

# 微型电动旋翼无人机电池管理系统设计与实现

韦克城 王宝锋 陈凯欣 司雨晨 肖仪卓  
(西安工业大学, 西安 710021)

**摘要:**根据无人机飞行状态的时变型,对其供电系统的实时状态难以准确把握。为提高供电系统状态的估计的准确性与稳定性。设计出以锂离子电池为研究对象,OZ8920 电池管理芯片为核心的微型电动旋翼无人机电池管理系统。完成了对此类无人机供电系统的电池电压、电流和温度的高精度检测。其测量精度误差低于 0.4%。并结合了安时积分法与开路电压法实现了电池 SoC 的准确计算。通过搭建的模拟测试环境下的静态测试平台,进行多次充放电实验。对放电实验数据进行分析与计算,电池实时状态估算准确。电池管理系统各部分功能运行稳定正常,并具有可扩充性,有着广阔的应用前景。

**关键词:**无人机;电池管理系;电池荷电状态

**中图分类号:** TP3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

## Design and implementation of battery management system for electric-powered rotor micro-UAVs

Wei Kecheng Wang Baofeng Chen Kaixin Si Yuchen Xiao Yishuo  
(Xi'an Technological University, Xi'an 710021 China)

**Abstract:** According to the time-varying state of UAV flight state, it is difficult to accurately grasp the real-time state of its energy supply system. In order to improve the accuracy and stability of the estimation of the state of the energy supply system. A electric-powered rotor micro-UAVs battery management system based on OZ8920 battery management chip is designed. The high-precision detection of battery voltage, current and temperature of the UAVs power supply system has been completed. The error of the measurement accuracy is less than 0.4%. The accurate calculation of battery SoC is realized by combining the time integration method and the open circuit voltage method. Through the static test platform built in the simulation test environment, several charging and discharging experiments are carried out. The experimental data of discharge are analyzed and calculated, and the real-time state estimation of battery is accurate. The functions of each part of the battery management system are stable and normal, and it has expandability and has broad application prospects.

**Keywords:** unman aerial vehicle; battery management system; state of charge

### 0 引言

无人机(unmanned aerial vehicle, UAV)是一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器的简称。直到 20 世纪 80 年代,无人机得到日益广泛<sup>[1]</sup>的应用。微型电动旋翼无人机由于其体积小、重量轻、机动灵活、成本低等特点,现已广泛应用于军事和商业(交通、通信、农业、减灾、电力巡检和环境保护)和个人等多领域。目前微型电动无人机大多采用蓄电池作为电源,如 NiMH 电池、LiPo 电池、Li-ion 电池等。Li-ion 电池<sup>[2]</sup>因其具有长

寿命、自放电小、比能量高、易获取、质量轻等诸多优点,成为小型电动无人机的首选动力电源。但因 Li-ion 电池内部化学反应复杂,实时容量与电量难以准确把握,从而降低了 Li-ion 的使用效率。另外由于电池个体差异,电芯技术无法满足均衡充放电,且大功率电池的充电时间比较长,使用较为麻烦。众多因素降低了微型电动旋翼无人机供电系统的使用效率与使用寿命、单次极限飞行距离、巡航时间难以把控从而导致无人机自身安全不能得到保障、影响无人机完成任务等诸多问题。因此,采用完善的电池管理系统(battery management system,

收稿日期:2018-04

中国科技核心期刊

国外电子测量技术 — 109 —

BMS)<sup>[3]</sup>实现电池各项参数的高精度检测与计算,提高电池使用效率和寿命,从而增强此类无人机续航能力与飞行安全。

## 1 静态测试系统总体设计方案

在无人机实际飞行过程中,系统电池剩余电量估算可分为离线与在线两种方式。即将无人机固定于地面的静态测试,将所采集数据存储在通过控制器发送请求指令后进行离线估算。与无人机在飞行状态下的动态测试,通过无线方式将数据实时发送至控制器进行在线估算。此系统是进行离线匀速测试。总体方案主要由3部分组成:电池管理系统和模拟无人机飞行负载单元和充电单元。其中,电池管理系统<sup>[7]</sup>主要有参数检测单元、充放电控制单元、均衡控制单元和通信单元组成。旨在电池充、放电过程中对系统进行实时监测与保护,实时监测、传输所检测数据,显示系统所处状态。模拟无人机负载单元用于模拟匀速与变速飞行状态,高精度模拟多种飞行状态下电池消耗情况。充电单元即给系统进行循环充电。设计方案如图1所示。

