

## 基于超级电容器蓄电装置的研制

李应生，孔银昌

(黄淮学院电子信息工程系，河南马店463000)

**摘要：**现用蓄电装置所暴露的问题越来越突出，其中最大的问题是寿命短和重金属污染物的回收处理问题。超级电容器具有充电速度快，循环寿命长，无污染等优点，由于超级电容的单体电压较低，不能满足应用工况的电压需求范围，为此需要将多个单体串联起来。但是由于单体超级电容之间的差异，

使得电压不能均衡地分配给每个单体超级电容，这将使超级电容储能明显下降并加速容量相对小的超级电容性能变坏。为了解决上述问题，用与超级电容同设计的电压均衡电路相连后封装，构成超级电容模块，由封装成的多个超级电容模块和单片机及有关电路构成超级电容蓄电装置。实验结果表明，超级电容蓄电装置储能效果良好。超级电容蓄电装置的研究推广应用前景广阔。随着人们对储能产品的性能需求和对环境保护要求的迅速提高，现用蓄电装置所暴露的问题越来越突出。其中最大的问题是寿命短、容量小和重金属污染物的回收处理问题。因此，研制一种寿命长、容量大、体积小、性能优良，并不会造成环境污染，易于回收利用的绿色环保型超级电容蓄电装置是一种迫切需要。

与常规电池相比较超级电容蓄电装置的优越综合性能主要表现为：充放电速度快，如用超级电容蓄电装置制造电动机车，对电动机车充电会同给燃油汽车加油一样快捷方便；超级电容的等效串联电阻(ESR)很小，可以提供非常大的电流；具有非常高的比功率，超级电容的比功率是铅酸电池比功率的10倍；使用温度范围宽，超级电容蓄电装置可以正常工作的温度范围在-40~75之间；充放电寿命很长，可高达数十万次，而蓄电池的充放电寿命很难超过1000次；超级电容是在高度多孔状电极与束缚态电解质的接触表面所特定的双电层上实现储能的，为物理电源。使用超级电容器比使用化学电池的总成本要低。超级电容与蓄电池相比代表了能量存储领域的新方向。目前超级电容储能电梯、电力机车启动等场合及制动能量回收系统中得到了较为广泛的应用。随着超级电容性能的提升，在新能源利用以及其他一些领域中会部分取代传统蓄电池。蓄电装置的研究与发展，将会迎来电动机车取代燃油汽车的新的变革时代。

由于超级电容的单体电压较低，不能满足应用工况的电压需求范围，为此需要将多个单体串联起来。然而在超级电容组件的设计中，由于各个单体电容性能存在一定的分散性，这使得总电压不能均衡地分配给每个单体电容。由于单体容量的差异，在使用中超级电容器经过多个循环的深度充放电，单体电容之间的性能差异将变大，这将使容量相对小的电容性能变坏，从而加速老化，寿命缩短，阻抗的增加将使整个电容组的特性变差，缩短整体寿命。因此，设计者必须保证组件总的工作电压在分配给单体电容时不会使其过压，并使各单体电压的分散性趋于最小化，使储能趋于最大化。

为了解决上述问题，我们在广泛征集用户意见和建议的基础上，综合国内外同类产品的优点，特提出超级电容蓄电装置研制项目。

### 1项目研究开发内容及目标

本项目选用SU2400P-0027V-1RA型超级电容，该型号电容具有较高的比功率、比能量和较低的等效串联电阻。首先将性能接近的8只2400F/2.7V超级电容器两两并联后串联，同设计的电压均衡电路相连后封装，构成超级电容模块，使电容模块内各单体电容电压控制在额定值，避免了过压对电容的损坏。由封装成的10个超级电容模块和单片机及有关电路构成基于超级电容器的蓄电装置。超级电容蓄电装置的功能包括：10个电容模块电压、总电压、充放电电流和电容箱内温度的检测与监视，以及电容模块在充放电过程中的在线电压均衡。

