

基于STM32F407有序交流充电桩控制系统设计

窦亚力, 聂秀云, 王璐璐, 李 茁

(河南省智能充电技术重点实验室, 许继电源有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 为了配合居民区或办公区内电动汽车智能充电网络优化的调度, 从充电桩的角度出发, 研制了一款基于 STM32F407 芯片动态有序调节功率输出的单相交流充电桩控制系统。主要包括改进型的控制引导电路、车辆唤醒检测电路和 4G 通信网络模块电路等。采用 RT-Thread 实时操作系统开发控制系统软件程序, 给出详细设计流程和充电控制方法, 通过样机实验数据波形验证及实际工程应用, 所设计的单相交流有序充电桩控制系统具备响应运营平台下发的有序充电策略, 实时调节 CP 线上的 PWM 占空比, 达到控制车辆车载充电电流的目的, 动态调节输出功率, 能够引导电动汽车进行有序充电, 起到了平衡区域内电网用电秩序的作用。

关键词: 电动汽车; 有序充电; 功率调节

Design of orderly AC charging pile control system based on STM32F407

DOU Yali, NIE Xiuyun, WANG Lulu, LI Zhuo

(Key Laboratory of Intelligent Charging Technology of Henan Province Xuji Power Supply Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: In order to coordinate with the intelligent charging network optimization scheduling of electric vehicles in residential areas or office areas, a single-phase AC charging pile control system based on STM32F407 chip was developed from the point of view of charging piles to dynamically and orderly adjust the power output. It mainly includes improved control guidance circuit, vehicle wake up detection circuit and 4G communication network circuit. The RT - Thread real-time operating system software program control system, gives the detailed design process and charging control method, through the prototype experiment waveform data validation and practical engineering application, the design of single-phase ac control system has the response orderly charging pile orderly operation platform issued by charging strategy, to real-time adjust the PWM duty cycle of the CP line, To control the size of the vehicle charging current, dynamically adjust the output power, can guide the orderly charging of electric vehicles, balance the power consumption order of the power grid in the region.

Key words: electric car; orderly charging; power regulation

0 引言

当今世界, 面临着不可再生资源的不断消耗、环境的持续污染等亟待解决的问题, 节能减排已成为当今世界发展的共同目标。未来乃至20

年, 电动汽车替代燃油汽车已经被多国列入规划目标^[1-2]。充电桩作为电动汽车的“加油站^[3]”被广泛应用, 根据充电方式目前可以划分为交流充电桩和直流充电桩两种, 直流充电桩具有充电速

国网电动汽车服务有限公司 2021 年大功率充电测试系统 (2018DYC00793G)

度快、输出功率比较大、一般都安装在大型充电站内及供给电动的大巴车进行充电的特点^[4-5]。交流充电桩主要分为单相交流电压220 V与三相交流电压380 V两种，一般都为慢充，需要6~8 h完成充电，但慢充比较温和，可以延长车载电池的使用寿命，为客户节省充电成本，还可以选择在用电的低谷时进行充电。

但近两年随着居民小区及企事业单位对电动汽车充电需求的不断增加，在没有引导的情况下进行大量的电动汽车充电，因为充电空间和时间的不确定性^[6]，会造成增加电网控制难度、增大电力系统负荷及影响电能质量等不可忽视的问题^[7]。给电动汽车充电是客户侧用电行为，一定范围内具有可控性，研究在满足用户充电需求的前提下，以电网运行状态为依据，将充电成本最低或对电网影响最小作为控制目标，采用合理有效的有序充电的控制策略来给电动汽车充电，给电网负荷“移峰填谷”，有利于降低用户充电成本。对电动汽车的广泛普及具有不可忽视的重要意义。

现阶段，国内外都在不断地进行有序充电策略的研究。文献[8]运用动态和二次规划技术建立电动汽车的有序充电模型，将电网日常用电网损作为基准，通过把有序充电和无序充电对电网的影响进行对比，得出无序充电比有序充电网损严重的结论。文献[9]在综合考虑车辆充电过程中存在的非计划断开情况和电动汽车的电池存在非线性动态特性的基础上，提出降低负荷峰值的两级充电策略。文献[10]以插电式混合动力汽车（PHEVs）为对象，对在充电过程中的负荷系数、负荷变化方差和馈线网损进行分析，对有序充电模型以三种最优算法进行仿真，得出该模型可以有效降低配电网损的结论。文献[6]详细介绍了以STM32为控制核心的交流充电桩的设计，采用基于遗传算法的有序充电控制策略引导电动汽车充电，对维持电网稳定和降低用户充电成本具有明显的效果。文献[11]提出一种基于分层优化的电动汽车有序充电策略，以用户充电费用最少、配电网负荷方差最小为目标，建立了

