

Design of Constant Current and Constant Voltage Control Circuit in Lithium Battery Charger

Taihe Zhang Quan Long Ningshan Li

Shenzhen Madirui Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

With the wide application of lithium batteries in a variety of portable devices and electric vehicles, safe and efficient charging technology has become particularly important. This paper will give a high precision, low cost and easy to realize the lithium charging control scheme based on the characteristics of the lithium battery. After analyzing the charging characteristics of lithium battery, this paper expounds the design process, including the design of key components such as current detection, voltage detection, comparator and feedback controller, and verifies the designed circuit, so as to prove that it has higher performance and reliability.

Keywords

lithium battery; charger; control circuit; design

锂电池充电器中恒流恒压控制电路的设计

张太和 龙权 李柠汕

深圳市麦迪瑞科技有限公司, 中国 · 广东 深圳 518000

摘 要

随着锂电池在各种便携式设备和电动汽车中的广泛应用, 安全、高效的充电技术变得尤为重要。论文将围绕中恒流恒电压的锂电充电器, 结合锂电的特点, 给出一种高精度, 低成本, 易于实现的锂电充电控制方案。论文对锂电池的充电特性进行分析后, 详细阐述了设计过程, 包括电流检测、电压检测、比较器和反馈控制器等关键部件的设计, 并对所设计电路进行验证, 证明其具有更高的性能和可靠性。

关键词

锂电池; 充电器; 控制电路; 设计

1 引言

在当今社会, 锂电池已成为许多便携式设备和电动汽车的核心能源, 其在人们日常生活中的重要性日益凸显。为确保锂电池的安全使用和最大化续航能力, 寻求高效、可靠的充电技术成为当务之急。恒流恒压充电策略作为一种广泛应用于锂电池充电的方法, 旨在通过精确控制充电电流和电压, 实现对锂电池充电过程的优化。论文将结合中国深圳市麦迪瑞科技有限公司多年来在锂电池充电器的开发、生产经验, 深入研究恒流恒压控制电路的设计方法, 结合锂电池的充电特性, 提供一种既高效又可靠的充电解决方案, 以期对锂电池充电技术的进一步发展和推广提供理论支持与实践指导。

2 应用背景

2.1 锂电池的应用背景

随着科技的快速发展和对环保的日益重视, 锂电池因

其高能量密度、长寿命、低自放电率等优势, 在众多领域得到了广泛应用。在智能手机、笔记本电脑和平板电脑等便携电子产品中, 锂离子电池已被大量使用。此外, 电动汽车、太阳能存储系统等新兴领域也对锂电池需求旺盛, 为推动绿色能源的发展起到了关键作用。随着锂电池应用范围的不断扩大, 其在全球能源结构中的地位愈发重要。

2.2 恒流恒压充电策略的重要性

如何对其进行有效的充放电过程进行有效的控制是影响其工作效率和工作稳定性的关键因素。恒流恒压 (CC/CV) 是目前锂离子电池应用最多的一种方式。它通过在不同充电阶段分别采用恒定电流和恒定电压进行充电, 以确保电池在充电过程中始终处于最佳状态^[1]。这一策略有助于保护电池免受过充、过放、过热等损害, 延长其使用寿命, 并提高充电效率。

3 锂电池的充电特性

3.1 锂电池的工作原理

锂电池是一种化学能存储为电能的装置, 其工作原理

【作者简介】张太和 (1972-), 男, 中国陕西武功人, 本科, 从事锂离子电池充电技术的研发设计研究。

基于锂离子在正负极之间的移动。充电过程中，锂离子从正极迁移到负极，嵌入负极材料中；放电过程中，锂离子从负极释放并迁移到正极。在这一过程中，锂离子在电解质中传输，电子通过外部电路传输，从而实现电能的输出。正负极材料的选用、电解质的稳定性以及工艺控制等因素都对锂电池的性能产生重要影响^[2]。

3.2 充电阶段的划分

按照锂电池充电的特点，其充电过程可划分为如下三个阶段：

①预充：在蓄电池电压很低的情况下，为了避免蓄电池损坏，必须使用一个很小的充电电流对蓄电池进行预充。预充电流一般只有 10%~20%，而且持续的时间很短。

②恒流充电相位：在电池的预充结束之后，进入一个恒流充电相位。这一阶段是以恒定的电流来给蓄电池充电，直到蓄电池的电压达到一个固定的电压。在充放电过程中，恒流充电所占的时间最多。

③恒定电压充电阶段：在蓄电池的电压到达恒定电压充电电压时，所述控制电路对所述蓄电池的电压进行调节，从而将所述蓄电池的电压维持在所述恒定电压。充电电流随时间的推移而降低。当充电电流下降到一定的阈值（一般是额定充电电流的 10%~20%）时，就被视为充电过程结束^[3]。

