

电动车充电器锂电池电量检测系统设计

翁耀明, 洪乐, 蒋庆春, 陈翼飞, 付三丽, 黄方弟

三亚学院新能源与智能网联汽车学院, 海南 三亚

收稿日期: 2024年3月8日; 录用日期: 2024年4月11日; 发布日期: 2024年4月18日

摘要

近年来, 锂电池在便携式电子产品、电动汽车和可再生能源系统中变得无处不在。测量结果不准确、不全面是一部分锂电池电量检测系统存在的主要问题, 因其忽略了能够影响电池性能的重要因素, 即温度参数, 另外还有电池自身的老化(SOH)及内阻变化等。而随着电池使用次数的增加, 电池不断老化, 电池容量就会逐渐减小, 若缺少了电池额定容量满循环校准这一步骤, 将会加大电量的测量误差, 这一误差还会随电池使用频率累积增大。本文主要以STM32单片机微控制器为核心, 针对便携式的小功率产品, 设计一个锂电池电量检测系统, 并对锂电池组的充、放电过程进行保护。锂电池组的电流、电压、温度参数将被系统控制器及时采集, 为电池组剩余电量的检测和电池组充放电保护提供理论依据。论文的电池性能检测系统具有测量精度高、响应速度快、成本低、易操作、系统稳定等优势。

关键词

锂电池, 充电芯片, 电压, 功率, 电池容量

Design of a Lithium Battery Level Detection System for Electric Vehicle Chargers

Yaoming Weng, Le Hong, Qingchun Jiang, Yifei Chen, Sanli Fu, Fangdi Huang

School of New Energy and Intelligent Connected Vehicle, Sanya University, Sanya Hainan

Received: Mar. 8th, 2024; accepted: Apr. 11th, 2024; published: Apr. 18th, 2024

Abstract

In recent years, lithium batteries have become ubiquitous in portable electronic products, electric vehicles, and renewable energy systems. The inaccurate and incomplete measurement results are the main problems of some lithium battery level detection systems, as they overlook important factors that can affect battery performance, such as temperature parameters, as well as battery

aging (SOH) and internal resistance changes. As the number of battery uses increases, the battery continues to age, and electricity. The pool capacity will gradually decrease. If the step of full cycle calibration of the rated battery capacity is missing, it will increase the measurement error of the battery, and this error will accumulate and increase with the frequency of battery use. This article mainly focuses on the STM32 microcontroller microcontroller as the core, targeting portable low-power products develop a lithium battery level detection system and protect the charging and discharging processes of the lithium battery pack. The current, voltage, and temperature parameters of the lithium battery pack will be collected in a timely manner by the system controller, providing a theoretical basis for the detection of remaining battery capacity and battery pack charging and discharging protection. The battery performance detection system in the paper has advantages such as high measurement accuracy, fast response speed, low cost, easy operation, and system stability.

Keywords

Lithium Batteries, Charging Chip, Voltage, Power, Battery Capacity

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当下电动车逐步进入智能化发展趋势，电动车智能化锂电池的使用趋势已经到来，面对新的电池技术和电机控制技术的发展，传统电动车技术满足不了客户对新技术的渴望。锂电池具有体积比、重量比能量高、单体电压高，但存在电池容量不大、大电流放电性能弱、成本高、无法循环利用等问题。特别是在电动车上，锂电池保护与控制系统不太成熟，替换原使用铅酸电池车辆，与其仪表不一致等多种问题，使得锂电池在电动自行车上的应用受到一定的阻力。因此完善锂电池在电动车上的保护与控制系统尤为重要。现阶段大多数电动车锂电池采用纯硬件保护方案，直接使用锂电池保护 IC 进行保护，该方案中电路成本较低，但是纯硬件保护方案中整个电池只有输出与关闭 2 个状态。当电池被关闭时，不能直接定位到具体是某一单体锂电池故障造成电池关闭，因此对锂电池单体要求较高，使得锂电池成本较高。电动车在行驶过程中，功率、电压、电流、温度等状态的变化能够反应出电动车故障的大致情况，比如电流异常，电机出现故障，因此实施电动车充电器锂电池电量检测系统设计就较为重要。

