

# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102664440 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 12

(21) 申请号 201210154643. 2

(22) 申请日 2012. 05. 18

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路 28 号

(72) 发明人 刘方诚 刘进军 张斌 张昊东

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200

代理人 田洲

(51) Int. Cl.

H02J 7/00 (2006. 01)

H02J 15/00 (2006. 01)

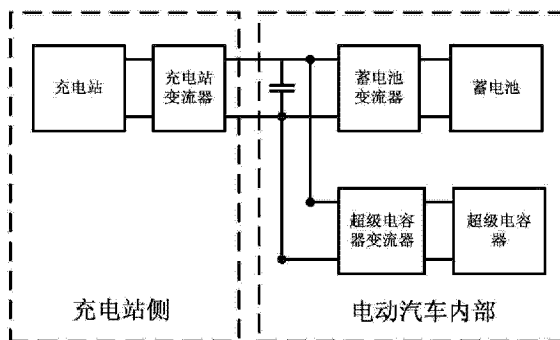
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

## (54) 发明名称

基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速  
充电控制方法

## (57) 摘要

本发明提供基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法, 首先将蓄电池电流控制成可调制的周期性的正负交替脉冲电流来实现快速充电, 其次利用超级电容器来吸收在蓄电池放电的时候回馈至直流母线的能量, 防止直流母线电压泵升, 最后在蓄电池充电时, 通过调节超级电容器的输出电流来实现对于超级电容器存储能量的控制, 以免超级电容器的电压超过装置耐受上限, 其中对于超级电容器控制器的控制采用滑模控制方法, 减少工作点变化对于系统性能的影响。从仿真结果中可以看到, 本发明能够很好地控制蓄电池电流使其形成正负脉冲, 并且满足直流母线电压的稳定以及对于超级电容器端电压的控制。



1. 基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一,根据预先设定的蓄电池充电电流波形曲线,控制蓄电池变流器以周期性正负脉冲电流 $i_{batt+}^*$ 以及 $i_{batt-}^*$ 对蓄电池进行充电,其中 $i_{batt+}^*$ 为蓄电池充电脉冲的幅值,充电脉冲的占空比为 $D_P$ , $i_{batt-}^*$ 为放电脉冲的幅值,放电脉冲的占空比为 $D_N$ ;

步骤二,在充电站变流器控制回路,将直流母线电压参考值 $v_{dc}^*$ 与直流母线电压瞬时值 $v_{dc}$ 相减,送入电压调节器,得到充电站变流器的电流指令 $i_{station}^*$ ;

步骤三,将充电站变流器电流指令 $i_{station}^*$ 与充电站变流器电流瞬时值 $i_{station}$ 相减,将差值送入电流调节器,得到充电站变流器控制调制波,与PWM调制器的载波做比较得到充电站变流器驱动信号;

步骤四,在超级电容器变流器控制回路,将直流母线电压参考值 $v_{dc}^*$ 与直流母线电压瞬时值 $v_{dc}$ 相减,得到差值 $\Delta v_{dc}$ ,乘以比例系数 $K$ ,得到超级电容变流器的电流环指令 $i_{SC}^*$ ,比例系数 $K$ 的取值大于10;

步骤五,将超级电容器变流器电流环指令 $i_{SC}^*$ 送入饱和环节进行限幅,然后与超级电容器变流器电流瞬时值 $i_{SC}$ 相减,得到差值 $\Delta i_{SC}$ ;

步骤六,利用步骤四与步骤五之中得到的 $\Delta v_{dc}$ 和 $\Delta i_{SC}$ 之和送入积分饱和环节,计算得出超级电容变流器的调制信号 $M$ ,计算公式如下:

$$M=K_1 \Delta v_{dc}+K_2 \Delta i_{SC}+K_3 \int (\Delta v_{dc}+\Delta i_{SC}) dt \quad (1)$$

其中 $K_1, K_2, K_3$ 的系数取值为正数;

