



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104410136 B

(45)授权公告日 2017.02.22

(21)申请号 201410804123.0

(22)申请日 2014.12.19

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104410136 A

(43)申请公布日 2015.03.11

(73)专利权人 山东大学
地址 250061 山东省济南市历城区山大南
路27号

(72)发明人 张承慧 商云龙 于广 崔纳新
王通 李泽元

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限
公司 37221

代理人 张勇

(51)Int.Cl.
H02J 7/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 102222957 A,2011.10.19,
CN 102420447 A,2012.04.18,
CN 103532197 A,2014.01.22,
WO 2014/115200 A1,2014.07.31,
CN 203859563 U,2014.10.01,
CN 203840033 U,2014.09.17,

审查员 周凤

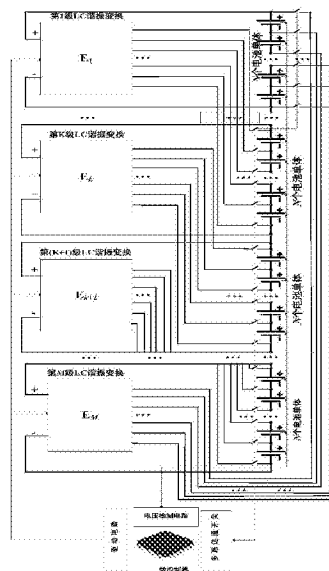
权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54)发明名称

一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路
及控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路及控制方法,包括:将动力电池组分为M级电池模块,每个电池模块包含N个电池单体;其中第K级电池模块连接第K级LC谐振变换电路的输入端,第K级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第K+1级电池模块的电池单体;以此类推,第M级电池模块连接第M级LC谐振变换电路的输入端,第M级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第1级电池模块的电池单体;本发明有益效果:在不额外增加均衡器的条件下能够实现模块与模块之间的均衡,克服了传统Pack to Cell均衡电路电池组对电池单体充电均衡时,也会对该电池单体放电的问题,有效提高了净均衡电流和均衡效率。



1. 一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路,其特征是,包括微控制器、地址译码电路、M级LC谐振变换电路、选择开关模块、滤波电容和动力电池组;将动力电池组分为M级电池模块,每级电池模块包含N个电池单体;其中第K级电池模块连接第K级LC谐振变换电路的输入端,第K级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第K+1级电池模块的电池单体,以此类推,第M级电池模块连接第M级LC谐振变换电路的输入端,第M级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第1级电池模块的电池单体;

所述微控制器分别与每一个电池单体和每一级LC谐振变换电路连接;所述每一级LC谐振变换电路的输入端和输出端分别并联滤波电容;

所述微控制器判断第K+1级电池模块最低电压对应的电池单体编号,通过选择开关模块,将第K+1级电池模块中电压最低的电池单体选通至第K级LC谐振变换电路的输出端;第K级电池模块的总电压作为第K级LC谐振变换电路的输入;同时,微控制器控制第K级LC谐振变换电路交替工作在充电和放电两个状态;

所述第K级LC谐振变换电路包括:输入端的一端依次串联MOS管 Q_{K1} 和二极管 D_{K1} 后,连接两个支路,其中一个支路依次串联MOS管 Q_{K3} 和二极管 D_{K3} 、另一个支路依次串联电感 L_{K0} 和电容 C_{K0} 的一端;输入端的另一端依次串联反向二极管 D_{K2} 和MOS管 Q_{K2} 后,连接两个支路,其中一个支路连接电容 C_{K0} 的另一端、另一个支路依次串联反向二极管 D_{K4} 和MOS管 Q_{K4} ,其中, $K=1, \dots, M$;所述电容 C_{K0} 的一端和另一端即为电容 C_{K0} 的两端;

所述第K级LC谐振变换电路中的MOS管 Q_{K1} 和MOS管 Q_{K2} 由一路PWM+信号驱动、MOS管 Q_{K3} 和MOS管 Q_{K4} 由另一路互补的PWM-信号驱动,二极管 D_{K1} - D_{K4} 起隔离作用,确保电流的单向流动;其中, $K=1, \dots, M$ 。

2. 如权利要求1所述的一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路,其特征是,所述微控制器包括脉冲宽度调制PWM信号输出端和通用IO端,其中通用IO端分为两个部分;

所述通用IO端通过电压检测芯片连接电池单体,用于将电池单体的模拟电压信号转换成数字信号,从而确定每一级电池组内电压最低的电池单体对应的电池单体编号,所述电压检测芯片用于检测电池单体的电压。

3. 如权利要求2所述的一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路,其特征是,所述脉冲宽度调制PWM信号输出端通过MOS管的驱动电路连接每一级LC谐振变换电路,用于产生控制MOS管开关的驱动信号。

4. 如权利要求2所述的一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路,其特征是,所述通用IO端还通过地址译码电路与选择开关模块连接,用于选通每一级电池组内电压最低的电池单体,选择开关模块将当前级LC谐振变换电路的输出端连接至下一级电池组中电压最低的电池单体。

5. 如权利要求1所述的一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路,其特征是,所述每一级LC谐振变换电路在两个状态互补的PWM信号驱动下,分别工作在充电状态和放电状态;

所述充电状态为当前级LC谐振变换电路与当前级电池组并联,所述谐振变换电路从电池组中得到能量;

所述放电状态为当前级LC谐振变换与下一级电池组中电压最低的电池单体并联,单体电池从所述谐振变换电路中得到能量;

当PWM信号的频率等于LC谐振变换的固有谐振频率时,实现零电流开关均衡。

6.一种如权利要求1所述的交错模块化的Pack to Cell均衡电路的控制方法,其特征是,包括以下步骤:

