

超级电容器串联应用中的均压问题及解决方案

孟丽囡, 陈永真, 宁武

(辽宁工学院信息科学与工程学院, 辽宁锦州121001)

摘要：详尽分析了超级电容器串联应用中影响各单体电容器上电压一致性的原因，阐述了不同的电压均衡方法及存在的问题，提出了具有使用价值的有源电压均衡电路，并给出实验结果。实验结果表明，超级电容器电压均衡电路是在超级电容器串联使用时均衡超级电容器单体电压的有效方法。

在超级电容器的应用中，由于其额定电压很低(不到3V)，常需要大量的串联。又由于经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。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差别较大，严重影响超级电容器的性能和寿命。本文对影响均压的各种因素进行了分析，并提出了行之有效的解决方案。

1影响均压的因素

1.1容量的偏差对电容器组的影响

通常超级电容器容量偏差为-10%~+30%。当电容器组中出现容量偏差较大时，在充电时容量最小的电容器首先到达额定电压而电容量最大的仅充到69%的额定电压，其储能为最小容量电容器的69%。其关系为

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}C_{\max}U_{\min}^2 &= \frac{1}{2} \times 1.44C_{\min}\left(\frac{1}{1.44}\right)^2U_e^2 = \\ \frac{1}{2} \times 0.69C_{\min}U_{\min}^2 &= 0.69\left(\frac{1}{2}C_{\min}U_e^2\right) \quad (1)\end{aligned}$$

其中 $C_{\min}$ 为最大负偏差电容量。电容器组的平均储能为

$$\frac{1 + 0.69}{2}\left(\frac{1}{2}C_{\min}U_e\right)^2 = 0.845\left(\frac{1}{2}C_{\min}U_e^2\right) \quad (2)$$

比全部由下偏容量超级电容器构成的电容器组还小, 为标称值电容器的 76%, 即

$$\frac{1}{2}C_{\min}U^2 = \frac{1}{2}(0.9C_{\text{com}})U^2 \quad (3)$$

其中 C_{com} 为标称电容量。由式(1), (2) 可得

$$\frac{1 + 0.69}{2} \times \frac{1}{2}(0.9C_{\text{com}})U_e^2 = 0.76 \times \frac{1}{2}C_{\text{com}}U_e^2 \quad (4)$$

在批量生产电容器组时精选电容量在很小的偏差内对提高电容器组的储能是有意义的, 但将提高生产成本。

1.2 漏电流对超级电容器组的影响

超级电容器多用于储能。充有电荷后静置状态下的电荷(或电压)保持能力取决于漏电流, 经过相对长的静置时间后, 漏电流大的超级电容器保持的电荷(或电压)明显低于漏电流小的。因此放电时, 漏电流大的首先达到放电结束, 而漏电流小的仍保持较多的电荷, 充电时漏电流小的首先达到充电结束。因此, 这时超级电容器组的各单体的充放电能量为

$$\frac{1}{2}C(U - \Delta U)^2 \quad (5)$$

式中: ΔU 为充放电前漏电流最小和漏电流最大的超级电容器电压差值。

1.3 ESR的影响

由于超级电容器的ESR相对较大，而且反复充电后ESR逐渐变大，ESR大的将越来越大，在充放电时ESR大的将先于ESR小的达到充放电结束电压，使其他ESR相对小的充放电不充分。

综上所述，超级电容器串联应用中必须考虑并解决均压问题。

2 无源元件解决方案

通常两个以上电容器串联可以采用并联电阻均压方式，通常应用于较高电压的整流滤波，电路如图1，图中 $C_1=C_2$ 、 $R_1=R_2$ 。由于电容器工作时有电源供电，电容的作用为滤波，故均压电阻的电流与功耗可以接受，不会影响滤波作用，对于用于储能的超级电容器，如果仅漏电流的差异，此法还可以，但对均衡高幅值充放电电流，则需阻值非常小的均压电阻，这个分压电流将由超级电容器提供，使超级电容器储能变低，在多只大容量超级电容器串联时是不实用的方法。

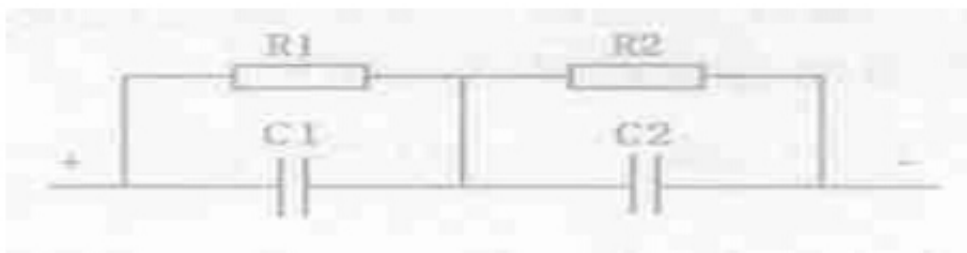


图 1 超级电容器的阻容均压

用稳压二极管箝位或适当数量普通整流二极管串联后并于超级电容器，如图2，在理论上可行，但在实际上会因稳压二极管的稳压值及二极管导通电压随温度变化，而且其伏安特性相对较软，而不符合超级电容器的均压要求，不能使用。