步骤七,测量超级电容器的端电压 $v_{SC}$ 进行滞环逻辑判断,根据超级电容器的端电压 $v_{SC}$ 来改变步骤五之中的超级电容变流器电流参考值的饱和值,当超级电容器的端电压 $v_{SC}$ 高于超级电容器的端电压的上限值 $v_{SC\_HI}$ ,则将步骤五之中的饱和环节下限值设置为 $-i_{SC-set}$ ;当超级电容器的端电压 $v_{SC}$ 低于超级电容器的端电压的下限值 $v_{SC\_LO}$ ,则将步骤五之中的饱和环节下限值设置为0;其中需要满足关系:

$$\left| i_{SC-set} \right| > \left| \frac{i_{batt-}^* \times v_{batt} \times D_P}{v_{SC} \times (1 - D_P - D_N)} \right| \quad (2)$$

该公式之中, $D_P$ 表示充电脉冲的占空比, $i_{batt-}^*$ 表示放电脉冲的幅值, $D_N$ 表示放电脉冲的占空比, $v_{batt}$ 是蓄电池端电压, $v_{SC}$ 是超级电容器端电压。

2. 根据权利要求1所述的基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法,其特征在于,充电站变流器为单向变流器,只能将能量从充电站向电动汽车传递,无法反向回馈。

3. 根据权利要求1所述的基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法,其特征在于,步骤六中电压饱和环节上限值为0,即超级电容器变流器控制回路电压环在直流母线瞬时电压 $v_{dc}$ 低于直流母线电压参考值 $v_{dc}^*$ 时输出值恒为0。

## 基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法

### 【技术领域】

[0001] 本发明涉及新能源(电动汽车)技术领域,特别涉及利用混合储能装置实现电动汽车蓄电池正负脉冲快速充电的控制方法。

### 【背景技术】

[0002] 自上世纪 70 年代以来,能源与环保逐渐成为世界主流关注的焦点之一。随着能源消耗的不断增加以及环境污染问题的日益严重,世界各国对开始实施有针对性的节能减排计划,其中如何限制汽车尾气基本成为每一个国家所需要面对并有待解决的问题。电动汽车因其低排放,低噪音的特点而备受瞩目,被认为是传统的燃油汽车的最佳替代品。

[0003] 然而目前在电动汽车的应用与研究当中,有两个较为明显的瓶颈制约着电动汽车的广泛普及:一是蓄电池的寿命,除了不断的改进电池所采用的材料以外,在已有的研究之中,将多种储能装置根据其不同的特性组合使用的混合储能系统也可以有效的改善蓄电池的工作条件,延长蓄电池的使用寿命;另一个是蓄电池较长的充电时间,会影响电动汽车的正常行驶。在当前充电终端普及率低的情况下,影响到了电动汽车的市场推广。

[0004] 通过文献检索发现,针对如何缩短蓄电池充电时间的问题,研究人员通过将蓄电池电流控制成周期性正负脉冲电流实现快速充电。最初的充电器设计之中,采用附加放电电阻来实现负向脉冲。部分研究方案采用附加磁性元器件来实现能量回馈,提升效率,但是在大功率场合情况下,所需磁性元件的体积和重量都会影响电动汽车的整体性能。还有部分研究方案是采用双向变流器来实现能量回馈,这种方案在大功率场合下也存在弊端,即回馈至直流母线的能量会引起直流母线电压泵升,影响控制效果,甚至是影响系统稳定性。

[0005] 以下给出检索的相关文献:

[0006] [1]W. B. BurLen and J. H. Big, U. S. patent No. 3597613.

[0007] [2]W. B. BdetandR. V. Ladrson, U. S. Patent No. 3614583.

[0008] [3]C. C. Hua and M. Y. Lin, "A Study of Charging Control of Lead-Acid Battery for Electric Vehicles," International Symposium on Industrial Electmnies, ISIE 2000, pp. 135-140.