电动汽车双层充电优化模型，有效地减小了配电网负荷波动以及用户充电成本。文献[12]基于交流充电桩供电线路采用高速窄带载波通信方式，通过在小区配电变压器旁安装智能有序管理终端（IOMU），实现区域内各充电桩动态组网和信息交互。文献[13]研究的电动汽车有序充电系统是主站通过策略计算生成计划下发给能源控制器，再发送给充电桩。

以上的研究都是基于如何引导电动汽车进行有序充电，从应用平台的角度出发进行控制算法的设计，充电桩作为给电动汽车充电的执行单元，并没有从充电桩的角度出发去研究更好的执行平台下发的有序充电控制策略，以实现变压器容量、居民用电和电动汽车的能量协调互动^[14-15]。

本文基于STM32F407VG芯片设计的电压为220 V、电流为32 A和输出功率为7 kW的单相有序交流充电桩控制系统，再配合智能充电管控系统，通过4G/5G移动网络通信模块，同远程服务器平台进行无线通信。根据负荷情况接收平台下发的动态调整充电桩的充电功率和接入的数量指令，通过软件设计有序充电控制策略，引导电动汽车安全高效有序的充电。

1 交流充电桩控制系统总体架构

基于上述交流充电桩改进型控制导引电路原理及结合有序充电功能，设计交流充电桩控制系统总结架构图如图1所示^[15-16]，为220 V、32 A和7 kW的单相交流充电桩，采用的是ST公司32位高性能ARM CortexM4处理器，型号为STM32F407VG作为主控芯片，CortexM4系列相比CortexM3具有内核更先进、片内资源更丰富、性能更高、外设功能更强、功耗更低和运算能力更强等显著优点，满足本次设计要求。

本交流充电控制系统主要的功能有：

- 1) 控制导引的检测，判断充电桩电气接口连接的状态。
- 2) 具有车辆唤醒功能，插枪3 min后未启动充电的，启动充电时应进行充电唤醒。

3) 具有4G网络通信功能, 根据运营平台下发的功率调节指令, 输出对应的功率, 满足有序充电的需求。

4) 具备电气安全防护功能, 包括防雷器保护、急停开关和漏电保护等。

5) 实现电能计量功能, 给平台上送充电交易记录。

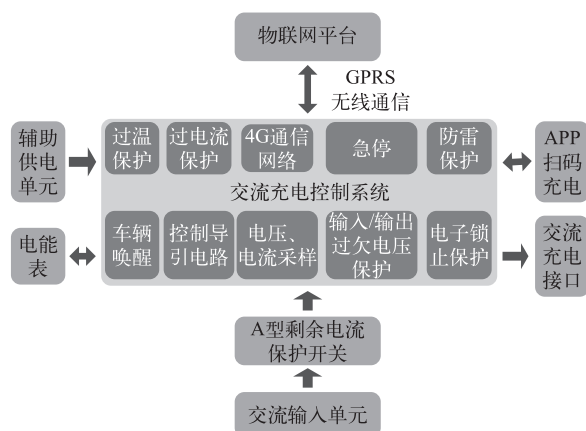


图1 控制系统总体架构图

Fig. 1 Pulse width modulation principle

2 充电控制系统硬件电路设计

根据颁布的新版国标GB/T 18487.1—2015《电动汽车传导充电系统 第1部分：通用要求》得知, 需要正确判断充电过程中电动汽车和充电桩之间的连接确认。本文在控制导引电路原理图

基础上进行了改进, 在CP上增加开关S₄和CC上增加开关S₅, 把车端CC信号引入到桩端, 是为了模拟插枪和拔枪的过程, 即作为车辆唤醒使用, 如图2所示。

工作原理是, 当电动汽车与充电接口连接后, 有序交流充电桩通过测量检测点1的电压值判断供电接口是否已经完全连接, 充电桩控制系统通过控制导引回路输出占空比可变的PWM信号给车载充电装置。通过调整PWM占空比来调整充电桩输出的连续供电电流, 根据国标GB/T18487.1规定, 占空比在10%~85%范围内时, 交流充电桩提供的充电电流与它所输出的占空比成线性比例关系, 进而调整电动汽车的输出功率。

