

中小型电动汽车智能充电机设计

郑安平, 苏向上

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:基于单片机 PIC16F873A 和开关电源控制器 UC3846N, 针对一般铅酸蓄电池存在的问题, 引入电压反馈环和电流反馈环, 采用四段式充电控制策略, 设计了便携式中小型电动汽车智能充电机. 整机调试得到的参数特征表明, 充电机很好地实现了快速均衡充电及参数实时监控, 具有热保护、反接保护、过压过流保护功能, 并且体积小、重量轻、携带使用方便.

关键词:电动汽车; 开关电源控制器; 智能充电

中图分类号:U469; TM91 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.3/4.025

Design of intelligent chargers for small and medium size electrical vehicle

ZHENG An-ping, SU Xiang-shang

(College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Aiming at the problems existed in the lead-acid battery, using voltage feedback loop and current feedback loop, the design of small and medium size electrical vehicle portable intelligent charger based on PIC16F873A and UC3846N was introduced to achieve the four-stage charging process. By testing the main board, the parameter characteristics showed that this charger could achieve fast charging with constant current and parameter real time monitoring, and realize the functions of over-heat protection, reverse polarity protection, over-voltage/current protection required above and it was low in weight, small in size and portable.

Key words: electrical vehicle; switched power supply controller; intelligent charging

0 引言

由于具有高效、节能、环境污染小等突出的优势, 近年来电动汽车逐渐流行起来, 如同美国特斯拉公司的划时代电动汽车 Model-S 一样, 它正在走进平常百姓的生活中. 蓄电池是电动汽车的核心部件之一, 其性能决定了电动汽车的寿命. 影响蓄电池性能的因素有很多, 如电动汽车的配置、行驶状态、充电电流和充电策略等. 其中, 充电过程对蓄电池的影响最大, 过度充电、充电不足, 充电电流、电压不稳定等, 都是引起蓄电池故障的重要

原因^[1].

常见的充电机有车载充电机、便携式充电机和充电桩(固定式充电机, 可实现大电流快速充电). 国外智能充电机技术比较成熟: 将微型计算机控制和智能算法应用到充电机的设计中, 可对充电过程中电池参数进行实时跟踪控制, 并据此定制充电策略. Tesla 的超级充电站可用 40 min 将 85 kWh 的 Model-S 的电量充到 80%, 75 min 充到 100%. 国内智能充电机研究起步较晚, 目前市面上大多数便携式充电机的硬件电路设计较为简单, 充电方法比较单一, 多为恒压充电、恒流充电及定时充电, 且充电

控制过程大多针对某一种蓄电池,不能对充电过程进行有效采样和控制,容易造成电池欠充或过充,不利于蓄电池的维护^[2].因此设计一款电动汽车智能充电机具有理论和实际双重意义.本文拟以单片机 PIC16F873A 和开关电源控制器 UC3846N 为核心,提出中小型电动汽车智能充电机的设计方案,以优化充电策略,实现便携式智能充电和对蓄电池的维护功能.

1 充电机电路设计

本设计使用的 PIC16F873A 为 Microchip 公司 PIC16F87XA 系列增强型 Flash 单片机,再编程功能可实现充电控制策略的定制.单片机根据蓄电池的充电特性和电压电流采集处理电路反馈的信号控制 UC3846N,然后 UC3846N 输出不同占空比的 PWM 波控制功率管的通断,自动调节输出电压和电流,实现智能充电.该充电机控制系统具有温控过热保护功能,能够实时监控充电过程.本设计是适用于中小型电动汽车的小型化、便携式车载充电机,要达到充电快、效率高、维护方便的预期.充电机工作原理为:220 V 的市电经输入全桥整流滤波成 310 V 的直流电,然后直流电经高频逆变器后成为脉宽可调的高频交流电,再经高频变压器耦合到副边,最后经输出整流滤波电路得到电压可调且纹波较小的直流电,接入蓄电池.

