

文章编号:1000-582X(2005)07-0001-04

电池均衡控制策略研究*

田锐,秦大同,胡明辉

(重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆 400030)

摘要:为了提高蓄电池的使用寿命,改善混合动力汽车的经济性和动力性,在对蓄电池的不均衡状况进行分析的基础上,建立了单体蓄电池的不均衡特性的模型和电池组能量分流充放电均衡控制的模型,并提出了蓄电池组的能量分流充放电控制策略.并进行了能量分流充放电控制策略的仿真计算,得到满意的结果.

关键词:混合动力汽车;电池;均衡系统;控制策略

中图分类号:TM912

文献标识码:A

混合动力汽车蓄电池多采用串联方式连接,由于各单块蓄电池在制造、初始容量、电压、内阻以及蓄电池组中各单块蓄电池的温度等方面均不完全相同^[1,2],在使用过程中,会造成某单块蓄电池的过充电和过放电现象,严重时会造成个别蓄电池的容量比其它蓄电池都低,在放电过程中,其电量首先放完.由于该蓄电池的电压低,又丧失了放电的能力,这时它就成为了一个用电器,其余尚有容量的蓄电池就串联起来给它充电,出现蓄电池的反极现象,使得整个蓄电池组不能够正常工作,同时对反极的蓄电池寿命造成极大的影响^[3,4].在充电过程中,首先放完电的蓄电池,又会首先被充满,这样就会出现过充电现象,使得整个蓄电池组不能正常被充满电.实际上一组蓄电池中的实际放出的容量是由实际容量最小的那块蓄电池所决定的,即该蓄电池容量告罄时,其他蓄电池无法继续工作.充电过程中也是如此.因此在混合动力汽车的储能蓄电池工作过程中,蓄电池间的不均衡性是影响蓄电池工作的一个非常有害的因素,对电池组进行均衡控制是十分有必要的^[5].

1 电池组不均衡情况分析

对于由多个单元电池连接组成的电池组来讲,单元电池电压不均衡的情况大致可以归纳为以下3种:1种,绝大部分单元电池是均衡的,个别的单元电压太高,如图1所示.2种,绝大部分单元电池是均衡的,个别的单元电池电压太低,如图2所示.3种,一部分单元电池的电压比平均值稍高,另外一部分比平均值稍低,如图3所示.

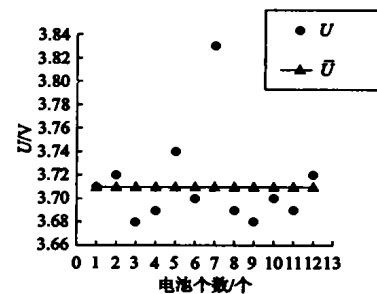


图1 电池组第一种不均衡情况

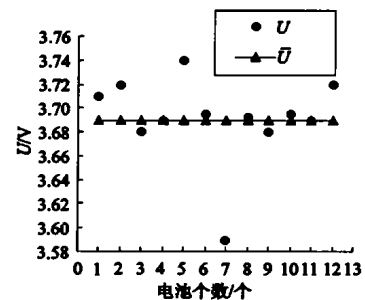


图2 电池组第二种不均衡情况

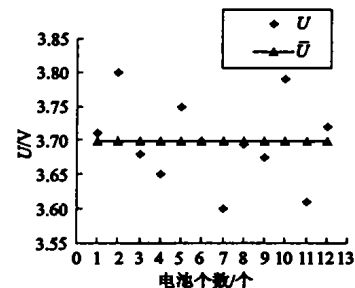


图3 电池组第三种不均衡情况

* 收稿日期:2005-03-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50475067)

作者简介:田锐(1971-),男,河南太康人,重庆大学硕士研究生,主要从事混合动力汽车的研究.

