

电动汽车交直流充电控制导引系统设计

申永鹏^{1,2}, 葛高瑞¹, 冯建勤^{1,2}, 牛运晨¹, 陈进阳³

(1. 郑州轻工业学院电气信息工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省信息化电气重点实验室, 河南 郑州 450002;
3. 陕西有色天宏瑞科硅材料有限责任公司, 陕西 榆林 719200)

摘要: 电动汽车充电接口与充电设备的可靠连接是电动汽车的基本功能要求。针对现有电动汽车传导充电系统交直流充电控制导引电路兼容性差、不能高可靠实现掉电数据保存以及高待机功耗等问题, 首先分析了《GB/T 18487.1-2015: 电动汽车传导充电系统第1部分: 通用要求》关于交直流充电控制导引的要求。然后分别设计了控制导引系统的电源唤醒及自锁电路、CC/CC2电阻检测电路和CP信号处理电路, 在此基础上设计了相应的交流充电控制导引流程和直流充电控制导引流程。最后, 针对某轻型电动货车进行了交直流充电控制接口导引测试, 测试结果表明, 所设计的电动汽车传导充电系统交直流充电控制导引电路及其控制方法满足国家标准要求, 同时具有可实现高可靠性掉电数据保存、低待机功耗等优点。

关键词: 电动汽车; 交流充电; 直流充电; 控制导引

Design of control pilot system for AC/DC charger of electric vehicle

SHEN Yongpeng^{1,2}, GE Gaorui¹, FENG Jianqin^{1,2}, NIU Yunchen¹, CHEN Jinyang³

(1. School of Electrical and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;
2. The Key Laboratory of Information based Electrical Appliances in Henan Province, Zhengzhou 450002, China;
3. Shaanxi Non-Ferrous Tian Hong REC Silicon Material Co., Ltd, Yulin 719200, China)

Abstract: The reliable connection between the charging interface of the Electric Vehicle (EV) and the power supply equipment is an essential function of the EV. Focused on the drawbacks of poor compatibility, unreliable power-down data storage and high stand by current of the existing AC/DC charger pilot circuit of EV, the demands on AC and DC charger pilot system in “GB/T 18487.1-2015: electric vehicle conduction charging system part 1: general requirements”, is analyzed firstly. Based on the demands of “GB/T 18487.1-2015”, the power wakeup and self-lock circuit, the CC/CC2 resistance measurement circuit, and the CP signal processing circuit are designed respectively, and then the AC charger pilot flow and DC charger pilot flow are proposed. Finally, experiments are carried out on a light truck, the experimental results show that the proposed EV conduction charging system AC/DC charger pilot circuit and controlling flow completely meets the demands of “GB/T 18487.1-2015”. Meanwhile, it has the advantages of power-down data storage and low standby current.

This work is supported by Henan Scientific and Technological Open Collaboration Project (No. 182106000032).

Key words: electric vehicle; AC charger; DC charger; control pilot

0 引言

能源短缺、环境污染是我国经济可持续发展所面临的严重挑战, 发展绿色交通势在必行^[1-2]。“纯电驱动”是我国汽车产业发展的战略导向, 近年来我国电动汽车产业发展迅速^[3-4], 满足国家标准要求、同时又能兼容交流充电模式与直流充电模式的

高可靠性充电控制导引系统是电动汽车的基本功能要求。

电动汽车传导充电系统交直流充电控制导引系统是电动汽车和交直流充电机进行充电连接、确认和信息传输的桥梁, 是保证车辆进行安全、可靠、高效充电的重要保障^[5-6]。现有的充电控制导引电路及控制方法具有以下特征: (1) 采用微控制器实时监测车辆插头与车辆插座是否连接^[7], 由于微控制器一直工作于检测状态, 系统待机功耗较高; (2) 充电

基金项目: 河南省科技开放合作项目资助(182106000032)