1.1 总体设计

铅酸蓄电池技术成熟、价格低廉,高倍率放电性能良好,单体电池电压可达 2.2 V,比能量为 30 ~ 40 Wh/kg,易于浮充,没有记忆效应,是最常用的电动汽车动力电池.镍镉电池的应用也比较广泛,单体电池电压一般为 1.2 V,比能量可达 55 Wh/kg,可快速充电,循环使用寿命长,但价格是铅酸蓄电池的 2 倍多;锂蓄电池体积小、比能量高,单体电池的平均电压可达 3.6 V,能量密度可达镍镉蓄电池的 1.5 ~ 3 倍,比能量一般能达到 100 Wh/kg,近年来锂电池开始被用作电动汽车的动力电池,但造价太高,市场小众化.

本设计的充电机主要针对铅酸蓄电池(胶体免维护和铅酸加液),后续工作的目标是再编程充电算法,以实现对其他类型电池的支持.为了实现充电机工作过程中电压、电流和其他参数的实时监控,以及多段式智能充电策略,设计引入电压、电流反馈环.充电机大致分为开关电源、检测控制及为

控制部分供电的辅助电源电路.

1.2 主要电路设计

依据充电机工作原理,可将充电机电路设计分为主电路、控制电路和辅助电源电路三部分.

1.2.1 主电路 输入整流滤波部分采用整流桥 KBPC-3510 将输入的市电初步整流为 310 V 的直流电,再经过大电容滤波,将直流电送到逆变电路部分.

图 1 所示是主电路的全桥逆变电路部分,采用由脉冲驱动变压器驱动的 IGBT 全桥隔离式降压电路,4 个 IGBT(T_1 — T_4)由图 2 所示的 2 个脉冲驱动变压器 TB_1 和 TB_2 驱动控制 4 个功率管的基极以控制它们的通断,采用 PWM 方式的逆变获得脉宽可调的高频交流电.

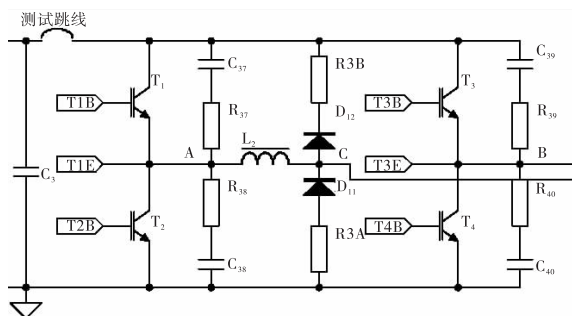


图 1 全桥逆变电路

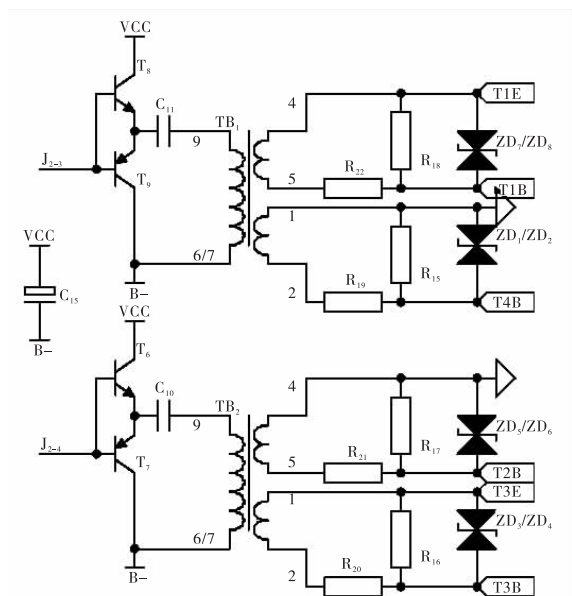


图 2 脉冲驱动变压器

TB_1 和 TB_2 负责驱动 T_1 — T_4 , 它们的信号来源是 UC3846N 的输出口 A 和 B, PWM 信号先经 T_6 — T_9 2 组三极管放大电路初步放大, 然后经过 TB_1 和

TB₂ 进一步放大从而得到用于驱动 IGBT 的 PWM 信号. 设计增加了瞬态抑制二极管(ZD₁/ZD₂—ZD₇/ZD₈), 该二极管具有响应时间快、瞬态功率大、漏电流低、击穿电压偏差、箝位电压较易控制、无损坏极限、体积小等优点, 能有效保护驱动电路, 有效吸收造成器件损坏的脉冲.

