

超级电容器均压电路状况与展望

陈永真

辽宁工业大学(0416chenyongzhen@163.com)

摘要：本文分析了现有的超级电容器限幅型均压电路和动态均压电路的特点与实用性以及存在的问题，其本质就是均压电流远低于充电电流，导致分流效果差。针对这些问题提出了改进的方法，采用加大均压电流方式减缓单体电压在充电过程中可能出现的过电压。最后提出非能量损耗型均压电路是解决超级电容器电压均分的最好方法。

引言

超级电容器的额定电压很低（不到3V），在应用中需要大量的串联。由于应用中常需要大电流充、放电，因此串联中的各个单体电容器上电压是否一致是至关重要的。影响超级电容器电压是否均分主要有：电容量、ESR、漏电流等，尽管超级电容器在应用初期这些参数对超级电容器的电压均分的影响比较小，但是在超级电容器应用的中后期，随着这些参数的离散性变大，对超级电容器电压均分的影响越来越大，最终导致超级电容器寿命的急剧缩短。如果不采取必要的均压措施，会引起各个单体电容器上电压较大，采取更多的串联数来解决问题是不可取的。

1. 超级电容器的常用的均压方法及存在的问题

目前超级电容器均压电路主要有两种：限幅型均压电路和动态电压均压电路。

1.1 限幅型均压电路及特点

限幅型均压电路如图1。

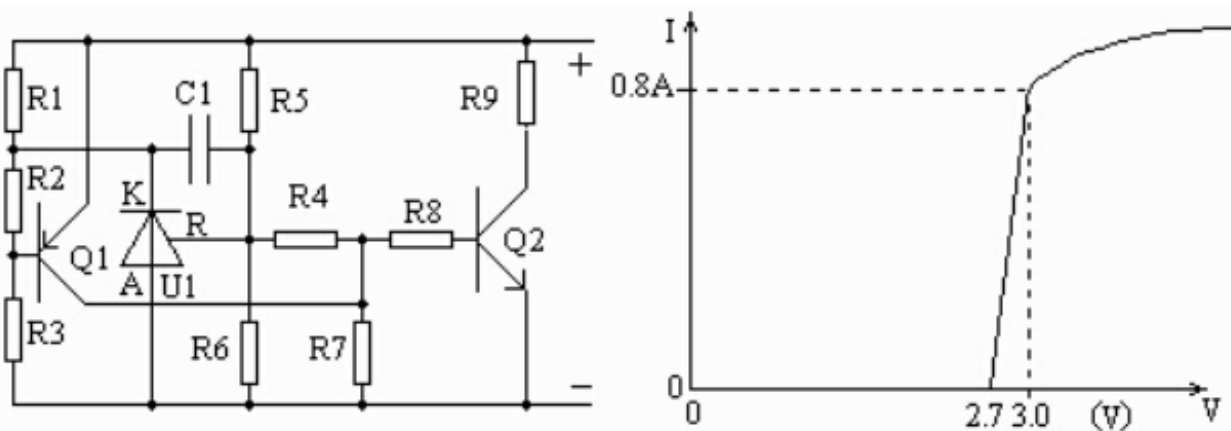


图1 限幅型均压电路

从图中可以看到，当电压低于转折电压时，电路处于“阻断”状态，仅有很小的漏电流；而电压达到并超过转折电压后，流过电路的电流将随电压的增加而急剧增加，呈现稳压二极管特性，以达到分流充电电流或泄放过充的电荷，最终超级电容器的电压被限制在转折电压以下。

这种电路的优点是电路工作原理简单，工作可靠，参数一致性好，一般的最大工作电流在1A以下。这种特性也带来了应用是的问题，也就是充电过程中超级电容器组中的某些超级电容器单体会出现比较严重的过电压。

例如，应用2.7V/600F、ESR0.8 超级电容器144只串联的390V/4F超级电容器组用7A电流充电到390V时，单体电压最高的达到2.95V，最低的仅仅2.45V。在充电电压维持在390V的条件下，采用图1均压电路均衡各单体电压，各单体电压达到基本一致（2.65V~2.75V）的时间需要7~10分钟；如果采用更高的充电电流，其单体电压的分散性更大。

应用限幅型均电路造成单体电压严重过电压的原因就是只有单体电压超过限幅值均压电路才开始动作所致。如果能在超级电容器充电过程中实现单体电压的“均分”，可以比较好的抑制单体过电压，这种电压均分方式称为动态均压

1.2 动态电压均压电路及特点

动态电压均压电路的基本原理是比较相邻的两个超级电容器的电压是否一致，如果不同电路动作，将电压相对高的超级电容器旁路部分电流降低充电电压升高的速率，使两个超级电容器的充电电压的上升速率尽可能一致，如图2的MAXWELL动态均压电路。