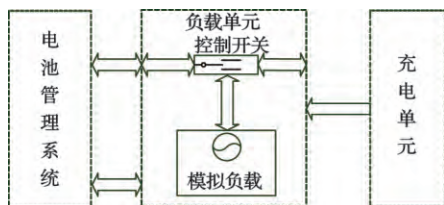


图1 系统静态测试设计方案

## 2 系统硬件设计

本系统 BMS 电池管理器选择凹凸科技公司的 OZ8920 芯片。具有多项电池管理功能。微型电动旋翼无人机 BMS 主要应具有以下功能:1)参数检测:实时采集电池充放电状态。采集的数据有电池总电压、电池总电流、单节电池电压、系统环境温度和芯片内部温度。2)剩余电量 SoC(state of charge)<sup>[4-7]</sup>估计。通过上述采集的数据,使用相应算法对 SoC 进行估计。3)充放电控制。根据所采集的电池充放电过程中电流、电压和温度的变化。若某个参数超过或低于指定标准,控制相关开关,停止电池的充电或放电。4)均衡<sup>[8]</sup>控制。因每节电池具有个体差异性。因此循环充放电使用后会致使电池剩余容量的不一致性。均衡控制系统能判断并自动进行均衡控制。5)通信单元。系统在使用过程中通过 I<sup>2</sup>C 通信方式将电池数据发送至控制器并由液晶屏显示。电池管理系统总体设计方案如图2所示。

### 2.1 参数检测电路

此设计将电流、电压检测与温度检测想分离。因采样电阻的选取对电流、电压精度影响较大,因此需要选择高精度的采样电阻进行电流电压采样。通过取样电阻两端

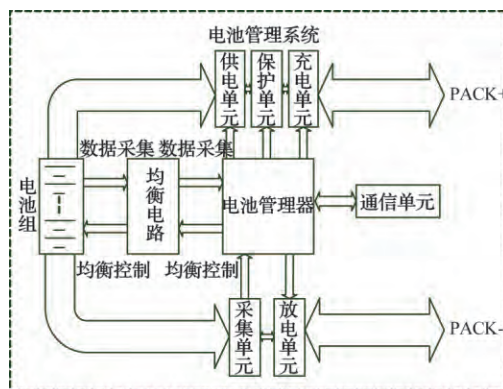


图2 电池管理系统设计

电压差的检测,即可获取电池电流与电压值。电流电压采样电阻选用威世公司 VCS101 检测电阻。阻值为 0.005  $\Omega$ ,可满足高精度采集的要求。采用环境温度采用 NTC(negative temperature coefficient)热敏电阻进行温度采样,输出端通过滤波后通过串口进行 A/D 转换,接获取电池管理系统环境温度值。

### 2.2 通讯电路

本系统采用 I<sup>2</sup>C 通信协议进行器件功能配置与数据传输。I<sup>2</sup>C 串行总线一般有两根信号线,一根是双向的数据线 SDA,另一根是时钟线 SCL。通过所有接到 I<sup>2</sup>C 总线设备上的串行数据 SDA 都接到总线的 SDA 上,各设备的时钟线 SCL 接到总线的 SCL 上。为防止外借控制器引脚电平电压过高。因此电池管理器通信接口处均放置 5.6 V 稳压器件。并将 60 h 作为从机地址进行器件功能配置。

## 3 系统软件设计

### 3.1 系统软件功能总体方案设计

系统软件所需完成功能如图3所示。全部用 C 语言编写。系统开始运行时。电池管理器与 STM32 控制器均需初始化,电池管理器通过采集但电池电压、电流和环境温度参数。并将数据通过 I<sup>2</sup>C 发送至 STM32 控制器进行 SoC 估算。由于电池管理器时刻进行采集、处理数据。当控制器发出指令给控制器是,命令其将电流、电压和温度数据传输至控制器。这样使得系统具有较高的实时性。控制器对采集到的数据进行 SoC 的实时估算并将结果实时显示在 LCD 液晶屏上。

### 3.2 系统程序流程设计

本系统程序需要完成电池管理起的各功能实现,并完成在 stm32 控制器上 SoC 的估算。其中通过 I<sup>2</sup>C 将控制器配置为主动模式,将电池管理器配置为从动模式。为了及时相应系统数据收发请求,软件上采用中断方式。系统采用安时积分法与开路电压法相结合的方法对获取数据进行 SoC 估算。系统流程图如图4所示。

