

目 录 页

1. 铝电解电容器的概况	2
1-1 铝电解电容器的原理	2
1-2 静电容量	2
1-3 电介质（铝氧化膜）	4
1-4 电解液的动向	4
1-5 制造方法	5
1-6 电气特性	7
2. 铝电解电容器的使用注意事项	10
2-1 使用注意事项	10
2-2 故障	13
2-3 使用电压和安全性	15
2-4 充放电	17
2-5 串联连接中平衡电阻的选定方法	18
2-6 保存性能	18
2-7 再起电压	19
2-8 在高海拔地区使用	19
2-9 寿命	20
2-10 卤素的影响	25
2-11 CR 时间电路	26
2-12 产品选定的要点	27

1. 铝电解电容器的概况

1-1 铝电解电容器的原理

铝电解电容器是以阳极高纯度铝箔表面上形成的氧化膜为电介质，再由阴极铝箔、电解液、电容器纸（电解纸）构成。

氧化膜是通过电解氧化（化成）形成，非常薄，具有整流特性。此外，通过对高纯度铝箔进行腐蚀来扩大有效表面积，获得小型化大容量的电容器。

如前所述，实际电容器的结构是由阳极箔及阴极箔，两箔之间夹着电解纸（箔两层和电解纸两层）组成，卷绕后浸渍电解液。其结构如（图 1-1）所示。

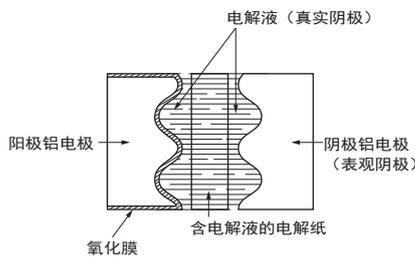


图1-1

由于氧化膜具备整流特性，因此上述模式图为有极性电容器，不过若在阳极端和阴极端两方都采用了氧化膜的电极，那么就会成为双极性电容器。

此外，虽然在此记述了电解纸中浸渍电解液的非固体铝电解电容器，但是还有采用固体电解质的导电性高分子铝固体电解电容器。

1-2 静电容量

与平行板电容器一样，用下列公式计算铝电解电容器的静电容量。

$$C = 8.854 \times 10^{-12} \frac{\epsilon S}{d} \text{ (F)} \dots\dots\dots \text{ (公式1-1)}$$

公式中， ϵ 表示电介质的电介常数， S 表示电介质的表面积 (m^2)， d 表示电介质的厚度 (m)。

要想增大静电容量 C ，必要条件是电介常数 ϵ 要大。表面积 S 要大，电介质的厚度 d 要薄。

各种电容器的电介质的电介常数 ϵ 和电介质厚度 d 的比较结果如（表 1-1）所示。

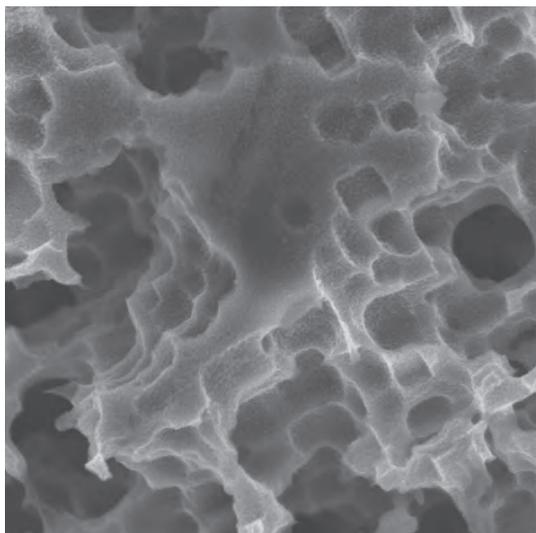
铝电解电容器的电介质单位厚度的耐电压较高，而且可以根据需要的额定电压来控制电介质的厚度。因此，相比其它类型电容器，可以减小电介质的厚度。

而且，通过腐蚀铝箔表面，与表面积相比，实效面积在低压电容器上能扩大 80 ~ 100 倍、中高压电容器上能扩大 30 ~ 50 倍，因此，铝电解电容器在特定的表面积上能获得比其它电容器更大的容量。

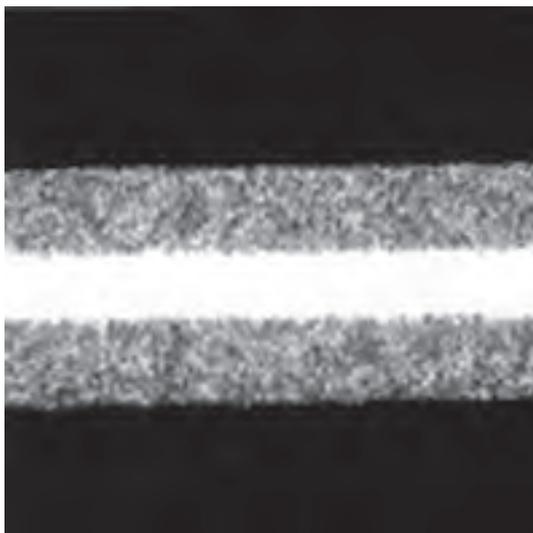
铝电极是在氯化物水溶液中通过直流、交流或者其交互及重叠的方式对高纯度铝箔进行电化学腐蚀，扩大表面积。低压用阳极箔是以交流电解为主进行细致的海绵状腐蚀（照片 1-1）；中高压用阳极箔是以直流电解为主的隧道腐蚀（照片 1-2）。阴极箔是通过以交流电解为主的腐蚀方式扩大表面积。

表 1-1 各种电容器的电介质和电介质的最小厚度

电容器的种类	电介质	介电常数 ϵ	电介质厚度 d (m)
铝电解电容器	氧化铝	7 ~ 10	$1.3 \times 10^{-9} \sim 1.5 \times 10^{-9}$
钽电解电容器	氧化钽	24	$1.0 \times 10^{-9} \sim 1.5 \times 10^{-9}$
薄膜电容器 (金属蒸镀)	聚酯薄膜	3.2	$0.5 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$
陶瓷电容器 (高诱电率)	钛酸钡	500 ~ 20,000	$2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$
陶瓷电容器 (温度补偿用)	氧化钛	15 ~ 250	$2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$

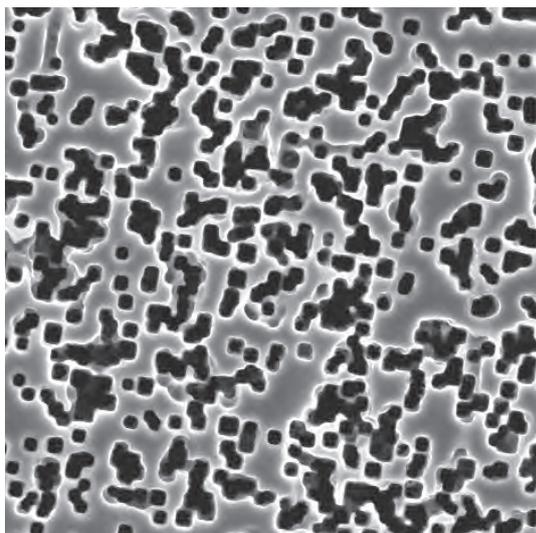


表面

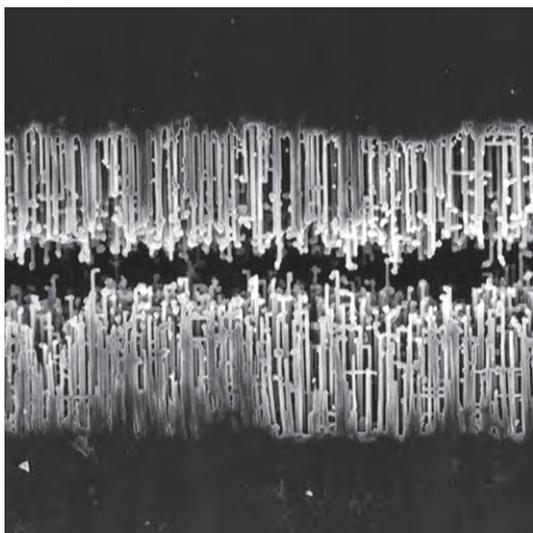


截面

照片 1 - 1 低压用腐蚀箔的表面 / 截面照片



表面



截面 (复制品)

照片 1 - 2 中高压用腐蚀箔的表面 / 截面照片

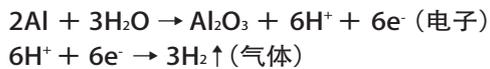
1-3 电介质（铝氧化膜）

在硼酸铵等水溶液中对腐蚀了的高纯度铝箔进行阳极氧化后，在箔的表面上形成铝氧化膜。这种铝氧化膜成为铝电解电容器的电介质。在阳极箔上施加的直流电压以对其进行氧化，称为化成电压。

电介质的厚度几乎与化成电压成比例，每1V大致为 $1.3 \times 10^{-9} \sim 1.5 \times 10^{-9}$ m。

没有腐蚀的箔（纯铝箔）表面上形成的电介质（铝氧化膜）的放大照片如（照片1-3）所示。

电介质（铝氧化膜）的生成反应如下表示。



照片1-3 电介质（铝氧化膜）截面照片（纯铝箔表面上生成电介质）



照片1-4 中高压化成箔的截面照片
(腐蚀坑洞中生成的氧化膜的状态)

1-4 电解液

阳极箔和阴极箔相对放置后，在两极箔之间夹住电解液卷成圆筒状，称之为素子。此时初步形成了将阳极箔上的铝氧化膜和电解液作为电介质的电容器，不过这种状态下的静电容量很小。

在这个素子上浸了电解液（以下称为浸渍）后，阳极箔表面和阴极箔表面通过电解液实现电气连接，就能获得以阳极箔表面的铝氧化膜为电介质的具有很大的静电容量的电容器。也就是说，电解液起到真正的阴极的作用。电解液应具备的基本特性罗列如下：

- (1) 应具备导电性。
- (2) 若阳极箔表面的电介质有缺陷部分，应具备修复的能力。也就是应具备化成性。
- (3) 对阳极箔、阴极箔、密封材料等应具有化学稳定性。
- (4) 应具有良好的浸渍性。
- (5) 应具有低蒸气压。

