

# 基于 MCGS 的充电控制导引功能检测系统的设计

王新艳<sup>1</sup>, 李晶华<sup>1</sup>, 李艺超<sup>2</sup>

(1. 天津职业大学 汽车工程学院, 天津 300410; 2. 天津市动核心科技有限公司, 天津 300240)

**摘要:** 由于充电设备生产商与电动汽车制造商对充电标准的理解偏差, 导致出现充电设备不能可靠地给电动汽车充电, 设计了基于 MCGS 技术与 STM32 嵌入式软件的交流充电桩控制导引功能检测系统; 以 STM32F103 为下位机设计车辆充电模拟测试装置, 以 MCGS 组态为上位机实现充电过程的监控与控制策略的程序编写; 上位机与车辆充电模拟检测装置采用 RS485 通讯方式, 实现连接确认信号的动作监控, 控制导引信号参数; 经实验测试实现了新能源汽车充电控制导引功能的检测, 可适用于检测是否符合 GB/T 18487.1—2015 规定的电动汽车交流供电设备, 包括缆上控制与保护装置、交流充电桩等。

**关键词:** MCGS 组态; 交流充电桩; 控制导引; STM32; 监控系统

## Design of Test System of AC Charging Pile Control and Guidance Function Based on MCGS

Wang Xinyan<sup>1</sup>, Li Jinghua<sup>1</sup>, Li Yichao<sup>2</sup>

(1. College of Automotive Engineering, Tianjin Vocational University, Tianjin 300410, China;

2. Tianjin Dynamic Core Technology Co., Ltd., Tianjin 300240, China)

**Abstract:** Due to the misunderstanding of charging standards between charging equipment manufactures and EV manufactures, charging equipment cannot charge to the EV reliably. It designs an AC charging pile control guidance function detection system based an MCGS technology and STM32 embedded software. STM32F103 is used as the lower computer to design the vehicle charging simulation test device, and MCGS configuration is used as upper computer to realize the program writing of charging process monitoring and control strategy. The upper computer and vehicle charging analog detection device adopt RS485 communication mode to realize the action monitoring of connection and confirmation signals and control the guidance signal parameters. Through experimental testing, the detection of new energy vehicle charging control guidance function is realized, which can be applied to detect whether the AC power supply equipment of electric vehicle conforms to GB/T 18487.1—2015, including control and protection device on cable, AC charging pile, etc.

**Keywords:** MCGS configuration; AC charging pile; control guidance; STM32; monitoring system

## 0 引言

随着环境污染的加重, 以及高性能电池技术、大规模集成电路等的发展, 电动汽车又逐渐进入大众视野。国内以及美国、日本、欧洲等发达国家, 政府、各大汽车公司均投入了人力、财力用于电动汽车关键技术的研发。充电桩作为电动汽车充电的基础设施, 市场现有 5 种充电接口标准, 使得充电市场比较混乱。为了保证充电桩市场的规范性, 我国制定电动汽车充电接口及通信协议国标<sup>[1-3]</sup>, 以便于消费者享受电动汽车带来的便捷。

近年来, 关于交流充电桩的研究较多。文献 [4] 完成了充电过程连接确认、控制导引、识别最大充电电流等实时采集功能; 文献 [5] 和 [6] 仅描述了一些设计方案与思路, 未给出具体的设计方案; 文献 [7] 基于 STM32F103RCT6 的充电桩硬件电路设计, 对各个硬件模

块的原理进行分析; 文献 [8] 设计了可编程逻辑控制器 (programmable logic controller, PLC) 为控制器的交流充电控制系统, 解决了充电电动汽车充电计费问题。上述研究对于电动汽车的充电桩的开发与生产提供了指导建议, 但是对于交流充电供电设备的检测却较少。因此, 在已有研究成果的基础上, 通过对国标中控制导引功能电路的研究, 利用组态软件技术 (Monitor and Control Generated System, MCGS) 组态技术开发了上位机系统, 以 STM32F103 为核心搭建车辆端充电模拟检测装置作为下位机, 配合完成充电连接过程中控制导引功能的系统。该系统可对不同型号、版本的电动汽车交流供电设计进行检测。通过上位机界面, 可直观地显示被测供电设备地充电连接状态与信号的电气参数, 也可用于交流供电设备的现场检修。