依据图1所设计的系统总体架构和图2改进型控制导引电路原理进行硬件电路设计, 主要包括控制导引状态检测和连接确认电路、车辆唤醒电路和4G网络通信模块等。

2.1 车辆唤醒功能电路

从上述改进型的控制导引电路原理图可以看出, 在CC和PE之间增加了开关S₄, 在CP和PE之间增加了开关S₅, 开关S₄和S₅的初始状态为常闭。另外, 交流充电桩上需要引出CC线, 同时CC线与PE不再在枪内进行短接。设计电路图如图3所示。

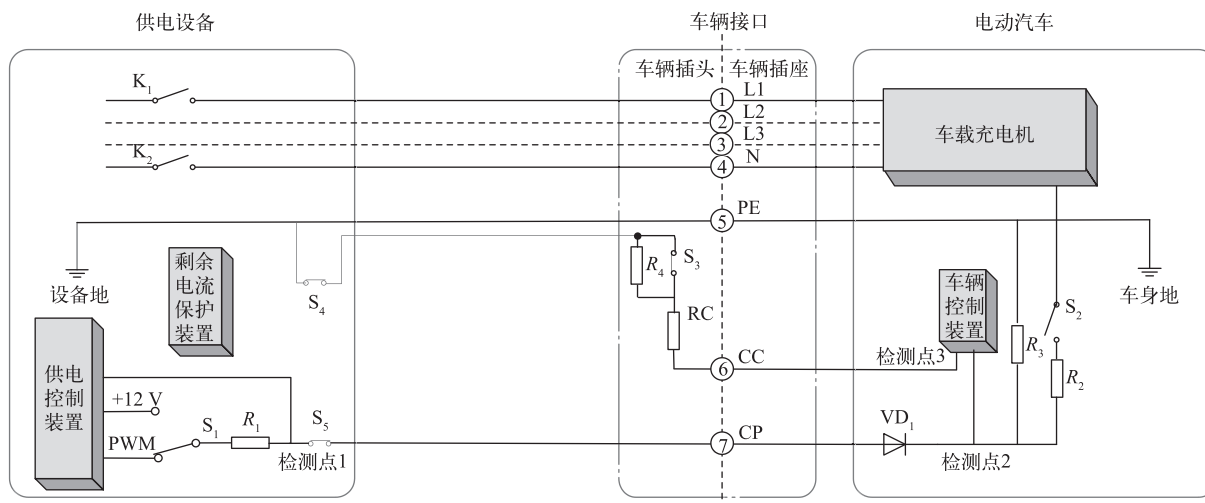


图2 改进型控制导引电路原理图

Fig. 2 Schematic diagram of improved control pilot circuit

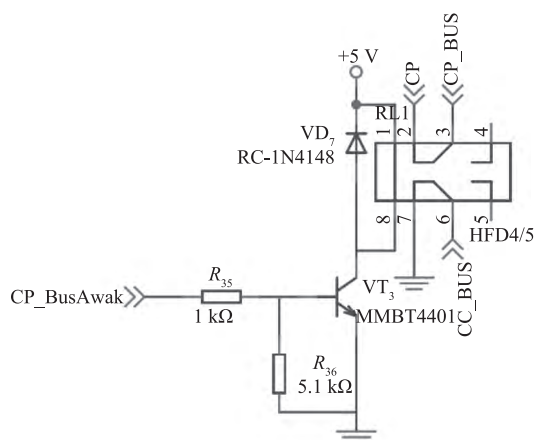


图3 车辆唤醒功能电路

Fig. 3 Vehicle wake-up function circuit

STM32F407VG主控芯片通过PC11引脚开出一路CP_BusAwake信号，通过控制三极管MMBT4401的通断来同时控制继电器HFD的引脚3和引脚6的切换，达到对CC和CP的开关控制。

实现的功能是交流控制器检测到车辆插枪3 min之内未启动充电的，启动充电时应进行充电唤醒，提醒此时车可以开始充电。如果是插枪后3 min内启动充电的，则无须充电唤醒。

