

铝电解电容器频率特性研究

韦春才, 董海青

(沈阳工业大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110023)

摘要:研究了铝电解电容器在不同频率的交流电压下工作时,其等效串联电容、等效串联电阻、阻抗和损耗 $\text{tg}\delta$ 值随频率的变化情况. 实验证明,实际的铝电解电容器在不同工作频率下的上述各值与理想的铝电解电容器相比有较大差异. 实验表明,影响频率特性的主要因素有:阴极和阳极铝箔表面腐蚀系数的大小及腐蚀坑洞的形状;阴极和阳极铝箔表面氧化膜的性质;电容器中衬垫纸的构造;工作电解液的电阻和浸渍情况以及电容器的内外结构尺寸等.

关键词: 铝电解电容器; 频率特性; 实验研究

中图分类号: TN604 **文献标识码:** A

在实际电路中,铝电解电容器加交流电压时,并不只是一个单纯的电容,还具有等效串联电阻、等效串联电感等,而且在不同的频率下工作时,表现出不同的等效串联电容量、等效串联电阻、阻抗和 $\text{tg}\delta$ 值.

1 理想的铝电解电容器的频率特性

1.1 最简等效电路的频率特性

理想的铝电解电容器,最简等效电路可视为是一个理想电容 C 和一个纯电阻 R 串联. 并且假定这个理想电容器的电容量和电阻值大小不随工作电压的频率而变化,则这个最简等效电路的阻抗绝对值 Z 为

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$

可得 $\lg z - \lg f$ 曲线(图1).

图1中曲线为一条 45° 下降直线,但是随频率 f 的增高,当 f 趋向 f_0 时(f_0 为临界频率) Z 逐渐趋向于串联电阻 R 值.

即当 $f < f_0$ 时, $\left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2 \gg R^2$, 则 $z \approx \frac{1}{2\pi fC}$

当 $f \geq f_0$ 时, $\left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2 \ll R^2$, 则 $z \approx R$

而损耗 $\text{tg}\delta$ 值为

$$\text{tg}\delta = \omega cR = 2\pi f cR = 2\pi R c f$$

因 R, C 是定值,所以 $\text{tg}\delta$ 与 f 成正比关系.

1.2 接入电感时的等效电路频率特性

当铝电解电容器的电极卷绕箔比较长时,而且外加电压频率较高时,则铝电解电容器的理想等效电路可视为是一个纯电容、一个纯电阻和一个纯电感的串联电路,并且假定电路各元件值的大小与频率无关. 则其阻抗的绝对值 Z 为

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC} - 2\pi fL\right)^2}$$

根据上式, Z 与 f 可得关系曲线如图2所示.

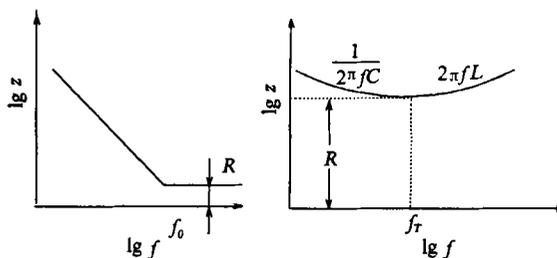


图1 $\lg f - \lg z$ 曲线

图2 $z - f$ 关系曲线

这里 $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 为铝电解电容器的谐振频率.

由上可知,以 f_r 为视点,

当 $f < f_r$ 时, $\frac{1}{2\pi fC} \gg 2\pi fL$, $\left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2 \gg R^2$

则 $Z \approx \frac{1}{2\pi fC}$

当 $f > f_r$ 时, $2\pi fL \gg \frac{1}{2\pi fC}$, $(2\pi fL)^2 \gg R^2$

则 $Z \approx 2\pi fL$

收稿日期: 1999-10-18

作者简介: 韦春才(1941-),男,河北乐亭人.沈阳工业大学副教授.

当 $f=f_r$ 时, $\frac{1}{2\pi fC} = 2\pi fL$ 则 $z=R$

而 $\text{tg } \delta$ 值为

$$\text{tg } \delta = \frac{R}{\frac{1}{2\pi fC} - 2\pi fL}$$

- 当 $f < f_r$ 时呈容性, $\text{tg } \delta$ 与 f 大致成正比;
- 当 $f > f_r$ 时呈感性, $\text{tg } \delta$ 与 f 大致成反比;
- 当 $f = f_r$ 时, $\text{tg } \delta$ 值为无穷大.

