TECHNICAL NOTE

正确使用铝电解电容器的方法

目录

1. 铝电解电容器的概述
   - 1－1　铝电解电容器的基本模型
   - 1－2　铝电解电容器的基本构造
   - 1－3　电容器材料的特性
   - 1－4　制造工艺
2. 基本性能
   - 2－1　基本的电气特性(静电容量、损失角正切值、漏电流)
   - 2－2　阻抗的频率特性
3. 可靠性
4. 故障模式
5. 铝电解电容器的寿命
   - 5－1　周围温度与寿命
   - 5－2　工作电压与寿命
   - 5－3　纹波电流与寿命
   - 5－4　充放电与寿命
   - 5－5　浪涌电流
   - 5－6　异常电压与寿命
6. 卤素的影响
   - 6－1　助溶剂的影响
   - 6－2　清洗剂
   - 6－3　固定剂、涂层剂
   - 6－4　熏蒸的影响
7. 再起电压
8. 保管
9. 各种用途的制品选择要点
   - 9－1　开关调整器输入平滑用途
   - 9－2　开关调整器输出平滑用途
   - 9－3　变换器主电路平滑用途
   - 9－4　控制电路用途
   - 9－5　照相闪光灯用途

1．铝电解电容器的概述

1-1　铝电解电容器的基本模型

电容器是无源器件，在各种电容器中，铝电解电容器与其他电容器相比，相同尺寸时，CV值更大，价格更便宜。
电容器的基本模型如图-1所示，静电容量计算式如下：

$$C = 8.854 \times 10^{-12} \frac{\varepsilon r S}{d} \text{ (F)} \quad \cdots\cdots(1)$$

εr：介电常数
S：电极板表面积(m^2)
d：两极板间距离=电介质的厚度(m)

从式(1)中可以看出：静电容量与介电常数，极板表面积成正比，与两极板间距离成反比。

作为铝电解电容器的电介质氧化膜(Al_2O_3)的介电常数通常为8~10，这个值一般不比其他类型的电容器大，但是，通过对铝箔进行蚀刻扩大表面积，并使用电化学的处理得到更薄更耐电压的氧化电介质层，使铝电解电容器可以取得比其他电容器更大的单位面积CV值。
铝电解电容器的等效电路如图-2所示：
铝电解电容器主要构成如下：
阳极　…铝箔
电介质…阳极铝箔表面形成的氧化膜(Al_2O_3)
阴极　…真正的阴极是电解液
其他的组成成分包括浸有电解液的电解纸，和电解液相连的阴极箔。
综上所述，铝电解电容器是有极性的非对称构造的元件。两个电极都使用阳极铝箔的是两极性(无极性)电容。

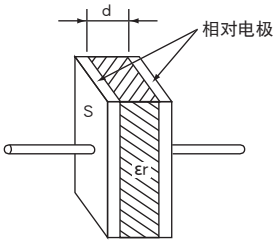
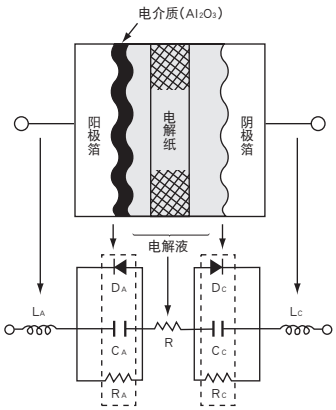


图1　电容器基本模型



C_A，C_C：阳极箔、阴极箔的静电容量
D_A，D_C：阳极箔、阴极箔氧化膜的整流作用
L_A，L_C：阳极引线、阴极引线的电感
R　　：电解液和电解纸的电阻
R_A，R_C：阳极箔、阴极箔的氧化膜的顺方向内部电阻

图2　电容器等效回路

1-2　铝电解电容器的基本构造

铝电解电容器素子的构造如图-3所示，由阳极箔，电解纸，阴极箔和端子(内外部端子)卷绕在一起含浸电解液后装入铝壳，再用橡胶密封而成。

铝电解电容器、根据制品的形状不同，外部端子的形状，密封橡胶的材料和构造也不同。如图-4所示

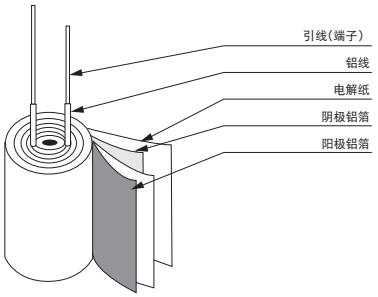


图3　素子基本构造

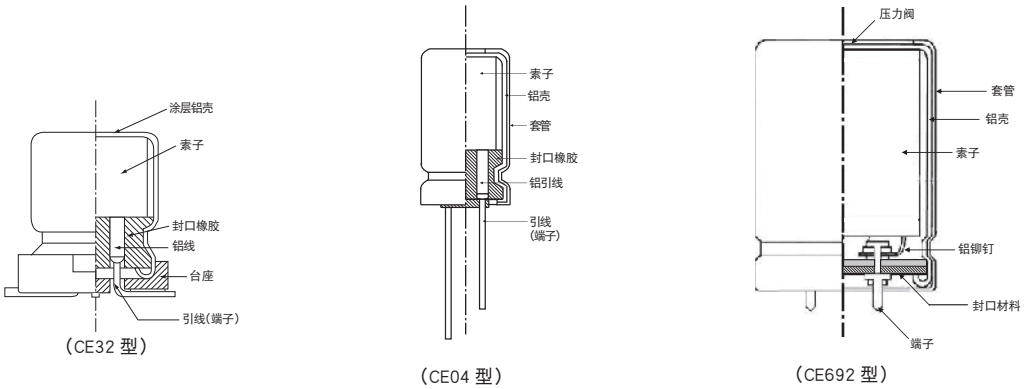


图4　铝电解电容器的构造(形状的代表例)

目录中记载的内容有可能未经提示而变更。贵司在购买、使用时请要求敝司提供规格书，并以此为基准去使用。

1-3 电容器材料的特性

铝箔是铝电解电容器主要材料，将铝箔设置为阳极，在电解液中通电后，铝箔的表面会形成氧化膜(Al_2O_3)，此氧化膜的功能为电介质。

如图-5所示，形成氧化膜后的铝箔在电解液中是具有整流特性的金属，被称之为阀金属。

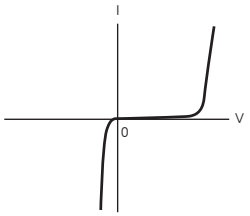


图-5 氧化铝箔 V-I 特性

《阳极铝箔》

首先，为了扩大表面积，将铝箔材料置于氯化物水溶液中进行电化学蚀刻。然后，在硼酸铵溶液中施加高于额定电压的电压后，在铝箔表面形成电介质氧化层(Al_2O_3)，这个电介质层是很薄很致密的氧化膜，大概1.1~1.5nm/vot，绝缘电阻大约为10^8 ～ 10^9Ω/m。氧化层的厚度和耐压成正比。为了增加扩大表面积的效率，根据额定电压的不同，而蚀刻形状也不同。(如图-6)

《阴极铝箔》

同阳极箔一样，阴极铝箔同样有蚀刻的程序，但是没有氧化的程序。因此，阴极铝箔表面只有少量的自然氧化形成的(Al_2O_3)，能承受的电压只有0.5V左右。

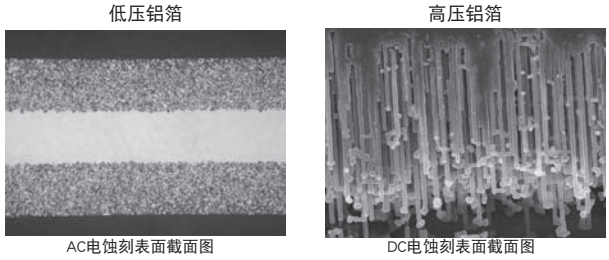


图-6 铝箔蚀刻横截面

《电解液》

电解液是由离子导电的液体，是真正意义上的阴极，起着连接阳极铝箔表面电介质层的作用。而阴极铝箔类似集电极一样起着连接真正阴极和内部电路的作用。电解液是决定电容器特性(温度特性，频率特性，使用寿命等)的关键材料。