(1)获取电池单体电压:微控制器获取第K+1级电池模块中各电池单体的电压;(2)判断电压:微控制器根据获取的电池单体电压,确定第K+1级电池模块内最低单体电压对应的电池单体编号,计算最大单体电压差,若其差值大于设定的电池均衡阈值,则启动第K级均衡电路;

(3)选通电池:微控制器通过地址译码电路控制选择开关模块,将第K+1级电池模块内最低电压对应的电池单体选通至第K级LC谐振变换电路的输出端;

(4)能量传递:控制第K级LC谐振变换的四个MOS管使LC谐振变换交替工作在充电和放电两个状态,当第K级LC谐振变换电路输入端的两个MOS管导通时,第K级电池模块给第K级LC谐振变换充电;当第K级LC谐振变换电路输出端的两个MOS管导通时,第K级LC谐振变换给第K+1级电池模块中电压最低的电池单体充电,随着第K级LC谐振变换的充、放电过程,实现了能量从第K级电池模块转移到第K+1级电池模块内电压最低的电池单体;当微控制器发出的PWM频率等于第K级LC谐振变换的固有谐振频率时,实现零电流开关均衡。

一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路及控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路及控制方法。

背景技术

[0002] 众所周知,全球正面临着前所未有的能源和环境危机。电动汽车具有节能、环保的特点,是解决这一重大危机的关键途径。锂离子电池因具有能量密度高、自放电率低和没有记忆效应等优点,作为动力源广泛应用在电动汽车和混合动力汽车中。由于单体电池的电压等级和可用容量比较低,必须串联成组使用才能电动汽车的功率需要。但是串联电池组带来了一个严峻的问题:由于制作工艺的差异,电池单体不可能完全相同,在使用一段时间后会现出电池电压的不平衡,这种不平衡会造成部分电池单体的过充和过放,从而大大减小了动力电池组的使用寿命和可用容量。因此,必须对电池组进行均衡管理。显而易见,作为电池管理系统的关键技术之一,串联电池组的有效均衡已经成为一个研究热点。

[0003] 根据能量流,电池主动均衡能够分为以下四种:(1) Cell to Cell; (2) Cell to Pack; (3) Pack to Cell; (4) Any Cells to Any Cells。对于Cell to Cell的均衡方法,能量能够直接从电压最高的电池单体转移到电压最低的电池单体,具有较高的均衡效率,并且适宜于高电压应用,但是由于电池单体之间的电压差较小再加之电力电子器件存在导通压降,这种方法的均衡电流很小,因此该方法不适合于大容量的动力电池。对于Cell to Pack的均衡方法,能量从电压较低的电池单体转移到电压较高的电池组,均衡功率和效率都较低,也不适合于大容量的动力电池。对于Any Cells to Any Cells的均衡方法,如中国实用新型(专利号ZL 201420265656.1)提出了一种基于开关矩阵和LC谐振变换的Any Cells to Any Cells均衡电路,其均衡能量能够从任意电池单体组合传递到任意电池单体组合,均衡效率很高,但是需要大量的切换开关且均衡控制也非常复杂。而对于Pack to Cell的均衡方法,每一次均衡都是通过电池组对电压最低的电池单体进行能量补给,能够实现较大的均衡电流,适合于大容量的动力电池。

[0004] 中国实用新型(专利号ZL 201420264864.X)提出一种基于LC谐振变换的Pack to Cell均衡电路,该均衡电路通过使用一个LC谐振变换,实现了能量从电池组到电压最低的电池单体的零电流开关传递,减少了能量浪费,提高了均衡效率。但是,该均衡电路的主要问题是:当电池组对电压最低的电池单体充电均衡时,也会同时对该电池单体放电,其净均衡电流较小,也造成了不必要的能量浪费。

发明内容

[0005] 本发明的目的就是为了解决上述问题,提出了一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路及控制方法,该电路及控制方法通过使用M个LC谐振变换实现当前电池组对相邻下一级电池组电池单体的零电流开关均衡,减少了能量浪费。

[0006] 为了实现上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路,包括微控制器、地址译码电路、M级LC

谐振变换电路、选择开关模块、滤波电容和动力电池组；将动力电池组分为M级电池模块，每个电池模块包含N个电池单体；其中第K级电池模块连接第K级LC谐振变换电路的输入端，第K级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第K+1级电池模块的电池单体，以此类推，第M级电池模块连接第M级LC谐振变换电路的输入端，第M级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第1级电池模块的电池单体；

[0008] 所述微控制器分别与每一个电池单体和每一级LC谐振变换电路连接；所述每一级LC谐振变换电路的输入端和输出端分别并联滤波电容；

[0009] 所述微控制器判断第K+1级电池模块最低电压对应的电池单体编号，通过选择开关模块，将第K+1级电池模块中电压最低的电池单体选通至第K级LC谐振变换电路的输出端；第K级电池模块的总电压作为第K级LC谐振变换电路的输入；同时，微控制器控制第K级LC谐振变换电路交替工作在充电和放电两个状态。

[0010] 所述微控制器包括脉冲宽度调制PWM信号输出端和通用IO端，其中通用IO端分为两个部分；

[0011] 所述通用IO端通过电压检测芯片连接电池单体，用于将电池单体的模拟电压信号转换成数字信号，从而确定每一级电池组内电压最低的电池单体对应的电池单体编号，所述电压检测芯片用于检测电池单体的电压。

[0012] 所述脉冲宽度调制PWM信号输出端通过MOS管的驱动电路连接每一级LC谐振变换电路，用于产生控制MOS管开关的驱动信号。

[0013] 所述通用IO端还通过地址译码电路与选择开关模块连接，用于选通每一级电池组内电压最低的电池单体，选择开关模块将当前级LC谐振变换电路的输出端连接至下一级电池组中电压最低的电池单体。