在电化学体系中，将含有金属锂、锂合金和锂离子、锂聚合物的一类电池称作锂电池[1]。锂电池包含可充电和不可充电的，其中不可充电的是锂金属电池，不可以作为二次电池投入使用；可以充电的是锂离子电池，因其不含金属态的锂。本节介绍的是二次电池——锂离子电池。锂离子电池是从 1990 年后才逐渐发展起来的新一代二次电池，90 年代初，由日本索尼公司发明的锂离子电池迅速占领市场，该电池以炭材料为负极，以含锂的化合物作正极，只有锂离子存在于电池的充放电过程。当对电池进行充电时，锂离子于电池的正极上产生，并随着电解液运动到电池负极，然后嵌入到层状结构并有很多微孔的负极材料中，随着嵌入的锂离子逐渐增多，充电容量增大。相同的，我们使用电池的时候(即放电过程)，锂离子从负极碳层中的脱出运动回正极，锂离子返回正极的越多，放电容量随之越高。放电容量就是电池容量，锂离子从正极→负极→正极的运动状态就称为锂电池的充放电过程。另外，锂电池就像一把两端为电池两极的摇椅，而锂离子在摇椅来回奔跑。因此，锂电池又被称为摇椅式电池[2]。

2. 设计方案

本次电池性能检测系统的设计整体以 STM32 单片机作为处理器，由电压电流采集低通滤波、电流采集模块、OLED 模块、蜂鸣器模块四大部分组成。通过单片机处理电流电压及在 OLED 上显示电量百分比、充电耗时和充电电压等。电池性能检测系统的设计采用了电压电流采集低通滤波电路、电流采集电路和 OLED 显示电路等设计。低通滤波电路用于将锂电池的电压电流转化为单片机能够识别的数字信号，再将其传递给单片机。OLED 显示电路则用于显示电池电量百分比、充电耗时和电压等信息系统首先通过单片机进行电流采集模块程序编写，再把写入的数据读出来，然后通过电流采集模块控制电压电流采集低通滤波。然后 OLED 显示屏上显示写入的数据，例如电池百分比、充电耗时和电压情况[3]。

2.1. 方案原因

论文选取锂电池电量检测系统作为研究重点在于随着人们对环境保护意识的提高，能源危机也日益严重，汽车尾气对人类和地球带来的伤害日益加剧，人们希望采用“绿色”电池作为出行交通工具的动力，改善环境污染。目前，动力锂电池已完全在电动自行车上使用，而且发展情况良好，因此，锂电池在电动汽车上面应用研究也提上日程，虽然技术还尚未成熟，但市面上已经出现了纯电动汽车和双能源汽车。另外，国防、航空航天领域也对锂电池的应用非常看好，可作为军事装备中的电源。在航天事业中，锂电池可与太阳能电池联合组成供电电源，这个电源不管是从外形还是性能方面，都要优于镍镉电池或者锌银电池组成的联合供电电源，而且它的小型化对航天器件的应用非常重要的。国内外一些小卫星项目上已经开始应用锂电池组作为蓄电池[4]。

2.2. 方案思路

电池电量检测系统框架如图 1 所示，整体以 STM32 作为处理器，供电模块、电流电压采集模块、OLED 模块、蜂鸣器模块、转伏模块。

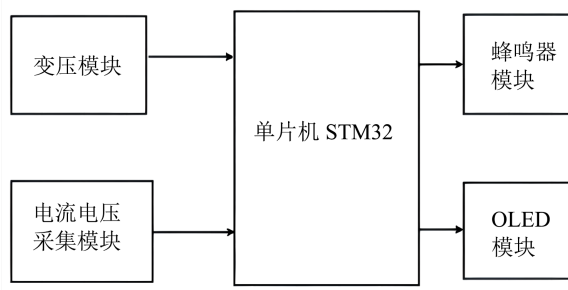


Figure 1. Framework diagram of battery detection system
图 1. 电池检测系统框架图

论文方案设计实现了电量显示百分比、充电耗时的检测、显示屏显示充电电压、电流及充电功率等，并且电池充满则启动报警提示，相关电量和电压显示到液晶屏上观察。

2.3. 锂电池的充放电

在锂电池中，总是存在的单体之间的一些差异。在电流流过相同大小的串联锂电池组，小容量的锂蓄电池过充电更容易，或深度放电，因此容量衰减快，寿命不长，小容量的电池会提前发生故障并失效，则电池的寿命会缩短。因此，分析和研究锂离子电池充电和放电具有重要意义，也很有必要。锂电池使用不同的电流充电和放电，显示特性会发生变化，所以研究其充放电特性，使用正确的充电和延长电池

