

IC-CPD 测试系统设计与研究

陈聪^{1†}, 倪峰²

(1. 江苏航空职业技术学院, 江苏 镇江 212134; 2. 苏州优利卡电子科技有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘要:电动汽车充电模式2属于交流慢充模式,其能够连接传统家用插座和车辆,便于携带,使用灵活。充电模式2必须配备缆上控制与保护装置(IC-CPD)以保证充电安全。在IC-CPD出厂前必须经过严格的测试,以满足安全使用条件。基于IC-CPD测试的重要性,分析了IC-CPD主要功能及内部结构;设计开发了一种能模拟电动汽车充电模式2导引过程,进行CP信号测试和辅助充电网络上继电器关断测试的IC-CPD测试设备;并详细给出了该测试设备的硬件电路设计及与IC-CPD进行测试的具体过程。

关键词:IC-CPD;CP信号;测试设备;LIN通信

中图分类号:TP23

文献标识码:A

Design and Research of IC-CPD Testing System

CHEN Cong^{1†}, NI Feng²

(1. Jiangsu Aviation Technical College, Zhenjiang, Jiangsu 212134, China;

2. Suzhou Ulicar Technology Limited Company, Suzhou, Jiangsu 215000, China)

Abstract: Electric vehicle charging mode 2 belongs to the AC slow charging mode, which can connect to traditional home sockets and vehicles for easy carrying and flexible use. Charging mode 2 must be equipped with In-Cable Control and Protection Device (IC-CPD) to ensure charging security. Therefore, before the IC-CPD is issued, it must be tested to meet the conditions of safe use. Based on the importance of IC-CPD testing, the main functions and internal structures of the IC-CPD were analyzed; the design and development of an electric vehicle charging mode 2 guidance process, CP signal testing, and auxiliary charging network relay off test IC-CPD testing device; also gives the hardware circuit design of the testing device and the process of testing with the IC-CPD.

Key words: IC-CPD; CP signal; test device; LIN communication

电动汽车的普及和推广能够有效减轻大气污染,是汽车发展的重要趋势,欧洲已经明确在不远的将来全部取消燃油汽车的生产 and 销售。随着新能源产业被纳入“十四五”规划,我国电动汽车产业的发展前景也一片光明。

目前,电动汽车主要有交流和直流两种充电方式。为规范充电方式,国际标准 IEC 61851 规定了四种充电模式。模式1由于缺失必要安全保护,大多数国家地区都禁止使用;模式2是一种可随车使

用的交流充电设备,与模式1的区别是在充电线缆上增加了一个缆上控制与保护装置(In-Cable Control and Protection Device, IC-CPD);模式3即交流充电桩;模式4为直流充电桩^[1]。模式2能够连接传统家用插座和车辆,具有便于携带、使用灵活等特点,原则上每辆电动汽车都需要配备一台。由于充电模式2的使用场景不像充电桩那样是固定的,可能是在车库,也可能是在有插座的任何地方,充电设备组件功率较高,有一定的危险性,因此,充

电模式 2 必须配备 IC-CPD。IC-CPD 在出厂前需经过严格的测试,以确保其发挥控制与保护作用。

1 IC-CPD 简介

1.1 IC-CPD 功能简介

基于充电模式 2 的需求与特点,根据 IEC 62752 标准的要求,在充电模式 2 下,必须配备有成套的控制保护设备,包括充电接口、充电电缆、

IC-CPD^[2]。IC-CPD 的功能主要有:充电控制、过压保护、过流保护、剩余电流保护、地线丢失保护等^[3],其主要功能及参数如表 1 所示。

根据 IC-CPD 的主要功能设计,IC-CPD 内部通常由主控芯片电路、电源电路、剩余电流保护电路、电流电压监测电路、地线保护电路、CP 信号发生电路、继电器驱动电路、人机交互电路等模块构成,CP 信号与内部处理器串行通信总线相接,是 IC-CPD 与外接测试设备通信的主要渠道^[4]。

表 1 IC-CPD 主要功能及参数

功能	状态、数值	电网继电器状态	延时时间
充电控制	CP 电压值:6±0.8V	充电中,继电器闭合	—
	CP 电压值:9±0.8V	充电完成,继电器断开	—
	CP 电压值:12±0.8V	未连接车辆,继电器断开	—
	CP 电压值:其他	故障,继电器断开	—
地线检测	PE 接通	继电器保持	—
	PE 未接	继电器断开	—
过压检测	线路过压	继电器断开,待电压下降到设定值后,延时闭合	用户设定
	电压正常	继电器保持	—
过流检测	过流一段	继电器延时断开,延时重启	用户设定
	过流二段	超过设定值,永久切断	用户设定
	电流正常	继电器保持	—
剩余电流检测	线路漏电,25±5mA	继电器永久切断	<20ms

