

# 三环控制锂电池充电器的设计

## Design of the 3-closed-loop Controlled Lithium Battery Charger

徐颖晟<sup>1</sup> 王志新<sup>1</sup> 余俊宏<sup>1</sup> 邹建龙<sup>2</sup>

(上海交通大学电子信息与电气工程学院<sup>1</sup>,上海 200240;嘉兴清源电气科技有限公司<sup>2</sup>,浙江 嘉兴 314031)

**摘要:**针对现有充电器存在的不足,设计了基于 DK-LM3S9B96 嵌入式处理器的锂电池充电器,阐述了充电器的硬件电路结构、工作原理及软件程序设计。该充电器增加了温度环,根据锂电池取样电流、电压值及电池温度等信息,由 DK-LM3S9B96 输出 PWM 信号用以控制 DC/DC 变换器工作和锂电池充电过程,从而实现锂电池充电器的数字化和智能化。试验结果表明,所设计的锂电池充电器具有三段式充电功能,能够满足锂电池高效充电的要求,同时也避免了使用集成芯片控制容易引起的温升、控制精度不高等问题。

**关键词:** 嵌入式处理器 整流电路 通信系统 智能控制 数字化

**中图分类号:** TP368 **文献标志码:** A

**Abstract:** Aiming at the shortcomings of the existing charger, the lithium battery charger based on DK-LM3S9B96 embedded process has been designed. The structure of hardware circuitry, principle and software program design of the charger are described. In accordance with the sampled information including current, voltage and temperature of the battery, the DC/DC converter and the charging procedures of the battery are controlled by PWM signal output by DK-LM3S9B96, thus the digitized and intelligent battery charger is implemented. The test results show that this charger features 3 sectional charging function, and meets high efficient charging requirement for lithium battery, in addition, it avoids the demerits of IC control, e. g., easily leads to temperature rise and low control accuracy.

**Keywords:** Embedded processor Rectification circuit Communication system Intelligent control Digitalization

### 0 引言

目前,锂电池因其电压高、循环性能好和无记忆效应等特点,被用作移动便携式仪器的核心储能装置,而与之相匹配的锂电池充电器也越来越被人们所重视。充电器的好坏不仅对仪器设备的性能有影响,而且对电池的寿命和设备工作效率也有影响。现在市面上较为典型的一种充电器是用一个专用集成芯片来控制充电电流、电压的变化,这种充电方式的充电器虽然芯片体积小,但是也存在一些不足,如充电效率低、易发热而降低电池寿命、控制精度低<sup>[1-2]</sup>等。针对集成芯片的发热问题<sup>[3]</sup>,通常采用加入温度保护模块予以解决。

本文针对锂电池的充放电特性及实际使用中的需求,选用新型的嵌入式处理器 LM3S9B96 为主控制器,克服了采用集成 IC 带来的易发热的问题。同时,在锂电池充电过程中进行智能控制,严格控制充电电流、电压、温度等参数,从而提高了充电效率,实现了充电过

程的数字化和智能化。

### 1 充电器的硬件设计

锂电池充电器的硬件设计主要包括整流电路和充电器主电路(包括电源变换电路、采样电路及保护电路等部分)。

#### 1.1 PFC 电路

由于电力电子装置和非线性负载的广泛使用,电力系统电压及波形容易产生畸变,从而产生大量的谐波,导致电源输入功率因数降低,电网环境严重污染,用电设备所处环境恶化等问题。同时,也给周围的通信系统和公共电网以外的设备带来了危害<sup>[4]</sup>。为了克服以上问题,设计的锂电池充电器采用功率因数补偿(power factor compensation, PFC)电路进行交直流转换,如图 1 所示。

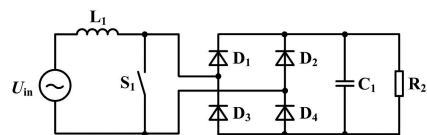


图 1 功率因数补偿电路

Fig. 1 PFC circuit

图 1 中:  $S_1$  为双向开关管。当开关管导通时,输

国家 863 计划基金资助项目(编号:2011AA05AA103);

上海市教育发展基金资助项目(编号:LM201135);

上海市科技发展基金资助项目(编号:11195802100)。

修改稿收到日期:2012-08-20。

第一作者徐颖晟(1984-),男,现为上海交通大学电机与电器专业在读硕士研究生;主要从事锂电池充电器方面的研究。

入电流先后流经电感和开关管,对电感进行储能,同时直流侧滤波电容给负载供电;当开关管断开时,输入电流经过电感和整流二极管到达负载端,电感储能和交流电源同时给负载和电容供电。该电路使用平均电流控制模式<sup>[5]</sup>,可以消除许多严重问题,诸如较差抗噪声能力、斜坡补偿以及峰值平均电流误差等<sup>[6]</sup>。