[0014] 所述第K级LC谐振变换电路包括：输入端的一端依次串联MOS管 Q_{K1} 和二极管 D_{K1} 后，连接两个支路，其中一个支路依次串联MOS管 Q_{K3} 和二极管 D_{K3} 、另一个支路依次串联电感 L_{K0} 和电容 C_{K0} 的一端；输入端的另一端依次串联反向二极管 D_{K2} 和MOS管 Q_{K2} 后，连接两个支路，其中一个支路连接电容 C_{K0} 的另一端、另一个支路依次串联反向二极管 D_{K4} 和MOS管 Q_{K4} ，其中， $K=1, \dots, M$ 。

[0015] 所述第K级LC谐振变换电路中的MOS管 Q_{K1} 和MOS管 Q_{K2} 由一路PWM $_k$ 信号驱动、MOS管 Q_{K3} 和MOS管 Q_{K4} 由另一路互补的PWM $_k$ 信号驱动，二极管 D_{K1} - D_{K4} 起隔离作用，确保电流的单向流动；其中， $K=1, \dots, M$ 。

[0016] 所述每一级LC谐振变换电路在两个状态互补的PWM信号驱动下，分别工作在充电状态和放电状态；

[0017] 所述充电状态为当前级LC谐振变换电路与当前级电池组并联，谐振电路从电池组中得到能量；

[0018] 所述放电状态为当前级LC谐振变换与下一级电池组中电压最低的电池单体并联，单体电池从谐振电路中得到能量；

[0019] 当PWM信号的频率等于LC谐振变换的固有谐振频率时，实现零电流开关均衡。

[0020] 一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路的控制方法，包括以下步骤：

[0021] (1) 获取电池单体电压：微控制器获取第K+1级电池模块中各电池单体的电压；

[0022] (2) 判断电压：微控制器根据获取的电池单体电压，确定第K+1级电池模块内最低

单体电压对应的电池单体编号,计算最大单体电压差,若其差值大于设定的电池均衡阈值,则启动第K级均衡电路;

[0023] (3) 选通电池:微控制器通过地址译码电路控制选择开关模块,将第K+1级电池模块内最低电压对应的电池单体选通至第K级LC谐振变换电路的输出端;

[0024] (4) 能量传递:控制第K级LC谐振变换的四个MOS管使LC谐振变换交替工作在充电和放电两个状态,第一阶段能量从第K级电池模块流入谐振电路储存起来,第二阶段能量从第K级LC谐振变换电路流入第K+1级电池模块内最低电压对应的电池单体,从而实现能量的不断传递。

[0025] 所述步骤(4)中,当第K级LC谐振变换电路输入端的两个MOS管导通时,第K级电池模块给第K级LC谐振变换充电;当第K级LC谐振变换电路输出端的两个MOS管导通时,第K级LC谐振变换给第K+1级电池模块中电压最低的电池单体充电,随着第K级LC谐振变换的充、放电过程,实现了能量从第K级电池模块转移到第K+1级电池模块内电压最低的电池单体;当微控制器发出的PWM频率等于第K级LC谐振变换的固有谐振频率时,实现零电流开关均衡。

[0026] 本发明的工作原理,以第K级和第K+1级电池模块为例进行说明:

[0027] 微控制器判断第K+1级电池模块最低电压对应的电池单体编号,通用IO端通过地址译码电路控制选择开关模块,将第K+1级电池模块中电压最低的电池单体选通至第K级LC谐振变换电路的输出端;第K级电池模块的总电压作为第K级LC谐振变换的输入;同时微控制器发送一对状态互补的PWM信号控制第K级LC谐振变换,使其交替工作在充电和放电两个状态。第一阶段能量从第K级电池模块流入谐振电路储存起来,第二阶段能量从第K级LC谐振变换电路流入第K+1级电池模块中最低电压对应的电池单体,从而实现能量的不断传递。特别地,当微控制器发出的PWM频率等于第K级LC谐振变换的固有谐振频率时,可以实现零电流开关均衡,并且每次均衡都是能量从第K级电池模块转移到第K+1级电池模块中电压最低的电池单体,克服了传统Pack to Cell均衡电路电池组对电池单体充电均衡时,也会对该电池单体放电的问题,提高了净均衡电流,并且在不额外增加均衡器的条件下能够实现模块与模块之间的均衡,有效改善了整个电池组的一致性。

[0028] 本发明的有益效果:

[0029] (1) 本发明电路结构保证每次均衡都是能量从第K级电池模块转移到第K+1级电池模块中电压最低的电池单体,克服了传统Pack to Cell均衡电路当电池组对电池单体充电均衡时,也会对该电池单体放电的问题,有效提高了净均衡电流和均衡效率。

[0030] (2) 与传统模块化的Pack to Cell均衡电路相比,本发明的交错模块化的均衡拓扑在不额外增加均衡器的条件下能够实现模块与模块之间的均衡,有效改善了整个电池组的一致性。

[0031] (3) 每次均衡都是能量从第K级电池模块转移到第K+1级电池模块中电压最低的电池单体,即电池组对电池单体的均衡获得了较大的均衡电压差,有效克服了Cell to Cell均衡电路由于电力电子器件存在导通压降难以实现电池单体间零电压差的问题。

[0032] (4) 由于LC谐振变换,实现了零电流开关均衡,极大减少能量浪费。

附图说明

- [0033] 图1为本发明的交错模块化的Pack to Cell均衡电路的组成示意图；
- [0034] 图2为本发明的第K级LC谐振变换电路连接原理图；
- [0035] 图3为本发明的一个实施例的LC谐振变换电路连接原理图，其中电池模块个数和每个模块内的电池单体个数均为2个；
- [0036] 图4为本发明的一个实施例的LC谐振变换充电状态的工作原理图；
- [0037] 图5为本发明的一个实施例的LC谐振变换放电状态的工作原理图；
- [0038] 图6为本发明的一个实施例的LC谐振变换处于谐振状态下的充放电电流*i*和电容电压*V_c*的原理波形图；
- [0039] 图7为本发明的一个实施例的动力电池静止状态下的均衡效果图。