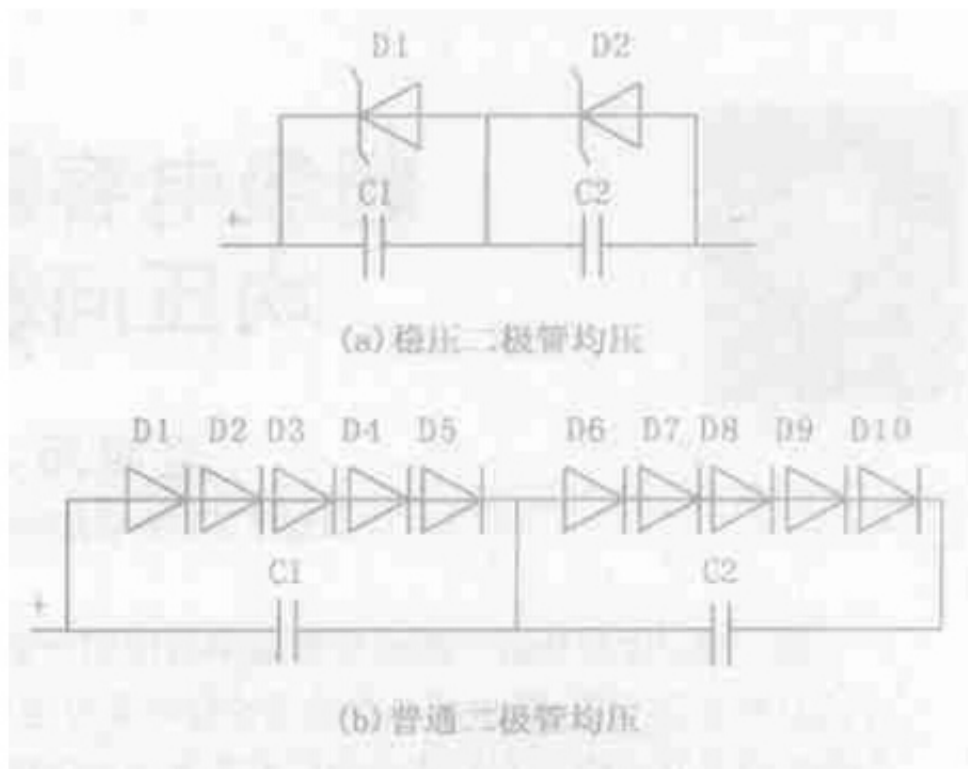


图2 超级电容器的二极管均压

3有源电压均衡解决方案

由于超级电容器电压均衡电路仅限制超级电容器端电压在额定电压值或以下, 而且, 通常不希望在额定电压值以下有较大的漏电流, 因此, 实现超级电容器电压均衡电路的基本要求为: 端电压达到设定值(稳压值)后, 端电压的微小变化将导致很大的端电流变化, 即稳压二极管的反向击穿特性, 如图3, 能承受较大的电流, 稳压值应是稳定的, 不随时间、温度及其他因素变化。

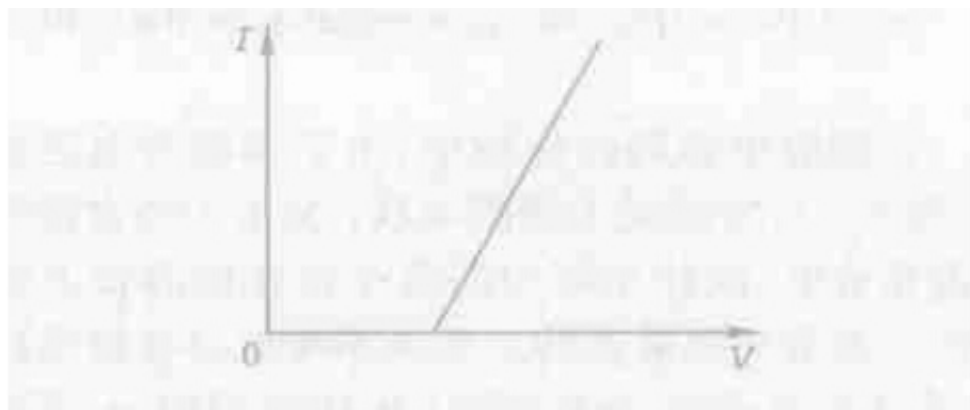


图3 超级电容器均压电路的伏安特性

按照上述基本要求, 所设计的均压电路的简要原理如图4, 电路由R1、R2分压电路、2.5V电压基准DZ、微功耗放大器A1和晶体管Q扩流电路构成。电路的伏安特性如图5。