结束或者车辆钥匙的开关由 ON 切换至 OFF 时，车辆控制器直接掉电或者采用超级电容延时掉电，无法高可靠性的实现掉电数据保存^[8]；(3) 交流和直流充电控制导引电路独立设计，兼容性较差。

《GB/T18487.1-2015 电动汽车传导充电系统第 1 部分通用要求》中对电动汽车充电系统的基础性、通用性、安全性进行了规定^[9]，是电动汽车传导充电系统交直流充电控制导引的指导文件。本文立足国家标准规定，针对现有充电控制导引电路及控制方法存在的不足，设计了一种用于电动汽车交直流充电控制导引电路及控制方法。该交直流充电控制导引电路由电源唤醒及自锁电路、CC/CC2 电阻检测电路、CP 信号处理电路和微控制器四部分构成，其电路设计具有待机功耗低、可高可靠性实现延时掉电、兼容交直流充电控制导引和车辆正常行驶导引、无机械触点、寿命长等优点。针对某轻型电动货车的实验结果表明，所设计的电动汽车传导充电系统交直流充电控制导引电路及其控制方法满足国家标准要求，同时具有可实现高可靠性掉电数据保存、低待机功耗等优点。

1 交直流充电控制导引电路国标要求

根据《GB/T 18487.1-2015：电动汽车传导充电

系统 第 1 部分：通用要求》要求^[10]，当交流充电系统工作于如图 1 所示的“充电模式 2、连接方式 B”时，充电控制导引电路的工作流程如下：(1) 车辆控制装置测量检测点 2 有无 12 V CP 信号。如有则标志着车辆插头与车辆插座已连接，控制导引电路激活进入工作状态；如无，则控制导引电路处于待机状态^[8]。(2) 车辆控制装置通过测量检测点 3 与 PE 之间的电阻值来判断车辆插头与车辆插座是否完全连接。半连接时，S3 断开，检测点 3 与 PE 之间的电阻为 RC+R4；完全连接时，S3 处于闭合状态，检测点 3 与 PE 之间的电阻值为 RC。(3) 供电控制装置通过测量检测点 1 的电压判断 R3 是否接入，如 R3 接入则延时一定时间，将 S1 切换至 PWM 输出状态。(4) 车辆检测装置通过测量检测点 2 的 PWM 信号，判断充电装置是否已经完全连接。如完全连接，则闭合开关 S2，车辆进入准备就绪状态。(5) 供电控制装置通过进一步测量检测点 1 的电压判断车辆是否进入准备就绪状态，如已进入就绪状态，则闭合 K1、K2，交流供电回路导通^[11]。(6) 车辆控制装置通过测量检测点 2 的 PWM 信号占空比确认供电设备的最大供电能力，并以此确定车载充电机的输出电流，启动充电过程^[9]。