2 电池智能均衡控制的建模

2.1 单体电池的不均衡特性的建模

从对电池组不一致现象的分析来看, 电池组的不均衡特性主要表现为电池组中单体电池之间能量的不一致, 是单体电池之间能量差别的客观反映, 这种差别越大, 电池组的不均衡性越明显. 因此, 提出一种“基于电池能量状态的串联电池组不均衡度”的新概念来表征电池组具有一定不一致程度的特性. 基于能量状态(State of Energy, SOE)的串联电池组不均衡度是指在电池组中的单体电池同步老化的前提下, 由于单体电池之间能量状态的不同而导致工作能力不一致的程度.

在数理统计^[6]和实际经验基础上建立了基于SOE的串联电池组不均衡度模型. 式(1)和式(2)是描述串联电池组整体不均衡度的数学表达式, 其中式(1)用于单体电池的数目为偶数的串联电池组, 式(2)用于单体电池的数目为奇数的串联电池组.

$$\varepsilon_i = \sum_{i=1}^{n/2} (SOE_{\max} |_i - SOE_{\min} |_i) / \frac{n}{2}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_i = \sum_{i=1}^{\frac{n+1}{2}} (SOE_{\max} |_i - SOE_{\min} |_i) / \frac{n+1}{2}. \quad (2)$$

式中: ε_i ——电池组整体不均衡度.

2.2 电池能量分流充放电均衡控制的建模

由于电池的不均衡具有很强的随机性, 在电池组中既有可能存在剩余能量低的电池, 也有可能存在剩余能量高的电池, 因此高性能的均衡管理系统既要具备充电均衡功能也要具备放电均衡功能. 可见, 如果均衡系统仅有充电功能或仅有放电功能, 则很难达到理想的均衡效果. 例如, 在电池组中, 假设仅有个别电池剩余能量低于其他电池, 针对这些电池采用充电来均衡无疑是最佳的均衡措施. 若均衡系统中只有放电均衡功能, 则只能参照这些能量水平低的电池, 对大多数已经处于均衡状态的电池放电, 不仅均衡时间长, 均衡效率低, 而且如果对放出的能量不予高效回收又造成能量的浪费, 也不符合电动汽车高效节能的特点. 同理, 假设仅有个别电池剩余能量高于其它电池, 针对这些电池采用放电来均衡无疑是最佳的均衡措施. 若均衡系统中只有充电均衡功能, 只能对大多数已经处于均衡状态的电池充电, 均衡时间长, 速度慢.

基于上述考虑, 提出一种用于电动汽车串联电池组中单体电池之间能量均衡管理的能量分流充放电控制模型, 如图4.

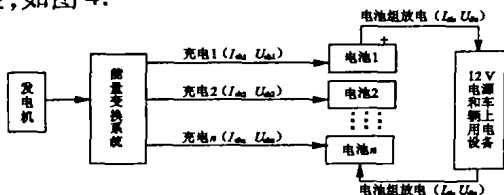


图4 能量分流充放电控制模型的基本原理

在图中:

I_{dis} ——用于均衡的放电电流;

U_{dis} ——用于均衡的放电电压;

I_{chi} ——用于第 i 只电池均衡的充电电流;

U_{chi} ——用于第 i 只电池均衡的充电电压.

上图表明了能量分流充放电控制模型中能量的流动匹配原理. 在该模型中为每个单体电池配备了一个独立的充电单元, 所有充电单元的能量都是由发电机发电的能量经能量变换而来, 电池能量再经过转换放电给 12 V 电源和车辆上用电设备供电, 形成分流支路流动. 根据原理, 该模型中用于均衡的放电功率为 W_{dis} , 而用于均衡的充电功率为 W_{ch} , 如式(3)和式(4)所示.

$$W_{dis} = I_{dis} U_{dis}, \quad (3)$$

$$W_{ch} = \sum_{i=1}^n I_{chi} U_{chi}. \quad (4)$$

如果忽略能量在线路中流动的损失和能量转换装置的效率损失, 则用于均衡的放电功率与用于均衡的充电功率有三种情况:

当用于均衡的放电功率小于用于均衡的充电功率, 依据此原理建立的均衡能量方程为:

$$W_{dis} < W_{ch}.$$

这时电池组能量增加, 这只适用于电池组能量较低, 电池组处于充电的情况, 满足电池组能量需求.