3.3 恒流恒压充电策略的基本原理

恒流恒压（CC/CV）充电策略是根据锂电池的充电特性制定的，旨在实现对电池充电过程的精确控制。在恒流阶段，为电池提供了一个稳定的电流，从而确保了电池的高效率。当电池的电压到达设定值时，电池就会进入一个恒定的电压阶段，这时电池的电荷就会趋于饱和，为了避免过充，就必须降低电池的充电电流。在恒压阶段，通过调整充电电流使电池电压保持在设定值，以确保电池在安全的工作范围内进行充电。最后，当充电电流降至预定阈值时，充电过程结束，避免了电池的过充现象，从而保护了电池的使用寿命和性能^[4]。

恒流恒压充电策略的实施依赖于对电池充电电流和电压的精确控制。为实现这一目标，需要设计一种能够根据电池状态实时调整充电参数的高性能控制电路。通过对控制电路的优化和改进，可以进一步提高充电效率、减少充电时间、提高电池寿命，满足不同应用场景对锂电池充电技术的需求。

4 恒流恒压控制电路的设计

4.1 电流检测部分

电流检测是恒流恒压充电策略实施的关键环节。为实现电流检测，通常采用电流传感器（如霍尔效应传感器）或分流电阻进行测量。在本设计中，我们采用分流电阻进行电流检测，以降低成本并简化设计。

分流电阻的原理是通过在充电路径上串联一个精密的

低值电阻，利用欧姆定律测量经过该电阻的电流。充电电流产生的电压降与电流成正比，通过测量两端的电压降，即可得到充电电流的值。为提高测量精度，需要选用温度系数较低、电阻值稳定的精密电阻。

测量得到的电压信号较小，需要经过放大处理。论文中采用运算放大器构建差分放大器，对分流电阻两端的电压信号进行放大。放大倍数可以根据实际需求进行调整，以满足不同充电电流范围的测量要求。

4.2 电压检测部分

在恒电压充电过程中，对电压进行检测是非常重要的。在该系统中，使用了高精度的模数转换电路实现了对蓄电池电压的检测。首先，采用一种分压电阻器，将蓄电池的正电极电压降至 ADC 的输入端。在选择分压电阻器时，要在精确度与功率消耗之间进行折中。然后，将该过压后的电压信号输入 ADC 中，并将该过压后的电压信号转换成数字信号，以供处理与分析之用。

为提高电压检测精度，需要选用高精度、低温漂移的分压电阻和 ADC。此外，还应注意对信号线的屏蔽和滤波处理，以减小电磁干扰和噪声对测量结果的影响。

4.3 比较器和反馈控制器

比较器和反馈控制器是实现恒流恒压控制的核心部分。在本设计中，我们采用了微控制器（MCU）作为控制核心，负责比较和控制环节的实现。微控制器采集经过放大和转换处理的电流、电压信号，与预设的恒流恒压充电参数进行比较^[5]。根据比较结果，微控制器对充电电源的输出进行调整，实现对充电电流和电压的闭环控制。

为实现输出调整，本设计采用电流模式控制的开关电源作为充电电源。开关电源中的占空比调节器接收来自微控制器的调整信号，通过改变占空比，实现对充电电源输出电流和电压的调节。为降低输出波动，提高充电稳定性，还需要在输出端增加滤波器和稳压器。

为实现快速收敛和高稳定性，本设计采用比例—积分—微分（PID）控制算法对充电过程进行调节。PID 控制算法能够对系统的误差进行实时调整，实现对充电电流和电压的精确控制。为获取最佳控制效果，需要对 PID 控制器的参数进行调整和优化。

4.4 保护和监测功能

为确保锂电池充电的安全性和可靠性，本设计中还包含了多种保护和监测功能。

①过充保护：当电池电压超过设定的充电截止电压时，微控制器将立即切断充电电源，防止电池过充。②过流保护：当充电电流超过设定的最大充电电流时，微控制器将限制充电电流，保护电池免受过大电流的损害。③短路保护：当检测到充电路径短路时，微控制器将立即切断充电电源，防止短路造成的电池损坏和安全隐患。④温度保护：本设计中采用温度传感器对电池温度进行实时监测。当电池温度超过安

全范围时,微控制器将采取相应措施,如限制充电电流、暂停充电等,以确保电池安全。⑤充电状态监测:微控制器可实时监测电池的充电状态,包括电压、电流、温度等参数。通过与外部通信接口(如UART、I2C等)的连接,可将充电状态实时传输给上位机或其他设备,方便用户实时了解和监控充电过程。