[0009] [4]Hsieh, Y. C. ;Moo, C. S. ;Wu, C. K. ;Cheng, J. C. ;, "A non-dissipative reflex charging circuit," Telecommunications Energy Conference, 2003. INTELEC' 03. The 25th International, vol. , no. , pp. 679-683, 23-23Oct. 2003

[0010] [5]Tseng, K. C. ;Liang, T. J. ;Chen, J. F. ;Chang, M. T. , "High frequency positive/negative pulse charger with power factor correction," Power Electronics Specialists Conference, 2002. pesc 02. 2002IEEE 33rdAnnual, vol. 2, no. , pp. 671-675v ol. 2, 2002

[0011] [6]Cheng, P. H. ;Chen, C. L. ;, "High efficiency and nondissipative fast charging strategy," Electric Power Applications, IEE Proceedings-, vol. 150, no. 5, pp. 539-545, 9Sept. 2003

[0012] [7] Wang, J. B. ; Chuang, C. Y., "Design considerations of microprocessor-controlled multiphase battery charger with fast-charging strategy," Electric Power Applications, IET, vol. 1, no. 2, pp. 143-152, March 2007

### 【发明内容】

[0013] 针对上述现有理论与技术上存在的缺陷或不足,本发明的目的在于提出一种基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法。该控制方法可在不附加额外装置的情况下,实现对于蓄电池的正负脉冲充电,电流脉冲的幅值、频率以及占空比均可以按电池类型调制,另外有效的维持了直流母线电压,同时可以通过调整超级电容器的电流限幅值来调整超级电容器的能量,维持系统稳定。

[0014] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0015] 基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电的控制方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0016] 步骤一,根据预先设定的蓄电池充电电流波形曲线,控制蓄电池变流器以周期性正负脉冲电流  $i_{batt+}^*$  以及  $i_{batt-}^*$  对蓄电池进行充电,其中  $i_{batt+}^*$  为蓄电池充电脉冲的幅值,充电脉冲的占空比为  $D_p$ ,  $i_{batt-}^*$  为放电脉冲的幅值,放电脉冲的占空比为  $D_N$ ;

[0017] 步骤二,在充电站变流器控制回路,将直流母线电压参考值  $v_{dc}^*$  与直流母线电压瞬时值  $v_{dc}$  相减,送入电压调节器,得到充电站变流器的电流指令  $i_{station}^*$ ;

[0018] 步骤三,将充电站变流器电流指令  $i_{station}^*$  与充电站变流器电流瞬时值  $i_{station}$  相减,将差值送入电流调节器,得到充电站变流器控制调制波,与 PWM 调制器的载波做比较得到充电站变流器驱动信号;

[0019] 步骤四,在超级电容器变流器控制回路,将直流母线电压参考值  $v_{dc}^*$  与直流母线电压瞬时值  $v_{dc}$  相减,得到差值  $\Delta v_{dc}$ ,乘以比例系数  $K$ ,得到超级电容变流器的电流环指令  $i_{sc}^*$ ,比例系数  $K$  的取值大于 10;

[0020] 步骤五,将超级电容器变流器电流环指令  $i_{sc}^*$  送入饱和环节进行限幅,然后与超级电容器变流器电流瞬时值  $i_{sc}$  相减,得到差值  $\Delta i_{sc}$ ;

[0021] 步骤六,利用步骤四与步骤五之中得到的  $\Delta v_{dc}$  和  $\Delta i_{sc}$  之和送入积分饱和环节,计算得出超级电容变流器的调制信号  $M$ ,计算公式如下:

$$[0022] \quad M = K_1 \Delta v_{dc} + K_2 \Delta i_{sc} + K_3 \int (\Delta v_{dc} + \Delta i_{sc}) dt \quad (1)$$

[0023] 其中  $K_1, K_2, K_3$  的系数取值为正数;