寿命的充放电控制和保护具有重要意义。

2.3.1. 锂电池充电特性

理想的锂充电过程，通常使用的是恒流转恒压充电模式。恒流充电阶段为充电的开始阶段，当电池电压低时，充电电流基本上不发生改变，为安全起见，开始时，充电速率一般控制在 0.25 C 到 1 C 之间，随着时间的变化，锂电池电压逐渐增加，当单节电池电压上升到 4.1 V，充电器应马上转变到恒定电压充电模式。这个恒流转恒压充电法可以很好地达到饱和的电池，不会损坏电池，是可再充电锂电池的主要充电方式。图 2 所示为电量和电压的时间曲线变化图。

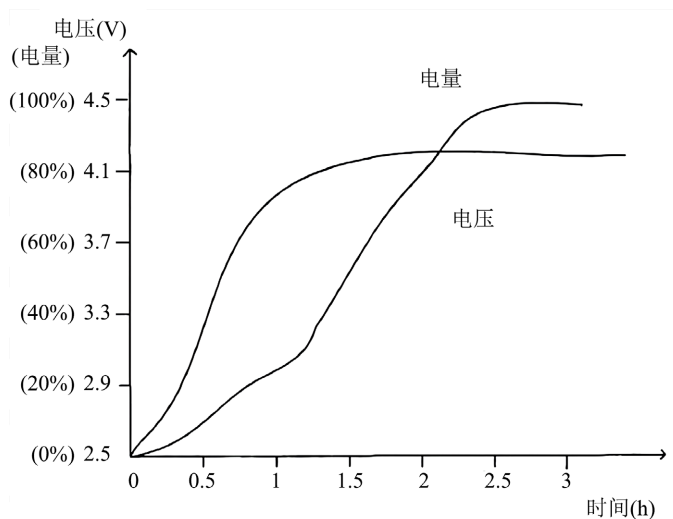


Figure 2. Lithium battery charging characteristic curve

图 2. 锂电池充电特性曲线

但是，如果深度放电和其它因素存在，使电池电压较低时，锂离子电池的内部活性削弱，如果以相对大的电流在开始阶段充电，会对电池造成损坏。要逐步激活锂离子的活性，先用小电流充电，直到锂离子电池的电压为 2.5 V 以上，则利用恒定电流 - 恒定电压(CC-CV)充电方法，可有效地保护电池。锂电池充电阶段电压曲线与电流曲线变化趋势如图 3 所示。

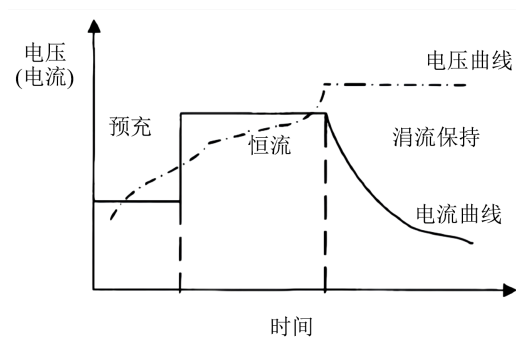


Figure 3. Lithium battery charging stage

图 3. 锂电池充电阶段

2.3.2. 锂电池放电特性

在正常情况下，初始锂离子电池的满电电压是 4.1 V 或 4.2 V，放电终止时，电压降低为约 2.5 V，另

外还有规定在放电终止时单电池电压不低于 2.1 V 以下，放电电流也应不过大，一般不超过 2 C，否则放电深度过度会缩短其寿命，过大电流还可能会使电池燃烧。锂电池额定容量不同的释放程度是因为其放电速率不同。如：放电速率 0.25 C 可被放出所有的额定容量，放电速率 1 C，只可释放 95% 的额定容量。小电流放电，有利于提高电池的循环寿命。锂电池放电速率与容量关系曲线变化趋势如图 4 所示。