以上电解液的特性与铝电解电容器的各种特性有很大关联，因此根据电容器的规格、温度范围、用途选择合适的电解液。

1-5 制造方法

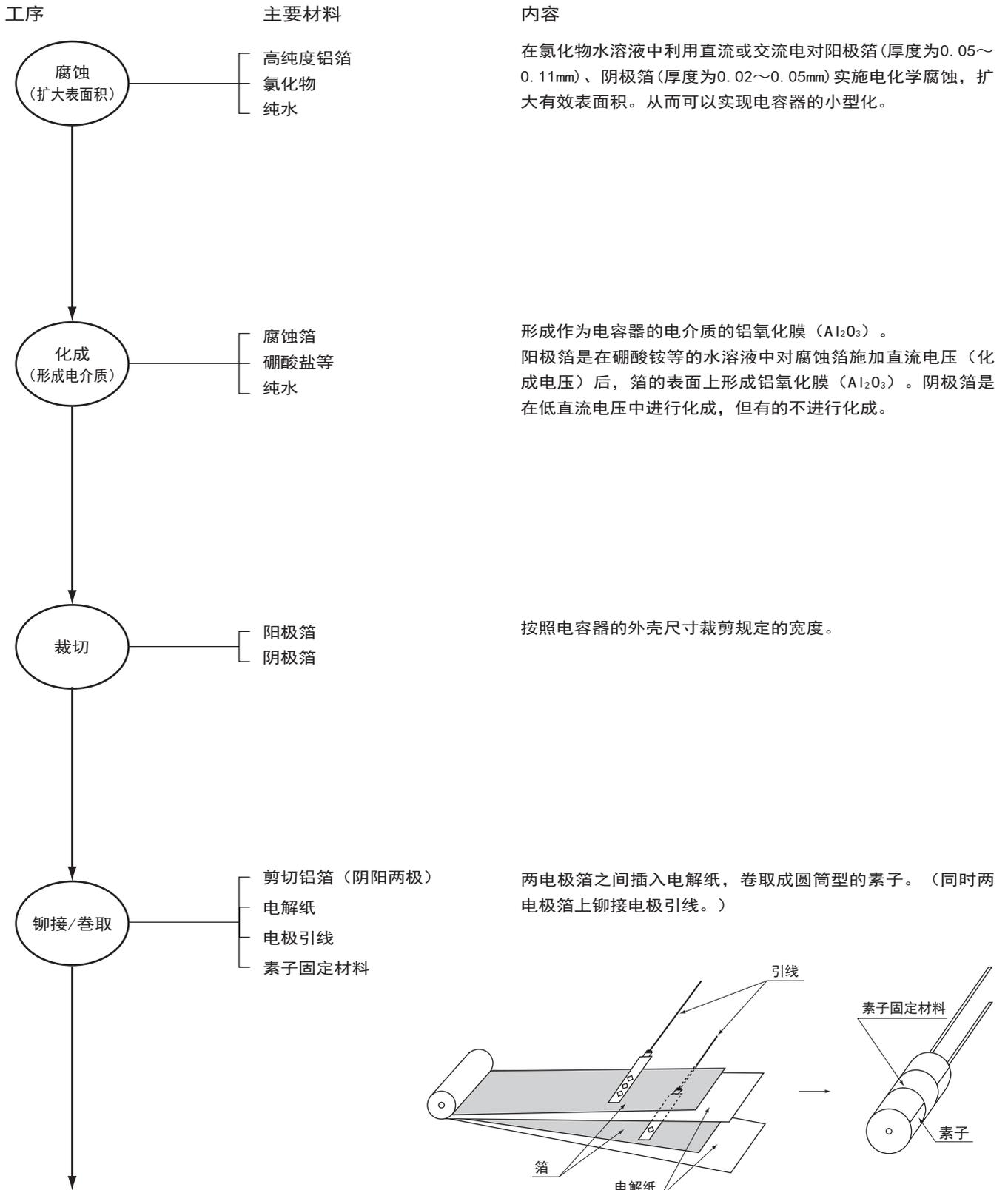


图 1-2

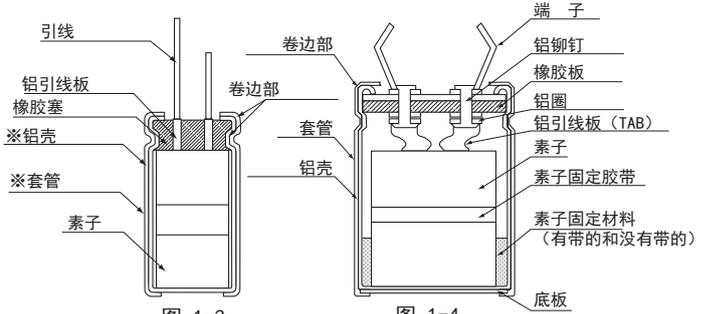
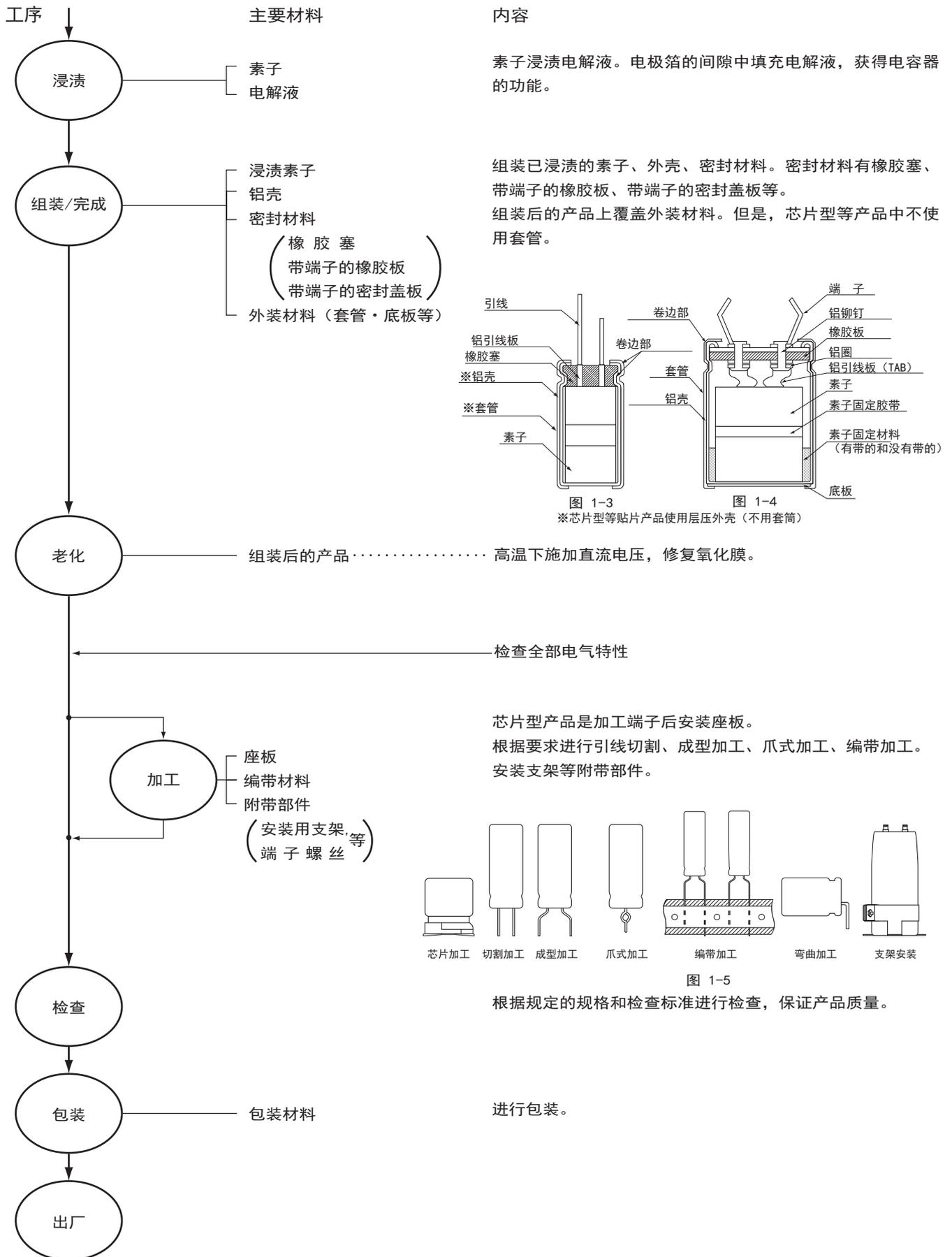


图 1-3 ※芯片型等贴片产品使用层压外壳(不用套管)
图 1-4

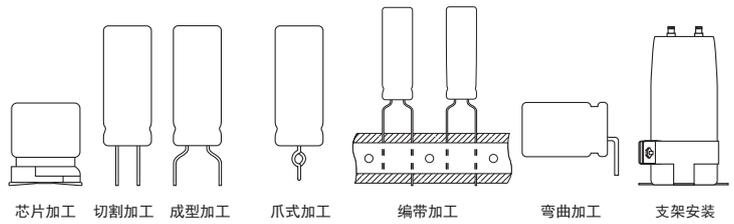


图 1-5

根据规定的规格和检查标准进行检查，保证产品质量。

1-6 电气特性

1-6-1 静电容量

阳极箔电介质部位的静电容量 (Ca) 是如前所述的 (公式 1-1) 来计算。

$$C_a = 8.854 \times 10^{-12} \frac{\epsilon S}{d} \text{ (F)}$$

此外, 阴极箔具有在低化成电压下形成的氧化膜或者放置中生成的自然氧化膜 (通常相当于 1V 左右的电压) 作为电介质的静电容量 (Cc)。铝电解电容器的结构上 Ca 和 Cc 形成串联连接, 因此电容器的静电容量 (C) 为

$$C = \frac{C_a \times C_c}{C_a + C_c}$$

静电容量的标准容许差为 ±20% (M), 不过作为特殊用途还可制造 ±10% (K)。

静电容量会随着检测频率及检测温度改变, 检测时以频率 120Hz、温度 20°C 为标准。

1-6-2 等效串联电阻 (R) 损失角正切值 (tan δ) 阻抗 (Z)

下面表示铝电解电容器的等效电路。等效串联电阻还简称为 ESR。

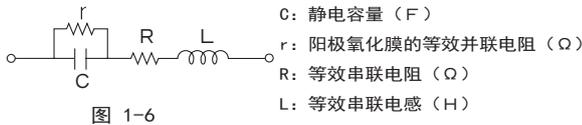


图 1-6

由于在低频率 (50Hz ~ 1kHz) 中, 等效串联电感 L 造成的电抗 (XL) 极小, 因此若视为零则呈现以下关系。

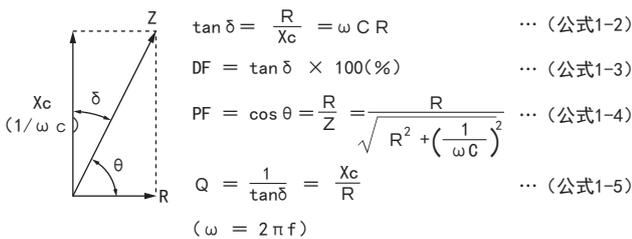


图 1-7

此外阻抗用

$$Z = \frac{1}{j\omega C} + j\omega L + R \text{ 来表示, 其绝对值用}$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \text{ 来计算。}$$

用模型曲线 (图 1-8) 表示与检测频率之间的关系。电感 L 主要来自卷绕电极箔和引线部位, 等效串联电阻 R 来自电极箔、电解液、引线及各连接部位。

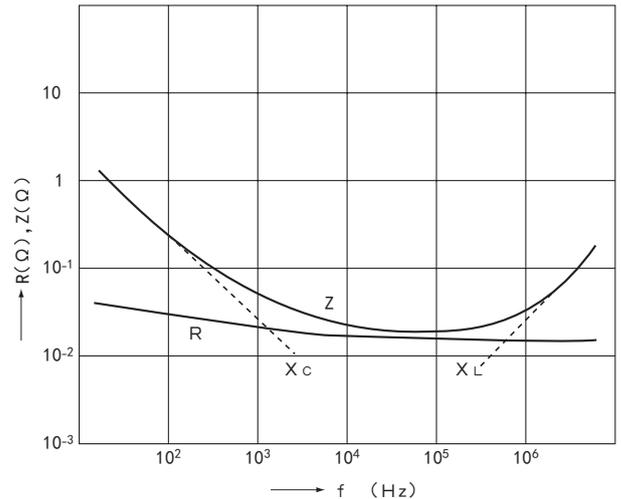


图 1-8

1-6-3 漏电流

铝电解电容器的漏电流的主因有

- 1) 电介质 (铝氧化膜) 的极化失真
- 2) 电介质的溶解、生成。
- 3) 电介质的湿气吸附
- 4) 氯、铁粉等不纯物造成的电介质破坏等。

漏电流可通过选择合适的材料、制造方法来降低, 但不能完全消除。

此外漏电流值依赖于温度、时间、施加电压等因素。漏电流的规格是在室温下施加额定电压且过了规定时间后的容许最大值来确定。根据电容器的用途, 从温度依赖性、经时稳定性等观点上选择适当的电容器。

1-6-4 关于温度特性

铝电解电容器使用电解液。电解液的性能（电导率、粘度等）具有较为显著的温度特性。电导率是温度上升则变大，温度下降则变小。因此，与其他电容器相比温度对铝电解电容器造成的电气特性变化大。如下表示温度和静电容量、 $\tan \delta$ 、等效串联电阻（ESR）、阻抗及漏电流的关系。

1) 静电容量

静电容量随着温度上升而增加，温度下降而减少。温度和静电容量的关系如（图 1-9）所示。

2) $\tan \delta$ 、等效串联电阻（ESR）、阻抗

$\tan \delta$ 、等效串联电阻（ESR）、阻抗随着温度及频率而改变。

温度和频率造的变化如（图 1-10 ~ 图 1-11）所示。

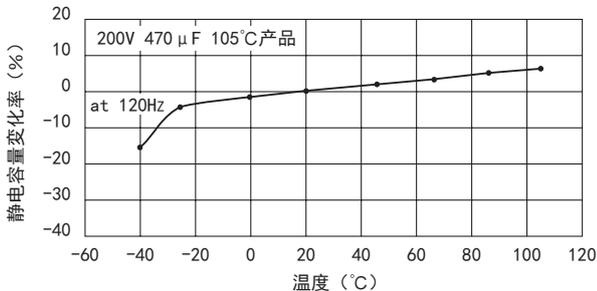
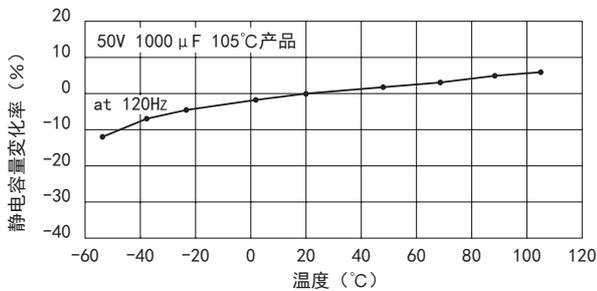


图 1-9 静电容量的温度特性

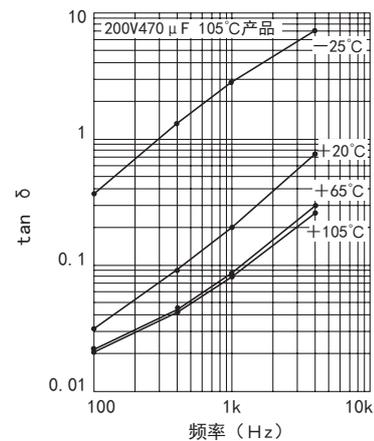
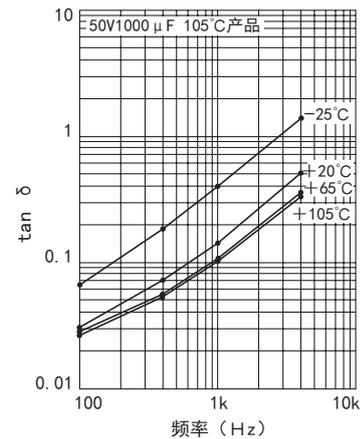