1.2 IC-CPD 充电控制过程

充电模式 2 交流充电系统主要由充电枪接家用插座的三相插头、IC-CPD、充电枪接车辆的插

头、车辆插座和电动汽车内部控制电路构成,具体如图 1 所示。

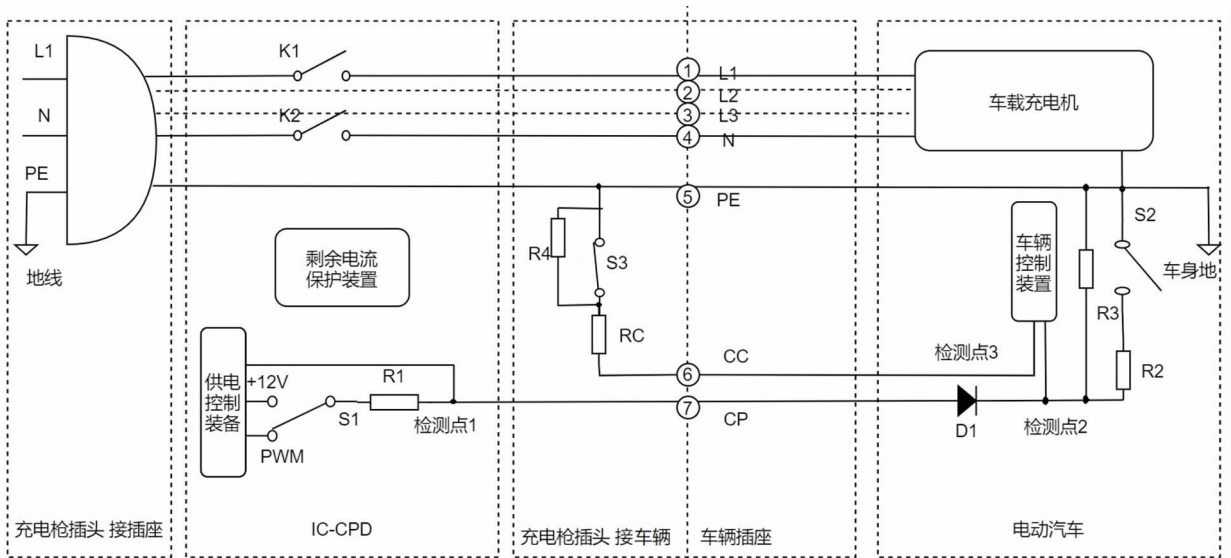


图 1 充电模式 2 交流充电系统原理图

从充电枪未连接到接通充电(即 CP 导引过程)有以下几个阶段:

(1)当充电线缆没有插入车辆时,CC 端口的

电压为 12 V 或 5 V,此时 CP 端口没有电压。

(2)当充电枪插头接通家用插座后,IC-CPD 中的供电控制装备控制 S1 开关与 12 V 电压接通,

CP端口的电压为12 V,CC信号回路接通,此时通过检测点3的电压就能够检测出RC电阻阻值,车辆可以通过检测点3检测到充电枪已经通电,并根据RC阻值的大小,判断充电枪型号^[5]。R4电阻的作用是检测充电枪有没有插到位,如果没有插到位则S3开关断开,R4电阻串联进回路,通过检测点3的电压可以让充电机知晓。

(3)当检测到充电枪插入车辆充电口以后,12 V电压经过开关S1、900 Ω电阻R1,依次到达检测点1和检测点2,然后通过2.7 kΩ电阻R3接地构成回路,经过R1、R3电阻分压,检测点1、2的电压约为9 V。

(4)当检测到电压为9 V以后,IC-CPD中的供电控制装备控制S1开关从12 V切换到PWM信号,此时检测点1、2会出现一个从9 V变化到-12 V的电压信号,以确认充电枪连接好,然后控制S2开关闭合,反馈信号给充电机。S2闭合以后,回路接入了1.3 kΩ电阻R2,R2和R3电阻并联后阻值为900 Ω。检测点1、2的电压从9 V变成6 V,此时整个CP导引控制完成。当CP信号稳定在6 V以后,供电设备的K1和K2继电器闭合,交