当需要充电唤醒时，打开开关S4、S5，根据调研一些车辆得知，需要开关延迟15 s后再闭合。

2.2 检测控制导引电路和连接确认

设计的有序交流充电桩采用交流220 V单相电源供电，且额定电流为32 A，根据图2可知，选择的充电模式3和连接方式C，在车辆的充电接口与充电桩的接口没有全部连接之前，此时的开关S1处于+12 V状态，检测点1处的电压值为+12 V，当车辆接口与供电接口完全连接后，控制开关由S1切换到PWM波形模式，充电桩控制系统产生脉宽值可变的PWM信号，国标GB/T 18487.1规定：占空比在10%~85%范围内交流充电桩提供的充电电流与它所输出的占空比成线性比例关系，比例常数为0.6 A/占空比百分点^[17]，本设计就是利用该信号调整给电动汽车的输出功率。

故有序交流充电控制系统需要不断采集检测点1的电压，通过检测点1 CP电压幅值来判断充电接口与电动汽车的连接状态，从而判断控制导引过程完成状态。检测点1 CP处电压有12 V、9 V和6 V三种状态。CP点的电压经过分压进入两级LM2904跟随器，输出CP_AD送给控制器STM32F407的A/D采样器，通过PC0引脚来采样电压值，具体电路图如图4所示。通过电压值来判断连接确认状态，PD4引脚控制JLCP_CON的通断，使开关S1切换到PWM输出。

2.3 4G网络通信模块电路设计

交流充电桩作为一个独立的充电单元和通信终端，需要实时上传充电桩的运行参数，同时接收平台下发的功率调整和控制指令，把充电交易记录上送给平台。并且充电桩具有安装位置多且分散、覆盖面广和通信距离远的特点，采用无线通信方式比较合适。采用移远通信推出的低成本4G LTE无线通信模块，型号为EC200T-CN，使用的是国产芯片组，搭配的存储器容量比较小，是针对嵌入系统平台而设计。

4G模块是嵌入交流充电桩系统控制板上，通过RS 232接口分别连接到STM32F407控制模块UART5的RXD（PD2）和TXD（PC12）引脚上，实现交流充电桩控制系统与平台的无线数据传输。由于RS 232电平不可以直接接到MCU，故使用ADM3202ADRU芯片进行电平转换，将TTL电平与232电平互相转换，如图5所示。

3 交流充电控制系统软件设计

根据文章设计的硬件电路，开发对应的单相有序交流充电控制系统的软件程序，采用RT-Thread Studio一站式的开发工具，通过组件资源和丰富的软件包以及简单方便的图形化配置系统，使物联网开发变得高效和简单。