图3是主变压器和输出整流滤波电路. 主变压器的输出经过输出电感和电容进一步处理后接入的蓄电池. 电压采集电路采集输出的直流电压作为电压反馈环, 即将采集到的蓄电池端电压信号处理后送到单片机内处理, 反馈的信号对充电电压进行实时调节.

1.2.2 控制电路 控制电路将采集到的蓄电池端电压、充电电流、温度等信息送到单片机进行分析处理, 得到相应的控制信号, 控制主电路 IGBT 的通断, 从而改变充电电流与充电电压. 同时, 充电过程

主板的过热保护是由电流互感器 CS 采集主变压器原边电流, 接到 UC3846N 的 C/S + 端和 C/S - 端, 进行主板过热保护.

图4和图5所示为直流电压、电流采集处理电路, 分别将采集到的蓄电池电压和充电电流进行转换和处理. 该电路主要通过运放将采集到的模拟量信号输入单片机, 单片机处理后输出 PWM 信号到开关电源控制器: IC₁₋₁₂和 IC₁₋₁₃分别接单片机组成的2路 PWM 波, 与采集到的电压、电流信号运算后接到 UC3846N 误差放大器的反相输入端(6引脚), 以实现 UC3846N 的控制.

图4所示电路中, 可调电阻 VR₃ 为输出电压调节, 采集到的蓄电池端电压提供单片机的电压模拟信号输入, 单片机将采集到的电压信号 A/D 转换后与程序中预先设置值作比较运算, 再输出 PWM 波到 UC3846N 的 6 引脚.

