

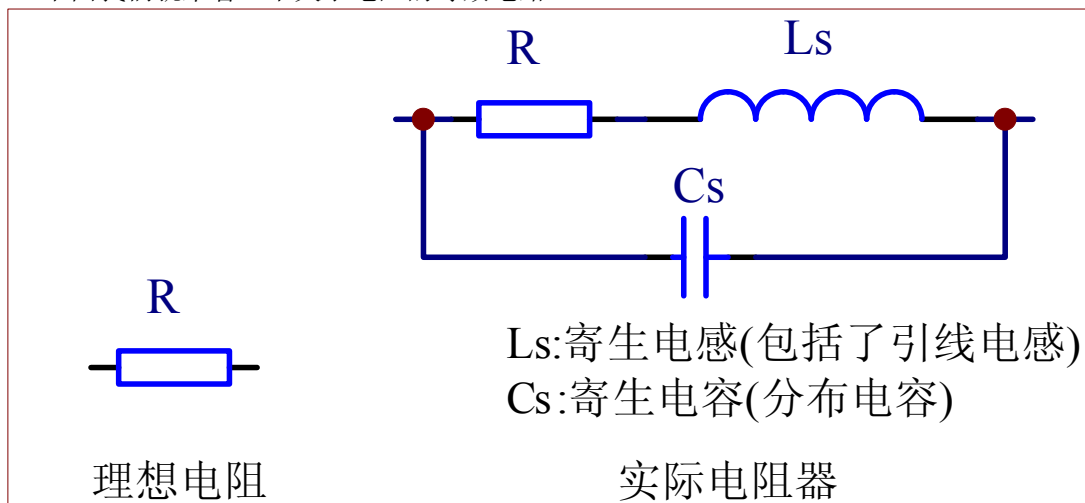
对电阻、电容、电感的认识

1、电阻

电阻是电子产品、设备中使用最多的电子元件，约占总数的 35%，而有些产品如彩电则占 50%以上，因此电阻器质量对产品影响很大。根据材料，可将电阻分为：碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻、实心（碳质）电阻和绕线电阻。

关于电阻的种类、标称值、误差、识别方法、表示方法以及一些主要参数等，我会在后面整理的文档中给出。

下面我们就来看一下关于电阻的等效电路：



L_s 包括电阻体寄生电感与引线电感。电阻体寄生电感与电阻结构有关，线绕电阻体寄生电感较大，非线绕，尤其是贴片电阻体寄生电感小。引线电感与引线长度有关，因此传统轴向引线封装引线寄生电感较大，无引线贴片电阻引线寄生电感最小。

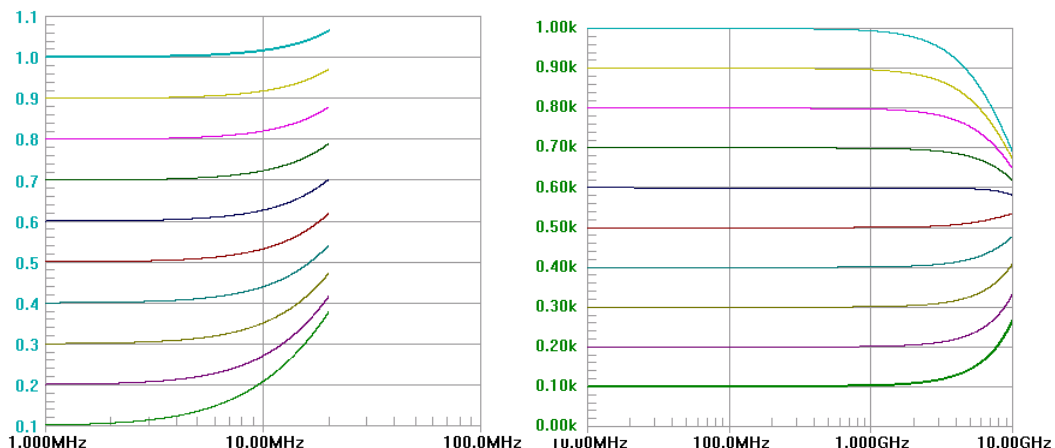
由于寄生电容 C_s 、寄生电感 L_s 与电阻结构有关，与阻值大小几乎无关。因此相同材料、相同结构的电阻，其频率特性与阻值关系非常密切。

