

这个应用指南

这个应用指南是铝电解电容的完全手册，当然重点是 CDE 的型号。它从结构上深入的揭示了世界上主要的铝电解电容型号的性能和应用的最新信息。希望你能告诉我们更多你所想知道的，使我们能够完善这本手册。

铝电解电容总论

除了一些表面安装技术 (SMT) 的铝电解电容有固态的电解液之外，一般的电解电容都有一个卷绕电容元件，然后注入电解液，连上端子，密封装入一个罐里。这个卷绕电容元件包含了一个阳极金属箔，浸透在电解液中的纸隔离物和阴极金属箔。这个金属箔是高纯度的铝，它的表面用蚀刻技术蚀刻了几十亿的细微管道以增加与电解液的接触面积。

看起来电容量是在两个金属箔之间，实际上是在阳极金属箔和电解液之间。正极板是阳极金属箔；电介质是阳极金属箔上的绝缘铝氧化物；真正的负极板是导电的液态电解质，阴极金属箔仅仅是连接电解液。

这个结构能产生巨大的电容量，因为蚀刻金属箔可以增加 100 倍以上的表面积并且铝氧化物的电解质的厚度不超过 1 微米。这样的电容器有很大的金属盘面积并且金属盘非常靠近。

这些电容器一般提供 0.1UF---3UF 的电容值，额定电压从 5V---500V。他们是有极性的器件，有明显的正负极端子，并且有非常多的各种各样的类型，包括浇铸和罐型的 SMT 的器件，轴向和径向引线罐型，牛角端子型和大罐，螺栓端子型。最典型的电容电压值是

330UF/100V 和 6800UF/10V SMT 器件

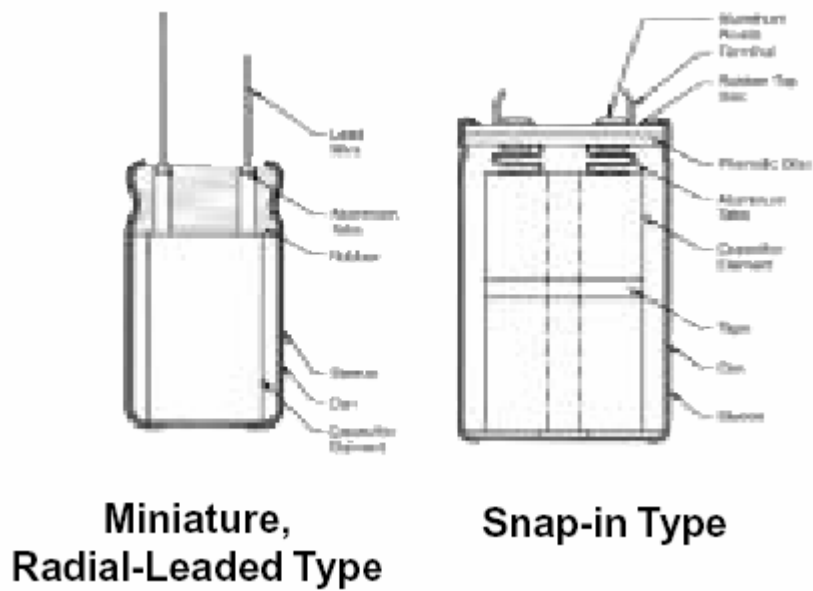
100UF/450V，6800UF/50V，10000UF/10V 微型罐型

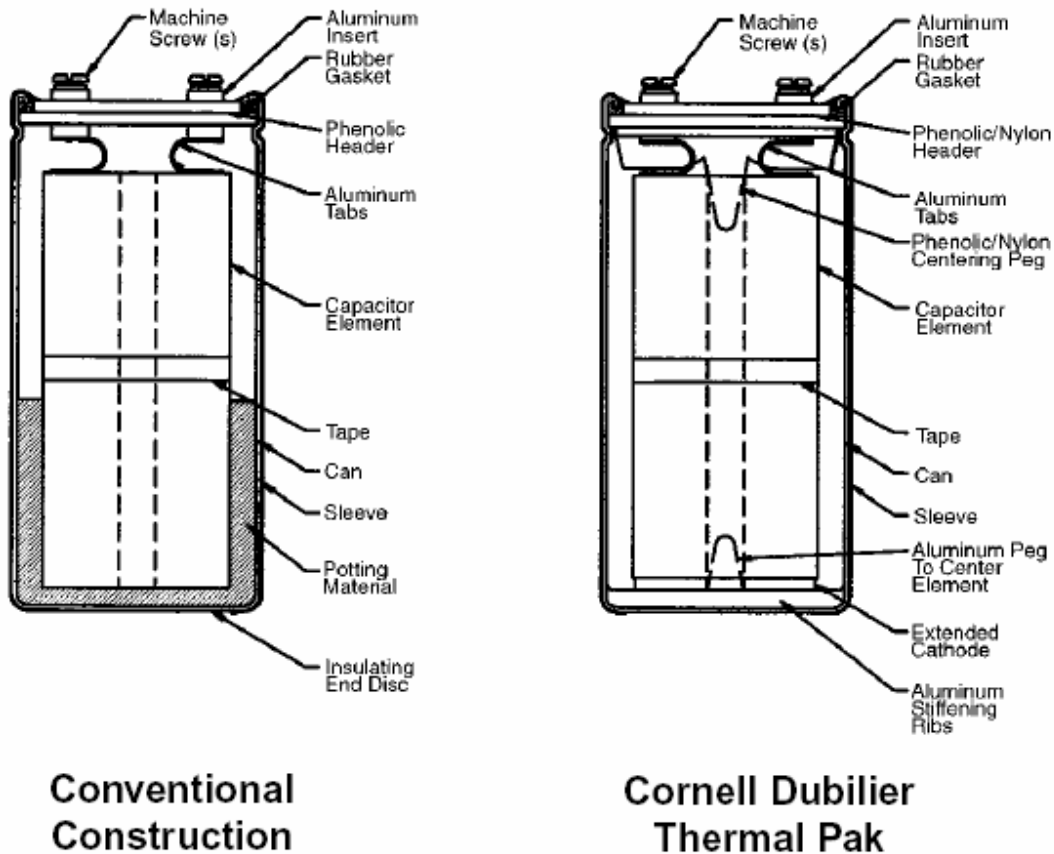
1200UF/450V 和 39000UF/50V 牛角罐型

9000UF/450V 和 390000UF/50V 大罐，螺栓端子型

如果两个相同容量的铝电解电容串联，背靠背连接正极端子和负极端子，结果是一个有一半电容值的无极性电容。两个电容调整所承担的电压，其作用相当于被二极管旁路过来的电压。当加上电压，极性正确的电容器承担全压。在无极性的铝电解电容和马达启动铝电解电容里一个第二阳极金属箔替代阴极金属箔，结果在一个壳里里得到一个无极性的电容器。

电容器结构





Large-Can, Screw-Terminal Type

这些图展示了非表面安装铝电解电容的典型结构。所有的 CDE 电容都使用压缩配合结构，那样就没有热塑性的陶瓷混合物去妨碍安全泄放孔的操作。**Thermal Pak™** 和 Rilled 是 CDE 对于计算机等级螺丝端子电容器的独有结构。与常规的罐装结构相比较，压缩结构，**Thermal Pak™** 冷却运行，提供更长的寿命，抵抗住更高的冲击和振动，安全泄放孔的释放操作更加可靠还有更轻的重量。

腐蚀

阳极和阴极金属箔是由高纯度的，很薄的只有 0.02—0.1mm 铝箔做成的，为了增加盘面积和电容量，与电解液接触的表面积的增加是通过蚀刻金属箔去溶解铝，使整个铝箔的表面形成一个高密度的网状的有几十亿个精细微管道的结构。

蚀刻技术是牵引在滚筒上的铝箔通过氯化物溶液，并且在蚀刻溶液和铝箔之间加 AC，DC 或 AC-&-DC 电压。表面面积对于低压电容来说可以增加 100 倍，对于高压电容来说可以增加 20-25 倍。

化成

阳极箔上有电容器的电介质。电介质是一层很薄的铝氧化物， Al_2O_3 ，它是在阳极箔上的化学生成的，这个过程叫“化成”。化成的完成是通过牵引在滚筒上的阳极箔通过一个电解液池，并且在池和箔之间加持续的 DC 电压。这个电压是最后电容器额定电压的 135%-200%。这个铝氧化物的厚度是 1.4-1.5nm/V 的化成电压。例如，一个 450V 的电容器的阳极箔的化成电压超过 600V，氧化物的厚度大约是 900nm，还不到人的头发的百分之一。

化成显著地减小了箔的有效表面积，因为氧化物闭塞了部分的精细微管道。管道的蚀刻模式的调整是通过选择箔和蚀刻工艺进行的，低压阳极有密集的管道模式对应薄的氧化物，高压阳极有粗糙的管道模式对应厚的氧化物。阴极箔不用化成，它保持着很高的表面积和高密度的蚀刻模式。

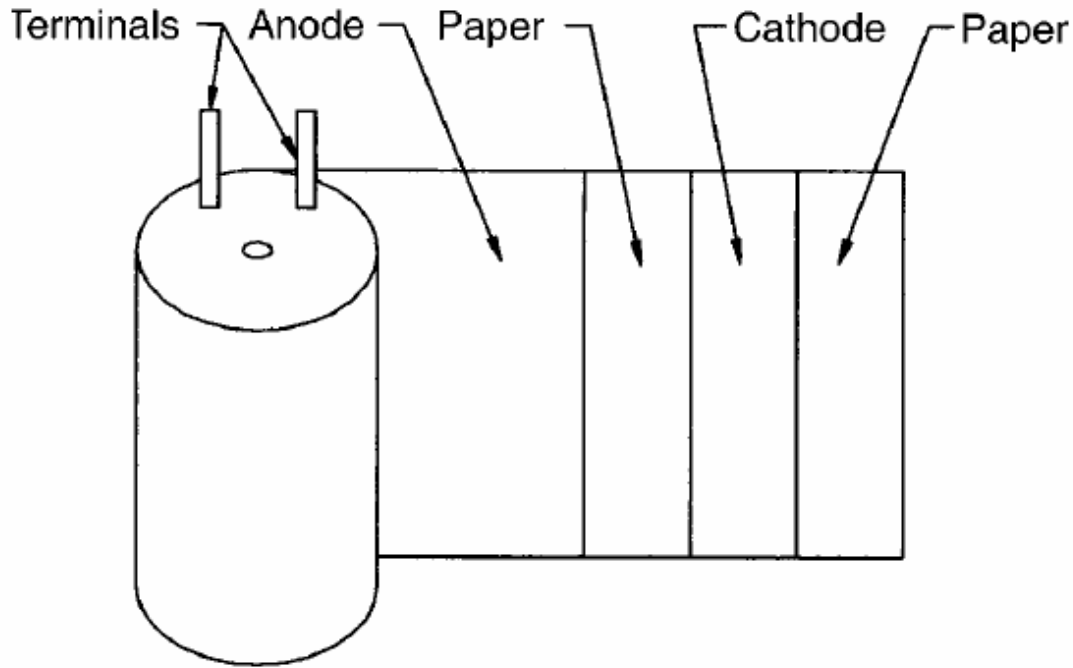
裁切

箔的蚀刻和成形是在一个 40-50cm 宽的大卷上完成的，然后根据最终电容器的长度裁切成各种不同的宽度。

卷绕

电容元件的卷绕是在有轴的卷绕机上完成的，一层隔离纸，一层阳极箔，另一层隔离纸和阴极箔。这些被卷绕成圆柱形，用一个压力敏感的带子绑紧防止展开。这些隔离物防止箔之间接触形成短路，这些隔离物后来保留住电解液。

在卷绕铝带前或卷绕铝带过程中为后来连接电容器端子附上箔。最好的方法是通过冷焊，把箔焊上带子，带子的位置在卷绕期间由微机控制，那样电容元件的电感可以低于 2 nH。老的附件的方法是通过立桩标界，一个方法是冲压整个带子然后折叠被冲压下的金属箔。冷焊可以减少短路失效，达到更好的高纹波电流性能和放电性能。其中个别的定标立桩可能由于高电流失效，就象纽扣突然从一个胖人的衣服上绷下来。



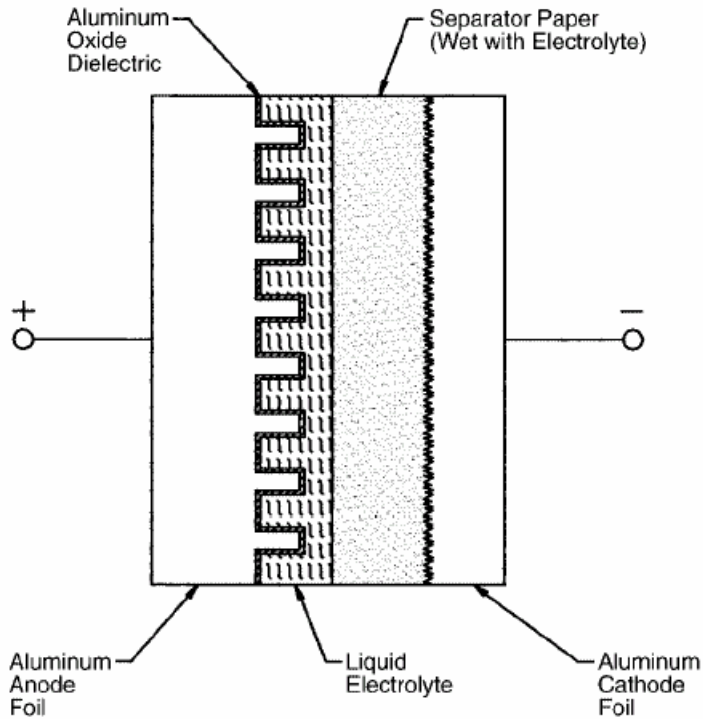
Wound Capacitor Elements

连接端子

在 SMT 电容和微小型电容里有橡皮塞，带子的扩展部分是电容器的端子。但大罐电容器如牛角和螺栓端子型，带子铆在或焊在电容器顶部的下面与插入端子相连。焊接产生最低的接触电阻和最高的电流处理能力。有电阻焊和超声波焊接两种方法可用。高达 12 对带子可以用，大螺栓端子电容经常在安装期间要求更强的机械支撑，那样电容可能先铆在端子的延伸柱上，然后焊接。在轴向引线的电容里阴极带在密封之前焊接到罐上。

