

基于深度网络的电池管理系统设计

冯绎铭, 王思源, 丁雷

(武汉纺织大学 电子与电气工程学院, 湖北 武汉 430200)

摘要: 电池管理系统是电动汽车的重要组成部分, 智能化、高精度、实时 SOC 估算与降低电池管理系统成本是新能源电动汽车追求的目标。硬件上以飞思卡尔作为主控芯片控制大量的光耦继电器开关, 配合热敏电阻, 霍尔传感器以及 AD 转换即可实现电池基本数据采集, 成本低廉, 性能较好。采集完成后通过 CAN 通信电路与主机 PC 通讯监控。在 SOC 估算方面, 使用深度网络估算 SOC, 精度较高, 实时估算误差控制在 2% 以内, 并采用非耗散型均衡方式保障电池组的容量均衡, 具有较好的推广使用价值。

关键词: 电池管理系统; 参数监测; CAN 通信电路; SOC 估算; 非耗散型均衡

中图分类号: TN86 文献标识码: A 文章编号: 1009-3044(2018)28-0246-04

DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2018.3340

Design of Battery Management System Based on Deep Network

FENG Yi-ming, WANG Si-yuan, DING Lei

(Wuhan Textile University, School of Electronics and Electrical Engineering, Wuhan 430200, China)

Abstract: Battery management system is an important part of the electric vehicle. At present, Intelligent, high-precision, real-time SOC estimation and lowering the cost of battery management systems are the goals pursued by new energy electric vehicles. On the hardware, the Freescale is set as the main control chip to control a large number of optocoupler relay switches and cooperate with thermistor, Hall sensor and AD conversion to achieve battery basic data acquisition with better performance and lower cost. After the acquisition is completed, it communicates with the host PC via the CAN communication circuit. In terms of SOC estimation, the deep network is used to estimate SOC for higher precision and real-time estimation. Then non-dissipative balanced method is used to ensure battery capacity balance, which has a good promotion value.

Key words: battery management system; parameter monitoring; communication circuit; SOC estimation; Non-dissipative balance

1 引言

近年来, 人们对于交通上的需求也是在不断地增加, 汽车不可避免地成为人们最主要的交通方式。但是过去的主要供能方式是通过燃料供能, 多年的化石能源的使用到现在正在面临诸如引起气候变化, 二氧化碳排放量的增加以及化石能源的枯竭危机, 因此越来越多的人尝试致力于研究新能源汽车去取代燃料汽车^[1-2]。传统的电动汽车存在着各种各样的缺点, 比如里程普遍较短, 动力电池的寿命大多不是很长等等, 基于此点, 试图研制具有比较优良性能的电池管理系统在推广电动汽车的过程也就具备了更加重要的意义^[3]。

由于锂离子电池生产时候通常会受到工艺技术的限制, 电池组里的各个单体锂离子电池之间存在着容量的不一致性, 这些存在的差异在大多数情况下也没有办法避免。另外, 锂离子电池的安全问题不容忽视, 如果不加以控制保护, 在工作过程中, 电池很容易出现过充过放的情况, 严重的时候, 可能会引发安全事故, 因此安全可靠的电池管理系统是十分重要的^[4]。

下图所展示的是一个电池管理系统应当具有的基本功能框图。

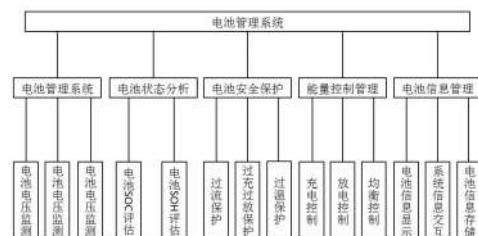


图1 动力电池管理系统基本功能

如上图所示, 一个完整的BMS应包括以下五项功能: 电池状态监测(电压, 电流和温度), 电池状态分析(SOC与SOH), 电池安全保护, 能量控制管理和电池信息管理^[5]。

2 电池管理系统硬件设计

硬件主要由监测, 通信和均衡三个部分组成。使用飞思卡尔16位单片机(MC9S12XS128)作为处理器^[6]。电池的参数监测电路主要对电池的电压, 电流和温度参数进行测量, 通讯电路主要包括SPI总线接口(配合flash进行数据存储), IIC总线接