超级电容蓄电装置中10个超级电容模块间的在线电压均衡采用飞渡电容法均衡，飞渡电容均衡法电路结构简单，通过均衡电容可以实现能量在超级电容蓄电装置中任意两个电容模块之间的直接转移，没有重复无效的能量流动。将均衡电容器在串联电容模块中电压最高的电容模块和电压最低的电容模块之间进行并联切换，完成电荷由电压最高的电容模块到电压最低的电容模块的转移，从而使电压高的电容模块的电压下降，电压低的电容模块的电压上升，达到均衡的目的。

超级电容蓄电装置包括数据采集系统、光电隔离电路、继电器开关阵列、均衡控制数字量输出和信息显示触摸屏等部分。

## 2项目研制过程

### 2.1超级电容模块的电压均衡解决方案

通过分析可知，超级电容器通过电压均衡后其储能比没有均压的情况下提高了37%。因此，必须采用电压均衡的方

[1]。

本项目首先将性能接近的8只SU2400P-0027V-1RA型电容器两两并联后串联，同设计的电压均衡电路相连后封装，构成超级电容模块，使电容模块内各电容电压控制在额定值，避免了过压对电容的损坏。提高了超级电容模块的储能。超级电容模块电压均衡电路原理如图1所示。其中C1、C2、C3、C4表示8只2400F/2.7V的超级电容器两两并联后的电容，运算放大器A1、A2同增强型MOS管T1、T2与运算放大器A3、A4同MOS管T3、T4及有关电阻构成两个相同的超级电容模块单元电压均衡电路，运算放大器A5、A6同N沟道增强型MOS管T5、T6及有关电阻构成超级电容模块单元之间的电压均衡电路。

超级电容模块由8只超级电容器两两并联后串联的方式构成，其等效内阻和等效电容为： $ESRT(DC)=2m$ ， $CT=1200F$ 。

将超级电容模块的容量与蓄电池的容量参数比较，由 $Q=C \times U=I \times t$ 得到对应于蓄电池安时数的超级电容模块的容量为：

$CT(4 \times 2, 7 - U_{min}) / 3600$ ，其中 $U_{min}$ 为电容模块的最低工作电压。

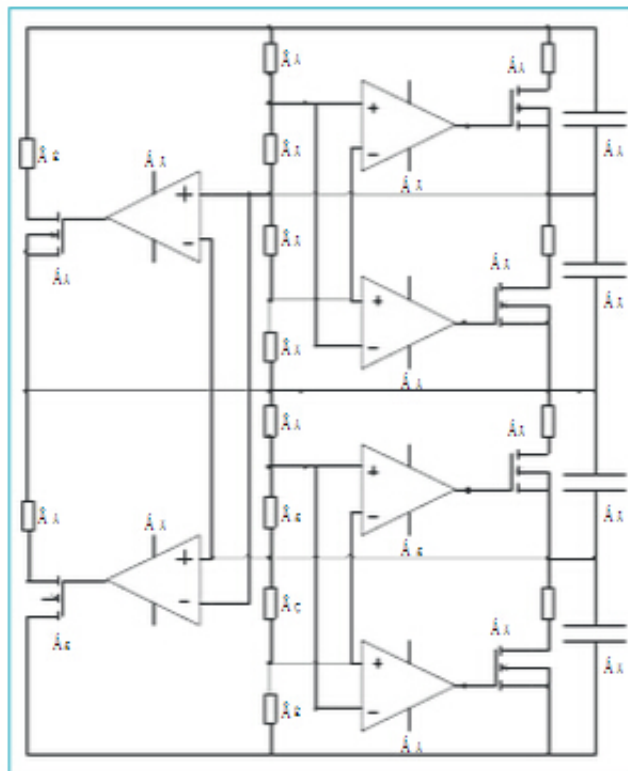


图1 超级电容模块电压均衡电路原理

超级电容模块单元之间的电压均衡电路原理：超级电容器C1与C2串联的后的总电压通过R1与R2串联和R3与R4串联分压后，R3与R4串联分得的电压分别送入运算放大器A5的同相输入端和运算放大器A6的反相输入端，超级电容器C3与C4串联的后的总电压通过R5与R6串联和R7与R8串联分压后，R7与R8串联分得的电压分别送入运算放大器A6的同相输入端和运算放大器A5的反相输入端，当R3与R4串联的分压值大于R7与R8串联分压值时运算放大器A5输出高电位，N沟道增强型MOS管T5导通，其漏极电流随A5的输出电压升高而增大。这样使得充电电流经过增强型MOS管T5流向C