浸渍

电容器元件注入电解液，去浸透纸隔离物并且渗透到蚀刻管道里。注入的方法可能会涉及到器件的浸入和真空压力周期的使用，不管使用或不使用加热，或者在小单元情况下仅仅是简单的吸收。电解液是根据电压和工作温度范围使用不同配方成分复杂的混合物。其主要成分是溶剂和导电性的盐-一种溶质-用来导电。普通的溶剂是乙烯乙二醇 (EG)，二甲基的甲酰胺(DFM)和 γ 丁内酯 (GBL)。普通的溶质是铵硼酸盐和其它的铵盐。EG 典型应用于额定值为 -20°C 或 -40°C 的电容。DFM 和 GBL 经常应用于额定值为 -55°C 的电容。



Capacitor-Element Materials

在电解液里水起很大的作用。水增加了导电性因此降低了电容的阻抗。但是它降低了沸点因而妨碍了高温性能，缩短了贮藏寿命。几个百分点的水是必要的，因为电解液要维持铝氧化物电介质的完整性。当漏电流流动时，水分解为氢和氧，氧被附着在阳极金属薄片上通过增加更多的氧化物来修复漏电位置。而氢通过电容的密封橡胶溢出。

封口

电容元件被密封在一个罐子里。尽管大部分的罐子是铝，石碳酸的罐子经常被用在马达启动器的电容上。为了释放氢，密封圈不是密闭的，它经常是压力封闭的，即将罐子的边沿滚进一个橡胶垫圈，一个橡胶末端插销或滚进压成石碳酸薄板的橡胶。在小电容中模子石碳酸树脂或聚亚苯基硫化物可以替代橡胶。太紧密封会导致压力增加，太松则密封会因为电解液的可允许的流失而导致缩短寿命。

老化

在此电容装配完成了整个周期。最后的生产步骤是老化即给电容加上高于额定电压但是小于化成电压的直流电压，通常是在电容的额定温度下加上电压的，但是也可能使用其它的温度甚至室温。这个步骤改良了在阳极薄膜上的剪切边缘和任何坏点，覆盖

上任何带铝氧化电介质的裸铝。老化可以减少或消除早期寿命失效（早期失效）。低的初始的直流漏电流就是有效老化的表征。

与其它类型的电容比较

瓷片电容

瓷片电容已经成为卓越的具有普遍用途的电容尤其是 SMT 贴片电容，其低成本使它们尤其具有吸引力。随着更薄的电介质的出现，额定电压小于 10V 电容量为几百个微法的多层单元已经成为可行。这打破了铝电解电容的传统的高电容量的原则。

根据电介质常数和温度性能瓷片电容有三种类别。第一类（NPO,COG）适用于低电容量，高公差的应用，容值范围从 1Pf 到几个 mF。第二类（X7R）每种外形尺寸其电容量是第一类的 20 到 70 倍。但是在-55 到 125°C 的温度范围内其电容量变化范围大约为 $\pm 10\%$ 。最大的变化范围是+15%到-25%。第三类（Z5U）电容量大约是第二类的 5 倍，随着电压和温度的变化第三类的电容量具有很宽的公差。温度范围是-25°C到 85°C，在这个温度范围内电容量从+20%到-65%。瓷片电容容易碎且对热冲击敏感。所以在安装过程中要小心避免使电容破碎，尤其是大尺寸高电容量的电容。

对于铝电解电容典型的温度范围是从-40°C到 85°C或 105°C。在这个范围内电容量的变化是从+5%到-40%，在低温下电容量减少。额定温度为-55°C的电容通常在-40°C时电容量减少-10%到-20%。对于额定电压为 300V 或更高电压的电容，其低温特性经常更坏，不同的制造商温度特性也不同。因此第一类和第二类瓷片电容在低温时性能比铝电解电容要好，而第三类瓷片电容在任何温度下的性能都更差。

铝电解电容具有更多的电容量。除了低压，第三类 SMT 贴片瓷片电容以外对于所有的类型，每个单位体积铝电解电容都比瓷片电容具有更大的电容量，可以存储更多的能量。瓷片电容的公差常规是 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ ，而铝电解电容的标准公差是 $\pm 20\%$ 和-10%+50%。在大电容量的应用场合下，像整流滤波和维持功率等电容量越大越好的场合下，会选择铝电解电容。瓷片电容没有极性，因此能应用在交流的情况下。由于第一类和第二类瓷片电容的 DF 低和电容量稳定性高，所以尤其是适用于 AC 和 RF 的应用场合。通过比较，铝电解电容是有极性的，不能承受反向电压超过 1.5V。没有极性的铝电解电容适用于像马达启动短时间的 AC 应用场合和电压反向的应用场合。由于

铝电解电容的 DF 高即从 2%到 150%造成了其在大多数 AC 应用场合下过热和缩短寿命。

由于铝电解电容具有自愈的特性，所以铝电解电容比瓷片电容的可靠性要高。既然高电容量的瓷片电容可以发生微裂纹，铝电解电容更趋向于发展高的电容值。但是小体积的铝电解电容可能会因为电解液的变干而缩短寿命，所以在超过 65°C的高温应用场合时，你的选择应考虑可靠性。

薄膜电容

薄膜电容的电容量公差小，具有非常低的漏电流和其电容量随温度的变化小。由于它们具有高的电容量和低的 DF 值（DF 值低可以允许高的 AC 电流）使其尤其适用于 AC 的应用场合。但是它们的体积和重量相对高。

塑料薄膜介质电容所使用的常见的聚合体是聚酯和聚丙烯。对于 SMT 器件，常见的聚合体是聚亚苯基硫化物（PPS）。薄膜的结构经常被使用在小电容值的电容上（低于 0.01 μ F），对于大电流的应用场合下，金属薄膜经常优先采用，因为它可以使电容具有更小的尺寸，更低的价格和自愈的特性。对于插件的应用场合薄膜电容是具有通用用途的电容，对于高公差，AC 电压，高电压和吸收的应用场合则具有特殊的用途。

聚酯薄膜(PE)电容在额定电压下工作温度范围从-55°C到 85°C，当线性电压降额到 50%额定电压时，可工作于 85°C到 125°C。在整个范围内典型的电容量的变化小于-5%+15%，从 0°C到 50°C典型的电容量的变化为 \pm 1%。其电容量容易高达 10 μ F,采用特殊的大部件可高达 100 μ F。一般可达到的电压是 50 到 1000Vdc，35 到 600Vac。其 AC 电流的承载能力受聚酯的大约 1%的高温 DF 所限制。

聚丙烯薄膜(PP)电容在额定电压下工作温度范围从-55°C到 85°C，当线性电压降额到 50%额定电压时，可工作于 85°C到 125°C。在整个范围内典型的电容量的变化小于+2%-4%，从-20°C到 60°C典型的电容量的变化为 \pm 1%。其电容量容易高达 65 μ F,采用特殊的大部件可高达 1000 μ F。一般可达到的电压是从 100Vdc 到 3000Vdc，从 70Vac 到 500Vac。其交流电流的承载能力允许在马达运行和其它连续运行的交流场合中使用。

同铝电解电容相比较，薄膜电容在高电压，交流电压和高公差的应用中占据着领先地位。铝电解电容在电容量和能量存储方面领先。

固体钽电容

像铝电解电容固态钽电容是有极性（最大 1V 反向电压），有明显的阳极和阴极端子，有不同的类型提供。外壳种类包括制模和径向，轴向的敷形涂覆形式以及表面贴结构。典型的电容量从 0.1uF 到 1000uF 电压额定值从 2V 到 50V。典型的最大的电容量-电压的结合对于引线形式大约是在 50V 时电容量为 22uF，对于表面贴形式在 35V 时电容量为 22uF。优势是温度的稳定性，体积的有效利用和对于所有的自动装配系统的兼容性。缺点是电压和电容量范围的限制和伴随着火的短路失效模式。

在额定电压下工作温度范围从 -55°C 到 85°C，当线性电压降额到 2/3 额定电压时，可工作于 85°C 到 125°C。在整个范围内典型的电容量的变化小于 ±5%。因此铝电解电容比固态钽电容具有更广的电压和电容值范围，但是在低温时性能比较差。

固态钽电容一般认为比铝电解电容的可靠性更高，因为固态钽电容没有磨损。随着时间的推移固态钽电容的失效率会降低，而铝电解电容会因为挥发而磨损。实际电解液的挥发在高温环境下仅仅影响最小的电容。

大容量的铝电解电容在多数应用中预计 10 到 20 年内电解液不会挥发掉，同固态钽电容短路失效模式相比其开路电解液挥发的失效模式算是良好的。

特性

电路模型

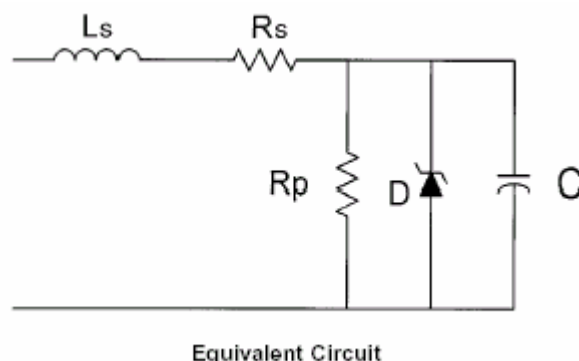
当两个导体用一个绝缘体隔离开，电容量就会产生。电容是一个电子器件被优化来传递电容量。电容量以 pF 为单位计算公式如下：

$$C=0.08855(n-1)\epsilon A/d$$

N 是电极板的数量， ϵ 是电介质常数，A 是板面积（单位用 cm^2 ），d 是板间介质的厚度（单位用 cm）。介质常数是同真空相比介质所能承载的电容量倍数的增加。对于铝氧化物介质常数大约是 8。

在右面的电路中模拟了铝电解电容

在正常操作和过电压以及反向电压时的行为。电容 C 是等效电容量，随着频率的增加它会减少。一般电容量范围从 1uF 到 1F，十的六次方范围。



电阻 R_s 是等效串联电阻值，随着频率和温度的增加它会减少。随着额定电压增加它会增加。典型值范围从 $10\text{m}\Omega$ 到 1Ω ，对于一个给定的额定电压 R_s 与电容量成反比。

电感 L_s 是等效串联电感量，它相对不受频率和温度的影响，对于径向引线的类型典型值范围是从 10nH 到 30nH ，对于螺拴端子的类型典型值范围是从 20nH 到 50nH ，对于轴向引线的类型典型值高达 200nH 。电感 L_s 随端子空间的增加而增加。

电阻 R_p 是等效并联电阻，它决定电容中的漏电流。其值随电容量，温度和电压的增加而减少，随时间的增加而增加。典型值用 $100/C \text{ M}\Omega$ 来计算，其中 C 的单位是 μF 。

齐纳二极管 D 模拟过电压和反向电压的行为。高于电容冲击电压额定值 50V 的过压的应用会造成高漏电流和常压操作模式即很像齐纳二极管反向击穿的情况。反向电压远远超过 1.5V 的应用将造成高漏电流很像二极管正向导通的情况。这些工作模式都不会保持很长时间因为由电容所产生氢气的压力的积累将造成电容损坏。根据下一节的参数，额定电容值是 C ，损耗因子是 $2\pi fCR_s$ ，等效电容电阻是 R_s ，阻抗是： $[(R_s)^2 + (1/(2\pi fC) - 2\pi fL_s)^2]^{1/2}$ 电感是 L_s 。根据等效电路模型下面的表格表示这些参数和它的参数。

| Parameter | Unit | Symbol | Formula | Approximately |
|------------------------------|----------------------|------------|--|---------------|
| Capacitance | farads (F) | C | | |
| Capacitive Reactance | ohms (Ω) | X_c | $1/(2\pi fC)$ | Z |
| Current | amperes (A) | I | $C(dV/dt)$, V_z/Z | |
| Dissipation Factor | none | DF | R_s/X_c , $2\pi fCR_s$, $\tan(\delta)$, $\cot(\theta)$ | PF |
| Energy | Joules (J) | E | $\frac{1}{2}CV^2$ | |
| Equivalent Series Resistance | ohms (Ω) | R_s | $DF/(2\pi fC)$ | |
| Frequency | hertz (Hz) | f | | |
| Impedance | ohms (Ω) | Z | $[R_s^2 + (X_c - X_L)^2]^{1/2}$ | X_c |
| Inductance | henries (H) | L_s | | |
| Inductive Reactance | ohms (Ω) | X_L | $2\pi fL$ | |
| Loss Angle | degrees ($^\circ$) | δ | $\tan^{-1}(DF)$ | |
| Phase Angle | degrees ($^\circ$) | θ | $\cot^{-1}(DF)$ | |
| Power | watts (W) | P | I^2R_s , I^2X_cDF , $(VA)(PF)$ | |
| Power Factor | none | PF | R_s/Z , $\sin(\delta)$, $\cos(\theta)$ | DF |
| Quality Factor | none | Q | X_c/R_s , $1/DF$, $\cot(\delta)$, $\tan(\theta)$ | $1/PF$ |
| Self-Resonant Frequency | hertz (Hz) | ω_0 | $1/[2\pi(LC)^{1/2}]$ | |
| Voltage | volts (V) | V | $V_c=IX_c$, $V_z=IZ$ | |
| Volt-Amperes | V-A | VA | IV_z , I^2Z | |