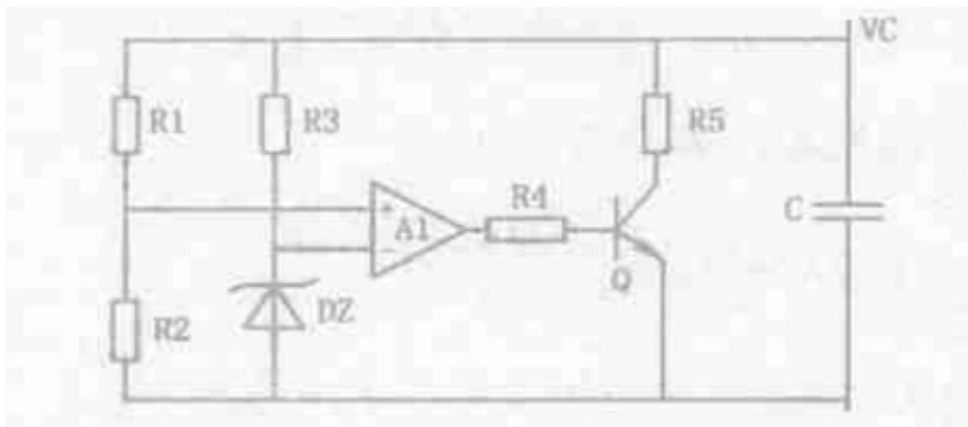


图4 实用的超级电容器均压电路

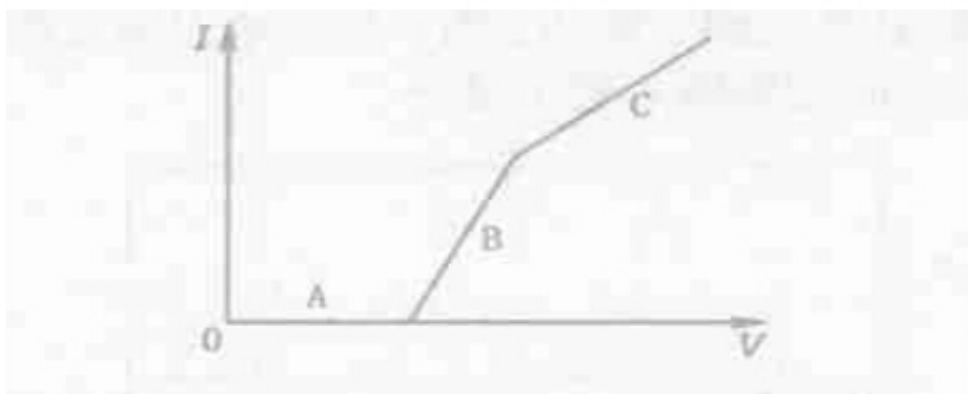


图5 实用的超级电容器均压电路的伏安特性

基本原理为：当超级电容器C上的电压经R1、R2分压送到放大器A1的同相端，分压值在2.5V以下时，放大器A1输出低电位，Q不导通，均压电路特性如图5的A段。随着C上的电压高于2.5V放大器的输出电压开始上升(其上升速率取决于放大器A1的增益)，扩流晶体管Q的集电极电流随

A1的输出电压上升而增大，均压电路的特性如图5的B段。当Q的集电极电流在R5上产生的压降等于 $V_C - V_{CE2(sat)}$ 时，均压电路的特性为电阻R5的特性，如图5的C段，在实际应用中，由于超级电容器的耐压有限而不允许均压电路工作在这一区段。

4动态特性分析

本文提出的电路是专用于超级电容器的均压。超级电容器的充电过程(特别是容量大的电容器)至少要30s以上，对于电子线路而言则是很缓慢的过程，因此，对于超级电容器的电压均衡电路的动态特性要求不是很严格。在实际测试中，本文提出的电路在端电压为2.7~2.75V范围内带宽不低于100kHz，其单位阶跃响应的上升时间小于1 μ s，与一般的模拟电子线路的响应特性基本相同。

5均压效果

在试验中，用680F/2.7V超级电容器的3并48串构成的40F/130V超级电容器组在20A的充电电流状态下充到130V维持2min后测量超级电容器单体电压。在未接入电压均衡电路前，超级电容器单体电压最高2.9V，最低2.5V，其中最高电压已超过额定电压；接入电压均衡电路后，重新测试，各超级电容器单体电压均为2.7V。

6结论

从实验结果可以得出，本文提出的超级电容器电压均衡电路是在超级电容器串联使用时均衡超级电容器单体电压的

有效方法。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/95282.html>