当用于均衡的放电功率大于用于均衡的充电功率, 依据此原理建立的均衡能量方程为:

$$W_{dis} > W_{ch}.$$

这时电池组能量减少, 这只适用于电池组能量较高, 电池组处于放电的情况, 满足混合动力汽车能量需求.

当用于均衡的放电功率等于用于均衡的充电功率, 依据此原理建立的均衡能量方程为:

$$W_{dis} = W_{ch},$$

亦即

$$I_{dis} U_{dis} = \sum_{i=1}^n I_{chi} U_{chi}. \quad (5)$$

这时电池组能量处于动态平衡, 即电池组能量不增加也不减少, 仅仅可以实现电池组中单体电池的能量均衡.

根据电流关系, 又可将以上3种情况的每一种情况细分成下面3种状态:

对于放电电流等于充电电流的单体电池, 有

$$I_{dis} = I_{chi}.$$

该电池的放电能量也等于充电能量, 在忽略电池的充放电效率的差异的前提下, 该电池的能量也将保持动态平衡而不发生变化.

对于放电电流小于充电电流的单体电池, 有

$$I_{dis} < I_{chi}$$

该电池的放电能量将小于充电能量,在忽略电池的充放电效率的差异的前提下,该电池的能量将会不断增加. 放电电流比充电电流越小,则该电池获得的充电能量越大,能量增加的速度越快.

对于放电电流大于充电电流的单体电池,有

$$I_{dis} > I_{chi}$$

该电池的放电能量将大于充电能量,在忽略电池的充放电效率的差异的前提下,该电池的能量将会不断减少. 放电电流比充电电流越大,则该电池实际放出的能量越大,能量减少的速度越快.

依据上面的分析,在能量的流动过程中,一方面,通过整组电池的放电产生放电均衡的能量. 在放电均衡的过程中,尽管所有电池的放电电流相同,但是剩余能量高的电池由于电动势高,实际放出的能量也多,也就是说,该电池的放电能量在所有用于放电均衡的能量中所占的比例就越高,反之亦然. 另一方面,发电机产生的能量又经过能量的变换,通过独立的充电系统为单体电池分别补充能量. 在充电均衡的过程中,剩余能量低的电池由于电动势低而使得充电电流大,根据式(4),该电池得到的充电能量就越大,也就是说,该电池的充电能量在所有用于充电均衡的能量中所占的比例就越高,反之亦然.

3 能量分流充放电控制策略

根据能量分流充放电控制模型,提出了一种能量分流充放电控制策略,该策略的工作原理:根据电池监测系统提供的数据可以实时地计算电池的不均衡度,掌握电池组的不一致状态变化的趋势,从而及时确定合理的接受充电均衡的电池的数目和均衡充放电力度. 利用高频变压器的匝比调节和占空比调节,既可以控制放电均衡的强度,还可以控制充电电压的高低,从而达到选择充电均衡对象和控制均衡力度的目的,这样就实现了动态均衡充放电的智能控制.

如果所有单体电池采用的充放电均衡的线路和参数都完全相同,则均衡能量的分配和流动仅仅取决于单体电池的能量状态. 剩余能量越少,该电池的充进能量越多,放出能量越少;剩余能量越多,该电池的充进能量越少,放出能量越多. 既不会出现所有电池能量都下降的现象,也不会出现所有电池能量都上升的现象. 其中一致性较好的电池其剩余能量状态始终动态地保持着较好的一致性. 而在一致性差的电池中,剩余能量高的电池在均衡的过程中充电的能量小于放出的能量,甚至充电的能量等于小于零,均衡的结果是能量快速放出从而趋近于一致性较好的电池;剩余能量低的电池在均衡的过程中充电的能量大于放出的能量,均衡的结果是能量快速得到补充从而趋近于一致性较好的电池. 实际的均衡效果是放电能量从能量高的电池

