

影响电解电容寿命的因素

1、前言

电解电容广泛应用在电力电子的不同领域，主要是用于平滑、储存能量或者交流电压整流后的滤波，另外还用于非精密的时序延时等。在开关电源的 MTBF 预计时，模型分析结果表明电解电容是影响开关电源寿命的主要因素，因此了解、影响电容寿命的因素非常重要。

电解电容的寿命取决于其内部温度。因此，电解电容的设计和应用条件都会影响到电解电容的寿命。从设计角度，电解电容的设计方法、材料、加工工艺决定了电容的寿命和稳定性。而对应用者来讲，使用电压、纹波电流、开关频率、安装形式、散热方式等都影响电解电容的寿命。

2、电解电容的非正常失效

一些因素会引起电解电容失效，如极低的温度，电容温升（焊接温度，环境温度，交流纹波），过高的电压，瞬时电压，甚高频或反偏压；其中温升是对电解电容工作寿命 (Lop) 影响最大的因素。

电容的导电能力由电解液的电离能力和粘度决定。当温度降低时，电解液粘度增加，因而离子移动性和导电能力降低。当电解液冷冻时，离子移动能力非常低以致非常高的电阻。相反，过高的热量将加速电解液蒸发，当电解液的量减少到一定极限时，电容寿命也就终止了。在高寒地区（一般-25℃以下）工作时，就需要进行加热，保证电解电容的正常工作温度。如室外型 UPS，在我国东北地区都配有加热板。

电容器在过压状态下容易被击穿，而实际应用中的浪涌电压和瞬时高电压是经常出现的。尤其我国幅员辽阔，各地电网复杂，因此，交流电网很复杂，经常会出现超出正常电压的 30%，尤其是单相输入，相偏会加重交流输入的正常范围。经测试表明，常用的 450V/470uF 105℃的进口普通 2000 小时电解电容，在额定电压的 1.34 倍电压下，2 小时后电容会出现漏液冒气，顶部冲开。根据统计和分析，与电网接近的通信开关电源 PFC 输出电解电容的失效，主要是由于电网浪涌和高压损坏。电解电容的电压选择一般进行二级降额，降到额定值的 80% 使用较为合理。

3、寿命影响因素分析

除了非正常的失效，电解电容的寿命与温度有指数级的关系。因使用非固态电解液，电解电容的寿命还取决于电解液的蒸发速度，由此导致的电气性能降低。这些参数包括电容的容值，漏电流和等效串联电阻 (ESR)。

参考 RIFA 公司预计寿命的公式：

$$P_{LOSS} = (I_{RMS})^2 \times ESR \quad (1)$$

$$T_h = T_a + P_{LOSS} \times R_{th} \quad (2)$$

$$Lop = A \times 2^{\frac{T_h - B}{C}} \text{ Hours} \quad (3)$$

B = 参考温度值（典型值为 85 ℃）

A = 参考温度下的电容寿命（根据电容器直径的不同而变化）

C = 导致电容寿命减少一半所需的温升度数

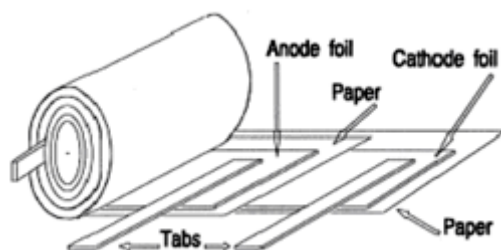
从上面的公式中，我们可以明显的看到，影响电解电容寿命的几个直接因素：纹波电流 (IRMS) 和等效串联电阻值 (ESR)、环境温度 (Ta)、从热点传递到周围环境的总的热阻 (Rth)。电容内部温度最高的点，叫热点温度 (Th)。热点温度值是影响电容工作寿命的主要因素。而下列因素又决定了热点温度值实际应用中的外界温度（环境温度 Ta），从热点传递到周

围环境的总的热阻 (R_{th}) 和由交流电流引起的能量损耗 (PLOSS)。电容的内部温升与能量损耗成线性关系。

电容充放电时, 电流在流过电阻时会引起能量损耗, 电压的变化在通过电介质时也会引起能量损耗, 再加上漏电流造成的能量损耗, 所有的这些损耗导致的结果是电容内部温度升高。

3.1、设计上考虑因素

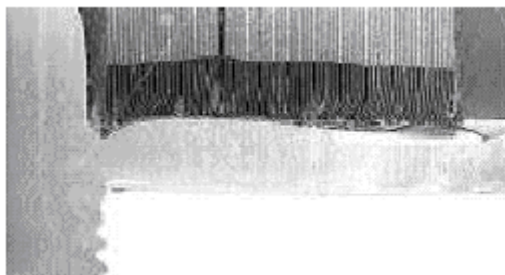
在非固态电解液的电容里, 电介质为阳极铝箔氧化层。电解液作为阴极铝箔和阳极铝箔氧化层之间的电接触。吸收电解液的纸介层成为阴极铝箔与阳极铝箔之间的隔离层, 铝箔通过电极引接片连接到电容的终端。