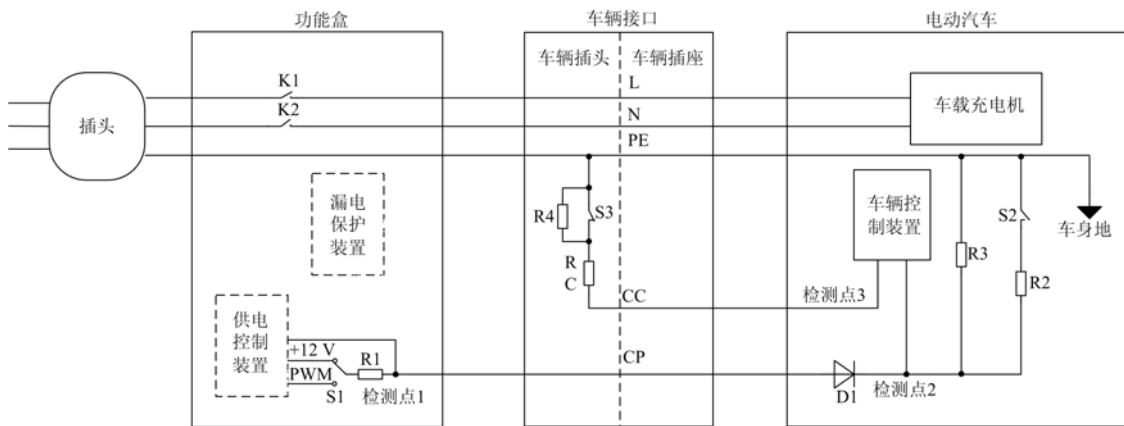


图 1 交流充电：充电模式 2、连接方式 B

Fig. 1 AC charging system: charging mode 2 connection method B

根据《GB/T 18487.1-2015：电动汽车传导充电系统第 1 部分：通用要求》要求，当系统工作于图 2 所示的直流充电系统时，直流充电模式充电控制导引系统工作流程如下：(1) 操作人员对非车载充电机进行设置后，非车载充电机控制器通过测量检测点 1 的电压判断 R2 是否接入、开关 S 是否可靠闭合，进而判断车辆接口是否完全连接^[12]。(2) 车辆接口完全连接后，非车载充电机控制器闭合 K3 和 K4，12 V 低压辅助供电回路导通，车辆控制器接收

到该 12 V 低压辅助供电，进入工作模式，并通过测量检测点 2 的电压，判断电阻 R3 是否可靠接入(车辆接口是否可靠连接)。同时，非车载充电机控制器周期性的发送握手报文。(3) 握手成功后，进入充电报文配置阶段，车辆控制器闭合 K5、K6，使充电回路导通；非车载充电机控制器检测到动力电池端电压无误后，闭合 K1、K2，进入充电阶段。(4) 充电阶段相关信息由 CAN 总线报文进行传输^[9]。

转换器读取到的数字量 RAD_0 与电阻 RI_0 的转换关系如式(1)。

$$R_{I_0} = \frac{R24 * R_{AD_0}}{4096 - R_{AD_0}} \quad (1)$$

式(1)中, $R24=10\text{ k}\Omega$, 精度为 1%。

当用于 CC 检测时, 4.096 V 的电压信号经 $R27$ 和 “ RI_1 ” 端子的电阻(即 CC 电阻)分压, CC 电阻的不同将反映至 N 点电压的不同, N 点电压经 $R26$ 和 $U3$ 构成的电压跟随器, 反映至微控制器的 AD_1 模拟电压采样端子。本文采用的 MC9S12XEP100 微控制器的 12 位 AD 转换器读取到的数字量 RAD_1 与电阻 RI_1 的转换关系如式(2)。

$$R_{I_1} = \frac{R27 * R_{AD_1}}{4096 - R_{AD_1}} \quad (2)$$

式(2)中, $R27=10\text{ k}\Omega$, 精度为 1%。

2.3 电源唤醒及自锁电路

电源唤醒及自锁电路原理图如图 6 所示, 电路工作时, “WAKEUP_ON” 信号接整车的 ON 档 12 V 信号, “WAKEUP_DC” 信号接直流充电机的 12 V 低压辅助电源, “WAKEUP_CP” 信号由 CP 信号处理电路输出。三路信号分别经二极管 $D3$ 、 $D5$ 和 $D7$ 后汇于 D 点, 三个信号形成 “或” 的电路关系, 三个信号中的任意一个信号为 12 V, D 点电压即为 12 V, D 点电压经 $R2$ 和 $R9$, 为 $Q7$ 提供栅极电压, 进而 $Q7$ 导通, C 点电压由 12 V 降至 0 V, 进而又导致 $Q8$ 导通, DC/DC 装置获得 12 V 输入电压, 输出 5 V 电压, 微控制器进入工作状态。此外, 为了判断电源电路的唤醒源, “WAKEUP_ON” 和 “WAKEUP_DC” 信号分别经 $R33$ 和 $R11$ 、 $R32$ 和 $R10$ 构成的分压电路处理后, 进入由 $U6$ 和 $U5$ 构成的电压跟随器, 微控制器的 I/O_5 和 IO_4 根据检测到的电平状态判定唤醒源。当车辆 12 V 低压电池未安装或者电量过低时, 12 V 常火将无效。此时, 若采用直流充电, 直流充电装置的 12 V 低压辅助电源输出的 “WAKEUP_DC” 信号将经由 $D2$ 为整车提供 12 V 电源, 保证车辆在 12 V 低压电池未安装或者电量过低时, 仍可以正常充电。