[0024] 步骤七,测量超级电容器的端电压  $v_{sc}$  进行滞环逻辑判断,根据超级电容器的端电压  $v_{sc}$  来改变步骤五之中的超级电容变流器电流参考值的饱和值,当超级电容器的端电压  $v_{sc}$  高于超级电容器的端电压的上限值  $v_{sc\_HI}$ ,则将步骤五之中的饱和环节下限值设置为  $-i_{sc\_set}$ ;当超级电容器的端电压  $v_{sc}$  低于超级电容器的端电压的下限值  $v_{sc\_LO}$ ,则将步骤五之中的饱和环节下限值设置为 0;其中需要满足关系:

$$[0025] \quad \left| i_{SC-set} \right| > \left| \frac{i_{batt-} \times v_{batt} \times D_P}{v_{SC} \times (1 - D_P - D_N)} \right| \quad (2)$$

[0026] 该公式之中,  $D_P$  表示充电脉冲的占空比,  $i_{batt-}^*$  表示放电脉冲的幅值,  $D_N$  表示放电脉冲的占空比,  $v_{batt}$  是蓄电池端电压,  $v_{SC}$  是超级电容器端电压。

[0027] 本发明进一步的改进在于: 为方便功率测量以及计费, 充电站变流器为单向变流器, 只能将能量从充电站向电动汽车传递, 无法向回馈充电站回馈能量。

[0028] 本发明进一步的改进在于: 步骤六中电压饱和环节上限值为 0, 即超级电容器变流器控制回路电压环在直流母线瞬时电压  $v_{dc}$  低于直流母线电压参考值  $v_{dc}^*$  时输出值恒为 0。

[0029] 本发明进一步的改进在于: 步骤六中超级电容变流器的调制信号由公式(1)生成。

$$[0030] \quad M = K_1 \Delta v_{dc} + K_2 \Delta i_{SC} + K_3 \int (\Delta v_{dc} + \Delta i_{SC}) dt \quad (1)$$

[0031] 与现有技术相比, 本发明具有以下有益效果: 本发明提供基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法, 首先将蓄电池电流控制成可调制的周期性的正负交替脉冲电流来实现快速充电, 其次利用超级电容器来吸收在蓄电池放电的时候回馈至直流母线的能量, 防止直流母线电压泵升, 最后在蓄电池充电时, 通过调节超级电容器的输出电流来实现对于超级电容器存储能量的控制, 以免超级电容器的电压超过装置耐受上限, 其中对于超级电容器控制器的控制采用滑模控制方法, 减少工作点变化对于系统性能的影响。从仿真结果中可以看到, 本发明能够很好地控制蓄电池电流使其形成正负脉冲, 并且满足直流母线电压的稳定以及对于超级电容器端电压的控制。

### 【附图说明】

[0032] 图 1 为基于混合储能系统的电动汽车充电系统结构图;

[0033] 图 2 为充电站变流器的控制框图;

[0034] 图 3 为蓄电池电流参考波形;

[0035] 图 4 为蓄电池变流器的控制框图;

[0036] 图 5 为超级电容器控制回路中的滞环逻辑比较图;

[0037] 图 6 为超级电容器变流器的控制框图;

[0038] 图 7 为 A 工况下直流母线电压, 蓄电池电流, 超级电容器电压的仿真波形图;

[0039] 图 8 为 B 工况下直流母线电压, 蓄电池电流, 超级电容器电压的仿真波形图;

[0040] 图 9 为 C 工况下直流母线电压, 蓄电池电流, 超级电容器电压的仿真波形图。

### 【具体实施方式】

[0041] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述。

[0042] 参照图 1, 基于混合储能系统的电动汽车充电系统包含蓄电池, 超级电容器, 充电站变流器, 蓄电池变流器和超级电容器变流器。通常情况下, 为了方便功率测量以及计费, 充电站变流器是单向变流器, 即只能向电动汽车提供能量而无法向充电站回馈能量, 图 2 表示的是充电站变流器的控制框图, 将直流母线电压参考值  $v_{dc}^*$  与直流母线电压瞬时值