参数

温度范围

工作温度范围

工作温度范围是个温度范围，在这个范围内器件将起作用，即当加电时，各项指标应在技术规格所给定的限制范围内。它是环境温度范围，在这个温度下电容被设计能持续工作。很大程度上化成电压决定了高温限度。化成电压越高允许工作温度越高但降低了电容量。低温限制值很大程度上由电解液的低温电阻系数所决定。较高的低温电阻系数可增加电容的 ESR 从 10 到 100 倍，降低了有效电容量。

典型的温度范围是从-20°C到 55°C，-25°C到 85°C，-40°C到 85°C，-55°C到 85°C，-40°C到 105°C，-55°C到 105°C和-55°C到 125°C。

储存温度范围

储存温度范围是个温度范围，在这个温度范围内器件能被正常处理，与规定的电气限制相一致。它是环境温度范围，在此范围内电容能被存储短时间不被损坏。对于长时间的存储，应该保存电容在冷的室内温度下，应在一个没有像氯和氟卤素气体的环境中，因为它们能侵蚀铝。存储温度范围是从-55°C到最高工作温度。

额定电容量

额定电容量是指在 120Hz 温度为 25°C时名义电容量。额定的电容量是标示有单位的电容量。

电容量公差

电容量的公差是指可允许电容量的最大值和最小值，用相对于额定电容量的百分数的增加和减少来表示，即 $\Delta C/C$ 。典型的电容量公差是 $\pm 20\%$ ， $-10\%+50\%$ 和 $-10\%+75\%$ 。

比较小的公差在高压电容中比较容易得到，比如高于 150V 的电容，但是公差小于 $\pm 10\%$ 一般达不到。值得注意的是比较小的公差的器件可以符合其它的公差的需要，很容易替代。

电容量是随温度和频率而变化的。这个变化的本身是依赖于额定电压和电容尺寸。

电容量的测试

对于铝电解电容，是在 25°C时测试在一个测量桥式电路中等效串联电路中的电容量作为电容量，测量桥式电路用 120Hz 没有谐波含量最大 AC 信号电压为 1Vrms 没有正向偏置电压的电源来供电。

电容量的温度特性

电容量随温度的变化而变化。这个变化的本身很小程度上是依赖于额定电压和电容的尺寸的。从 25°C到温度最高限电容量的增加量小于 5%。对于额定温度为-40°C的电容，低压电容在-40°C时电容值一般下降 20%，高压电容一般下降 40%。大多数电容在-20°C和-40°C之间下降。对于额定温度为-55°C的电容，在-40°C时电容值的下降量一般小于 10%，在-55°C时一般小于 20%。

电容量的频率特性

等效电容值随频率的增加而降低。根据电容量自谐振频率一般低于 100kHz。在自谐振时，器件是阻性的，超过它器件是感性的。端子的类型（比如轴向，径向，螺丝端子）将影响电感特性。小的径向端子的电容有小于 20nH 的电感。大的电容根据端子空间有更大的电感量。

损耗因数 (DF)

损耗因数是测量损耗角的正切值并用百分数来表示。损耗因数也是 ESR 同容性阻抗的比值，因此与 ESR 有关，用公式表示：

$$DF=2\pi fC(ESR)/10,000$$

DF 是用百分数表示的没有单位的数值，测试频率 f 的单位是 Hz，电容量 C 的单位是 Uf，ESR 的单位是Ω。

DF 的测试

DF 的测试是在 25°C用 120Hz 没有谐波含量最大 AC 信号电压为 1Vrms 没有偏置电压的电源来供电下完成的。DF 的值与温度和频率有关。

DF 的温度特性

损耗因数随温度的升高而降低。从 25°C到最高温度限时 DF 大约降低 50%，但是在最低温度限时，DF 增加超过 10 倍。额定温度为-55°C的更好的器件的 DF 值在-40°C时增加量不到 5 倍。

DF_{if} 将在下一章节定义，其随温度和 ESR_{hf} 变化很小，下一章节将说明，从 25°C 到最低温度限时 DF_{if} 增加 10 到 100 倍。在低温时 DF 的增加量由 ESR_{hf} 设定。

DF 的频率特性

损耗因数在高频时随频率的变化而变化。DF 用以下的公式来模拟：

$$DF = DF_{if} + 2\pi f C (ESR_{hf}) / 10,000$$

DF 是用百分数来表示的总的损耗因数，DF_{if} 是用百分数来表示的低频的损耗因数，ESR_{hf} 是高频时的 ESR (单位 Ω)，f 是测试频率 (单位 Hz)，C 是测试频率下的电容量 (单位 uF)。DF_{if} 是由功率损失所造成的，功率损失是由在铝氧化物的分子排列方向的电场所产生的。ESR_{hf} 是由在薄膜，连接器和电解液/隔离物垫上的阻性损耗所造成的。电解液/隔离物垫上的电阻值经常起主导作用，它的电阻值随频率变化很小。DF_{if} 的范围大约是从 1.5% 到 3%。ESR_{hf} 的范围是从 0.002 到 10Ω，随温度而降低。

上面 DF 的公式表明 DF 在低频时是个常数，在交越频率处跨越到降低的 DF 和固定的 ESR，交越频率与电容量成反比。因为高电容量的电容其交越频率低，随着频率的增加高电容量的电容比低电容量的电容 DF 增加的更多。

等效串联电阻

等效串联电阻 (ESR) 是一个单一的电阻值，它代表了电容中所有的与电容相串联的欧姆损耗。

ESR 的测量

对于铝电解电容，是在 25°C 时测试在一个桥式电路中等效串联电路中的电阻值作为 ESR 的值，测量桥式电路用 120Hz 没有谐波，含量最大 AC 信号电压为 1V_{rms} 没有正向偏置电压的电源来供电。

ESR 的温度特性

ESR 随温度的增加而降低。从 25°C 到最高温度限 ESR 大约降低 35% 到 50%。但是在最低温度现时 ESR 的增加超过 10 倍。对于额定温度为 -20°C 或 -40°C 的电容，在 -40°C 时 ESR 的增加超过 100 倍。

DF_{if} 随温度的变化很小，从 25°C 到最低温度限 ESR_{hf} 增加 10 到 100 倍。在低温时 ESR 的增加量由 ESR_{hf} 所设定。

ESR 的频率特性

像 DF 一样，ESR 随频率而变化。重写一次上面 DF 的公式，ESR 可由下面的公式来模拟：

$$ESR = 10,000(DF_{if}) / 2\pi fC + ESR_{hf}$$

用 ESR 来表示，在低频时 ESR 随着频率的增加稳定的下降，在交越频率处跨越到固定的 ESR，交越频率与电容量成反比。交越频率典型值小于 10kHz。高电容量的电容的 ESR 随频率的增加变化很小因为高电容量造成交越频率低。ESR_{hf} 的范围是从 0.002Ω (大的螺丝端子的电容) 到 10Ω (小型化的电容)。

阻抗 (Z)

铝电解电容的阻抗实际上是阻抗的幅值。它是在一个给定的频率下电压与电流的比值，它与电容的电容量，ESR 以及串联电感有关，如下所示：

$$Z = [(ESR)^2 + (1/(2\pi fC) - 2\pi fL)^2]^{1/2}$$

Z 是阻抗 (单位为 Ω)，ESR 是等效串联电阻 (单位为 Ω)，f 是频率 (单位为 Hz)，C 是电容量 (单位为 F)，L 是等效串联电感 (单位是 H)。

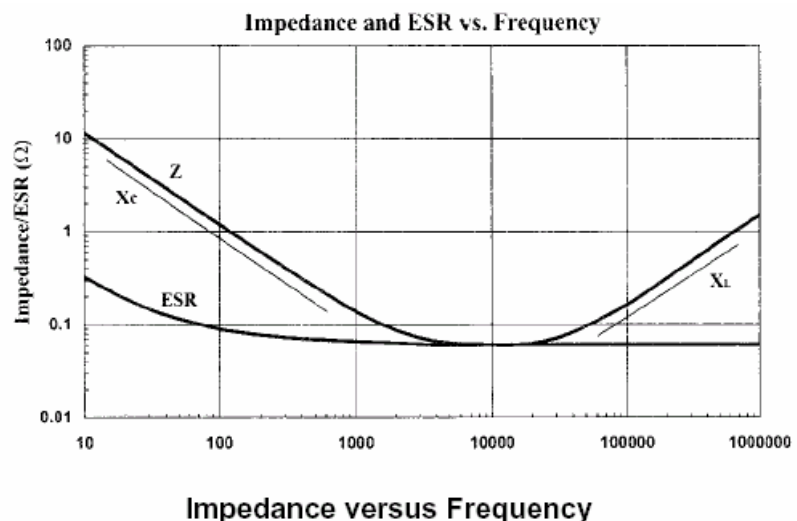
Z 的测量

对于铝电解电容，是在 25°C 时测量在一个测量桥式电路中等效串联电路中的阻抗幅值作为 Z，测量桥式电路是用从 10Hz 到 100kHz 的可变频率没有谐波含量且 AC 信号电压为 1V_{rms}，没有正向偏置电压的电源来供电。阻抗的测量主要是为了典型性能曲线和低温限的测量。

对于低温阻抗的测量，把电容放在一个房间内，温度设在低温限的 ±2°C。在 120±5Hz 使用任何合适的方法来测量阻抗提供精度为 ±2^{1/2}%。当温度稳定以后，尽快的做测试并使用同实际一样小的一个 AC 测量电压以避免造成电容发热。以 15 分钟为间隔所作的两个连续测试试验的结果显示没有变化就可确信电容已经达到热稳定。

Z 的温度特性

从 25°C 到最高温度限阻抗的减少量通常小于 5%。但是在最低温度限



时阻抗的增加高达 10 倍。

Z 的频率特性

阻抗的频率特性由容性阻抗 ($1/2\pi fC$)，感性阻抗 ($2\pi fL$)，和在电解液中的电阻损耗所决定。典型的阻抗与频率曲线如右所示。最低点是在自谐振频率点，在那个频率上，阻抗等于 ESR。

DC 漏电流 (DCL)

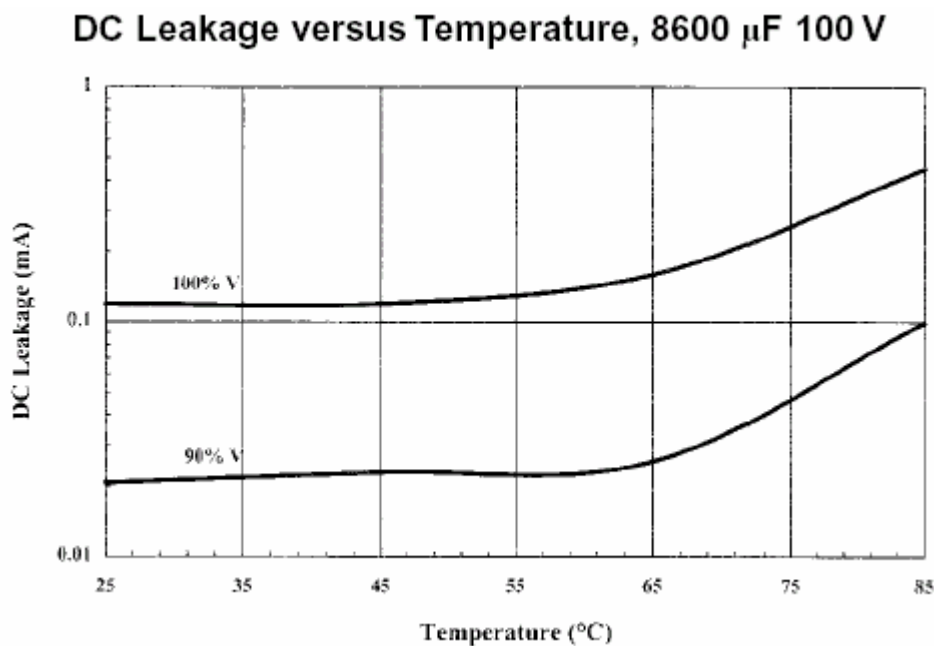
DC 漏电流是指在给定的额定电压下流过电容的直流电流值。漏电电流值依赖于给定的电压，充电周期和电容的温度。

DCL 的测试方法

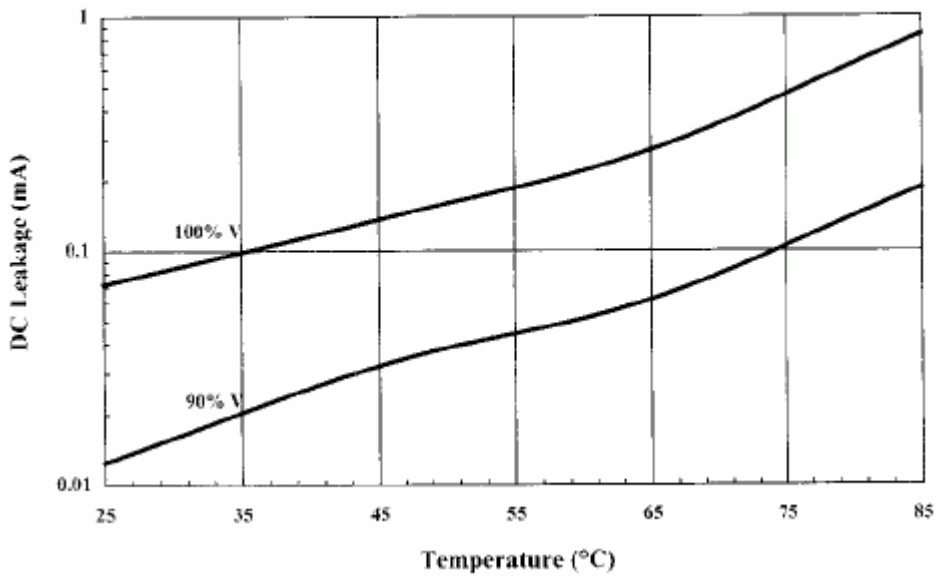
在 25°C 的温度下，施加额定电压并通过测量电路中的与电容相串联的 1000Ω 保护电阻中的漏电流。施加电压 5 分钟以后，漏电流没有超过指标所给定的最大值。