### 1.2 充电器主电路

#### 1.2.1 DC/DC 电源变换电路

在给锂电池充电的过程中,充电器通过改变充电电压和电流来实现不同的充电策略<sup>[7]</sup>。DC/DC 双管正激电路如图 2 所示。在考虑电压、电流影响的同时,也将温度控制放入了充电策略中。正激电路的优点是可以提高效率、降低设计的复杂性<sup>[8-9]</sup>。

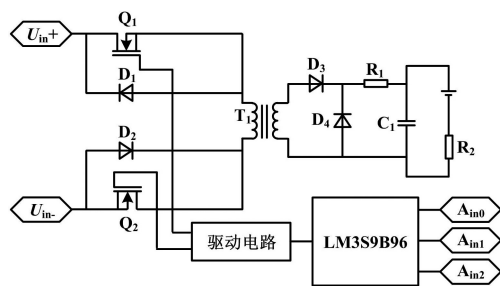


图 2 双管正激电路

Fig. 2 Double-tube positive excited circuit

图 2 中:  $U_{in}$  为输入电压;  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$  为续流二极管。

DC/DC 双管正激变换器的工作原理是:当 PWM 输出高电平时, MOSFET 管导通, 电流流经晶体管和电感到达电池。在这一阶段, 电感吸收能量, 电容被充电; 当 PWM 输出低电平时, MOSFET 关断, 电流经续流二极管续流, 电感电压反向, 电感、电容作为滤波器输出电压电流<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.2 采样电路

采样及保护电路如图 3 所示。

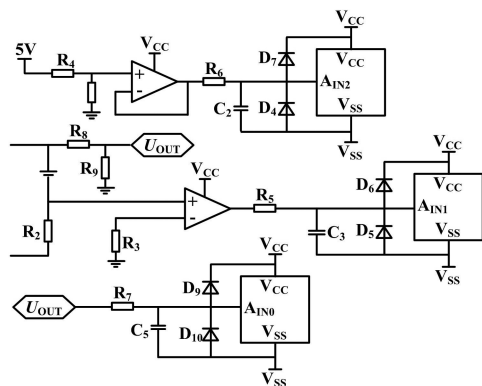


图 3 采样及保护电路

Fig. 3 Sampling and protection circuit

图 3 中:  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ , 为精密电阻;  $R_4$  为 NTC-10KPX3-42H-S1 热敏电阻。

采样包括对充电电流、充电电池端电压和电池温度的采样。采样的电压、电流和温度经过 ADC 模块发送到 LM3S9B96 控制芯片中, 由 LM3S9B96 对数据进行分析与处理。

#### ① 电压采样电路

锂电池充电电压检测采用电阻分压原理。电压采样电路通过 1 个  $10 \text{ k}\Omega$  和 1 个  $2 \text{ k}\Omega$  的滑动变阻器分压, 将检测电压转换为  $0 \sim 3 \text{ V}$  的电压。保护电路由 RC 电路和钳位二极管组成, 采集的电压信号经过保护电路后导入  $A_{IN0}$  口, 以保证 A/D 口不会因为流经电压太大而致使芯片被烧毁。

#### ② 电流采样电路

电流采样不外加传感器, 通过 1 个传感电阻把流过电池的电流转换为电压后, 再经 ADC 转换取样。根据功率计算公式  $P = I^2 R$  可知, 若传感电阻  $R$  越大, 消耗的功率也就越大, 从而导致传感电阻本身发热严重。因此, 传感电阻取值设计为  $0.1 \Omega$ , 经 MCP6031 运算放大器电压放大到  $3 \text{ V}$  左右, 再通过保护电路, 最终传送到  $A_{IN1}$  管脚。

#### ③ 温度采样电路

温度控制对于锂电池充电器而言非常重要, 这是因为充电过程中电池温度过高, 可能导致锂电池发生永久性损坏, 甚至发生爆炸现象。基于以上因素的考虑, 设计的锂电池充电器加入了温度控制环路, 并采用运放 AD823 进行电压跟随, 运放输出后经过 RC 滤波及钳位保护电路接入  $A_{IN2}$  口, 进行数模转换。温度传感器使用热敏电阻, 选用的热敏电阻型号为 NTC-10KPX3-42H-S1。该热敏电阻为负温度系数直插类型,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  时电阻为  $10 \text{ k}\Omega$ , 精度为  $1\%$ 。

## 2 充电器的软件设计

### 2.1 DK-LM3S9B96 简介

本文采用 LM3S9B96 芯片作为中央处理器。该芯片包括 1 个低压降的稳压器, 集成掉电复位和上电复位功能以及 16 bit 的 ADC、DMA、GPIO 等各种丰富的外设功能, 可直接通向 GPIO 管脚。LM3S9B96 芯片有 2 路 ADC, 即  $ADC_0$  和  $ADC_1$ 。  $ADC_0$  和  $ADC_1$  都有 16 位输入, 即  $A_{IN0} \sim A_{IN1}$ , 这十分适合所设计的锂电池充电器。从采样电路处实时采集到的充电电压、电流及温度信息, 通过  $A_{IN0}$ 、 $A_{IN1}$  和  $A_{IN2}$  口送入处理器, 再通过计算决定下阶段的充电电流, 并利用 PWM 信号控制充电电流。