具体实施方式：

- [0040] 下面结合附图与实施例对本发明做进一步说明：
- [0041] 如图1-图2所示，是一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路，包括微控制器、地址译码电路、LC谐振变换、动力电池组、选择开关模块和滤波电容。将电池组分为M个电池模块，每个电池模块包含N个电池单体，即总的电池单体为M*N个。其中第K级电池模块连接第K级LC谐振变换电路的输入端，第K级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第K+1级电池模块的电池单体；其中第K+1级电池模块连接第K+1级LC谐振变换电路的输入端，第K+1级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第K+2级电池模块的电池单体；以此类推，最后一级电池模块即第M级电池模块连接第M级LC谐振变换电路的输入端，第M级LC谐振变换电路的输出端通过选择开关模块连接第1级电池模块的电池单体，以上即为本发明均衡电路的交错拓扑结构。
- [0042] 微控制器通过电压检测芯片连接M*N个电池单体，通过驱动电路连接控制LC谐振变换电路，微控制器通过地址译码电路连接选择开关模块驱动端。
- [0043] 每一级LC谐振变换电路的输入端和输出端各并联有一个滤波电容；用于将高频交流电流滤波成直流电，以较小对电池的损害。
- [0044] 微控制器包括脉冲宽度调制PWM信号输出端和通用IO端，其中通用IO端分为两个部分；
- [0045] 通用IO端的一部分端口通过电压检测芯片与电池单体连接，用于将电池单体的模拟电压信号转换成数字信号，从而确定每一级电池组内电压最低的电池单体对应的编号；电压检测芯片用于检测电池的各个单体电压，电压检测芯片采用凌特公司的LTC6803-1专用电压检测芯片。
- [0046] 通用IO端的另一部分端口通过地址译码电路与选择开关模块连接，用于选通每一级电池组内电压最低的电池单体，选择开关模块将当前级LC谐振变换电路的输出端连接至下一级电池组中电压最低的电池单体。如第K级LC谐振变换电路的输出端连接至第K+1级电池模块中电压最低的电池单体；第K+1级LC谐振变换电路的输出端连接至第(K+2)级电池组中电压最低的电池单体；第M级LC谐振变换电路的输出端连接至第1级电池组中电压最低的电池单体，即实现交错拓扑结构；
- [0047] 脉冲宽度调制PWM信号输出端通过驱动电路连接每一级LC谐振变换电路，用于产生MOS管开关的控制驱动信号。

[0048] 每一级LC谐振变换电路,包括四个MOS管、四个二极管和一个电感、一个电容,以第1级LC谐振变换电路为例,其中输入端的一端连接一个MOS管 Q_{11} 串联二极管 D_{11} 后,连接两个支路,一个支路串联MOS管 Q_{13} 和二极管 D_{13} ,另一路串联电感 L_{10} 和电容 C_{10} ,输入端的另一端反接二极管 D_{12} 连接MOS管 Q_{12} 后连接两个支路,一路连接电容 C_{10} 的另一端,另一路反接二极管 D_{14} 后连接MOS管 Q_{14} 。所述LC谐振变换电路中MOS管 Q_{11} 和 Q_{12} 由一路PWM+信号驱动,MOS管 Q_{13} 和 Q_{14} 由另一路互补的PWM-信号驱动,二极管 D_{11} - D_{14} 起隔离作用,确保电流的单向流动。

[0049] 每一级LC谐振变换在两个状态互补的PWM信号驱动下,工作在充电和放电两个状态。

[0050] 充电状态为当前级LC谐振变换与当前级电池组的正负极并联,谐振电路从电池组中得到能量,如第K级LC谐振变换与第K级电池模块的正负极并联,能量从第K级电池模块流入第K级LC谐振变换电路。

[0051] 放电状态为当前级LC谐振变换与下一级电池组中电压最低的电池单体并联,单体电池从谐振电路中得到能量。如第K级LC谐振变换与第K+1级电池模块中电压最低的电池单体并联,能量从第K级LC谐振变换电路流入第K+1级电池组中电压最低的电池单体。

[0052] 特别地,当微控制器发出的PWM频率等于LC谐振变换的固有谐振频率时,可以实现零电流开关均衡(能量传递)。

[0053] 一种应用上述基于交错Pack to Cell均衡电路的控制方法,以第K级和第K+1级电池模块为例进行说明,包括以下步骤:

[0054] (1) 获取电池单体电压:微控制器借助模数转换模块,获取第K+1级电池模块各单体电压;

[0055] (2) 判断电压:微控制器根据获取的电池单体电压,确定第K+1级电池模块内最低单体电压对应的电池单体编号,计算最大单体电压差,若其差值大于电池均衡阈值,则启动第K级均衡电路;

[0056] (3) 选通电池:微控制器通过地址译码电路控制选择开关模块,将第K+1级电池模块内最低电压对应的电池单体选通至第K级LC谐振变换电路的输出端;

[0057] (4) 能量传递:控制第K级LC谐振变换的四个MOS管使LC谐振变换交替工作在充电和放电两个状态,第一阶段能量从第K级电池模块流入谐振电路储存起来,第二阶段能量从第K级LC谐振变换电路流入第K+1级电池模块内最低电压对应的电池单体,从而实现能量的不断传递。

[0058] 所述步骤(4)中,当第K级LC谐振变换电路输入端的两个MOS管导通时,第K级电池模块给第K级LC谐振变换充电;当第K级LC谐振变换电路输出端的两个MOS管导通时,第K级LC谐振变换给第K+1级电池模块中电压最低的电池单体充电,随着第K级LC谐振变换的充、放电过程,实现了能量从第K级电池模块转移到第K+1级电池模块内电压最低的电池单体。当微控制器发出的PWM频率等于第K级LC谐振变换的固有谐振频率时,可以实现零电流开关均衡。