电源自锁电路的工作原理为: 当微控制器处于工作状态后, I/O_2 管脚输出高电平, 经 $R6$ 和 $R7$, 使 $D5$ 导通, E 点电压降至 0 V, 进而 $Q6$ 导通, “S_LOCK” 信号输出 12 V, 该信号经二极管 $D8$ 与 “WAKEUP_ON”、“WAKEUP_DC” 和 “WAKEUP_CP” 信号形成 “或” 的电路关系, 保证三者撤销之后, 电源电路自锁形成, 仍旧处于工

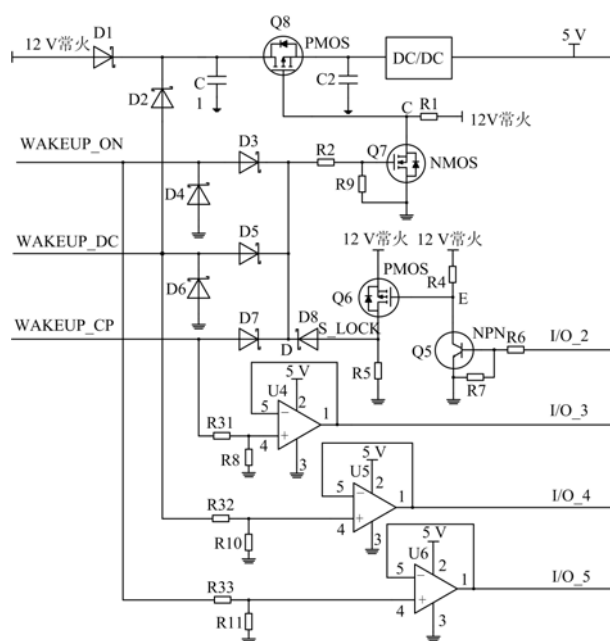


图 6 电源唤醒及自锁电路

Fig. 6 Power wake-up and self-locking circuit

作状态。该电源自锁电路, 保证了 “WAKEUP_ON”、“WAKEUP_DC” 和 “WAKEUP_CP” 信号撤销之后, 控制导引电路仍可以保持工作, 当相关微控制器程序保存完数据后, 将 I/O_2 管脚输出低电平, 电源互锁失效, $Q8$ 关断, 整个控制导引电路处于待机状态, 除非再次由 “WAKEUP_ON”、“WAKEUP_DC” 和 “WAKEUP_CP” 三者之中的任意信号唤醒。

3 交直流充电控制导引电路控制方法

交直流充电控制导引电路的工作存在三种唤醒方式, 当电源由 “WAKEUP_ON” 信号唤醒时, 车辆工作于正常行驶状态; 当电源由 “WAKEUP_DC” 信号唤醒时, 车辆工作于直流充电状态; 当电源由 “WAKEUP_CP” 信号唤醒时, 车辆工作于交流充电状态。任意一种唤醒信号的存在都可使电源电路工作。