$v_{dc}$  相减,送入电压调节器,得到充电站变流器的电流指令  $i_{station}^*$ 。将充电站变流器电流指令  $i_{station}^*$  与充电站变流器电流瞬时值  $i_{station}$  相减,将差值送入电流调节器,得到充电站变流器控制调制波,与 PWM 调制器的载波做比较得到充电站变流器驱动信号。蓄电池所采用的正负脉冲充电电流如图 3,正脉冲为充电脉冲,充电脉冲幅值为  $i_{batt+}^*$ ,充电脉冲的占空比为  $D_p$ ,负脉冲为放电脉冲, $i_{batt-}^*$  为放电脉冲的幅值,放电脉冲的占空比为  $D_n$ 。蓄电池变流器的控制框图如图 4,蓄电池变流器被控制来实现图 3 所示的充电电流波形,具体实现步骤是将蓄电池的如图 3 所示的充电电流波形参考值与蓄电池的瞬时电流  $i_{batt}$  相减,将差值送入调节器,生成蓄电池变流器控制调制波,与 PWM 调制器的载波做比较得到充电站变流器驱动信号。

[0043] 然而在充电过程中,蓄电池需要向直流母线回馈部分能量,如果这部分能量不能被及时吸收,那么直流母线电压就会泵升,影响到系统的稳定性。为了解决这个问题,超级电容器被控制吸收蓄电池向直流母线回馈的能量,维持系统稳定性。如此同时,为了限制超级电容器的能量不超过所能承受的上限值,还需要对于超级电容器的储能状态进行判断,为避免系统控制结构的频繁变化,采用如图 5 的滞环逻辑比较,当超级电容器的端电压  $v_{sc}$  高于超级电容器的端电压的上限值  $v_{sc\_HI}$ ,则将步骤五之中的饱和环节下限值设置为  $-i_{sc\_set}$ ;当超级电容器的端电压  $v_{sc}$  低于超级电容器的端电压的下限值  $v_{sc\_LO}$ ,则将饱和环节下限值设置为 0;改变超级电容器放电电流的限幅值。从而在蓄电池吸收能量的过程之中,控制超级电容器变流器来释放部分能量,从而达到控制超级电容器电压的目的,具体控制框图如图 6。

[0044] 图 7,图 8,图 9 分别为在三种工况 A、B、C 下的仿真波形,各工况参数如下:

[0045] 1.  $i_{batt+}^*$  为 1.4C,  $D_p$  为 0.5,  $i_{batt-}^*$  为 -1.7C,  $D_n$  为 0.1,周期为 200ms;

[0046] 2.  $i_{batt+}^*$  为 1.4C,  $D_p$  为 0.6,  $i_{batt-}^*$  为 -2.1C,  $D_n$  为 0.15,周期为 500ms;

[0047] 3.  $i_{batt+}^*$  为 0.7C,  $D_p$  为 0.5,  $i_{batt-}^*$  为 -1C,  $D_n$  为 0.15,周期为 500ms;

[0048] 其中  $i_{batt+}^*$  蓄电池充电脉冲的幅值,充电脉冲的占空比为  $D_p$ ,  $i_{batt-}^*$  为放电脉冲的幅值,放电脉冲的占空比为  $D_n$ , C 是表示蓄电池的容量。

[0049] 仿真系统的控制参数如下:

[0050]  $K = 50, K_1 = K_2 = K_3 = 10$ ;

[0051] 从仿真结果可以看出,无论是在哪一种工况下,蓄电池电流实现了预先设计的正负脉冲电流充电曲线,验证了本控制方法的波形可调制性,与此同时直流母线电压维持恒定,超级电容器电压值也被限定在了一定范围之内,避免了对于系统稳定性的影响。

[0052] 本发明提出一种基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法,包括以下步骤:

[0053] 步骤一,根据预先设定的蓄电池充电电流波形曲线,控制蓄电池变流器以周期性正负脉冲电流  $i_{batt+}^*$  以及  $i_{batt-}^*$  对蓄电池进行充电,其中  $i_{batt+}^*$  蓄电池充电脉冲的幅值,充电脉冲的占空比为  $D_p$ ,  $i_{batt-}^*$  为放电脉冲的幅值,放电脉冲的占空比为  $D_n$ ;

[0054] 步骤二,在充电站变流器控制回路,将直流母线电压参考值  $v_{dc}^*$  与直流母线电压瞬时值  $v_{dc}$  相减,送入电压调节器,得到充电站变流器的电流指令  $i_{station}^*$ ;