流向 12 V 电源和车辆上用电设备,而减少动力电池组给它们提供的能量,这些能量又提供给能量低的电池充电,宏观上表现为电池组的能量在所有单体电池之间实现了均衡分布和调整. 因此,该模型能够根据单体电池能量状态的高低差别实现电池组能量的自动、按比例流动和分配,能量均衡的过程具有高度的智能性.

4. 能量分流充放电控制策略仿真结果

根据电池能量分流充放电均衡控制建模的 3 种情况,对一组(3 个)12V 40Ah 的铅酸蓄电池进行能量均衡仿真,仿真模型如图 5,电机模型控制根据电池采集系统的信号(电池组不均衡度、各单体电池的电压等)来判断电机的输出总功率;能量转换系统根据电机输出功率和电池组不均衡度,利用高频变压器的匝比调节和占空比调节,控制放电均衡的强度和各个电池单体的充电电压,电池组放电给 12 V 电源和车辆上用电设备,进而实现电池组能量均衡. 通过改变 12 V 电源和车辆上用电设备的负载来模拟充放电功率的 3 种关系,得到以下结果:

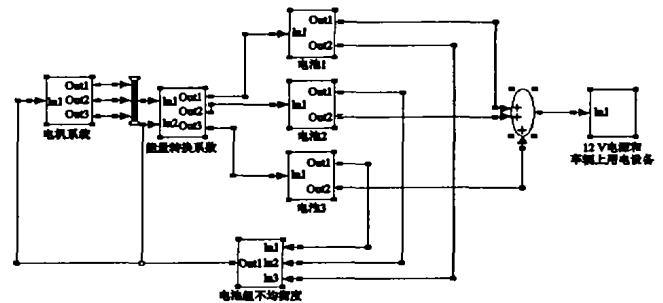


图 5 12V 40Ah 的铅酸蓄电池能量均衡仿真模型

当用于均衡的放电功率小于用于均衡的充电功率的情况,由于放电功率小于充电功率,因此电池单体均衡能量上升,反映到电池单体均衡电压升高,如图 6.

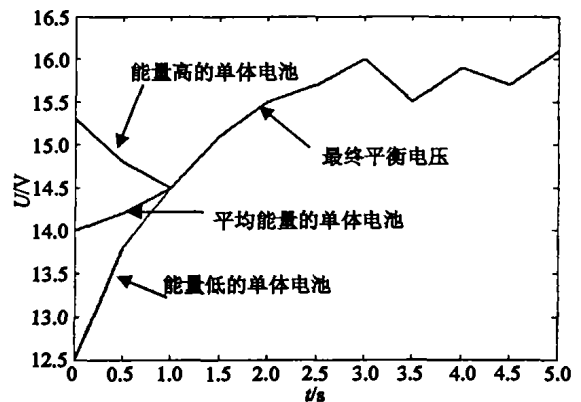


图 6 系统放电功率小于充电功率

当用于均衡的放电功率大于用于均衡的充电功率的情况,由于放电功率大于充电功率,因此电池单体均衡能量下降,反映到电池单体均衡电压降低,如图 7.

当用于均衡的放电功率等于用于均衡的充电功率

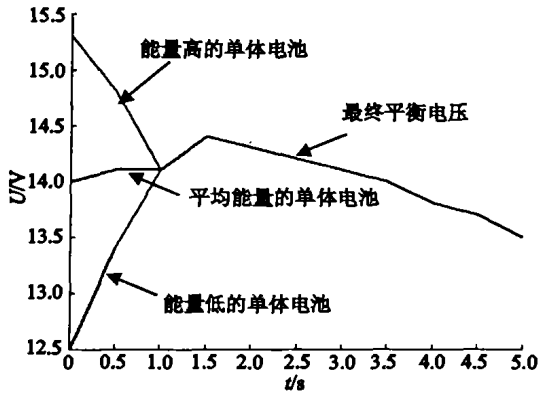


图7 系统放电功率大于充电功率

情况,由于放电功率等于充电功率,因此电池组单体均衡能量动态不变,反映到电池单体均衡电压最后稳定在某个值上,如图8.