3.1 正常行驶状态控制导引电路控制原理

正常行驶状态, WAKEUP_ON 端子获得 12 V ON 档信号, DC/DC 装置获得 12 V 供电并输出 5 V 电源, 电源唤醒电路工作。微控制器 I/O_2 管脚输出高电平, $Q5$ 导通, 进而 $Q6$ 导通, “S_LOCK” 信号为 12 V, 电源自锁回路形成。“WAKEUP_ON” 信号经 $R33$ 、 $R11$ 分压, 并经 $U6$ 构成的电压跟随电路处理, 微控制器检测到 I/O_5 管脚为高电平, 进而判定充电控制导引电路进入正常行驶工作流程。当车辆行驶结束、钥匙旋转至 OFF 状态时,

“WAKEUP_ON”信号变为 0 V，微控制器延时保存相关信息，保存完毕后，微控制器 I/O_2 管脚输出低电平，Q5 关断，进而 Q6 关断，“S_LOCK”信号为 0 V，Q7 关断，Q8 关断，整个控制导引电路处于断电状态。

3.2 交流充电控制导引电路控制原理

交流充电控制导引电路工作，交流充电功能盒输出 12 V CP 信号经 R21 和 R22 分压后给 Q4 提供栅极电压，Q4 导通，A 电压为 0，进而 Q3 导通，“CP 信号处理电路”输出 12 V “WAKEUP_CP”信号，12V “WAKEUP_CP”信号经 D7 以及 R2、R9 分压提供 Q7 栅极电压，Q7 导通，C 点电压为 0，进而 Q8 导通，DC/DC 装置获得 12 V 供电并输出 5V 电源，电源电路被唤醒，微控制器工作。微控制器 I/O_2 管脚输出高电平，Q5 导通，进而 Q6 导通，“S_LOCK”信号为 12 V，电源自锁回路形成。微控制器通过检测 N 点电压测量交流 CC 电阻值，并以此来判断图 1 中 S3 处于断开/闭合状态。如 S3 处于闭合状态，则表示车辆插头与插座完全连接。此时，微控制器 I/O_1 管脚输出高电平 CP_ACK 信号，NMOS 管 Q2 导通，R15 接入。此时(R15+R13)和 R16 形成并联，图 1 中的检测点 1 电压降低。微控制器的 PWM 信号检测端口根据占空比确认供电设备的最大供电能力，并以此确定车载充电机的输出电流，启动充电过程。当充电过程结束，或者充电枪拔掉后，微控制器延时保存相关充电信息，保存完毕后，微控制器 I/O_2 管脚输出低电平，Q5 关断，进而 Q6 关断，“S_LOCK”信号为 0 V，Q7 关断，Q8 关断，整个控制导引电路处于断电状态。

3.3 直流充电控制导引电路控制原理

直流充电控制导引电路工作时，非车载充电机 A+ 和 A- 端子输出 12 V 低压辅助电源，WAKEUP_DC 信号获得 12 V 电压，经 D5、R2 和 R9 分压，Q7 导通，C 点电压为 0，进而 Q8 导通，而 Q8 导通，DC/DC 装置获得 12 V 供电并输出 5 V 电源，电源电路唤醒，主控制器工作。微控制器 I/O_2 管脚输出高电平，Q5 导通，进而 Q6 导通，“S_LOCK”信号为 12 V，电源自锁回路形成。“WAKEUP_DC”信号经 R32、R10 分压，并经 U5 构成的电压跟随电路处理，微控制器检测到 I/O_4 管脚为高电平，进而判定充电控制导引电路进入直流充电导引流程。微控制器检测 CC2 电阻是否接入电路中，如果没有检测到 CC2 电阻接入电路则微控制器进行循环检测。根据图 5 中 CC2 检测方法判断出 CC2 已经可靠连接，则微控制器通过 CAN 总线与非车载充电机进入报文握手阶段，握手成功后，

图 2 中 K1、K2 和 K5、K6 接触器闭合，直流回路导通，进入充电流程。如握手失败，进入循环握手状态。当充电过程结束，或者充电枪拔掉后，微控制器延时保存相关充电信息，保存完毕后，微控制器 I/O_2 管脚输出低电平，Q5 关断，进而 Q6 关断，“S_LOCK”信号为 0 V，Q7 关断，Q8 关断，整个控制导引电路处于断电状态。