[0055] 步骤三,将充电站变流器电流指令 $i_{station}^*$ 与充电站变流器电流瞬时值 $i_{station}$ 相减,将差值送入电流调节器,得到充电站变流器控制调制波,与PWM调制器的载波做比较得到充电站变流器驱动信号;

[0056] 步骤四,在超级电容器变流器控制回路,将直流母线电压参考值 $v_{dc}^*$ 与直流母线电压瞬时值 $v_{dc}$ 相减,得到差值 $\Delta v_{dc}$ ,乘以比例系数K,得到超级电容变流器的电流环指令 $i_{SC}^*$ ,比例系数K的取值应该要远大于10;

[0057] 步骤五,将超级电容器变流器电流环指令 $i_{SC}^*$ 送入饱和环节进行限幅,然后与超级电容器变流器电流瞬时值 $i_{SC}$ 相减,得到差值 $\Delta i_{SC}$ ;

[0058] 步骤六,利用步骤四与步骤五之中得到的 $\Delta v_{dc}$ 和 $\Delta i_{SC}$ 之和送入积分饱和环节,计算得出超级电容变流器的调制信号M,计算公式如下:

$$[0059] \quad M=K_1 \Delta v_{dc}+K_2 \Delta i_{SC}+K_3 \int (\Delta v_{dc}+\Delta i_{SC}) dt \quad (1)$$

[0060] 其中 $K_1, K_2, K_3$ 的系数取值比例为1:1:1;

[0061] 步骤七,测量超级电容器的端电压 $v_{SC}$ 进行滞环逻辑判断,根据超级电容器的端电压 $v_{SC}$ 来改变步骤五之中的超级电容变流器电流参考值的饱和值,当超级电容器的端电压 $v_{SC}$ 高于超级电容器的端电压的上限值 $v_{SC\_HI}$ ,则将步骤五之中的饱和环节下限值设置为 $-i_{SC\_set}$ ;当超级电容器的端电压 $v_{SC}$ 低于超级电容器的端电压的下限值 $v_{SC\_LO}$ ,则将步骤五之中的饱和环节下限值设置为0;其中需要满足关系:

$$[0062] \quad \left| i_{SC-set} \right| > \left| \frac{i_{batt-} \times v_{batt} \times D_P}{v_{SC} \times (1 - D_P - D_N)} \right| \quad (2)。$$

[0063] 该公式之中, $D_P$ 表示充电脉冲的占空比, $i_{batt-}^*$ 表示放电脉冲的幅值, $D_N$ 表示放电脉冲的占空比, $v_{batt}$ 是蓄电池端电压, $v_{SC}$ 是超级电容器端电压;

[0064] 本发明中给出了一种基于滑模原理的电动汽车混合储能系统快速充电控制方法。并利用MATLAB/Simulink对该控制方法进行了仿真验证。从仿真的结果中可以看到,该方法能够很好地实现蓄电池正负脉冲充电,并且维持直流母线电压恒定,同时还能控制超级电容器电压,从而维持系统稳定性。