## 1 控制导引功能检测系统的结构与原理

### 1.1 系统结构

控制导引功能检测系统总体设计如图 1 所示。硬件系统主要由充电接口、逻辑门电平标准 (transistor-transistor logic, TTL) 转 RS485 通信模块、R2/R3 电阻选择网络、触摸屏、信号采集与处理单元组成。其中, 信号采集与处理单元主要由充电连接确认 (connection confirm, CC)

收稿日期: 2019-08-28; 修回日期: 2019-09-12。

作者简介: 王新艳(1987-), 女, 河南获嘉人, 硕士研究生, 助教, 主要从事汽车电子方向的研究。

李晶华(1969-), 女, 吉林九台人, 博士, 教授, 主要从事汽车材料、汽车电控方向的研究。

信号采集、控制导引功能 (Control Pilot, CP) 信号采集、STM32F103 最小系统等组成。软件系统模块主要有单片机数据采集与通信程序、MCGS 通信驱动程序、MCGS 控制策略和 MCGS 组态设计组成。其中, 充电接口选用符合 GB/T 20234.2-2015《电动汽车传导充电用连接装置 交流充电接口》的车辆端七芯插座; 信号采集电路用于 CC 和 CP 的变换、整形, 处理为单片机可安全识别的信号; 单片机负责采集信号的分析处理, 并将数据打包传送, 同时还要接收上位机发送的指令驱动 S2 开关闭合; TTL 转 RS485 通信模块负责单片机与触摸屏之间安全可靠的数据传输; 电阻选择网络是用于模拟车辆端检测电阻, 可模拟车辆端 S2 闭合状态, 同时也可以切换不同阻值用于检测控制导引信号的电路参数是否处于国标范围内; 触摸屏在本设计中可视为上位机, 负责人机交互与检测逻辑分析。

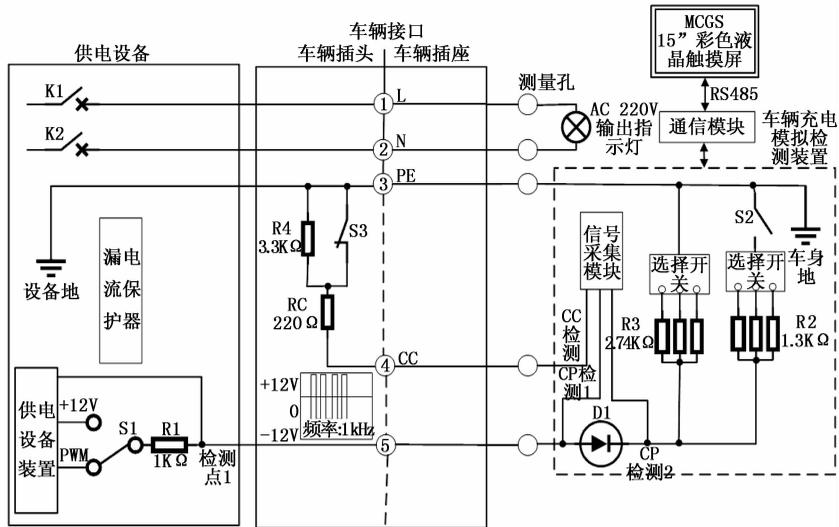


图 2 充电模式 3 连接方式 C 的控制导引检测原理图

上位机还可以在充电连接过程中或者充电连接完成后, 通过指令控制选择开关的状态, 选择不同的 R3 与 R2 的阻值, 其阻值的变化会影响到供电设备的检测点 1 的 CP 信号幅值, 国标要求供电设备的 CP 信号在导引状态 1-3 的电压值误差在  $\pm 0.8\text{ V}$  以内。如果超出此值, 可能导致电动汽车与供电设备的误差容限不匹配, 无法进行正常充电。以此判断 CP 信号的电路参数是否满足国家标准, 最终给出检测结果。

