



多层片式陶瓷电容器 (MLCC)

技 术 交 流

如何理解绝缘电阻 IR

江门市新会三巨电子科技有限公司

JIANGMEN CITY XINHUI SANJV ELECTRONIC CO., LTD

地址：广东省江门市新会区中心南路 37 号广源大厦 B 座

邮政编码：529100

联系电话：0750-8686169

E-Mail: xhsanjv@163.com

传真：0750-6331711

公司网址：www.sanjv.com

如何理解绝缘电阻 IR

绝缘电阻

绝缘电阻表征的是介质材料在直流偏压梯度下抵抗漏电流的能力。

绝缘体的原子结构中没有在外电场强度作用下能自由移动的电子。对于陶瓷介质，其电子被离子键和共价键牢牢束缚住，理论上几乎可以定义该材料的电阻率为无穷大。但是实际上绝缘体的电阻率是有限，并非无穷大，这是因为材料原子晶体结构中存在的杂质和缺陷会导致电荷载流子的出现。

在氧化物陶瓷中，如钛酸盐，通过缺陷化学计量，也就是阴、阳离子电荷不平衡可以推断出电荷载流子的存在以及材料晶体结构中有空缺位置（空位）和填隙离子。例如，一个 Al^{3+} 阳离子取代一个 Ti^{4+} 的位置，产生一个净负电荷。同样，如果氧离子与其他离子的比例不足以维持理想的化学价，也会产生一个净正电荷。后面这种情况在低氧分压烧结和“还原”烧结条件下非常容易出现，剧烈的还原将会使钛酸盐的电阻率降低，显示出半导体性质。

填隙离子的出现是由于离子具有一定的随机移动性，这种移动性与温度有关；温度升高能使离子获得更大的热能以克服能垒的作用，离子扩散程度加剧。在外加电场作用下，扩散不再是随机的，而是沿着电场电位梯度方向，从而产生漏电流。

因此，片式电容器的绝缘电阻取决于介质材料配方、工艺过程（烧结）和测量时的温度。所有介质的绝缘电阻都会随温度的提高而下降，在低温（ $-55^{\circ}C$ ）到高温（ $125^{\circ}C$ ）的 MIL 温度特性范围内可以观察到一个非常大的下降过程。

测量电容器绝缘电阻的时候需要重点考虑的是绝缘电阻与电容量的关系。电容量值与绝缘电阻成反比，即电容量越高，绝缘电阻越低。这是因为电容量与漏电流大小是相互成正比的，可以用欧姆定律和比体积电容关系加以说明。欧姆定律表述了导体中电流（I），电压（V）和电阻（R）之间的关系： $I = V/R$

但是，电阻（R）是一个与尺寸有关的物理量，也与材料本征的电阻率有关，如下所示：

$$R = \rho L/A$$

这里 $L =$ 导体长度 $A =$ 导体横截面积

因此电流（I）可以表示为： $I = VA/\rho L$

考虑到陶瓷电容器中通过绝缘体的漏电流（i）也可用上述关系式表示： $i = VA'/\rho t$

这里 $V =$ 测试电压 $A' =$ 有效电极面积 $\rho =$ 介质电阻率 $t =$ 介质层厚度

从上面关系式可以看到，对于给定的测试电压，漏电流大小正比于电容器有效电极面积，反比于介质层厚度（和电阻率），即： $i \propto A'/t$



类似地，电容量（C）正比于有效电极面积，反比于介质层厚度，即： $C = KA'/4.452t$

这里 $K =$ 介电常数 $A' =$ 有效电极面积 $t =$ 介质层厚度

因此 $C \propto A'/t$ 以及 $i \propto C$

漏电流（i）与绝缘电阻成反比，即： $IR \propto 1/C$

基于上述关系，可以归纳出以下几点：

1. 绝缘电阻是测试电压的函数，漏电流正比于外加电压： $i = VA'/\rho t$ 或 $IR = \rho t/VA'$

(b) 对于任意给定的电容器，绝缘电阻很大程度上依赖于介质材料本征的电阻率（ ρ ），也依赖于材料配方和测量时的温度。

(c) 电容器绝缘电阻（IR）的测量值与电容量成反比，也就是说，IR 是电容量的函数，因此，工业应用中产品 IR 的最小标准是由电阻（R）和容量（C），（ $R \times C$ ），所决定的，如下表所示。

EIA 标准要求产品在 25°C 时 $R \times C$ 超过 1000 欧姆-法拉（通常表示成 1000 兆欧-微法），在 125°C 时超过 100 欧姆-法拉（仅为下表中数值的 10%）。

最小 IR 值与电容量的关系		
电容量	最小 IR (GΩ)	最小 RxC (ΩF)
		25°C
0.1pF~0.01uF	100	1000
0.015	66.67	
0.022	45.45	
0.033	30.3	
0.047	21.28	
0.068	14.71	
0.1	10	
0.15	6.67	
0.22	4.55	
0.33	3.03	
0.47	2.13	
0.68	1.47	
1	1	

通常，电介质具有很高的电阻值，测量时往往用 10 的高次方倍欧姆表示：

1 太欧 (TΩ) = 10^{12} 欧姆

1 吉欧 (GΩ) = 10^9 欧姆

1 兆欧 (MΩ) = 10⁶欧姆

除了材料和尺寸外，还有其他一些物理因素会对电容器的绝缘电阻产生影响。

- (a) 表面电阻率：由于表面吸收了杂质和水分，因此介质表面电阻率与体电阻率不一致。
- (b) 缺陷：介质是由多晶体陶瓷聚合物所组成，其微观结构中存在的晶界和气孔总会降低材料的本征电阻率。从统计学角度来说，这些物理缺陷出现的几率与元件体积以及结构复杂程度是成正比的。因此，对于尺寸更大，电极面积更大，电极层数越多的元件来说，其电阻率和绝缘强度均低于小尺寸元件。