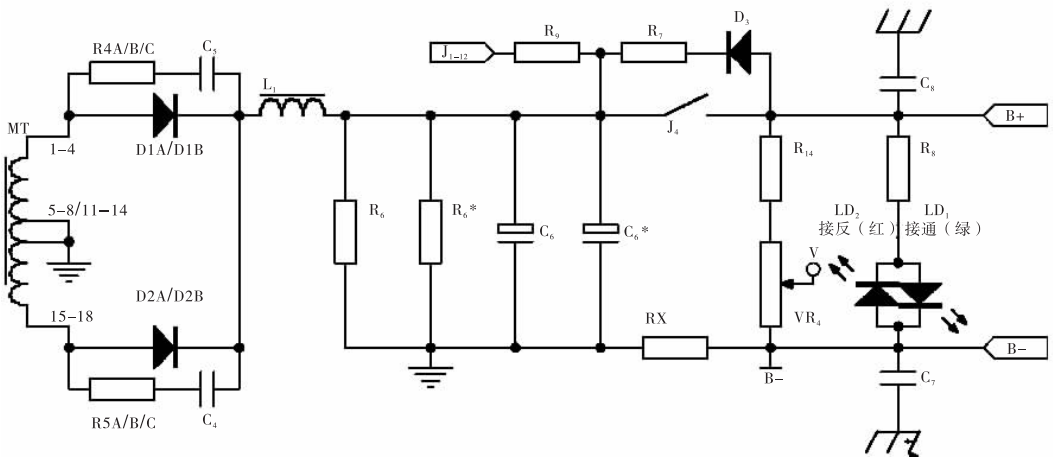


图3 主变压器和输出整流滤波电路

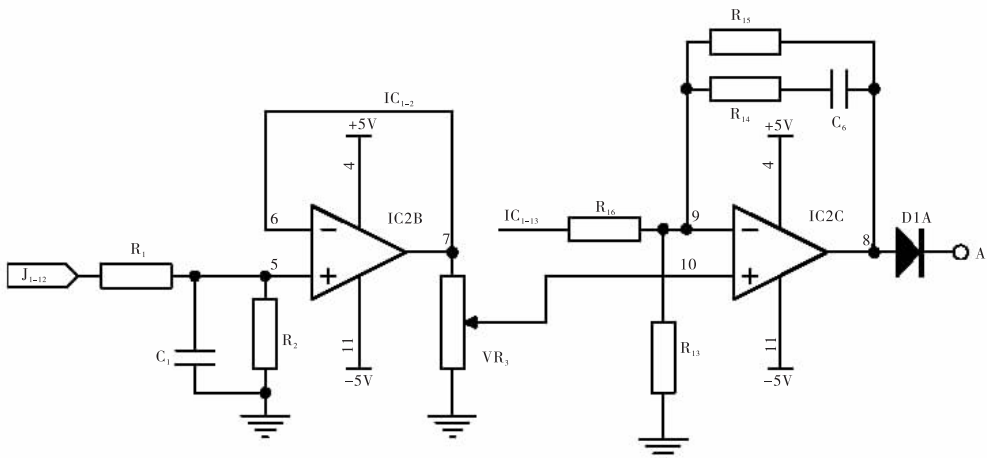


图4 电压采集处理电路

图5所示电路中, J_{1-9} 接蓄电池负极, J_{1-10} 接地用作电流反馈, 电路将采集到的充电电流运算后输出接单片机电流模拟信号输入, 单片机将采集到的电流信号 A/D 转换后与程序中预先设置的值作比较运算后, 输出 PWM 波到 UC3846N 的 6 引脚。

图6和图7所示的控制芯片连接电路, 主要实现 PIC16F873A 对 UC3846N 的控制。单片机将电压、电流采集处理电路采集的信号处理后输出的电压、电流 PWM 控制信号输出到 UC3846N 的误差放大器的反相输入端, 经 UC3846N 处理后, 其输出端 A 和 B 分别接到主电路的 2 个 IGBT 脉冲驱动变压器驱动电路上, 以一定占空比控制 IGBT 的通断, 实现对逆变电路 4 个功率管的控制, 从而实现充电电流、电压的反馈控制。

2 充电控制策略

铅酸蓄电池的充电接受能力是指其电解液在只产生微量析气的前提下能够接受的最大充电电

流。1967 年美国的马斯(J. A. Mas) 经过大量实验提出了蓄电池充电的可接受定律^[3]:

$$I = I_0 e^{-at}$$

其中, I_0 为 $t=0$ 时的最大起始电流; I 为任意时刻可接受的充电电流; a 为衰减常数, 即充电接受比。铅酸电池可接受充电曲线如图8所示。

为了实现智能充电, 需在整个充电过程中动态跟踪蓄电池可接受的充电电流, 尽量使充电曲线符合图8所示的曲线, 应用电压跟随技术, 充电电源根据蓄电池的状态自动确定充电参数, 最终实现智能充电^[4]。智能充电机应能实现快速充电和均衡充电^[5-6]。快速充电是指用 1 C (C 是待充电蓄电池的额定容量) 以上的电流对蓄电池进行充电, 并在充电过程中不会产生大量气体、温升不会过高。典型的智能充电机快速充电模式是指 1 h 内可将蓄电池的电量充到 85%。