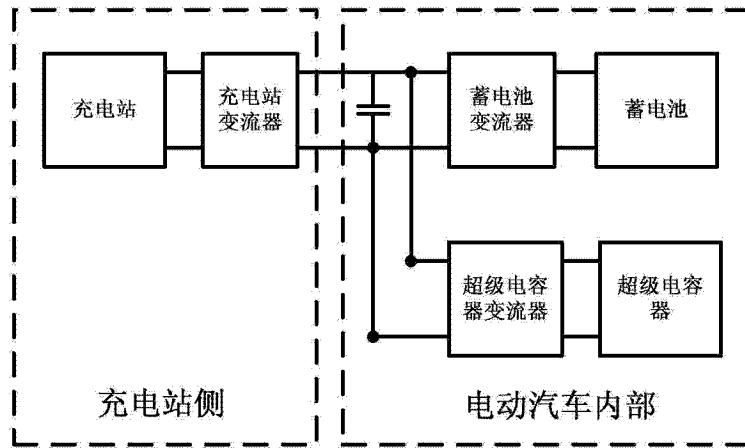


图 1

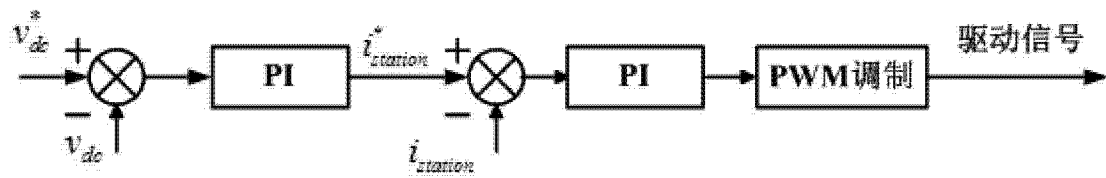
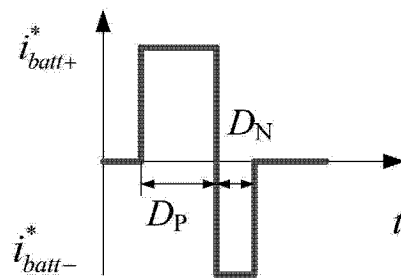