图 1-10 $\tan \delta$ 的频率特性

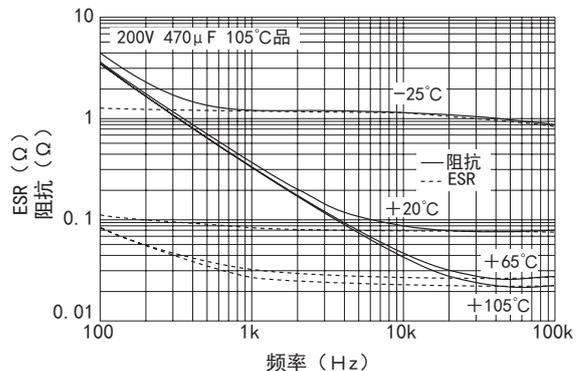
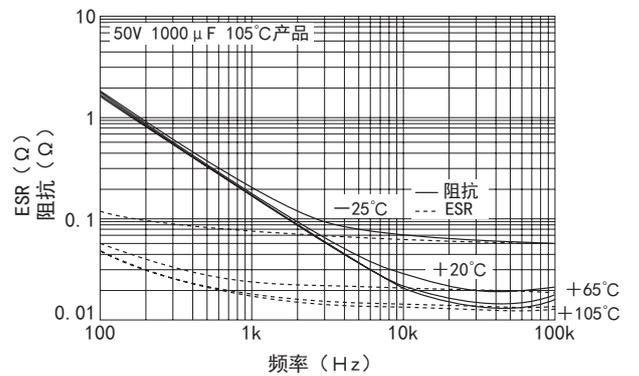


图1-11 阻抗、ESR的频率特性

3) 阻抗比

各温度的阻抗和 20°C 时的阻抗之间的比率叫做阻抗比。ESR 值及静电容量随温度的变化越少，阻抗比就越小。尤其在低温下的性能好坏会用阻抗比 (120Hz) 来表示。

4) 漏电流

温度上升，漏电流越大；温度下降，漏电流越小。温度和漏电流的关系如 (图 1-12) 所示。

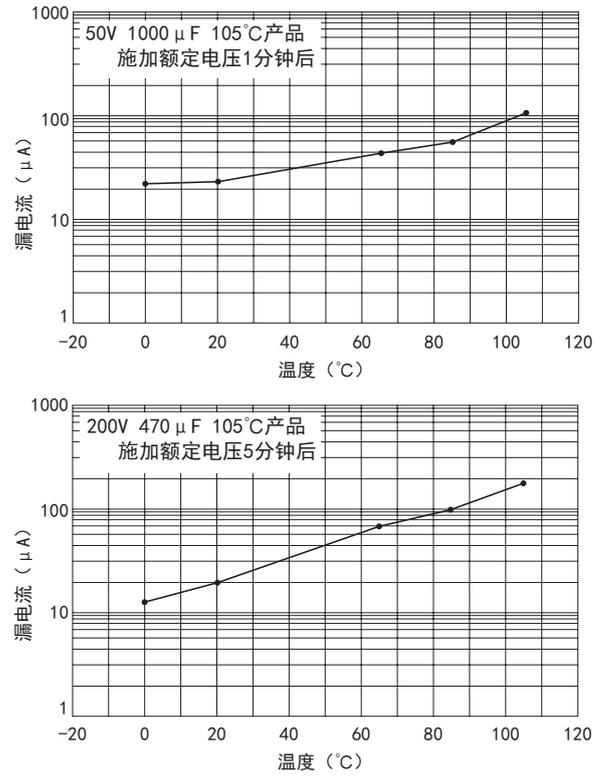


图 1-12 漏电流的温度特性

2. 铝电解电容器的使用注意事项

2-1 使用注意事项

2-1-1 电路设计注意事项

- (1) 要在确认使用环境及安装环境的基础上，在电容器的产品目录或者规格书、设计图交付申请书（简称交付规格书）中规定的电容器的额定性能范围内进行设计。
- (2) 使用温度及使用纹波电流不可超出产品目录或者交付规格书上规定的范围。
 - ①不可在超出分类上限温度（最高使用温度）下使用。
 - ②不可接通过电流（超过额定纹波电流的电流）。
- (3) 电路设计时，请选用与机器寿命相符的电容器。
- (4) 电容器是有极性。要确认是否连接了逆电压或者交流电压。
极性反转的电路请选用双极性电容器。但是，双极性电容器也不能用于交流电路。
- (5) 在重复进行急速充放电的电路中请选用与使用条件相符的电容器。
作为重复进行急速充放电的电路，有焊接机、相机闪光灯等。此外，电路电压变动较大的伺服电机等旋转机器的控制电路上也会重复进行急速的充放电。
关于重复进行急速充放电电路中使用的电容器，请咨询我们。
- (6) 确认电容器上是否有过电压（超过额定电压的电压）。
 - ①要注意纹波电压（交流成分）重叠到直流电压上时的峰值不能超过额定电压。
 - ②将两个以上的电容器串联连接时，要将通过各个电容器上的电压控制在额定电压以下。而且，此时要将考虑了漏损电流的分压电阻器与各个电容器并联加入。
- (7) 电容器在以下之间电路上要完全隔开。
（电容器的铝壳和阴极端子之间由盒内侧的自然氧化膜和电解液的不稳定的电阻部分连接在一起。）
 - ①铝壳和阴极端子（CE02型：引线端子反向型除外）及阳极端子及电路型板之间。
 - ②基板自立型的辅助端子和其他阳极及阴极端子及电路型板之间。
 - ③双极性电容器的两个端子和铝壳之间
- (8) 电容器的封装套管非绝缘保证。请勿用于需要绝缘功能的地方，需要套管具有绝缘功能时，请咨询我们
- (9) 电容器如果在以下环境中使用，有时可能会发生故障。
 - ①周边环境（耐气候性）条件
 - (a) 直接处在溅水的环境、高温高湿的环境以及结露状态的环境
 - (b) 直接处在溅油的环境及充满油雾的环境
 - (c) 直接处在溅盐水的环境及充满盐分的环境
 - (d) 充满了有毒气体（硫化氢、亚硫酸、亚硝酸、氯、溴、溴甲烷、氨等）的环境
 - (e) 有直射阳光、臭氧、紫外线及放射线的环境
 - (f) 有酸性及碱性溶剂溅落的环境
 - ②振动或冲击条件超过交付规格书的规定范围的苛刻环境
- (10) 将电容器安装在印刷电路板上时，请事先确认以下内容后进行设计。
 - ①电容器的端子间隔匹配印刷电路板的孔间隔。
 - ②设计时不可将配线或电路型板靠近到电容器的压力阀部分。
 - ③只要交付规格书上没有规定，电容器的压力阀上面均应保留出如下所述的间隔。

产品直径	间隔
$\phi 6.3 \sim \phi 16\text{mm}$	2mm 以上
$\phi 18 \sim \phi 35\text{mm}$	3mm 以上
$\phi 40\text{mm}$ 以上	5mm 以上

 - ④印刷电路板一侧装有电容器的压力阀时，请对准压力阀的位置，将压力阀工作时的排气孔打开。
 - ⑤请将螺栓端子型的封口部位朝上。
另外，横向放置时，请将压力阀部位朝上或将阳极端子朝上。
- (11) 如果电容器封口部的下面有型板，一旦发生电解液发生泄露时，可能会造成电路图案短路，引起漏电起痕或者迁移。

因此，请勿在电容器封口部的下面进行电路型板配线。

- (12) 请勿在电容器的周边及印刷电路板的背面（电容器下方）配置发热部件。
- (13) 芯片型电容器用印刷电路板的焊盘图案要参照产品目录或者交付规格书的推荐图案进行电路设计。
- (14) 电容器的电气特性根据温度及频率的变动而变化。请在确认该变化量的基础上进行电路设计。
- (15) 在双面的印刷电路板上安装电容器时，在进行电路设计时，请将电路设计成电容器下面没有多余的印刷电路板孔及正反面连接用通孔的样式。
- (16) 螺栓端子的紧固及电容器本体安装用螺丝的紧固扭矩不可超出交付规格书上规定的范围。
- (17) 并联两个以上电容器时，要充分考虑电流平衡。（特别是并联导电性高分子铝固体电解电容器和一般铝电解电容器，尤其需要考虑。）
- (18) 串联两个以上电容器时，要考虑电压平衡，并将分压电阻插入，使其与电容器并联。

2-1-2 安装时的注意事项

- (1) 对组装到设备上已经通电的电容器，请勿再次使用。除了定期检查时为了检测电气性能而拆卸的电容器以外，均不能再次使用。
- (2) 即使将电容器放电后，端子间仍有可能产生电压（再闪击电压），此时，请通过约 1 k Ω 的电阻器进行电压处理。
- (3) 保管达 2 年以上的电容器的漏损电流有可能会增大。此时请通过约 1k Ω 的电阻器进行电压处理。
- (4) 确认电容器的额定（静电容量及电压）后进行安装。
- (5) 确认电容器的极性后进行安装。

- (6) 请勿将电容器跌落在地上，请勿使用跌落后的电容器
- (7) 安装时请勿使电容器主体变形。
- (8) 确认电容器的端子间隔和印刷电路板孔间隔一致后，进行安装。
- (9) 基板自立型电容器在安装时要推入到和其基板上贴紧的程度（非悬浮状态）。
- (10) 利用自动插入机插装及固定电容器引线的强度不可过大。
- (11) 请注意自动插入机及装配机的吸附器、产品检验器及定心操作引起的冲击力。
- (12) 利用烙铁进行焊接
 - ① 焊接条件（温度、时间）不可超出交付规格书中规定的范围。
 - ② 因端子间隔和印刷电路板孔间隔不一致，因此需要加工引线端子时，在进行焊接之前，加工时不可使电容器主体承受压力。
 - ③ 利用烙铁修复时，如果需要先将焊接的电容器卸下，请将焊锡充分融化再拆卸，以免电容器的端子承受压力。
 - ④ 请勿让烙铁尖部接触到电容器本体。
- (13) 流动焊接
 - ① 焊接时，请勿将电容器本体浸渍在焊料中。插入印刷电路板，只有对电容器所在一侧的相反面进行焊接。
 - ② 焊接条件（预热、焊接温度、端子浸渍时间）不可超出交付规格书中规定的范围。
 - ③ 端子部位以外禁止附着助焊剂。
 - ④ 在进行焊接时，要注意避免其他部件翻倒接触到电容器。
- (14) 回流焊接
 - ① 焊接条件（预热、焊料温度、时间、回流次数）不可超出产品目录及交付规格书中规定的范围。

②使用红外线加热器时，由于红外线吸收率根据电容器的颜色或材料的不同有所不同，因此需要注意加热程度。

(15) 在无卤类助焊剂中，虽然不含离子型卤素化合物，但却大量含有非离子型卤素化合物的。若这个化合物侵入到电容器中，会与电解液化学反应，可能会造成与清洗剂相同的不良影响。请采用不含非离子型卤素化合物的助焊剂。

(16) 焊接时或者因电容器固定用的树脂硬化等而使电容器在 150°C 以上的环境大气中放置电容器 2 分钟以上，或者让高温气体或热射线直接接触电容器时，外装套管可能会发生收缩、膨胀，龟裂。

(17) 将电容器焊接到印刷电路板之后，禁止倾斜、翻倒或者扭曲电容器本体。

(18) 将电容器焊接到印刷电路板之后，禁止将电容器作为把手抓住移动印刷电路板。

(19) 将电容器焊接到印刷电路板之后，不可让将其他物体碰到电容器。此外，叠放印刷电路板时禁止将印刷电路板或其他部件碰到电容器。

(20) 关于清洗、固定剂、涂层剂
在 2-10-2、-3 项中记述了有关清洗、固定剂、涂层剂的内容。

(21) 关于熏蒸处理
在 2-10-4 项中记述了有关熏烟处理的内容。

3 整机使用注意事项

- (1) 直接接触电容器的端子有导致触电的危险。
- (2) 不可以导体使电容器端子之间短路。此外，不可使电容器接触酸或碱的水溶液等导电性溶液。

(3) 要确认装配了电容器的设备的安装环境不属于以下环境。

- ① 直接溅水的场所、高温高湿的场所、易结露的场所。
- ② 直接溅油的场所及充满油雾的场所。
- ③ 直接溅落盐水的场所、充满盐分的部位。
- ④ 充满酸性有机气体(硫化氢及亚硫酸、亚硝酸、氯气、溴气、溴甲烷、氨气等)的场所。
- ⑤ 有酸性及碱性溶剂溅落的场所。
- ⑥ 结露环境有可能导致外套发生收缩、膨胀、破裂，因此在使用时请进行充分确认。此外，因温度剧烈变化、高温高湿试验等而结露时，也可能导致同样的外套异常。

4 维护检查

(1) 请定期检查工业设备上使用的电容器。

检查项目如下。

- ① 外观：是否有压力阀作动、液漏等方面的显著异常。
- ② 电气性能：漏电流、静电容量、损耗角正切及产品目录或交付规格书上规定的项目。

5 紧急情况

- (1) 一定尺寸以上的电容器为了排放异常压力而具有压力阀。整机上使用中，压力阀作动而释放蒸气时，关闭整机的电源或者从插座上拔掉电源线的插头。从电容器的压力阀排放的蒸气是氢气和电解液气化的，不是燃烧造成的烟雾。
- (2) 电容器的压力阀作动时，会喷出超过 + 100°C 的高温蒸气，因此禁止将手或脸部靠近电容器或者接近喷出的蒸气。以免烧伤。
一旦喷出的蒸气进入眼睛或吸入时，应立即用水清洗眼睛或进行漱口。
不可舔食电容器的电解液。如果皮肤上沾了电解液，应使用肥皂进行冲洗。
- (3) 即便从电容器的压力阀上看不到蒸气，电容器也是高温的。碰到后可能会烫伤，敬请注意。