5 实验验证

5.1 实验设备与方法

为验证所设计恒流恒压控制电路的性能,我们搭建了一个实验平台,主要包括以下设备:①恒流恒压控制电路:基于第三章所述设计原理制作的实物电路板。②锂电池:选用具有典型充电特性的锂离子电池,用于实验过程中的充电对象。③电源:为实验提供稳定可调的直流电源。④电子负载:用于模拟锂电池充电过程中的负载特性。⑤示波器:用于实时观测电压、电流等参数的波形。⑥万用表:用于测量和记录电压、电流等参数。

实验方法如下:①连接实验设备,确保连接正确、可靠。②将直流电源输出连接至恒流恒压控制电路输入端,将电路输出端连接至锂电池正负极。③根据锂电池额定参数设置预期的恒流恒压充电条件,如恒流电流值、恒压电压值等。④开启直流电源,开始充电过程。同时使用示波器、万用表等设备实时监测电压、电流等参数。⑤记录充电过程中的关键数据,如恒流充电阶段的电流、恒压充电阶段的电压、充电时间等。⑥重复实验多次,以获得足够的数据以进行统计分析。

5.2 实验结果与分析

根据实验数据,我们对恒流恒压控制电路的性能进行了分析。实验结果表明,所设计电路能够实现对锂电池充电过程的精确控制。在恒流充电阶段,充电电流稳定在设定值附近,波动范围较小;在恒压充电阶段,电池电压保持在设定值附近,充电电流逐渐减小。充电过程中的温度变化在安全范围内,未发现异常现象。

充电时间与预期相符,证明了恒流恒压控制电路在提高充电效率方面的优势。同时,实验结果表明电路具有较高的稳定性和可靠性,满足了锂电池充电的基本要求。

5.3 与市场上常见充电方案的对比

为评估本设计在市场竞争中的地位,我们将其与市场上常见的充电方案进行对比。主要评价指标包括充电效率、充电时间、稳定性、可靠性以及成本等。

①充电效率:本设计采用恒流恒压充电策略,使锂电池在充电过程中始终处于高效率充电状态。与市场上常见的定时、定电压等充电方案相比,本设计具有更高的充电效率。

②充电时间:由于本设计实现了对锂电池充电过程的精确控制,能够最大程度地利用电池充电容量,因此充电时

间较市场上部分充电方案有所缩短。

③稳定性与可靠性:本设计采用微控制器进行闭环控制,能够实时调整输出电流和电压,确保锂电池在安全范围内充电。与市场上部分开环控制或简单控制策略的充电方案相比,本设计具有更高的稳定性和可靠性。

④成本:虽然本设计采用了微控制器、高精度传感器等元器件,成本相对较高,但通过优化设计,可以降低成本并提高性价比。与市场上高端充电方案相比,本设计具有一定的竞争优势。

综合以上评价指标,可以认为本设计在市场上具有一定的竞争力,尤其适用于对充电效率、稳定性和可靠性要求较高的应用场景。在未来的研究中,可以进一步提高性能、降低成本,使本设计更具市场竞争力。

6 结语

论文针对锂电池充电器中恒流恒压控制电路的设计进行了详细论述。首先,我们分析了锂电池的应用背景及恒流恒压充电策略的重要性,强调了对锂电池充电过程进行精确控制的必要性。然后,我们介绍了锂电池的工作原理和充电特性,对恒流恒压充电策略的基本原理进行了阐述。接着,我们详细设计了恒流恒压控制电路,包括电流检测部分、电压检测部分、比较器和反馈控制器以及保护和监测功能。最后,我们通过实验验证了所设计电路的性能,并将其与市场常见的充电方案进行了对比。

实验结果表明,本设计的恒流恒压控制电路在充电效率、充电时间、稳定性和可靠性等方面具有优越表现。与市场上常见的充电方案相比,本设计具有一定的竞争力。在未来的研究中,可以进一步优化设计,提高性能、降低成本,满足不同应用场景的需求。

总之,论文通过理论分析和实验验证,展示了一种高效、稳定、可靠的锂电池恒流恒压充电控制电路。该设计有望为锂电池充电技术的发展贡献力量,推动其在各类应用领域的广泛应用,为人类的可持续发展提供更为安全、高效的能源解决方案。

参考文献

- [1] 王博雅,王心玥,张霖.锂电池充放电性能影响的研究[J].机电信息,2023,701(5):82-85.
- [2] 王德玉,秘锡鸿,傅超伟,等.基于变结构补偿网络的WPT恒流/恒压充电系统[J].电工电能新技术,2022,41(4):9-15.
- [3] 于富强.具有阶段式恒流恒压输出特性的无线充电系统研究[D].马鞍山:安徽工业大学,2021.
- [4] 戴晓锋,吴华杰.电动汽车恒流恒压型无线充电系统设计[J].电气传动,2019,49(12):98-101+108.
- [5] 王绍武.智能复合电池充电控制器设计与研制[J].电子制作,2022,30(21):32-35.