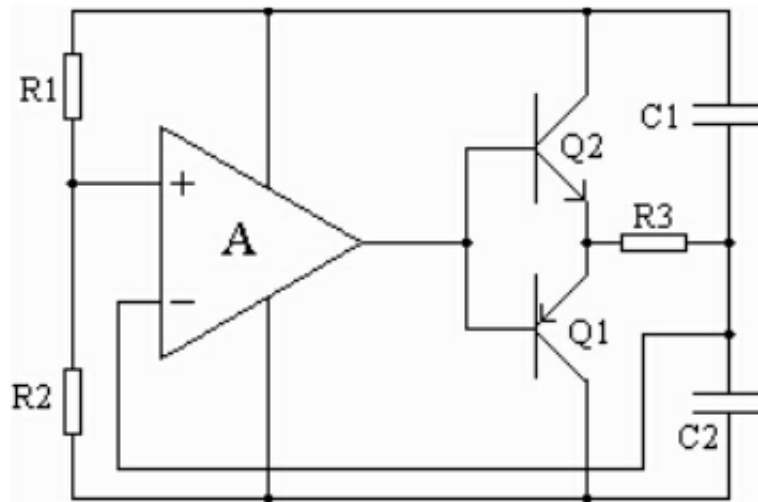


图2 MAXWELL 动态均压电路

这种电路在原理上解决超级电容器组充电过程的单体电压均分问题。然而在实际上并非如此。

图2电路的最低工作电压是2.4V对应单体电压1.2V，这表明在超级电容器充电的前半程这个电路是不工作的。不仅如此，该电路在最高工作电压下的最大均分电流仅0.5A，甚至低于限幅型均压电路的最大工作电流，当电压低于工作电压时均分电流随之下降。这样的特性同样导致了超级电容器在大电流充电过程中出现个别单体电压的过电压，而且电压的均分过程长于限幅型均压电路。

图2电路还存在着瑕疵，也就是只要单体存在差异电路就会动作，并且消耗超级电容器的储能，降低超级电容器的能量利用率，因此这种电路的应用受到限制。

由于上述种种原因，在超级电容器组的充电过程中导致了以下单体超级电容器的过电压，而过电压是超级电容器寿命及寿命缩短的主要因素，在频繁高电流充放电的应用中超级电容器的寿命甚至不到1年。这严重背离了超级电容器的高倍率充放电和高充放电循环寿命以及长寿命的特性。需要采取措施改进。

2. 解决超级电容器组的单体电压均分的方法

2.1 加大均压电路的均压电流可以有效抑制充电过程单体电压的偏差

针对上述问题，可以通过加大均压电流的方法加以改善。对于限幅型均压电路，可以采用图3电路，将最大工作电流扩展到4A，而电路成本却增加不多，这将是超级电容器均压电路的比较实用的解决方案。

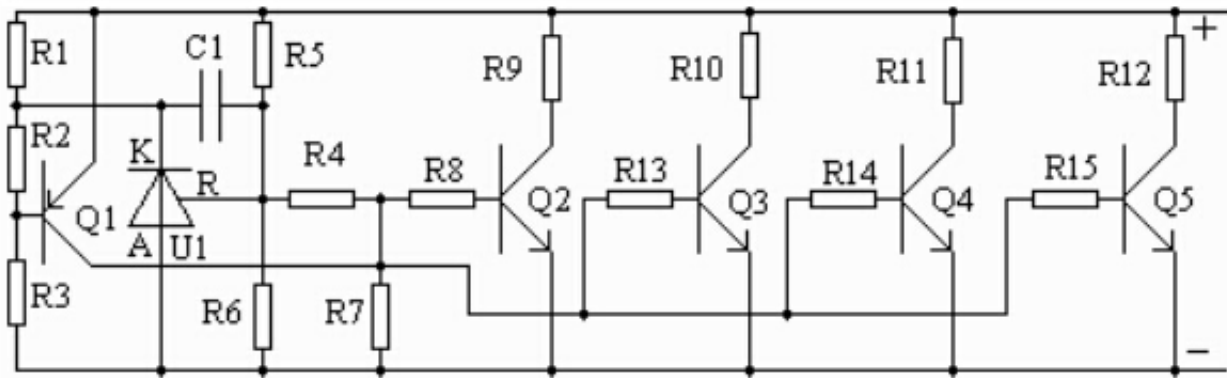


图3 大电流限幅型均压电路

从图中可以看到，图3电路实际上是在图1电流基础上增加了3路输出级，从而扩大了均压电流。将电路进一步改进，可以使最大均压电流达到10A，这样就基本上解决了超级电容器在充电过程中可能出现的严重的过电压问题。