6 保管条件

- (1) 关于电容器的保管，建议在室温 5 ~ 35℃、相对湿度 75% 及以下的环境下进行保管。
- (2) 请确认保管地点不属于“3 项 整机使用注意事项 (3)”中记载的环境。

7 废弃处理

- (1) 废弃电容器时，请采取以下任意一种方法。
 - ① 电容器上打孔或者充分打碎后焚烧。
 - ② 不焚烧电容器时，应交与专业的工业废弃物处理公司进行填埋等处理。

- (2) 废弃电容器（从与之相连的基板拆卸）时，请确认已被放电处理。

上述铝电解电容器的使用注意事项照准了 EIAJ RCR - 2367B 2002 年 3 月发行的《电子设备用固定铝电解电容器的使用注意事项指南》，详情请参照上述指南。

2-2 故障

2-2-1 故障的定义

对铝电解电容器进行故障定义时，可以考虑以下两个形态。

短路、开路等原因完全失去了电容器功能时，所谓灾难性故障 (Catastrophic Failure) 就是其一，还有一个是电容器的特性逐渐退化造成的故障，所谓的退化故障 (Degradation)。退化故障根据电容的实际应用及应用的产品，判定的标准有所不同。因此，请将本公司产品目录或交付规格书上规定的标准值作为判定标准。

2-2-2 现场的故障模式

1) 短路

市场上的短路很罕见。电极之间发生短路是由于振动，冲撞及端子受到外力导致，也可由于对电容施加了额定电压以上的过电压、过大的纹波电流、脉冲电流等原因导致电极之间短路。

2) 开路

- 印刷基板上安装电容器时，若过度施加了外力或者使用过程中过度遭受了振动和冲撞，会造成端子与 Tab 断线或处于接触不稳定状态形成开路状态。

- 清洗印刷基板时的清洗剂或电容器固定用的固定剂中含有的卤素类物质侵入电容器内部后，引线，铝箔和 Tab 被腐蚀，导致漏电流增大，最终导致开路，影响设备的运行。
- 因在超过上限类别温度的高温中使用、通过印刷基板接收附近发热部件发出的热量以及长时间使用等原因导致密封材料老化而气密性受到破坏，电解液挥发处于开路状态。
- 施加过度的纹波电流后，电容器内部的温度上升导致电解液气化，内部压力增大，气体透过密封材料挥发，电解液枯竭处于开路状态。

3) 容量减小，损耗增加

被持续施加了逆电压、被持续施加超过额定纹波电流的电流或者被用于过度频繁的充放电时，静电容量减小，损耗增加。

4) 压力阀工作

施加了逆电压、过电压、过纹波电流、交流电时，在电容器内部产生气体，导致内压上升，压力阀开始作动。

2-2-3 故障模式的原因分析

故障模式的原因分析图如（图 2 - 1）所示。

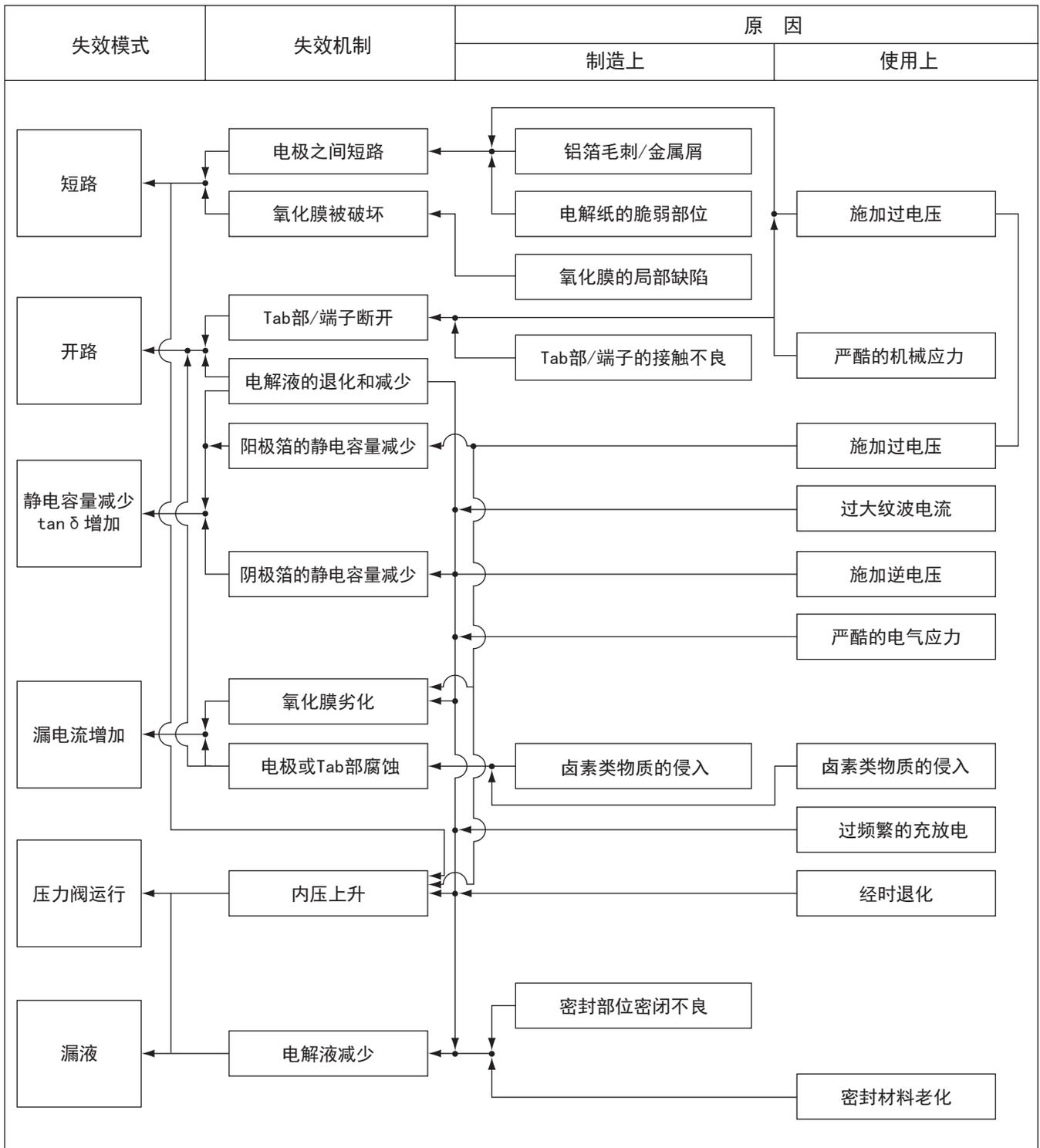


图 2 - 1 失效模式的原因分析图

2-3 使用电压和安全性

2-3-1 前言

铝电解电容器上施加电压和漏电流之间的关系如（图 2-2）所示。根据（图 2-2）

- 针对电容器的极性正向施加了电压后，施加电压超过额定电压时，漏电流会快速增大。
- 针对电容器的极性逆向施加了电压后，流过低电压大电流。

下面讲述具有这种性质的铝电解电容器在如下情况的表现及安全性测试方法。

- 1) 施加逆向电压时
- 2) 超过额定电压使用时
- 3) 交流电路上使用时

2-3-2 逆向电压

根据施加的逆电压的程度如下表述。

- (1) 施加逆电压大，就会流过大电流。

施加逆电压 V_c 和电流 I_c 引起的功率损耗 ($W=V_c \times I_c$) 导致发热。发热进一步导致电流增加。因电流发热和电解液的电气分解发生的气体促使电容器内压上升，短时间内让压力阀作动，打开。

- (2) 施加逆电压低，从而流过小电流时，最初会因功率损耗而发热，不过因电解液的化成性质，阴极铝箔表面上会生成氧化膜，从而电流会减少。施加了逆电压时的施加时间和静电容量变化如（图 2-3）所示。因为阴极铝箔表面上形成氧化膜后，阴极箔容量减少。此外，电解液消耗导致损耗角正切 ($\tan \delta$) 增加。

铝因形成自然氧化膜在负箔上通常具有大约 1V 的耐电压，可以承受类似于二极管的逆耐电压程度的逆电压，不过若在施加了超过这些的逆电压状态下使用，电容器内压会逐渐上升，导致压力阀工作打开，请仔细确认极性后使用。

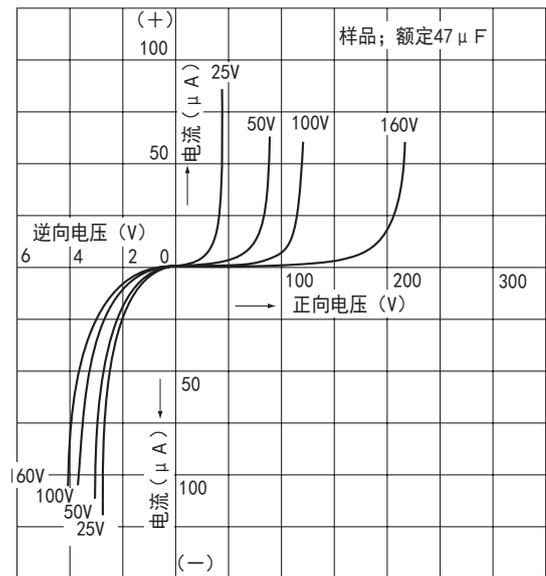


图 2-2 V - I 特性 (电压-电流特性)

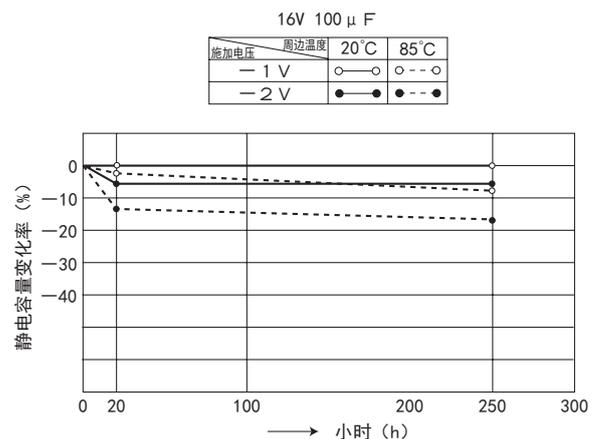


图 2-3 施加逆向电压时的静电容量特性

2-3-3 超过额定电压使用时

如（图 2-4）所示，若施加超过额定电压的电压，漏电流会急剧增加。发热导致阳极箔的耐电压下降，电介质绝缘被破坏后，突然流过大电流，导致短时间内内压上升，处于压力阀作动状态。压力阀作动后，被气化的电解液快速从打开的压力阀部位排放出去。鉴于电容器的能量与电压的 2 次方成比例 ($J = \frac{1}{2} CV^2$)，施加电压越高，压力阀的作动状态越激烈，电极之间可能会短路。请在低于额定电压的电压上使用电容器。

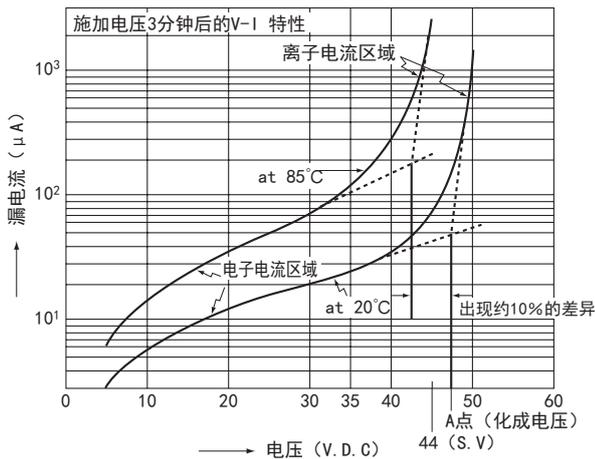


图 2-4 V - I 特性 (35V 额定产品事例)

2-3-4 交流电路上使用时

电容器 C (F) 上施加交流电压 E (V) 后，流过 $I = \omega CE$ (A) 的电流。

如 (图 2 - 2 V - I 特性) 所示，铝电解电容器在逆向情况下不具有耐电压。因此，若在交流电路上使用铝电解电容器，会流过超过用 $I = \omega CE$ 计算的数值的电流。假设铝电解电容器的内部电阻为 R (Ω)，因电流造成 $W = I^2R$ (W) 的功率损耗而导致发热。由于铝电解电容器的内部电阻大导致发热也大，发热导致电解液蒸发，造成电容器内压上升，导致压力阀作动。此外，即便是两极性铝电解电容器，也不能在连续交流电路上使用。

2-3-5 关于压力阀结构

因某种原因铝电解电容器上被施加了过电压、逆电压、交流电、过大纹波电流，或者在严酷的充放电条件下或者超过容许的高温下被使用时，根据电容器上流过的电流造成的发热、电解液的蒸发、电解液的电气分解造成的气化导致电容器内压上升。此时为了减小内压而设置了压力阀。