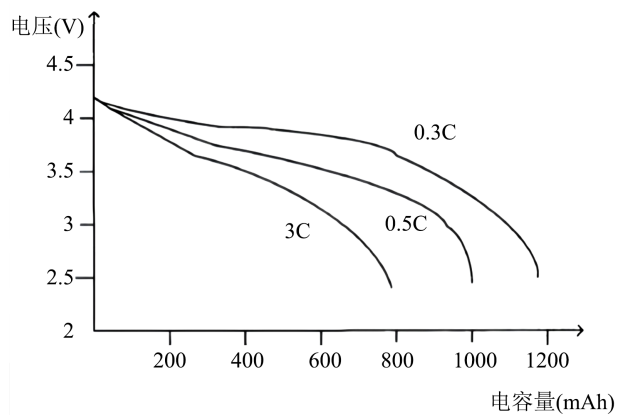


Figure 4. Relationship curve between discharge rate and capacity of lithium batteries

图 4. 锂电池放电速率与容量关系曲线

3. 系统硬件

本设计采用模块化设计，以 STM32F103C8T6 单片机为核心，将其他模块整合在一起，形成一个统一的系统。系统整体设计框图如图 5 所示。

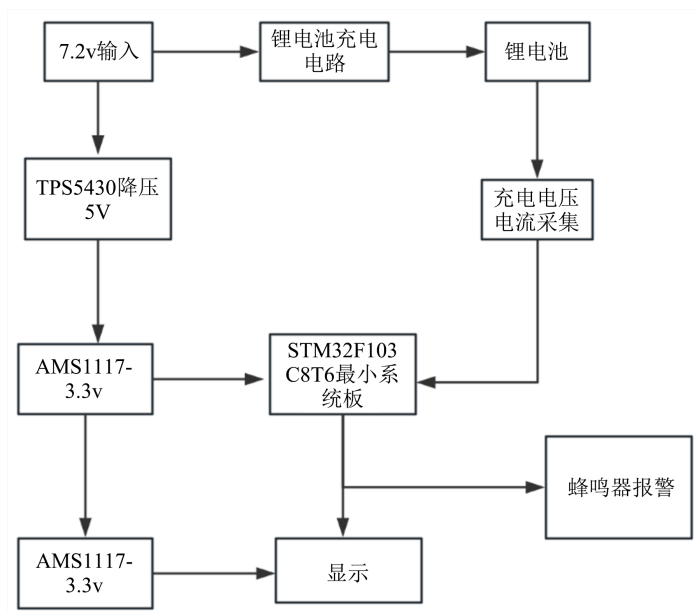


Figure 5. System hardware design block diagram

图 5. 系统硬件设计框图

设计是基于 STM32F103C8T6 单片机为核心的电池性能检测系统，主要从 7.2 V 输入开始分两条路线

进行,分别是锂电池充电电路和 TPS5430 降压 5 V。而 TPS5430 线路也分两条路线,一条到 STMF103C8T6 最小系统板,一条是达到 AMS1117-3.3 V 从而达到显示。锂电池充电电路的路线是先达到锂电池,然后到达充电电流电压采集,最后到达 SMT32F103C8T6 最小系统板,最终由 STM32F103C8T6 最小系统板进行蜂鸣器报警和显示屏显示[5]。

3.1. 电流采集电路设计

当电流采集电路作为接收来单片机信号,在单片机中 BAT 和 VS,分别作用电流采集模块的+IN 与 -IN 从而对电流采集电路进行控制。电流采集电路如图 6 所示。