流电通过车辆充电口输入到充电机进行充电^[6]。

2 IC-CPD测试设备设计

根据IC-CPD的功能及充电控制过程分析,IC-CPD测试设备主要功能是模拟与IC-CPD建立CP导引、测试CP信号PWM波形及检测因为过流等情况下IC-CPD控制继电器关断时间是否满足要求。上位机电脑通过以太网通信给测试设备发送测试指令。根据测试设备的主要功能,设计其内部硬件电路,主要包括处理器模块、电源模块、CP信号发生模块、LIN通信模块、电源隔离和信号隔离电路(相比于燃油车,电动汽车由于各系统的特殊性,其通信时不可避免地要进行通信总线隔离)、以太网通信模块等。测试设备在与IC-CPD连接前设计了一个选通继电器,当进行CP导引模拟和CP信号测试时,IC-CPD与测试设备的CP信号发生模块相连接,当进行继电器关断测试时,IC-CPD与LIN通信模块相连接。具体IC-CPD测试设备硬件电路框图如图2所示。

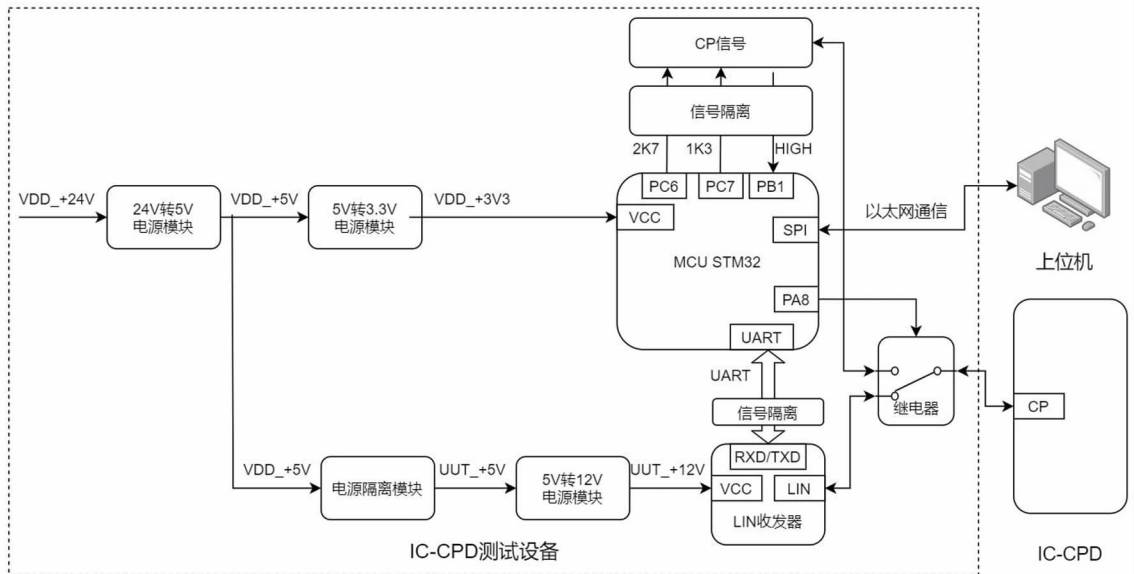


图2 IC-CPD测试设备硬件电路框图

2.1 主控制器及电源电路设计

测试设备的主控制器选用STM32F103RET6,该芯片是一款32位高密度性能微控制器单元,提供三个12位ADC和4个通用16位定时器、2个PMW定时器以及多种类串行通信接口,运行频率达到72 MHz,工作温度为-40~85 ℃,满足待测设备要求,性价比高。

为产生足够的通信功率,测试设备电源由外接24 V电源提供。因CP信号需要12 V电压,光耦

继电器需要5 V电压,主控芯片需要3.3 V电压,因此,测试设备的电源模块主要包括24 V转5 V电源模块、5 V转12 V电源模块、5 V转3.3 V电源模块和电源隔离模块。电源电路设计使用TPS54331DR芯片实现24 V到5 V电压转换,FP6291芯片实现5 V到12 V电压转换,AMS1117芯片实现5 V到3.3 V电压转换。

TPS54331DR是一款输入28 V、3 A非同步降压转换器。引脚1为引导引脚,和引脚8之间要

接一个 100 nF 的电容器;引脚 2 为电源输入引脚,输入电压范围为 3.5~28 V;引脚 3 为使能引脚,悬空禁用;引脚 4 为慢启动引脚,与外接电容一起决定输出电压上升时间;引脚 5 为反馈引脚,输出电压 0.8 V,根据其外接电阻调节输出电压大小;引脚 6 为补偿引脚,采用 II 型补偿网路设计;引脚 8 外接电感引出输出电压。

FP6291 是一种电流模式升压的 DC-DC 转换器,其 PWM 电路内置 0.2 Ω MOSFET,具有很好的功率效率,其输入电压为 2.6~5.5 V,输出为最高达 12 V 的可调电压。引脚 1 为开关 MOS 引