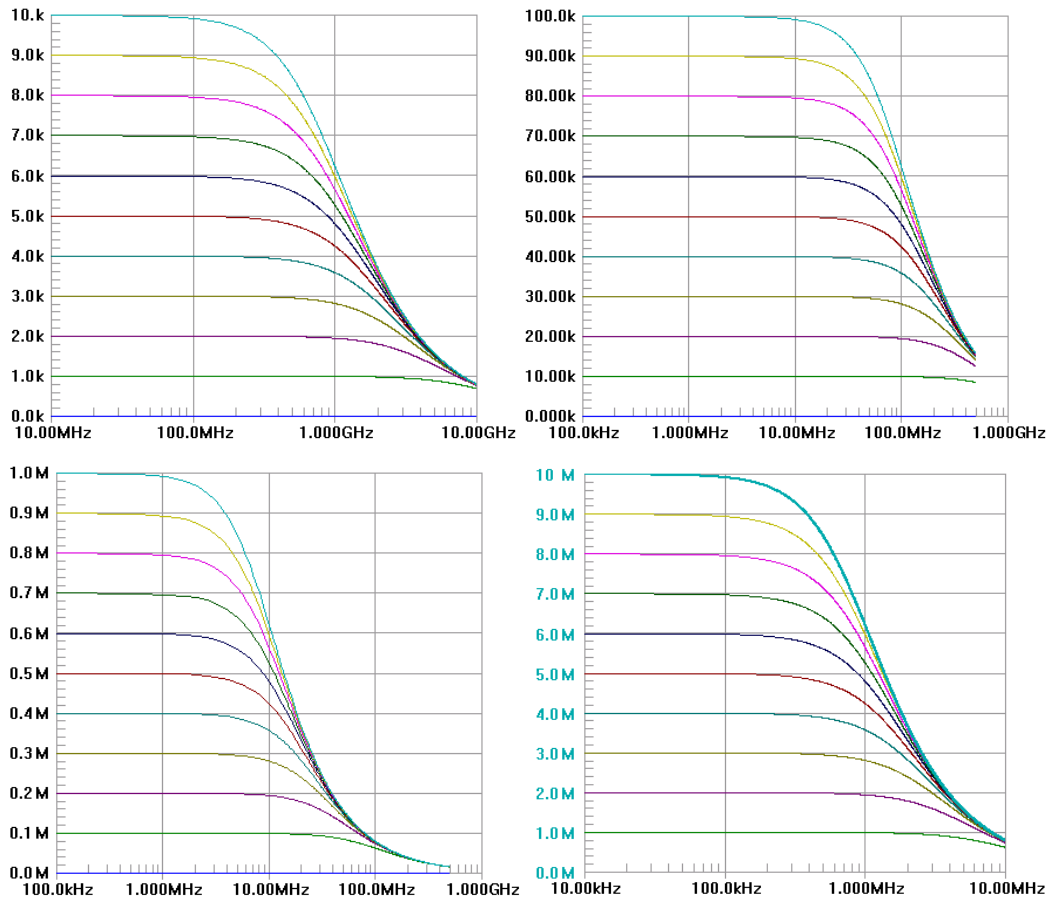
举例说明：

下图以 $C_s=0.02p$ ， $L_s=2.9nH$ 某系列金属膜、金属氧化膜电阻的频率特性。

如下面六幅图所示：

注意：请大家仔细看上边的图，横坐标是电阻阻值，纵坐标是频率





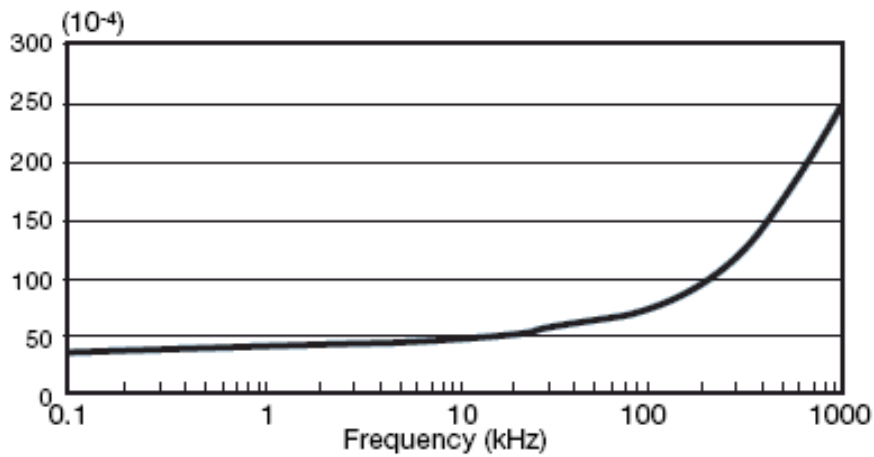
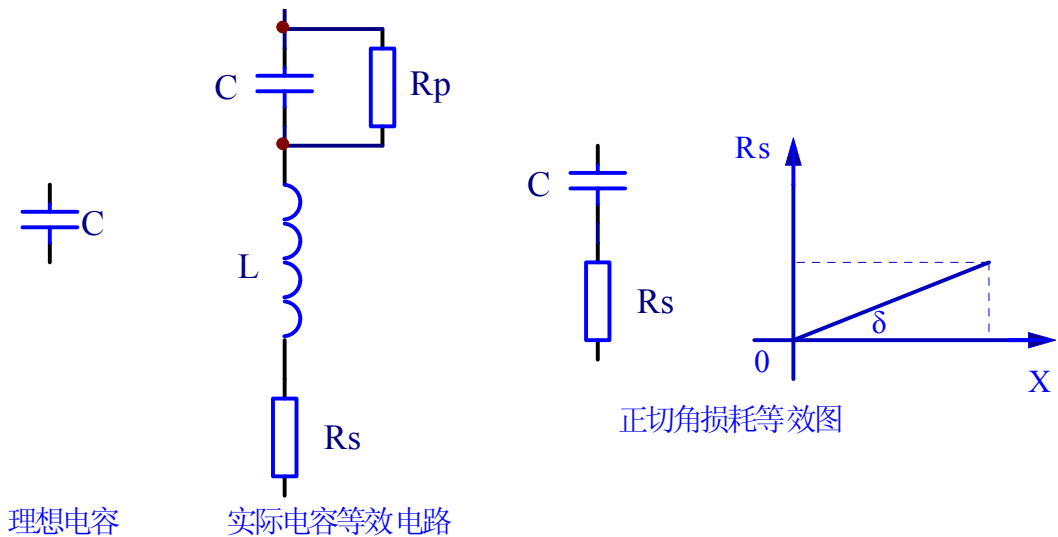
通过上面 6 副图，可见对于高阻值电阻，当频率升高时，寄生电容分流作用不能忽略，例如阻值大于 100K 的电阻，只能工作在频率 $<10\text{MHz}$ 的电路系统中，而阻值大于 1M 的电阻，只能工作在频率 $\leq 1\text{MHz}$ 的电路系统中，因此在滤波、包括高速运放电路中尽量避免使用阻值大于 100K 的电阻。

对于低阻值电阻，当频率升高时，寄生感抗不能忽略，例如阻值小于 1Ω 的电阻，也只能工作在频率 $<10\text{MHz}$ 的电路系统中，而阻值小于 0.1Ω 的电阻，只能工作在频率 $\leq 1\text{MHz}$ 的电路系统中，因此在滤波电路中尽量避免使用阻值小于 1K 的电阻。

因此在高频，尤其是在频率大于 $>1\text{GHz}$ 的微波电路中，一般均使用几十欧~几百欧的电阻。

2、电容

实际电容等效电路如图所示，寄生电感 L 包括了由引线寄生电感与内部寄生电感(大小与电容内部结构，即工艺有关)组成，电解电容来说，内部寄生电感远大于引线寄生电感；对瓷片电容，内部寄生电感较小。