[0059] 实施例一:

[0060] 如图3-图7,是一种交错模块化的Pack to Cell均衡电路及控制方法实施例。假设电池组的模块个数M为2,每一电池模块中电池单体个数N也为2。并假设 B_{21} 为第二级电池模块中电压最低的电池单体。以第一级电池模块向第二级电池模块均衡为例进行说明。

[0061] 均衡电路的微控制器选用数字信号处理DSP (TMS320F28335), 具有高精度AD采样和PWM输出; 多路选通开关选用CD4051, 是单8通道数字控制模拟电子开关, 有A、B和C三个二进制控制输入端以及EN共4个输入, 具有低导通阻抗和很低的截止漏电流; 电压检测芯片采用凌特公司的LTC6803-1专用电压测量芯片实时测量电池组中每节电池的电压。

[0062] 选择开关模块选用带有一对常开触点的继电器, 其型号为HJR 1-2C L-05V, 如图2中 $(S_{(k+1) i+}, S_{(k+1) i-})$ ($i = 1, 2, 3 \dots, n$) 为一对常开开关。微控制器通过一个多路选通开关CD4051控制其导通或闭合。

[0063] LC谐振电路由四个MOS管 Q_{11} - Q_{14} 、四个二极管 D_{11} - D_{14} 和一个电感 L_{10} 、一个电容 C_{10} 组成。其中, Q_{11} 、 Q_{12} 、 D_{11} 、 D_{12} 与 L_{10} 、 C_{10} 构成充电回路; Q_{13} 、 Q_{14} 、 D_{13} 、 D_{14} 与 L_{10} 、 C_{10} 构成放电回路。 Q_{11} 的源极、 D_{12} 的负极与电池组正负极相连; D_{13} 的负极、 Q_{14} 的源极分别与LC谐振电路的输出端正、负极相连。二极管 D_{11} - D_{14} 起隔离的作用。MOS管 Q_{11} - Q_{14} 来自微控制器DSP的一对状态互补的PWM信号驱动, 其中 Q_{11} 和 Q_{12} 由一路PWM+信号驱动, Q_{13} 和 Q_{14} 由另一路状态互补的PWM-信号驱动。当 Q_{11} 和 Q_{12} 导通, Q_{13} 和 Q_{14} 关断时, LC谐振电路工作在充电状态; 当 Q_{13} 和 Q_{14} 导通, Q_{11} 和 Q_{12} 关断时, LC谐振电路工作在放电状态。如此, 通过LC谐振电路不断的充、放电可实现能量从第一级电池模块转移至电压最低的电池单体, 特别地, 当微控制器发出的PWM频率等于LC准谐振电路的固有谐振频率时, 实现零电流开关均衡。

[0064] 首先, 微控制器借助模数转换模块, 获取动力电池各单体电压, 从而确定最低单体电压以及对应的电池单体编号, 并判断最大电压差是否大于电池均衡阈值0.02V, 若大于则启动均衡电路, 并通过译码芯片CD4051选通开关模块 (S_{21+}, S_{21-}) 并保持其导通状态直至本次均衡结束, 将电压最低的电池单体 B_{21} 选通至第一级LC谐振电路的输出端。

[0065] 在均衡状态下, 微控制器控制LC谐振电路使其交替工作在充电和放电两个状态, 从而实现能量的不断传递。

[0066] 如图4所示, 当 Q_{11} 和 Q_{12} 导通时, Q_{13} 和 Q_{14} 关断, LC谐振电路与第一级电池模块并联。第一级电池模块、电感 L_{10} 和电容 C_{10} 形成一个谐振回路, 此时对电容 C_{10} 充电, 谐振电流 i 为正, 电容 C_{10} 两端的电压 V_c 开始上升直至谐振电流 i 变为负值, 由图6可以看出, V_c 滞后谐振电流 i 四分之一个周期, 且波形均为正弦波。该时刻, 由于 Q_{13} 和 Q_{14} 处于关断状态, 电池单体 B_{21} 开路, 所以流入 B_{21} 的电流 i_{B21} 为零; 因为滤波电容 C_{11} 并联在电池模块两端无其他放电回路, 所以流入LC的谐振电流 i 即为流出电池组的电流 i_{bat} , 并且规定电流流出电池单体/电池组时为正, 因此可得到如图6所示工作状态I的电池组电流 i_{bat} 和 B_{21} 电流 i_{B21} 的波形。

[0067] 如图5所示, 当 Q_{13} 和 Q_{14} 导通时, Q_{11} 和 Q_{12} 关断, LC谐振电路通过选择开关模块 (S_{21+}, S_{21-}) 与电压最低的电池单体 B_{21} 并联。 B_{21} 、 L_{10} 和 C_{10} 形成一个谐振回路, 此时电容 C_{10} 放电, 谐振电流 i 为负, 电容 C_{10} 两端的电压 V_c 开始下降直至谐振电流 i 变为正值。因为电池组处于开路状态, 因此流出电池组的电流 i_{Bat} 为零; 同时该时刻谐振电流 i 就是 B_{21} 的充电电流, 因此可得到如图6状态II所示的电池组电流 i_{Bat} 和 B_{21} 电流 i_{B21} 的波形。

[0068] 如图6所示, 为实验获得的LC谐振变换处于谐振状态下的充放电电流 i 和电容电压 V_c 的实验波形图。

[0069] 如图7所示为本实施例的动力电池静止状态下的均衡效果图。电池组中各电池单体的初始电压分别为 $V_{B11} = 3.125V$, $V_{B12} = 3.000V$, $V_{B21} = 3.150V$, $V_{B22} = 3.200V$ 。最大电压差为0.2V大于0.02V, 则启动均衡电路, 首先是第2级LC谐振变换对第1级电池模块中的 B_{12} 均