整个充电流程分为充电启动阶段、充电阶段、自恢复阶段和充电结束阶段。交流充电控制系统有序充电流程如图6所示。

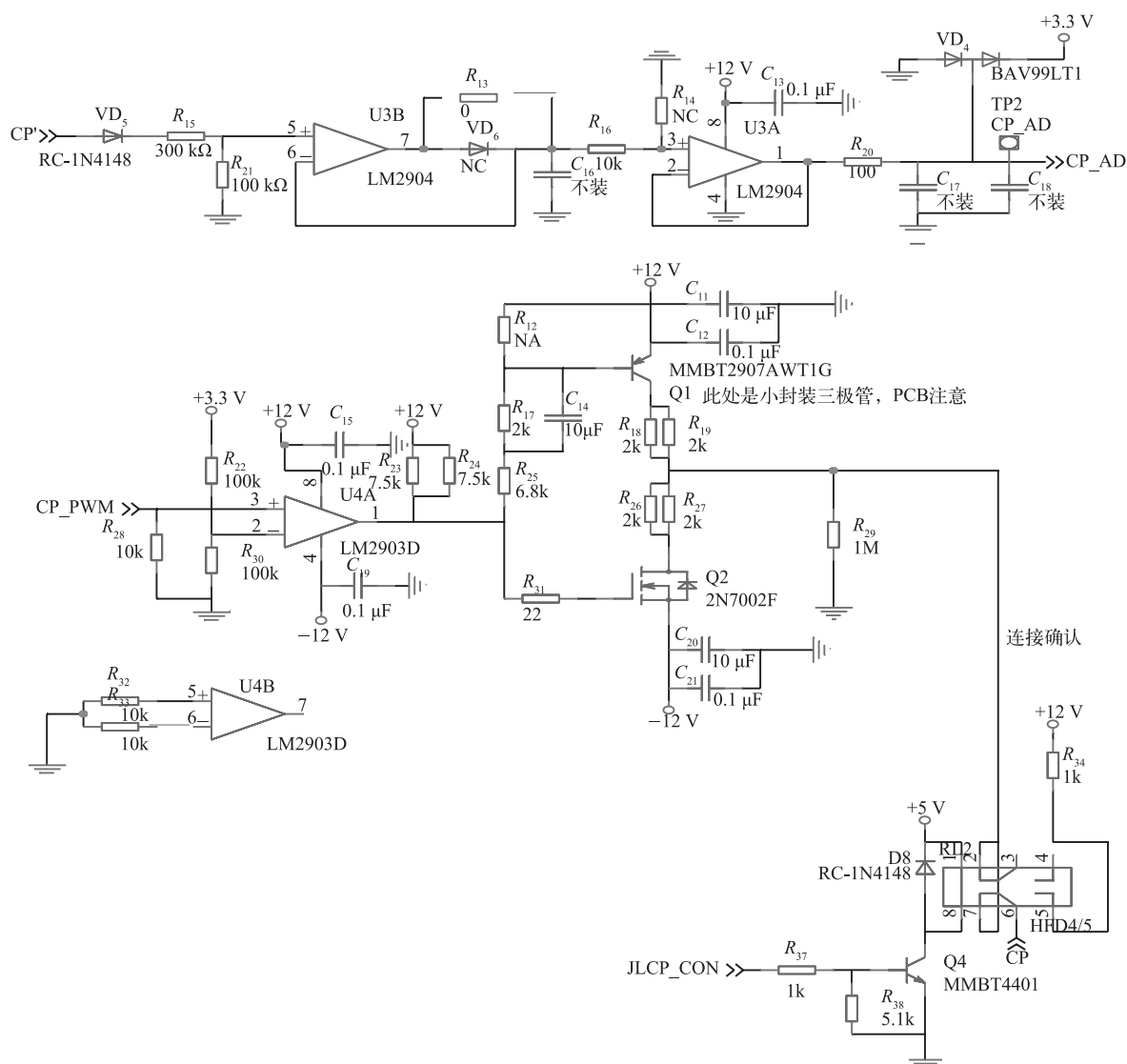


图4 控制导引检测电路

Fig. 4 Control guidance detection circuit

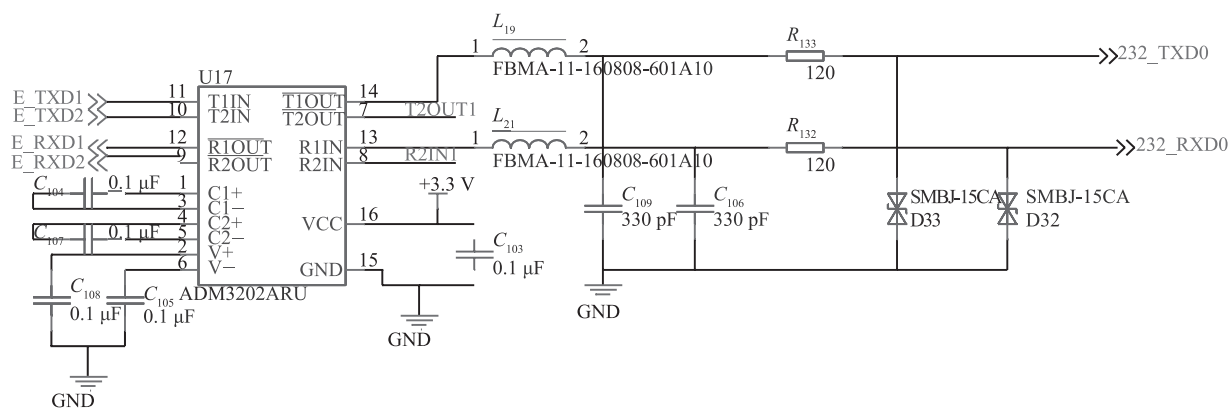


图5 电平转换电路

Fig. 5 Level conversion circuit

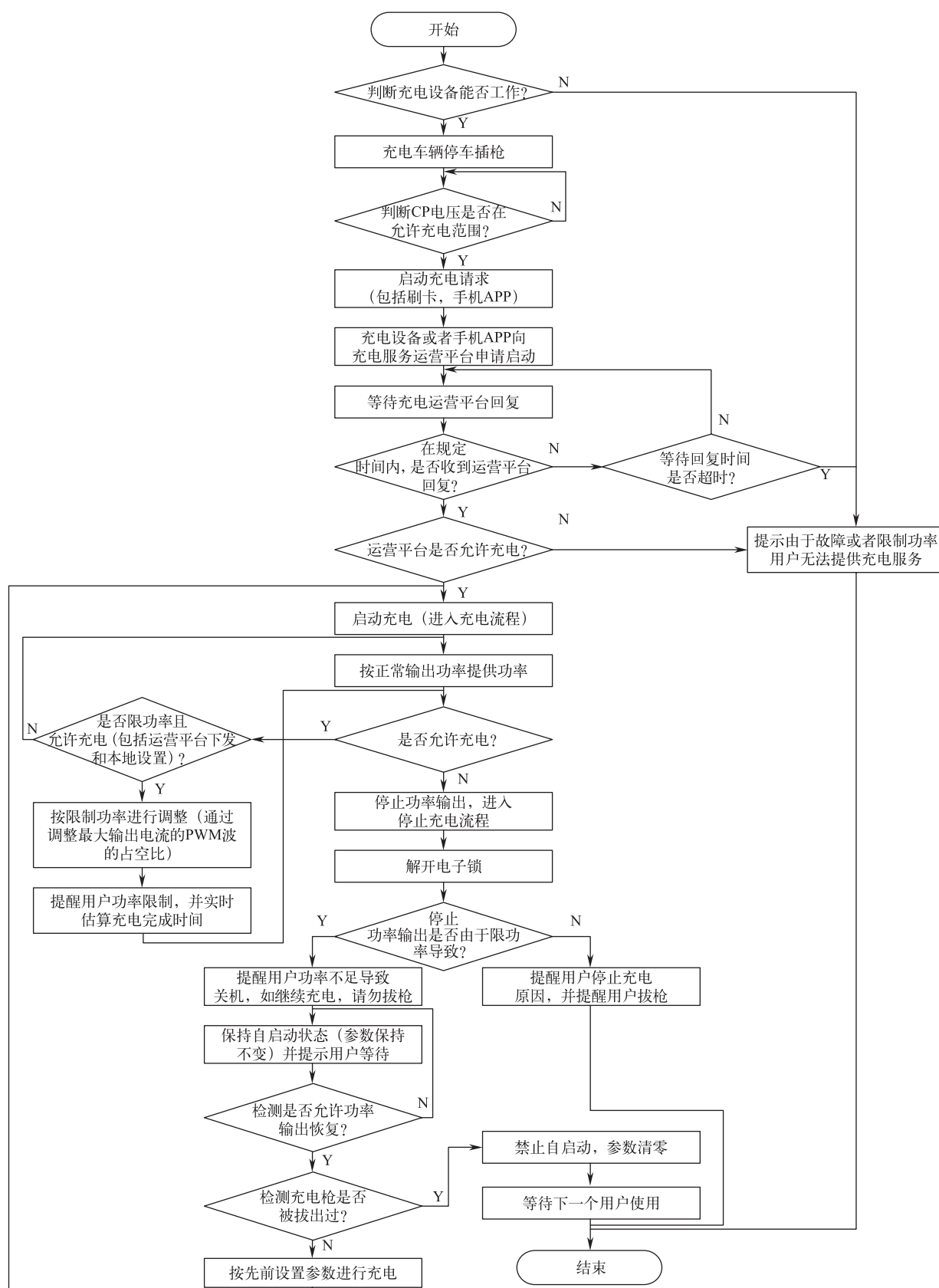


图 6 交流充电控制系统有序充电流程图

Fig. 6 Orderly charging flow chart of AC charging control system

3.1 充电启动阶段

当用户连接车辆,交流充电设备检测CP电压时,如果在充电允许电压范围内,提示用户选择充电模式,比如尽快充、低费充等。当选择必要信息后,用户通过APP或者刷卡、账户等方式进行启动充电。

交流充电设备或者手机APP把充电账户信息、充电模式和充电设备号等信息上传到运营平台,运营平台通过上传的充电设备进行编号,查找出充电设备所在区域,根据台区配电变压器实际情况以及负荷历史使用曲线,估算是否允许充电设备进行充电或是否限制功率,并把估算结果上送给运营平台,然后充电服务运营平台把估算结果返回给申请充电的交流充电设备,并结合本地设置信息,判断是否允许充电和限功率充电。