损耗角正切与频率的关系图

对于特定系列、型号电容来说，寄生参数 R_s 、 L 是一定的，如容量关系不大。

例如相同材料、相同尺寸、相同工艺制作的贴片电容，103 容量与 104 容量电容相同。对电容来说，正切角损耗是一个非常重要的参数：通常在 1KHz 频率下测量，因此寄生电感影响可忽略，根据定义

$$\tan \delta = \frac{R_s}{X} = 2\pi f c R_s$$

即寄生电阻

$$R_s = X \cdot \tan \delta$$

$$= \frac{\tan \delta}{2\pi f C}$$

举例说明：

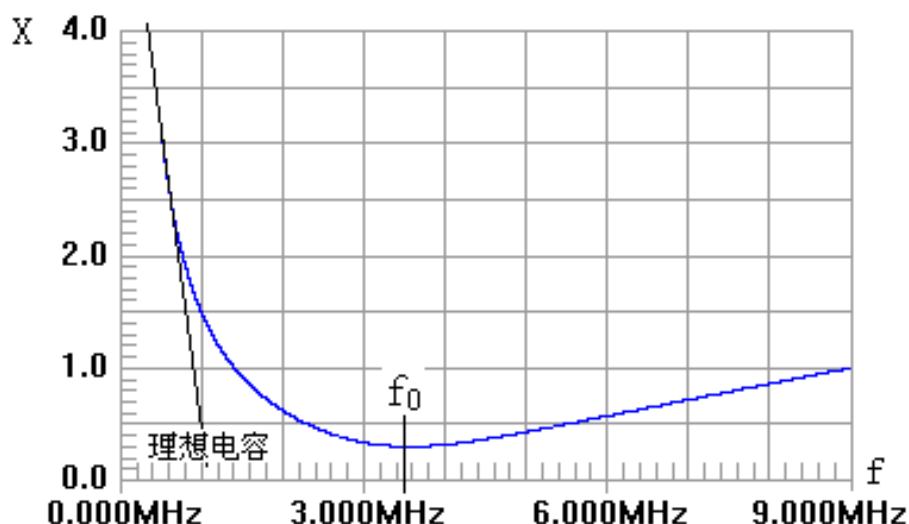
某材料 $\tan \delta = 0.1\%$ ，则寄生电阻 $R_s = \frac{0.001}{2\pi C}$ ，其中 C 为电容容量。当 C 单位取 μF 时，

R_s 单位为 $K\Omega$ 。对于 1μ 电容来说, $R_s=0.16\Omega$; 当材料正切角降为 0.01% 时, 则寄生电阻 $R_s=0.016\Omega$ 。

容量为 0.1μ (损耗电阻 R_s 为 0.3Ω , 寄生电感 $20nH$) 薄膜电容频率特性如图所示, 其共振频率:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 3.56\text{MHz}$$

显然频率 $f < f_0$ 时, 呈容性; $f = f_0$ 时, 呈阻性; 而当 $f > f_0$ 时, 呈感性, 失去了电容特性。可见不同种类、工艺电容寄生电感不同, 共振频率 f_0 不同, 寄生电感 L 大的电容, 如电解电容, 共振频率 f_0 很低, 甚至 $< 1\text{KHz}$, 因此不同种类电容最高工作频率不同; 另一方面, 不同材料电容介质损耗角正切不同, 最高工作频率也不同。总之, 在电路中, 应根据用途、工作频率, 选择相应材料的电容。



有机薄膜电容介质为有机薄膜材料, 主要包括涤纶电容、聚丙烯电容(包括金属化聚丙烯电容)、聚乙脂电容(包括金属化聚乙脂电容)、聚酯电容、聚苯乙烯电容、聚碳酸酯电容等, 外形如图所示

