic Test[J]. Control and Information Technology, 2019(3): 48-51.

[14] ISO/TC 22/SC, Road vehicle-Unified diagnostic services(UDS)-Part1: Specification and requirements: ISO 14229-1: 2013 [S]. 2013-03-15.

[15] ISO/TC 22/SC, Road vehicle-Unified diagnostic services(UDS)-Part3: Unified diagnostic services on CAN implementation(UDSonCAN): ISO 14229-1: 2013 [S]. 2013-01-15.