根据在电容上的位置不同，压力阀结构大致分为两种：1) 密封材料的局部设置的压力阀；2) 铝外壳的局部设置的压力阀。

测试方法 (例)

a 交流电压法 (JIS C5101-1, 4.28.1 项)

(1) 如 (图 2 - 5) 所示的电路中，根据供测试用电容器的额定静电容量值，从 (表 2 - 1) 决定串联电阻 R。

表 2-1

额定静电容量 (μF)	串联电阻 (Ω)	额定静电容量 (μF)	串联电阻 (Ω)
小于 1	1000 ± 100	大于 100 小于 1000	1 ± 0.1
大于 1 小于 10	100 ± 10	大于 1000 小于 10000	0.1 ± 0.01
大于 10 小于 100	10 ± 1	大于 10000	(注 1)

(注 1) 相当于测试频率的 1/2 阻抗的电阻值

(2) 连接供测试用电容器，施加以下所示的交流电压。0.7 倍额定电压的电压或者 250Vrms 中选较低的电压，但是，流过 30Arms 以上电流时必须调节电压以保持最大不超过 30Arms。电源频率为 50Hz 或者 60Hz。

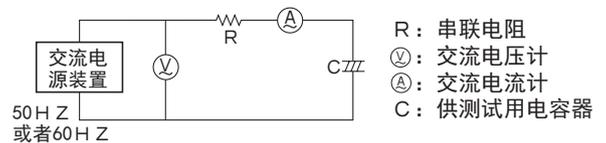


图 2-5

b 直流逆电压法 (JIS C5101-1, 4.28.2 项)

(1) 如 (图 2 - 6) 所示的电路中，根据供测试用电容器的公称外径尺寸从 (表 2 - 2) 决定直流电流。

表 2-2

公称外径尺寸 (mm)	直流电流 (A)
φ 22.4 以下	1A 稳定
超过 φ 22.4 的	10A 稳定

(2) 直流电源上逆极性连接供测试用电容器后，接通 (1) 的电流。

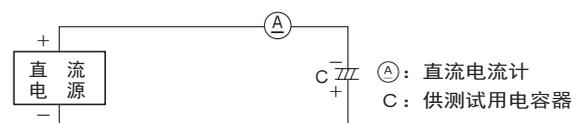


图 2-6

判定标准

上述测试中，处于以下状态就算合格。

- (1) 供测试用电容器的压力阀运行时，不会从电容器喷出火焰，或者不处于素子或容器的局部散射的危险状态。
- (2) 施加测试电压 30 分钟后，也没有出现任何异常。

2-4 充放电

2-4-1 充放电造成的影响

在如（图 2 - 7）所示的频繁进行充放电的电路中使用铝电解电容器时，会有如下的现象。

在如（图 2 - 7）所示的电路，若用电源电压 V 充电阳极箔容量 Ca、阴极箔容量 Cc 组成的铝电解电容器，阳极箔的电介质上会有 $Q = Ca \times V$ (C :库仑) 的带电电荷。其次若通过放电电阻进行放电，阳极箔上带电的电荷移动后对阴极箔进行充电。阴极箔的电介质具有的耐电压低，利用从阳极移动的电荷达到阴极箔的耐电压。当电荷持续移动，在阴极箔和电解液的界面上会发生电气化学反应。如果进行反复的充放电，通过电气化学反应在阴极箔的介质膜上生成另一层介质膜。生成另外的介质膜后的阴极箔容量会逐渐减少。随着阴极箔容量的减少，电容器的静电容量也会减小。此外，生成氧化皮膜时发生的气体残留在电容器内部导致内压上升，根据充放电的条件，压力阀可能工作打开。

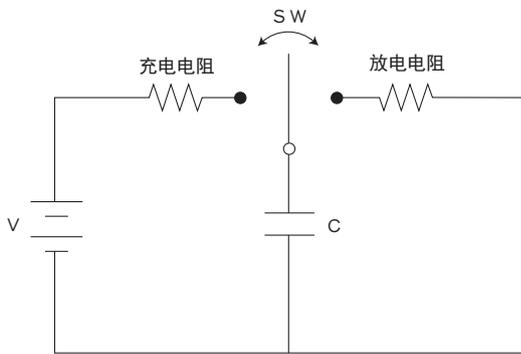


图 2-7

2-4-2 关于氧化膜的生成

放电时阴极箔上施加的电压如下。
 充电时阳极箔的电荷是移动的，直至在放电后阴阳极箔形成相同电压（电压方向彼此相反，端子间为零电压）。
 此时若将阳极箔具有的静电容量 (Ca)、阴极箔初期具有的静电容量 (Cc)、放电电压 (V)、放电结束时的阳极箔 / 阴极箔上施加的电压视为 (Vc)，那么以下公式成立。

$$Ca \times V = Ca \times Vc + Cc \times Vc$$

$$\therefore Vc = \frac{Ca}{Ca + Cc} \times V \dots\dots\dots (公式2-1)$$

因此，在反复进行充电和放电的电路中使用铝电解电容器时，有必要使用充放电对策规格的铝电解电容器。

2-4-3 关于充放电对策

- 以下对策可以预防阴极箔产生氧化膜
- ①事先使用形成了超过 Vc 电压的介质膜的阴极箔。
- ②从 (公式 2 - 1) 导出 (公式 2 - 2)，也就是说阳极箔和阴极箔的静电容量比越大 (Cc / Ca)，Vc 就越小。因此，通过使用足够大的负箔容量 (相对于正箔容量)，可以使得 Vc 比负箔形成电压更小。

$$Vc = \frac{V}{1 + \frac{Cc}{Ca}} \dots\dots\dots (公式2-2)$$

充放电对策产品和未对策产品的充放电测试结果一例如（图 2 - 8）所示。

- 额定 : 63V 10000 μ F
- 尺寸 : φ35×50L
- 充放电测试条件
- 施加电压 : 63V
- 充电电阻 : 2Ω
- 放电电阻 : 100Ω
- 充放电周期 : 1 秒充电、1 秒放电为 1 个周期
- 温度 : 70°C

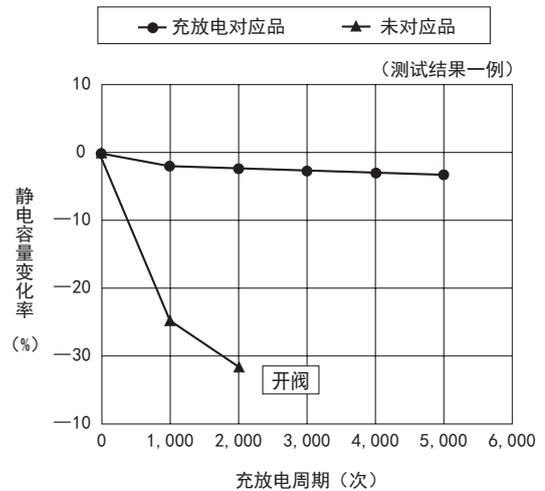


图 2-8

此外，AC 伺服放大器电源、变频器电源等电压变动大的电路使用时，请使用支持高速充放电的 QS、QR、NC、NU 系列产品。
 通过采用特殊素子结构，提高针对充放电的承受能力。

2-5 串联连接中平衡电阻的选定方法

2-5-1 等效电路和漏电流的影响

铝电解电容器的串联连接中平衡电阻和漏电阻的关系可通过等效电路如（图 2-9）所示。

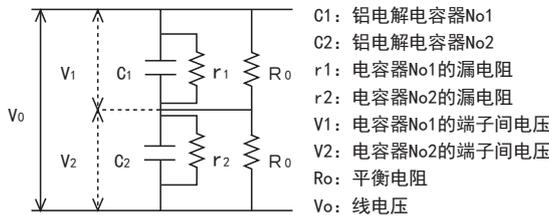


图 2-9

电容器 C₁,C₂ 的漏电流各自为 i₁,i₂ 时

$$i_1 = \frac{V_1}{r_1}, \quad i_2 = \frac{V_2}{r_2} \dots\dots\dots (\text{公式2-3} \cdot \text{公式2-4})$$

V₀ = V₁ + V₂, 因为 V₁ - V₂ = R₀ × (i₂ - i₁), 所以得

$$R_0 = \frac{V_1 - V_2}{i_2 - i_1} \dots\dots\dots (\text{式2-5})$$

2-5-2 关于铝电解电容器的漏电流

当额定电压为 V (V), 额定静容量为 C (μF) 时, 常温 (20°C) 下基板自立型电容器的漏电流的偏差大致为

$$\begin{aligned}
 i_{\max} - i_{\min} &= \frac{\sqrt{C \times V}}{2} - \frac{\sqrt{C \times V}}{5} \\
 &= \sqrt{C \times V} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{5} \right) \\
 &= \frac{3}{10} \sqrt{C \times V} \dots\dots\dots (\mu A) \dots\dots\dots (\text{公式2-6})
 \end{aligned}$$

温度上升, 铝电解电容器的漏电流也会增加。大致 20°C 时的漏电流为 1 时, 65°C 下增加 2 ~ 3 倍、85°C 下增加 3 ~ 5 倍。除此以外漏电流还会因施加电压、放置条件等原因产生偏差, 因此需要乘以漏电流偏差系数。

2-5-3 平衡电阻的设定范例

在环境温度 60°C 中将 2 个基板自立型铝电解电容器 400V/470 μF 串联使用时, 平衡电阻的计算方法如下:

在 60°C 时针对常温的温度系数 : 2.0

电压平衡率 : 10%

漏电流的偏差系数 : 1.4。

电压平衡

$$V_1 - V_2 = 400 \times 0.1 = 40 (V)$$

漏电流的偏差范围

$$\begin{aligned}
 i_{\max} - i_{\min} &= \frac{3}{10} \sqrt{C \times V} \times 2 \times 1.4 \\
 &= \frac{3}{10} \sqrt{470 \times 400} \times 2 \times 1.4 \\
 &= 364 (\mu A)
 \end{aligned}$$

$$\therefore R_0 = \frac{40}{364 \times 10^{-6}} \approx 109000 \dots\dots 100k \Omega$$

设定平衡电阻时, 还请考虑现在使用的方法。

2-6 保存性能

若在无负荷状态下长期放置铝电解电容器, 有漏电流增加的倾向。漏电流增加的原因是, 阳极箔的氧化膜与电解液进行反应后, 导致耐电压下降, 不过施加电压后, 通过电解液的修复作用恢复到原先的水平。放置中的温度越高, 漏电流增加的程度越大, 保管场地选择没有阳光直射的常温、常湿的地点。使用长期保管的产品时, 请进行电压处理。关于电压处理方法, 单品是通过约 1 kΩ 的电阻提升至额定电压后, 照样持续施加 30 分钟左右。关于设备上组装的电容器, 请实施设备老化处理。通过设备老化处理可以调节输入电压及供应电源时, 设定低值 (额定的 1/2 左右) 后, 进行 10 分钟左右的适应性运行, 随后逐步设定为高值, 边观察设备的运行情况。不能调节时, 打开开关后进行 30 分钟左右的适应性运行, 并且确认规定的功能有无问题。随后暂时关闭开关进行正式的运行。此外, 在通常的保存温度 5 ~ 35°C 中放置不足 2 年时, 无需进行电压处理可直接适用。室温下保存的产品特性变化的一个例子如 (图 2-10) 所示。

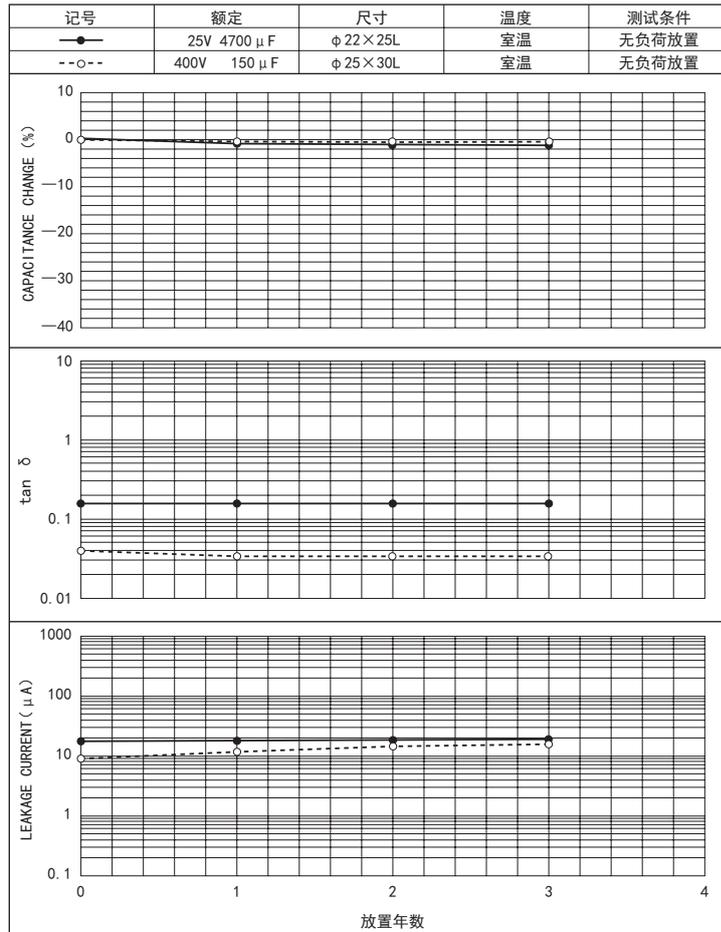


图 2-10

2-7 再起电压

铝电解电容器在出厂前的性能检查结束后都会进行完全的放电，虽然进行了放电处理，但是端子间却仍然会有电压。这个电压叫做再起电压或者残留电压。当电容器上施加电压后，根据极化作用，电介质的两端面会相应的携带正负电荷。当对电容器进行短路后，电介质两端面的电荷会因为放电而消失。然而当电容器再次开路后，由于电介质内部残留的偶极子重新极化，使得电介质极化，进而使得正负端子间产生电压。这就是再起电压。再起电压与电介质的厚度有关，因此额定电压越高再起电压也越高。再起电压产生后，当电容器安装到电路上，连接端子时，会发生火星，可能会让操作人员惊愕或者破坏其他低压元件。当存在这种可能性时，使用之前先在电容器的端子间接入 100Ω ~ 1kΩ 的电阻对残留的电荷进行放电处理后在使用。此外，对于高电压和高容量的电容器，在端子间利用铝箔或导电性橡胶处于短路状态的包装方法也可以考虑。如果需要这样的包装方式，请联系我司销售处咨询。