收稿日期: 2018-07-15

作者简介: 冯绎铭(1994—), 男, 湖北黄石人, 硕士, 主要从事电池管理系统方向研究; 王思源(1994—), 男, 湖北襄阳人, 硕士, 主要从事人工智能方向研究; 丁雷(1991—), 男, 湖北麻城人, 硕士研究生, 主要从事人工智能方向研究。

口(配合DS1307获得时间信息),CAN总线接口(与上位机界面通信),通过能量转换均衡方式进行均衡。

2.1 系统总体框架

系统框架如下图所示:

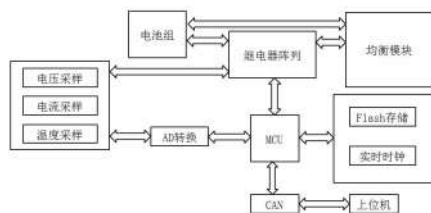


图2 电池管理系统框图

2.2 参数监测电路

监测电路指电压、电流和温度测量。在这里我们首先讨论有关于单体电池电压的测量问题,因为和其他两个参数的测量过程比较,电压所含的信息量是最多的,并且另一方面,电流和温度的测量方式也是将它们转化成电压信号来分析,因此首先要解决电压检测的问题。

本系统中对电压采集采取一种基于继电器阵列的轮流采集方式^[7],如下图所示。

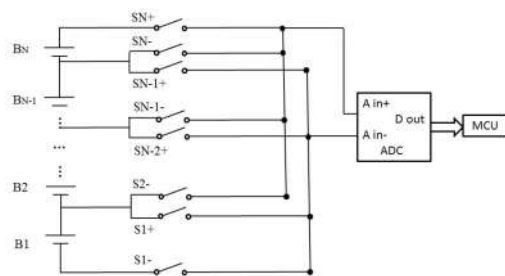


图3 一种基于光耦继电器阵列的电压采集电路

为单体电池提供两个继电器,电池的正负极通过继电器之后分别连接到A/D转换的两个输入端,这种继电器通常采用光耦继电器,由MCU进行控制其通断,在电压采集的过程中,首先让单片机发出信号,随后继电器开关闭合,让选定的单体电池正负极电压差通过A/D转化模块由模拟信号转化成数字信号,最后把数字信号传送给单片机。

相比于电压物理量,电流的检测相对而言显得没有那么复杂,因为电流所需要的采样通道少,只需对干路电流进行监测,需要使用的采样通道不像电压采集那么多。

通过霍尔传感器测量电流。霍尔传感器不会带来高频信号噪声,其可以输出电流信号之后,把输出的电流信号接到精密电阻之上,电流信号也随之转变成电压信号,读取电压值之后经过换算即可获得电流大小。

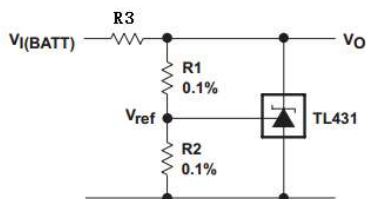


图4 电流采集原理示意图

$$V_o = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_{ref} \quad (1)$$

$$V_{I(BATT)} = I \cdot R_3 + V_o \quad (2)$$

如图所示,图中的TL431是一种芯片,可提供2.5V的 V_{ref} ,通过测量到 $V_{I(BATT)}$ 的值,经过计算即可获得电流值。

温度检测较为简单,在动力电池组之中接入对应的热敏电阻,通过分压方式获得其阻值即可得到温度值。

2.3 通讯电路

CAN通信连接底层硬件和上位机。电池的电压、电流和温度的测量功能都是由底层的硬件电路实现,硬件电路采集到了这些参数之后会将它们传给MCU,随后MCU内部根据我们设定的算法计算出电池的SOC值,最后再把这些所有的值都通过CAN通信方式传输给上位机,同时上位机也会通过CAN通信的方式把相应的指令传输给MCU来控制底层硬件。