2.2 软件程序设计

本次设计的锂电池充电器主要采用分时处理模

式,由电池电压采集模块、电池电流采集模块和温度采集模块组成。充电器流程图如图2所示。

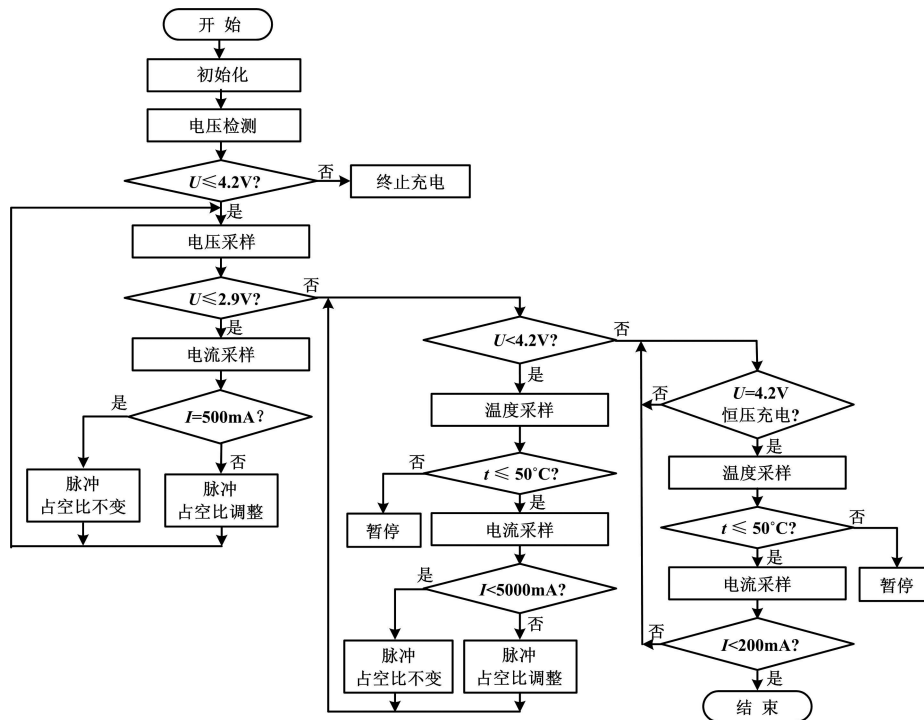


图4 充电器流程图

Fig.4 The flowchart of charge

系统启动时先检测电压端电压值,如果符合充电要求,则继续充电,否则终止充电。充电器的充电控制单元 LM3S9B96 通过检测电池端电压值来选择进行哪一阶段的充电模式。

由于锂电池在高温时工作效率和寿命都受很大影响,并且可能发生爆炸,因此,本次设计的锂电池充电器着重在恒定电流充电、恒定电压充电两个充电状态检测电池的本身温度,再选择充电模式。当温度超过给定的温度值时,就停止工作;当温度低于给定值时,则继续进行充电。

3 试验结果及分析

对基于微处理器 DK-LM3S9B96 控制的锂电池充电器的关键参数电压和电流进行测试,并针对 24 V/40 Ah 锂电池进行试验,采用的电压表、电流表型号为 VICTOR-VC890D,示波器型号为 TDS2024C。实际测得的锂电池充电过程测试数据如表 1 所示。

由表 1 可知,在充电初期,锂电池组处在深度放电状态,需要进行预充电,由 DK-LM3S9B96 控制的 PWM 波产生小电流进行充电,这段时间锂电池电压缓缓上升,时间间隔取 20 min。随后,在各节电池电压达到最

低充电门限电压后,进入 6 A 电流值恒流充电模式,此过程中的数据记录间隔为 30 min。当单节锂电池电压达到最高充电门限电压时,锂电池两端电压已经基本稳定,但是锂电池的电流还没减小到设定值,当电流减小到接近 600 mA 时,充电结束。

表 1 锂电池的充电记录

Tab.1 The charging records of the lithium battery

开始时刻	电压/V	电流/A	开始时刻	电压/V	电流/A
8 :50	24.6	6.02	14 :50	28.2	2.67
10 :50	26.0	6.00	15 :30	28.5	2.27
11 :50	26.5	6.01	16 :00	28.7	1.38
13 :50	27.9	4.20	17 :20	29.1	0.62
14 :00	28.0	3.80			

4 结束语

本文采用 DK-LM3S9B96 作为核心处理器,以锂电池为应用对象,设计了三环控制的锂电池充电器,并制造搭建了样机。

试验表明,本次设计的充电器具有以下优点:硬件电路和软件相结合,采用数字控制技术,大大提升了系

(下转第 80 页)