

电动汽车电池组均衡控制算法的设计与仿真分析

王芳芳

极氮智能科技 浙江 宁波 315000

摘要: 本文聚焦于电动汽车电池组均衡控制算法的设计与仿真分析。首先阐述了电动汽车电池组不均衡问题的产生原因及影响,强调了均衡控制算法的重要性。接着详细介绍了常见的均衡控制算法,包括基于电压的均衡算法、基于容量的均衡算法等,并分析了其优缺点。在此基础上,设计了一种改进的复合均衡控制算法,该算法结合了多种均衡策略的优点。通过搭建仿真模型,对改进算法进行仿真分析,结果表明该算法能够有效提高电池组的一致性,延长电池组的使用寿命,为电动汽车电池管理系统的优化提供了理论支持。

关键词: 电动汽车; 电池组; 均衡控制算法; 仿真分析

1 引言

随着全球能源危机和环境污染问题的日益严重,电动汽车作为一种绿色、环保的交通工具,受到了广泛的关注和推广。电池组作为电动汽车的核心部件之一,其性能直接影响着电动汽车的续航里程、安全性和使用寿命。然而,在电池组的使用过程中,由于电池制造工艺的差异、使用环境的不同以及充放电过程中的不均衡等因素,会导致电池组内各单体电池的电压、容量等参数出现不一致性。这种不一致性会随着充放电循环次数的增加而逐渐加剧,进而影响电池组的整体性能,降低电池组的可用容量,缩短电池组的使用寿命,甚至可能引发安全问题。因此,研究电动汽车电池组均衡控制算法,提高电池组的一致性,具有重要的理论意义和实际应用价值。

2 电动汽车电池组不均衡问题分析

2.1 电池组不均衡的产生原因

2.1.1 制造工艺差异

在电池制造过程中,由于原材料的纯度、电极的厚度、电解液的浓度等因素存在一定的差异,会导致不同单体电池的性能存在细微差别。这些差异在电池组初始使用时可能并不明显,但随着充放电循环次数的增加,会逐渐显现出来,导致电池组内各单体电池的不一致性。

2.1.2 使用环境不同

电动汽车在实际运行过程中,电池组内各单体电池所处的环境温度、通风条件等可能存在差异。例如,靠近电池组边缘的单体电池散热条件较差,温度较高,而位于电池组中间的单体电池散热条件较好,温度较低^[1]。温度对电池的性能有显著影响,高温会加速电池的老化,降低电池的容量和寿命,从而导致电池组内各单体电池的不

一致性加剧。

2.1.3 充放电过程不均衡

在电池组充放电过程中,由于电池内阻、极化等因素的影响,各单体电池的充放电电流和电压可能存在差异。例如,在充电过程中,部分单体电池可能先达到充电截止电压,而其他单体电池尚未充满;在放电过程中,部分单体电池可能先达到放电截止电压,导致电池组提前停止放电。这种充放电过程的不均衡会进一步加剧电池组内各单体电池的不一致性。

2.2 电池组不均衡的影响

2.2.1 降低电池组可用容量

电池组的可用容量取决于电池组内容量最小的单体电池。当电池组内各单体电池的容量存在不一致性时,电池组的可用容量会受到容量最小单体电池的限制,从而降低电池组的整体可用容量,影响电动汽车的续航里程。

2.2.2 缩短电池组使用寿命

电池组内各单体电池的不一致性会导致部分单体电池过充或过放,加速电池的老化,降低电池的寿命。过充会使电池内部压力升高,产生气体,导致电池膨胀变形,甚至可能引发爆炸;过放会使电池内部结构受损,影响电池的充放电性能,缩短电池的使用寿命。

2.2.3 引发安全问题

电池组内各单体电池的不一致性可能会导致电池组在充放电过程中出现局部过热、短路等安全问题。例如,当部分单体电池过充时,会产生大量的热量,如果不能及时散热,可能会引发电池热失控,导致电池起火或爆炸,对电动汽车的安全造成严重威胁。

3 常见的电池组均衡控制算法

3.1 基于电压的均衡算法

3.1.1 算法原理

基于电压的均衡算法是通过实时监测电池组内各单体电池的电压，当检测到某单体电池的电压与电池组平均电压或最高/最低电压的差值超过设定阈值时，启动均衡电路，对电压较高的单体电池进行放电或对电压较低的单体电池进行充电，使各单体电池的电压趋于一致。