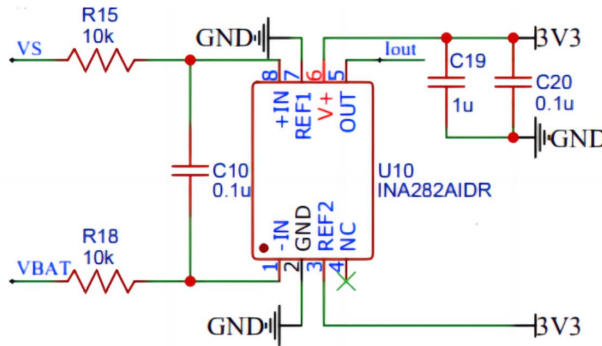


Figure 6. Current acquisition circuit diagram
图 6. 电流采集电路图

3.2. 锂电池充电电路

锂电池充电电路由单片机的 LX (3 和 4 引脚)还有 BAT9 引脚进行控制的;从而由电压电流采集低通滤波的 Vout 引脚输入电压电流。它是由 4 个 0.1 uF 的电容、1 个二极管、1 个 bh-18650 电池盒、一个电感线圈以及 3 个电阻(标识为 R5 和 R6 的阻值为 10 kΩ 和一个标识为 R3 的电阻为 0.05 kΩ)组成的。锂电池充电电路如图 7 所示。

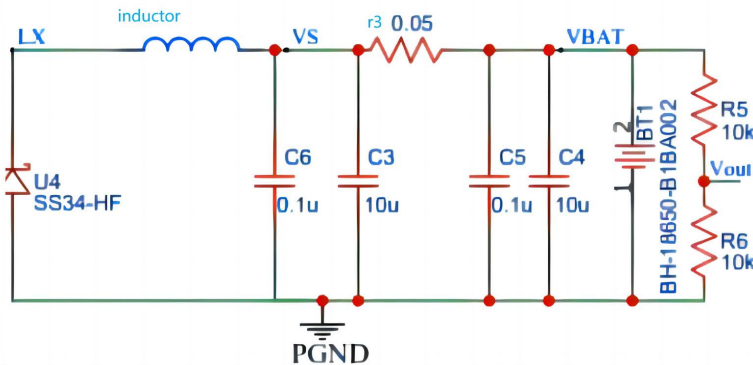


Figure 7. Lithium battery charging circuit diagram
图 7. 锂电池充电电路图

系统硬件模块主要分为电流采集电路、OLED 电路、锂电池充电电路、IIC 上拉电阻电路、串口接口电路等方面进行设计。系统通过电流采集电路来对电压电流采集低通滤波电路的控制,近而给锂电池充电电路进行充电,从而在 OLED 屏幕上显示充电时间、电量百分比以及电压。当电池达到充满电时自动

断电并蜂鸣器工作发出警报。

3.3. 硬件部分小结

论文电池检测系统硬件模块主要分为电流采集电路、OLED 电路、锂电池充电电路、IIC 上拉电阻电路、串口接口电路等方面进行设计。在单片机系统中电路通过电流采集电路来对电压电流采集低通滤波电路的控制，进而给锂电池充电电路进行充电，从而在 OLED 屏幕上显示充电时间、电量百分比以及电压。当电池达到充满电时自动断电并蜂鸣器工作发出警报[6]。硬件部分主要介绍了系统的结构和硬件设计，以 STM32 单片机为核心控制器加外围硬件电路组成系统，对电压、电流和温度参数进行测量，和对充电进行控制，以帮助更准确检测电池电量。

4. 系统软件

4.1. 软件设计思路

在确定了硬件电路的设计后，该系统的控制功能将依赖于软件。在软件设计过程中，首先根据系统的实际要求，分析任务，再着手系统总体程序设计和编程模块化设计。整个系统软件采用汇编和 C 语言编写，还进行了模块化的设计，增加程序可读性，便于软件功能的测试和调试。系统的单片机程序是基于 STM32 单片机 C 语言开发，利用专用的编译器连接器将 C 语言程序转换成二进制代码，然后可在单片机内执行命令。

4.2. 系统软件流程图

系统主程序流程图执行的步骤如下：首先是初始化系统各个模块，先从单片机基本初始化开始，其次 While 循环并开启定时器定时 1 s 的开始，While 循环完成之后进行到采集电压电流转化实际值，采集电压电流转化实际值后从显示屏显示采集电压电流值，最后采集道道电压和电流的计算充电程度。然后定时器定时 1 s 判断是否充电完成，如果完成蜂鸣器报警并停止计时，如何充未完成定时器继续定时，系统主程序流程图如图 8 所示。

