

# 电解电容使用寿命的分析和计算

姚明君 2010年08月12日

## 目 录

1 概述.....	3
1.1 阿列纽斯 (ARRHENIUS).....	3
1.1.1 阿列纽斯方程.....	3
1.1.2 阿列纽斯结论.....	3
1.2 电解电容使用寿命分析.....	3
1.3 电解电容使用寿命计算.....	3
1.3.1 纹波电流计算.....	4
1.3.2 功率损耗计算.....	4
1.3.3 电解电容发热公式.....	4
1.3.4 合成纹波电流计算.....	4
1.3.5 额定工作温度.....	5
1.3.6 电解电容寿命计算.....	5
1.4 举例.....	5
1.5 结论.....	5

# 1 概述

作为电子产品的重要部件电解电容，在开关电源中起着不可或缺的作用，它的使用寿命和工作状况与开关电源的寿命息息相关。

在大量的生产实践与理论探讨中，当开关电源中电容发生损坏，特别是电解电容冒顶，电解液外溢时，电源厂家怀疑电容质量有问题，而电容厂家说电源设计不当，双方争执不下。

以下就电解电容的使用寿命和使用安全作些分析，给电子工程师提供一些判断依据。

## 1.1 阿列纽斯(Arrhenius)

### 1.1.1 阿列纽斯方程

阿列纽斯方程是用来描述化学物质反应速率随温度变化关系的经验公式。电解电容内部是由金属铝等和电解液等化学物质组成的，所以电解电容的寿命与阿列纽斯方程密切相关。

阿列纽斯方程公式： $k=Ae^{-E_a/RT}$  或  $\ln k = \ln A - E_a / RT$  (作图法)

K 化学反应速率, R 为摩尔气体常量, T 为热力学温度,  $E_a$  为表观活化能, A 为频率因子

### 1.1.2 阿列纽斯结论

根据阿列纽斯方程可知, 温度升高, 化学反应速率(寿命消耗)增大, 一般来说, **环境温度每升高 10°C, 化学反应速率(K 值)将增大 2-10 倍, 即电容工作温度每升高 10°C, 电容寿命减小一倍, 电容工作温度每下降 10°C, 其寿命增加一倍**, 所以, 环境温度是影响电解电容寿命的重要因素。

## 1.2 电解电容使用寿命分析

1) 公式:

根据阿列纽斯方程结论可知, 电解电容使用寿命计算公式如下:

$$L = L_0 \times 2^{\frac{(T_0 - T)}{10^\circ\text{C}}} \quad \text{公式(1)}$$

L 环境温度为 T 时电解电容使用寿命 (hour),

$L_0$  最大温度时电解电容的额定寿命 (hour)

$T_0$  电解电容额定最高使用温度 (deg°C),

T 环境温度 (deg°C),  $T_0 - T$  温升 (deg°C)

2) 分析: 根据公式(1)可知

当电解电容工作温度在最高使用温度工作时(即  $T_0 = T$ )时, 由公式(1)计算得到 电解电容最小使用寿命为  $L = L_0 \times 2^0 = L_0$  即等于额定寿命, 比如 8000 小时,  $8000/8760 = 0.9$  年。

当电解电容工作温度低于最高使用温度 10°C 时, 由公式(1)计算得到电解电容使用寿命为

$$L = L_0 \times 2^{\frac{(T_0 - T_0 - 10^\circ\text{C})}{10^\circ\text{C}}} = L_0 \times 2^1 = 2L_0 \text{ 即等于额定寿命的 2 倍, 即 16000 小时, } 16000/8760 = 1.8264 \text{ 年。}$$

可见, 电解电容使用寿命计算公式符合阿列纽斯方程结论

## 1.3 电解电容使用寿命计算

在电子产品中, 影响电解电容寿命的因素有环境温度 T 和纹波电流  $I_{rms}$ 。

电容承担的负载功率与纹波电流成正比, 负载越大, 纹波电流越大(电解充放电越深), 内部氧化膜分解时发热越厉害, 修补时电解液消耗越多。见图 1

纹波电流越大引起的发热越大, 所以纹波电流引起的发热在电解电容寿命计算中要考虑。

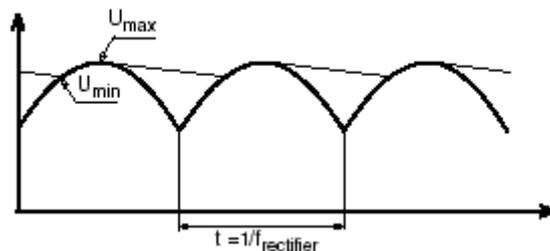


图 1

### 1.3.1 纹波电流计算

1) 电容容量

$$C_{\min} = \frac{2 \times P}{(U_{\max}^2 - U_{\min}^2) \times f_{\text{rectifier}}}$$

2) 充电时间

$$t_C = \frac{\arccos\left(\frac{U_{\min}}{U_{\max}}\right)}{2\pi \times f_{\min}}$$

3) 放电时间

$$t_{DC} = \frac{1}{f_{\text{rectifier}}} - t_C$$

4) 充电电流

$$I_{C\text{peak}} = C \times \frac{dU}{dt_C}$$
$$I_{CRMS} = \sqrt{I_{C\text{peak}}^2 \times t_C \times f_{\text{rectifier}}}$$

5) 放电电流

$$I_{DC\text{peak}} = C \times \frac{dU}{dt_{DC}}$$
$$I_{DCRMS} = \sqrt{I_{DC\text{peak}}^2 \times t_{DC} \times f_{\text{rectifier}}}$$