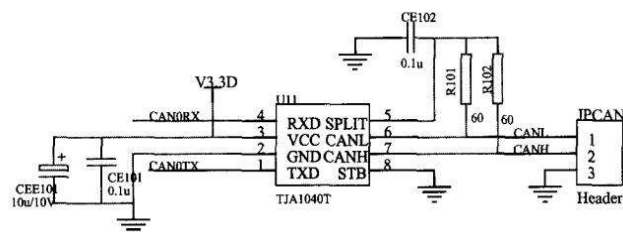


图5 一种CAN通信电路

2.4 均衡电路

均衡控制管理是电池管理系统中一项不可或缺的重要功能,人们在大量的实践过程和实验室中的实验数据都表明了,加入了均衡控制管理的动力电池组,比没有加入均衡控制管理的动力电池组拥有更好的表现。

均衡方式可以分为耗散型均衡和非耗散型均衡^[8]两种。耗散型均衡相当于“把长的部分砍掉,砍到和短的一样长度”,非耗散型均衡是能量转移的方式,相当于“取长补短”。

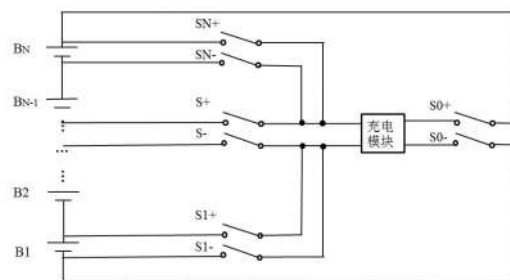


图6 一种基于继电器阵列的非耗散型均衡方案

如上图,将电池组的正负极通过继电器接入到充电模块的输入端(在实际使用过程中可以加入多个充电模块以便同时对多个电池进行均衡,充电模块为DC/DC),转换完成后通过继电器接到单体电池上,继电器均由单片机控制,决定具体的电池号码,达到均衡的效果。

3 基于深度网络的SOC估算

3.1 SOC定义

SOC指电池剩余电量,常用百分比表示,可以用公式(3)表示:

$$SOC = \frac{Q_{remain}}{Q_{rated}} \times 100\% \quad (3)$$

Q_{rated} 是电池的额定容量, Q_{remain} 指剩余电量。在实际使用中, 由于各种因素影响, 电池可放出的最大容量不一定等于其额定容量, 往往会是一个变化值。

3.2 传统SOC估算

传统方法采用安时积分法结合开路电压法进行SOC估算。

安时(AH)法, 有时也称为库仑(CC)方法, 是一种通过基于初始SOC值, 计算动力电池放电一段时间后的电量 获取当前电池SOC的方法。具体计算过程如公式(4):

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{1}{Q_{rated}} \int_{t_0}^t I(t) dt \quad (4)$$

AH法估算SOC准确, 计算简单, 但是往往存在依赖于初始值和误差累计这两个问题:

开路电压法是通过测量开路电压获得SOC。开路电压法获得的电池SOC值是最为准确的, 但很可惜无法实时估算。

通过实验测得的数据拟合而成OCV-SOC曲线如图所示:

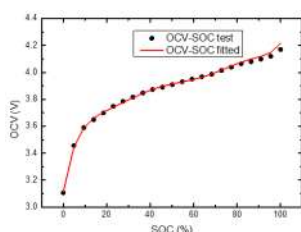


图7 实验拟合的OCV-SOC曲线

通常采用AH计量法和开路电压法相结合的方法估算SOC, 在系统刚刚开机的时候, 电池往往经过较长时间的搁置, 端电压近似于开路电压值, 通过开路电压法获取电池的初始SOC值, 后续再通过AH法估算SOC。

3.3 基于深度网络的SOC估算

神经网络模型可以从试验和错误之中进行学习, 从而提取出来数据之间的隐藏关系, 由神经元构成, 通过连接形成网络结构。

神经网络一般具有自主学习性, 高度非线性以及容错性等特点, 因而现在开始被用于电池建模之中。神经网络模型通常由输入层, 隐藏层, 输出层组成, 其中输入层通常由可测得的实验数据组成, 会影响电池SOC的因素主要由电压, 电流, 温度, 已释放容量和电池的循环次数(老化程度)这五个因素组成, 输出层是需要获得的SOC值, 中间层统统为隐藏层, 隐藏层的层数以及隐藏层神经元的个数由人工设定, 通常在一定范围内较深度的网络能够比较好地反映非线性关系, 具体的人工神经网络模型示意图如下图所示:

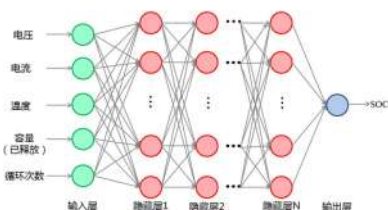


图8 用于SOC估算的神经网络模型示意图

设计实验来验证深度网络估算SOC的效果, 实验对象为湖北宣城新能源有限公司生产的编号为M7568215的锰酸锂电池(额定容量为10Ah, 充放电截止电压分别为4.2V和3V), 通过深圳新威电子生产的充放电柜进行充放电试验, 实验在武汉环视检测设备有限公司生产的可编程恒温箱里进行。实验

在20℃, 5A的条件下进行, 首先对空电状态的锰酸锂电池进行0.5倍率的充电, 在达到充电截止电压以后, 对其进行10分钟的搁置, 随后再进行0.5倍率的放电, 达到放电截止电压之后再进行一次10分钟的搁置, 然后再进行充放, 如此过程进行5次循环, 记录下该过程的电压, 电流, 容量等输入神经元参数, 输出神经元参数为电池SOC, 该SOC由充放电柜经过计算提供的AH计量值作为参考值。用实验中四次循环的数据为训练样本, 训练该神经网络模型, 然后用剩下一次循环的数据作为测试样本验证神经网络的预测效果, 实验如下图所示:

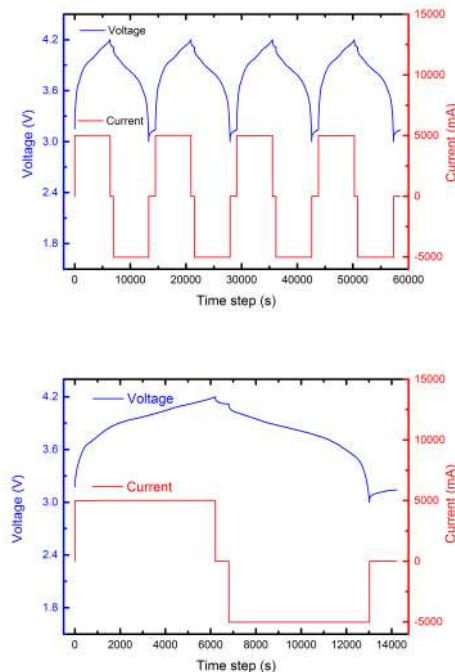
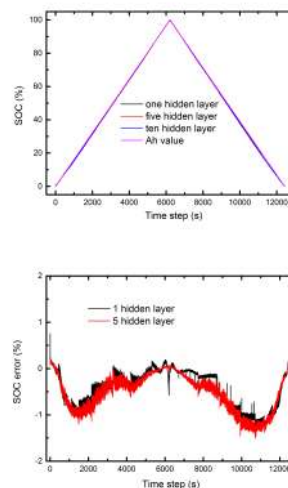


图9 模型训练用到的数据(图上)与模型预测用到的数据(图下)



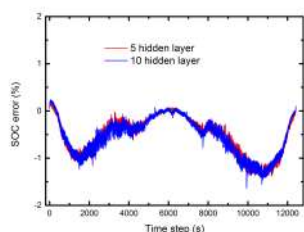


图10 1隐藏层与5隐藏层,10隐藏层估算结果(图上),1隐藏层与5隐藏层估算误差(图中),5隐藏层与10隐藏层估算误差(图下)

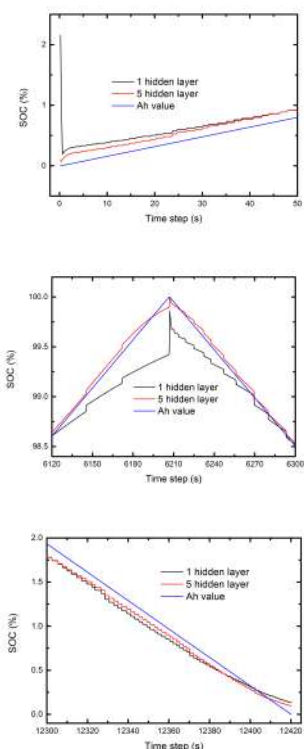


图11 开始过程估算结果比较(图上)中间过程估算结果比较(图中)结尾过程估算结果比较(图下)