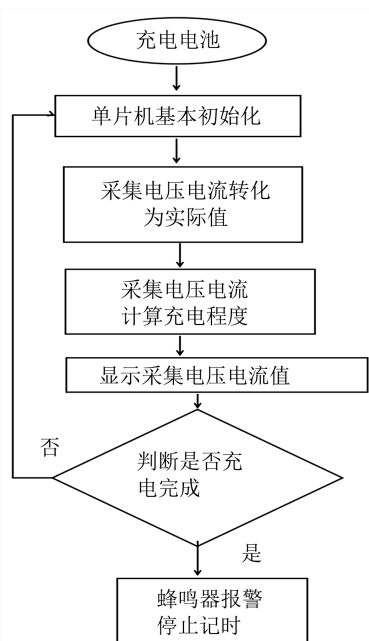


Figure 8. System main program flowchart
图 8. 系统主程序流程图

4.3. 电池充电流程图

电池充放电系统主程序流程图执行的步骤如下：首先是初始化系统各个模块，首先系统启动初始化 I/O 口，其次判断电池充电是否完成，如果条件成立则进入蜂鸣器报警并断电，如果条件不成立则进行电压电流的 A/D 采集，并屏幕显示电池的信息，然后返回并等待电池是否充满电以此循环，电池充电流程图如图 9 所示[7]。

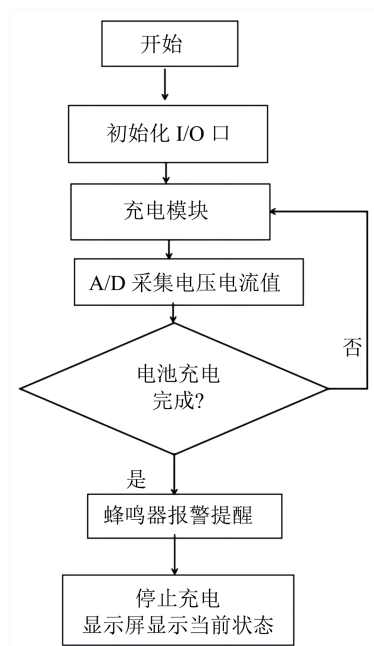


Figure 9. Battery charging process diagram

图 9. 电池充电流程图

4.4. 软件部分小结

在软件设计和硬件设计的基础上，制成该锂电池电量检测系统，并对系统进行初步测试后进行电量检测实验。本系统的基本操作方法是通过对上位机监控画面上的读电压、温度和电量按钮来实现监控电池的状态，开始读取后，上位机软件将向电池管理模块发命令要求相应的信息，得到信息数据后将反馈显示在界面上的列表框中。论文软件部分设计思路首先软件设计需要绘制程序流程图，以便更好地理解硬件设计的各个电路模块，并利用这些模块来实现各种功能。

5. 系统调试及测试

当硬件电路系统模块完成调试，并且没有任何问题时，就可以进行软件编程测试。我们可以对各个电路模块进行模块化的编程调试，以便更好地解决硬件电路系统存在的问题。

5.1. 系统功能测试

电池性能检测系统采用分立电路模块设计，通过在 A/D 软件上绘制原理图后进行布线布局，完成全部连接线和模块之间的连接检查，并分别调试每个模块器件，确保每个独立的电路模块正常工作。然后编写驱动每个模块的功能程序，进行功能调试，在软硬件相结合的调试阶段，使用程序模块化编程思想可以提高调试效率，减少不必要的麻烦。最后完成上述操作后上电进行联合测试，将电源输入到整个实

物的软硬件系统中，进行整体功能指标的验证[8]。

在进行硬件调试之前，需要进行硬件的制作。在本次设计的制作中，需要用到 STM32F103C8T6，电源转 5 V 模块，SSD1306OLED 屏幕、蜂鸣器模块、NCR18650B 锂电池等元器件。硬件实物图如图 10 实物图所示。

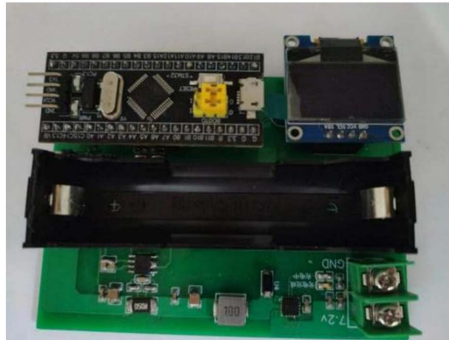


Figure 10. Physical image

图 10. 实物图

论文系统硬件组装完毕后，进行了系统的电池性能检测调试测试。系统的硬件调试测试是验证电池检测系统设计思路的可行性和检验能否实现设计功能的重要过程，通过调试，可以更好地理解设计思路，从而更好地实现设计功能。图 11 所示为实物未接电源的图。当电池性能检测系统插上电源，系统就会处于开机运行状态，如图 12 实物接通电源图所示[9]。