《电解纸》

电解纸主要起着均衡电解液的分布并保持阴极箔和阳极箔间隔的作用。

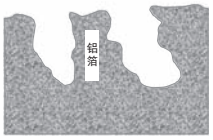
《铝壳和封口材料》

铝壳和由橡胶制成的封口材料主要作用是保持电容器气密性。

1-4 制造工艺

① 蚀刻(扩大表面积)

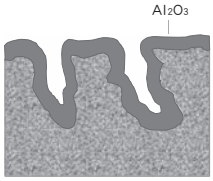
蚀刻的作用是扩大铝箔表面积。蚀刻是在氯化物溶液中施加交流或直流电流的电化学过程。



蚀刻模型图

② 化成(形成电介质层)

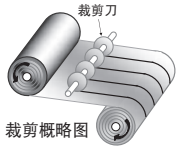
化成是在阳极铝箔表面形成电介质层(Al_2O_3)的过程。一般将化成过的铝箔作为阳极使用。



化成模型图

③ 裁剪

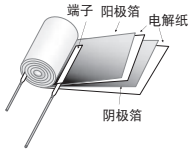
按照不同产品的尺寸要求将铝箔(阴极箔和阳极箔)和电解纸剪切为需要的尺寸



裁剪概略图

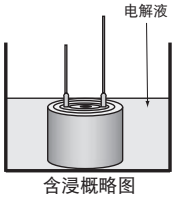
④ 卷绕

将阴极箔和阳极箔之间插入电解纸，然后卷绕成圆柱形，在卷绕工艺上阴极箔和阳极箔上连接端子。



⑤ 含浸

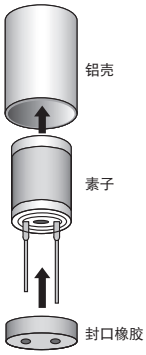
含浸是将素子浸入电解液中的过程。电解液能对电介质层进一步修复。



含浸概略图

⑥ 密封

密封是将素子装入铝壳中后用封口材料(橡胶，橡胶盖等)密封的过程。



⑦ 老化(再化成)

老化是对密封后的电容器在高温下施加电压的过程。这个过程能将裁剪和卷绕过程时电介质层的一些受损进行修复。

⑧ 全检，包装

老化之后，将对所有产品进行电气特性检查。并进行端子加工，编带等。最后进行包装。

⑨ 出货检查

根据产品检验标准进行出货检验。

⑩ 出货

目录中记载的内容有可能未经提示而变更。贵司在购买、使用时请要求敝司提供规格书，并以此为基准去使用。

2．基本性能

2-1　基本的电气特性

2-1-1　静电容量

电极表面积越大，容量（储存电荷的能力）越大。铝电解电容器的静电容量值是在20℃，120Hz 0.5V的交流电条件下测试的值。一般来说，温度升高，容量也会升高；温度降低，容量也会降低（如图7）。频率越高，容量越小；频率越低，容量越大（如图8）。

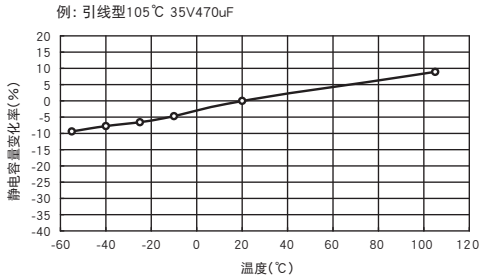


图7：静电容量的温度特性

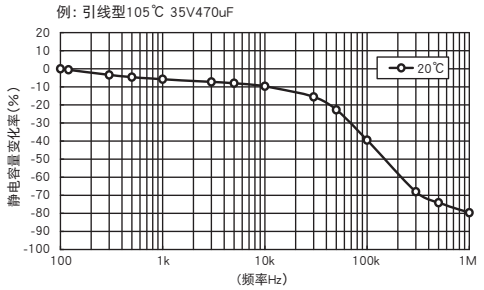


图8：静电容量的频率特性

2-1-2　Tanδ（也称为损失角或损失系数）

（图9）是等效电路图2的简化等效电路（图2）是理想的电容器的等效电路电阻R=0，tanδ =0。但实际上，铝电解电容器因为电解液、电解纸及其他接触电阻的存在，等效电路电阻R不为0。1/wC和R的关系如图-10和公式（2）。

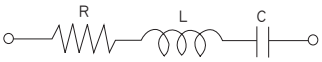


图9：电容器等效电路图

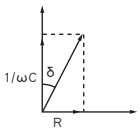


图10：损失角tanδ

$$\tan\delta = \frac{R}{1/\omega C} = \omega CR \quad \cdots\cdots (2)$$

ω：2πf

π＝圆周率、f：频率（f ＝ 120Hz）

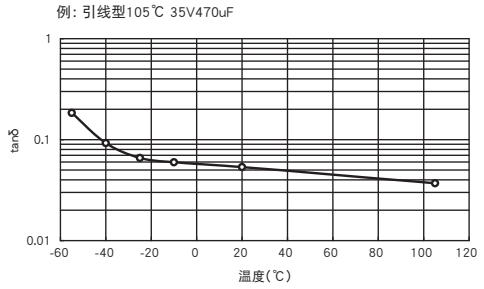


图11：tanδ的温度特性

2-1-3　漏电流（LC）

漏电流是铝电解电容器特性之一，当施加直流电压时，电介质氧化层允许很小的电流通过，这一部分小电流称为漏电流。理想的电容器是不会产生漏电流的情况（和充电电流不一样）。

漏电流（LC）会随时间而变化，如图-12所示。LC随时间而减小后会达到一个稳定值。因此，LC的规格值为20℃下施加额定电压一段时间之后所测量的值。当温度升高时，LC增加；温度降低，LC减少（图-13所示）。施加的电压降低，LC值也会减少。

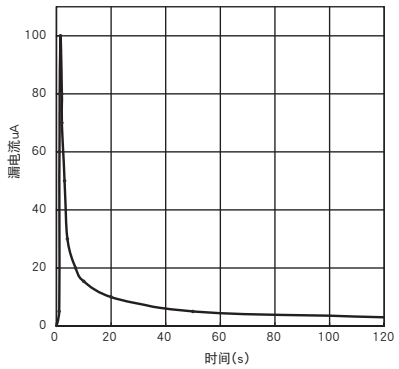


图12：漏电流随时间的变化

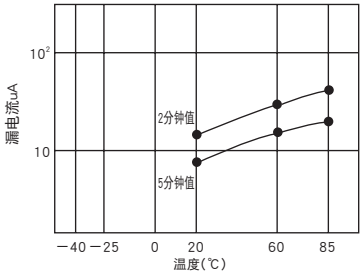


图13：漏电流的温度特性

2-2 阻抗的频率特性

施加在电容器上的交流电压的频率变化的话，作为阻止AC电流的参数，阻抗(Z)也会产生变化(如图-14所示)。这就是电容器的阻抗-频率特性。

(图-9)是电容器等效电路的简化模型。(图14)的虚线部分代表这个电路中的组成成分(C,R,L)。从图可得之，阻抗-频率特性是由C,R,L的频率特性组合而成。

1/ωC是容抗，图中容抗的直线向下角成45°角。ωL是感抗，它的直线向右上角成45°角。R代表等效串联电阻。在低频率区间，有频率依存性的电介质损失影响大，因而 R曲线向下。在高频区间，电解液和电解纸的阻值占主导地位，不再受频率的影响，因而R值趋于稳定。阻抗表达式如式(3)所示。

$$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \cdots\cdots (3)$$

由于铝电解电容器的阻抗特性主要受电解液和电解纸的阻值的影响，在自身共振频率时，Z值相对要较高(如图-15所示)。同时，阻抗也受温度影响：温度升高，阻抗减少；温度降低，阻抗增大(如图-16)。

