

· 电路与控制 ·

一种能量回收型超级电容器均衡技术

申彩英¹, 邹颖²

(1. 辽宁工业大学 汽车与交通工程学院, 辽宁 锦州 121001; 2. 辽宁工业大学 电子与信息工程学院, 辽宁 锦州 121001)

摘要:分析了常规耗能型电压均衡电路的问题。将DC/DC变换器移植到超级电容器电压均衡中。提出间隙与迟滞结合的控制策略,得到较大范围的动态均压。利用反激式变换器实现低端超级电容器C2对高端超级电容器C1的电压均衡、变形的CUK变换器实现高端超级电容器C1对低端超级电容器C2的电压均衡。实验结果验证了文中提出的“无损耗”电压均衡电路的有效性。

关键词:超级电容器;无损耗电压均衡;CUK变换器;间隙控制

中图分类号:TM46 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-1255(2017)-02-0058-04

Energy Recovery Ultra Capacitor Balance Technology

SHEN Cai-ying¹, ZOU Ying²

(1. College of Automobile and Transportation, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China;
2. College of Electronics and Information Engineering, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China)

Abstract: The issue of the regular energy consume for the voltage balance circuit is analyzed. To obtain wide range dynamic balance voltage, both DC/DC converter and gap delay combination control mode are introduced to the ultra capacitor voltage balance circuit. The boost converter is used to achieve voltage balance from lower side ultra capacitor C2 to higher side ultra capacitor C1. Correspondingly, the evolved care unite skin (CUK) converter is used to achieve voltage balance from high side ultra capacitor C1 to low side ultra capacitor C2. Experimental results verify the effectiveness of zero loss voltage balance circuit.

Key words: ultra capacitor; zero loss voltage balance; care unite skin (CUK) converter; gap control

为了获得应用系统所需的电压、能量,超级电容器在实际应用中经常串联使用,比如作电动汽车辅助电源,这样就会出现使用过程中超级电容器单体电压不一致问题,影响其使用寿命和充放电能力。这就需要对超级电容器电压进行均衡,为了获得最简单的电压均衡,超级电容器电压均衡电路均采用耗能型工作模式^[1-2],即将均衡电流所产生的功率在电阻上消耗,这就使得电压均衡电路发热,特别是大电流工作模式更加严重。由于电压均衡电路需要靠近超级电容器,使得超级电容器环境温度上

升,导致超级电容器寿命缩短。近几年来,学者研究非耗能型电压均衡方法,可以避免上述问题,主要方法有:均衡电源法、buck/boost变换器法、不完全分流法、完全分流法等^[1,3-5]。其中,均衡电源法均衡快、效率高,但只能实现静态电压均衡,且结构复杂,控制复杂,成本高;buck/boost变换器法均衡快、效率高、可以实现静动态电压均衡,但结构复杂,控制复杂。不完全分流法,完全分流法控制较简单、效率高,但只能实现动态均压。

收稿日期:2017-04-01

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(51305190);辽宁省重大科技平台项目(JP2016016)

作者简介:申彩英(1981-),女,辽宁人,辽宁工业大学讲师,研究方向为电力电子技术和电动汽车控制技术;邹颖(1994-),女,辽宁工业大学硕士研究生,研究方向为现代电力电子应用技术。

文中能够将超级电容器均衡电流所产生的功率回馈到直流母线端或端电压低的超级电容器,不仅实现了超级电容器的电压均衡,而且将均衡能量回收再利用,不再变成热量消耗。

1 变换器电路拓扑选择

回收超级电容器均衡电能可采用DC/DC变换器实现。电路如图1所示。

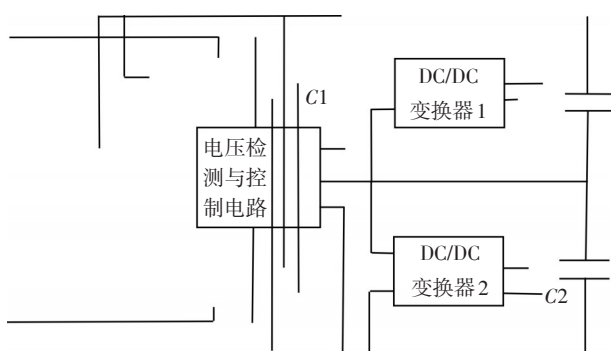


图1 采用DC/DC变换器的电压均衡电路

图1中的DC/DC变换器2在工作时将超级电容器C2需要均衡的能量转换到超级电容器C1上;DC/DC变换器1则将超级电容器C1需要均衡的能量转换到超级电容器C2上。