DCL 的温度特性

典型的特性曲线如下图所示：



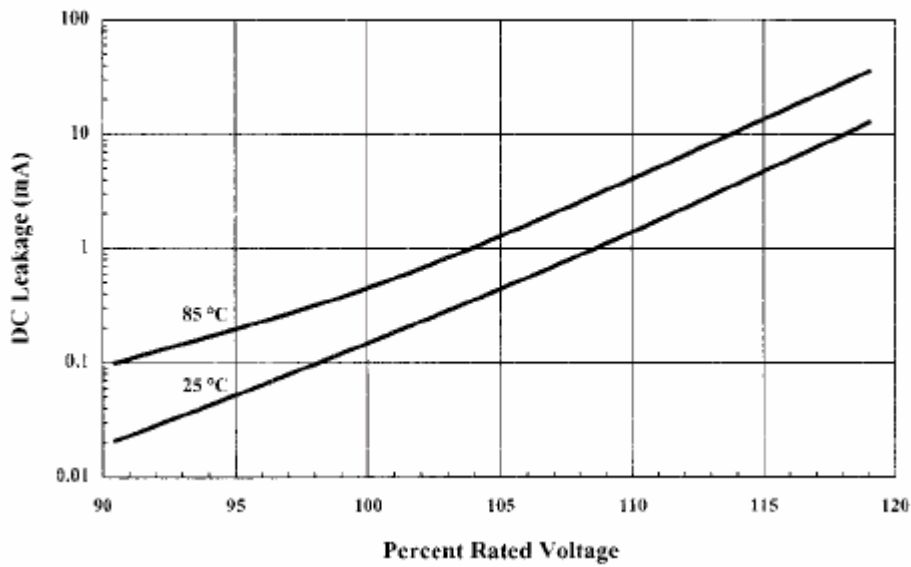
DC Leakage versus Temperature, 4700 μ F 450 V



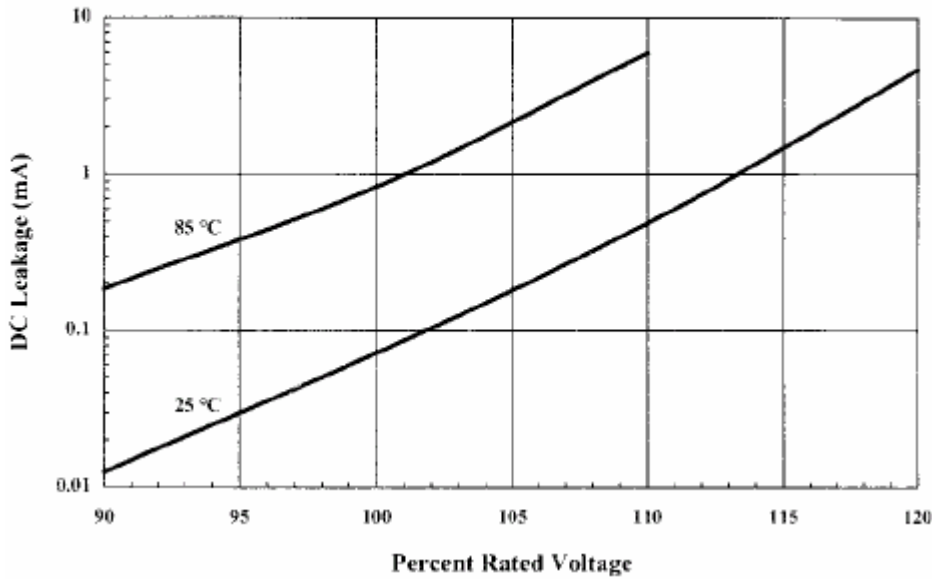
DCL 的电压特性

漏电电流值随着施加电压降低到额定电压以下后会迅速的减少。电压降额对漏电流的影响如下图所示：

DC Leakage versus Voltage, 8600 μ F 100 V



DC Leakage versus Voltage, 4700 μ F 450 V



电压

额定 DC 电压

额定直流电压是标示在电容上的电压，它是包括纹波电压的最大峰值电压，这个电压可能在额定温度范围内在端子之间持续的被供给。较高额定电压的电容可以代替较低额定电压的电容，只要外形尺寸，DF 和 ESR 的额定值是兼容的。

额定冲击电压

额定冲击电压是最大的直流过电压，即 25°C 时时间不超过 30 秒，偶然的间隔不少于 5 分钟电容可能承受的电压。

冲击电压的测量

在正常的室温下给电容通过一个 $1000\Omega \pm 10\%$ 的电阻器加上额定冲击电压（如果容量是 2500 μ F 或更高，则使用 $2500,000/C\Omega \pm 10\%$ 的电阻，C 是电容单位是 μ F）。循环加电压 0.5 分钟开启，接着 4.5 分钟关闭，当处于关闭状态时，每个电容通过充电电阻或等效电阻放电。重复循环 120 小时。公布测试的必要条件是 DCL，ESR，DF 满足最初的条件，且没有机械损坏或电解液的泄漏的迹象。没有小滴或可视流体的电解液残留物是允许的。

反向电压

铝电解电容是有极性的，要用正确的极性来连接。它们可以承受高达 1.5V 的反向电压。更高的反向电压会通过压力积累和电容的安全孔结构的破裂而造成电容的损坏。无极性和半极性的电容可以承受反向电压。

瞬间过载

铝电解电容一般能承受有限能量的非常高的瞬间过电压。超过电容冲击电压额定值 50V 以上的过载应用造成高的漏电流和固定电压工作模式就像齐纳二极管的反向击穿。如果电解液不能承受电压的压力，电容可能损坏短路，但是即使电解液能承受电压的压力，这种操作模式也不能维持很长时间，因为由电容所产生的氢气和压力的积累将造成损坏。但是特殊的设计是可以的，这种设计利用过压，齐纳二极管嵌位效应成功的保护设备不受像雷击等的瞬态过压的损坏。

纹波电流

纹波电流是流进电容的交流电流。之所以称为纹波电流是因为其所关联的依附在电容的直流偏置电压上的交流电压的行进就像水上的纹波一样。纹波电流使电容发热，最大可允许的纹波电流决定于多大可被允许且仍能满足电容的负载寿命指标。太高的温升将使电容超过它的最大可允许管芯的温度而很快损坏，但是工作于接近最大允许管芯温度将大大缩短预期的寿命。对于铝电解电容工作于最大允许管芯温度其负载寿命指标典型值是 1000 到 15,000 小时。即六个星期到 1.7 年，对于大多数的应用这个时间都太短了。

纹波电流的技术规格

纹波电流是由在额定温度下期望的温升所决定的。通常额定温度为 85°C 的电容允许的温升是 10°C，最大允许管芯温度是 95°C。通常额定温度为 105°C 的电容允许的温升是 5°C，最大允许管芯温度是 110°C。实际的最大允许管芯温度随类型和制造商的不同而变化。

纹波电流额定值通常假定电容是对流冷却，整个罐子与空气接触。 $0.006\text{W}/^\circ\text{C}/\text{in}^2$ 的对流系数是预测温升是从空气到外壳，管芯温度假设与外壳温度相同。功率损耗等于纹波电流的平方乘以 ESR ($P=I^2R$)。通常使用 25°C，120Hz 的最大的 ESR，但是既然 ESR 随温度的增加而减少，所以可使用低于最大 ESR 的值去计算功率损耗。

这有一个例子，对于 4700uF，450V，直径为 3 inch(76mm),长为 55/8 inches(143mm)的罐型电容，其 25°C，120Hz 最大的 ESR 是 30mΩ，假设你想要这种电容纹波电流额定值。罐型的面积 - 不包括端子末端 - 是 60.1in²(388mm²)。热导系数是 (0.006)(60.1)=0.35W/°C。对于 10°C的温升，外壳可能损耗 3.6W.所以最大的 ESR 是 30mΩ可允许的纹波电流是 11A。如果你假设在 85°C时 ESR 会降低 35%，则最大的纹波电流是 13.6A。

像这个例子的大罐型电容忽略了从外壳到管芯的温升就会严重的夸大了纹波电流的容量。有一些结构，管芯温度比外壳高出 3 到 5°C每纹波功率瓦数。所以总的温升将高于 10°C (额定的纹波电流和最大的 ESR) 的两倍.一般假设直径小于 25mm 的电容的管芯温度同外壳温度相同是安全的。对于大封装大纹波电流要通过将热电偶放在样品管芯内来确认温升。

Cornell Dubilier Thermal Pak, Rilled计算机等级的电容有从管芯到外壳的可控的，低的热敏电阻。你可以利用在这一章节后面的热敏电阻表格或者使用在网站上所给的热敏电阻/预期寿命模型来预测温升，网址是<http://www.cde.com>

纹波电流的温度特性

对于工作温度低于额定温度时额定纹波电流会增加。在技术指标中显示增加量。一般增加量决定于最大管芯温度(Tc)，额定温度(Tr)和环境温度(Ta)即：

$$\text{纹波温度增量}=[(Tc- Ta)/ (Tc- Tr)]^{1/2}$$

对于温度低于 60 °C纹波电流高于额定纹波电流 1.5 倍期望纹波电流的增加量是冒险的。高的纹波电流会使工作寿命小于预期寿命，因为随电容老化其 ESR 增加对于相同的纹波电流发热量会增加。这加速了磨损。

纹波电流的频率特性

在工作频率不是 120Hz 时，要调整额定纹波电流。在技术指标中会显示增加量。通常增加量决定于预期随频率的变化的 ESR，但是就像上面所讨论的，ESR 是温度，电容量，额定电压和频率复杂的函数。所以很难产生一个准确模拟其对依赖频率的纹波-频率的增量表。对于高纹波电流的应用要确认在你感兴趣的频率下的 ESR，并计算总的功率损耗。

电感

电感是等效串联电感，对于频率和温度相对独立。对于 SMT 典型值的范围是从 2 到 8nH，对于径向引线的类型其典型值的范围是从 10 到 30nH，对于螺丝端子的类型其典型值的范围是从 20 到 50nH，对于轴向引线的类型其典型值高达 200nH。这些低的值是通过制表区域和介质接触几何学的固有的低电感量所获得的。电容元件具有小于 2nH 的典型电感量。

低温阻抗

低温阻抗是在最低温度限时测量的电容的 120Hz 时阻抗。它经常用器件 25°C 时的阻抗的倍数来表示。

对于低温阻抗的测量，把电容放在一个房间内，温度设在低温限的 $\pm 2^\circ\text{C}$ 。在 $120 \pm 5\text{Hz}$ 使用任何合适的方法来测量阻抗只要精度是 $\pm 2^{1/2}\%$ 。当温度稳定以后，尽快的做测试并使用同实际一样小的一个 AC 测量电压以避免造成电容发热。以 15 分钟为间隔所作的两个连续测试试验结果显示没有变化就可确信电容已经达到热稳定。

自谐振频率

自谐振频率是当容性阻抗 ($1/2\pi fC$) 等于感性阻抗 ($2\pi fL$) 时的频率。因为在这个频率上，容性阻抗与感性阻抗相位相差 180 度，两个阻抗相减，剩下的阻抗就是纯阻性的，且等于 ESR。

高于自谐振频率器件是感性的。铝电解电容的自谐振频率典型发生在小于 100kHz。自谐振频率等于 $1/[2\pi(LC)^{1/2}]$ 。基于 120Hz 的电容自谐振频率要高于预期的频率，因为电容量是随频率的增加而减少的，谐振频率也随温度而增加。

介质吸收

当通过电容的电压重复出现时，即端子被短路很短暂时间后，再移开，电介质吸收就可被观察到。这个特性对于 RC 时钟电路，触发系统和相移网络电路很重要。对于铝电解电容，25°C 时电介质的吸收在 100s 到 1000s 之间将允许高达 10% 的充电电压的恢复，在更高温度时更明显。最大的电介质吸收通过在额定电压下给电容充电 1 小时，再通过一个完全的短路线放电 1 分钟可以得到。随后的随时间变化可以用一个高阻抗的测微计来测量。

高电压的铝电解电容从 40V 到 50V 的电压回弹是可能的。尽管这种电压对安全没有危害，如果端子在安装时被工具短路，这种电压当然也会让人惊慌。为了防止意外可提供导电带子和线短路的带子。折衷的方法是额外的成本和工时来消除它们。

绝缘和接地

非固态电解液铝电解电容的铝外壳通过与电解液接触与负极相连。所产生的绝缘电阻从几个欧姆到几千个欧姆。对于轴向引线的电容和扁平组件，封装外壳与负极端子连接。如果同外壳接触的器件有一定不同于负极端子电平，应使用带绝缘套的电容。

塑料绝缘能承受 3000Vdc 或 2500Vac，60Hz 1 分钟，该电压加在外壳和一个 1/4 英寸宽围绕绝缘套的金属薄膜之间。给电容安装上合适的尼龙螺母和间隔孔。

在薄膜和电容外壳之间加电 100V 2 分钟以后，绝缘电阻不小于 100MΩ。对于震动磨损场合附加绝缘是必要的。

外部气压

对于固体电解液的电容没有关联。铝电解电容能在 80000 英尺和 3kPa 低气压下工作。最大的空气压力依赖于尺寸和电容的类型。超过最大值会通过压坏外壳，打开压力释放口或产生电路短路使电容损坏。

振动

铝电解电容一般能承受 10g 的振动力，Rill 电容能承受 15g 力。在技术指标中会给出限制值。调整工序使振动力小于单个类型的技术指标要求值。

为了测试振动阻抗，将电容固定在振动平台上，使电容承受一个简单的谐振运动即最大的峰值是 0.06 英寸，最大的加速度根据给定是 10g 或 15g。在 10 到 55 Hz 之间线性的改变振动频率。在 1 分钟内通过整个的频率范围。除非另外指定，在与电容轴向平行的运动方向上振动电容 1.5 个小时，然后放置电容使其运动方向与轴向相垂直，再接着振动 1.5 个小时。在最后的 1.5 个小时测试时，将电容同整流桥路相连观察 3 分钟。在接下的实验中当用手晃动时，在容器内电容元件将没有明显的松动。当然在 3 分钟 的观察期内，电容也没有断断续续接触开路或短路的迹象。

