



## 超级电容概念

### 寿命

超级电容具有比电池更长的使用寿命，但是寿命的降低是电容内阻的增加（ESR）与电容容量降低。超级电容实际的失效与用户的应用有关，比如长期过温与过压，或者频繁大电流放电。

### 电压

超级电容具有推荐的额定工作电压，这个值是根据电容在最高的设定温度下最长的工作时间来确定的。如果应用电压高于额定电压，将会缩短电容的寿命，若过压时间较长则内部电解液将会分解为气体，当气体的压力逐渐增强时，电容内部将会损坏或者冲破。

### 极性

超级电容采用对称的电极设计，正负极具有类似的结构，当电容首次装配时，每个电极都可以被当成正极或者负极，一旦电容被第一次充满电时，电容就变成有极性了。所以我们在生产过程中将会 100%的充放电将极性定型，同时在每一个电容的外壳上面都有一个负极标志。提醒一点：虽然它们可以被放电使电压降低到 0V，但是电极还是保留一部分电荷，此时变换极性是不可以的。超级电容按照一个方向被充电的时间越长，他们的极性就变得越强。若此时更改极性将会使电容的寿命缩短或损坏。

### 环境温度

超级电容的正常工作温度是 $-25^{\circ}\text{C}$ 到 $70^{\circ}\text{C}$ ，温度与电压的结合是影响超级电容寿命的重要因素。通常情况下，超级电容的温度每升高  $10^{\circ}\text{C}$ ，电容的寿命将降低 1-2%。也就是说在可能的情况下尽可能降低使用温度，那么就可以降低电容的衰减与 ESR 的升高，若不可能降低使用温度，那么可以降低电压以抵消高温对电容的负面影响。相反在低温下提高超级电容的工作电压，可以有效的抵消超级电容在低温下内阻的升高。在高温情况下，电容内阻升高。在低温下，电容的内阻升高时暂时的，因为在低温下电解液的稠性升高，降低了电离子的运动速度。

### 放电特性

超级电容放电时，是按照一条斜率曲线放电，当一个应用明确了超级电容的容量与内阻要求后，最重要的就是要了解电阻及容量对放电特性的影响。在大电流脉冲放电中，ESR 是重要的因素。而在小电流放电中，容量是最重要的因素。计算公式如下：

$$V_d = I(R + T/C)$$

$V_d$  是起始工作电压与截止电压之差， $I$  是放电电流， $R$  是超级电容的直流内阻（ESR）， $T$  是放电时间， $C$  是电容的容量。

所以在脉冲应用中，由于瞬间放电流很大，为减少电压的跌落，选用低内阻（ESR）的超级电容，而在小电流应用中则需要选用大容量的超级电容。

### 充电方法

超级电容具有多种充电形式，如：恒流、恒功率、恒压等，或者电源并联（如电池、DC 变换器等）。若与电池并联，那么电容回路中串联一个电阻将降低电容的充电电流，并提高电池的使用寿命。但是如果串联了电阻必须要保证电容的电压输出时直接与负载连接，而没有经过电阻，否则电容的低内阻特性将是无效的。一只电容最大的推荐充电电流计算公式如下：

$$I = V/5R$$

I 是推荐的充电电流，V 是充电电压，R 是超级电容的直流内阻。电容持续采用大电流或者过压充电，会引起电容发

热，过热会导致内阻增加、电解液分解气化、缩短寿命、漏电流增加或者电容破裂。

电容容量越大充满电的时间越长。

## 自放电与漏电流

自放电与自漏电其实是一样的，针对超级电容的结构，相当于在电容内部有的正负极有一条高阻电流通道。这就意味着在充电的时候，同时会有一个额外的附加电流，这个电流就是漏电流。而当移除充电电压时，放置一定时间后电压会因内阻而发生变化。这个电压降就是电容的自放电。

## 电容串联

由于单体超级电容的电压一般为 2.5V 或 2.7V，而在应用中需要比较高的电压，这样可以使使用串联的方法来提高电容的电压。

在放电或者充电时，电容容量的差异与稳定状态下漏电流的差异，都将会导致串联的电容分压不均。在充电的时候容量高的电容将承受更大的电压。比如：两个分别为+20%与-20%的 2.7V1F 的电容串联，则电压分配如下：

$$V_1 = V_{\text{供}} * (C_1 / (C_1 + C_2))$$

V 供 是供给给串联两端的充电电压。

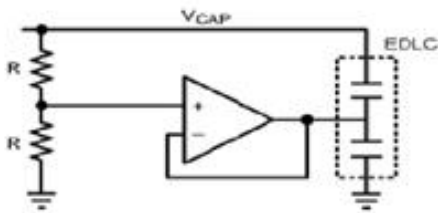
假设 V1 是+20%容量偏差的电容，若供应充电电压是 5.4V, 则：

$$V_1 = 5.4 * (1.2 / (1.2 + 0.8)) = 3.24V$$

所以，如果要避免分压大于电容的耐压电压 2.85 或者 3V 时，那么电容的容量必须在同一个趋势范围内。另外也可以用主动平衡电路来弥补电容容量的不匹配造成的分压不平衡的问题。