4 交直流充电控制导引系统软件设计

本系统采用 MC9S12XEP100 芯片作为主控制器，在 Freescale 公司开发的 Code warrior 编程环境下进行的 C 语言编程，根据国家标准 GB/T18487.1-2015 要求，在电源使能及自锁电路、CC/CC2 电阻检测电路、CP 信号处理电路的作用下实现了交流充电控制导引与直流充电控制导引功能。针对所发明的电动汽车交直流充电控制导引电路中正常行驶状态控制导引电路控制算法伪代码如算法 1 所示，直流充电控制导引电路控制算法伪代码如算法 2 所示，交流充电控制导引电路控制算法伪代码如算法 3 所示。

5 交直流充电控制导引系统功能测试

为了对电动汽车交直流充电控制导引电路的功能性进行测试，在实验室搭建了实验平台，其包括试验测试台架、动力电池包、直流充电机、交流充电机、主控板、采集板，其中交流充电机安装于测试台架上。试验平台如图 7 所示。

图 7 为交流充电机接口控制导引测试试验，此时以交流快充模式对动力电池包进行充电，验证交流充电控制导引功能，可通过上位机查看此时继电器闭合状态、动力电池包电压值、充电电流值、SOC 值、SOH 值等。

直流充电控制导引时，非车载充电机工作，直流充电模式下，非车载充电机通过 CAN 口与动力电池包进行数据通信，CAN 报文握手成功后，进行直流充电模式，通过上位机同样可以进行应数据查看。

算法 1：正常行驶状态控制导引电路控制算法伪代码

```

1: Begin
2: 12V ON 档信号使电源唤醒
3: 自锁电路形成
4: I/O_5 管脚为高电平，进入正常行驶工作流程
5:   while <WAKEUP_ON !=0> do
6:     {
7:       循环检测
8:     }
9:   数据保存
10: I/O_2 口输出低电平，撤销自锁电路
11: End

```

算法 2: 直流充电控制导引电路控制算法伪代码

```

1: Begin
2: WAKEUP_DCC 使电源唤醒
3: 自锁电路形成
4: I/O_4 管脚为高电平, 进入直流充电模式
5: while <标志位> do
6: {
7:   if< CC2 电阻存在>then
8:   {
9:     if<CAN 握手成功>then
10:    {
11:      闭合 K5、K6, 直流充电;
12:      标志位置零
13:    }
14:  }
15: else
16:  {
17:  }
18: else
19:  {
20:    标志位=1
21:  }
22: }
23: }
24: while < 充电过程进行> do
25: {
26:   一直充电
27: }
28: 数据保存
29: I/O_2 管脚输出低电平, 撤销自锁
30: End
    
```