脚,外接电感和肖特基二极管;引脚 3 为反馈引脚,输出电压 0.6 V,根据其外接电阻调节输出电压大小;引脚 4 为开关控制引脚,不能悬空,通常接 VCC;引脚 6 为过流保护设定引脚,一般通过电阻接地。

AMS1117 较为常用,在此不做赘述。

图 3(a)所示为 TPS54331DR 电路,(b)所示为 FP6291 电路,(c)所示为 AMS1117 电路。TPS54331DR 芯片输出电压大小见式(1),FP6291 芯片输出电压大小见式(2)。

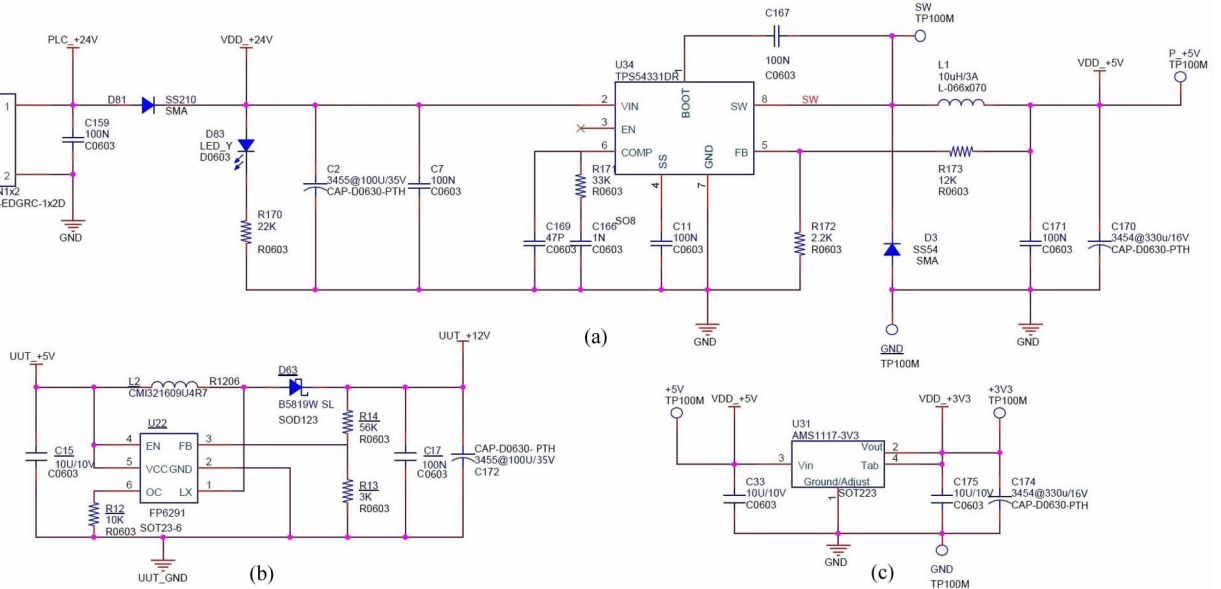


图 3 电源转换电路

$$V_{out1} = \frac{R_{173} + R_{172}}{R_{172}} \times 0.8 = 5.16(V) \quad (1)$$

$$V_{out2} = \frac{R_{14} + R_{13}}{R_{13}} \times 0.6 = 11.8(V) \quad (2)$$

DC-DC 电源隔离芯片使用 B0505S。B0505S 芯片的输入电压范围为 4.75~5.25 V,输出电压 5 V,其主要目的是将输入端与输出端隔离(输入端与输出端不共地)。引脚 1、2 为控制回路电源和地,引脚 3、4 为通信回路电源和地,引脚 2 通过 MCU 的一个 GPIO 端口驱动 MOS 管来开关电源隔离模块。具体电路如图 4 所示。

2.2 CP 信号通信电路设计

测试设备模拟的是电动汽车模式 2 的充电过程,从 IC-CPD 输出的 CP 信号正常是通过充电枪接口输送到电动汽车,现在直接输送到测试设备来监控充电过程。根据充电枪接通充电阶段分析,CP 信号到达电动汽车后经过二极管 D1,并通过电阻 R2、R3 和开关 S2 控制整个充电导引过程^[7]。因此,测试设备就是模拟整个充电导引过程,来检

测 IC-CPD 的充电控制性能。根据充电枪接通充电阶段分析:

(1)当充电枪插上家用插座后,IC-CPD 的 CP 信号输出 12 V 电压,测试设备接收到 12 V 电压经电阻分压后驱动 MOS 管开关,MOS 管导通后驱动光耦合器导通,将 3.3 V 高电平信号输入 MCU 的一个 GPIO 端口(CP_IS_HIGH),通知测试设备 CP 信号处于 12 V 高电压^[8]。为保证通信可靠,采用 EL357 光耦合器隔离来自 IC-CPD 的信号和输入 MCU 的信号,此状态暂称为状态 A。

(2)当检测到充电枪插入车辆充电口以后,即测试设备的 MCU 检测到 12 V 电压后,12 V 电压经过图 1 所示的开关 S1、900 Ω 电阻 R1,然后通过电动汽车内部的 2.7 kΩ 电阻 R3 接地构成回路,此时 R3 电阻便由测试设备来模拟。MCU 控制一个 GPIO 端口输出高电平驱动光耦 EL357 导通,从而驱动 MOS 管导通,接入一个 2.7 kΩ 电阻到地构成回路,此状态暂称为状态 B。

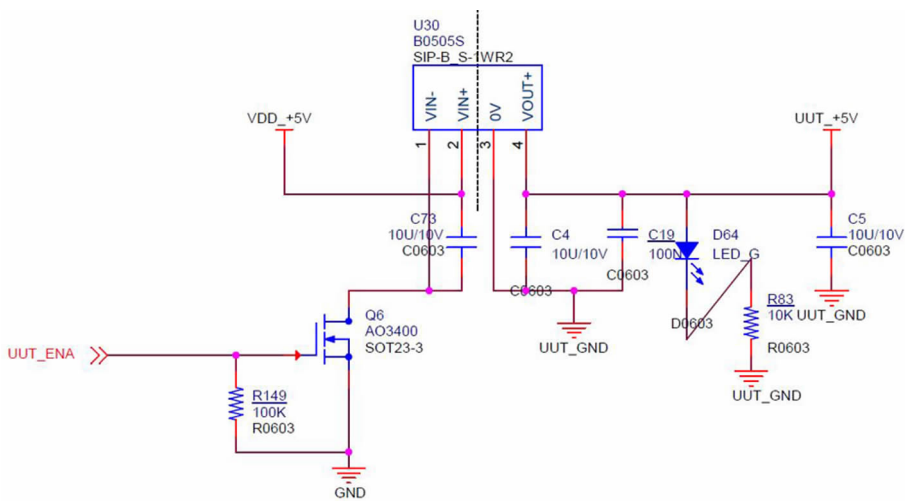


图4 电源隔离电路

(3) CP 信号上获得 9 V 电压后, IC-CPD 会切换 S1 开关位置, CP 输出 12 V 的 PWM 信号, 当 CP_IS_HIGH 端口检测到 PWM 信号后, 测试设备的 MCU 控制另一个 GPIO 端口输出高电平驱动光耦 EL357 导通, 从而驱动 MOS 管导通, 接入一个 1.3 k Ω 电阻到地构成回路。此时 1.3 k Ω 和 2.7 k Ω 电阻并联, CP 信号上的电压降为 6 V, 此

状态暂称为状态 C。至此, 整个 CP 导引过程结束。

同时测试设备还通过一个 GPIO 端口驱动 TLP172GM 固态光耦继电器接通来模拟电动汽车内 D1 二极管被击穿的情况。具体模拟 CP 信号通信电路如图 5 所示。

