

铝电解电容器承受纹波电流的能力分析

CD11H-100V-10 μ F-M (相对应 SAMXON GF Series) 产品在实际使用时, 外形尺寸 $\phi 10 \times 20$ 与 $\phi 16 \times 25$ 比较, 前者易失效, 而后者不易失效。初步分析如下:

电解电容应用于电路中, 主要是作为电源的滤波元件, 讯号的旁路、耦合等, 它们在工作时有一个共同的特点就是在直流电压上要叠加不同频率的交流成份, 即有纹波电压作用在电容器上, 从而就有纹波电流通过电容器。

1). 当有纹波电流通过电容器时, 一方面, 由于功率损耗 (P) 而使电容器内部温度上升、发热; 另一方面, 也通过电容器外表向周围附近环境散热 (P'):

$$i. P = I_{\sim}^2 r + V \cdot I_L \dots\dots\dots(1)$$

式中: I_{\sim}纹波电流 (Arms) r等效串联电阻(Ω)
 I_L漏电流 V施加的直流电压

因为 $V \cdot I_L \ll I_{\sim}^2 r$, 所以 (1) 式可近似为: $P = I_{\sim}^2 \cdot r \dots\dots\dots(2)$

$$ii. P' = a \cdot S \cdot \Delta T \dots\dots\dots(3)$$

式中: a 散热系数 ($W/cm^2 \cdot ^\circ C$)
 S产品表面积 (cm^2) $\left[S = \frac{P}{4} D (D + 4L) \right]$

ΔT产品温升 ($^\circ C$) (由纹波电流引起产品自身温度与环境温度的温差)

当发热与散热达到平衡时, 则有 $P=P'$

$$即 \quad I_{\sim}^2 \cdot r = a \cdot S \cdot \Delta T \dots\dots\dots(4)$$

依上述公式 (4), 则 CD11H-100V-10 μ F-M 的产品外壳尺寸不同, 但在同一电路同一位置使用时, 所通过的稳波电流是相同的, 此时产品温升为:

外壳尺寸为 $\phi 10 \times 20$ 时:

外壳尺寸为 $\phi 16 \times 25$ 时:

$$\Delta T_{10} = \frac{I_{\sim 10}^2 \cdot r_{10}}{a \cdot S_{10}} \dots\dots\dots(5)$$

$$\Delta T_{16} = \frac{I_{\sim 16}^2 \cdot r_{16}}{a \cdot S_{16}} \dots\dots\dots(6)$$

$$则有 \quad \frac{\Delta T_{10}}{\Delta T_{16}} = \frac{r_{10} \cdot S_{16}}{r_{16} \cdot S_{10}} = \frac{4.6 \times 3.14 \times r_{10}}{2.25 \times 3.14 \times r_{16}} = 2.06 \times \frac{r_{10}}{r_{16}} \dots\dots\dots(7)$$

分别取尺寸为 $\phi 10 \times 20$ & $\phi 16 \times 25$ 的 CD11H-100V-10 μ F-M 的产品，在不同频率(f)测其 r 值如下：

f (Hz)		120Hz (Ω)	1KHz (Ω)	10KHz (Ω)	100KHz (Ω)	备注
r	r ₁₀	1.470	0.370	0.167	0.133	Sample 为万裕三信品
	r ₁₆	1.570	0.208	0.049	0.032	

依公式 (7)，则有

$$120 \text{ Hz 时, } \frac{\Delta T_{10}}{\Delta T_{16}} = 2.06 \times \frac{r_{10}}{r_{16}} = 2.06 \times \frac{1.470}{1.570} \approx 1.93 \text{ 得 } \Delta T_{10} = 1.93 \Delta T_{16} \dots \dots (8)$$

$$1\text{KHz 时, } \frac{\Delta T_{10}}{\Delta T_{16}} = 2.06 \times \frac{r_{10}}{r_{16}} = 2.06 \times \frac{0.370}{0.208} \approx 3.66 \text{ 得 } \Delta T_{10} = 3.66 \Delta T_{16} \dots \dots (9)$$

$$10\text{KHz 时, } \frac{\Delta T_{10}}{\Delta T_{16}} = 2.06 \times \frac{r_{10}}{r_{16}} = 2.06 \times \frac{0.167}{0.049} \approx 7.02 \text{ 得 } \Delta T_{10} = 7.02 \Delta T_{16} \dots \dots (10)$$

$$100\text{KHz 时, } \frac{\Delta T_{10}}{\Delta T_{16}} = 2.06 \times \frac{r_{10}}{r_{16}} = 2.06 \times \frac{0.133}{0.032} \approx 8.56 \text{ 得 } \Delta T_{10} = 8.56 \Delta T_{16} \dots \dots (11)$$