压力释放口

在非固态电解液的铝电解电容工作时，气体的压力一般会增加。这种气体大部分是氢气，使气体透过电容的密封就可避免过多的压力。但是在过压，电压反向，交流电压或电容损坏的情况下过多的压力将造成电容爆炸。为了避免爆炸铝电解电容经常装配

压力释放口结构。这些安全释放口是为了张开释放气体的压力。裂开后电容的寿命有了限制，因为它损失了电解液，使电解液变干。

要小心不要影响释放口的工作，比如一些安装方法像钳住，胶住或罐封元件。对于由热塑性的罐封来保护电容元件的大电容，安装时不要使它们安全口朝下，因为当电容过热时，罐封可能会流动而阻住安全口。

很少情况下电容单独安装，对于电容大多数情况下是多组并联的电容起整个的作用，这时压力释放装置可能不能及时的起作用。这可能源于极度的过载或由于故障而产生的火花点燃电容内部的气体。当检测压力释放口时，要用防护罩保护人员不受高能量的电容可能产生的破裂的损伤，要确认使用坚固的防护罩。测试用的合适的防护罩的例子是 1/4 英寸厚的钢板或 1/2 英寸厚的聚碳酸酯来围绕，其一端开放来使爆炸改变方向而不是包围起来。

通过供给电压或电流使用下面三种方法中的一个来测试电容的压力释放能力。

A. 根据额定电容量使电容承受交流电流如下：

| 额定电容量 Uf | 测试电流 A rms,60Hz |
|----------------|--------------------|
| 高达 3000 | 1 到 100 |
| 3,000 到 20,000 | 85 到 150 |
| 高于 20,000 | 100 到 175 |

B. 对于额定电压为 150Vdc 或更高的电容，通过一个串联的 $5\Omega \pm 10\%$ 的电流限制电阻供给从 110 到 125Vac,60 Hz 的电压。

C. 使电容承受反极性的直流电压使其足够流过从 1 到 10A 的电流。

过多的内部压力将被释放而不会使电容元件或封口剧烈的破损或点燃周围的材料。为了证明没有点燃，用两层干酪布料松散地的围在外壳上，在测试时布料不能被点燃。短路或开路不是测试失败。

电解液接触

在非固态电解质电容中的电解液是一种可生物降解的液体其基于一种稳定高沸点的溶剂作为主要的成分。普通的溶剂是乙烯乙二醇(EG)，二甲基的甲酰胺(DMF)和 γ 丁内酯(GBL)。电解液包括酸基系统和其它的化学制品。电解液是化学中性的不包含 PCBs 或卤化混合物。它的毒性低但是要避免同皮肤和眼睛接触，避免长期吸入。若有需要可用一个材料安全数据单。

接触到电解液的紧急处理是用水冲洗暴露的部分。如果电解液接触到眼睛，用流动的水冲洗眼睛 10 分钟。如果症状持续就要用药物治疗。避免电解液蒸汽或灰尘颗粒吸入。如果蒸汽存在，要让房间通风。燃烧电解液的烟是具有刺激性的，但是不包含二氧化钒或类似有毒的物质。如果电解液沾到衣服上，用水清洗。

充电-放电

铝电解电容没有被设计成可以频繁快速的充电和放电，频繁快速的充电和放电会使电容因为过热，压力过大或崩溃而损坏，随后的故障是开路或短路。对于充电-放电的场合要使用设计成这种要求的电容，不要超过制造商所建议的放电速率。

极性-反向电压

在电路设计和安装时要检查每一个电容的极性。在电容上会标示极性。尽管电容能持续承受连续施加 1.5V 的反向电压，超过这个值就会因为过热，压力过大或介质损坏而损坏电容。这会造成相关联的开路或短路故障和电容压力释放口的破裂。

可燃性

当与火焰相接触时，铝电解电容包含可燃烧和支持燃烧的物质。可燃部分包含塑料部分，绝缘套，纸和电解液。大多数的电容 UL 94V-O 所要求的针-火焰测试，不支持目录 B 或 C 所要求的可燃物。

在极少数的情况下，电容可能会因为重的过载或电容缺陷而自燃。如果在电容故障时出现火花，则在电容中的氢气能点燃。在像采矿等危急的应用中应考虑提供防火屏蔽物。

电路的结构

并联

电容可以并联来增加电容量和纹波电流的容量。

母线结构

当电容并联时，要用这些特性来设计连接母线。最小串联电感量需要一个薄片状的母线或带状的结构。例如，用电路板的一块地方来连接所有电容的正极，用另一块来连接电容的所有负极。对于每一个电容的线路阻抗将是相等的以确保相同的电流分流。

尽管对于低频纹波，纹波电流在电容之间的分配与电容量的值成正比，但是高频纹波电流的分配与 ESR 值和线路阻抗成正比。

启动 (Fusing)

为了启动(fuse)单个的电容，包括在开启设备中的软启动电路，以两倍预期的最大的纹波电流来启动电容。软启动电路是一个电阻同电容串联，在最初的充电以后，电阻相当于短路。

串联

电容可以串联来增加其所能承受的电压。

电压分配

在充电期间，每个串联电容的电压与实际的电容量的倒数成正比。但是达到最终电压时，每个电容上的电压与电容的漏电电阻成正比。当然串联回路上所有的漏电流是相同的，趋向于更高漏电流的电容将获得比较小的电压。因为漏电流随所提供的电压的增加而增加，较低的电压会造成较高的漏电阻抗，使电压趋向相同。测试高压母线上的串联电容，供给电容额定电压 180%的电压，在整个温度范围内显示出良好的电压分配，没有电容电压超过其额定值。

当两个电容串联时，电压的分配很少使用平衡电阻。在使用平衡电阻作为电压放电以前，应考虑到不使用平衡电阻通常会增加系统的可靠性因为不使用平衡电阻可降低电容周围的温度，除去比电容可靠性低的元器件就意味着保护。作为替代，使用相同生产的一批电容以确保相同的漏电流或使用更高的额定电压以允许不同生产商的电容电压的不均衡。确保串联的电容有相同的热的环境。

平衡电阻

在额定温度时，串联的两个电容漏电流的差异能被估计为 $0.0015CV_r$ (单位 μA)， C 是额定电容量 (单位 μF)， V_b 是通过两个电容的电压 (单位 V_{dc})。通过这种近似估计，使用下面的公式来为每个电容选取平衡电阻的值。

$$R=(2V_r-V_b)/(0.0015CV_r)$$

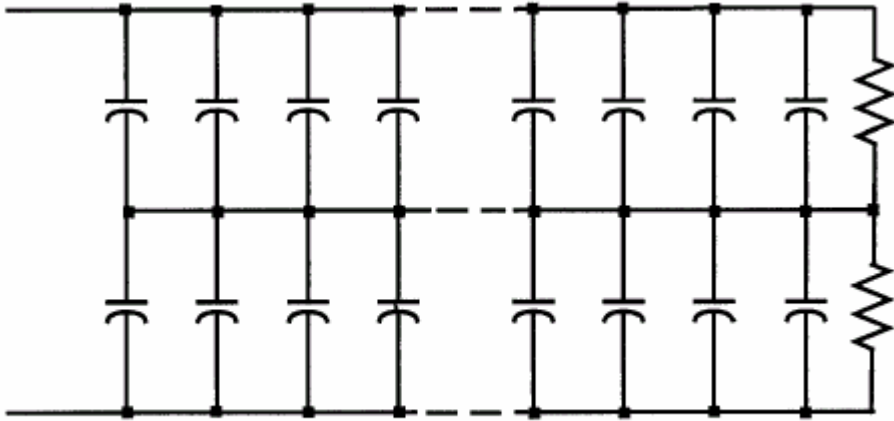
R 是平衡电阻 (单位 $M\Omega$)， V_r 是你想要加在每一个电容上的最大电压， V_b 是通过两个电容的最大母线电压。

对于三个或更多的电容串联可使用下面的公式， n 是串联电容的个数：

$$R=(V_r-V_b/n)/(0.0075CV_r)$$

并联/串联

电容如下图所示连接，即在多个串联电容之间有公共的连接，应考虑几个方面。



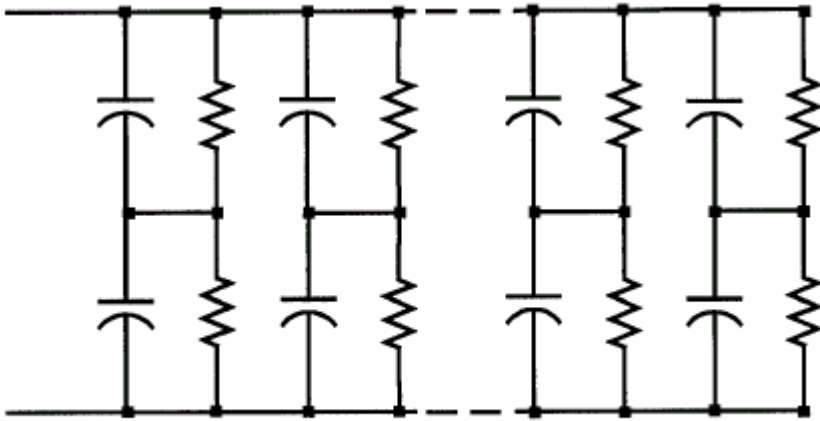
Parallel-series array with common center connection

优点：多个电容并联来增加电容量，在上端的电容量应与下端的电容量相同。这样在瞬态期间能改善电压平衡。在上面的漏电流也应与下面的漏电流相同，在稳态期间也能改善电压平衡。最后，仅仅需要考虑两个平衡电阻，上端和下端应匹配好以排除平衡电阻的需要。

缺点：如果一个电容损坏短路，则另一半的电容获得整个母线电压，所以其它的电容也将会损坏。因此一个电容的损坏将会造成整个电容的损坏除非短路的电容被烧开路。

串联/并联

电容如下图所示连接，即多个串联电容的结合体再并联，应考虑几个方面。当不使用平衡电阻时，这种结构是明确的选择。



Series-parallel array, no center connection

优点：如果一个电容损坏短路，则与之相串联的电容会损坏，但是在线路内其它电容不受影响。如果不使用平衡电阻，一个高漏电流的电容仅仅影响与之相串联的一对电容。单独的串联的一对电容允许熔断。

缺点：若带平衡电阻则结构比较复杂；许多电阻需要匹配，额外的电阻增加了成本。

无极性

如果两个相同电容量的铝电解电容背对背的串联，即正极相连或负极相连，其所获得的等效单个电容是无极性的电容且电容量是原始单个电容量的一半。两个电容整流了所供给的电压，就像它们被二极管旁路。当加上电压时，正确极性的电容获得整个电压。

在无极性和马达启动的铝电解电容中，另一个阳极薄膜替代了阴极薄膜以在一个封装内获得一个无极性的电容。尽管对于短时间的 AC 应用像马达启动和电压反向应用，无极性铝电解电容是可行的，但是由于铝电解电容的 DF 高-从 2%到 150%-在大多数的 AC 应用中会造成过热和缩短寿命。

马达启动

铝电解马达启动的电容是无极性的，是为间歇的启动单相感应马达或为其它短时间的 AC 应用像在电门的开启装置中的马达运行电容等而设计。

可靠性

大体上，由于它们有效的自我恢复机制，铝电解电容是相当可靠的。然而磨损是其最普通的故障模式，大多数这样的故障是逐渐转变为开路，器件越来越变成阻性。

故障模式

早期的故障

早期的故障或夭折大部分是铝氧化物介质的缺陷所带来的短路故障。可以用延长老化时间或内烧来减少故障的发生。

随机失效率

对于 Cornell Dubilier 铝电解质电容器以下公式准确地拟合失效率。它是基于大量现场应用多种电压等级和温度应力下，长达几十亿小时现场使用寿命的报告数据。

$$\lambda = 400000N \cdot V_a^3 \cdot C^{0.5} \cdot 2^{(T_a - T_m)/10} / (L_b \cdot V_r^2)$$

λ 随即失效率, FIT

N 阵列中的电容器的数量

V_a 施加的电压, Vdc

C 电容器的电容量, F

T_a 实际管芯温度, °C

T_m 最大允许的管芯温度, °C

L_b 在 T_m , V_f 时底线寿命, 小时,

V_r 额定电压, Vdc

磨损

磨损的故障大多数是因为电解液的损耗而造成的开路故障或因为其它原因而使 ESR 增加。对于大电容且承受高的纹波电流的情况下，作为磨损的故障 ESR 的增加会造成过热和缩短寿命。

工作寿命

磨损的开始主要取决于电容的尺寸和平均工作温度。工作电压也有一定的影响。对于适度温度工作下的电容，工作温度每降低 10°C 工作寿命会增加一倍。工作寿命可用下式表示：

$$L_{op} = M_v L_b 2^{[(T_m - T_a) / 10]}$$

其中,

L_{op} 是预期的工作寿命，单位是 h，

M_v 是对于电压降额的值，无单位的电压增加量，

L_b 是对于满额定电压和额定温度下的预期的工作寿命，单位是 h，

T_m 是最大可允许的内部的工作温度，单位是 $^{\circ}\text{C}$ ，

T_a 是实际的电容内部的工作温度，单位是 $^{\circ}\text{C}$ ，

既然 ESR 随工作寿命而增大，超过环境的温升也增加。为了准确的预测寿命，计算寿命前螺丝端子计算机级电容器增加 ΔT_a 50%，牛角罐电容增加 ΔT_a 20%。

大多数的生产商使用这个模型来预测工作寿命；但是 M_v ， L_b 和 T_m 的值会随电容的类型和生产商而改变。对于外壳直径大于 25mm 且纹波电流大的电容，应考虑电容内部元器件比它的外壳高出的温度。