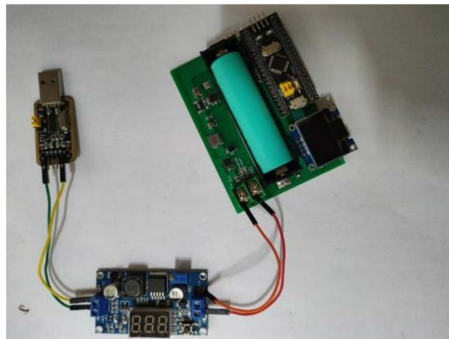


Figure 11. Physical power failure diagram

图 11. 实物未接电源图

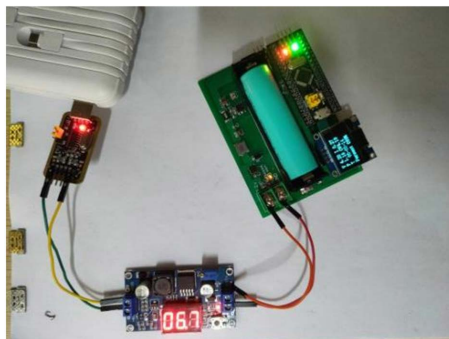


Figure 12. Physical power connection diagram

图 12. 实物接通电源图

显示屏显示图如图 13 所示。LCD 第一行显示“V 4.25 I 0.30”，其中“V 4.25”标识充电电压为 4.25 V，“I 0.30”标识充电电流为 0.30 A；LCD 第二行显示“P 1.29 OV4.23”，其中“P 1.29”表示充电功率，“OV4.23”表示充电过程中电池开路电压为 4.23 V；LCD 第三行显示“T 00-00-04”表示已充电时长为 4 秒；LCD 第四行显示“Percent 099%”表示现在电池电量百分比为 99%。



Figure 13. Display screen image

图 13. 显示屏显示图

图 14 检测电池刚上电测试，LCD 第一行显示“V 4.25 I 0.09”，其中“V 4.25”标识充电电压为 4.25 V，“I 0.09”标识充电电流为 0.08 A；LCD 第二行显示“P 0.38 OV4.25”，其中“P 0.38”表示充电功率，“OV4.25”表示充电过程中电池开路电压为 4.25 V；LCD 第三行显示“T 00-00-01”表示已充电时长为 1 秒；LCD 第四行显示“Percent 099%”表示现在电池电量百分比为 99%。



Figure 14. Check the battery for power on test

图 14. 检测电池刚上电测试

图 15 检测电池上电速度，LCD 第一行显示“V 4.03 I 0.08”，其中“V 4.03”标识充电电压为 4.03 V，“I 0.08”标识充电电流为 0.08 A；LCD 第二行显示“P 0.33 OV4.02”，其中“P 0.33”表示充电功率，“OV4.02”表示充电过程中电池开路电压为 4.02 V；LCD 第三行显示“T 00-05-56”表示已充电时长为 5 分 56 秒；LCD 第四行显示“Percent 082%”表示现在电池电量百分比为 82%。

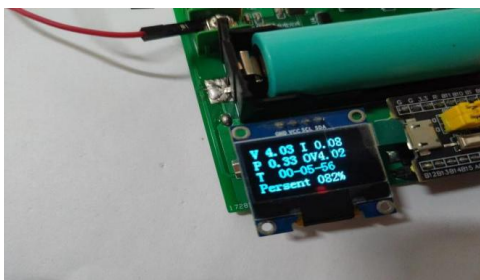


Figure 15. Power on speed display diagram

图 15. 上电速度显示图

图 16 检测电池充满图, LCD 第一行显示“V 4.07 I 0.00”, 其中“V 4.07”标识充电电压为 4.07 V, “I 0.00”标识充电电流为 0.00 A; LCD 第二行显示“P 0.00 OV4.07”, 其中“P 0.00”表示充电功率, “OV4.07”表示充电过程中电池开路电压为 4.07 V; LCD 第三行显示“T 00-00-01”表示已充电时长为 1 秒; LCD 第四行显示“Percent 100%”表示现在电池电量百分比为 100% [10]。