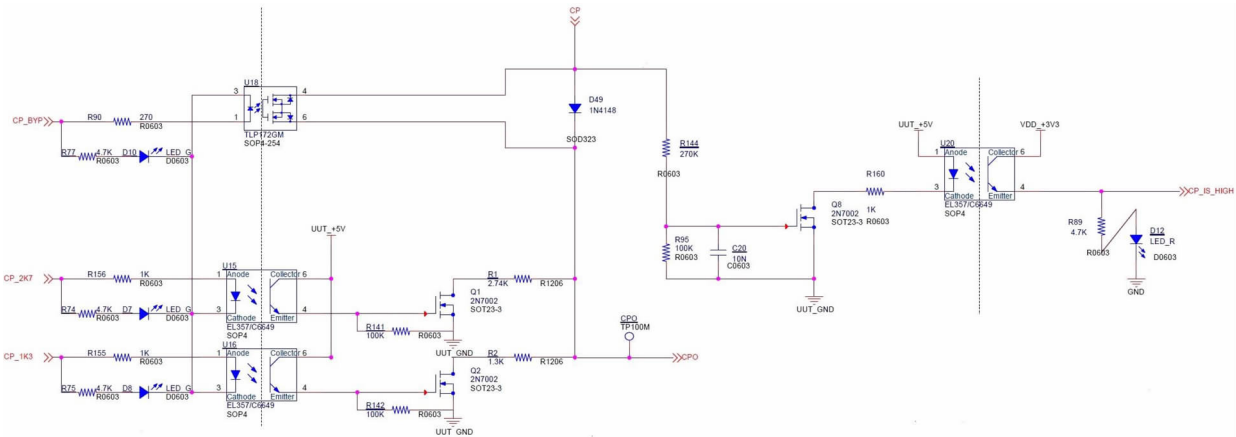


图5 CP信号通信电路

2.3 LIN 通信电路设计

因为 IC-CPD 只有 CP 一根数据线, 测试设备与 IC-CPD 之间一般通过 CP 信号或 LIN 总线进行通信。为确保通信可靠性, 测试设备的主控制器产生的 UART 串口通信信号与 LIN 收发器之间通过 π 122U31 芯片进行通信信号隔离。 π 122U31 芯片是一款超低功耗、高速率的数字隔离器, 通常用在多通道隔离、工业现场隔离等场合。芯片引脚 5-8 号分别为输入信号电源, 输入信号线 A、B 和输入信号地, 引脚 1-4 号分别为输出信号电源、输出信号线 A、B 和输出地, 有的 IC-CPD 不支持 LIN 总线通信, 因此在隔离芯片输出端直接引出了 UART 通信收发端口。LIN 收发器选用

TJA1021T 芯片, 最高速率达 20 kBd, 输入信号电压 3.3 V 或 5 V, 输出信号电压 5 至 27 V, 有抗干扰能力强的 LIN 总线通信收发器^[9]。TJA1021T 芯片的 1、4 号引脚分别为输入信号的接收和发送端口^[10]; 2 号引脚为芯片休眠控制输入, 低电平有效, 通过 STM32 的一个 GPIO 端口控制, 该端口驱动 EL357 光耦控制休眠信号输入, 从而实现输出输入信号隔离效果; 3 号引脚是芯片唤醒输入, 低电平有效; 5、7 号引脚分别为芯片的输入电源和地; 6 号引脚为 LIN 通信输出信号, 通过一个 GPIO 端口驱动 TLP172GM 固态光耦继电器来选通 LIN 通信信号或 CP 通信信号。LIN 通信电路如图 6 所示。

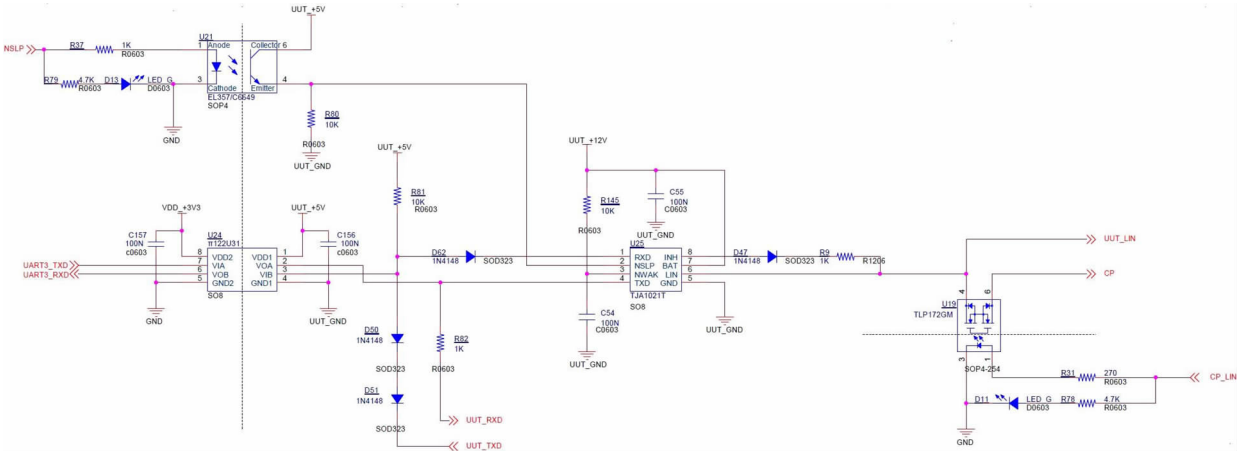


图 6 LIN 通信电路

2.4 以太网通信电路设计

测试设备与上位机之间采用以太网通信,以太网通信质量可靠,不易丢包。网络控制器选用带有 SPI 接口的速率可达 100 Mb/s 的快速以太网控制器 ENC424J600。芯片的 SPISEL 引脚需要通过 100 kΩ 电阻上拉接至电源,这样系统上电时就能进入 SPI 模式,同时引出该引脚用作中断接收。