为了延长电池组的使用寿命, 本设计提出了均衡充电的方法, 充电时必须使串联蓄电池组中所有

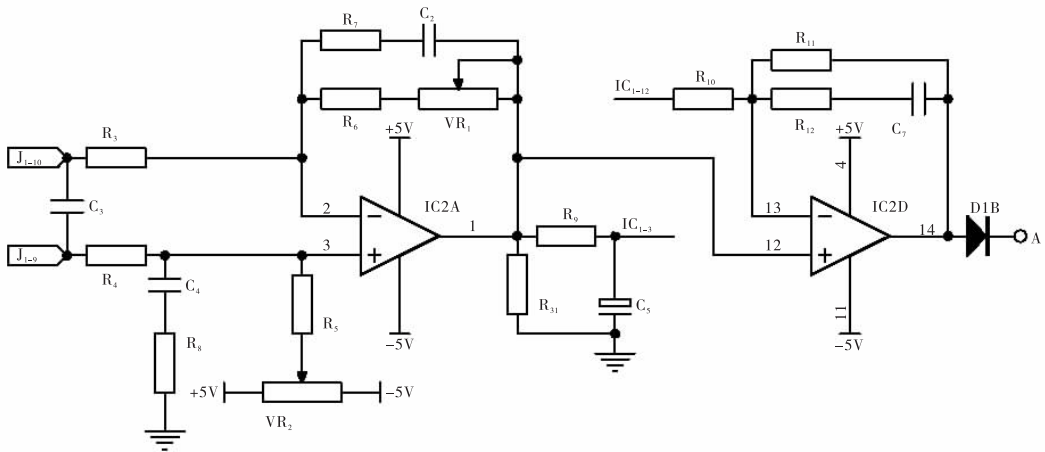


图5 电流采集处理电路

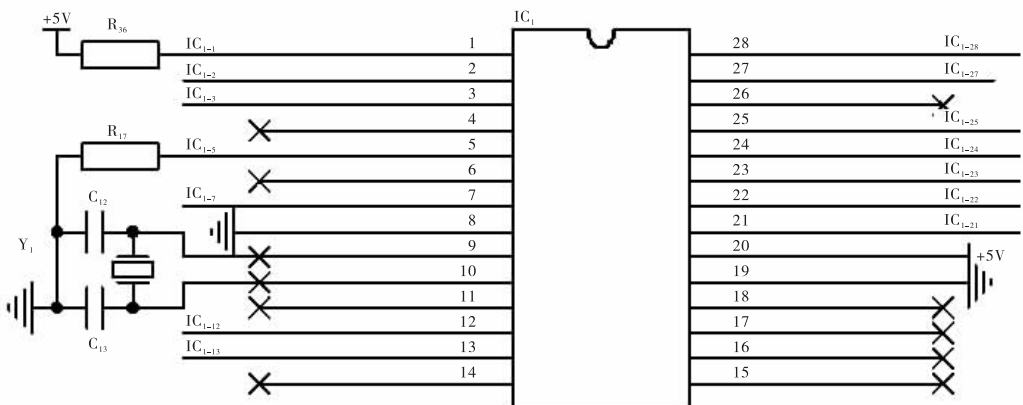


图6 控制芯片 PIC16F873A 连接电路

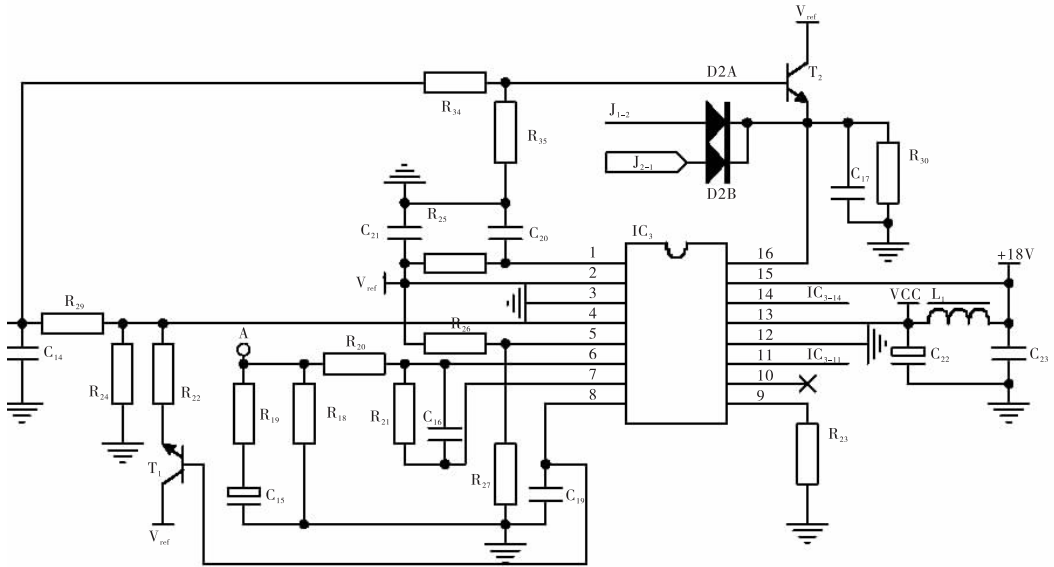


图 7 控制芯片 UC3846N 连接电路

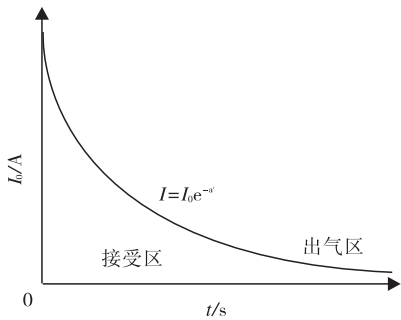


图 8 铅酸电池可接受的充电曲线

单体电池保持同样的放电深度, 即每个单体电池保持在同一电平. 为此, 本设计采取的充电策略分 4 个阶段, 即涓流短时充电、恒流快速充电、恒压均衡充电、浮充电. 蓄电池在充电初期可能处于深度放电状态, 为避免充电电流过大对蓄电池造成伤害, PIC16F873A 通过实时监控电池的端电压对蓄电池进行恒流小电流充电, 以激活电池内的反应物, 为下阶段快速充电做准备. 此阶段蓄电池电压缓慢上升, 当上升到能接受大电流充电的阈值时则进入快速充电阶段. 充电机在恒流快速充电阶段以较大的恒定电流对蓄电池进行充电, 蓄电池电压短时间内得以快速提升, 这期间充电主板和电池的发热量比较大, 对散热要求比较高, 当蓄电池电压上升到恒压充电阶段阈值时则转入恒压充电阶段. 恒压均衡充电阶段充电电压保持恒定, 蓄电池容量很快恢复, 充电电流逐渐减小, 当电流下降到某一阈值时自动转到浮充电. 浮充电阶段主要补充蓄电池自放电所消耗的能量, 预示着充电过程即将结束.