Figure 16. Check battery fully charged image
图 16. 检测电池充满图

5.2. 功能分析

在本次电池性能检测系统的设计中, 我们使用了 STM32F103C8T6 单片机作为核心处理器。该单片机功能齐全, 性能稳定, 成本低, 而且非常易于携带。它的这些特点使它成为一个理想的选择, 可以满足我们对电池性能检测系统的要求。本设计采用模块化设计思路, 分别对电池的充电模块进行单独调试, 然后再进行整体调试。整个系统测试分为初始化上电测试和滴速测试, 测试结果均能达到预期设定的要求, 功能正常。

5.3. 调试小结

论文设计在电池检测系统研究的基础上, 结合实际充电耗时, 充满断电并提醒的要求, 并立足现实制作对电池性能检测中的故障进行报警, 分析判断故障原因, 并可通过 IIC 屏幕观察电池性能检测系统的运行, 故该设计具有一定的理论研究和工程实用价值。

6. 结语

本文分析了锂离子电池的工作原理, 提供了论文电池检测系统研究的理论依据, 与现有的测定方法相比, 本设计中方法的优点在于它充分考虑影响电池的剩余电量的各种因素, 使用了大量的实验数据表提供精确的测量结果。论文设计的电池性能检测系统的总体设计中基本实现了分别实现单片机的数据检测, 流动电压低通滤波功能, 电源转伏功能, 以及显示信息等功能。系统经过多次实验测试数据符合预期要求, 也存在一些后期改进方向, 如在程序代码编写的重复性利用率、相关数据测试的稳定性、系统运行的稳定性以及整体功能指标方面进行优化和控制, 以提高电池检测系统的性能和稳定性。

基金项目

2019 海南省省级大学生创新创业大创项目, 项目名称: 安全智能电动车充电器的开发与研究, 项目编号: S201913892066。

参考文献

[1] Abu-Sharkh, S. and Doerffel, D. (2004) Rapid Test and Non-Linear Model Characterisation of Solid-Sate Lithium-Ion

-
- Battery. *Power Sources*, **130**, 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.12.001>
- [2] Brady, J.L. (2010) First, Do No Harm: Making Infusion Pumps Safer. *Biomedical Instrumentation & Technology*, **44**, 372-380. <https://doi.org/10.2345/0899-8205-44.5.372>
- [3] 王力臻, 马凤菊, 谷书华, 等. 短路电流以及影响因素[J]. 电池, 1999, 29(6): 260-261.
- [4] Kim, H.J., Krishna, T.N.V., Zeb, K., *et al.* (2020) A Comprehensive Review of Li-Ion Battery Materials and Their Recycling Techniques. *Electronics*, **9**, 1161. <https://doi.org/10.3390/electronics9071161>
- [5] 多智华, 李革臣. 模糊论在电池分类器中的应用[J]. 电池, 2000, 5(6): 100-103.
- [6] 吴杰, 陈辉. 基于非线性拟合的电池剩余容量预测[J]. 蓄电池, 2021, 58(3): 123-127.
- [7] 赵文艺. 基于 AT89S51 单片机的实验室数据采集系统的设计[J]. 电子世界, 2012(1): 60-61.
- [8] Song, Y.X. and Feng, Y. (2011) Design of LED Display Control System Based on AT89C52 Single Chip Microcomputer. *Journal of Computers*, **6**, 718-724. <https://doi.org/10.4304/jcp.6.4.718-724>
- [9] 陈志椿. 基于 3D 打印技术下电子设备行业的应用研究[J]. 黑河学院学报, 2019, 10(1): 219-220.
- [10] 钱铮, 杨代军, 刘金玲, 史惟澄, 马建新. 薄型流场对燃料电池性能影响的交流阻抗谱法研究[J]. 中国机械工程, 2012(24): 15-16.