3.2 充电阶段

充电服务运营平台返回的结果如不允许充电,或者在规定的时间内,未收到充电服务运营平台回复的报文,禁止启动充电,应及时提醒充电用户不允许充电原因。否则,启动充电,按正常的充电流程。

如按限制功率启动充电,应首先对限制的功率与直流充电设备的最小输出功率进行比较,如果限制功率不小于最小输出功率,直流充电设备应按限制功率进行启动充电,否则禁止启动充电。

在充电过程中,交流充电设备应实时监测设备是否允许充电,是否限制功率,如果不允许充电,应立即停止功率输出,进入结束充电流程,断开电子锁。本次中止充电如果是由于限制功率导致,应及时提醒用户是否需要继续充电,如果需要,请勿拔枪,充电设备应保持设置参数不变,应能完成自启动功能,且提示用户等待。

如限制功率充电,应按限制的功率进行输出电流调整,改变最大输出电流PWM的占空比即可,并实时估算充电结束时间,并把相关信息发给用户;如不限制功率,应按实际需求功率进行

输出。

3.3 自恢复阶段

充电设备应实时监测功率输出是否恢复,如果未恢复,则提示用户继续等待,否则充电设备进入自恢复阶段。

在自恢复阶段开始之前,充电设备应判断充电连接器是否拔出过,如果中间出现CP电压未在正常充电范围内,应重新进入充电开始阶段,重新按充电流程进行操作。

3.4 充电结束阶段

如果不是由于功率不足导致中止充电,应按正常充电流程结束充电,提示用户结算和拔枪。

4 充电桩整机测试

通过上述有序交流充电桩控制系统供电硬件电路和软件实现流程及程序,研制了有序交流充电桩的样机,并对其在厂内进行充电输出功率PWM占空比调节测试,测试结果及波形如图7~图10所示。

图7为3通道CP输出的PWM波形,通过接入测试平台根据控制策略下发指令来调节有序交流充电桩的功率输出。由图9和图10可以看出,PWM占空比由53%调节到27%或者33%。由此可见,有序交流充电桩具备响应上级单元的有序充电策略,根据指令来实时调节CP线上的PWM占空比。