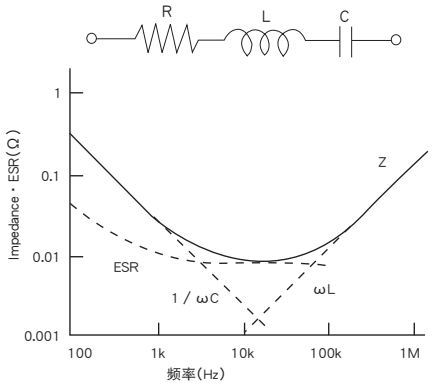


图14：阻抗的频率特性

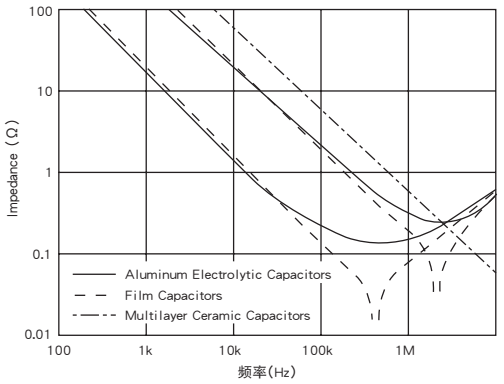


图15：不同电容阻抗的频率特性

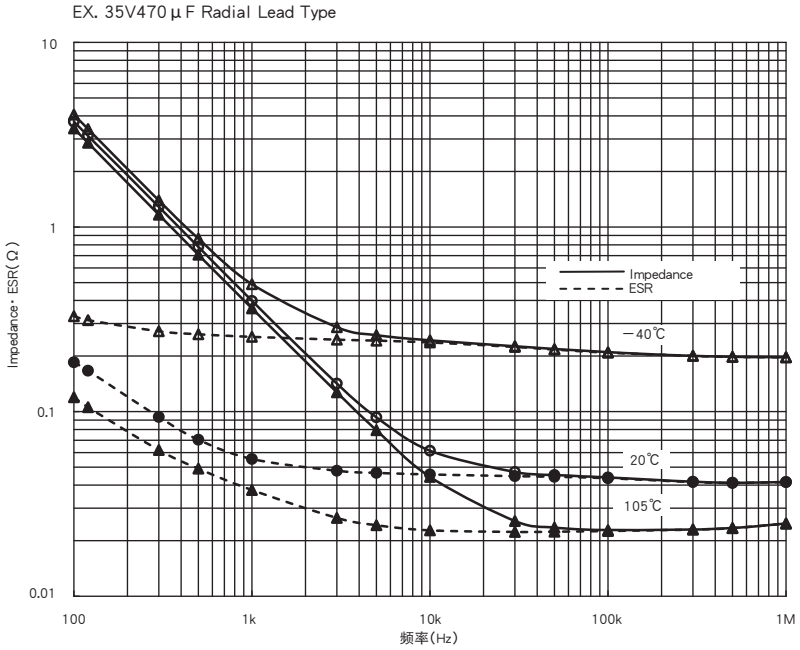


图16：阻抗．ESR的温度频率特性

3．可靠性

在设计需要使用电容器的设备的时候,要重点考虑其电容器的可靠性,故障率及使用寿命。
铝电解电容器的故障率近似于图-17的浴桶曲线。

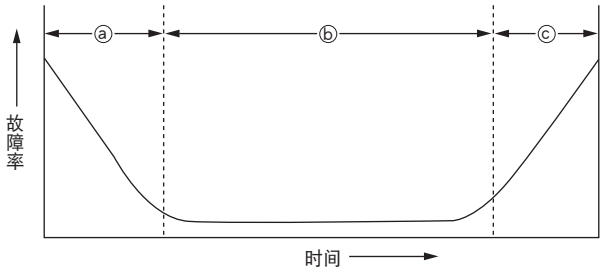


图17：浴桶曲线

ⓐ 初期故障期
开始使用后不久、由设计,制造上的缺陷或与使用环境不适应所产生的故障期间。铝电解电容器是指在制造工序中调试剔出的不良、是产品出货前的故障。

ⓑ 偶发故障期
故障发生率低且稳定,发生一些与时间无关的故障期间。铝电解电容器与其它半导体、钽固体电解电容相比,此期间发生破坏故障率要低。

ⓒ 损耗故障期
特性慢慢被老化,随着时间的推移,故障率升高的期间。
从铝电解电容制造完成开始,含浸过后的电解液透过封口橡胶、随着时间蒸发、静电容量及损失角正切超出规格的期间定义为损耗故障期(寿命)。到损耗故障为止的期间即为有效寿命。

电解电容的故障分为失效故障和损耗故障。

《失效故障》
由短路、开路等引起电容器的功能完全丧失的故障形态。

《损耗故障》
特性渐渐劣化所产生的故障形态。根据设备的使用目的而故障的判定基准也不同。
以下判定基准的耐久性项目是按系列来规定的。
・静电容量的变化率
・损失角的正切
・漏电流

作为故障率的单位% /1000 小时(10^{-5}/ 小时) 用的最多。而要求故障率更低的高可靠性部品使用Fit10^{-9}/ 小时。
铝电解电容器是,电气特性随着时间的推移而渐渐劣化、故障率升高的损耗故障部品。一般的故障率Fit是由试料数×时间来决定。

对于铝电解电容器来说、即使在试料数多的时候算出来的故障率和试验时间长的时候算出来的故障率相等,含义还是不同。所以作为铝电解电容器的可靠性并不适应故障率这一说法,而应该考虑作为电气特性判定基准的寿命时间的可靠性。
虽然有MTBF(平均故障间隔)和MTTF(到故障为止的平均时间)两个参数来衡量产品的可靠性。但铝电解电容器属于MTTF(不用修理的机器.部品)的范畴,所以到故障为止的工作时间的平均值用『MTTF□时间』来表示。

4．故障模式

故障模式,根据引发故障的使用条件而不同。(图-18)