结果分析上图所示。图9表示的是网络模型的训练数据样本以及用训练好的网络模型进行预测的实验数据。上边图为四个循环数据样本,下边图为一个循环的测试样本,图中显示了电池充放电实验中的电压和电流变化情况。图10与图11则表示了网络模型的结果。在运用神经网络估算电池SOC的时候,除了选择合适的输入神经元之外,另一点影响预测结果的重要因素就是神经网络隐藏层的设计。一般来说,隐藏层的层数越少,计算过程也就越简单,训练过程也就更容易收敛,但是同时往往也不能很好地反映非线性因素,相反如果隐藏层的层数越多,神经网络也就越复杂,往往能够更好地反映电池模型的复杂程度,更加贴近实际使用工况,但是同样地由于网络模型过于复杂,往往会加大计算量,而且无法保证训练一定能够达到收敛的效果,为了选定合适的网络模型,分别采用了单

隐藏层,五个隐藏层和十个隐藏层的神经网络模型进行训练,实验结果如图10和图11所示。

图10上边图表示网络模型的预测值和参考值(充放电测试仪提供的AH值)的曲线关系,可以看到无论哪种模型都能够很好地达到SOC估算效果,近乎切合于参考值,最大误差不超过2%。为了进一步探讨隐藏层数和预测效果的关系,中间图和下边图分别是单个隐藏层和五个隐藏层,五个隐藏层和十个隐藏层的估算误差,可以明显看出五个隐藏层的预测效果好于单个隐藏层,而随着隐藏层的增加,与十个隐藏层预测相比精度相近,已无明显提高,但是十个隐藏层的计算量与训练时间远远超过五个隐藏层,因此选用五个隐藏层的模型最为合适。图11更为清楚的表示在实验开始,由充电过程转变为放电过程,试验即将结束的时候,单个隐藏层和五个隐藏层的预测效果与参考值的比较。可以明显看出,五个隐藏层的网络模型更加贴近于参考值,并且波动较小,在充电转换为放电的时候也能够平和的过度,在稳定性和精确度上的表现都更加优于单个隐藏层。

基于深度网络的SOC估算方法,不仅精确度高,估算误差控制在2%以内,而且稳定性好,受到外界因素的影响较小,还能够实时估算,性能远远优于传统的SOC估算方法,具有较高的实用价值。

4 结论

本文讲述了采用飞思卡尔作为主控芯片,硬件上以光耦继电器,热敏电阻,霍尔传感器,DC/DC模块为主要元器件设计的一套成本低廉,性能优良的电池管理系统。在SOC估算方法,探索使用基于人工智能的深度神经网络,达到实时高精度估算SOC,对于电动汽车的发展具有较为重要的意义。

参考文献:

- [1] 蒋瑞斌, 谭理刚. 电动汽车的发展及面临的挑战[J]. 机械工程师, 2009(2):23-25.
- [2] 亢凤林, 李军民. 电动汽车发展分析[J]. 农业装备与车辆工程, 2008(11):63-65.
- [3] 岳仁超, 王艳. 电池管理系统设计[J]. 低压电器, 2010(3):31-34.
- [4] 安志胜, 孙志毅, 何秋生. 车用锂离子电池管理系统综述[J]. 电源技术, 2013(6):1069-1071.
- [5] 王涛, 齐铂金, 吴红杰. 基于DSP和OZ890的电池管理系统设计[J]. 微计算机信息, 2009, 25(7): 210-211.
- [6] 蒋原, 杜晓伟, 齐铂金. 基于Freescall单片机的电池管理系统设计[J]. 2011(1):164-167.
- [7] 谭晓军. 电动汽车电池管理系统设计[M]. 广州:中山大学出版社, 2011.
- [8] 谭晓军. 电池管理系统深度理论研究[M]. 广州:中山大学出版社, 2014.

【通联编辑:唐一东】