

高精度估算 SOC 的锂电池管理系统研制

陈方国 赵志伟

(中国空空导弹研究院, 河南洛阳 471009)

摘 要 电动汽车已经成为绿色车辆最主要的发展方向之一。但是制约电动汽车发展的问题依然是储能电池和应用技术。研究电池管理技术及系统具有十分重要的意义。本文介绍了一种能够较为准确估算 SOC 的锂电池管理系统, 重点介绍了该系统的 SOC 估算方法。该系统已经应用于一种大容量磷酸铁锂动力电池驱动的电动汽车上。

关键词 电池管理系统; 荷电状态; 电动汽车

电池管理系统 (battery managementsystem, BMS) 是电动汽车的核心部件之一, 主要作用是对蓄电池组进行安全监控及有效管理, 以提高电池使用效率, 延长电池使用寿命, 降低运行成本, 进一步提高电池组的可靠性。

电池管理系统的主要功能包括: 电池状态参数采集、电池安全状态监控、电池荷电状态 (State of Charge, SOC) 估算与管理、电池故障诊断等, 其中准确的 SOC 估算是电池管理系统的关键技术之一。

介绍了一种能够较为准确估算 SOC 的电池管理系统, 该系统主要应用于大容量磷酸铁锂动力电池驱动的电动汽车上, 重点介绍了该系统的数据采集电路和 SOC 估算方法。

1 系统总体设计

由于本系统主要用于电动汽车上, 采用车载平台方式, 并要求系统结构先进、合理、可扩展, 参数测量精度高、EMC 合格, 功能完备、可靠性高, 系统设计采用分布式结构和分散控制、集中管理的模式, 按积木化设计各个功能模块, 主要由六个部分组成: 集中控制器、数据采集板、通讯模块、均衡模块、车载显示器、系统软件模块等。系统结构框图见图 1。

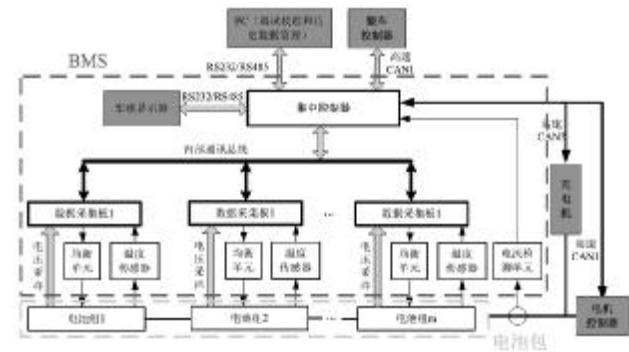


图1 电池管理系统框图

集中控制器作为电池管理的核心部件, 主要实现和数据采集板、整车控制器、充电机、车载显示器、电机控制器等部件的通讯交互工作。数据采集板主要完成单体电池电压和温度的测量, 将数据传到内部通讯总线上, 并直接负责对均衡单元发出接通和关闭分流电路的信号, 同时接收集中控制器发来的组均衡控制信号。

通讯模块采用内外三条子网, 高速 CAN1 总线用于整车控制器及电机控制器的通讯, 高速 CAN2 总线用于充电机的通信, 内部通讯总线可以选用 I2C、CAN、RS232、RS485 等。

均衡模块负责接收数据采集板传送过来的控制信号, 在适当的时候开启分流装置, 调节充电电流, 使电池组内电池更加均匀和一致。车载显示器包括显示控制板和显示屏。

2 数据采集电路设计

车载动力电池组一般是由数十或数百锂电池单体串联组成, 总电压 36V 至 800V。电源管理系统需要测量所有单体电池电压、分组温度和总电压电流等信号, 这些信号动态范围大、共模电压高、数量多, 很容易被干扰。

另外, 这些信号还是 SOC 估算、充放电均衡、过充过放保护判断等功能的基础, 其精度直接影响 SOC 估算精度。所以数据采集是本系统设计的一项关键, 必须要保证数据的准确性、可靠性、干扰性。

2.1 电压采集电路设计

在蓄电池的端电压测量方法上, 对单个电压量的测量方法非常简单。但最关键的是如何测量电池组中串联在一起的单电池电压。

本系统采用差动放大调理加模拟开关的直接测量法, 硬件电路如图 2 所示。

信号调理电路由 LM324 接成差动放大电路, 开关采用 CD4051B, 其控制端由微处理器端口通过 N 沟道 MOS 管 2N7002 引入, 电压测量精度能够达到 $\pm 10\text{mV}$ 。