## 主动电压平衡

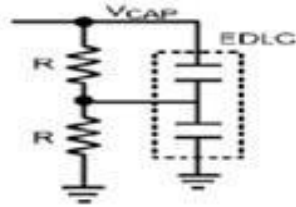
主动电压平衡是是使用开关电路来降低模组本身的能量消耗的一种平衡电路方式，使用电子元件与电路来强迫串关节点的电压与参考电压一致，不管电压有多不平衡，同时在确保精确的电压平衡时，主动平衡电路在稳定的状态下只有非常低的电流，只有当电压超出平衡范围时才会产生比较大的电流，这个特性非常适合于需要频繁充放电的场所。主动平衡电路的功率因素相对被动电压平衡电路比较高（0.99）。但是由于电路本身有消耗电的状况转换能效相对被动电压平衡较低，能效的高低还取决于开关电路的设计。简单电路如下：



## 被动电压平衡

被动电压平衡电路是忽略超级电容的低内阻直接用高电阻来做平衡电路的一种方式，采用与电容并联电阻进行分压，这就允许电流从电压比较高的电容向电压比较低的电容流动，通过这种方式进行电压平衡。在此选择电阻的阻值是很重要的，通常要使电阻允许的电流大于电容的预期的漏电流。同时要注意：“漏电流在温度升高的时候通常会增大”。

被动平衡电路使用在不频繁对电容进行充放电的应用中，同时要能够容忍平衡电阻引起的额外电流，使用平衡电阻时，建议使平衡电阻的电流大于电容漏电流 50 倍以上，一般选择在  $3.3\text{K}\Omega$  -  $22\text{K}\Omega$ ，要取决于电容的最高操作温度。若串联的电容很不匹配时，使用高电阻来平衡保护也是不够充分的。此电路在使用和不使用的情况下，能量消耗比较大。简单电路如下：



## 反极性保护

当串联使用的超级电容被快速充放电时，低容量电容的电压有可能变成反极性，这是不允许的，同时会降低电容的使用寿命，一个简单的办法就是在电容的两端并联一个合适的齐纳二极管，使其反向不导通，能够同时对电容过压保护。在选择二极管时，“二极管必须能够承受电源的峰值电流”。

## 脉动电流

超级电容虽然有比较低的内阻，但是相对电解电容而言，其内阻还是比较大的，若应用在脉冲电流的环境中容易引起内部发热，从而导致电解液分解、内阻增加，从而引起电容寿命缩短。为了保证电容的使用寿命，在应用在脉冲环境中时，最好要保证电容表面的温度上升不超过  $3^{\circ}\text{C}$ 。

## 比能量

是指电容器在单位重量或单位体积下所给出的能量。（通常也叫：重量比能量、体积比能量、能量密度）单位：WH/KG、WH/L

超级电容器的能量与本身的容量与电压有关。其计算方式：

$$E = CV^2 / 2 \quad (\text{单位焦耳 J})$$

换算为 Wh, 则  $1\text{Wh} = 3600\text{j}$ 。

而比能量则为能量与重量或者体积的比。

## 循环寿命

是指超级电容器经历一次充电和放电，称为一次循环或者叫一个周期。（超级电容器的循环寿命大于 100000 次）

## 超级电容优点

- 1、充电速度快，充电 10 秒~10 分钟可达到其额定容量的 95%以上；
- 2、循环使用寿命长，深度充放电循环使用次数可达  $1^{\sim}50$  万次，没有“记忆效应”；
- 3、大流放电能力超强，能量转换效率高，过程损失小，大电流能量循环效率  $\geq 90\%$ ；
- 4、功率密度高，可达  $300\text{W}/\text{KG} \sim 5000\text{W}/\text{KG}$ ，相当于电池的  $5^{\sim}10$  倍；
- 5、产品原材料构成、生产、使用、储存以及拆解过程均没有污染，是理想的绿色环保电源；
- 6、充放电线路简单，无需充电电池那样的充电电路，安全系数高，长期使用免维护；
- 7、超低温特性好，温度范围宽  $-40^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ；
- 8、检测方便，剩余电量可直接读出；
- 9、容量范围通常  $0.1\text{F} \sim 3000\text{F}$ 。



# 浙江斯瑞特电子科技有限公司

ZHEJIANG THREEETE ELECTRONIC TECHNOLOGY CO.,LTD

---

- 10、在很小的体积下达到法拉级的电容量；
- 11、无须特别的充电电路和控制放电电路
- 12、和电池相比过充、过放都不对其寿命构成负面影响；
- 13、从环保的角度考虑，它是一种绿色能源；
- 14、超级电容器可焊接，因而不存在像电池接触不牢固等问题；