公式 (8)、(9)、(10)、(11) 所反应的是两个不同外壳尺寸产品在不同频率 (f) 下的温升关系，即如果在 100KHz 时，尺寸为 $\phi 16 \times 25$ 产品的温升 ΔT_{16} 为 1 $^{\circ}$ C 时，尺寸为 $\phi 10 \times 20$ 产品温升为 8.56 $^{\circ}$ C；因此可推断在 100KHz 时，如果尺寸为 $\phi 16 \times 25$ 的产品工作时，产品中心温度为 40 $^{\circ}$ C，环境温度为 25 $^{\circ}$ C 时（产品温升 ΔT_{16} 为 15 $^{\circ}$ C），此时尺寸为 $\phi 10 \times 20$ 产品温升为 $\Delta T_{10} = 8.56 \times 15^{\circ}\text{C} = 128.4^{\circ}\text{C}$ ，产品中心温度为 128.4 $^{\circ}$ C + 25 $^{\circ}$ C = 153.4 $^{\circ}$ C 完全超出了它的最高使用温度 105 $^{\circ}$ C，将对产品性能产生影响甚至防爆阀打开失效。其它依此类推。

2) . 通常，在产品目录或承认书中，都会根据产品的最大 DF 值或 r 值给出每个产品在特定频率下的最大允许纹波电流 I_r(Max Allowable Ripple Current)（一般以温升 5 $^{\circ}$ C 左右计），故对于 CD11H-100V-10 μ F-M $\phi 10 \times 20$ & $\phi 16 \times 25$ 产品的最大允许纹波电流计算如下：

依公式 (4)

$$I_r^2 = \frac{a \cdot S \cdot \Delta T}{r} \quad \text{则有} \quad I_r = \sqrt{\frac{a \cdot S \cdot \Delta T}{r}} \dots \dots (12)$$

i. 产品在 100Hz 频率下的最大允许纹波电流 I

由电容器的 r、tg δ、ω 关系 $\text{tg } \delta = \omega C r$ 知:

$$I_{\sim} = \sqrt{\frac{a \cdot S \cdot \Delta T \cdot \omega C}{\text{tg } \delta}} \dots\dots\dots(13)$$

将产品在 120Hz 的最大 tg δ 值 (0.08) 代入(13)式中, 得
外壳尺寸为 φ10×20 时:

$$I_{\sim 10} = \sqrt{\frac{0.002 \times 2 \times 100 \times 3.14 \times 10 \times 2.25 \times 3.14 \times 5}{0.08}} \approx 74mA \quad (\text{at } 100\text{Hz})$$

外壳尺寸为 φ16×25 时:

$$I_{\sim 16} = \sqrt{\frac{0.002 \times 2 \times 100 \times 3.14 \times 10 \times 4.60 \times 3.14 \times 5}{0.08}} \approx 106mA \quad (\text{at } 100\text{Hz})$$

ii. 产品在 1KHz、10KHz、100KHz 频率下的最大允许纹波电流 I

由公式 (4) 可知, 对于同一个产品在不同频率下允许的纹波电流为:

$$I_1^2 \cdot r_1 = I_2^2 \cdot r_2 \quad \text{得} \quad I_2 = \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} \cdot I_1 \dots\dots\dots(14) \quad \text{则有}$$

外壳尺寸为 φ10×20 时:

$$I_{\sim 10} = \sqrt{\frac{1.470}{0.370}} \times 74 \approx 147mA \quad (\text{at } 1\text{KHz})$$

$$I_{\sim 10} = \sqrt{\frac{1.470}{0.167}} \times 74 \approx 220mA \quad (\text{at } 10\text{KHz})$$

$$I_{\sim 10} = \sqrt{\frac{1.470}{0.133}} \times 74 \approx 246mA \quad (\text{at } 100\text{KHz})$$

外壳尺寸为 φ16×25 时:

$$I_{\sim 16} = \sqrt{\frac{1.570}{0.208}} \times 106 \approx 291mA \quad (\text{at } 1\text{KHz})$$

$$I_{\sim 16} = \sqrt{\frac{1.570}{0.049}} \times 106 \approx 600mA \quad (\text{at } 10\text{KHz})$$

$$I_{\sim 16} = \sqrt{\frac{1.570}{0.032}} \times 106 \approx 742mA \quad (\text{at } 100\text{KHz})$$

上述结果分别为 φ10×20、φ16×25 产品在实际使用时各频率下所能承受的最大

纹波电流 (Max Allowable Ripple Current), 其它频率下的 Max Allowable Ripple Current 可依上述公式推算。

总之, 电容器在实际使用时如果超过电容器规定的 Max Allowable Ripple Current, 产品温度就会升高, 超出其最高使用温度, 就会对电容器性能产生影响, 从而影响整个电路。因此, 当设计电子线路时, 须根据电容器使用的环境温度、所通过的纹波电流 (或作用其上的纹波电压) 等, 选择合适的电容器。

如能确定实际纹波电流在尺寸 $\phi 10 \times 20$ 所能承受的最大纹波电流与尺寸 $\phi 16 \times 25$ 所能承受的最大纹波电流之间, 可试用尺寸为 $\phi 13 \times 25$ 的产品。因为它相对于 $\phi 10 \times 20$ 来讲, 因产品表面积扩大, 其散热亦更好, 相对应所能承受的纹波电流 (I) 也就大; 而相对于 $\phi 16 \times 25$ 来讲, 则缩小了体积、降低了成本。当然, 须经确认电路之纹波电流的大小, 才可以确定是否可采用。