此电路的优点在于响应速度快, 抗干扰性强, 能够抑制温漂, 并且适合于高速频繁测量, 而且电路结构简单, 适合于电路板的小型化设计。

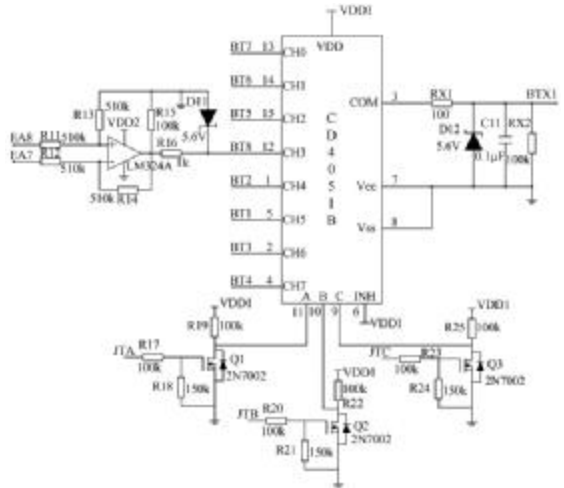


图2 电压采集电路

2.2 电流采集电路设计

电流是电池容量估计的关键参数, 因此对其电流的采样精度, 抗干扰能力, 零飘、温飘和线性度误差的要求都很高。本系统选用森社电子 CHB-500SG 的电流传感器, 测量范围 0~750A, 精度达到 0.5%, 工作温度 0~+70℃。

电流测量电路如图 3 所示, R1 是采样电阻, 充电时电流传感器在 R1 上电压为 “+”, 经过运算放大器后, AD0 为 “-”, AD1 为 “+”; 放电时 R1 上的电压为 “-”, AD0 为 “+”, AD1 为 “-”。通过判断 AD0 和 AD1 的值, 就可分辨电池的充电状态或放电状态。

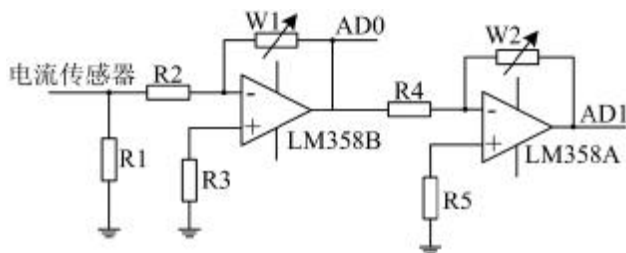


图3 电流采样原理图

2.3 温度采集电路的设计

电池温度是评估电池的SOC和判断电池能否正常使用的关键性参数，电池的温度直接影响电池的充电效率。通常，温度高，充电效率高，但是如果电池温度太高，就可能造成电池的永久破坏。

成组使用的电池，单体电池之间的温度差异会造成充电、放电的不均衡，导致电池寿命明显降低。本系统采用由美国DALLAS半导体公司生产的DS18B20型数字温度传感器进行温度检测。该传感器是单片型结构，可以输出9~12位的数字量，却不需要外加A/D；测量精度可以达到±0.5℃。

通信采用单总线防议，对DS18B20的各种操作通过一条数据线即可完成，同时该数据线还可兼做电源线，具有连线简单，设计灵活的特点，特别适合与单片机合用构成的温度检测与控制系统。

3 SOC估算方法

3.1 SOC概述

蓄电池的充电、放电过程是个复杂的电化学变化过程，蓄电池的电池容量会受到电池温度、放电率、自放电率、充放电循环次数等多种因素的影响，所以，通过可以测量的电池参数对电池的容量状态进行准确估计非常困难，在国内外都是一个难题。目前，一般采用电池的荷电状态SOC作为电池容量状态描述参数，其数值定义为电池的剩余容量占电池容量的比值：

$$SOC = Q_c / Q_0$$

式中： Q_c ——电池剩余容量；

Q_0 ——电池标称容量，电池标称容量定义为在理想状态下电池在规定的电流和温度时的所能放出的容量。

通常，我们将荷电状态100%定义为电池在一定温度下充电到不能再吸收能量的状态，荷电状态0%则定义为电池完全不能释放能量的状态。

实际上电池往往是串联使用，其容量一般由组内品质最差的电池决定。这样，在实际使用中，我们认为串联电池组的容量就由放电容量最小的那只电池决定。

目前，制约电动车实用化、商品化的因素之一就是精确判定蓄电池在不同工作状态下的荷电状态，因此国内外对荷电状态的研究也一直是个热点，对SOC的估算方法比较常见有开路电压测量法、安时积分法、测量内阻法、数学建模法、模糊推理和神经网络的方法等。其中，模糊推理和神经网络的方法是未来的发展方向，但是太复杂。

3.2 系统采用的SOC估算方法

本系统综合试验数据和总体指标要求，采用了安时积分法和开路电压测量法相结合的SOC估算方案。基本的思路就是，先将不同状态下不同电流的放电电量等效成特定电流下的放电电量，用安时积分法来计算工作状态中的锂电池剩余容量；然后利用上电时的开路电压进行补偿。