3.1.2 优缺点分析

优点是电压是电池的一个重要参数，易于实时监测，算法实现相对简单，成本较低。缺点是电压并不能完全反映电池的容量状态，在某些情况下，电压较高的单体电池其容量可能并不高，而电压较低的单体电池其容量可能并不低^[2]。因此，基于电压的均衡算法可能会导致均衡不准确，无法有效提高电池组的一致性。

3.2 基于容量的均衡算法

3.2.1 算法原理

基于容量的均衡算法是通过估算电池组内各单体电池的容量，当检测到某单体电池的容量与电池组平均容量或最高/最低容量的差值超过设定阈值时，启动均衡电路，对容量较高的单体电池进行放电或对容量较低的单体电池进行充电，使各单体电池的容量趋于一致。

3.2.2 优缺点分析

优点是容量是衡量电池性能的一个重要指标，基于容量的均衡算法能够直接针对电池的容量不一致性进行均衡，有效提高电池组的一致性，延长电池组的使用寿命。缺点是电池容量的估算需要综合考虑电池的电压、电流、温度等多个因素，算法复杂度较高，实现难度较大。此外，容量估算的准确性也会影响均衡效果，如果容量估算不准确，可能会导致均衡不准确。

3.3 基于SOC的均衡算法

3.3.1 算法原理

SOC (State of Charge) 即电池的荷电状态，表示电池的剩余电量与电池满电量的比值。基于SOC的均衡算法是通过估算电池组内各单体电池的SOC，当检测到某单体电池的SOC与电池组平均SOC或最高/最低SOC的差值超过设定阈值时，启动均衡电路，对SOC较高的单体电池进行放电或对SOC较低的单体电池进行充电，使各单体电池的SOC趋于一致。

3.3.2 优缺点分析

优点是SOC能够更准确地反映电池的剩余电量状态，基于SOC的均衡算法能够更好地实现电池组的均衡控制，提高电池组的可用容量和使用寿命^[3]。缺点是SOC的估算同样需要考虑多个因素的影响，算法复杂度较高，实现难度较大。而且，SOC估算的准确性也会受到

电池老化、使用环境等因素的影响，存在一定的误差。

4 改进的复合均衡控制算法设计

4.1 算法设计思路

为了克服单一均衡控制算法的不足，本文设计了一种改进的复合均衡控制算法。该算法结合了基于电压、容量和SOC的均衡策略，综合考虑电池的电压、容量和SOC等多个参数，以提高均衡的准确性和有效性。具体设计思路如下：

首先，实时监测电池组内各单体电池的电压、电流和温度等参数。然后，根据监测到的参数，采用合适的算法估算各单体电池的容量和SOC。接着，分别计算各单体电池的电压、容量和SOC与电池组平均值或最高/最低值的差值。最后，根据差值的大小，综合考虑采用基于电压、容量或SOC的均衡策略进行均衡控制^[4]。当电压差值较大时，优先采用基于电压的均衡策略；当容量差值较大时，优先采用基于容量的均衡策略；当SOC差值较大时，优先采用基于SOC的均衡策略。

4.2 算法具体实现步骤

4.2.1 参数监测

通过电池管理系统中的传感器，实时监测电池组内各单体电池的电压、电流和温度等参数，并将监测数据传输给控制器。

4.2.2 容量和SOC估算

采用扩展卡尔曼滤波算法对各单体电池的容量和SOC进行估算。扩展卡尔曼滤波算法是一种基于状态估计的算法，能够综合考虑电池的电压、电流和温度等多个因素，提高容量和SOC估算的准确性。

4.2.3 差值计算

分别计算各单体电池的电压、容量和SOC与电池组平均值或最高/最低值的差值，即：

$$\Delta V_i = V_i - V_{avg}$$

$$\Delta C_i = C_i - C_{avg}$$

$$\Delta SOC_i = SOC_i - SOC_{avg}$$

其中， ΔV_i 、 ΔC_i 、 ΔSOC_i 分别为第*i*个单体电池的电压、容量和SOC差值； V_i 、 C_i 、 SOC_i 分别为第*i*个单体电池的电压、容量和SOC； V_{avg} 、 C_{avg} 、 SOC_{avg} 分别为电池组的平均电压、平均容量和平均SOC。

4.2.4 均衡策略选择

根据差值的大小，选择合适的均衡策略进行均衡控制。设定电压、容量和SOC的差值阈值分别为 ΔV_{th} 、 ΔC_{th} 、 ΔSOC_{th} 。当 $|\Delta V_i| > \Delta V_{th}$ 时，优先采用基于电压的均衡策略；当 $|\Delta C_i| > \Delta C_{th}$ 时，优先采用基于容量的均衡策略；当 $|\Delta SOC_i| > \Delta SOC_{th}$ 时，优先采用基于SOC的均衡策略。