## 2 硬件系统设计

### 2.1 触摸屏选型

基于组态软件 McgsPro 开发的组态工程需要运行于昆仑通态的 MCGSTPC 系列嵌入式一体化工控机 (简称触摸屏)。其 G 系列的 TPC1570Gi 是一套以先进的 Cortex-A53 4 核 CPU 为核心的高性能触摸屏, 产品采用了 15.6 英寸 (1 英寸 = 25.4 mm) 高亮度 TFT 液晶显示屏, 具有良好的电磁屏蔽行, 其通信接口丰富, 有 2 路 RS485、1 路 RS232、1 路 LAN。本系统选用 RS485 接口与下位机通讯。

### 2.2 车辆端充电模拟装置设计

单片机采用基于 ARM CortexTM-M3 内核的低功耗 STM32F103 单片机。芯片具有丰富的外设, 具有 1 路区域网络控制 (controller area network, CAN)、支持 12 位 ADC 转换、3 个通用同步/异步串行接收/发送器 (universal synchronous asynchronous receiver transmitter, USART)、3 路 16 位带捕获功能的定时器、时钟频率可达 72 MHz, 完全满足系统需求。

连接确认信号主要检测充电枪的 CC 端与地线 (protection earthing, PE) 端之间的电阻值, 所以需要 CC 信号检测电路提供信号源, 当有充电枪连接到车辆充电端口时将电阻值转换为电压值。电阻值的大小同时还代表了连接装置 (电缆) 的额定容量, 由于供电设备不同, CC 端与 PE 端之间的电阻取值范围在  $100\sim 3\ 600\ \Omega$  之间。为满足整个电阻值范围内的测量精度, 由单片机根据采集的 AD 值的区

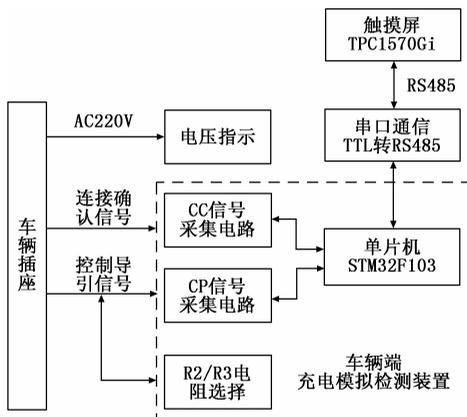


图 1 系统总体设计框图

### 1.2 系统工作原理

充电模式 3 连接方式 C 的控制导引检测原理如图 2 所示。按照国家标准, 在充电枪插入车辆插座的过程中, 车辆充电模拟检测装置通过测量 CC 与 PE 之间的电阻值来确认当前充电连接装置 (电缆) 的额定容量, 同时还判断车辆插头与车辆插座是否完全连接。通过测量 CP 检测点 1 的脉冲宽度调制 (pulse width modulation, PWM) 信号占空比确认当前供电设备的最大供电电流。在本设计中, 为了判断供电设备 CP 信号在检测电阻出现偏差时的电路参数是否满足国家标准, 在二极管 D1 之前增加了 CP 检测 1 的信号测量。信号采集模块将这些信息通过 RS485 通讯传送到上位机, 上位机的组态界面将直观地显示当前的操作状态与信号参数。与国标规定的电路参数的对比, 若信号正确, 通过指令按钮发送 S2 闭合指令, 单片机接收该指令并驱动 S2 开关闭合, 将 R2 投入到电路连接中。供电设备监测到检测点 1 的电平变化, 控制 K1、K2 开关闭合输出交流 220 V, 输出指示灯点亮, 充电连接过程结束。

间决定采集信号的分压比。实现当采集电路在小信号时直接连接运算放大器, 大信号时先分压后连接与运算放大器, 在整个电阻值范围内能输出安全可靠的电压值。

CP 采集电路主要是在充电连接阶段与充电过程中, 对供电设备输出的 PWM 波整形, 使其为满足单片机检测端口的电平要求。准确地采集 PWM 信号的频率与占空比是可靠充电的重要保障。为了提高采集电路的抗干扰性, 采用 RC 滤波与门限电压比较输出的电路结构, 避免了干扰信号带来的误触发。国标要求 PWM 信号的上升沿和下降沿时间在不带电缆空载的情况下保持在  $2\ \mu\text{s}$  以内。带电缆并加载情况下, 最大时间不超过  $10\ \mu\text{s}$ 。因此, RC 滤波电路的设计要严格地计算其时间常数。