2-8 在高海拔地区使用

在山地、飞行器等高海拔使用的设备上使用铝电解电容器时的注意事项如下。海拔越高，大气压越低。因此在高海拔处使用电容器时，大气压力会小于电容器的内压。根据铝电解电容器的结构，其可以在海拔 10,000m 以下的地区使用。但是海拔越高，气温越低。温度降低后，铝电解电容器的静电容量减少，损耗角正切值会增加，基于这些因素，请查看电子设备在不同温度时的情况。

表 2-3 高度和气温、气压的关系

高度 (m)	气温 (°C)	气压 (hPa)
0	15.0	1013.3
2,000	2.0	795.0
4,000	- 11.0	616.4
6,000	- 24.0	471.8
8,000	- 37.0	356.0
10,000	- 50.0	264.4
20,000	- 56.5	54.7

详情请咨询我司销售处。

2-9 寿命及可靠性

2-9-1 前言

对于要求无特殊维修的电子设备、部件,其故障率(λ)和使用时间(t)的关系形态如(图2-11)所示。由于形态酷似浴缸,因此被称作“浴缸曲线”。铝电解电容器的故障也呈现出浴缸形态。

若用威布尔概率纸解析铝电解电容器的寿命测试结果,如(图2-12)所示形状参数 m 大于1,表示故障形态属于损耗失效。

虽然在设计设备时采用故障率或者寿命估算,但是对于铝电容器,通常测试其寿命来表征可靠性(在特定使用条件下的预期寿命)而不是其失效率,原因在于铝电容的失效模式就是损耗失效。换句话说,当利用寿命测试方式捕捉故障率时,即便同一总测试时间,根据测试时间和测试次数的组合,其得到的数据有很大变化。

(例 .100 个 $\times 10^3$ 小时 \cdots 故障数 = 0、10 个 $\times 10^4$ 小时 \cdots 故障数 = 10) 因此,在铝电解电容器上不采用故障率而是一般采用达到寿命的时间(实际使用时推测寿命时间)来考虑可靠性。影响铝电解电容器寿

命的主要因素有,周边温度造成的加速性(F_T)、纹波电流造成的加速性(F_I)、施加电压造成的加速性(F_U)。推测寿命是用规定寿命(产品目录上的耐久性)和 F_T 、 F_I 及 F_U 之间的乘积来计算。铝电解电容器的寿命表述如下。

2-9-2 评估方法

当铝电解电容器的静电容量变化率、损耗角正切($\tan \delta$)、漏电流超过规定值或外观发生明显异常时,判定其达到寿命。温度、湿度、振动等因素影响铝电解电容器寿命,尤其是温度的影响最大,温度越高,寿命越短。鉴于此,寿命测试是在规定的上限类别温度,在电容器上施加直流电压或者在直流电压上叠加纹波电流进行评估。测试结果一例如(图2-13、2-14)所示。

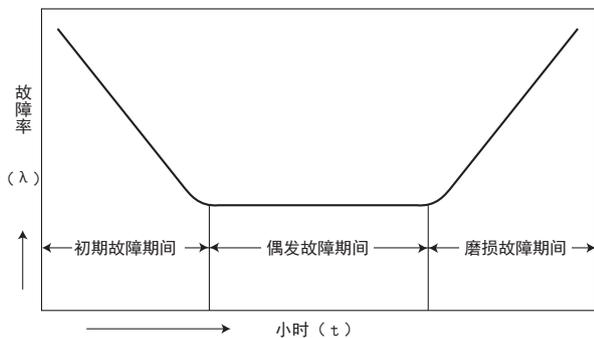


图 2-11 故障率曲线 (浴缸曲线)

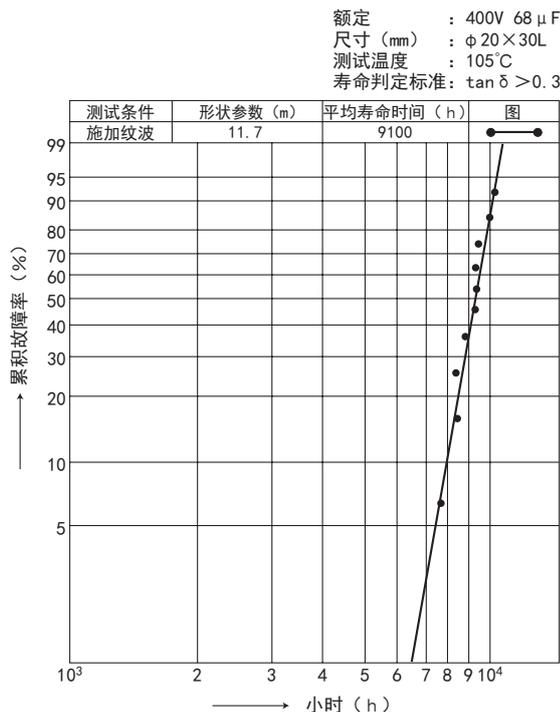


图 2-12 利用威布尔概率纸解析故障

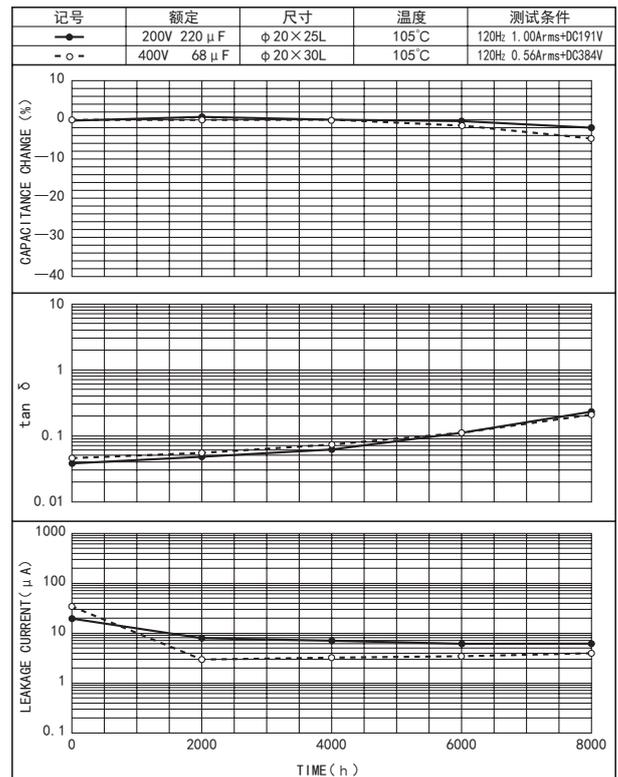


图 2-13 高温负荷寿命测试数据

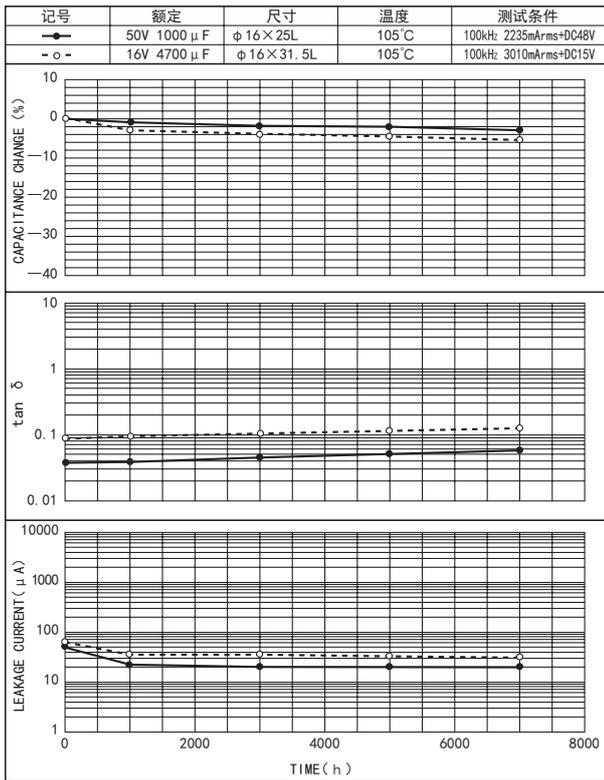


图 2-14 高温负荷寿命测试数据

2-9-4 施加电压和寿命

在低于额定电压的电压下使用铝电解电容器时电压影响寿命的程度小于环境温度及纹波电流对寿命的影响程度, 因此估算电容寿命时施加电压的寿命系数 (F_u) 为 1。测试结果一例如 (图 2-16) 所示。

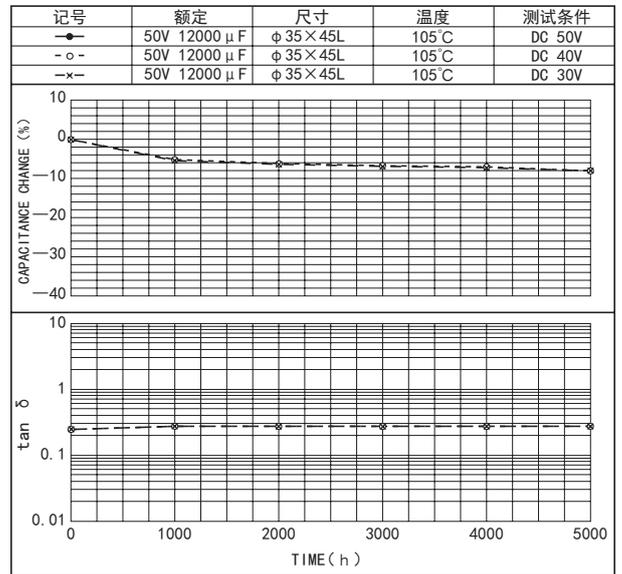


图 2-16 改变施加电压时的高温负荷特性

2-9-3 环境温度与寿命

只要低于电容器的上限类别温度 (一般为 40°C ~ 上限类别温度的范围以内), 根据阿伦尼乌斯定律 (热能造成的化学反应式) 温度每下降 10°C 寿命大致会翻一倍。低于上限类别温度下使用时, 预期寿命与使用温度的关系如 (图 2-15) 所示。

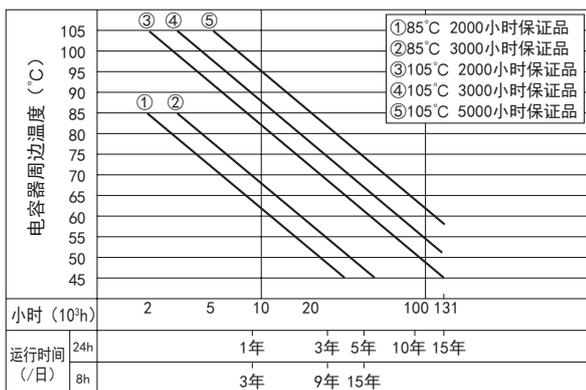


图 2-15 寿命推测一览表

当高压电容器在电力电子设备的电源平滑电路上使用时, 若降低使用电压, 电容器的漏电流会降低, 电解液的消耗减少, 寿命可能会变长。更多详细信息, 请咨询我司销售处。

2-9-5 纹波电流和寿命

与其它电容(如薄膜电容器)相比铝电解电容器的损耗角正切值更大,并且纹波电流通过电解电容器后,会引起功率损耗造成发热。发热会导致电容器温度上升,大大影响寿命。

1) 纹波电流与发热

直流电压上叠加纹波电流时,电容器上发生的功率损耗可以由下式计算:

$$W = W_{AC} + W_{DC}$$

$$W = I_{AC}^2 \times R_e + V_{DC} \times I_{DC} \dots\dots\dots (公式 2-7)$$

- W : 电容器的消耗功率 (W)
- W_{AC} : 纹波电流造成的功率损耗 (W)
- W_{DC} : 直流造成的功率损耗 (W)
- I_{AC} : 纹波电流 (A)
- R_e : 等效串联电阻
- V_{DC} : 直流电压 (V)
- I_{DC} : 漏电流 (A)

鉴于当直流电压低于额定电压,漏电流 I_{DC} 极小, W_{AC} ≫ W_{DC}, 因此

$$W = I_{AC}^2 \times R_e \dots\dots\dots (公式 2-8)$$

功率损耗造成的内部发热和电容器表面的散热造成的环境温度上升达到热平衡后,

$$I_{AC}^2 \times R_e = \beta \times A \times \Delta t \dots\dots\dots (公式2-9)$$

$$\Delta t = \frac{I_{AC}^2 \times R_e}{\beta \times A} \dots\dots\dots (公式2-10)$$