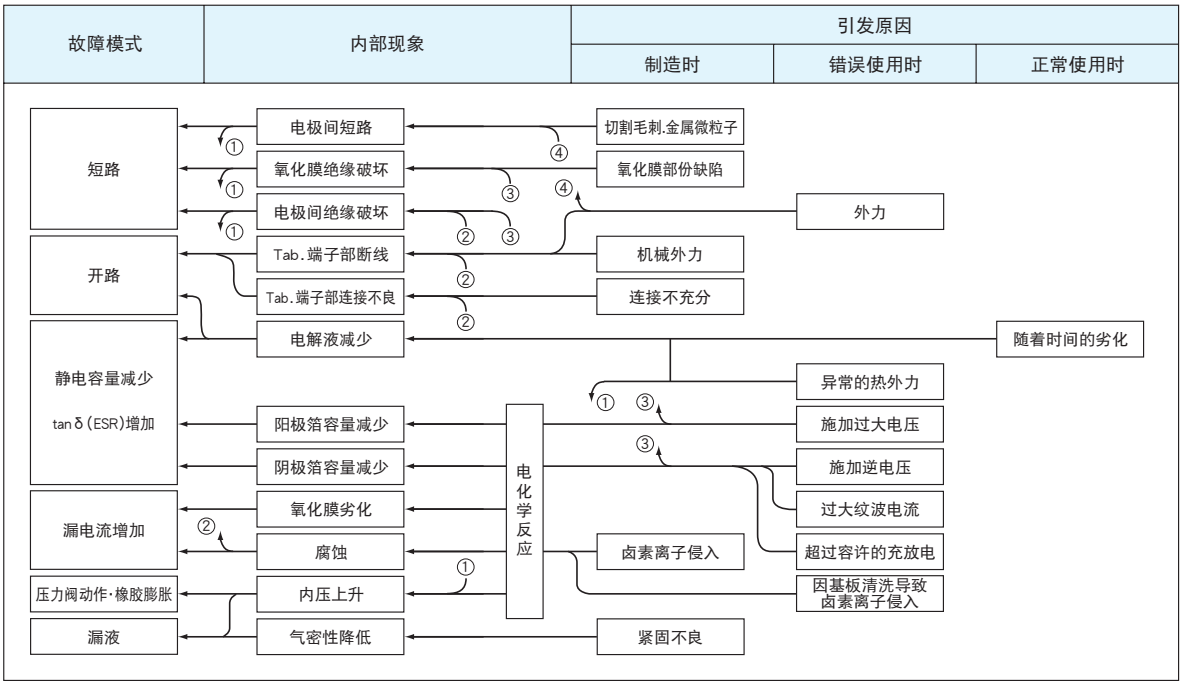


图18：故障模式

5．铝电解电容器的寿命

铝电解电容器的使用寿命会因使用条件而受到很大的影响。作为环境条件包括温度、湿度、气压、振动等，电气条件的话，有电压、纹波电流、充放电等。平常在平滑电路下的使用时、温度和纹波电流所产生的发热是决定寿命的重要因素、作为耐久性在目录及纳入仕样书中均有记载。
而且，如持续在高湿度、振动的用途及频繁充放电的用途的情况下，要考虑各个条件下的耐久性。

5-1　周围温度与寿命

铝电解电容器的寿命、一般受电解液通过封口部向外蒸发的现象的影响、表现为静电容量的减少、损失角正切值的增大。
电解液的蒸发速度和温度的关系用阿雷尼厄斯定律表示(4)(5)

$$k = Ae^{\frac{-E}{RT}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

$$\ln k = \left(\frac{-E}{RT}\right) + \ln A \quad \cdots\cdots\cdots(5)$$

k：反应速度常数
A：频度因子
E：活性化能量
R：气体常数(8.31J/deg)
T：绝对温度(K)

把上述公式(5)应用于铝电解电容器的寿命的话，就成了公(6)、变换成公式(7)。

$$\log\left(\frac{Lx}{Lo}\right) = \frac{E}{2.303R}\left(\frac{1}{Tx} - \frac{1}{To}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

$$\log Lx = \frac{E}{2.303R}\left(\frac{1}{Tx} - \frac{1}{To}\right) + \log Lo \quad \cdots\cdots(7)$$

Lo：温度To时的寿命(小时)
Lx：温度Tx时的寿命(小时)
To：制品的工作上限温度(K)
Tx：实际使用时的周围温度(K)

用公式(8)来推算实际的寿命。

$$Lx = Lo \cdot Bt^{(To-Tx)/10} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

Lo：在工作温度的上限、施加额定电压或额定纹波电流重叠时的规定寿命(hours)
(各制品的耐久性规定时间)
Lx：温度Tx时的寿命(小时)
To：制品的工作上限温度(℃)
Tx：实际使用时的周围温度(℃)
Bt：温度加速系数

在此，温度加速系数Bt，在60～95℃时太约为2，适用于10℃2倍数定律。但是、在阿雷尼厄斯公式(6)，绝对温度的倒数1/T和寿命的对数之间有着直线关系，因此严格来讲，也有并不近似10℃2倍数定律的温度范围。(图-19)

特别是当制品的保证温度为超过105℃时的寿命推算，根据推算温度加速系数Bt的温度范围，而必须改变系数。关于实际的寿命推算请另行咨询。

对于低温段的寿命，因为没有实际的评估数据、且对于长时间的耐久性，不仅要考虑电解液的蒸发以外还要考虑封口材质劣化等要素，所以请把40℃作为下限，并把15年作为推算寿命的上限。

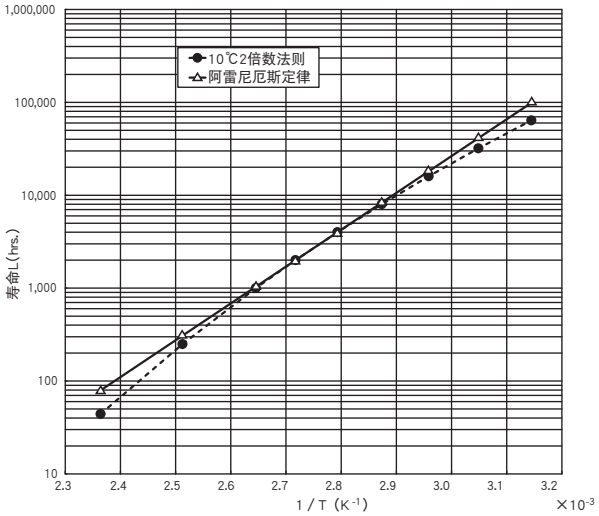


图19：阿雷尼厄斯定律和10℃2倍数的寿命计算结果

5-2　施加电压与寿命

在额定电压以下使用的话，一般来讲施加的电压对其使用寿命影响很小，与其周围温度及纹波电流所产生的发热的影响相比，影响几乎可以不用考虑。

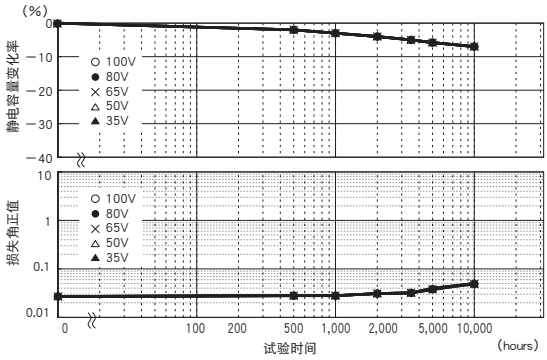


图20：耐久性(电压参数)
(注)因施加电压的差异很小，很多测试点重合。

不过、尺寸大的高压品，因为电解液的搭载量多，除了因温度而使电解液蒸发以外，也不可忽视因施加电压而让氧化膜劣化的因素。因此，针对额定电压160Vdc以上的基板自立型产品和额定电压为350Vdc以上的螺丝端子型产品，除个别情况以外，在估算寿命时都会考虑到应用电压降额因素。

5-3 纹波电流与寿命

铝电解电容器与其他电容器相比，因损失比较大，纹波电流会引起内部发热。纹波电流引起的内部发热会随着温度的上升而增大，而给寿命带来很大的影响。
因此每个制品都设定有额定的纹波电流。

5-3-1 纹波电流和发热

施加纹波电流时的消耗电力如下列公式。

$$W = I_R^2R + VI_L \quad \cdots\cdots (9)$$

W：内部的消耗电力
I_R：纹波电流
R：内部电阻（等效串联电阻）
V：施加电压
I_L：漏电流

漏电流I_L在最高使用温度时是20℃时的5～10倍，因$I_R > I_L$，所以公式为（10）

$$W \fallingdotseq I_R^2R \quad \cdots\cdots (10)$$

用公式（11）来求达到平衡发热和放热温度的条件。

$$I_R^2R = \beta A \Delta T \quad \cdots\cdots (11)$$

β：放热常数
A：铝壳表面积
ΔT：根据纹波电流的自我温升（℃）

$$A = \frac{\pi}{4}D\ (D + 4L)$$

D：铝壳的直径
L：铝壳的高度

自我温升ΔT　公式（12）

$$\Delta T = \frac{I_R^2R}{\beta A} \quad \cdots\cdots (12)$$

纹波电流为120Hz的情况下，自我温升由公式（12）转化为公式（13）

$$\Delta T = \frac{I_R^2R}{\beta A} = \frac{I_R^2\tan\delta}{\beta A\omega C} \quad \cdots\cdots (13)$$