采用安时积分法，计算的工作状态中的锂电池等效放电电量公式如下：

$$Q_i(t) = \int_0^t \lambda \cdot i \cdot dt$$

式中： t ——放电时间；

λ ——不同状态的系数；

i ——放电电流。

$$SOC = \frac{Q_0 - Q_i(t)}{Q_0}$$

式中： Q_0 ——以规定电流恒流放电时电池具有的容量。

然后进行补偿计算。对电池的补偿计算需要我们事先对电池有较深的先验性认识。

通过前期对电池的大量试验和数据分析，能够得出一些经验模型，这样的话，可以在系统每次上电时根据断电的时间和上电开路电压对SOC进行适当修正。

锂离子电池在充放电过程中的端电压变化大，难以测量和用来估算SOC，但是在电池静止后，端电压会逐渐稳定，与容量的关系也是明确的。

于是，我们将电池的停放时间 t 作为参数，在电池停放前的容量 SOC_0 与电池稳定后其端电压所表征的容量 SOC_1 做如下加权：

$$SOC = \frac{T-t}{T} \times SOC_0 + \frac{t}{T} \times SOC_1$$

式中： T ——电池端电压趋于稳定所需的时间； t ——电池在两次使用中间隔的停放时间； SOC_0 ——电池停放前的剩余容量； SOC_1 ——电池端电压稳定后的剩余容量。虽然理论上 T 是一个无穷长的时间。但实际使用时可以将端电压变化率小于一定值时的端电压当成稳定的端电压，此时的容量SOC可由电池供应商的电池参数来确定。

4 试验结果

经过调试和校准后，对系统进行了全面的测试，特别对本系统所测试的某型磷酸铁锂动力电池进行了SOC估算的测试验证，结果能够满足要求。以SE100AH磷酸铁锂动力电池为例，其SOC开路电压曲线如图4所示，规定0.3C恒流放电至2.5V时SOC为0。

对1只SE100AH锂电池进行试验，验证本节提出的SOC估算方案。为加快放电速度，首先将充满电的锂电池以1C的恒定电流放电至3.0V，再以0.3C的恒定电流放电至3.0V，之后使锂电池处于开路状态1小时，该锂电池的端电压、放电电流及放电电量随时间变化曲线如图5所示。

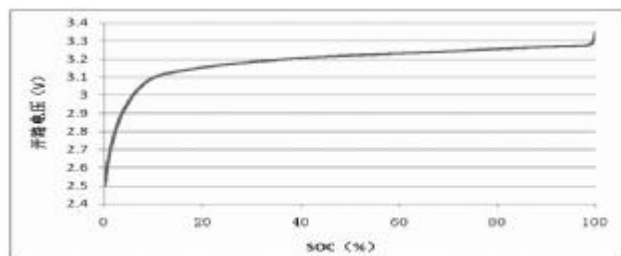


图4 SOC开路电压曲线

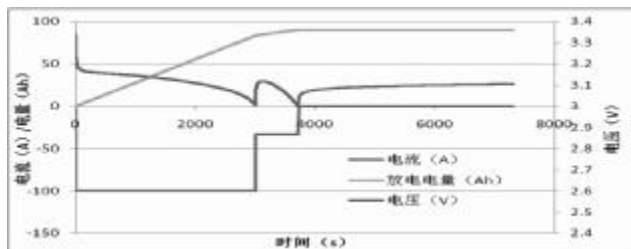


图5 放电曲线

由图5可知，该电池放电电量为89.96Ah，搁置1小时后端电压回升到3.1V；由图4可知开路电压3.1V对应的剩余电量为10.65%。同时，规定电池端电压稳定所需时间为8小时。

则 $SOC_0 = (100Ah - 89.96Ah) / 100Ah \times 100\% = 10.04\%$ ；

$SOC_1 = 10.65\%$ ； $T = 8$ ； $t = 1$ 。

将上述数值代入SOC加权计算公式可得：

$$SOC = \frac{8-1}{8} \times 10.04\% + \frac{1}{8} \times 10.65\% = 10.12\%$$

即该电池剩余电量为10.12%。由于该电池为刚（下转第51页）

- 采用光功率放大器发送功率取值: 17dBm;
- 采用光功率放大器 + 发送端 RAMAN 放大器的发送功率取值: 23dBm;
- Pr
- 采用接收端 RAMAN 放大器 + 预放大器 + FEC 技术的接收功率取值: -51dBm;
- Pp- 光通道功率代价, 取值为: 2dB;
- Ac- 活动连接头的损耗, 取值为: 1dB;
- Mc- 光缆富裕度, 取值为: 5dB (>100km);
- Af- 光纤熔接接头衰减系数, 取值为: 0.2dB/km;
- As- 光缆固定接头平均接续损耗设定在 0.01dB/km。