经常 M_v 是忽略的，对于其它的变量会随外壳尺寸而改变， L_b 典型值对于小型化的类型是从 1000 到 2000h，对于牛角 (snap-in) 的类型是从 2000 到 10,000h，对于大罐型的螺丝端子的类型是从 2000 到 20,000h， L_b 会比额定负载寿命要长，因为没有纹波，典型寿命而不是最小寿命。通常当额定温度是 85°C 时， T_m 是 95°C ，当额定温度是 105°C 时， T_m 是 108 到 110°C 。 M_v 依赖于 Cornell Dubilier 的寿命测试，电容类型是：
 $M_v = 4.3 - 3.3 V_a / V_r$

V_a 是所提供的电压， V_r 是额定电压，400C，401C，420C，450C 和 4CMC 是紧密密封的，当提供满额定电压和额定温度时，其运行情况是不同的。对于这些类型，当 $V_a / V_r > 0.9$ 和 $T_m / T_a > 0.9$ 同时满足时，电压增加量是：

$$M_v = 4.3 - 3.3 V_a / V_r - 1000 (T_m / T_a - 0.9)^{1.65} (V_a / V_r - 0.9)^{1.65}$$

预期工作寿命 L_b 和最大允许管芯温度 T_m 的值是

| Type | Lb | Tm |
|----------------|---------|------------------------|
| 101C | 8000 h | 108 $^{\circ}\text{C}$ |
| 300/301 | 6000 h | 108 $^{\circ}\text{C}$ |
| 325 | 3000 h | 128 $^{\circ}\text{C}$ |
| 330 | 12000 h | 108 $^{\circ}\text{C}$ |
| 380L/LX | 5000 h | 95 $^{\circ}\text{C}$ |
| 380LQ | 4000 h | 95 $^{\circ}\text{C}$ |
| 381EL | 10000 h | 110 $^{\circ}\text{C}$ |
| 381L/LX | 5000 h | 110 $^{\circ}\text{C}$ |
| 381LQ | 4000 h | 110 $^{\circ}\text{C}$ |
| 381LR | 5000 h | 115 $^{\circ}\text{C}$ |
| 400C | 7500 h | 98 $^{\circ}\text{C}$ |
| 401C | 8000 h | 108 $^{\circ}\text{C}$ |
| 420C | 12000 h | 103 $^{\circ}\text{C}$ |
| 450C | 15000 h | 108 $^{\circ}\text{C}$ |
| 4CMC | 5000 h | 95 $^{\circ}\text{C}$ |
| 500C | 7500 h | 98 $^{\circ}\text{C}$ |
| 520C | 12000 h | 103 $^{\circ}\text{C}$ |
| 550C | 15000 h | 108 $^{\circ}\text{C}$ |
| DCMC | 5000 h | 95 $^{\circ}\text{C}$ |
| MLP up to 250V | 12000 h | 88 $^{\circ}\text{C}$ |
| MLP 300V & up | 5000 h | 88 $^{\circ}\text{C}$ |
| MLS | 4000 h | 125 $^{\circ}\text{C}$ |

确定工作寿命

从电容的预期工作温度和电压使用工作寿命公式来决定预期工作寿命。工作温度是预期平均环境温度加上纹波电流和漏电流所造成的温升。漏电流功率同纹波电流功率相比很小，可以忽略。使用样品电容，在其内部管芯发热点安装热耦，从纹波电流测量温升或从消耗的功率来计算温度。如果你计算功率，在每一个重要的纹波频率上都要计算，把功率加起来作为总的功率。使用本节的热敏电阻图表来决定温升。它等于功率乘以热敏电阻。

当频率不是 120Hz 时计算功率需要知道在新的频率下的 ESR，对于每种类型你可以从纹波电流频率乘数中推断 ESR 的值。

$$ESR_f = ESR_{120} / M_f^2$$

ESR_f 是频率为 f 时的 ESR， ESR_{120} 是频率为 120Hz 时的 ESR， M_f 是频率为 f 时的乘数。

或者你可以使用 ESR 的频率特性中的公式来计算新的 ESR，对于 DF_{if} 使用那个公式来解 ESR_{hf} 应包括 3%。

$$ESR_f = ESR_{120} - 39800 * (f - 120) / fc$$

ESR 的单位是 $m\Omega$ ， f 的单位 Hz， C 的单位 μF ，尽管在高端 DF_{if} 是 3%，但是它与 ESR_{120} 相符合， ESR_{120} 是在 120Hz 时最大的 ESR 限制值。

除了要知道在新的频率下的 ESR 的值你还需要知道在新的操作温度下的 ESR 的值。对于 Cornell Dubilier 电解液额定值为 $-40^\circ C$ 电容，下表显示在温度升高时的 ESR 对于温度为 $25^\circ C$ 时的 ESR 的代表性的比率。

| Rated Voltage Vdc | Capacitor Temperature | | |
|-------------------|-----------------------|-------|-------|
| | 45 °C | 65 °C | 85 °C |
| Up to 150 | 82% | 77% | 77% |
| 200 to 300 | 75% | 70% | 70% |
| 350 to 450 | 70% | 60% | 60% |
| 500 | 61% | 49% | 45% |

在此说明如何统一这些信息。考虑以前的例子，一个 4700 μF ，450V，直径为 3 inch (76mm), 长为 55/8 inches(143mm) 的罐型电容，其 $25^\circ C$ ，120Hz 最大的 ESR 是 30m

Ω。假设电容在一个马达驱动变换器中作为母线电容被使用，纹波电流在 360Hz 时是 11A，在 8000Hz 时是 6.5A。平均给定电压，母线电压，是 390Vac。

首先，计算在两个频率下的 ESR。尽管你可能使用上面所讲述的一个或另一个方法来计算 ESR。这里我们用两种方法来说明。如果电容是 DCMC 的类型，见第 5 页对于 360Hz 频率乘数是 1.13。因此 360Hz 的 ESR 是 $30/1.13^2$ 或 23.5 mΩ，或者使用 ESR 的频率特性中的公式，360Hz 的 ESR 是 $[30 - 39800(360-120)/360*4700]$ 或者是 24.4 mΩ。相同的在 8000Hz 的 ESR 计算结果是 19.5 和 21.6mΩ。

下一步计算总的功率。在 360Hz 总的功率是 $(11^2)(0.0244)$ 或 2.9W。在 8000Hz 总的功率是 $(6.5^2)(0.0216)$ 或 0.9W。总的功率是 3.8W。

然后计算内部管芯热点的温度，热敏电阻表格中对于自由对流冷却其热敏电阻是 3.07°C/W。所以温升是 $(3.8)(3.07)$ 或 14°C。如果环境温度是 50°C，内部管芯的温度会是 64°C。

现在使用工作寿命公式来预测工作寿命的容量。电压乘数 Mv 是 $[4.3-3.3(390/450)]$ 或 1.44。工作寿命是

$$\begin{aligned} \text{Lop} &= (1.44)(5000)2^{(95-64)/10} \\ &= 61,700\text{h} \end{aligned}$$

但是如果内部管芯的温度是 64°C，则 ESR 将减少大约 40%。新的总的功率是 $0.6(3.8)$ 或 2.3W。新的温升是 $(2.3)(3.07)$ 或 7°C，内部管芯的温度是 57°C。用低的内部管芯的温度重新计算工作寿命

$$\begin{aligned} \text{Lop} &= (1.44)(5000)2^{(95-57)/10} \\ &= 100,300\text{h} \end{aligned}$$

实际的 ESR 是限制值的 70%，但是 ESR 会在工作寿命中增加 100%。所以对于 50%ESR 增加的平均总功率是 2.4W。那就是 7.4°C 和 98000 小时的工作寿命。

以上的例子表明迭代的方法。如果一个较高管芯温度给了你所需要的工作寿命，你就可以做。

如果所有计算工作寿命的数学方法看起来麻烦，你可以通过访问我们的网站很高兴的简化计算，考虑更多的安装和冷却的选择，网址是 <http://www.cde.com>。在那里你将会发现 Java applets 的程序，对于计算机等级的螺丝端子的电容，牛角的电容和插入型的电容，这种程序可以计算管芯温度和预期的寿命。插入型电容类型是以数字 4 为开头的，像 4CMC 类型。

瞬态的过温

就像前面所说的，对于铝电解电容，一般内部管芯温度每降低 10°C 工作寿命会增加一倍。管芯是大约在电容中心的最热点。但是当电容发热接近它的最大允许管芯温度时，规律会改变。当温度高于最大管芯温度，达到 125°C 时，对于大多数的类型电解液将从电容元器件被流失掉，ESR 将增加 10 倍。通过这个机制瞬态的过温或过流会永久的增加 ESR 而使电容失效。在高温和高纹波的应用中要小心这种可能性，要额外注意系统的冷却。

负载寿命测试

把电容放在空气流通的炉中，设置温度到最高温度限，85°C，105°C 或 125°C， $\pm 3^\circ\text{C}$ 。施加一个直流电压和一个交流纹波电压。调整交流电压使流过的电流同额定纹波电流相同，调整直流电压使峰值电压同电容的额定电压相同。以额定负载-寿命周期-0+6h 提供电压。在完成的基础上允许电容在 25°C 时稳定 24h 或更长的时间。对于电容量，ESR 和 DCL，电容将满足指定的测试后(post-test)的限制值。

EIA 纹波寿命测试，EIA IS-479

进行磨损寿命测试要基于 EIA 暂定的标准 479。测试强调的部分如下：在 120Hz 提供纹波电流或如果工作在其它的频率下调整以维持相同的功率损耗。设置直流偏置电压等同于额定电压减去给定尖峰交流电压。设置环境温度为 $85 \pm 2^\circ\text{C}$ 空气流速小于 0.5m/s。周期测试间隔 $\leq 1000\text{h}$ 。样品的尺寸是 10 或更大。水平安装电容，间隔 25mm 或更多。选择任何 $\leq 85^\circ\text{C}$ 的温度来测试，在那个温度下作所有的测试。寿命时间的终结应当 $\leq 10\%$ 或更多的样品具有以下的时间：

电容量 $< 80\%$ 开始的值或

ESR $> 200\%$ 开始的要求或

DCL $>$ 开始的值或明显的机械损坏或电解液的泄漏。

10% 的样品可能损坏短路或开路可不被计算。

电压的降额

电压的降额用百分比来表示，即给定电压小于额定电压的百分比，如一个 450V 的电容工作在 400V 将有 11% 的电压降额。

用高于额定电压 35% 至少的化成电压和 85°C 的额定或更高温度制作的铝电解电容器，不需要过多的电压降额。在应用中，在温度小于 45°C 时工作不需要降额。高于 75°C，

10%的降额是足够的。对于更高的温度和高的纹波电流，15%或20%的降额是合适的。既然随着进一步降额可持续增加工作寿命，军事和空间的应用使用30%的电压降额。

在正常室温下，照相闪光(photoflash)电容可以在满额定电压下被使用，因为它们是为这样的用途而设计的。至少10%的电压降额对于频闪(strobe)电容有好处，因为它们连续工作会使它们变热。

冷却

Cornell Dubilier 计算机等级的电容从内部管芯向底部传导热量比向外部传导热量更有效率。你可以利用这个导热路径将电容直接安装在金属机壳上。很多外壳尺寸下对于同样的温升所允许的波纹电流会加倍。为了这种应用，Cornell Dubilier 会在电容的底部提供silpad的插入物。Silpad会通过消除在套管滚翻过程中的步骤产生平滑的底部。对于电容仅仅放在底盘上，在罐子和底板之间的热敏电阻大约是 $2.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。如果电容被压在底板上，这将会减少小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 的热敏电阻。在Cornell Dubilier的网站可以得到工作寿命和温度的计算器，在网站允许你探究冷却的选择和直接察看其对工作寿命的影响。网站是<http://www.cde.com>

热敏电阻

对于大罐型的电容，尤其是带罐封的电容，从外壳到管芯即在电容中心最热的点有重要的温升。对于 Cornell Dubilier 的热封装计算机等级电容使用下面的热敏电阻数据从功率损耗来决定温升。作为说明，考虑在120Hz时的纹波电流是20A， $3 \times 5^{5/8}$ 的外壳尺寸，最大的ESR是10mΩ。热的，典型的ESR将大约是一半或者10mΩ，功率损耗将是 $I^2R_s = 20^2 \times 0.01$ 或是4W。

对于空气在所有的侧面，自然对流冷却的一系列电容的整个的热敏电阻是 $3.07^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，对于把电容压在大的金属底壳或机壳上时，热敏电阻是 $1.02^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，对于功率损耗是4W， $3.07^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 预测的温升是 12.3°C ，可假定在金属底壳上没有温升。所以认为这是你能做的最好的方法。如果你没有使用热的衬垫，增加空气和金属机壳的热敏电阻 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