由控制导引检测原图可知 R2/R3 电阻网络与 S2 开关放置在车辆端, 在充电连接阶段与充电过程中, 其电路结构的变化直接影响到供电设备检测点 1 的电平变化。供电设备根据检测点 1 的电平变化判断当前充电连接状态和是否输出交流电压。在国标中对供电设备充电导引电路的电气参数有准确的规定, 利用选择开关选择不同的 R2 和 R3 阻值, 根据供电设备对电气参数变化的响应判断其是否满足国标要求。

### 3 软件系统设计

#### 3.1 单片机程序开发

单片机的程序编写采用了模块化设计思想。软件主要由主程序、外设初始化与 CC 信号采集、CP 信号采集、串口通信数据处理等部分组成, 系统主流程如图 3 所示。

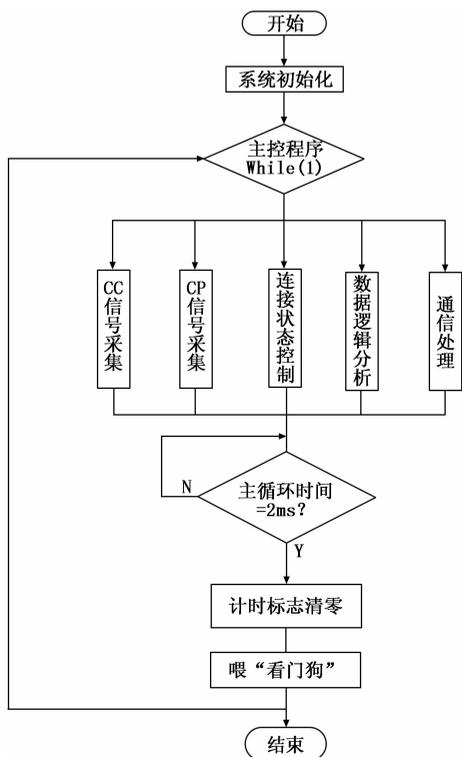


图 3 系统主流程图

CC 信号采集子程序通过量程的选择, 对该量程下的信号进行模数 (analog to digital, AD) 转换, 为获取稳定的 AD 值进行数字滤波, 当前交流充电桩 CC 与 PE 线间阻值即可得出。

通过定时器及输入捕捉功能即可计算得出 PWM 信号的频率与占空比参数值, 此 PWM 波即为 CP 信号。为简化计算频率方式, 在进行定时器初始化时, 时钟配置为 1 MHz, 则一个计数值为  $1\ \mu\text{s}$ , 配置 TIM5 为上升沿捕捉方式, 将中断开启。中断子函数对相关寄存器进行赋值, 并捕捉相邻的两个 PWM 波上升沿, 以标记一个周期进行波形参数采集。

#### 3.2 MCGS 通信脚本驱动程序开发

设备窗口是 MCGS 系统与外部硬件设备间的连接纽带, 可将外部硬件设备的数据读取至 MCGS, 进而对外部设备进行控制与监控。如表 1 与表 2 所示, 分别是触摸屏与单片机的通信协议位定义。在本设计中, 由于通信模块的数据传输采用独立的通信协议, 因此需自行编写脚本驱动程序。使用如图 4 所示的 MCGS 设备驱动开发工具, 将编写的脚本驱动安装至“用户定制设备”目录下, 供设备窗口选用即可。

表 1 触摸屏下发通信协议表

数据块	定义	数据长度/字节	说明
1	帧头	2	每帧都以 0x55AA 作为帧头
2	命令类型	1	0xA0 按用户输入参数配置下位机 0xA1 下位机按照控制数据的位状态执行相应动作 0xA2 读取下位机的采集数据
3	用户参数	8	命令 = 0xA0 时数据有效, 充电设备的铭牌参数和导引电气参数
4	控制参数	2	低字节表示选择开关的状态 高字节表示 S2 开关的状态
5	预留	2	
6	通信状态	1	每帧都以 0x0F 发送, 下位机接收数据正确返回 0xF1; 接收数据错误返回 0xF2
7	和校验	1	该字节之前所有数据的和, 保留低字节
8	帧尾	2	每帧都以 0x0DOA 作为帧尾, 回车换行