RBIAS 引脚通过一个 12.4 kΩ 的电阻接地,芯片外接晶振采用 25 MHz 晶振。以太网插座选用 HR961160C, RD+、RD- 差分信号通过 6.8 nF 电容后连接到以太网插座。为抗干扰,芯片的电源地引脚之间都连接了两个电容,布线时使 0.01 μF 电容更靠近电源引脚。以太网通信电路如图 7 所示。

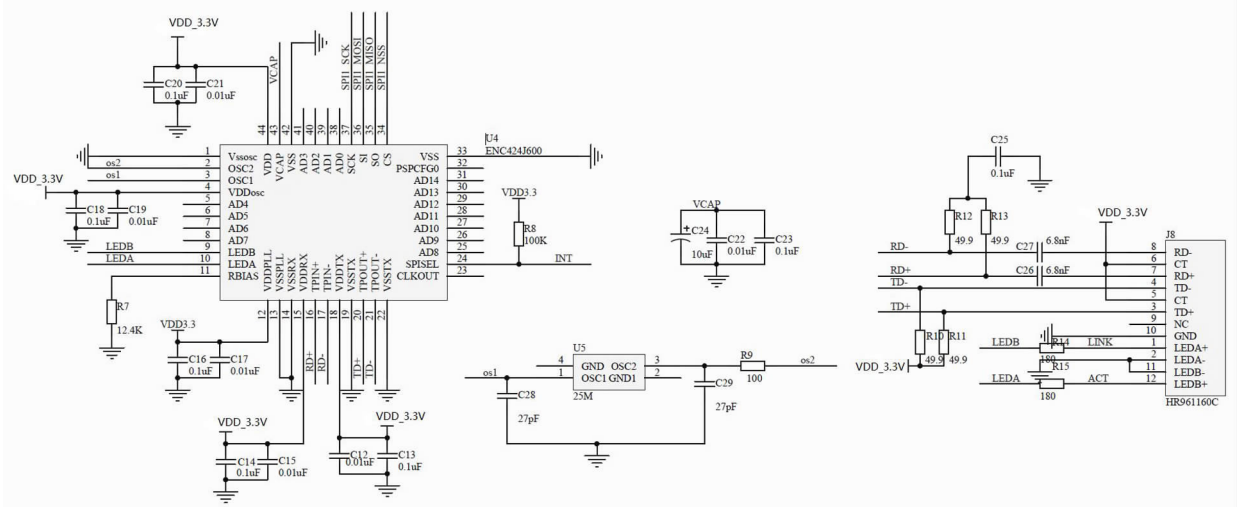


图 7 以太网通信电路

3 IC-CPD 测试

3.1 测试上位机

IC-CPD 产品的测试通过上位机来控制。首先上位机与测试设备建立网络连接。上位机通过网络发送测试指令,测试分为单步测试和自动测试,单步测试可分别进行 CP 信号测试和四种类型的继电器关断测试,自动测试则自动运行整个测试流程,当某一项测试故障后,结束运行或可通过人为控制结束运行。从 IC-CPD 获取到的测试过程相关信息通过以太网通信传输到上位机的显示界面。上位机采用 PyQt5 设计,如图 8 所示。

3.2 CP 信号测试

CP 信号的测试主要是检测 CP 端口的 PWM 波形,CP 信号产生的 PWM 波形测试包括波形频率和占空比测量。测试时,测试设备控制接通 2.7 kΩ 电阻进入充电导引状态 B 或接通 2.7 kΩ 电阻和 1.3 kΩ 电阻进入充电导引状态 C,这两个状态 IC-CPD 都是输出 PWM 波形。测试设备通过读取 CP_IS_HIGH 端口高低电平占比时间得出 PWM 信号占空比和信号周期。利用示波器在检测点 1 观看到的 PWM 信号电压为 ±12 V,频率为 1 kHz,高电平占比 16.34%,具体信号波形如图 9 所示,此波形和通过读取 CP_IS_HIGH 端口高低电平占比时间得到的结果一致,如占空比或 CP 信号