为了获得简单的满足性能要求的DC/DC变换器。DC/DC变换器2选择反激式变换器。如图2所示。

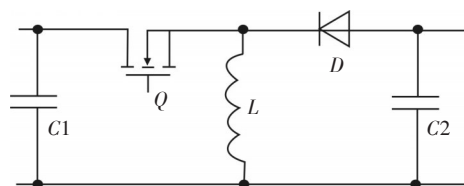


图2 反激式型变换器

DC/DC变换器1需要将均衡电能送到超级电容器C2,需要选择输出电压为负的DC/DC变换器,同时要求开关与控制电路具有共同的参考电位,因此选用CUK变换器。如图3所示。图2、图3电路工作原理见参考文献[6]。

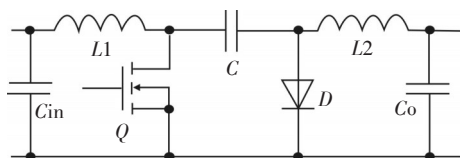


图3 CUK变换器

为了尽可能的简化DC/DC变换器的电路结构,根据均压电路的要求,可以采用受控的反激式DC/DC变换器,在需要均压时,相应的DC/DC变换器动作,不需要均压时,DC/DC变换器不工作。

2 均衡电路的实现

为了方便以下将超级电容器C2称为低端(低边)超级电容器,超级电容器C1称为高端(高边)超级电容器。低端超级电容器C2向高端超级电容器C1电压均衡可以应用图2反激式变换器变形实现,其电路如图4所示。

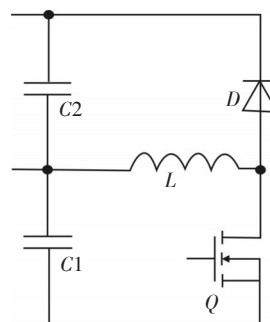


图4 低端向高端均衡电路

图2的输出电容C2在图4中为低端超级电容器C2与高端超级电容器C1串联组合而成。

开关管Q导通期间,低边超级电容器C2通过开关管Q向电感L提高电能,电感L将电能变为磁储能。

$$i = \frac{U_L}{L} \cdot t + I_0 \tag{1}$$

开关管Q关断期间,电感L将磁储能转换为电能并通过二极管D送高边超级电容器C1。由此完成了低边超级电容器向高边超级电容器的电压均衡。

高边超级电容器C1向低边超级电容器C2电压均衡电路采用将图3通过等效变换后的CUK变换器,如图5所示。其中C3为CUK变换器的耦合电容。

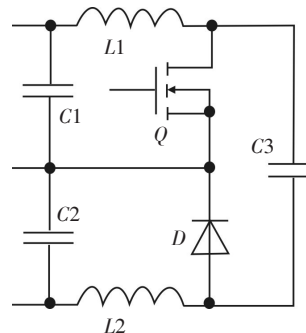


图5 高端向低端均衡电路

开关管Q导通期间,高边超级电容器C1通过开关管Q向电感L1提供电能,并由电感L1转换为磁储能;同时,电容C3通过开关管Q向低边超级电容器C2放电,并向电感L2提供电能,由电感L2转换为磁储能。