在此 $R = \frac{\tan\delta}{\omega C}$

$\tan\delta$：120Hz下的的损失角正切值
ω：$2\pi f$（f为120Hz）
C：120Hz下的静电容量（F）

根据纹波电流可用公式14来算出大概的自我温升ΔT

$$\Delta T = (Ix/Io)^2 \times \Delta To \quad \cdots\cdots (14)$$

Io：在工作上限温度时的用频率系数修正后的额定纹波电流（Arms）
Ix：实际使用时的纹波电流（Arms）
ΔTo：叠加额定纹波电流时的自我温升（℃）
自我温升因系列而异，请另行咨询

虽然有一些系列降低周围温度可以施加超过额定的纹波电流，但自我温升△T升高的话，寿命就会变短。△T在各种周围温度下都有其规定界限值，请在使用中不要超过其界限值。另外、素子中心温度的界限值为『Tx+△T界限值』
下表是各周围温度下的ΔT 界限值的例子

周围温度	85℃以下	105℃
ΔT界限值	15℃	5℃

ΔT 界限值因系列而异，请另行咨询。

5-3-2 纹波电流与频率

通常，额定纹波电流值都是用120Hz或100KHz下的正弦波的有效值来标准化的，但由于等效串联电阻ESR具有频率特性，所以根据频率的变化，可以允许的纹波电流值会有改变。就像开关电源，铝电解电容器内有商用电源频率成分和开关频率成分的情况下，内部消耗电力用下列公式（15）表示。

$$W = I_{f1}^2R_{f1} + I_{f2}^2R_{f2} + \cdots\cdots I_{fn}^2R_{fn} \quad \cdots\cdots (15)$$

W：消费电力
I_{f1}、I_{f2}、…I_{fn}：f1、f2、…、fn 各个频率下的纹波电流值（Arms）
R_{f1}、R_{f2}、…R_{fn}：f1、f2、…、fn 各个频率下的等效串联电阻（Ω）

各频率下面的频率修正系数用F_{fn}表示、用fo来作为纹波电流基准下的频率的话，因$R_{fn} = R_{fo}/F_{fn}^2$、所以各频率下的纹波电流可用公式（16）来换算。

$$I_{fo} = \sqrt{(I_{f1}/F_{f1})^2 + (I_{f2}/F_{f2})^2 + \cdots\cdots (I_{fn}/F_{fn})^2} \quad \cdots\cdots (16)$$

I_{fo}：用基准频率换算的纹波电流值（Arms）
F_{f1}、F_{f2}、…F_{fn}：f1、f2、…fn 各个频率下的频率修正系数

因等效串联电阻会随温度而变化、β会随基板安装环境而变化，所以推荐用热电偶实测的方法来求到正确的ΔT值。

5-3-3 寿命推算式

考虑过因周围温度和纹波电流使本身的温度上升和施加电压的影响后的寿命推算公式一般用（17）～（20）表示。

● 贴片型、引线型：按加载额定电压规定耐久性时

$$Lx = Lo \times 2^{\frac{To-Tx}{10}} \times 2^{\frac{-\Delta T}{5}} \quad \cdots\cdots (17)$$

●贴片型、引线型：按叠加额定纹波电流规定耐久性时

$$Lx = Lr \times 2^{\frac{To-Tx}{10}} \times 2^{\frac{\Delta To-\Delta T}{5}} \quad \cdots\cdots (18)$$

●基板自立型、螺丝端子型

$$Lx = Lr \times 2^{\frac{Kt\,(To-Tx)}{10}} \times 2^{\frac{\Delta To-\Delta T}{A}} \times Kv \quad \cdots\cdots (19)$$

Lo：工作温度为最大，施加额定电压时的规定寿命（小时）
Lr：工作温度为最大，叠加额定纹波电流时的规定寿命（小时）
Lx：在实际使用条件中推算的寿命（小时）
To：制品的工作上限温度（℃）
Tx：实际使用时的环境温度（℃）
40℃以下的时候，在推算寿命的时候请按40℃来推算
ΔT：叠加纹波电流时的自我温升（℃）
※ΔTo：叠加额定纹波电流时的自我温升（℃）
※Kt：周围温度加速的修正系数
※Kv：电压降额系数（基本自立型＜160Vdc、螺丝端子型＜350Vdc时为1）
※A：叠加纹波电流时自我温升加速系数（因使用条件而不同。）

关于※项目的相关内容请另行咨询。

关于上限温度为125℃以上产品的寿命计算式，请与弊司联系。
对象系列：MXB、MHS、MVH、MHL、MHB、MHJ、MHK、GPA、GVA、GXF、GXL、GPD、GVD、GQB、GXA、GXM
请注意推算出来的结果并不是保证值。
在对设备进行寿命设计的时候，请检讨使用寿命充裕的电容器。推定寿命计算结果超过 15 年的场合，按 15 年为上限。如果需要推定寿命 15 年以上的产品，请与弊司联系。

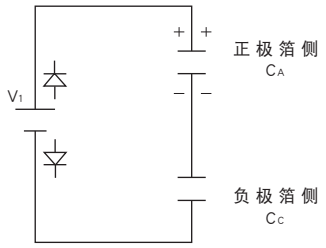
目录中记载的内容有可能未经提示而变更。贵司在购买、使用时请要求敝司提供规格书，并以此为基准去使用。

5-4 充放电与寿命

给铝电解电容器施加电压的话，正极箔的电介质上就会积累电荷。通过放电电阻放电的时候，积累在正极箔上的电荷就会移动到负极箔上。此时，铝和电解液就会在负极箔上发生化学反应(形成电介质)。

像这种反复多次充放电的场合，发生化学反应的负极箔容量和电容器的容量都会减少。与此同时、也会产生发热.气体。根据充放电条件，内压上升后会产生压力阀动作或产品破坏等情况。铝电解电容器用于以下的用途时，请与敝司商谈。

・频繁的开/关电源的电路
・反复短周期的快速充放电的电路
・反复电压变动大的充放电的电路



$Q = C_A V_1$

C_A：正极箔容量
C_C：负极箔容量
V_1：电源电压
V_2：施加在负极箔的电压

图21：充电时的电荷状态

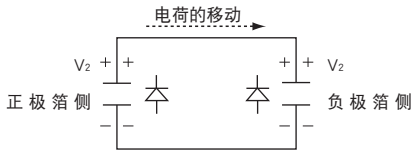


图22：放电时的电荷状态
(断开电源V1，放电后的状态)

$Q = C_A V_2 + C_C V_2$

因此 $C_A V_1 = C_A V_2 + C_C V_2$

$$V_2 = \frac{C_A V_1}{C_A + C_C} \quad \cdots\cdots (20)$$

一般品和充放电用特殊品的比较数据用图23～25表示。

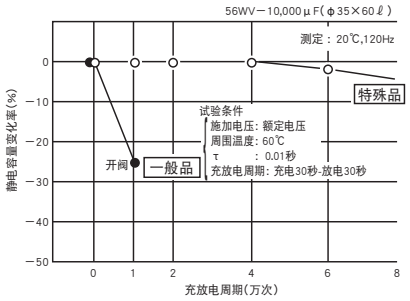


图23：急速充放电特性(充放电次数的影响)