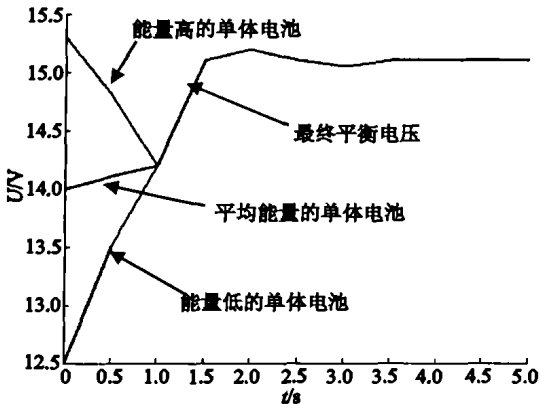


图8 系统放电功率等于充电功率

5 结论

1) 将单元电池电压不均衡现象归纳为3种情况:绝大部分单元电池是均衡的,个别的单元电压太高;绝

大部分单元电池是均衡的,个别的单元电池电压太低;部分单元电池的电压比平均值稍高,另外一部分比平均值稍低.

2) 引入了“基于电池能量状态的串联电池组不均衡度”的新概念,并建立了电池能量分流充放电均衡控制的模型.

3) 根据能量分流充放电控制模型的原理分析,提出了一种能量分流充放电均衡控制策略.

4) 应用电池能量分流充放电均衡控制策略对电池能量分流充放电均衡控制的建模的3种情况进行仿真,证明了电池能量分流充放电均衡控制策略可以实现电池组能量的自动、按比例流动和分配,能量均衡的过程具有高度的智能性.

参考文献:

- [1] 马友良,陈全世.混合动力电动汽车用蓄电池不一致的影响分析[J].汽车电器,2001,21(2):5-10.
- [2] 王震坡,孙逢春,张承宁.电动汽车动力蓄电池组不一致性统计分析[J].电源技术,2003,27(5):438-442.
- [3] YUANG SHUNG LEE, MEMBER IEEE, MING-WANG, et al. Cell Equalization Scheme with Energy Transferring Capacitance for Series Connected Battery Strings [J]. IEEE Tencon, 2002,34(6):2 042-2 045.
- [4] ALLAN COOPER, ELIOT CROWE, MIKE KELLAWAY, et al. The Development and Testing of a Lead-Acid Battery System for a Hybrid Electric Vehicle [J]. SAE, 2003,45(5):2 276-2 288.
- [5] 胡明辉.混合动力汽车 NiMH 蓄电池能量管理系统研究,硕士学位论文[D].重庆:重庆大学,2003.
- [6] 孙荣恒,伊亨云,刘琼荪,等.概率论和数理统计[M].重庆:重庆大学出版社,2000.

Controlling Strategy Research on Batteries Imbalance

TIAN Rui, QIN Da-tong, HU Ming-hui

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In order to increase using time of the batteries, and improve the hybrid electrical vehicles' economical and dynamic performance. By analyzing imbalance instances of the batteries, the battery characteristic mode of batteries imbalance dynamic performance is built, and the energy diffluent charge and discharge modes about controlling batteries imbalance degrees are put forward. Consequently, the energy diffluent charge and discharge controlling strategys of batteries imbalance degrees are advanced, and simulation calculation is processed, good-result is received.

Key words: hybrid electric vehicle; battery; balance system; controlling strategy

(编辑 成孝义)