表 2 单片机上通信协议表

数据块	定义	数据长度/字节	说明
1	帧头	2	每帧都以 0xAA55 作为帧头
2	命令类型	1	当前所执行的触摸屏的命令
3	数据	10	采集数据: 充电状态、CC 电阻值、CP 频率、CP 占空比、CP 检测点 1 电平值
4	预留	2	
6	通信状态	1	接接触摸屏数据正确返回 0xF1; 接接触摸屏数据错误返回 0xF2, 请补发;
7	和校验	1	该字节之前所有数据的和, 保留低字节
8	帧尾	2	每帧都以 0x0DOA 作为帧尾, 回车换行



图 4 组态软件开发工具

### 3.3 MCGS 功能策略脚本程序

MCGS 采用如图 5 所示的多线程工作方式，保证运行系统的高效率。充电连接过程检测流程如图 6 所示，通信驱动程序在系统上电后直接启动运行，系统的逻辑判断与控制，在 MCGS 的循环策略中执行的。图 7 与图 8 所示的 CC 与 CP 信号检测流程图中，在循环策略中不断地将单片机传过来的数据进行解析，并与国标中规定的状态参数进行比较，按照充电连接的控制时序发送相应控制命令，实现控制导引功能检测，完成充电连接。

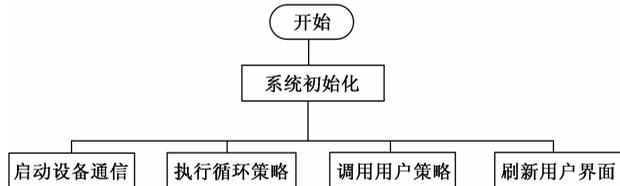


图 5 多线程工作模式

为了检验充电设备的控制导引功能对不同状态参数的响应情况，在策略窗口中还编写了用户策略，该策略被窗口界面的按钮调用执行，发送命令去控制选择开关将不同阻值的电阻投入电路，影响检测点参数。通过供电设备的响应情况来判断控制导引的电路参数是否满足国标要求。

在运行策略窗口创建名称为“充电连接标准化检测”的用户策略。新增策略行采用脚本程序实现充电设备的连接确认信号 CC 端与 PE 端之间的电阻值是否满足国标电气标准的判断。因为供电设备不同，连接装置（电缆）的额定容量不同，在不同的连接阶段需要将采集的当前电阻值与国标规定的每一组参数进行比对，将比对结果进行数据保存便于测试报告调用。当测试人员在相应界面点击选择了“标准化检测”按钮，在后台任务的脚本程序里判断该按钮动作，则采用调用函数！SetStgyMode（充电连接标准化检测）调用该用户策略。