图 9 所示为充电机充电软件流程, PIC16F873A 的软件模块主要采集传感器的输入信号, 控制 UC3846N 处理异常状况. 充电过程中程序主要完成下述功能: 实时采集充电机的充电电压、充电电流、充电状态、充电时间、蓄电池端电压、温度等信息, 送入 PIC16F873A 的控制单元; 控制器根据预先的编程算法对采集的数据进行分析、比较、计算, 选择合适的充电方式, 得出相应的控制数据, 对充电阶段进行判断和切换, 控制 IGBT 功率管的通断, 相应地控制主电路的输出电压和输出电流, 完成对蓄电池的智能充电; 充电过程中, 系统自动检测是否出现未接电池、短路、主板过热、充电过压、过流等故障, 若出现故障, 则进行相关的处理和自保护措施.

再编程支持不同类型蓄电池的实现过程: PIC16F873A 与电池管理系统通信, 获得电池组的类型、荷电状态、充放电电流、电池组的端电压等数据, 然后从存储中读取这种类型蓄电池的充电参数、温度补偿系数、SOC 补偿系数, 确定相应的充电方案. 其中 PIC16F873A 的 24, 27, 28 引脚实现 ICSP (in-circuit serial programming) 片内串行编程功能, 通过专用程序下载器再编程充电程序, 下载到单片机中.

3 整机测试

为了验证该设计的有效性, 对充电机主板进行如下测试和整机调试: 上电前检查, 接线, 零点调试, 功率管驱动波形测试, 输出测试波形, 热保护, 装散热片打高压后复测, 调整最大输出电压, 调整最大输出电流等. 测试结果表明, 功率管驱动波形