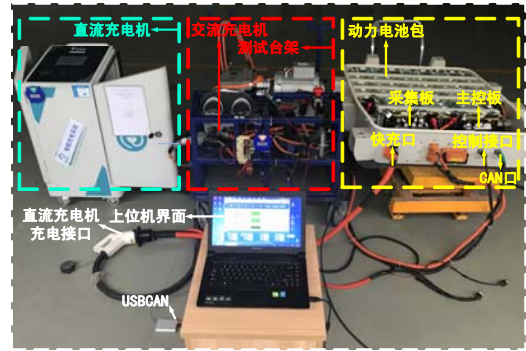


图 7 实验平台

Fig. 7 experiment platform

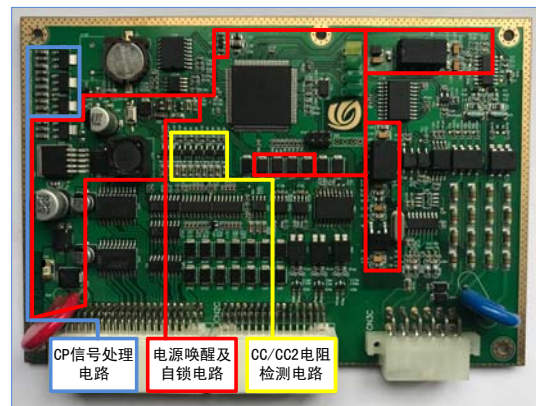


图 7 主控电路板

Fig. 7 Main controller circuit board

算法 3: 交流充电控制导引电路控制算法伪代码

```

1: Begin
2: 12V 的 WAKEUP_CP 信号使电源唤醒
3: 自锁电路形成
4: while(CC 电阻! =RC)do
5: {
6:   循环判断
7: }
8: I/O_2 管角输出高电平 CP_ACK 信号
9: 检测占空比
10: 进入交流充电模式
11: while(充电过程没有结束)do
12: {
13:   一直充电
14: }
15: 数据保存
16: I/O_2 管脚输出低电平, 撤销自锁
17: End
    
```

交流充电控制导引电路工作时序简图如图 8 所示。

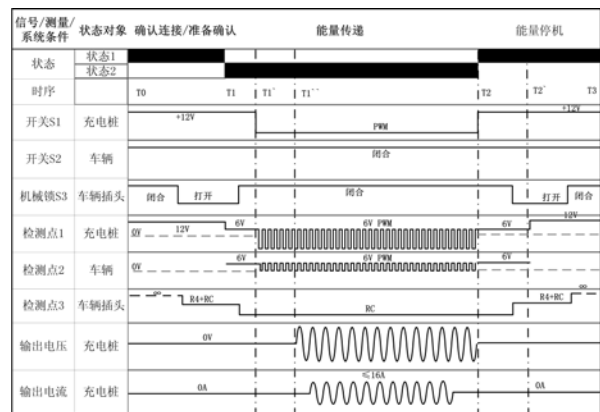


图 8 交流充电控制导引电路工作时序图

Fig. 8 Working sequence diagram of AC charger control guiding circuit

所开发的电动汽车交直流充电控制导引系统中控制导引电路集成于电池管理系统主控电路板中, 如图 7 所示。红线框内为电源唤醒及自锁电路, 蓝色框内为 CP 信号处理电路, 黄线框内为 CC/CC2 电阻检测电路。

6 结论

本文根据《GB/T 18487.1-2015: 电动汽车传导

充电系统第 1 部分: 通用要求》的规定设计了一种电动汽车交直流充电控制导引系统, 弥补了现有电动汽车充电控制导引电路的不足, 基于某轻型电动货车进行测试, 所设计的电动汽车交直流充电控制导引系统可满足交流充电模式与直流充电模式充电控制导引, 满足国家标准, 兼容性较高并具有极低的待机电流, 实际测量待机功耗为 200 μA , 可实现掉电数据保存功能, 电路的设计采用了 MOS 开关器件, 无机械损耗提高了开关的使用寿命, 增强了电路的可靠性。