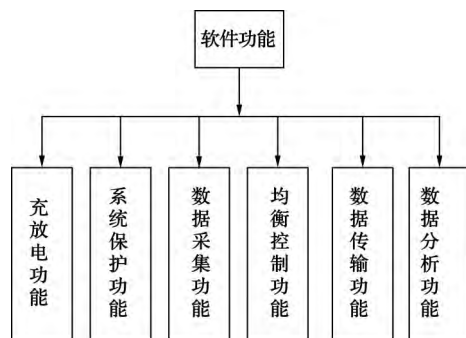


图3 软件功能框图

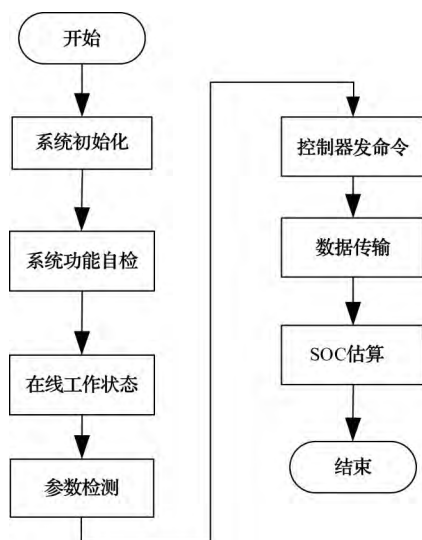


图4 电池管理系统软件流程

## 4 实验结果

### 4.1 实验步骤

本实验采用 18650 动力锂离子电池,其单节容量为 2 000 mAh,重量相比同等容量的锂聚合物电池轻出许多,具有较高的能量密度。本实验电池组将 4 节上述电池相串联(额定电压为 14.8 V)。模拟无人机飞行状态负载采用 IT8 512 A+电子负载,可模拟设定匀速与变速飞行状态下无人机耗能情况。以 4 A 恒定电流至电池组额定电压。设定电池管理系统每 10 s 采集一次数据。实验前将未使用电池的额定容量为  $Q_0$ 。即使用开路电压法测算电池初始电量。放电过程中通过安时积分法计算消耗的安时量  $Q_c$ 。因此最终可通过公式  $SoC(\%) = (Q_c - Q_s)/Q_0$  计算出 SoC 值。

### 4.2 实验结果与结论分析

为保证对系统稳定性及电流、电压和温度数据采集的精确性,与剩余电量 SoC 的估算的稳定实现。对 4 节串联电池展开多次充放电实验。因篇幅限制,此处只列出单节电池实验数据结果。实验数据表明,实验测试结果与预计一致。

表 1 为部分放电数据,包括端电压、放电电流、环境温度和放电时间数据。由表可知该系统运行稳定,测量精度与误差达到预期标准,剩余电量估计达到预期效果。

表 2 给出实验过程中部分电压、电流和温度的测量值与真实值的误差对比。由表可知该系统测量电压和电流精度误小于 0.4%,温度误差小于  $\pm 0.4\%$ 。电流负值表示为放电状态。在放电结束后,将电池静置 20 min 左右后,待其恢复至放电结束后的开路电压。测得 4 节电池开路

表1 电池放电实验部分数据集

标号	端电压/V	放电电流/A	环境温度/℃	时间/s	剩余电量/%
0	4.198 2	0.001 8	25.805 6	0	99.999 7
1	3.464 5	-0.25 7	31.822 50	184.204	89.700 4
2	3.349 9	-0.22 3	37.085 5	378.454	78.857 0
3	3.275 3	-0.23 9	41.619 7	582.563	67.441 2
4	3.206 0	-0.26 6	45.952 4	797.407	55.404 7
5	3.125 6	-0.25 4	49.751 1	1 002.032	43.977 1
6	3.041 0	-0.22 5	52.693 0	1 155.282	35.455 7
7	2.742 6	-0.23 9	57.352 1	1 379.766	22.887 9
8	2.502 4	-0.22 9	58.819 2	1 420.735	20.617 1
9	1.978 0	-0.20 5	59.449 0	1431	20.091 2

表2 部分放电数据与真实值误差对比

标号	测量值/V	真实值/V	误差/%	测量值/V	真实值/A	误差/%	测量值/℃	真实值/℃	误差/%
0	4.1982	4.21	0.28	-4.0237	-4.031	0.18	25.806	25.88	0.28
1	3.762	3.77	0.21	-4.0259	-4.027	0.02	25.806	25.9	0.36
2	3.7271	3.74	0.34	-4.0246	-4.026	0.03	25.893	25.94	0.18
3	3.6983	3.71	0.31	-4.0247	-4.035	0.25	26.229	26.21	-0.07
4	3.6722	3.68	0.21	-4.0273	-4.0266	-0.01	26.645	26.66	0.05
5	3.6481	3.66	0.32	-4.0252	-4.0245	-0.01	27.072	27.058	-0.05
6	3.6257	3.64	0.39	-4.0245	-4.025	0.01	27.491	27.5	0.03
7	3.6048	3.61	0.14	-4.0227	-4.024	0.03	27.891	27.91	0.06

电压均能恢复分别至 2.7 V 左右。实现了均衡控制功能。

图 5 为部分放电过程中剩余电量计算后的结果对比图。其中  $k$  表示第  $k$  次放电。此图表明系统所测数据准确, 剩余电量估算结果精准, 并且此种估算方法计算量小, 较为准确方便, 便于工程实践应用。