开关管Q关断期间,二极管D导通,高边超级电容器C1与电感L1向电容C3提供电能;同时,电感L2向低边超级电容器C2释放储能。

通过上述电路的电磁转换过程,完成了高边超级电容器C1向低边超级电容器C2电压均衡。

将图4、图5电路组合,构成完整的电压均衡电路如图6所示。

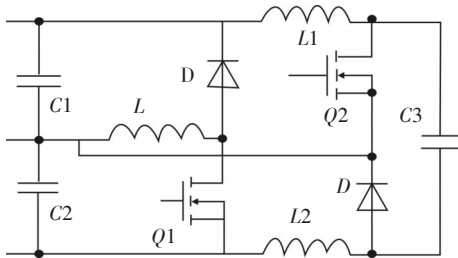


图6 完整的电压均衡电路

3 控制策略及实现

将反激式变换器与CUK变换器组合在一起,如果同时工作,就会出现高端向低端电压均衡、同时低端向高端电压均衡的错误动作。需要加以有效的控制,在不需要均衡时,高端变换器、低端变换器均不允许工作,当低端需要向高端电压均衡时低端的反激式变换器工作;当高端需要向低端电压均衡时低端的CUK变换器工作。

为达到控制目标,最简单的办法就是采用间隙与迟滞控制方式,其输入输出特性如图7所示。电路如图8所示。

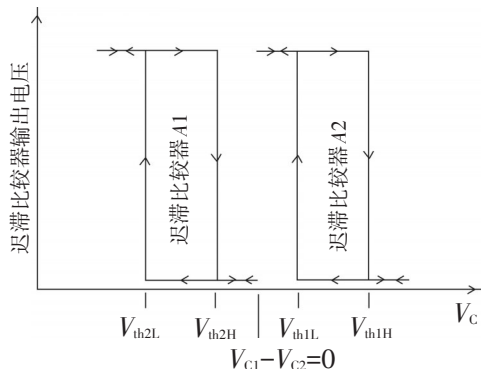


图7 迟滞比较器的输入输出特性

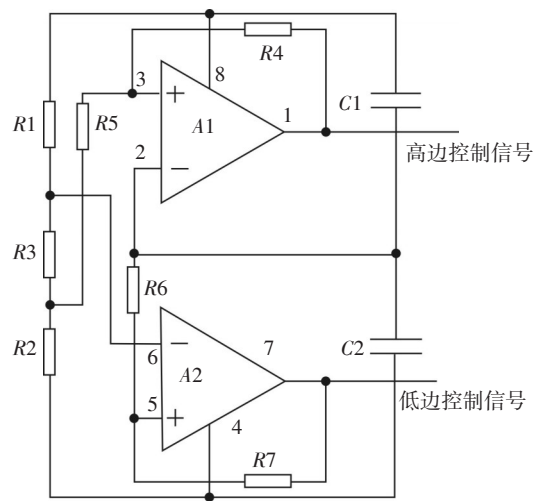


图8 间隙与迟滞控制方式电路

从图7中可以看到适当的设置检测电压值和迟滞宽度。不仅可以两个超级电容器电压差抑制在很低的范围内,而且还可以有效的防止A1、A2的同时动作。

图7的电路原理为:如果超级电容器C1电压高于C2电压时,会出现迟滞比较器A1的同相输入端电压高于反相输入端电压的状态,这时迟滞比较器A1输出为高电位。高边变换器工作,将高边超级电容器多余电荷转移到低边超级电容器。随着低边超级电容器电压上升高于低边超级电容器电压,使得比较器A1的同相输入端电压低于反相输入端电压。比较器A1输出低电位,高边DC/DC变换器停止工作;低边比较器A2工作原理及低边DC/DC变换器控制模式与高边相同。