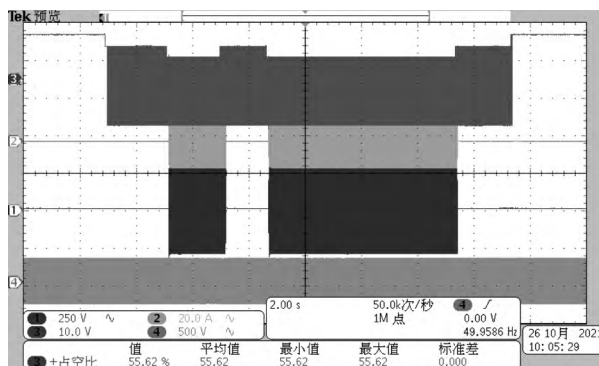


图7 交流充电控制系统有序充电流程图

Fig. 7 Orderly charging flow chart of AC charging control system

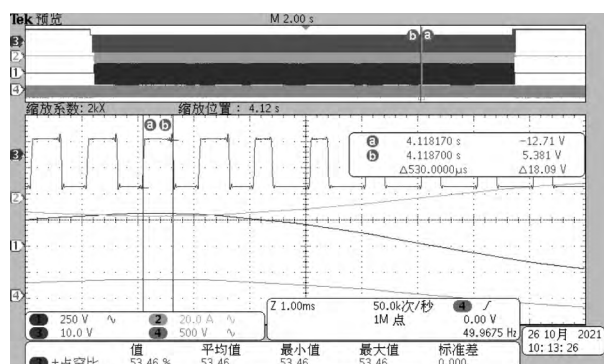


图 8 交流充电控制系统有序充电流程图

Fig. 8 Orderly charging flow chart of AC charging control system

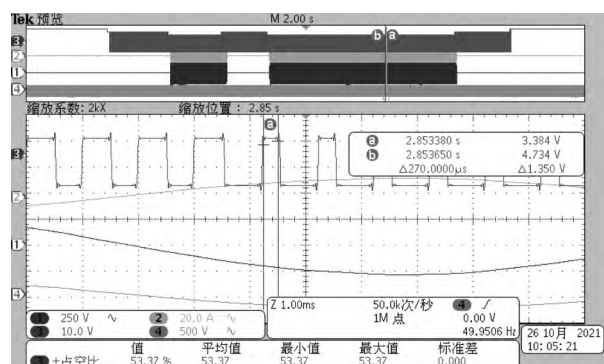


图 9 交流充电控制系统有序充电流程图

Fig. 9 Orderly charging flow chart of AC charging control system

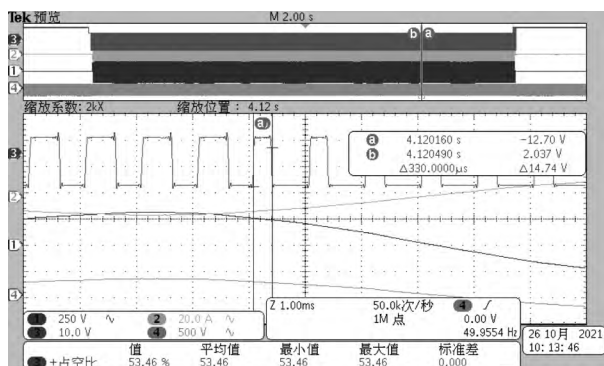


图 10 交流充电控制系统有序充电流程图

Fig. 9 Orderly charging flow chart of AC charging control system

5 结束语

文章设计的基于STM32F407VG芯片单相交流有序充电控制系统与其他电动汽车交流充电桩

控制系统相比较,增加了有序充电控制部分,可以在不更改硬件的前提下,采用优化的软件控制算法,更好地执行运营平台下发的有序充电策略。通过有序充电控制,优化电动汽车充电服务资源,协调电动汽车平衡发展,解决规模化电动汽车用户充电时间、空间集中性的问题。为后续充电设备有序充电的实施提供技术支撑。此外文章设计的有序单相交流充电桩控制系统为有序充电系统的供电终端,系统简单,占地面积小,安装于私人停车场、公共停车场等,使用操作简便。目前在多个工程实践项目中已得到了极大的推广应用。

参考文献

- [1] 郭磊,王克文,文福栓,等.电动汽车充电设置规划研究综述与展望[J].电力科学与技术学报,2019,34(3):56-70.
- [2] 马建,刘晓东,陈铁嵩,等.中国新能源汽车产业与技术发展现状及对策[J].中国公路学报,2018,31(8):1-19.
- [3] 韦家正,覃喜.基于物联网微信扫码交流充电桩的设计与研究[J].广西民族大学学报(自然科学版),2020,26(2):82-84.
- [4] 吴晓萌.电动汽车交流充电桩及智能充电控制策略研究[D].南京:南京理工大学,2019.
- [5] 王新艳,李晶华,等.基于MCGS的充电控制引导功能检测系统的设计[J].计算机测量与控制,2020,28(4):41-45.
- [6] 胡泽春,宋永华,等.电动汽车接入电网的影响与利用[J].中国电机工程学报,2012,32(4):1-10,25.
- [7] CLEMENT-NYNS K, HAESSEN E, DRIESEN J. The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2010, 25(1): 371-380.
- [8] FATTAHI BANDPEY M, GORGANI FIROUZJAH K. Two-stage charging strategy of plug-in electric vehicles based on fuzzy control[J].

- Computers&Operations Research, 2018, 96: 236-243.
- [9] SORTOMME E, HINDI M M, MACPHERSON S D J. Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2011, 2(1): 198-205
- [10] 冯世杰, 刘韬, 等. 基于分层优化的电动汽车有序充电策略[J]. 电气工程学报, 2021, 9(16): 137-143.
- [11] 曹军, 李林, 等. 基于高速窄带载波的双预测交流充电桩智能有序充电系统[J]. 电气技术, 2018(8): 174-179.
- [12] 孟焕平, 龙海珊, 等. 电动汽车有序充电系统研究与应用[J]. 建筑电气, 2021(6): 22-26.
- [13] 畅通. 车桩位网一体化电动汽车有序充电[D]. 南京: 南京理工大学, 2019.
- [14] 徐坤, 周子昂, 等. 电动汽车交流充电桩控制系统设计[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2016, 37(3): 47-52.
- [15] 盛杰, 郭春林, 等. 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.
- [16] 张小芹. 电动汽车交流充电桩控制与管理系统的研究与设计[D]. 青岛: 山东科技大学, 2019.

作者简介

窦亚力(1983—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为充电设施和大规模储能技术。

(收稿日期: 2021-01-14)