2 实际铝电解电容器的频率特性

2.1 实验样品、方法及特性

取铝电极腐蚀系数 K 值不同的铝电解电容器样品三组:

- I 组: 100 $\mu\text{F}/16\text{V}$ $k=1$ (即光箔) 5 只
- II 组: 100 $\mu\text{F}/16\text{V}$ $k=10$ 5 只
- III 组: 100 $\mu\text{F}/16\text{V}$ $k=50$ 15 只

2.1.1 实验一

从第 III 组中取 5 只样品分别放在 0、25、60 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中对其进行在不同频率 f 下的等效串联电容量的测量, 取其平均值, 得等效串联电容量与频率的特性曲线(图 3).

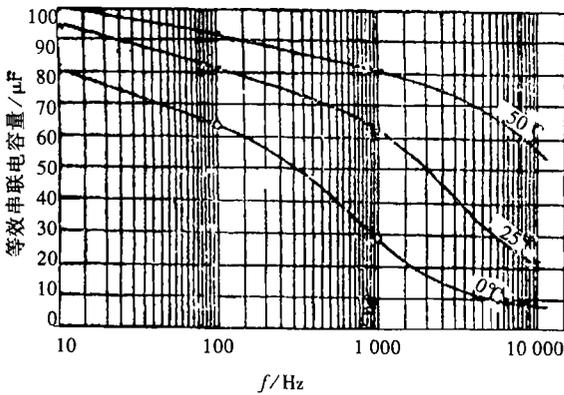


图 3 等效串联电容量与频率的特性曲线

再从 III 组样品中取 5 只, 将其分别放在 0、25、60 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中, 在不同频率 f 下, 测量等效串联电阻值, 求其平均值后, 得等效串联电阻值与频率的特性曲线(图 4).

2.1.2 实验二

将 I 组样品 ($k=1$) 分别放入 0、20、40 $^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中, 分别测量在不同频率 f 下的阻抗值, 求其平均值后, 可得阻抗与频率的特性曲线(图 5).

将 II 组样品 ($k=10$), 在室温下 (25 $^{\circ}\text{C}$) 分别测量不同频率 f 下的阻抗值, 求其平均值后, 得阻抗与频率特性曲线(图 6).

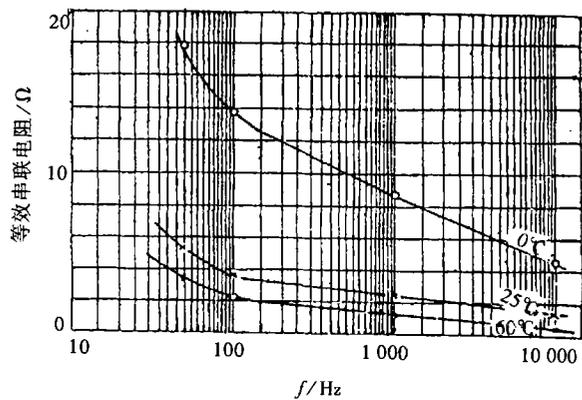


图 4 等效串联电阻值与频率的特性曲线

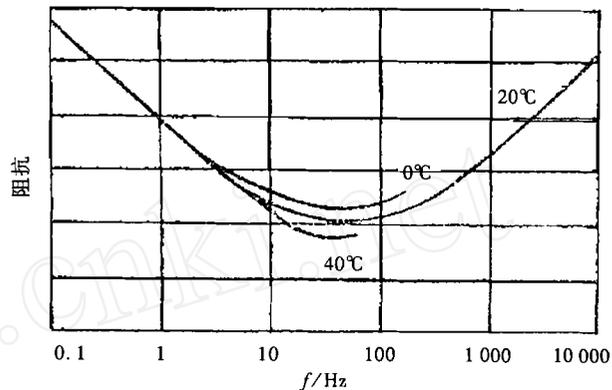


图 5 $k=1$ 时阻抗与频率特性曲线

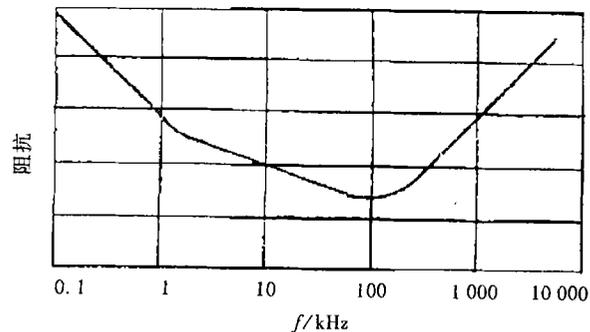


图 6 $k=10$ 时阻抗与频率特性曲线

将 III 组样品 ($k=50$), 在室温下 (25 $^{\circ}\text{C}$), 分别测量不同频率下的阻抗值, 求其平均值后, 得阻抗与频率特性曲线(图 7).