衡,在7.1s后,切换为第1级LC谐振变换对第2级电池模块中的 B_{21} 均衡,大约1.06s后,实现了电池组中各电池单体的零电压差均衡,证明了本均衡电路的有效性。

[0070] 上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

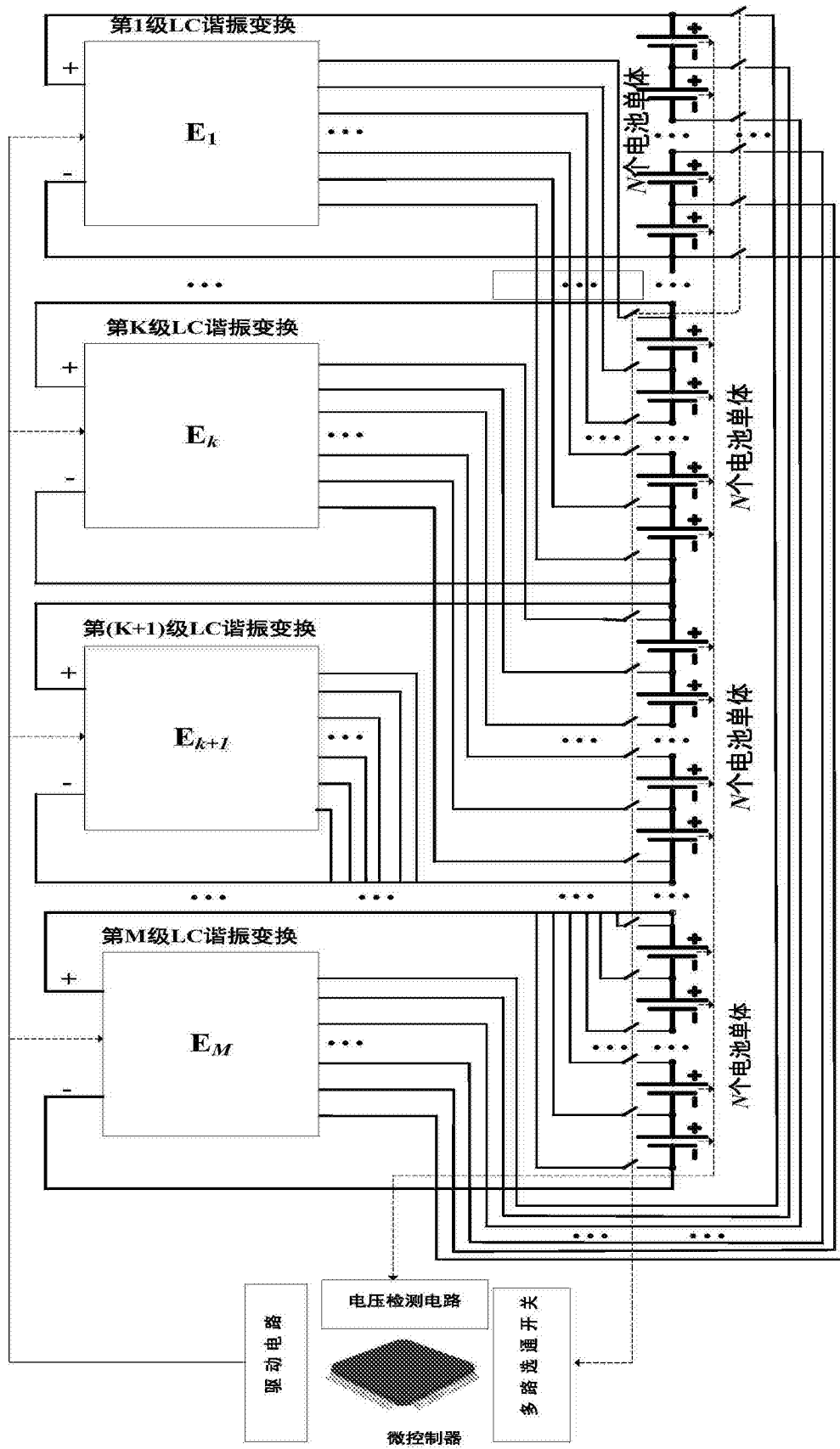


图1

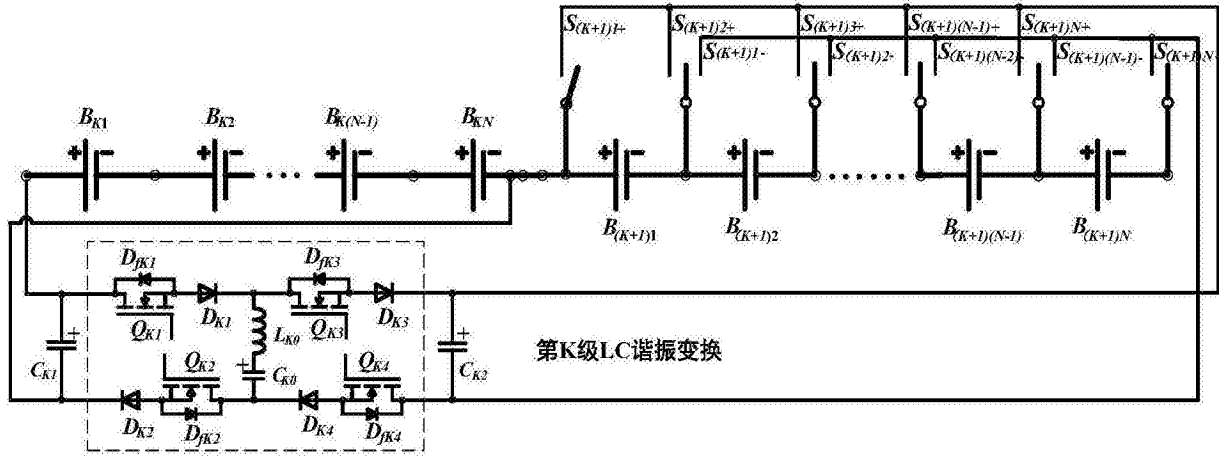


图2

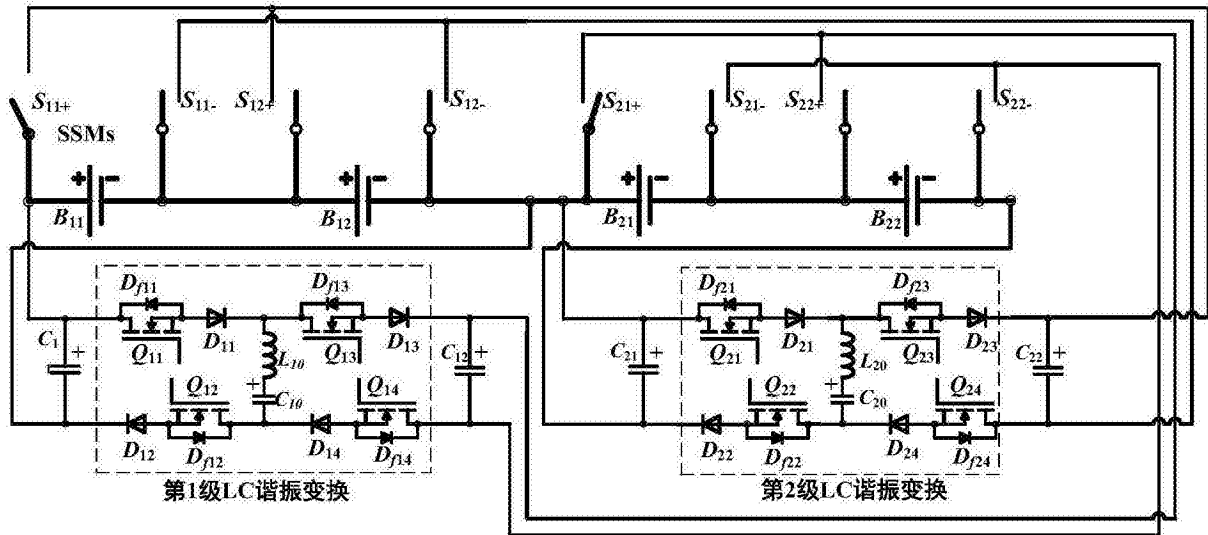


图3

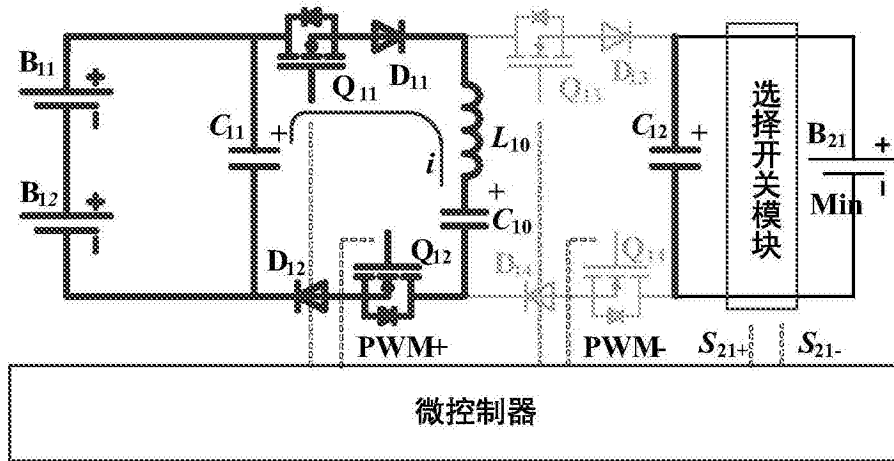