热压螺丝端子铝电解电容器的热敏电阻表

Thermal Resistance Chart °C/W Computergrade Capacitors

| Case Code | Case Size D x L (in) | Free Convection | | | | | | | | | 200 lfm Airflow | | | | | | | | | 500 lfm Airflow | | | | | | | | | 1000 lfm Airflow | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------|-------------------|-------------|-------|---------------------|-------------|-------|-------------------|-------------|-------|---------------------|-------------|-------|-------------------|-------------|-------|---------------------|-------------|-------|-------------------|-------------|-------|---------------------|-------------|-------|-------------------|-------------|-------|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | Air on Side & End | | | Air & Metal Chassis | | | Air on Side & End | | | Air & Metal Chassis | | | Air on Side & End | | | Air & Metal Chassis | | | Air on Side & End | | | Air & Metal Chassis | | | Air on Side & End | | | Air & Metal Chassis | | | | | | | | |
| | | Case to bottom | Case to air | Total | Case to bottom | Case to air | Total | Case to bottom | Case to air | Total | Case to bottom | Case to air | Total | Case to bottom | Case to air | Total | Case to bottom | Case to air | Total | Case to bottom | Case to air | Total | Case to bottom | Case to air | Total | Case to bottom | Case to air | Total | | | | | | | | | |
| AK | 1 3/8 X 1 5/8 | 1.67 | 17.12 | 18.78 | 1.68 | 3.29 | 4.97 | 1.66 | 12.19 | 13.86 | 1.68 | 3.08 | 4.76 | 1.66 | 7.83 | 9.49 | 1.68 | 2.75 | 4.43 | 1.66 | 5.62 | 7.29 | 1.68 | 2.46 | 4.14 | | | | | | | | | | | | |
| AA | 1 3/8 X 2 1/8 | 1.70 | 13.72 | 15.42 | 1.74 | 3.13 | 4.87 | 1.70 | 9.80 | 11.50 | 1.74 | 2.90 | 4.64 | 1.70 | 6.31 | 8.02 | 1.73 | 2.53 | 4.26 | 1.70 | 4.56 | 6.26 | 1.73 | 2.22 | 3.95 | | | | | | | | | | | | |
| AH | 1 3/8 X 2 5/8 | 1.72 | 11.49 | 13.21 | 1.78 | 2.99 | 4.77 | 1.72 | 8.23 | 9.94 | 1.77 | 2.73 | 4.51 | 1.72 | 5.33 | 7.05 | 1.76 | 2.35 | 4.11 | 1.72 | 3.87 | 5.59 | 1.76 | 2.04 | 3.79 | | | | | | | | | | | | |
| AB | 1 3/8 X 3 1/8 | 1.72 | 9.91 | 11.63 | 1.80 | 2.86 | 4.66 | 1.71 | 7.12 | 8.83 | 1.79 | 2.59 | 4.38 | 1.71 | 4.64 | 6.35 | 1.78 | 2.19 | 3.97 | 1.71 | 3.39 | 5.11 | 1.77 | 1.88 | 3.65 | | | | | | | | | | | | |
| AJ | 1 3/8 X 3 5/8 | 1.69 | 8.73 | 10.43 | 1.81 | 2.74 | 4.55 | 1.69 | 6.29 | 7.99 | 1.80 | 2.46 | 4.25 | 1.69 | 4.13 | 5.82 | 1.78 | 2.05 | 3.83 | 1.69 | 3.04 | 4.73 | 1.76 | 1.75 | 3.52 | | | | | | | | | | | | |
| AC | 1 3/8 X 4 1/8 | 1.66 | 7.82 | 9.48 | 1.81 | 2.63 | 4.44 | 1.66 | 5.65 | 7.32 | 1.79 | 2.33 | 4.13 | 1.66 | 3.73 | 5.39 | 1.77 | 1.93 | 3.70 | 1.66 | 2.76 | 4.42 | 1.75 | 1.64 | 3.39 | | | | | | | | | | | | |
| AD | 1 3/8 X 4 5/8 | 1.62 | 7.09 | 8.71 | 1.80 | 2.52 | 4.32 | 1.62 | 5.14 | 6.76 | 1.78 | 2.22 | 4.00 | 1.62 | 3.41 | 5.03 | 1.75 | 1.82 | 3.57 | 1.62 | 2.54 | 4.16 | 1.72 | 1.54 | 3.27 | | | | | | | | | | | | |
| AE | 1 3/8 X 5 1/8 | 1.58 | 6.49 | 8.07 | 1.79 | 2.42 | 4.21 | 1.58 | 4.72 | 6.30 | 1.76 | 2.12 | 3.88 | 1.58 | 3.15 | 4.73 | 1.72 | 1.73 | 3.45 | 1.58 | 2.36 | 3.93 | 1.70 | 1.46 | 3.15 | | | | | | | | | | | | |
| AF | 1 3/8 X 5 5/8 | 1.53 | 5.99 | 7.52 | 1.77 | 2.33 | 4.10 | 1.53 | 4.37 | 5.90 | 1.74 | 2.02 | 3.76 | 1.53 | 2.93 | 4.46 | 1.69 | 1.64 | 3.33 | 1.53 | 2.20 | 3.73 | 1.66 | 1.38 | 3.04 | | | | | | | | | | | | |
| EA | 1 3/4 X 2 1/8 | 1.03 | 10.40 | 11.43 | 1.05 | 1.90 | 2.96 | 1.03 | 7.43 | 8.46 | 1.05 | 1.79 | 2.84 | 1.03 | 4.79 | 5.83 | 1.05 | 1.61 | 2.66 | 1.03 | 3.46 | 4.50 | 1.05 | 1.45 | 2.49 | | | | | | | | | | | | |
| EH | 1 3/4 X 2 5/8 | 1.06 | 8.77 | 9.83 | 1.09 | 1.84 | 2.93 | 1.06 | 6.28 | 7.34 | 1.09 | 1.71 | 2.80 | 1.06 | 4.08 | 5.14 | 1.09 | 1.51 | 2.60 | 1.06 | 2.97 | 4.03 | 1.08 | 1.35 | 2.43 | | | | | | | | | | | | |
| EB | 1 3/4 X 3 1/8 | 1.08 | 7.61 | 8.68 | 1.13 | 1.77 | 2.90 | 1.08 | 5.47 | 6.55 | 1.12 | 1.64 | 2.76 | 1.08 | 3.57 | 4.65 | 1.12 | 1.43 | 2.55 | 1.08 | 2.62 | 3.69 | 1.11 | 1.26 | 2.37 | | | | | | | | | | | | |
| EJ | 1 3/4 X 3 5/8 | 1.08 | 6.73 | 7.82 | 1.15 | 1.72 | 2.87 | 1.08 | 4.86 | 5.94 | 1.15 | 1.57 | 2.72 | 1.08 | 3.20 | 4.28 | 1.14 | 1.36 | 2.50 | 1.08 | 2.36 | 3.44 | 1.13 | 1.19 | 2.32 | | | | | | | | | | | | |
| EC | 1 3/4 X 4 1/8 | 1.08 | 6.06 | 7.13 | 1.17 | 1.66 | 2.83 | 1.08 | 4.39 | 5.47 | 1.16 | 1.51 | 2.67 | 1.08 | 2.91 | 3.99 | 1.15 | 1.29 | 2.44 | 1.08 | 2.16 | 3.24 | 1.14 | 1.13 | 2.27 | | | | | | | | | | | | |
| ED | 1 3/4 X 4 5/8 | 1.07 | 5.51 | 6.58 | 1.19 | 1.61 | 2.79 | 1.07 | 4.01 | 5.08 | 1.17 | 1.45 | 2.62 | 1.07 | 2.67 | 3.74 | 1.16 | 1.23 | 2.30 | 1.07 | 2.00 | 3.07 | 1.14 | 1.07 | 2.21 | | | | | | | | | | | | |
| EE | 1 3/4 X 5 1/8 | 1.05 | 5.07 | 6.12 | 1.19 | 1.55 | 2.75 | 1.05 | 3.70 | 4.75 | 1.18 | 1.39 | 2.57 | 1.05 | 2.48 | 3.54 | 1.16 | 1.18 | 2.33 | 1.05 | 1.87 | 2.92 | 1.14 | 1.02 | 2.16 | | | | | | | | | | | | |
| EF | 1 3/4 X 5 5/8 | 1.03 | 4.69 | 5.72 | 1.20 | 1.50 | 2.70 | 1.03 | 3.43 | 4.47 | 1.18 | 1.34 | 2.52 | 1.03 | 2.32 | 3.35 | 1.15 | 1.13 | 2.28 | 1.03 | 1.76 | 2.79 | 1.13 | 0.97 | 2.11 | | | | | | | | | | | | |
| BA | 2 X 2 1/8 | 0.78 | 8.80 | 9.67 | 0.80 | 1.45 | 2.24 | 0.78 | 6.35 | 7.14 | 0.80 | 1.37 | 2.17 | 0.78 | 4.10 | 4.88 | 0.79 | 1.25 | 2.04 | 0.78 | 2.97 | 3.75 | 0.79 | 1.14 | 1.93 | | | | | | | | | | | | |
| BH | 2 X 2 5/8 | 0.81 | 7.53 | 8.34 | 0.84 | 1.40 | 2.24 | 0.81 | 5.40 | 6.21 | 0.83 | 1.32 | 2.15 | 0.81 | 3.50 | 4.32 | 0.83 | 1.18 | 2.01 | 0.81 | 2.55 | 3.36 | 0.83 | 1.07 | 1.89 | | | | | | | | | | | | |
| BB | 2 X 3 1/8 | 0.83 | 6.55 | 7.38 | 0.87 | 1.36 | 2.23 | 0.83 | 4.71 | 5.54 | 0.87 | 1.27 | 2.13 | 0.83 | 3.08 | 3.91 | 0.86 | 1.13 | 1.99 | 0.83 | 2.26 | 3.09 | 0.86 | 1.01 | 1.86 | | | | | | | | | | | | |
| BJ | 2 X 3 5/8 | 0.84 | 5.82 | 6.66 | 0.90 | 1.32 | 2.22 | 0.84 | 4.20 | 5.04 | 0.89 | 1.22 | 2.11 | 0.84 | 2.77 | 3.61 | 0.88 | 1.07 | 1.96 | 0.84 | 2.05 | 2.89 | 0.88 | 0.95 | 1.83 | | | | | | | | | | | | |
| BC | 2 X 4 1/8 | 0.85 | 5.24 | 6.09 | 0.92 | 1.28 | 2.20 | 0.85 | 3.80 | 4.65 | 0.91 | 1.18 | 2.09 | 0.85 | 2.52 | 3.37 | 0.90 | 1.03 | 1.93 | 0.85 | 1.88 | 2.73 | 0.89 | 0.91 | 1.80 | | | | | | | | | | | | |
| BD | 2 X 4 5/8 | 0.84 | 4.78 | 5.63 | 0.93 | 1.25 | 2.18 | 0.84 | 3.48 | 4.33 | 0.93 | 1.14 | 2.07 | 0.84 | 2.33 | 3.17 | 0.91 | 0.99 | 1.90 | 0.84 | 1.75 | 2.59 | 0.90 | 0.87 | 1.77 | | | | | | | | | | | | |
| BE | 2 X 5 1/8 | 0.84 | 4.40 | 5.24 | 0.95 | 1.21 | 2.16 | 0.84 | 3.22 | 4.06 | 0.94 | 1.10 | 2.04 | 0.84 | 2.17 | 3.01 | 0.92 | 0.95 | 1.87 | 0.84 | 1.64 | 2.48 | 0.91 | 0.83 | 1.74 | | | | | | | | | | | | |
| BF | 2 X 5 5/8 | 0.83 | 4.09 | 4.92 | 0.96 | 1.18 | 2.14 | 0.83 | 3.00 | 3.83 | 0.94 | 1.06 | 2.01 | 0.83 | 2.03 | 2.86 | 0.93 | 0.91 | 1.84 | 0.83 | 1.55 | 2.38 | 0.91 | 0.80 | 1.71 | | | | | | | | | | | | |
| CH | 2 1/2 X 2 5/8 | 0.52 | 5.80 | 6.32 | 0.53 | 0.89 | 1.42 | 0.52 | 4.16 | 4.68 | 0.53 | 0.85 | 1.38 | 0.52 | 2.70 | 3.22 | 0.53 | 0.78 | 1.31 | 0.52 | 1.97 | 2.49 | 0.53 | 0.71 | 1.24 | | | | | | | | | | | | |
| CB | 2 1/2 X 3 1/8 | 0.54 | 5.07 | 5.61 | 0.56 | 0.87 | 1.43 | 0.54 | 3.65 | 4.19 | 0.56 | 0.82 | 1.38 | 0.54 | 2.39 | 2.93 | 0.55 | 0.75 | 1.30 | 0.54 | 1.76 | 2.29 | 0.55 | 0.68 | 1.23 | | | | | | | | | | | | |
| CJ | 2 1/2 X 3 5/8 | 0.55 | 4.53 | 5.08 | 0.58 | 0.85 | 1.43 | 0.55 | 3.27 | 3.82 | 0.58 | 0.80 | 1.38 | 0.55 | 2.16 | 2.71 | 0.58 | 0.72 | 1.30 | 0.55 | 1.60 | 2.15 | 0.57 | 0.65 | 1.23 | | | | | | | | | | | | |
| CC | 2 1/2 X 4 1/8 | 0.56 | 4.10 | 4.66 | 0.60 | 0.83 | 1.43 | 0.56 | 2.98 | 3.54 | 0.60 | 0.78 | 1.38 | 0.56 | 1.98 | 2.54 | 0.59 | 0.70 | 1.29 | 0.56 | 1.48 | 2.04 | 0.59 | 0.63 | 1.22 | | | | | | | | | | | | |
| CD | 2 1/2 X 4 5/8 | 0.57 | 3.47 | 4.04 | 0.64 | 0.79 | 1.43 | 0.57 | 2.55 | 3.11 | 0.63 | 0.74 | 1.37 | 0.57 | 1.72 | 2.29 | 0.62 | 0.65 | 1.27 | 0.57 | 1.31 | 1.88 | 0.62 | 0.58 | 1.20 | | | | | | | | | | | | |
| CE | 2 1/2 X 5 1/8 | 0.57 | 3.47 | 4.04 | 0.64 | 0.79 | 1.43 | 0.57 | 2.55 | 3.11 | 0.63 | 0.74 | 1.37 | 0.57 | 1.72 | 2.29 | 0.62 | 0.65 | 1.27 | 0.57 | 1.31 | 1.88 | 0.62 | 0.58 | 1.20 | | | | | | | | | | | | |
| CF | 2 1/2 X 5 5/8 | 0.57 | 3.23 | 3.80 | 0.65 | 0.78 | 1.43 | 0.57 | 2.38 | 2.95 | 0.64 | 0.72 | 1.36 | 0.57 | 1.62 | 2.19 | 0.63 | 0.63 | 1.26 | 0.57 | 1.24 | 1.81 | 0.62 | 0.56 | 1.19 | | | | | | | | | | | | |
| DB | 3 X 3 1/8 | 0.37 | 4.10 | 4.47 | 0.39 | 0.61 | 0.99 | 0.37 | 2.95 | 3.33 | 0.39 | 0.58 | 0.97 | 0.37 | 1.94 | 2.31 | 0.39 | 0.53 | 0.92 | 0.37 | 1.42 | 1.80 | 0.38 | 0.49 | 0.88 | | | | | | | | | | | | |
| DJ | 3 X 3 5/8 | 0.39 | 3.67 | 4.06 | 0.41 | 0.59 | 1.00 | 0.39 | 2.66 | 3.04 | 0.41 | 0.56 | 0.97 | 0.39 | 1.76 | 2.14 | 0.40 | 0.52 | 0.92 | 0.39 | 1.30 | 1.69 | 0.40 | 0.47 | 0.88 | | | | | | | | | | | | |
| DC | 3 X 4 1/8 | 0.40 | 3.34 | 3.73 | 0.43 | 0.58 | 1.01 | 0.40 | 2.43 | 2.82 | 0.42 | 0.55 | 0.97 | 0.40 | 1.62 | 2.02 | 0.42 | 0.50 | 0.92 | 0.40 | 1.21 | 1.61 | 0.42 | 0.46 | 0.88 | | | | | | | | | | | | |
| DE | 3 X 4 5/8 | 0.40 | 3.34 | 3.73 | 0.43 | 0.58 | 1.01 | 0.40 | 2.43 | 2.82 | 0.42 | 0.55 | 0.97 | 0.40 | 1.62 | 2.02 | 0.42 | 0.50 | 0.92 | 0.40 | 1.21 | 1.61 | 0.42 | 0.46 | 0.88 | | | | | | | | | | | | |
| DF | 3 X 5 1/8 | 0.41 | 2.85 | 3.26 | 0.46 | 0.56 | 1.02 | 0.41 | 2.09 | 2.50 | 0.45 | 0.53 | 0.98 | 0.41 | 1.42 | 1.83 | 0.45 | 0.47 | 0.92 | 0.41 | 1.08 | 1.49 | 0.44 | 0.43 | 0.88 | | | | | | | | | | | | |
| DF | 3 X 5 5/8 | 0.41 | 2.66 | 3.07 | 0.47 | 0.55 | 1.02 | 0.41 | 1.96 | 2.37 | 0.46 | 0.51 | 0.98 | 0.41 | 1.34 | 1.76 | 0.46 | 0.46 | 0.92 | 0.41 | 1.03 | 1.44 | 0.45 | 0.42 | 0.87 | | | | | | | | | | | | |
| DP | 3 X 5 7/8 | 0.41 | 2.58 | 2.99 | 0.47 | 0.55 | 1.02 | 0.41 | 1.91 | 2.32 | 0.47 | 0.51 | 0.98 | 0.41 | 1.31 | 1.72 | 0.46 | 0.46 | 0.92 | 0.41 | 1.01 | 1.42 | 0.46 | 0.41 | 0.87 | | | | | | | | | | | | |
| DG | 3 X 8 5/8 | 0.40 | 1.95 | 2.35 | 0.52 | 0.49 | 1.01 | 0.40 | 1.47 | 1.87 | 0.51 | 0.45 | 0.96 | 0.40 | 1.05 | 1.45 | 0.50 | 0.39 | 0.89 | 0.40 | 0.83 | 1.23 | 0.48 | 0.36 | 0.84 | | | | | | | | | | | | |
| PC | 3 1/2 X 4 1/8 | 0.30 | 2.79 | 3.09 | 0.32 | 0.43 | 0.75 | 0.30 | 2.03 | 2.33 | 0.31 | 0.41 | 0.72 | 0.30 | 1.36 | 1.65 | 0.31 | 0.38 | 0.69 | 0.30 | 1.02 | 1.31 | 0.31 | 0.35 | 0.66 | | | | | | | | | | | | |
| PD | 3 1/2 X 4 5/8 | 0.30 | 2.58 | 2.88 | 0.33 | 0.42 | 0.75 | 0.30 | 1.88 | 2.19 | 0.33 | 0.40 | 0.73 | 0.30 | 1.27 | 1.57 | 0.32 | 0.37 | 0.69 | 0.30 | 0.96 | 1.26 | 0.32 | 0.34 | 0.66 | | | | | | | | | | | | |
| FE | 3 1/2 X 5 1/8 | 0.31 | 2.40 | 2.71 | 0.34 | 0.42 | 0.76 | 0.31 | 1.76 | 2.07 | 0.34 | 0.39 | 0.73 | 0.31 | 1.20 | 1.51 | 0.34 | 0.36 | 0.70 | 0.31 | 0.91 | 1.22 | 0.33 | 0.33 | 0.67 | | | | | | | | | | | | |
| FF | 3 1/2 X 5 5/8 | 0.31 | 2.24 | 2.56 | 0.35 | 0.41 | 0.76 | 0.31 | 1.66 | 1.97 | 0.35 | 0.39 | 0.74 | 0.31 | 1.14 | 1.45 | 0.35 | 0.35 | 0.70 | 0.31 | 0.87 | 1.19 | 0.34 | 0.33 | 0.67 | | | | | | | | | | | | |
| FP | 3 1/2 X 5 7/8 | 0.31 | 2.18 | 2.49 | 0.36 | 0.41 | 0.77 | 0.32 | 1.61 | 1.93 | 0.36 | 0.38 | 0.74 | 0.32 | 1.11 | 1.43 | 0.35 | 0.35 | 0.70 | 0.32 | 0.86 | 1.17 | 0.35 | 0.32 | 0.67 | | | | | | | | | | | | |
| FG | 3 1/2 X 8 5/8 | 0.31 | 1.67 | 1.98 | 0.40 | 0.37 | 0.78 | 0.31 | 1.26 | 1.58 | 0.40 | 0.34 | 0.74 | 0.32 | 0.91 | 1.22 | 0.39 | 0.31 | 0.70 | 0.32 | 0.72 | 1.04 | 0.38 | 0.28 | 0.66 | | | | | | | | | | | | |