3与C4，减缓或阻止了C1与C2电容电压的继续升高。

运算放大器A3、A4同MOS管T3、T4及有关电阻构成的超级电容模块单元电均衡电路原理：超级电容器C3的电压通过R5与R6串联分压后，R6分得的电压分别送入运算放大器A3的同相输入端和运算放大器A4的反相输入端，超级电容器C4的电压通过R7与R8串联分压后，R8分得的电压分别送入运算放大器A4的同相输入端和运算放大器A3的反相输入端，当R8的分压值大于R6的分压值时运算放大器A4输出高电位，N沟道增强型MOS管T4导通，其漏极电流随A4的输出电压升高而增大。这样使得充电电流经过增强型MOS管T4漏源极流向C3，减缓或阻止了电容C4电压的继续升高。反之，当R8的分压值小于R6的分压值时运算放大器A3输出高电位，MOS管T3导通，其漏极电流随A3的输出电压升高而增大。这样使得充电电流经过增强型MOS管T3漏源极流向C4，减缓或阻止了电容C3电压的继续升高。运算放大器A1、A2同增强型MOS管T1、T2与有关电阻构成的超级电容模块单元电压均衡电路原理同上。

选取适当参数，对超级电容模块进行实验研究，额定电压均为2.7V，采用恒流转恒压的充电方法，恒流充电电流为50A，恒流充电到2.5V时转恒压充电。其实验研究结果显示均压效果良好，在整个充电时间内电容的最大电压偏差约为0.1V，均衡速度较快，可有效避免单体超级电容过压情况发生，提高了电容组件的储能水平。

## 2.2 超级电容蓄电装置的电压均衡方案

用封装成的10个超级电容模块

和单片机及有关电路构成基于超级电容器的蓄电装置<sup>[2-3]</sup>

。10个超级电容模块间的在线电压均衡采用飞渡电容法均衡，蓄电装置选定的均衡电容器的容量为单体电容模块容量的3/4，其电压等级与单体电容模块相同。将均衡电容器在串联电容模块中电压最高的电容模块和电压最低的电容模块之间进行并联切换，从而使电压高的电容模块的电压下降，电压低的电容模块的电压上升，达到电压均衡的目的。

飞渡电容法在线电压均衡控制程序流程如图2所示，g和d分别为蓄电装置中当前电压最高的单体电容模块C(g)和电压最低的单体电容模块C(d)的序号，u(g)为C(g)的电压，u(d)为C(d)的电压，u(p)为二者的均值；C(j)代表均衡电容器，u(j)为其电压；Ton为C(j)与C(g)或C(d)并联接通的时间， $\tau$ 为接通时的充放电时间常数；Toff为C(j)与C(g)或C(d)接通后再断开的时间，Tx为断开时间门限。