参考文献

- [1] 魏俊淦. 一种由单片机控制的充电电源设计[J]. 军民两用技术与产品, 2011(5): 56-58.
WEI Junwei. Design of a charging power supply controlled by single chip microcomputer[J]. Science and Civil Engineering and Products, 2011(5): 56-58.
- [2] 周娟, 任国影, 魏琛, 等. 电动汽车交流充电桩谐波分析及谐波抑制研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(5): 18-25.
ZHOU Juan, REN Guoying, WEI Chen, et al. Harmonic analysis of electric vehicle AC charging spot and research on harmonic restriction[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(5): 18-25.
- [3] 段庆, 孙云莲, 张笑迪, 等. 电动汽车充电桩选址定容方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(12): 88-93.
DUAN Qing, SUN Yunlian, ZHANG Xiaodi, et al. Location and capacity planning of electric vehicles charging piles[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(12): 88-93.
- [4] 胡道栋, 张娟, 克潇, 等. 电动汽车充换电站换电操作管理单元的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(7): 136-140.
HU Daodong, ZHANG Juan, KE Xiao, et al. Design and implementation of the battery-swapping operation control unit at the EV charging/swap station[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(7): 136-140.
- [5] 桑林, 徐洪海, 管翔. 电动汽车交流充电接口控制导引电路试验设计[J]. 电测与仪表, 2013, 50(2): 112-115, 120.
SANG Lin, XU Honghai, GUAN Xiang. Experimental design of control and guiding circuit for AC charging interface of electric vehicle[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013, 50(2): 112-115, 120.
- [6] 姚丽娟. 电动汽车控制导引电路介绍和一种实际应用设计[J]. 硅谷, 2012(2): 141-145.
YAO Lijuan. Introduction of electric vehicle control guiding circuit and a practical application design[J]. Silicon Valley, 2012(2): 141-145.
- [7] 王忠强. 电动汽车自动充电装置[J]. 设备管理与维修, 2013(5): 70-70.
WANG Zhongqiang. Automatic charging device for electric vehicles[J]. Equipment Management and Maintenance, 2013(5): 70-70.
- [8] 刘水强. 电动汽车传导充电用连接装置认证问答[J]. 质量与认证, 2014(6): 69-70.
LIU Shuiqiang. Q & A of the connection device for conductive charging of electric vehicles[J]. Quality and Certification, 2014(6): 69-70.
- [9] 电动汽车传导充电系统 第 1 部分: 通用要求: GB/T18487.1—2015[S].
Electric vehicle conductive charging system—part 1: general requirements: GB/T18487.1-2015[S].
- [10] 董磊, 陈贺, 高胜国, 等. 电动汽车交流充电桩控制导引电路优化策略[J]. 新能源汽车供能技术, 2018, (1): 13-16.
DONG Lei, CHEN He, GAO Shengguo, et al. The optimization strategies of control guide circuit in AC charging pile[J]. Energy Supply Techniques of New Energy Vehicles, 2018 (1): 13-16.
- [11] 何鹏林, 蔡志涛, 李文帅, 等. 电动汽车交流充电过程解析[J]. 汽车电器, 2017(10): 1-3.
HE Penglin, CAI Zhitao, LI Wenshuai, et al. Analysis of AC charging process of electric vehicles[J]. Automobile Electric Apparatus, 2017(10): 1-3.
- [12] 瞿章豪, 徐正龙. 电动汽车车载充电机设计与实现[J]. 科技信息, 2013(5): 133-134.
QU Zhanghao, XU Zhenglong. Design and implementation of electric vehicle car charger[J]. Science and Technology Information, 2013(5): 133-134.
- [13] 马河祥. 电动汽车交流充电控制 S 技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
MA Hexiang. Research on AC charging control technology for electric vehicles[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2012.
- [14] 朱洋洋, 贺春, 陈卓, 等. 电动汽车传导充电互操作典型测试案例分析[J]. 新能源汽车供能技术, 2018(2): 29-33.
ZHU Yangyang, HE Chun, CHEN Zhuo, et al. Analysis of typical test case of electric vehicle transmission charging interoperability[J]. Energy Supply Techniques of New Energy Vehicles, 2018(2): 29-33.
- [15] 张建伟, 杨芳, 秦俭, 等. 电动汽车交流充电控制导引系统设计[J]. 电测与仪表, 2014, 51(5): 78-82.
ZHANG Jianwei, YANG Fang, QIN Jian, et al. Design of AC charging control guidance system for electric vehicles[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(5): 78-82.

收稿日期: 2018-07-31

作者简介:

申永鹏(1985—), 男, 博士, 研究方向为新能源汽车电驱动系统优化与控制; E-mail: shenyongpeng@zzuli.edu.cn

葛高端(1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力电子与电力传动。E-mail: GGR_zzuli@163.com