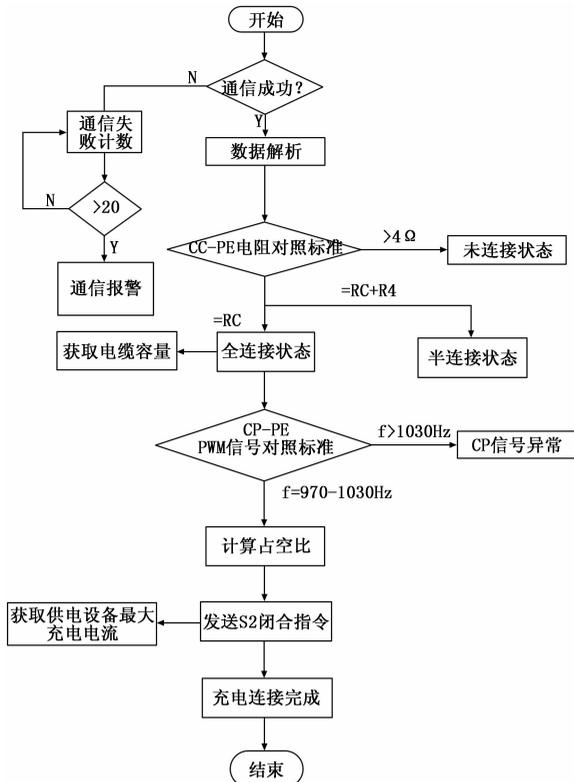


图 6 充电连接过程检测流程图

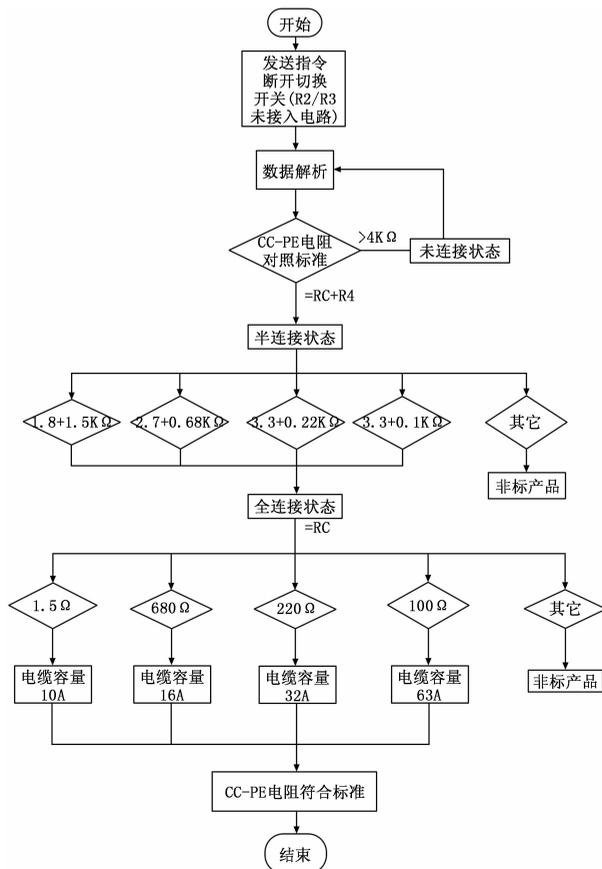


图 7 充电连接信号检测流程图

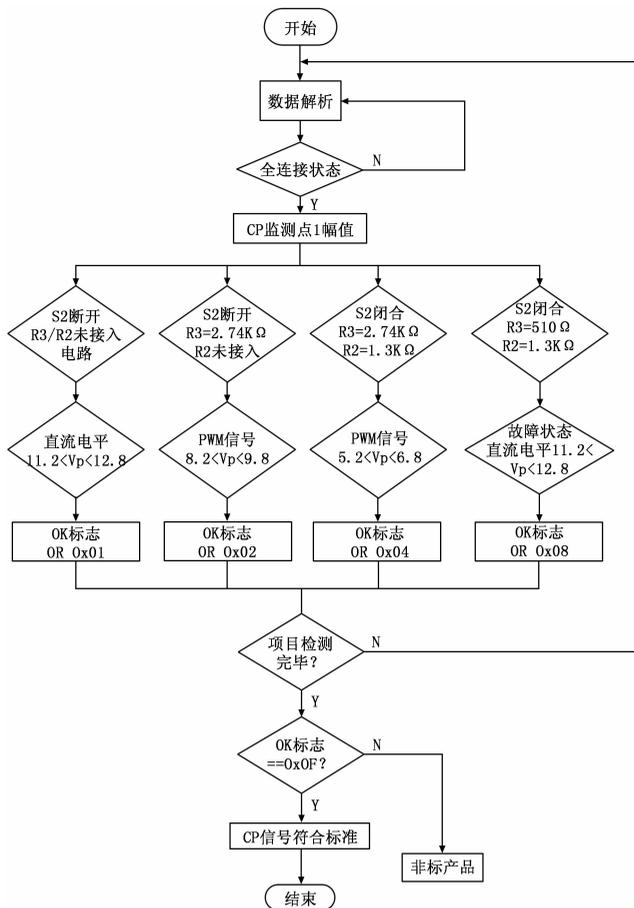


图 8 控制导引信号检测流程图

在运行策略窗口创建名称为“控制导引标准化检测”的用户策略。新增策略行采用脚本程序实现充电设备的控制导引信号 CP 在不同的连接阶段的电气参数是否满足国标的判断。在程序里通过条件判断的方式将当前检测点 1 的电平值与不同连接阶段的国标规定值进行对比, 每个阶段的对比是否合格通过“OK 标志”数据位置“1”进行存储。最终判断“OK 标志”是否等于 0X0F 判断在整个充电连接阶段 CP 信号的电平变化是否满足国标要求。当测试人员在相应界面点击选择了“标准化检测”按钮, 在后台任务的脚本程序里判断该按钮动作, 则采用调用函数! SetStgyMode (控制导引标准化检测) 调用该用户策略。

### 3.4 MCGS 画面组态

控制导引功能检测系统的界面组态主要有标准查询界面、图形化监控界面、数据监控界面, 故障测试界面等。标准查询界面将国标规定的关键数据、充电时序图等组态到界面里, 方便技术人员随时查询。图形化监控界面设计了包含控制导引检测原理的图元, 不同的连接状态下采用流动块指示信号流动路径, 充电连接过程的文字描述等。数据监控界面主要是当前通信数据的显示。故障测试界面主要用于故障点的设置与电阻参数的修改命令。组态好界面后需要将动画图元与相关变量进行关联, 设计动画效果。