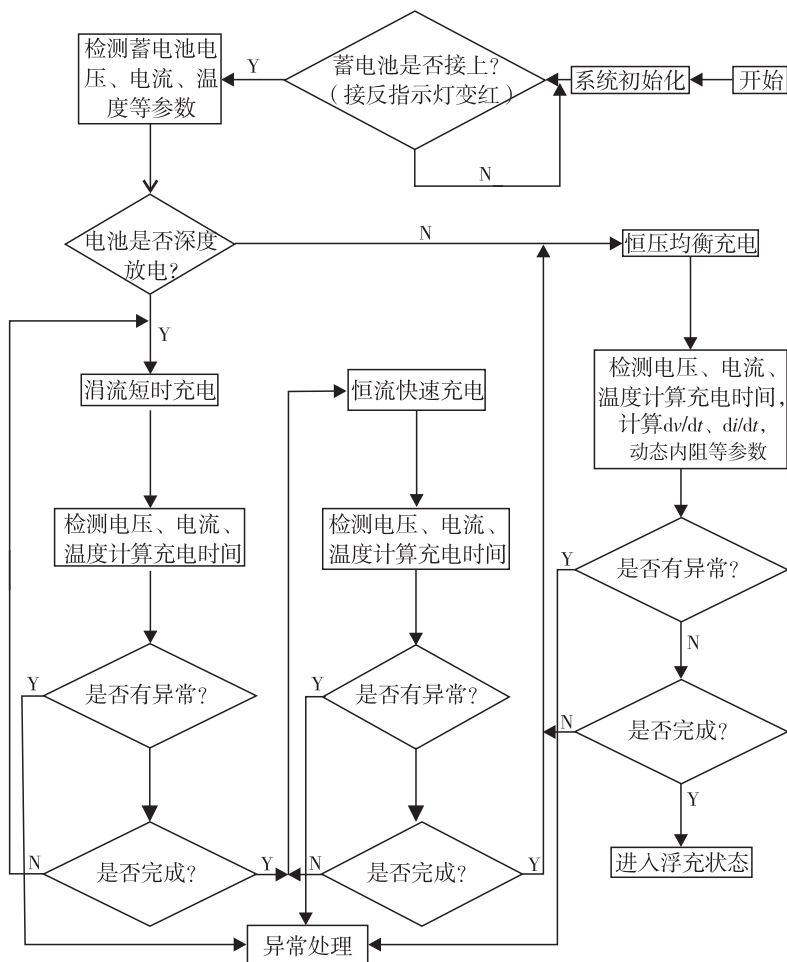


图9 充电机充电软件流程

稳定,频率(25 ± 2.5) kHz,驱动电压 ± 15 V;调节 VR_3 使输出波形(重载)稳定,上下对称;调节 VR_3 使输出波形(轻载)稳定,上下对称。

经测试,充电机具有下列参数特性:输入市电(220 ± 22) V,即198~242 V;输出电压范围36~86 V;输出电流范围25~50 A;功率因数 >0.99 ;充电噪声 <20 dB;充电效率 $>90\%$ 。

输出电压范围支持市面上常见的电池组合,输出大电流支持快速充电,整体输出低电压和大电流对电池的伤害较低。功率因数表明充电机工作过程中不会产生太多的无功功率。本设计采用风冷散热,整体噪音比较小,对周围环境的影响较小,整机充电效率和充电转换率符合行业标准。

4 结论

本文基于单片机 PIC16F873A 和开关电源控制器 UC3846N,引入电压反馈环和电流反馈环,采用四段式充电策略,设计了一种便携式电动汽车车载智能充电机,该充电机可以实现快速充电、均衡充

电、主板过热保护等功能,充电过程中可对输出电压、电流、温度等参数实时监控,调整充电电压、电流使其尽量符合蓄电池的最佳充电曲线,实现智能充电。后续研究工作的重点是编写不同的程序,以实现对不同类型蓄电池的支持。

参考文献:

- [1] 朱松然. 铅蓄电池技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2002:315-320.
- [2] 江友华,童勇,曹以龙. 电动汽车智能充电器的设计与实现[J]. 电力电子技术,2012(2):38.
- [3] 罗书克,张元敏. 正负脉冲式电动汽车快速充电站的研究[J]. 电气自动化,2011(4):72.
- [4] 王莹莹,冯冬青,赵红蕊. 通用型电动汽车蓄电池智能充电机设计[J]. 电源技术,2011(8):922.
- [5] 苏玉刚,夏永峰,陈强,等. 电动汽车用铅酸电池组的智能充电[J]. 重庆工学院学报:自然科学版,2008,22(2):6.
- [6] 郑帅,王亚威,陈翠丽,等. VRLA 蓄电池并联充电技术研究[J]. 电源技术,2014(7):1276.