图 2



蓄电池电流

图 3

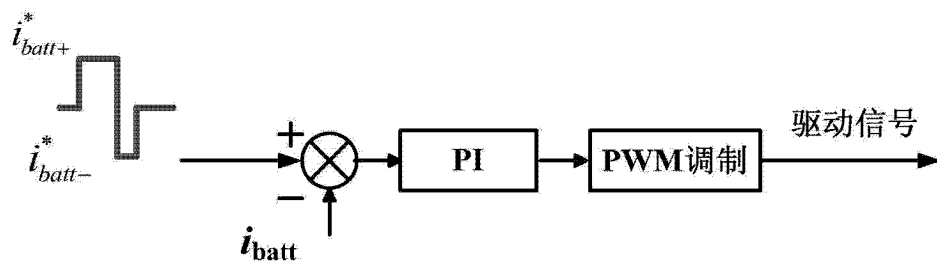


图 4



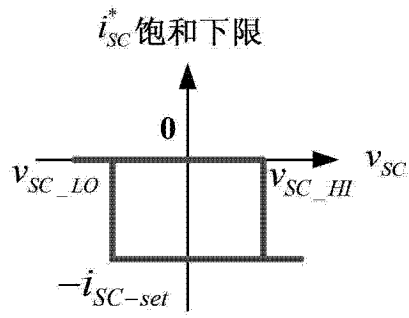


图 5

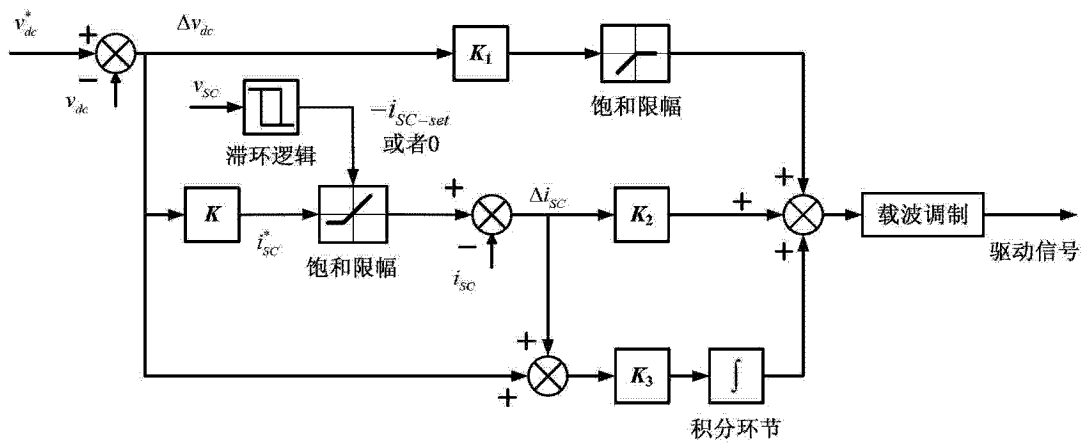


图 6

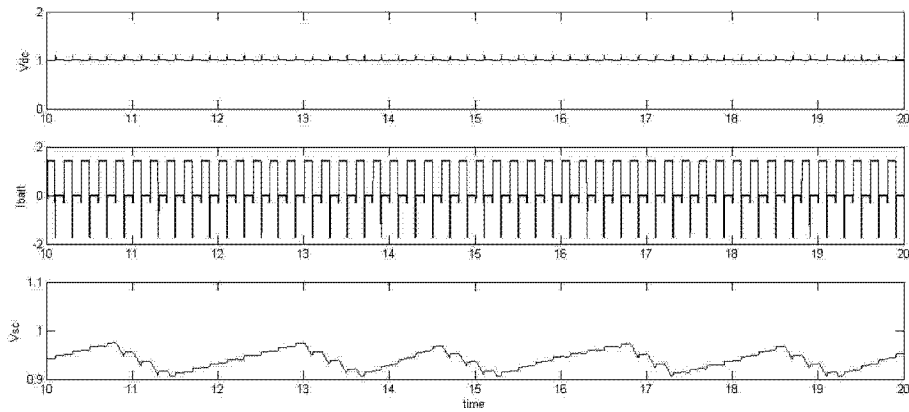


图 7

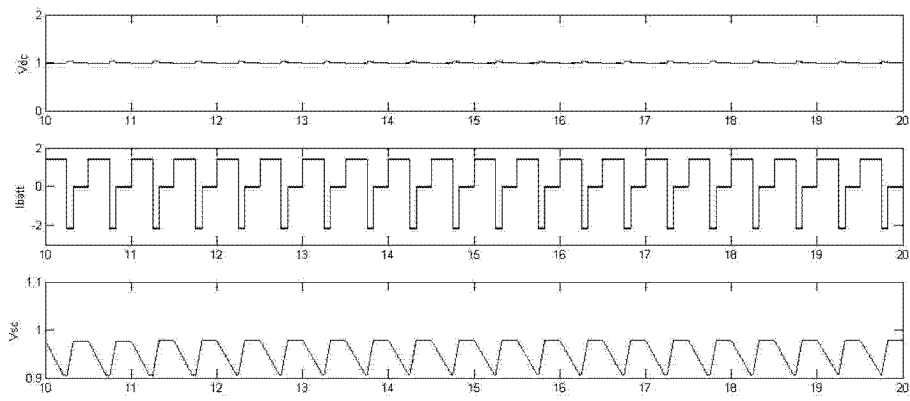


图 8

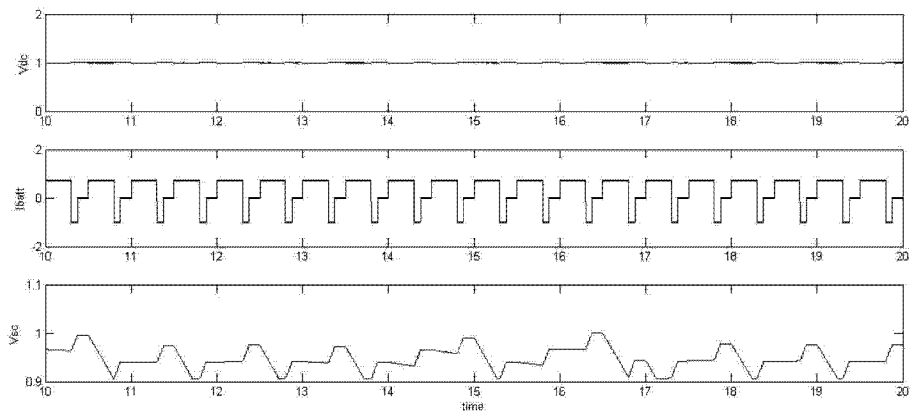


图 9