4 实验结果及分析

实验采用额定电压为2.8 V/100 F超级电容器串联进行充电过程的电压均衡实验。

将两个100 F超级电容器并联,作为高边超级电容器,再与一个100 F超级电容器作为低边超级电容器串联。采用恒流充电方式对电容器组充电。

没有均衡电路状态下,低边超级电容器充电到2.8 V(额定电压)时必须停止充电。两个超级电容器在充电过程的电压波形如图9。

很显然,200 F电容量的超级电容器端电压远低于100 F电容量的超级电容器端电压。

采用文中的电压均衡电路在超级电容器组充

电过程的超级电容器电压波形如图10。

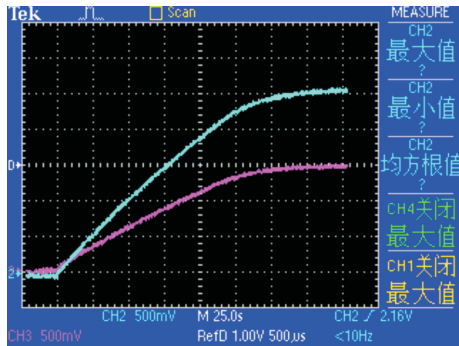


图9 无均衡电路的超级电容器电压波形

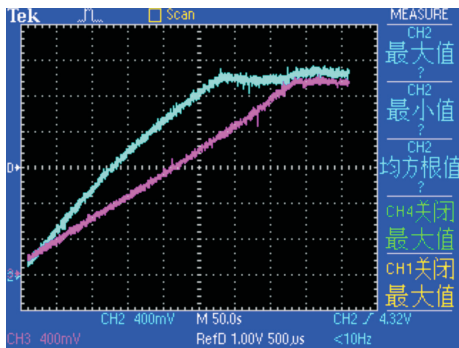


图10 采用文中均衡电路的超级电容器电压波形

测试结果表明,在电容量差异巨大状态下,文中的均衡电路可以很好地将高电压超级电容器多余电荷有效地均衡到端电压低的超级电容器中,实现电压均衡。

5 结论

与采用消耗电能为代价的均压电路相比,采用

DC/DC 变换器作为均压电路,可以有效的降低均压电路的损耗,降低了电路的温升,提高了电路的可靠性。

采用动态电压均衡可以在超级电容器充电过程很宽的范围工作,相对限压型电压均衡方式,具有更好的电压均衡效果^[3]。

采用 DC/DC 变换器可以将电压高的超级电容器多余电荷转移到电压低的超级电容器,令均衡电路具有更高的均衡性能。

参考文献

- [1] 胡国文,李超,林萍. 超级电容器电压均衡技术研究综述[J]. 电测与仪表, 2014, 51(22): 22-31.
- [2] 李洪珠,王俏,张垒,等. 半桥变换器与多变压器次级串联的超级电容均压[J]. 电源学报, 2017, 15(1): 75-80.
- [3] 许爱国,谢少军,刘小宝. 串联电容器动态电压均衡技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(12): 111-116.
- [4] 蒋玮,胡仁杰,张金龙. 一种新型回馈式串联超级电容器组均压策略[J]. 电力电子技术, 2011, 45(9): 21-23.
- [5] 陈哲群,徐刚,余得贵. 锂离子电池均衡电路设计与策略验证[J]. 电池, 2016, 43(6): 140-143.
- [6] 陈之勃,陈永真. 超级电容器的动态电压均衡方法的研究[J]. 辽宁工业大学学报, 2013(5) 298-300.
- [7] 陈亮,王秋瑶. 双通道旋转变压器解码系统设计[J]. 光电技术应用, 2016, 31(3): 50-53.
- [8] 王储. 一种反射单元不对称规则采样法步进电机控制技术[J]. 光电技术应用, 2016, 31(3): 54-56.
- [9] 杨乾,蔡敬海. 供电兼容性试验要求的机载设备电源适配性设计方法[J]. 光电技术应用, 2016, 31(6): 53-58.
- [10] 王志鹏,韦莉,顾帅,等. 超级电容器均衡方案设计综述[J]. 电器与能效管理技术, 2015(18): 55-60.

(上接第31页)

mensional least mean square filter for infrared small target detection[J]. Infrared Physics & Technology, 2014, 65: 17-23.

- [10] 朱风云,秦世引. 海天混杂闪烁背景下运动点目标检测新方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(12): 1384-1387.

- [11] Bai X, Zhou F. Analysis of new top-hat transformation and the application for infrared dim small target detection[J]. Pattern Recognition, 2010, 43 (6): 2145-2156.

- [12] BAI Xiang-zhi, ZHANG Shan, DU Bin-bin, et al. Survey on dim small target detection in clutter background: wavelet, inter-frame and filter based algorithms[J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 479-483.

- [13] HU Jing, YU Yi, LIU Fan. Small and dim target detection by background estimation[J]. Infrared Physics & Technology, 2015, 73: 141-148.