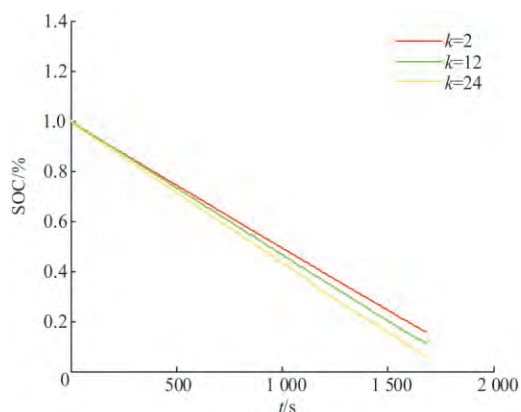


图 5 不同次放电状态下 SoC 计算结果对比

## 5 结 论

本文设计开发了一种针对锂离子电池的微型电动旋翼无人机电池管理系统。该系统实现了微型电动旋翼无人机电池管理系统的静态测试。在具有高精度采集数据和高稳定性数据传输的基础上, 完成了电池组电量的估算。较好的检测到电池容量的变化, 并稳定实现实时被动均衡。

同时, 在此基础上还可进行更多功能的实现。比如通过无线通信模块实现无人机供电系统的在线动态测试<sup>[9]</sup>、电池组内部的温热均衡、电池参数的更高精度<sup>[10]</sup>的在线与离线同时估算。并且在估算方案中应该选取精度更高的估算方案如: 采样点卡尔曼滤波法<sup>[11-14]</sup>、支持向量机法等对 SoC 的估算精度更高。由图 5 可知, 电池使用寿命对电池剩余电量影响较大, 因此以后可在估算 SoC 同时考虑加入电池寿命 SOH 的<sup>[15]</sup>估算。从而可提高多次循环充放电后的电池寿命的准确预估, 以此进一步提高在电池不同使用时段的 SoC 的高精度估算。

## 参 考 文 献

- [1] 张友民, 余翔, 屈耀红, 等. 无人机自主控制关键技术新进展[J]. 科技导报, 2017, 35(7): 39-48.
- [2] 李泓. 锂离子电池基础科学问题(XV)——总结和展望[J]. 储能科学与技术, 2015, 4(3): 306-318.
- [3] CHENG K W E, DIVAKAR B. P, WU HONGJIE, et

al. Battery-management system (BMS) and SoC development for electrical vehicles[J]. Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(1): 76-88.

- [4] 林成涛, 王军平, 陈全世. 电动汽车 SoC 估计方法原理与应用[J]. 电池, 2014, 35(5): 105-107.
- [5] TAO L, MA J, CHENG YJ. A review of stochastic battery models and health management[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017(80): 716-732.
- [6] YANG QINGXIA, XU J, CAO BG. State-of-health estimation of Lithium-ion battery based on interval capacity[J]. Energy Procedia, 2016(105): 2342-2347.
- [7] 李哲, 卢兰光, 欧阳明高. 提高安时积分法估算电池 SoC 精度的方法比较[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2010, 50(8):
- [8] ZONG-Y, PANG-Y, WANG C, et al. State of charge, state of Health, and state of function monitoring for EV BMS[J]. International Conference on Consumer Electronics, 2017
- [9] SAGA I B, KOSHIMOTO E, CUONG C Q, et al. Predicting battery life for electric UAVs[C]. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 29-31 March, 2011.
- [10] 于海芳, 逯仁贵, 朱春波, 等. 基于安时法的镍氢电池 SoC 估计误差校正[J]. 电工技术学报, 2012, 27(6): 12-18.
- [11] 袁学庆, 张阳, 赵林, 等. 基于 EKF 的锂电池 SoC 估算与实验研究[J]. 电源技术, 2015, 39(12): 2587-2615.
- [12] LEE J L, ALDRICH L L, STETZEL K D, et al. Extended operating range for reduced order model of lithium-ion cells[J]. Journal of Power Sources, 2014, 255: 85-100.
- [13] 高明煜, 何志伟, 徐杰. 基于采样点卡尔曼滤波的动力电池 SoC 估计[J]. 电工技术学报, 2011, 26(11): 161-167.
- [14] GREGORE L. P. Kalman-Filter SoC estimation for LiPB HEV Cells[R]. 2002.
- [15] 朱强, 汪玉洁, 杨朵, 等. 电动汽车用动力锂电池 SOH 估计算法的研究综述[J]. 建模与仿真方法, 2007: 61-65.

## 作 者 简 介

韦克城(通信作者), 1992 年出生, 在读硕士研究生, 控制工程专业。

E-mail: 870058155@qq.com