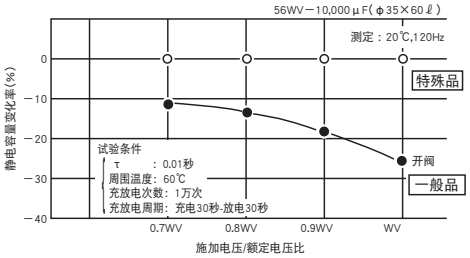


图24：急速充放电特性(施加电压的影响)

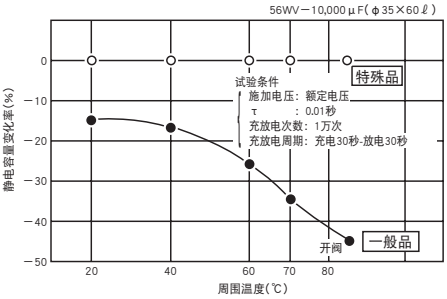


图25：急速充放电特性(周围温度的影响)

5-5 浪涌电流

虽然电源起动时及电焊机开始充电时电流所通过的浪涌电流的单位为msec，但此时的电流是平时的10-1000倍。一般来说，在单个的浪涌电流的时间内产生的热量很小，不会有问题出现。但请注意，如频繁反复的通过浪涌电流，就会和叠加过大纹波电流产生同样的情况，素子的发热超过容许值、外部端子的连接部或是电容器内部引出的端子线与铝箔的接触部会产生异常发热。

5-6 异常电压与寿命

施加异常电压会引起电容器内部发热和产生气体而导致内部压力上升，压力上升会导致开阀或电容器损坏失效。

5-6-1 过大电压

施加高于额定电压的电压会引起阳极箔的化学反应(形成电介质)导致漏电流迅速增加,从而产生热量和气体,内部压力因此也会升高。

这种化学反应会随着电压,电流,环境温度的升高而加快。随着内部压力增加,电容器会开阀或损坏失效。也可能会导致电容器容量降低,损失角和漏电流增加,从而会导致电容器短路。图-26中是电容器施加过大电压特性的一个例子。

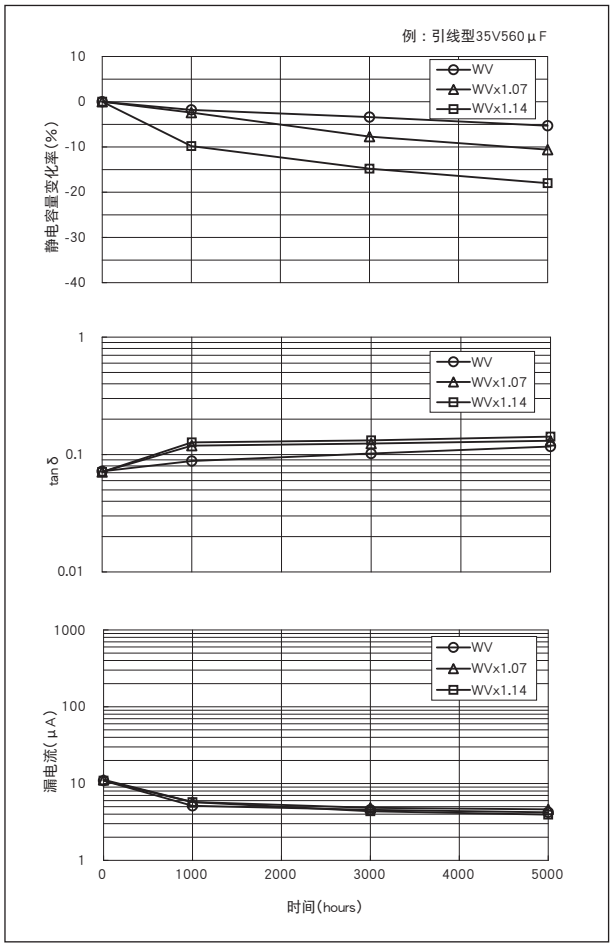


图26：105℃过大电压特性

5-6-2 反相电压

施加反相电压会引起电容器阴极箔的化学反应，同施加过大电压一样会导致漏电流迅速增加,电容器内部会产生热量和气体而引起内压升高。

这种化学反应会随着电压，电流，环境温度的升高而加快。同时静电容量减少，损失角增大，漏电流增加。图-27是电容器反相电压特性的一个例子。

施加大概1V的反相电压会导致容量减少；施加2V-3V的反相电压会导致容量减少，损失角增加/或者漏电流增加而缩短了电容器的寿命。如果施加更大的反相电压会导致开阀或电容器损坏。(如图27)

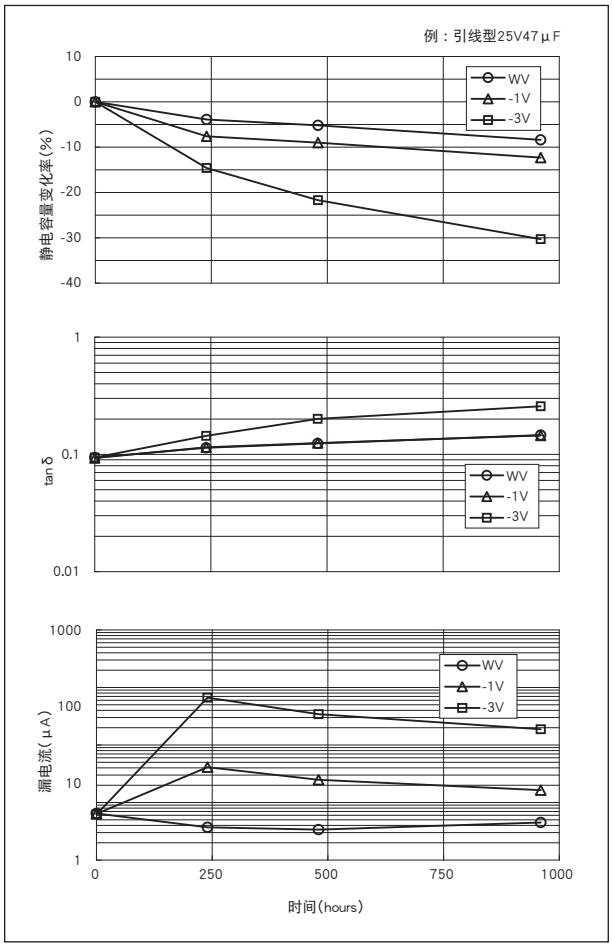


图27：105℃反相电压特性

5-6-3 交流电路中的使用

在交流电路中使用铝电解电容器时,在阴极会产生电位及产生过大纹波电流，伴随着内部发热，产生气体使内部压力升高，进而导致开阀，封口橡胶裂开电解液泄露，或者电容器爆炸引起着火等。如果电容器爆炸，可能因电解液或素子中一些易燃材料分散在电路板中导致装置短路。因此，请勿在AC电路中使用铝电解电容器。

6．卤素的影响

铝电解电容器对卤素元素非常敏感(特别是氯元素和溴元素)，卤素对电容器的影响程度和电解液、封口材料有关。如使用含有卤素的助焊剂，溶剂(清洗剂，固定剂，涂层剂)或熏蒸剂，卤化物可能会透过封口材料侵入电容器内部，引起下面的化学反应。这些化学反应会导致漏电流增加，内压升高而开阀，或者电容器开路。这些化学反应也会随着电压和温度升高而加快。

〔腐蚀反应〕

a) 卤化物分解

$RX + H_2O \rightarrow ROH + H^+ + X^-$ ……(21)

b) 腐蚀反应

$Al_2O_3 + 6H^+ + 6X^- \rightarrow 2AlX_3 + 3H_2O$ ……(22)

$Al + 3X^- \rightarrow AlX_3 + 3e^-$ ……(23)

$\Downarrow$

$2AlX_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3 + 6H^+ + 6X^-$ ……(24)

RX： 卤化合物

X^-： 卤离子(Cl^-、F^-、Br^-等)