以上的参数均留有一定余量, 并非使用极限条件下的取值。鉴于各个厂家采用的放大技术、器件参数不尽相同, Ps、Pr 的取值也不一样, 在综合考虑采用了 EDFA 放大技术、喇曼放大技术、FEC 技术、编码调制技术、色散补偿等技术的前提下, 根据允许的单段最大跨越损耗 (已考虑光缆线路储备 + 活动连接头的损耗) 来计算允许的传输距离, 计算结果见表 1。

表1 2.5Gbit/s 衰减受限系统的最长传输距离计算

光纤类型	总衰减系数	最长传输距离 (L=16+BA+PA+ 接收端 RAMAN+FEC)	最长传输距离 (L=16+BA+PA+ 双向 RAMAN+FEC)
G.652	0.21	285km	314km
G.652	0.22	272km	300km

根据某设备厂家提供的相关资料以及理论计算, 本工程墨竹工卡 220kV 变电站 ~ 林芝 220kV 变电站光缆长度约为 300km, 选用 G.652

光纤, 发送端采用短距光卡 + 波长转换卡支持 FEC, 采用 19dB 的外置高功率光放大器, 接收端采用外置后向 RAMAN 放大器及 -47dB 的高灵敏度预放大器 (两者等效接收灵敏度为 -61dB), 最长的传输距离可达 314km, 基本满足传输要求。

4 结语

根据流域集控中心运行管理模式, 集控中心与流域各电站间有大量的信息交换, 要实现流域水库和电站的优化调度、安全经济运行, 需要一个高质量和高可靠的通信传输平台作支撑。在流域集控中心和各电站之间建设一个高可靠性、宽带宽的综合业务通信系统是非常必要的。

随着 500KV 直流输电技术和直流输电技术的大量应用, 电力长距离光纤传输将越来越普遍。超长距离光传输技术为实现这一特定应用提供了一种技术手段。合理应用各种技术可以减少中继站的设置, 在地形复杂、交通条件差的情况下减轻维护压力, 有利于提高系统稳定性。但同时也要看到, 系统结构越复杂, 成本也会增加, 具体应用中应考虑各方面的综合因素。

作者简介: 徐牧, 1985 年生, 江苏盐城人, 助理工程师, 主要从事水电站通信设计。

参考文献

[1] 李长春. 超长距离光传输技术基础及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
[2] 顾婉仪. WDM 超长距离光传输技术[M]. 北京: 邮电大学出版社, 2010.
[3] 谷坊祝, 张斌. 超长距离无中继光传输技术的应用[J]. 电力系统通信, 2007.

(上接第 44 页)

出厂的新电池, 因此由本节提出的 SOC 估算方案计算的剩余电量基本上与安时积分法得到的相同。

5 结论

本文介绍的这套电池管理系统经过了性能试验、整车调试及 500 公里的实际运行, 整个过程中系统运行基本正常, 各项功能达到了技术指标要求。本系统所采用的安时积分法和开路电压测量法相结合的 SOC 估算方法, 简单实用, 易于实现, 较为准确。但是由于受到电池自放电和充放电等因素影响, SOC 估计值的误差会逐步积累, 需要进一步进行试验建立更加准确可靠的 SOC 模型。

参考文献

[1] 董雄鹤. 电动汽车电池管理分布式系统的研究与实现[D]. 清华大学硕士论文, 2002.
[2] 乔国艳. 电动汽车管理系统的研究与设计[D]. 武汉理工大学硕士学位论文, 2006.
[3] 金伟正. 单线数字温度传感器的原理及应用[J]. 电子技术应用, 2000.
[4] 林成涛, 王军平等. 电动汽车 SOC 估计方法原理与应用[J]. 电池, 2004.
[5] 麻友良, 陈全世, 齐占宁. 电动汽车用电池 SOC 定义与检测方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2001.
[6] 吴东兴, 关道谔, 齐国光. 高精度预测 SOC 的混合动力车电池管理系统的研究[J]. 高技术通讯, 2006.
[7] Rodrigues S, Munichandraiah N and Shukla A K.. A review of state of charge indication of batteries by means of a.c. impedance measurements [J]. J. Power Sources, 2000.
[8] Abu- Sharkh S and Doerffel D. Rapid test and non-linear model characterization of solid-state lithium-ion batteries[J]. J. Power Sources, 2004.
[9] Fritz R Kalhammer. Hybrid Electric Vehicle Designs and their battery requirements [A]. Proceedings of the first annual AABC(Advanced Automotive Battery Conference), session 2[C]. Las Vegas, Nevada: 2001.