- β : 热辐射常数 (10⁻³ W / °C cm²)
- A : 表面积 (cm²)
- 产品尺寸为 φD×L(cm) 时

$$A = \frac{\pi}{4} D(D+4L) \dots\dots\dots (公式2-11)$$

- 求得的外壳表面积 (cm²)
- Δ t : 纹波引起的温度上升 (°C)

此外,内阻 R_e、静电容量 C、损耗角正切值 (tan δ) 的关系如下

$$R_e = \frac{\tan \delta}{\omega C} \dots\dots\dots (公式2-12)$$

这里,由于 ω = 2πf …… (公式2-13)

因此

$$\Delta t = \frac{I_{AC}^2 \times R_e}{\beta \times A} = \frac{I_{AC}^2 \times \tan \delta}{\beta \times A \times \omega C}$$

热辐射常数与温升的乘积即温升率可以用 α 表示,其代表了(素子表面温度上升 Δts 和中心温度上升 Δtc 之比)如(表 2-4)所示。

表 2-4

表壳直径(mm)	5以下	6.3	8	10	12.5	16
β	2.18	2.16	2.13	2.10	2.05	2.00
α	1.0		0.94	0.90	0.85	0.80

	18	20	22	25	30	35	40
	1.96	1.93	1.88	1.84	1.75	1.66	1.58
	0.77	0.75	0.74	0.71	0.67	0.64	0.62

- α : 温升率 α = Δts / Δtc
- β : 热辐射常数 (10⁻³ W / °C cm²)

2) 关于纹波电流的频率补偿系数

铝电解电容器的等效串联电阻 R_e 具有频率特性。频率越高,等效串联电阻越小。假设在频率 fx 时由纹波电流引起的温升与频率 fo 时相同, R_o 代表在频率 fo 时的等效串联电阻、R_x 代表在频率 fx 时的等效串联电阻,则可以建立下面的等式

$$I_o^2 \times R_o = I_x^2 \times R_x$$

$$\therefore I_x = \sqrt{\frac{R_o}{R_x}} \times I_o \dots\dots\dots (公式2-14)$$

也就是就是频率补偿系数 Kf。(表 2-5) 所示为频率补偿系数的例子。

表 2-5 频率补偿系数范例 (根据个别规格)

• 基板自立型电容器 (输入平滑用)

额定电压(V) \ 频率 (Hz)	50	60	120	300	1k	10k	50k~
16~100	0.88	0.90	1.00	1.07	1.15	1.15	1.15
160~250	0.81	0.85	1.00	1.17	1.32	1.45	1.50
315~450	0.77	0.82	1.00	1.16	1.30	1.41	1.43

• 引线型电容器 (输出平滑用)

额定电压 (V) \ 频率 (Hz) \ 静电容量 (μF)	50	120	300	1k	10k~	
6.3~100	~56	0.20	0.30	0.50	0.80	1.00
	68~330	0.55	0.65	0.75	0.85	1.00
	390~1000	0.70	0.75	0.80	0.90	1.00
	1200~	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00

3) 纹波电流的温度补偿系数

在低于上限类别温度下使用时,可以流过的纹波电流值应低于额定纹波电流引起的电容器素子核心温度的温升限制值。此外,各温度下素子核心部位的温升限制值如(表 2-6)所示。

表 2-6 各温度下的素子中心温度上升限制值事例
(额定电压超过 315V 的基板自立型电容器)

周边温度 (°C)	40	55	65	85	105
Δ t c (°C)	30	30	25	15	5

4) 利用纹波电流波形计算纹波电流有效值的方法

如果一个纹波电流, 是在工频之上叠加了高频成份, 例如开关电源或变频器电源及有源滤波器电路。纹波电流的有效值可以利用表 2 - 7 中的波形图近似计算纹波电流的有效值。

电流波形和实效值计算式如 (表 2-7) 所示。

表 2-7 电流波形和实效值计算式

电流波形	实效值计算式
①	$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$
②	$I_{rms} = I_p \sqrt{\frac{T_1}{2T}}$
③	$I_{rms} = I_p \sqrt{\frac{T_1}{T}}$
④	$I_{rms} = I_p \sqrt{\frac{T_1}{3T}}$

纹波电流的有效值可以通过纹波电流的波形计算, 而纹波电流可以按照频率划分为工频下的纹波电流成分 I_L 和叠加在其之上的高频部分 I_H 如 (图 2-17) 所示。

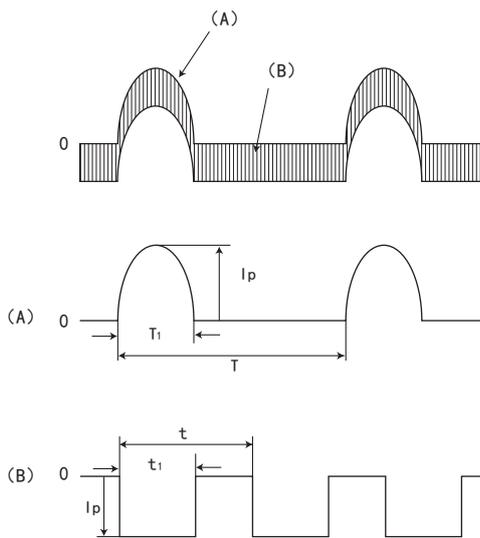


图 2-17

• 上表中波形②代表低频成分的纹波电流则其有效值 I_L,

$$I_L = I_p \times \sqrt{\frac{T_1}{2T}} \dots\dots\dots \text{(公式2-15)}$$

• 上表中波形③代表高频成分的纹波电流, 则其有效值 I_H

$$I_H = I_p \times \sqrt{\frac{t_1}{t}} \dots\dots\dots \text{(公式2-16)}$$

铝电解电容器的等效串联电阻 Re 具有频率特性, 若与规定的频率不同, 需要换算成标准频率。如果低频成份的频率补偿系数表示为 K_L、高频成份的频率补偿系数表示为 K_H 时, 则合成纹波电流 I_n 换算到标准频率下的值就如下式

$$I_n = \sqrt{\left(\frac{I_L}{K_{fL}}\right)^2 + \left(\frac{I_H}{K_{fH}}\right)^2} \dots\dots\dots \text{(公式2-17)}$$

5) 估算由纹波电流引起的温度上升的方法

功率损耗与纹波电流的平方成比例关系, 若将流过额定纹波电流 I₀ (A) 时的素子中心部位的温度上升为 Δt₀, 流过纹波电流 I_n (A) 时的温度上升 Δt_n 可用公式计算。

$$\Delta t_n = \left(\frac{I_n}{I_0}\right)^2 \times \Delta t_0 \dots\dots\dots \text{(公式2-18)}$$

105°C 用基板自立型电容器的温度上升 Δt₀ 是约 5°C。鉴于铝电解电容器的等效串联电阻 Re 随温度改变, 以及纹波电流波形也是由复杂的各种频率谐波成分组成, 因此建议用热电偶检测实际温升。

2-9-6 估算寿命

如 2-9-1 所示铝电解电容器的推测寿命用 F_T、F_I 及 F_U 的乘积来表示。大型铝电解电容器和小型铝电解电容器的计算方法如下表示。详情请咨询 NICHICON。

(大型)

大型铝电解电容器的推测寿命计算式如 (式 2-19) 所示。此外, 关于螺栓端子型铝电解电容器请另行咨询 NICHICON。

$$L_n = L_0 \times 2^{\frac{T_0 - T_n}{10}} \times 2^{1 - \frac{\Delta t_n}{K}} \quad \Delta t_n = \Delta t_0 \times \left(\frac{I_n}{I_m}\right)^2 \dots\dots\dots \text{(公式2-19)}$$

L_n : 电容器在环境温度为 T_n (°C) 下施加纹波电流 I_n (Arms) 时的估算寿命 (h)

L₀ : 上限工作温度 T₀ (°C) 下施加了额定纹波电流 I_m (Arms) 时的额定寿命时间 (h)

T₀ : 电容器的上限工作温度 (°C)

T_n : 电容器的环境温度 (°C)

Δt₀ : 温度 T₀ (°C) 下施加最大允许纹波电流 I_m (Arms) 时的电容器的内部温度上升 (°C)

Δt_n : 环境温度 T_n (°C) 下施加了实际的纹波电流 I_n (Arms) 时的电容器的内部温度上升 (°C)

K : 纹波引起的温度上升加速系数 [参照下图 : 适用于低于上限类别温度 T₀ (°C) 的温度系数]

※ 公式适用于环境温度 T_n 从 + 40°C 至电容器的上限类别温度 T₀ 的范围内。此外, 一般情况下 15 年是通过上述公式估算的寿命上限。

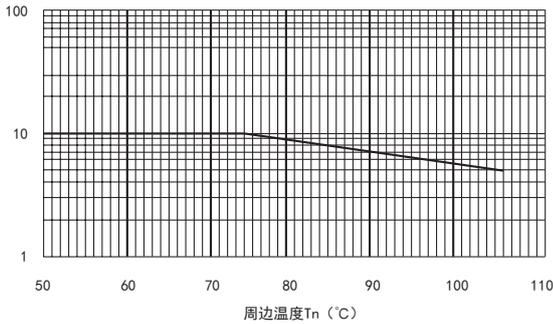


图 2-18 纹波温度上升加速系数 K

(小型)

小型铝电解电容器的推测寿命计算式根据耐久性的规定有 2 种方法。各自的推测寿命计算式如 (公式 2-20) 及 (公式 2-21) 所示。

- (1) 施加直流额定电压的产品 (耐久性试验规格中仅施加额定直流电压, 不叠加纹波电流)

$$L_n = L \times 2^{\frac{T_0 - T_n}{10}} \times \frac{1}{B_n} \dots\dots\dots \text{(公式2-20)}$$

在这里

$$B_n = 2^{\alpha \times \left(\frac{I_n}{I_m}\right)^2 \times 2^{-\left(\frac{T_0 - T_n}{30}\right)}}$$

- (2) 施加纹波电流的产品 (耐久性试验规格中施加直流电压, 同时叠加纹波电流)

$$L_n = L_0 \times 2^{\frac{T_0 - T_n}{10}} \times 2^{\alpha \left\{ 1 - \left(\frac{I_n}{I_m}\right)^2 \times 2^{-\left(\frac{T_0 - T_n}{30}\right)} \right\}} \dots\dots\dots \text{(公式2-21)}$$

(公式2-20)、(公式2-21) 中

$2^{\frac{T_0 - T_n}{10}}$ $T_n(^{\circ}\text{C}) \leq 40$ 时, 采用 $2^{\frac{T_0 - 40}{10}}$

$2^{-\left(\frac{T_0 - T_n}{30}\right)}$ $T_n(^{\circ}\text{C}) \leq 50$ 时, 采用 $2^{-\left(\frac{T_0 - 50}{30}\right)}$

L_n : 环境温度 $T_n (^{\circ}\text{C})$ 下施加纹波电流 I_n (Arms) 时的寿命时间 (h)

L : 上限类别温度 $T_0 (^{\circ}\text{C})$ 下施加额定直流电压时的额定寿命时间 (h)

L_0 : 上限类别温度 $T_0 (^{\circ}\text{C})$ 下施加额定纹波电流 I_m (Arms) 时的寿命时间 (h)

T_0 : 电容器的上限类别温度 ($^{\circ}\text{C}$)

T_n : 电容器的环境温度 ($^{\circ}\text{C}$)

I_m : 上限类别温度 $T_0 (^{\circ}\text{C})$ 下的额定纹波电流 (Arms)

I_m 是采用产品目录中记载的额定纹波电流的频率补偿系数计算出与使用纹波电流相同频率的容许值后, 作为 I_m 。

I_n : 环境温度 $T_n (^{\circ}\text{C})$ 下的使用纹波电流 (Arms)

B_n : 环境温度 $T_n (^{\circ}\text{C})$ 下施加使用纹波电流 I_n (Arms) 时的纹波加速系数

α : 寿命常数

关于具体的寿命常数敬请咨询我司。

备注

推测寿命的计算式是以高温下的寿命测试结果为基础的实验公式, 计算值作为参考值使用。

此外, 通过寿命估算公式计算的时间仅作为参考, 非保证值。所以请结合贵司的测试结果来考虑。

公式适用于环境温度 T_n 从 $+40^{\circ}\text{C}$ 至电容器的上限类别温度 T_0 的范围内。此外, 一般情况下 15 年是通过上述公式估算的寿命上限。

2-10 卤素的影响

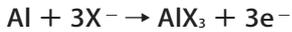
2-10-1 前言

当卤化物侵入铝电解电容器内部后，
卤化物分解并释放出卤素离子



在此 X^- : 卤素离子

同时下式（电解腐蚀）的反应也将发生



通过反复进行这种电解腐蚀反应可能会使漏电流上升、电容器压力阀作动并且可能导致压力阀打开。因此，禁止使用卤素类的清洗剂或者对基板的固定剂、涂层剂。如下说明了推荐的基板清洗方法及固定剂、涂层剂的要求事项。此外，在 2-10-3 项中记载了清洗能力上不得已使用卤素类溶剂时的要求事项。

2-10-2 清洗

清洗方法

对象：所有品种、所有规格

乙醇类清洗剂

异丙醇

水性清洗剂

高级乙醇类

Pine Alpha ST-100S(荒川化学工业)