卤化物渗透素子和电解液接触后发生如式 21 所示的水解反应，且释放出卤离子。卤离子随后和铝及氧化铝发生反应，生成 AlX_3(如式 22，23)，而 AlX_3 更进一步发生水解反应产生氢氧化物和卤离子(如式 24)。在式 24 中产生的卤离子将反复式22-24的化学反应，使腐蚀作用一直进行下去。

下面是使用助焊剂，清洗剂，固定剂，涂层剂和熏蒸剂的卤素预防措施。

6-1 助焊剂的影响

虽然一般助焊剂中含有会腐蚀电容器的卤离子活性剂，但是现在市场上已经有销售不含卤素化合物的助焊剂。市场上有一些助焊剂虽然使用的是“无卤”的名称，但有一部分这样的“无卤”助焊剂中含有大量的其他非离子性卤化合物也会对电容器造成腐蚀。

6-2 清洗剂

清洗有清洗保证的铝电解电容器时，请确认以下内容。

a. 请进行清洗剂的污染管理(电导性、pH、比重、含水量等)。

b. 清洗后，请不要保管在清洗液或密封的容器中。此外，请用热风(工作上限温度以下)吹 10 分钟以上进行充分干燥，避免印刷配线板及电解电容器上残留有清洗液。

一般情况下铝电解电容器很容易和卤素离子发生反应(特别是氯离子)，因使用的电解质和封装材料等的不同，反应的程度有所差异，但是，当一定量的卤素离子侵入到内部，会导致使用过程中发生腐蚀反应，并引起漏电流大幅增加，发热，压力阀动作、开路等破坏性故障。

由于最近的地球环境问题(臭氧层破坏引起的地球温暖化，环境被破坏)，使用以下新溶剂代替过去使用的氟利昂113(二氯二氟甲烷等)、氯甲烷、1,1,1 三氯乙烷进行清洗时，请勿超出容许条件的范围。

6-2-1 酒精清洗剂

①高级乙醇类清洗剂(新型溶剂)

派因阿尔法(Pine Alpha) ST-100S(荒川化学工业)

库林斯鲁(Clean Through) 750H、750HS、750J(花王)

② IPA(异丙醇)

对象制品

端子形状	系列
表面安装型	所有系列
引线型	所有系列
螺丝端子型	所有系列(100V 以下)

〔清洗条件〕

60℃以下，10 分钟以内之浸渍或超声波清洗。

〔注意事项〕

a. 清洗时不可擦拭电容器标注部分或其他部件以及 PC 板。；因使用清洗液进行清洗时可能将电容器标注洗掉。

b. 根据清洗方法，电容器标注可能会被清洗掉或者变模糊。

c. 清洗或漂洗过后的干燥过程可能引起电容器外部套管膨胀或收缩。

d. 如果使用弱碱性清洗剂(例如库林斯鲁 750HS、750J)、清洗后请用水漂洗以确保电容器表面没有残留。

e. 请控制清洗剂中助焊剂浓度在 2wt% 内。

f. IPS(异丙醇)中如果含有二甲苯或其他改善清洁性能的溶剂，有可能会使橡胶材料膨胀。

g. 由于清洗剂的类型和使用条件不同，电容器的外套管可能会失去光泽或被漂白等现象。

6-2-2 HCFC 可替代氟利昂

AK225AES(旭玻璃制品公司)

〔清洗条件〕

清洗条件中不管浸渍或超声波清洗的方法，清洗时间不得超过5分钟。

但是鉴于地球环境保护的角度考虑，不建议使用HCFC清洗剂。

〔对象制品〕

端子形状	对象系列
贴片型	MVE(～63Vdc), MZS, MZL, MZR, MZJ, MZA, MVY(6.3 ～ 63Vdc), MZF, MZE, MZK, MLA, MLF, MLE, MLK, MVL, MHS, MVH(～50Vdc), MHL, MHB, MHJ, MXB, MHK, MHU
引线型	SRG, KRG, KMQ(～100Vdc), LZA, LXZ, LXY, LXV, GPA, GVA, GXF, GXL, GPD, GVD, GQB, LBV, LBG

当PC板上电容器安装的非常紧密的时候，电容器之间和PC板上都可能会残留清洗剂。因此清洗过后在50-80℃的条件下进行热风干燥处理10分钟以上，使封口部无清洗剂的残留。

6-2-3 其他溶剂类

为了避免电容器失效，请勿使用以下溶剂：

卤素类溶剂： 因为卤素的腐蚀作用会使电容器失效。

强碱类溶剂： 会腐蚀(溶解)电容器铝壳。

萜烯烦和石油类溶剂： 会使橡胶材料恶化。

二甲苯、甲苯： 同样会使橡胶材料恶化。

丙酮类溶剂： 会使电容器标识变模糊。

目录中记载的内容有可能未经提示而变更。贵司在购买、使用时请要求敝司提供规格书，并以此为基准去使用。

6-3 固定剂和涂层剂

使用固定剂和涂层剂时，请注意以下几点：

a. 请勿使用含有卤化物的固定剂和涂层剂。
b. 请注意封口橡胶和 PC 板之间不应有助焊剂或其他污渍残留。
c. 在添加固定剂和涂层剂之前，请确保清洗剂已经被清除干净。请不要将封口橡胶周围全部用固定剂或涂层剂封住。
d. 使用不当的固定剂和涂层剂加热或固定方法，会使电容器外胶套膨胀或收缩。对于固定剂和涂层剂的热硬化条件，请与我们联系。
e. 铝电解非固体电容器的封口部完全被树脂封住的话，会使电容器内部的内压无法适当的排放，有可能会带来危险的状况。而且，树脂中含有过量的卤素离子的话，其成分会通过封口橡胶侵入到电容器内部，使其发生不良状况。所以使用中请注意。
f. 在使用中请注意，根据固定剂、涂层剂所使用的溶剂种类，套管表面有发生影响光泽度或被漂白的可能。
g. 在使用中请注意，固定剂、涂层剂中含有二甲苯的时候，有可能会使封口橡胶劣化、使助焊剂成份更容易侵入电容器内部。

6-4 熏蒸的影响

在电子设备类进出口时，有时需用溴化甲烷等卤素化合物进行熏蒸处理。此时，如果铝电解电容器接触到溴化甲烷等卤素化合物，会和「基板清洗」一样，有产生卤素离子而发生腐蚀反应的危险。

在进出口的时候，敝司会考虑不用熏蒸处理等的捆包方法。请客户本公司在进出口的时候、采用的是无需熏蒸处理的包装方式。客户在进出口电子设备，半成品及铝电解电容器单品的时候，请注意有无熏蒸处理，最终的包装形态等。（即使用瓦楞纸箱、塑料进行包装，熏蒸气体也用可能侵入内部的危险。）

7．再起电压

给铝电解电容器充电、让其端子间短路，再将短路线路打开放置一段时间过后，两端子间的电压会发生再次上升的现象。此时的电压叫再起电压。此现象的推定机制原理为以下内容。

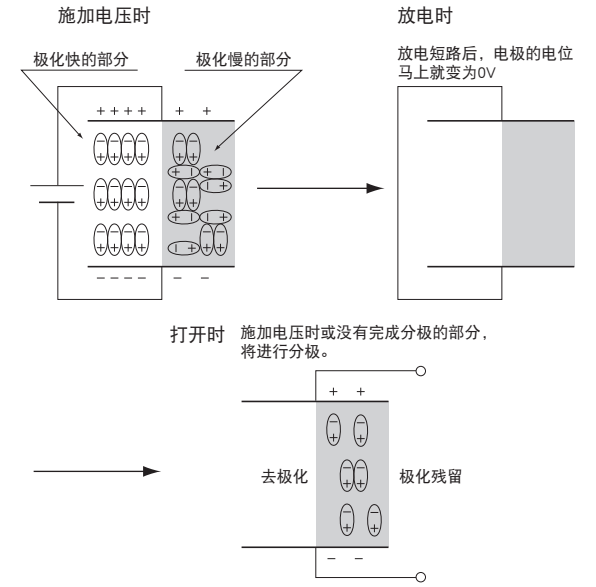
给电介质施加电压后，电介质内部发生电气变化，电介质表面带有施加的电压和正负反向电荷。（极化作用）