A、通过降低 ESR 值, 可减少电容内由纹波电流引起的内部温升。这可通过采用多个电极引接片、激光焊接电极等措施实现。

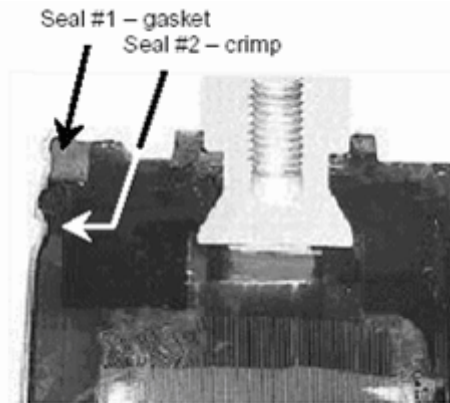
ESR 值和纹波电流决定了电容的温升。促使电容能有满意的 ESR 值的主要措施之一是: 通常用一个或多个金属电极引接片连接外部电极和芯包, 降低芯包和引脚之间的阻抗。芯包上的电极引接片越多, 电容的 ESR 值越低。借助于激光焊接技术, 可在芯包上加上更多的电极引接片, 因此使电容能达到较低的 ESR 值。这也意味着电容能经受更高的纹波电流和具有较低内部温升, 也就是说更长的工作寿命。这样做也有利于提高电容抗击震动的能力, 否则有可能导致内部短路、高的漏电流、容值损失、ESR 值的上升和电路开路。

B、通过对电容芯包和铝壳底部之间良好的机械接触及通过芯包中间的热沉, 可将电容内部热量有效地从铝壳底部释放到与之联接的底板。



内部热传导设计对于电容的稳定性和工作寿命极其重要。在 Evox Rifa 公司的设计中, 负极铝箔被延长到可直接接触电容铝壳厚的底部。这底部就成为芯包的散热片, 以使热点的热量能释放。如选用带螺栓安装方式, 安全地将电容安装到底板上 (通常为铝板), 可得到更为全面的具有较低热阻 (R_{th}) 的热传导解决方案。

C、通过采用整体绕注有电极的酚醛塑料盖和双重的特制的封垫与铝壳紧密咬合, 可大大减少电解液的损失。



电解液通过密封垫的蒸发决定了长寿命的电解电容工作时间。当电容的电解液蒸发到一定程度，电容将最终失效（这个结果会因内部温升而加速）。Evov Rifa 公司设计的双层密封系统可减缓电解液蒸发速度，使电容达到其最长的工作寿命。

以上这些特性保证了电容在要求的领域中具有很长的工作寿命。

3.2、影响寿命的应用因素

根据寿命公式，可以得出影响寿命的应用因素为：纹波电流 (IRMS)、环境温度 (T_a)、从热点传递到周围环境的总的热阻 (R_{th})：

(1) 纹波电流

纹波电流的大小，直接影响电解电容内部的热点温度。查询电解电容的使用手册，就可以得到纹波电流的允许范围。如果超出范围，可以采用并联方式解决。

(2) 环境温度 (T_a) 和热阻 (R_{th})

根据热点温度的公式，电解电容的应用环境温度也是重要因素。在应用时，可以考虑环境散热方式、散热强度、电解电容与热源的距离、电解电容的安装方式等。

电容器内部的热量，总是从温度最高的“热点”向周围温度相对较低的部分传导。热量传递的途径有几种：其一是通过铝箔和电解液传导。如果电容被安装在散热片上，一部分热量还将通过散热片传递到环境中。不同的安装方式和间距和散热方式都将影响电容到环境的热阻。从“热点”传递到周围环境中的总热阻用 R_{th} 来表示。采用夹片安装，将电容安装在热阻为 $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 的散热片上，所得到的电容热阻值 $R_{th} = 3.6^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ；采用螺栓安装方式，将电容安装在热阻为 $2^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 散热片上、强迫风冷速率为 2m/s 时，所得到的电容热阻值 $R_{th} = 2.1^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。（以 PEH20000427AM 型电容为例，环境周围温度为 85°C ）。

另外将延长的阴极铝箔与电容器铝壳直接接触，也是很好的降低热阻的方法。同时应注意铝壳会因此带负电，不能作负极连接。

电容必须正确安装才能达到它的设计工作寿命。例如：RIFA PEH169 系列和 PEH200 系列应该竖直向上安装或者水平安装。同时确保安全阀朝上，这样热的电解液及蒸气才能在电容失效的情况下，从安全阀顺利排出。

当电容排列很紧凑时相邻电容间至少应留出 5mm 的间隔以保证适量的空气流动。使用螺栓安装时，螺母扭矩的控制非常重要。如果拧得太松，则电容与散热片间就不能紧密接触；如果拧得太紧，又可能使螺纹损坏。同时应注意电容器不应倒置安装，否则可能造成螺栓的折断。

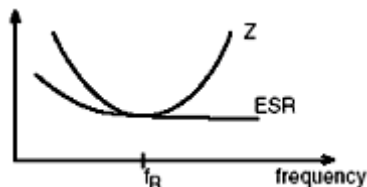
电容安装时应尽量远离发热元件，否则过高的温度会缩短电容器的使用寿命，从而使得

电容器成为整个电路中寿命最短的部件。在环境温度较高的情况下，尽量采用强迫风冷，将电容安装在进风口处。

（3）频率的影响

若电流由基频和多次谐波构成，则须计算每次谐波产生的功率损耗值，并将计算结果相加以求得总损耗值。

在高频应用中，电容两端引线应尽量短以减小等效电感。



电容的谐振频率(f_R)，因电容器种类不同而不同。对于焊片式和螺栓连接式铝电解电容，谐振频率在 1.5kHz 至 150kHz 之间。如果电容器在高于谐振频率时使用，对外特性呈感性。

4、结语

综上所述，在避免非正常失效的情况下，选择正确的应用条件和环境，电解电容的寿命是可以保障的。