6) 纹波电流

$$I_{RMS} = \sqrt{I_{CRMS}^2 + I_{DCRMS}^2}$$

### 1.3.2 功率损耗计算

$$P_{N_x} = P_1 + P_2 + \dots + P_n = I_1^2 \times R_{\text{ESR1}} + I_2^2 \times R_{\text{ESR2}} + \dots + I_n^2 \times R_{\text{ESR}}$$

### 1.3.3 电解电容发热公式

达到热平衡时容器中心温度  $T_0$  和环境温度  $T$  的温升由散热方式（空气散热、容器散热）和耗散功率  $P_D$  决定，用热阻来描述，热阻 (Thermal Resistance)  $R_\theta$ ，单位 ( $^\circ\text{C}/\text{W}$ )：

$$R_\theta = \frac{T_0 - T}{P_D} = \frac{\Delta T}{P_D} \Rightarrow \Delta T = P_D \times R_\theta = I^2 R \times \frac{1}{\beta S}$$

$\Delta T$  加纹波电流  $I$  时电解电容自身发热 ( $\text{deg}^\circ\text{C}$ )， $I$  实际工作纹波电流 ( $\text{A rms}$ )， $\beta$  散热系数 ( $\text{W}/^\circ\text{C cm}^2$ )， $S$  电解电容的表面积 ( $\text{cm}^2$ )， $R$  电解电容等效阻抗 ( $\text{ESR } \Omega$ )

### 1.3.4 合成纹波电流计算

因为实际电路中，纹波电流包含有各种频率波形的纹波电流，所以对实际电路纹波电流的计算应该由合成纹波电流  $I_{\text{rms}}$  得到：
$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\sum (I_N)^2}$$

### 1.3.5 额定工作温度

电解电容的行业规定，在额定温度  $T_0$  下，加上允许额定纹波电流  $I$  产生的最大发热  $\Delta t \leq 5 \text{ deg}^\circ\text{C}$

因此实际纹波电流为  $I_r$  时，电容器自身的发热是  $\Delta T = \Delta t \left( \frac{I}{I_r} \right)^2 \text{ deg}^\circ\text{C}$

$\Delta t$  为额定温度下加上额定纹波电流时电容器允许最大温升 ( $\text{deg}^\circ\text{C}$ )，

$I_r$  电容器额定纹波电流 (Arms)， $I$  为 (计算的) 实际工作纹波电流 (Arms)

### 1.3.6 电解电容寿命计算

由上面的分析可知，考虑纹波电流后的电解电容的寿命计算公式最后为：

$$L = L_0 \times 2^{\frac{(T_0 + \Delta t) - (T + \Delta T)}{10^\circ\text{C}}}$$

$T_0$  为额定温度 (比如  $105^\circ\text{C}$ )， $\Delta t$  为额定温度时最大允许温升  $5^\circ\text{C}$ ， $T$  为环境工作温度 (比如  $55^\circ\text{C}$ )， $\Delta T$  为  $T$  温度时纹波电流产生的发热值 (比如  $20^\circ\text{C}$ )

### 1.4 举例

一电容 ED33uF/200V/105 $^\circ\text{C}$ ，额定寿命  $L_0=8000$  小时，允许纹波电流  $I=195\text{mA}/120\text{Hz}$ ，在环境为  $55^\circ\text{C}$  的  $110\text{V}/60\text{Hz}$  电路中应用。

#### 1. 三角波

$$I_1 = \frac{\sqrt{t \times f \times I_{\text{peak}}}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2 \times 0.06 \times 1.385}}{\sqrt{3}} = 0.665 / 1.732 = 0.384(\text{A}) = 384(\text{mA}) / 120(\text{Hz})$$

#### 2. 弦波

$$I_2 = \frac{\sqrt{t \times f \times I_{\text{peak}}}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{0.368}}{\sqrt{2}} = 0.368 / 1.414 = 0.260(\text{A}) = 260(\text{mA}) / 60(\text{Hz})$$

#### 3. 合成

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\sum I_n^2} = \sqrt{(260 \times 0.3)^2 + 384^2} = 0.392(\text{A}) = 392(\text{mA}) / 120(\text{Hz})$$

#### 4. 发热

$$\Delta T = \Delta t \left( \frac{I}{I_r} \right)^2 = 5 \times \left( \frac{392}{195} \right)^2 = 20^\circ\text{C}$$

#### 5. 寿命

1) 不考虑纹波电流的使用寿命

$$L = L_0 \times 2^{\frac{(T_0 - T)}{10^\circ\text{C}}} = 8000 \times 2^{\frac{(105 - 55)}{10}} = 256000(\text{h}) = 29.2(\text{年})$$

2) 考虑纹波电流的实际使用寿命

$$L = L_0 \times 2^{\frac{(T_0 + \Delta t) - (T + \Delta T)}{10^\circ\text{C}}} = 8000 \times 2^{\frac{(105 + 5) - (55 + 20)}{10}} = 90509.6(\text{h}) = 10.3(\text{年})$$

### 1.5 结论

由上面例子计算可知，纹波电流对电解电容寿命的影响是非常大的，电路工程师在设计使用电解电容时，不但要考虑电容工作的环境温度，还要考虑电路纹波电流对电解电容寿命带来的影响，尽可能的延长电解电容的使用寿命。

电路呈容性或强感性会影响到三极管等安全切换，使晶体管损耗加重，发热增大，并在电解电容上叠加有很高的单尖峰纹波电流，充放电纹波电流变窄变高，最后使电解电容严重发热直至损坏，表现为冒顶、冒汽、漏液或爆炸。

尽量选择质量好的电解电容，密封性能好的电容，切不可使用寿命减半的拆件电解电容。给电解电容一个安全的工作环境，合理的设计，才是解决电解电容冒顶、冒汽、漏液以延长寿命的解决之道。