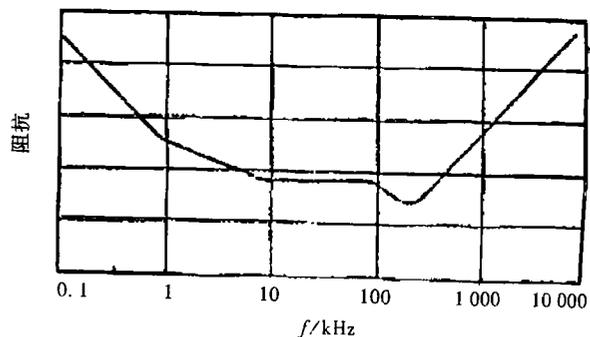


图 7 $k=50$ 时阻抗与频率特性曲线

2.2 实验结果分析

由图3和图4可以看出,实际的铝电解电容器的等效电容量和串联等效电阻,对于频率不是常数,而是随频率的增高而减少,近似成反比例变化,而且温度对等效电容量和串联电阻也有明显影响.这主要是因为构成铝电解电容器的阳极氧化膜的等效串联电阻在低频段大,随着频率增加与频率成反比例减少.电容量也与频率成反比例减少. $\text{tg } \delta$ 在低频段大,随频率的增高最初急剧减小,到高频段则减小较慢.另外,铝电解电容器的工作电解液的电阻对温度敏感.

由图5、6、7可知,实际铝电解电容器的阻抗频率特性,也与理想的铝电解电容器相差很大.从图5来看,还比较接近于图2,由此可知,不腐蚀($k=1$ 即光箔)电极的铝电解电容器更接近于理想的铝电解电容器特性.图6($k=10$)在低频段与图2一样,以 45° 斜线下降, $\frac{1}{2\pi f}$ 对阻抗变化趋向有较大影响.在频率的中段($10 \sim 100$ kHz)表现出小坡度,这是由于铝电极腐蚀坑洞形状的影响所致.从图7($k=50$)中,似乎可以看出谐振频率有两处,这是由于腐蚀电极具有坑洞深细,其内充满工作电解液,因电解液有电阻,从孔洞入口

一直到内部的电容效果来看,具有在长度方向上分布很多个微小电阻 ΔR 和微小电容 ΔC 的组成,因此它具有分布参数电路的特性.由于电极腐蚀孔洞形状的差异,带来了分布参数电路特性的复杂性,致使电容器在某一频率下会出现谐振点.

3 结论

实验证明,实际铝电解电容器的频率特性与通常说的理想铝电解电容器的频率特性有明显差异.而影响铝电解电容器频率特性的主要因素有:

- (1) 阴、阳极铝箔表面氧化膜的性质;
- (2) 阴、阳极铝箔表面腐蚀坑洞的形状;
- (3) 衬垫纸的构造;
- (4) 工作电解液的电阻和浸渍状况;
- (5) 铝电解电容器内外结构尺寸.

参考文献:

- [1] 崔志武,韦春才,李和太,等.铝电解电容器[M].北京:学苑出版社,1990.
- [2] 天津大学无线电元件教研室.电容器[M].北京:技术标准出版社,1981.

Study on frequency characteristic of Al electrolytic capacitor

WEI Cun-cai, DONG Hai-qiang

(School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110023, China)

Abstract: This paper studied the change law of the isotonic series-wound capacitor, the isotonic series-wound resistance, impedance and the ullage $\text{tg } \delta$ of the Al electrolytic capacitor as frequencies of AC power. It was proved that there was a superior diversity on the value of above factors between practical Al electrolytic capacitor and the ideal one at different frequencies. The main factor affecting the frequency characteristic were given as the following: the coefficient of corrosion of the Al foil surfaces the figure of the hole of corrosion, and the character of the oxide film on the surface of the anode and cathode; the fabric of the unimpregnated liner in the capacitor, as well as the resistance and steeping of the working electrolyte and the construction of the capacitor.

Key words: Al electrolytic capacitor; frequency characteristic; research experiment

(吉海涛 编辑)