图4

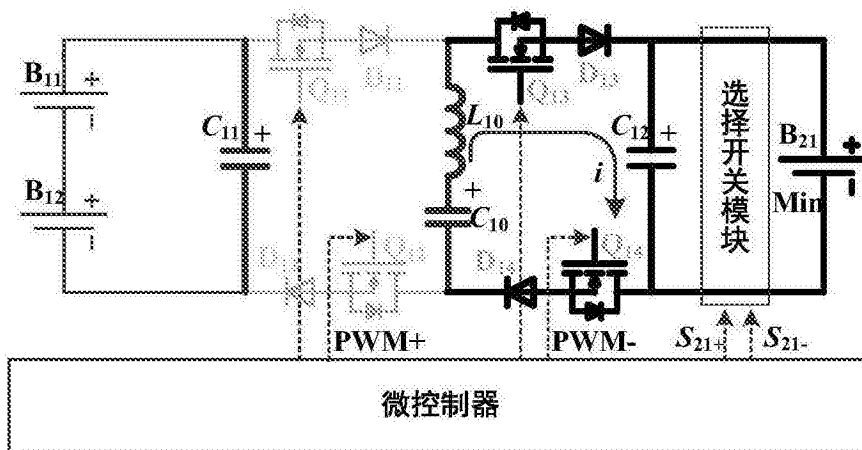


图5

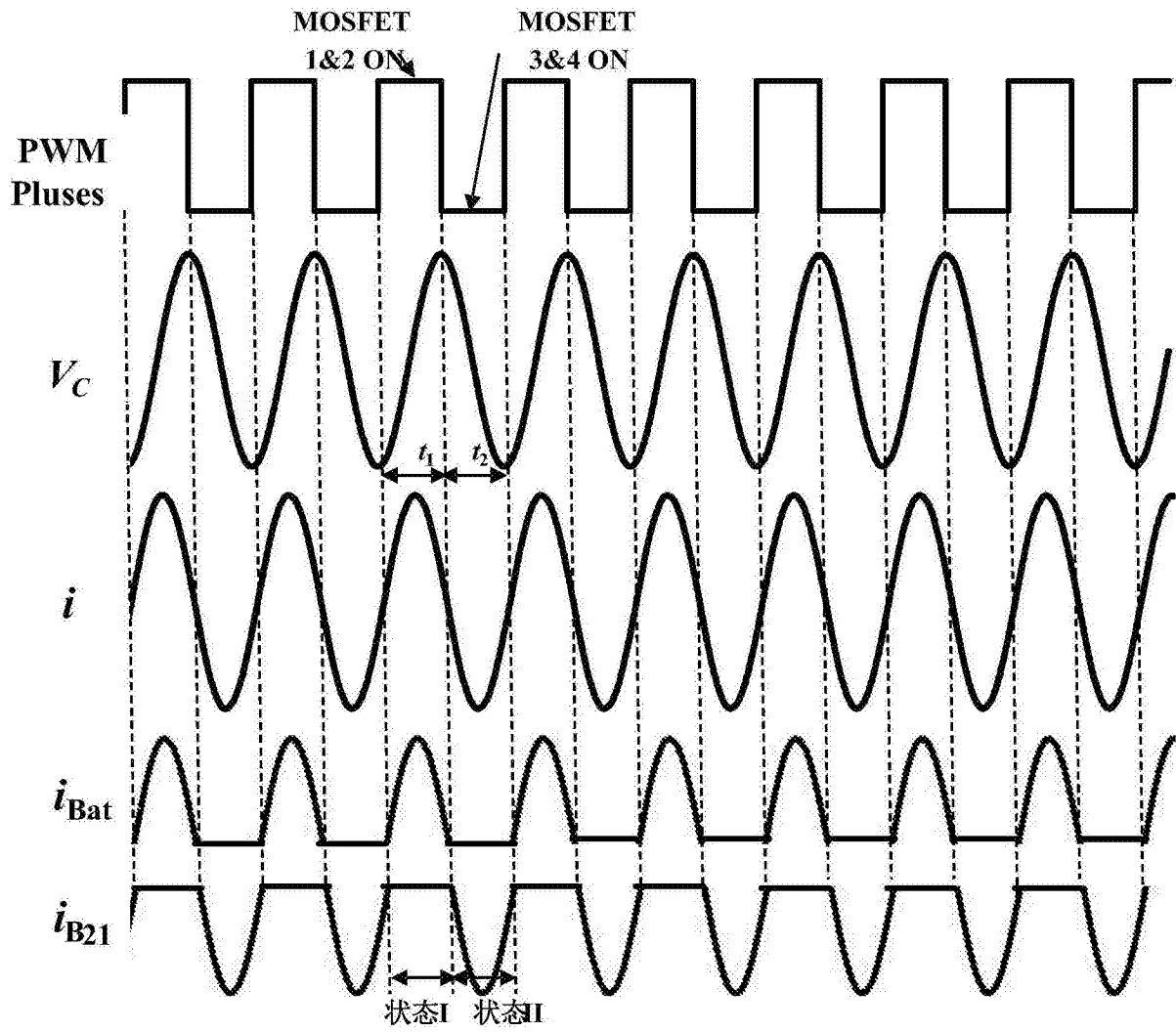


图6

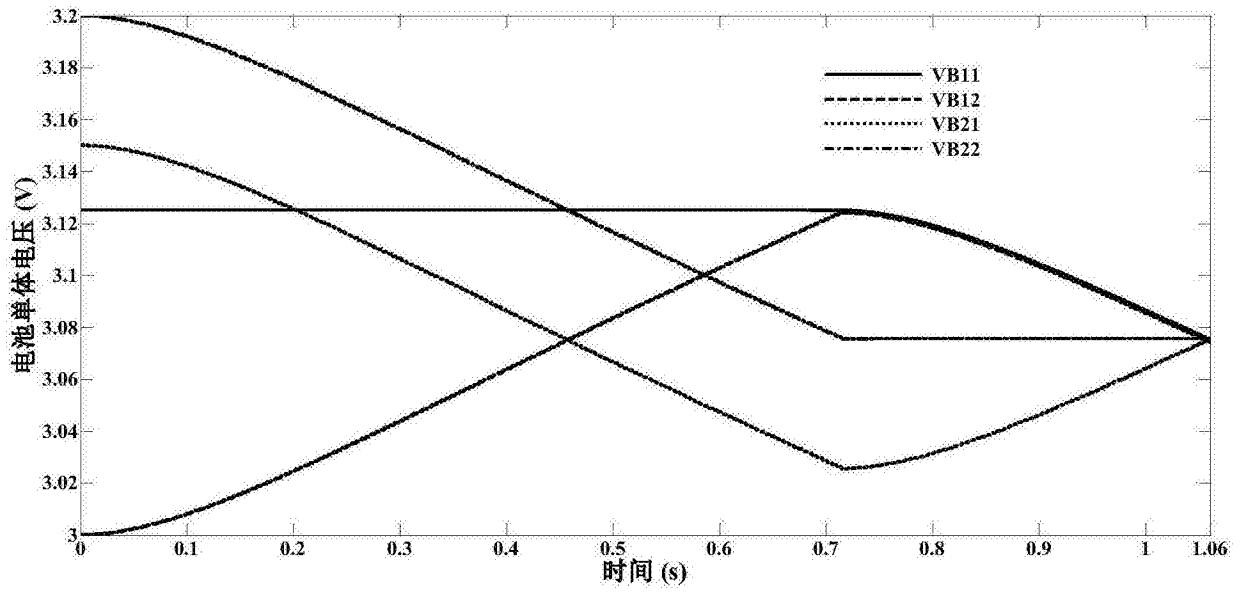


图7