因为极化作用的速度，有快慢之分，施加电压后、把端子间的电压放至 0V、打开线路后放置，分极反应慢的电位在端子间产生再起电压。（图 -28）

再起电压的时间变化如图 -29所示，两端子间打开后约 10～20 日后达到峰值，再渐渐降低。另外，大型品（螺丝端子型、基板自立型）的再起电力值有变大的倾向。

再起电压发生后，意外的让两端子间短路的话，打火会给生产线作业人员带来恐怖感、电路的 CPU、存储器等低电压驱动素子也有被破坏的危险。作为防止办法，请在使用前用 100～1K欧左右的电阻对所积蓄的电荷进行放电。另外，敝司可对应再起电压相关事项，如有需要请与敝司商谈。

图28： 再起电压的机制原理



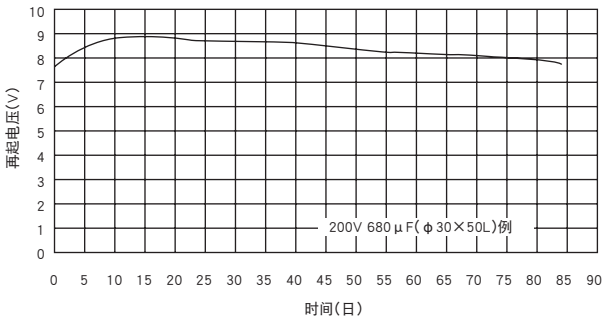


图29： 再起电压的变化

8．保管

铝电解电容器的各种特性对温度有着依赖性，温度越高，劣化就越快，漏电流增大、损失角正切增大、静电容量减少的速度加快。而且，长时间在高湿的环境中放置的话，有可能使端子及引线变色、焊接性恶化。因此请将铝电解电容器放在常温、常湿、太阳直射不到的地方进行保管。

长时间在高温（超过常温）的环境下放置，正极箔的氧化膜和电解液会发生化学反应、造成耐电压下降、漏电流增大的倾向。给这样的制品施加额定电压后，因大的漏电流所产生的内部发热而引起绝缘层破坏，最终达到压力阀动作的可能。

因为长时间放置的制品，进行电压处理的话（注-1）会使氧化膜修复，漏电流回复到放置前的水平，所以推荐电压处理。漏电流的增加根据制品的耐电压不同而不同，一般额定电压越高，漏电流增大的倾向越明显。而且，长时间放置的制品可能会影响其寿命，所以，请考虑电容器的保管期间后再使用。

（注 -1）进行电压处理的场合，请串联一个约1K欧的保护电阻，施加约30～60分钟的额定电压。

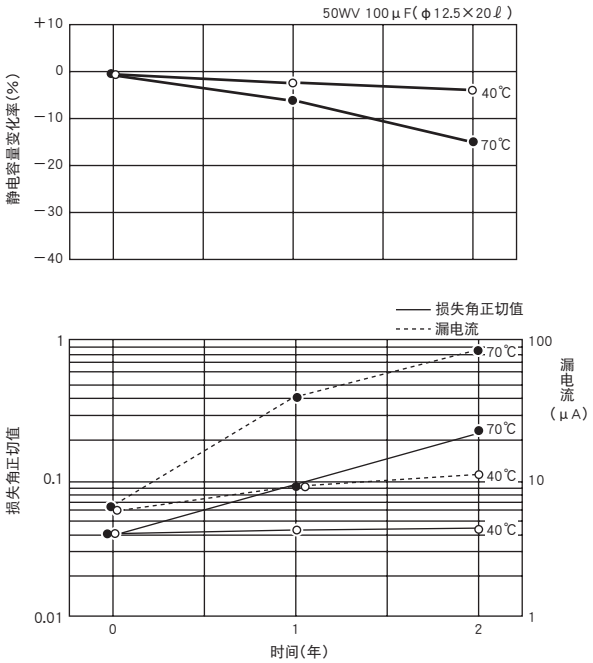


图30： 放置特性（温度参数）

9. 各种用途的的制品选择要点

铝电解电容器虽然主要是作为电源的平滑用途而被广泛使用，但根据用途的不同，在制品选择上的侧重点也不同。请根据各种特性选择与其相称的铝电解电容器。
以下就介绍几种具有代表性的事例。

9-1 开关调整器 输入平滑用途

输入平滑用的电容器平滑整流电路后的50Hz～120Hz的整流波形。而且，因给后段的开关电路直接供应电力，也被叠加了开关频率的纹波电流。所以，请必须考虑双方频率的纹波电流。电容器的ESR具有频率特性，即使纹波电流相同，发热也会随频率而不同。

PFC电源或照明用镇流器等的时候，因为大部分都会叠加数十KHz～100KHz的纹波电流，所以必须注意到制品的阻抗特性后再选择制品。

●开关调整器 输入平滑用途代表系列

特点 / 形状	85℃		105℃		
	标准品	长寿命品	标准品	小型品	长寿命品
引线型	—	—	KMQ	PAG	KXJ
基板自立型	SMQ	SMM	KMQ	KMS,KMR	LXS,LXM

9-2 开关调整器 输出平滑用途

输出平滑用途的电容器，因被叠加100KHz左右的纹波电流，所以敝司会供应高频率的阻抗特性优良的制品。还有，根据需求也可选择温度范围大的类型或长寿命类型之制品。

温度范围大的制品与长寿命制品比较的话，保证耐久性的时间虽然比较短，但会随温度变化的电气特性较稳定。使用温度范围有-55～105℃和-40～125℃类型。长寿命的制品是把低阻抗及长寿命作为专门要求所开发的制品，与温度范围大的类型比较，虽然是低阻抗，长寿命，但制品的最高温度上限为105℃。而且，电气特性会因温度而产生较大的变化。

●开关调整器 输出平滑用途代表系列

特点 / 类型	105℃		125℃
	标准品	低Z品	高温度品
宽温度范围型	LXY	LZA	GPA
长寿命型	KYB	KZN	—

9-3 变频器主电路 平滑用途

作为变频器主电路平滑用途的电容器，虽然使用方法和输入平滑用途的电容器一样，但也请考虑以下几个要点。

在AC400V输入平滑电路中使用的场合，有时会串联两颗额定电压为350～400Vdc的电容。在使用串联的情况下，施加在每个电容器上的电压由（刚开始充电时根据静电容量、完成充电时根据漏电流）来决定。为了使充电完后的电压不超过额定电压，请将平衡电阻和电容器并联连接。平衡电阻的选定方法请另行咨询。

在经常使用电容器做充放电的时候，即使是连接了平衡电阻，充电电压还是会由静电容量偏差的影响来决定，所以很难做到保持电压的平衡。像伺服放大器等因频繁的再生电压而使电压反复变化时，请根据实际条件来检讨规格或者是使用以下推荐系列。

●变频器主电路 平滑用途 代表系列

特点 / 形状	85℃		105℃	
	标准品	长寿命品	标准品	长寿命品
基板自立型	SMQ	SMM	KMQ	LXS,LXM
螺丝端子型	RWE	RWF,RWH	KMH	LXA,LXR

●伺服放大器电源用途代表系列

特点 / 形状	85℃	105℃
基板自立型	—	KMV
螺丝端子型	RWV	—