存储寿命

存储 5 到 10 年以上的铝电解电容可能会增加 DC 漏电流等级。在使用之前检查 DCL 是否满足应用的需要。经过 1,000Ω 的电阻加上额定电压 30 分钟来重新限定高 DCL 个体的条件。

存储寿命是测量电容如何维持长时间的存储尤其在高温下。为了测试存储寿命，将电容放在一个炉中，设置存储寿命测试温度为 -0+3°C 作为存储寿命测试周期。当完成实验在 25°C 下稳定电容 24h 或更长时间。提供额定电压 30 分钟，确认测试后的限制值。如果没有另外的指标，则电容量，DCL 和 ESR 将满足开始的要求。

过程考虑

焊接

预热

在预热电容期间不要超过最大的存储温度。如果不能避免，应首先与供应商联系。

温度持续时间

要严格遵守温度，持续时间和从本体最小的焊接间距的焊接条件。不要让烙铁或熔化的焊锡接触到绝缘套或其它的塑料部件。对于仅仅回流焊 SMT 的类型，只焊一次回流焊。如果需要不止一次回流焊与供应商联系。

焊接以后的注意事项

在电容焊接到印刷电路板上以后，不要对电容施加任何机械力像弯曲，拉伸，扭曲或翘起。

装配设备的处理

在已装配的设备运输或处理期间，不要误用电容作为把手。确保电容在印刷电路板安装期间或在堆栈期间不受物理的损坏。

卤化溶剂的清洗

卤化碳氢化合物溶剂(CFC)是使臭氧耗尽的化学药品对环境有害。这种溶剂能穿透电容的密封造成腐蚀和当加上电压时会损坏。所以使用这种溶剂来清洗铝电解电容是有限制条件的，条件由器件的供应商提供，且仅仅作为最后选择。防溶剂的微小型电容和树脂封的电容可以有限地使用卤化溶剂清洗。

水的清洗

可以用含温和清洁剂的水来清洗铝电解电容。但是，要在大约 85°C 的热空气里立即烘干电容 5 分钟或更多时间，但是温度不要超过电容的最大存储温度。水能藏在绝缘套的底下，在室温下可能不会因为蒸发作用而去除。水藏在绝缘套的底下会造成水合作用和铝外壳的污点，尽管这不影响电容的工作。

酒精的清洗

酒精溶剂像异丙醇，甲醇，乙醇和丙醇对铝电解电容没有危害作用。尽管对于清洗它们是好的，在去除商业的焊接助熔剂方面不是很有效果。

清洗的注意事项

如果在清洗后迅速加热到 100°C，电容的绝缘套可能会再次收缩或破裂。如果焊接助熔剂像许多活性助燃剂类型那样含有氟，要经常更新或替代清洗溶剂来避免损伤电容。如果清洗时间太长或机械应力和温度太高，清洗溶剂可能使绝缘套膨胀，影响标识的易读性。

罐封和胶封

靠近电容的封装的周围修饰，包上外套，涂漆，嵌入或点胶要确定没有卤素。要确定所有的要素部件包括底座材料，稀释剂，粘合剂，反应制剂，推进物和添加剂没有卤素。如果印刷电路板已经被卤化溶剂清洗，在安装电容之前确信电容已经完全干了。当点胶时，不要把胶涂在整个电容的周围，不要用罐或胶盖住电容的压力释放孔。

熏蒸消毒警告

电子设备的国际运输常使用板条箱设备。在运输期间板条可能被溴甲烷气体熏蒸来控制虫蚀。某些面粉加工厂也用这种气体来消毒。溴甲烷能够透过板条箱，塑料袋和其他保护设备的包装材料。溴甲烷也能够透过铝电解电容器的密封物。设备投入使用后会引发电容腐蚀和开路失效。为了防止这种失效，应该使用被证明能抗熏蒸的电容，或者把电容单独密封以防止溴甲烷的透过。

安装

安装位置

在低的环境温度下，铝电解电容有比较长的寿命；所以，把铝电解电容放在印刷板上最冷的地方。确保铝电解电容远离热的元器件像功率电阻，功率晶体管或二极管和变

压器。把元器件充分的分开以使冷空气流通。当所施加的纹波电流或充电/放电负载高时，这尤其重要。

压力释放设备的位置

为了压力释放装置正常工作，要提供足够的间距。下面的距离可作为指导。

| Nominal Case Diameter | Space around pressure relief device |
|-----------------------|-------------------------------------|
| ≤ 16 mm | > 2 mm |
| > 16 mm to < 40 mm | > 3 mm |
| ≥ 40 mm | > 5 mm |

安装电容使其压力释放口在电容的最高处或在电容的最高的部分。如果释放口工作，这样可确保最少的电解液被排出来。装配包含热-塑料罐封的电容，如果当电容损坏时罐封将会熔化，罐封不能封住释放口。Cornell Dubilier 的铝电解电容不应罐封，除了 3186 和 3188 型，可以安装在任何方向。

印刷电路板的注意事项

避免把孔放在另一面有电容部件的地方，电容部件会被熔化的焊锡接触到。因为铝电解电容的罐型外壳，有时是额外的端子通过电解液同负极端子是有阻抗的连接，不要把走线或焊盘放在竖立着的电容的底下，除了有源的端子不允许电容金属的部分接触到导电的走线或其它的元器件，没用的端子不要连上电平。

极性的指示

铝电解电容通常是有极性的，在电路中需要正确的极性安装。为了确保正确的装配和极性的辨认，在印刷板的布线上放上清楚的+或-的标示。如果电路电压的极性会反向或不知道，考虑使用无极性的电容。其缺点是无极性的电容比较大，价格比较贵。

螺丝端子安装力矩

在拧紧螺丝端子过程中过多的力矩可能影响电容的性能或损坏端子。下面是推荐的力矩。确定至少啮合六个螺纹。

| Terminal | Recommended Torque |
|------------------|--------------------|
| 10-32, Low Post | 25 in-lb |
| 10-32, High Post | 25 in-lb |
| ¼-28, Low Post | 50 in-lb |
| ¼-28, High Post | 60 in-lb |
| M5 Post | 30 in-lb |

螺丝端子电流额定值

对于正常的操作对于螺丝端子最大的推荐的连续的 AC 电流见下表。

| Terminal | Maximum Current |
|------------------|-----------------|
| 10-32, Low Post | 30 A rms |
| 10-32, High Post | 30 A rms |
| ¼-28, Low Post | 50 A rms |
| ¼-28, High Post | 50 A rms |
| M5 Post | 35 A rms |

纹波电流额定值可能会超过表中所列的电流值。端子能承受这些更高的额定电流，如果你能确保连接不漏气以避免铝氧化物的形成。使用酸模垫圈和商业的电连接的绝缘混合剂，用推荐的力矩拧紧端子。

处理端子

在装卸电容之前要确保电容充分放电。为避免损坏电容，不要僵硬的弯曲端子，在剪切或弯曲过程中，要确保夹住端子，避免对端子，焊接和电容的密封造成过多的压力。

不要使用额外的力来插电容。如果电容不容易插，应纠正问题。丢弃有机械损坏迹象的电容。

装配柱头螺栓的装配力矩

计算机等级，螺丝端子的电容是可用螺纹在罐型底部装配柱头螺栓，尼龙螺母可用于绝缘的装配。下面是推荐的力矩。

| Nylon Nut Thread | Recommended Torque |
|-------------------------|---------------------------|
| M8 | 25 in-lb |
| M12 | 75 in-lb |

电容的处理

没有固态电解液的铝电解电容主要包含高纯度的铝薄膜，电容纸，铝外壳，盖子和密封部件(石碳酸的，热塑性塑料，橡胶和石碳酸的板)，绝缘套(聚丙烯，聚酯或乙烯聚合物的氯化物)，可能还有由人造橡胶构成的安全口插栓。如果把电容烧成灰，温度要高于 1200°C。用正确的垃圾掩埋法来处理电容是允许的。EPA 的标准各个州有不同的规定。