频率不满足要求,则测试设备发送 IC-CPD 测试不通过数据给上位机。



图8 测试上位机

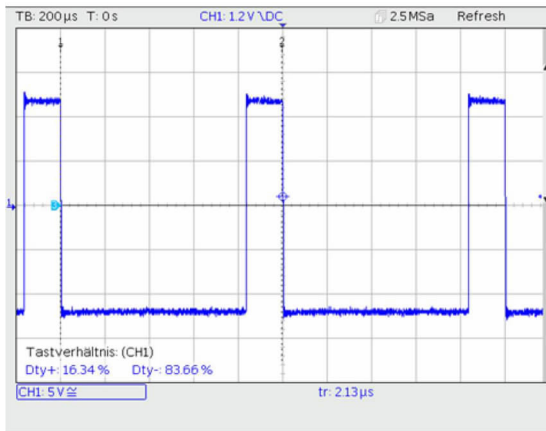


图9 CP信号PWM波形检测

3.3 继电器关断测试

继电器关断测试主要通过模拟过流、过压、剩余电流产生等情况来测试继电器状态和关断时间^[11]。进行测试时,首先 IC-CPD 和测试设备之间完成 CP 导引过程,即模拟正常充电过程,闭合电网上继电器 K1、K2。然后,测试设备模拟故障环境,例如在过流测试中,加载大功率电子负载,使 IC-CPD 检测到过电流。当测试设备接收到上位机给出的相应测试命令后,选通 LIN 通信模式,发送测试命令,IC-CPD 收到测试命令后,从充电导引状态 C 进入故障状态并断开继电器 K1、K2,IC-CPD 检测继电器断开时间是否在设定范围内并通过 LIN 总线传输给测试设备,测试设备将相关信息交上位机显示,如参数不满足要求或继电器状态故障,则 IC-CPD 继电器关断测试不通过,具体继电器关断测试流程如图 10(a)和(b)所示。

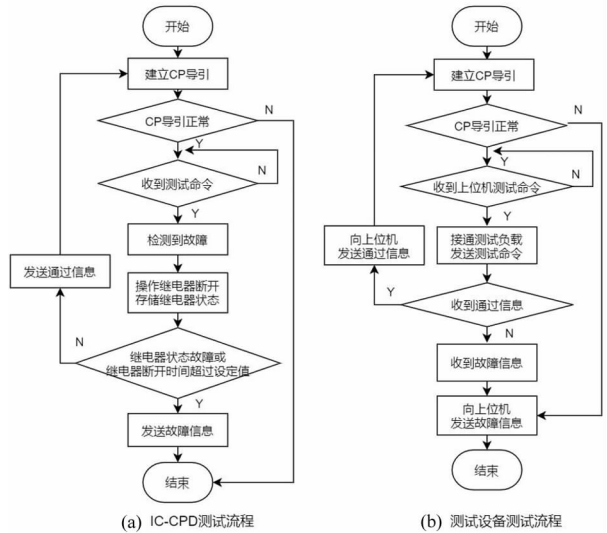


图10 继电器关断测试流程

4 结论

IC-CPD 是保障电动汽车家庭安全充电的重要设备,在进入市场前必须经过严格的测试。设计的 IC-CPD 测试系统可以模拟电动汽车充电导引过程,进行 CP 信号测试及继电器关断测试,同时借助稳定的以太网通信进行测试控制,并充分考虑了电源隔离和信号隔离电路设计,确保测试有效性。目前,该测试设备已应用到实际的 IC-CPD 测试中。

但是,因为系统设计时间的限制,使得测试界面较为简陋,后续可进一步优化界面,为用户带来更好的操作体验。

参考文献

- [1] 徐玲献,孙兰.电动汽车充电技术简析[J].建筑电气,2018,37(11):10-12.
- [2] 吴焕,添欣,王家星.传导充电设施安全检测标准解析与关键技术研究[J].日用电器,2020(8):48-52.
- [3] 张双荣,杨世江.IC-CPD 剩余电流保护特性试验装置研究[J].电器与能效管理技术,2021(9):73-77.
- [4] 吴昊.电动汽车充电接口智能保护装置设计和测试方法研究[D].长春:吉林大学,2017.
- [5] 华奇.新能源汽车 CP 信号异常无法充电原理与检修[J].汽车实用技术,2021,46(23):158-160.
- [6] 盛杰,郭春林,杨洪旺.基于 STM32 的三相交流充电桩控制系统设计[J].电测与仪表,2020,57(16):125-129.
- [7] 王新艳,李晶华,李艺超.基于 MCGS 的充电控制导引功能检测系统的设计[J].计算机测量与控制,2020,28(4):41-45+52.
- [8] 王新艳,李晶华,李艺超.交流充电桩控制导引功能检测系统的研究[J].工业仪表与自动化装置,2019(6):34-39.
- [9] 张俊,章赞.基于 LIN 总线的 IMMO 软件模块化设计[J].天津理工大学学报,2019,35(3):53-57.
- [10] 刘晨曦.基于 LIN 通信汽车车窗开关的设计与研发[D].长春:吉林大学,2021.
- [11] 田奕.基于 STM32F103RCT6 的电动汽车交流充电桩的硬件系统设计[J].科学技术创新,2018(28):61-62.