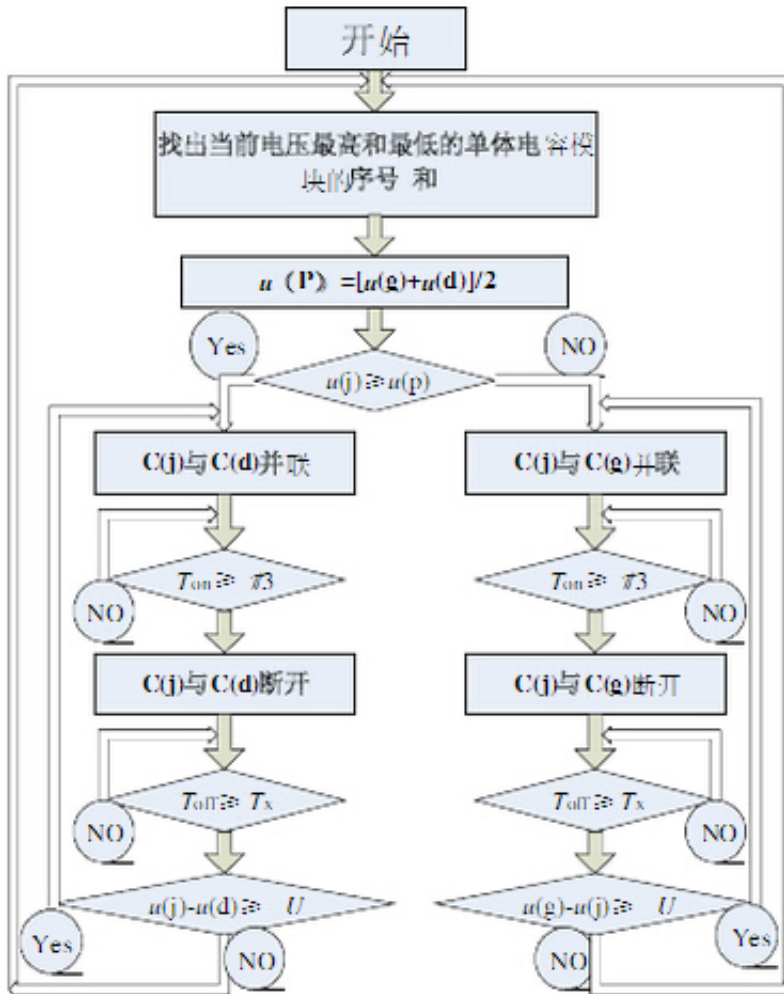


图2 飞渡电容法在线电压均衡控制程序流程

当电容组处于充放电状态时，均衡控制程序首先找出蓄电装置中电压最高和最低的单体电容模块的序号，并求出它们的电压均值，然后将均衡电容器的电压与该均值比较，当均衡电容器的电压小于或等于该均值时，则控制均衡电容器与电压最高的单体电容模块并联，从电压最高的单体电容模块吸收电量。否则，控制均衡电容器与电压最低的单体电容模块并联，向电压最低的单体电容模块充电；为了提高均衡速度，均衡电容器无论与电压最高的还是与电压最低的单体电容模块并联，都不是一直到二者电压非常接近才断开，而是周期性地通断，接通时间大于或等于它们充/放电时间常数的三分之一就断开，断开的时间大于或等于设定的时间门限 $T_x$  ( $T_x$ 根据蓄电装置电容模块电压循环检测周期而定)时，若二者电压差大于设定的压差门限  $U$ ，则均衡电容器再和刚刚与之断开的单体电容模块并联，否则重新找出电容模块中电压最高和最低的单体电容模块的序号，再按上述过程执行。

### 3结论

本项目首先将性能接近的8只超级电容器两两并联后串联，同设计的电压均衡电路相连后封装，构成超级电容模块，使电容模块内各单体电容电压控制在额定值，避免了过压对电容的损坏。提高了超级电容模块的储能。由封装成的10个超级电容模块和单片机及有关电路构成基于超级电容器的蓄电装置。用单片机控制飞渡电容实现电容模块间的在线电压均衡，提高了蓄电装置的充放电性能，进而研制成基于超级电容器性能优良的蓄电装置<sup>[4-5]</sup>。

超级电容模块便于批量生产，使用组合方便，为设计人员提供了一个即插即用型的解决方案，适用于构建不同电压应用下的蓄电装置。超级电容蓄电装置的研究推广与发展,可产生巨大的经济、社会和环境预期效益。

### 参考文献:

[1]田华亭, 张勇.容量偏差对超级电容储能的影响及解决方案[J].电子元件与材料, 2009, 28(9): 30-33.

[2] 逯仁贵, 王铁成. 基于飞渡电容的超级电容组动态均衡控制算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(9): 1421-1425.

[3] 李海冬, 齐智平. 超级电容器电力储能系统的电压均衡策略[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 19-33.

[4] 祁新春, 李海冬. 双电层电容器电压均衡技术综述[J]. 高电压技术, 2008, 34(2): 293-296.

[5] 石新春, 张玉平. 一种基于超级电容器储能的光伏控制器的实现[J]. 现代电子技术, 2009, 21(9): 133-137.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/94573.html>