## 4 实验测试

深圳巴斯巴科技发展有限公司的充电模式 2 控制盒是一种便携式的电动汽车充电设备, 其充电线缆也集成了控制和保护作用的控制系统。采用控制导引功能检测装置对其产品 EVB13-001N 型号的控制盒进行测试。

充电连接 CC 信号的测量如图 9 所示, 上位机显示电阻值 RC 为 681 Ω, 对应国标查询电阻值 RC 为 680 Ω±3% 的电缆容量为 16A。控制导引信号 CP 的 PWM 波的测量如图 10 所示, CP 的 PWM 频率为 1 001 Hz, 占空比为 21.6%, 当前供电设备允许输出的最大供电电流, 按照国标计算公式:

$$I_{MAX} = (D \times 100) \times 0.6 = (21.6\% \times 100) \times 0.6 = 12.96A \quad (1)$$

EVB13-001N 型号的控制盒的铭牌标注采用的是国标 16A 交流直头充电枪, 输出电流值为 13A, PWM21.7%, 与控制导引功能检测装置测量值一致。国标中控制导引电路的参数规定输出频率为 1 000 Hz, 误差范围为 970 ~ 1 030 Hz; 输出占空比误差在 1% 以内。因此, 本设计的控制导引功能满足国标要求。

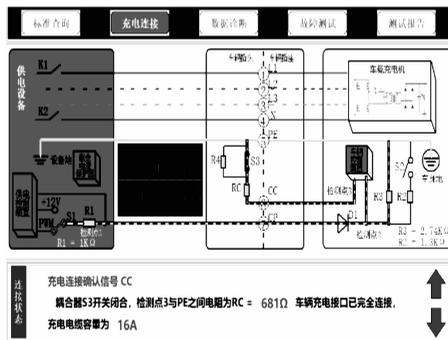


图 9 上位机充电连接信号界面

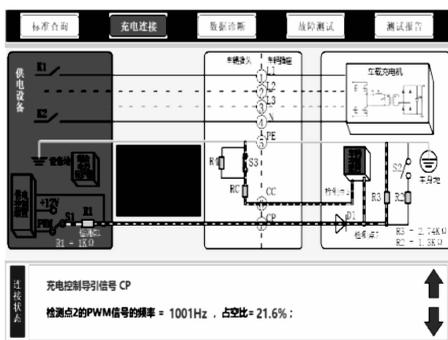


图 10 上位机充电控制导引信号界面

## 5 结语

以 MCGS 组态技术搭建的电动汽车交流充电设备控制导引功能检测系统, 具有实时性好、速度快, 运行稳定等优点。系统的人机交互方式简单, 监控界面的动画显示与实际操作同步, 直观地显示了充电连接过程的状态变化与