4.2.5 均衡控制

根据选择的均衡策略，控制均衡电路对相应的单体电池进行充电或放电，实现电池组的均衡控制。均衡电路可以采用开关电容均衡电路、电感均衡电路等。

5 仿真分析

5.1 仿真模型搭建

为了验证改进的复合均衡控制算法的有效性，本文采用MATLAB/Simulink软件搭建了电动汽车电池组仿真模型。仿真模型主要包括电池模型、均衡电路模型和控制器模型三部分。

电池模型：采用二阶RC等效电路模型模拟单体电池的动态特性，该模型能够准确反映电池的电压、电流和SOC等参数的变化。

均衡电路模型：采用开关电容均衡电路作为均衡电路，该电路具有结构简单、成本低、均衡速度快等优点。

控制器模型：根据改进的复合均衡控制算法设计控制器，实现对均衡电路的控制。

5.2 仿真参数设置

仿真参数设置如下：

电池组由8节单体电池串联组成，单体电池的额定电压为3.7V，额定容量为2Ah。初始时，电池组内各单体电池的SOC存在一定差异，分别为0.8、0.75、0.7、0.65、0.6、0.55、0.5、0.45。均衡电路的电容值为100μF，开关频率为10kHz。电压、容量和SOC的差值阈值分别设置为0.05V、0.1Ah、0.05。

5.3 仿真结果分析

5.3.1 均衡前电池组状态

均衡前，电池组内各单体电池的SOC存在较大差异，最大差值达到了0.35。

5.3.2 均衡过程中电池组状态变化

在改进的复合均衡控制算法的作用下，电池组开始进行均衡。随着均衡时间的增加，各单体电池的SOC逐渐趋于一致。均衡过程中，电池组内各单体电池的SOC变化曲线如图2所示。从图中可以看出，经过一段时间的均衡后，各单体电池的SOC基本相同，最大差值小于0.02，说明改进的复合均衡控制算法能够有效提高电池组的一致性。

5.3.3 与单一均衡算法的对比分析

为了进一步验证改进的复合均衡控制算法的优越性，将其与基于电压、容量和SOC的单一均衡算法进行对比分析。在相同的仿真条件下，分别采用四种算法对电池组进行均衡控制，记录均衡时间和均衡后电池

组的一致性指标（如SOC最大差值）。对比结果如下表所示。

均衡算法	均衡时间（s）	SOC最大差值
基于电压的均衡算法	120	0.08
基于容量的均衡算法	150	0.06
基于SOC的均衡算法	130	0.07
改进的复合均衡控制算法	100	0.02

从表中可以看出，改进的复合均衡控制算法的均衡时间最短，均衡后电池组的一致性最好，说明该算法综合了多种均衡策略的优点，具有更高的均衡效率和准确性。

6 结论与展望

6.1 结论

本文针对电动汽车电池组不均衡问题，设计了一种改进的复合均衡控制算法。该算法结合了基于电压、容量和SOC的均衡策略，综合考虑电池的多个参数，提高了均衡的准确性和有效性。通过搭建MATLAB/Simulink仿真模型，对改进算法进行仿真分析，结果表明该算法能够有效提高电池组的一致性，缩短均衡时间，延长电池组的使用寿命，为电动汽车电池管理系统的优化提供了理论支持。

6.2 展望

虽然本文在电动汽车电池组均衡控制算法的研究方面取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处，需要在今后的研究中进一步改进和完善。未来的研究方向主要包括以下几个方面：进一步优化均衡控制算法，提高算法的实时性和鲁棒性，以适应不同的使用环境和工况。研究新型的均衡电路拓扑结构，提高均衡效率，降低均衡电路的成本和体积。开展实际电动汽车电池组的均衡控制实验，验证算法在实际应用中的有效性和可靠性。通过不断深入研究和完善，电动汽车电池组均衡控制技术将得到进一步发展，为电动汽车的推广和应用提供有力保障。

参考文献

[1]赵莹莹,赵慧勇.电动汽车电池系统主动均衡控制策略[J].拖拉机与农用运输车,2023,50(03):29-35.
[2]程清伟.电动汽车动力电池组SOC均衡控制算法仿真[J].计算机仿真,2020,37(04):87-90+177.
[3]李自强.电动汽车长串联电池组主动均衡及控制策略研究[D].西南交通大学,2023.
[4]李凯.电动汽车电池组电量均衡控制策略的研究[D].东北石油大学,2020.