NEWPOL B-12(三洋化成工业)

界面活性剂类

Clean Through 750HS、750HN、750K、750J

(花王)

清洗条件：使用浸渍、超声波等方法、清洗时间总计不超过5分钟。（清洗液温度为60℃以下）
清洗后，请将电容器和安装完毕的印刷电路板同时以热风干燥10分钟以上。另外，当洗涤剂落入了外壳和封套之间时，如果热风的温度过高，封套就会变软、膨胀，所以请使热风的温度不要超过封套变软的温度（80℃）。

此外，水洗后如果干燥不充分，可能会引起外套二次收缩、底板膨胀等外观不良。需加以注意。

请充分做好清洗剂的污染管理工作（电导率、pH值、比重、含水量等）。

清洗后，请勿将其保管在清洗液的环境中或密封容器中。另外，在进行喷射洗净的时候，由于喷射角度和强度的不同，可能会造成外壳膨胀，谨请注意。对于别的洗净方法，也有可能造成产品表示信息消失或者模糊褪色。

HCFC 的换代产品氟里昂在将来不能使用，而且，从保护地球环境的角度出发，我们不推荐将其作为清洗液来使用。

当必须使用用氟里昂替代品清洗时，可在下列条件范围内进行清洗。

对象：耐清洗品（产品目录记载）

清洗剂：AK-225AES

清洗条件：采用浸渍、蒸气、超声波、喷雾等方法的合计清洗时间为5分钟以内。但是，贴装芯片型品及超小型品的清洗时间为2分钟以内。（溶剂温度低于40℃）

注意条件：请进行清洗剂的污染管理（电导度、pH、比重、水分量等）。清洗后，不能在清洗液的氛围中或者密封容器中保管。

关于不同于推荐清洗方法的清洗剂和清洗方法，请务必咨询我司。

2-10-3 固定剂 / 涂层剂

- (1) 请勿使用含有卤素类溶剂的固定剂 / 涂层剂。
- (2) 使用固定剂 / 涂层剂之前，请将基板和电容器的封口部之间清扫干净，不能残留助焊剂残渣及污垢。
- (3) 使用固定剂 / 涂层剂之前，请对清洗剂进行干燥。
- (4) 使用固定剂 / 涂层剂时，请勿将电容器封口部的整个面堵塞。

固定剂 / 涂层剂有很多种类，使用时详情请咨询我司。

2-10-4 其他

关于熏制处理

在出口时的防虫对策中，有时会利用甲基溴等卤素化合物进行熏制处理。

直接对铝电解电容器及安装了铝电解电容器的设备进行熏蒸或者用熏蒸处理的木材用作托盘时，可能会因熏蒸剂内含有的卤素在电容器内部引起腐蚀反应。

2-11 CR 时间电路

2-11-1 前言

下面将介绍使用在定时电路以及需要计算保持时间时的 CR 时间电路中，铝电解电容器的使用注意事项。

2-11-2 充电电路

(图 2 - 19) 的电路中，在电源电压 V 下串联电阻 R 充电电容器 C 时的电容器两端电压进行考察。(初期 $t = 0$ 时，电容器的电荷为零。)

充电开始的同时，电容器的两端电压根据 (公式 2 - 20) 上升。根据 (公式 2 - 22) 达到规定电压 V_n 为止的时间 t_n 为如 (公式 2 - 23) 所示。

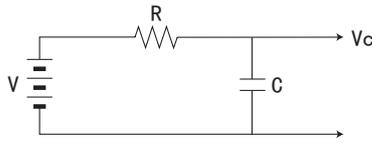


图 2-19

$$V_c = V(1 - e^{-\frac{t}{CR}}) \quad \dots\dots\dots \text{(公式2-22)}$$

$$t_n = CR \ln\left(\frac{V}{V - V_n}\right) \quad \dots\dots\dots \text{(公式2-23)}$$

在此 R : 串联电阻 (Ω)
 C : 电容器容量 (F)
 V : 电源电压 (V)

2-11-3 放电电路

如 (图 2 - 20) 的电路中，开关 SW 倒向 1 侧，在电源电压 V 情况下，对电容器 C 充电后，开关 SW 倒向 2 侧且通过电阻 R_d 进行放电。放电时间 (t) 和电容器两端电压 V_c (V) 之间的关系如 (公式 2 - 24) 所示。根据 (公式 2 - 24) 放电后电容器的端子电压 V_c (V) 达到 V_n (V) 为止的时间 t_n (s) 为如 (公式 2 - 25) 所示。

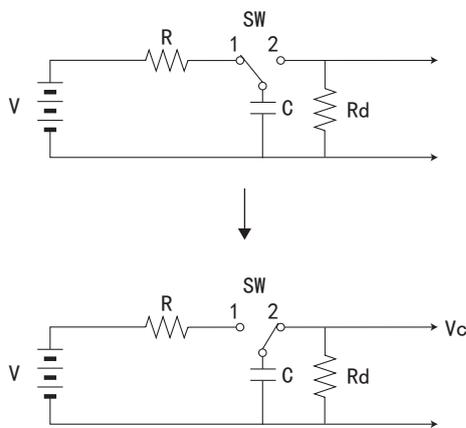


图 2-20

$$V_c = V \times e^{-\frac{t}{CR_d}} \quad \dots\dots\dots \text{(公式2-24)}$$

$$t_n = CR_d \ln\left(\frac{V}{V_n}\right) \quad \dots\dots\dots \text{(公式2-25)}$$

在此 R_d : 放电电阻 (Ω)
 C : 电容器容量 (F)
 V : 电源电压 (V)

2-11-4 电容器的漏电阻

电容器上施加直流电压后，漏电流会通过。铝电解电容器比其他电容器的漏电流更大，而且根据温度、施加电压、施加电压时间的不同而改变。若用等效电路考虑，这一情况可视为漏电流通过与电容器并联连接的电阻 (漏电阻)。在电容器充电时及放电时的自我放电下，漏电流将成为功率损耗的来源。因此，它提高了 2 - 11- 2、2 - 11- 3 理论公式的误差。充电时的时间常数大于理论值，放电时的时间常数小于理论值。当使用铝电解电容器运用在时间电路上时，请先确认在电子设备的使用温度范围内电容器是否充分满足其要求。

2-12 产品选定的要点

2-12-1 前言

铝电解电容器是作为电源的平滑电路最为普遍采用的电容器。其原因是与其他电容器相比单位体积的容量大，单位容量的价格便宜。

在电子元器件市场上，微型化、高效率、高频化、高可靠性以及薄型化需求正推动着元器件表贴化。此外，随着 PL（产品责任法）的强制推行，安全性变得比以往更加受到重视。针对这些情况，应用于电源上的铝电容被要求具有以下特点：小型、轻量、薄型、长寿命、高可靠性、芯片化、安全性。根据这些内容，以下所讨论的要点，将有助于熟练使用铝电容器。

2-12-2 铝电解电容器的系列和特长

(1) 电源输入平滑用电容器

电源输入平滑用电容器位于二极管之后，起到对利用二极管整流电流进行平滑的作用，要求其具备高纹波、高可靠性及安全性。基板自立型电容器的系列如（表 2-8）所示。

表 2-8 基板自立型电容器的系列矩阵

形状	85°C品		105°C品			
	标准品	小型化品	标准品	小型化品	长寿命品	异常电压对应品
标准品	LS	LG	GU, GN	GG, GL	GY, GX, GR	AK, AQ
薄型品	-	-	GJ	GJ ₍₁₅₎	-	-

105°C用电容器标准系列为 GU 系列，小型化要求的电容器推荐采用 GG, GL 系列，低高度要求的电容器推荐采用 GJ 系列。而在高可靠性要求的电容器中，5000 小时保证的小型化产品推荐采用 GY, GX 系列，10000 小时保证的 GR 系列。此外，还有施加了过电压时，只要其过电压保持一定范围，就不会引起短路而是防爆阀运行（没有起火危险）的 AK, AQ 系列。推荐这两个系列用于 24 小时连续通电状态下使用的传真机或复印机等信息通信设备。

(2) 电源输出平滑用电容器

在电子输出平滑电路中，电容器对于获得稳定的输出电压十分重要。电源转换频率越高，越是需要高频领域的低阻抗、低等效串联电阻（ESR）的电容器。

此外，在小型开关电源、DC-DC 变流器电源上，表面贴装部件已开始被采用。

输出平滑用的引线型铝电解电容器的系列如（表 2-9）所示，此外表面贴装类型的系列如（表 2-10）所示。

表 2-9 引线型电容器的系列矩阵

形状	特长	标准品	105°C品	125°C品	双极性品	低阻抗品	长寿命品 (105°C5000h)
5mmL品		MA	MT	-	MP	MF	MV
7mmL品		SA, SR	ST	-	SP	SF	SV
11mmL~品		VK, RS	VY, RZ	BT	VP	PA, PW	TT

表 2-10 表面贴装型电容器的系列矩阵

形状	特长	标准品	105°C品	125°C品	双极性品	低阻抗品	长寿命品
3.0mmL品		ZD	-	-	-	-	-
3.95mmL品		ZR	ZG	-	ZE	-	-
4.5mmL品		ZS	ZT	-	ZP	-	-
5.5mmL品		WX	WT	-	WP	WF, WG	-
5.8mmL~品		UR	UT	UB	UP	CD	UL
大尺寸品		UG	UJ, CD	UE	UN		UJ

开关电源的输出平滑电路用引线型电容器推荐采用 PW 系列，小型化要求的电容器推荐采用 SF 系列（产品高度 7mm）、MF 系列（产品高度 5mm），低阻抗和小型化要求的电容器推荐采用 PA 系列。此外，对于表贴型，WT 是标准系列，低高度的 ZT、ZG 系列，CD 系列为低阻系列，以及高电压、大容量的 UX、UJ 系列等产品。

(3) 控制电路用电容器

鉴于电子设备的小型化、高容量化、高密度贴装化等原因周边温度上升，而且附近配置了发热部件，因此控制电路上使用的电容器可能容易引起故障。作为控制电路用电容器，本公司推出了 105°C 规格的 VY 系列（小型化产品）、TT 系列（长寿命产品）、SV 系列（产品高度 7mm）、MV（产品高度 5mm）。

详情请参照本公司最新的产品目录。

2-12-3 高密度贴装和长寿命化的注意事项

(1) 安装和配置

随着电子设备的小型化、多功能、高密度贴装化的发展，电容器的环境温度也变得越来越。而且越来越多的设备需要连续运行，因此要求电容器有更高的可靠性和更长的寿命。铝电解电容器的环境温度越高其寿命越短。为实现铝电解电容器的长寿命化，请留意以下事项。

- ① 请勿在电容器的周边及印刷基板的背面（电容器下方）配置发热部件。
- ② 请用散热风扇等积极排放电子设备内部的热量。
- ③ 机箱上适当开孔，降低电子设备内部温度，利用从开孔处引入的外部空气冷却电容器。
- ④ 尤其采用两面电路基板的电子设备，若在电源模块、发热部件附近安装，可能会受到电路板的高热。请留意在大功率电源上使用铝电容器的情况。
- ⑤ 电子设备内部越向上温度越高，因此请尽可能将电容器设定在位置较低的部分。当使用设备是竖直向上安装时，请特别注意上述情况。

2-12-4 浪涌电流和放电电阻

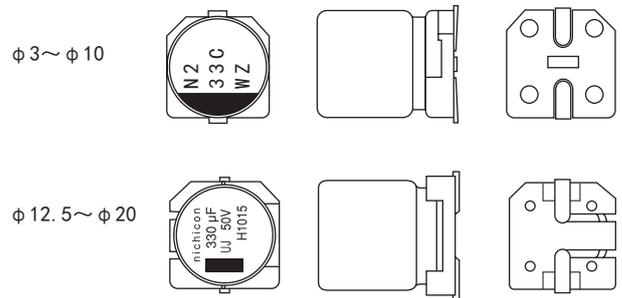
在电容器输入型电源上，电源开机时会流对电容器充电的峰值电流（浪涌电流）。浪涌电流是根据开机输入时的时间或电路方式而不同，可能会达到稳态电流的几十倍。如果这一浪涌电流在一天当中仅仅重复数次，应该不会有问题，但是如果反复频繁地打开或关闭电源以及打开时发生的电磁噪声对设备造成障碍时，推荐在输入侧电路上添加电感或者有源滤波器。此外，如果关闭电源时，电路被设计成自动地电容器放电的电路方式时，请用 1kΩ 以上的放电电阻进行放电。

2-12-5 表面贴装用（芯片型铝电解电容器）

使用芯片型铝电解电容器取代引线型产品，要求其具有很好的稳定性、可焊性、耐热性以使得其能够通过回流焊焊接至电路板上。因此，我们是将引线扁平处理然后加装底座以此来抵御高温，而这一结构已成为垂直芯片式电容的主流。

作为立式芯片型铝电解电容器，本公司推出了外壳尺寸 φ3、4、5、6.3、8、10mm，额定电压 4V ~ 500V，静电容量 0.1μF ~ 2200μF；外壳尺寸 φ12.5、16、18、20 mm，额定电压 6.3V ~ 450V，静电容量 3.3μF ~ 10000μF 的各类产品。芯片型铝电解电容器的外观如（图 2 - 23）所示。详情请参照本公司的产品目录。

(图例)



(图2-21)