不可否认的是，上述均压电路都是耗能型，电路在动作时会产生比较大的损耗，为了大幅度降低均压过程中的损耗，采用非能量损耗型均压电路将是超级电容器均压电路的最好选择。

2.2改进型动态电压均衡方式

图2电路存在的问题实际上是电路的开环增益太高，导致了两个超级电容器电压稍有差异就动作。如果放大器A的开环增益为100dB，则克服晶体管Q1、Q2发射结电压仅需要7 μV，因此均压电路将始终不断的调节，将超级电容器储存的电能消耗在电压均衡过程中。

在实际应用中两个超级电容器的电压偏差允许在一个比较小的数值就可以了，例如10mV~30mV就可以满足实际应用要求，如20mV。根据这个思路，可以将均衡电路作的不敏感，在电压偏差低于20mV电路不动作，只有电压偏差大于20mV后电路才动作。电路可以用图4电路实现。

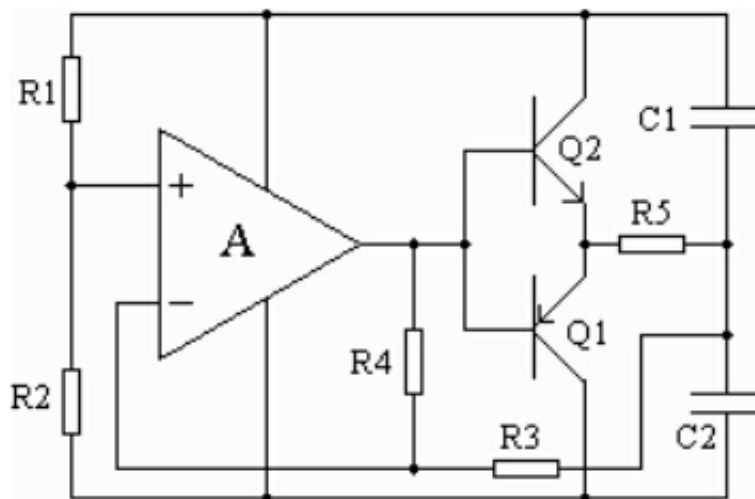


图4 改进型动态电压均衡方式

这样，在两个超级电容器电压偏差小于20mV时电路处于静止状态，电路的损耗仅为放大器的损耗和分压电阻的损耗。

2.3非能量损耗型均压电路是解决超级电容器电压均分的最好方法

解决超级电容器均压电路损耗最好的方法是采用DC/DC变换器将单体电压相对高的超级电容器的电和转移到电荷相对低的超级电容器中。由于是电荷的转移不再是电能的消耗，因此这种均压电路的损耗将是非常低的，属于非能量损耗型均压电路，电路如图5。

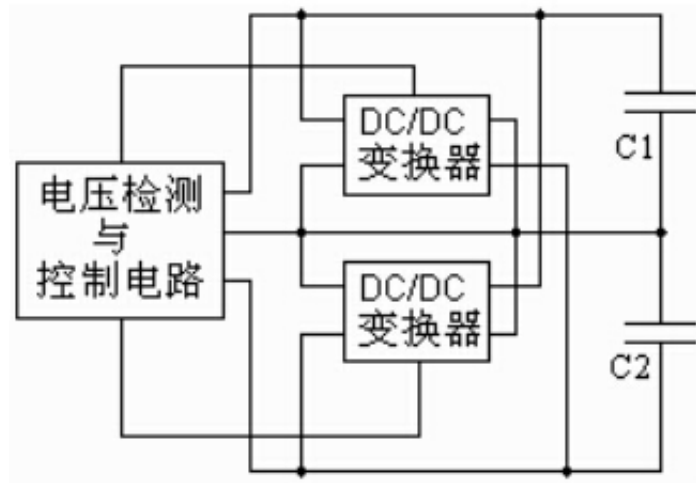


图 5 非能量损耗型均压电路框图

实现图4电路的关键是DC/DC变换器应能够在1V左右就能正常工作，并且受电压监测与控制电路控制。当超级电容器C1电压高于超级电容器C3电压时，图中上面的DC/DC变换器工作，将C1中的电能（电荷）转移到C2中，这时下面的DC/DC变换器不工作；同理，如果超级电容器C2电压低于超级电容器C1电压，则电压监测与控制电路控下面的DC/DC变换器工作，将C2的电能（电荷）转移到C1中，这时上面的DC/DC变换器是不工作的。

图4电路的均压电流取决于DC/DC变换器的设计，可以达到10A以上。

总结

超级电容器均压电路时超级电容器组中的必备电路，用以均分各单体电容器上的电压基本一致，因此超级电容器均压电路的性能决定了均压效果。通过增加均压电流可以减轻单体电压过电压的程度。利用DC/DC变换器技术可以获得非能量损耗的均压电路。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/94808.html>