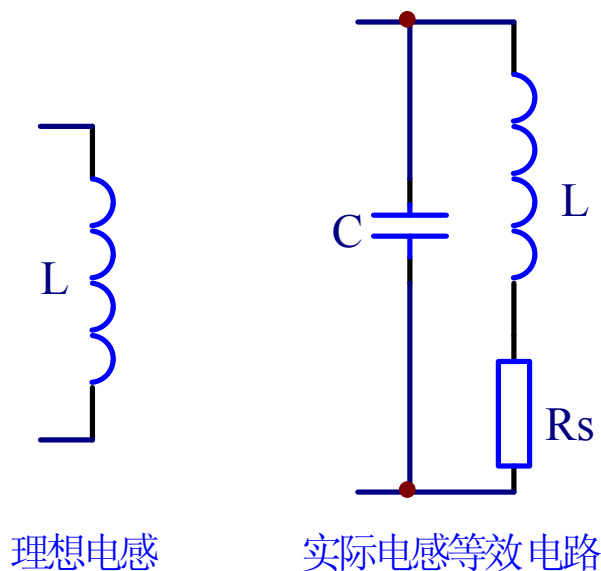


种类	特点			
	耐压(V)	介质损耗 (1KHz, 25℃)	绝缘电阻	用途
聚乙烯电容	50V-100V(偏低)	1%	大	容量较小,通用滤波、耦合。
金属化聚乙烯电容	100-630V(中等)	1%	大	容量较大,通用滤波、耦合。
聚酯(金属化)	50V-630V	0.8%	大	滤波
聚丙烯电容	250-630V(中等)	0.1%(小)	大	高频电路中的滤波、耦合
金属化聚丙烯电容	100-630V(中等)	0.1%(小)	大	容量大,稳定性好,寄生电阻小,电流冲击特性好,可做高频,如开关电源电路的滤波、缓冲、耦合电容。
聚苯乙烯电容		0.01%(很小)	大	容量小,稳定性好,是信息处理滤波电路中的首选电容。

大容量的电解电容,多用 E6 系列标度;小容量电解电容多用 E12 系列标度;容量小于 $1\mu\text{F}$ 以上的无极电容多用 E24 标度。

3、电感

电感线圈由铜导线绕制,等效电路如图所示。



寄生电阻 R_s 包括了绕线电阻、引脚串联电阻以及磁芯损耗电阻三部分组成,其中绕线电阻与线径、长度、铜线电阻率有关;引脚电阻与引线长短、粗细有关;磁芯损耗电阻与磁芯材料特性有关,显然磁芯损耗电阻还与与工作频率有关。寄生电容 C 主要是绕线圈与圈之间的杂散电容(为 pF 级),与绕线工艺有关。

等效导纳:

$$Y = j\omega C + \frac{1}{R_s + j\omega L}$$
$$= \frac{R_s}{R_s^2 + (\omega L)^2} + j \left[\omega C - \frac{\omega L}{R_s^2 + (\omega L)^2} \right]$$

显然:

(1) 当角频率 ω (频率 f) 较小时, 呈电感性。

(2) 当角频率 ω 等于 ω_0 时, 导纳 Y 虚部为 0, 呈现电阻性, 即发生共振。令导纳 Y 虚

部为 0, 即可求出共振角频率 ω_0 。

$$\omega_0 C - \frac{\omega_0 L}{R_s^2 + (\omega_0 L)^2} = 0$$

$$R_s^2 + (\omega_0 L)^2 = \frac{L}{C}$$

线圈品质因素 $Q = \frac{\omega_0 L}{R_s}$ (即线圈共振时感抗与阻抗比), 即 $R_s^2 = \frac{(\omega_0 L)^2}{Q^2}$

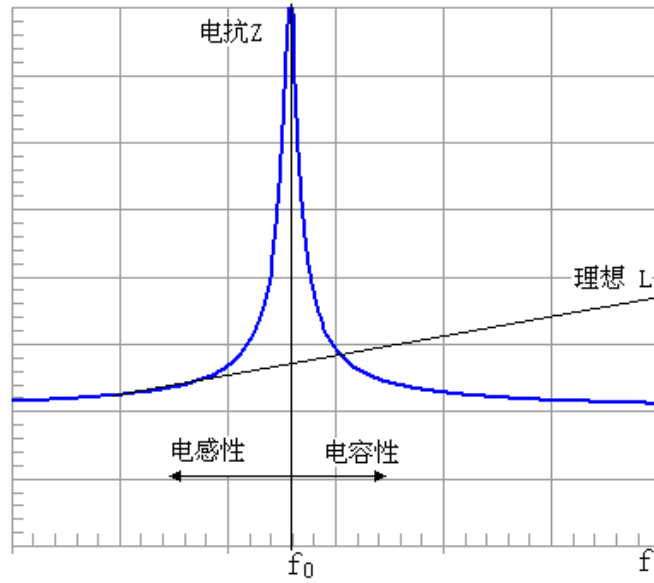
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{Q^2}} \cdot \sqrt{LC}}$$

当线圈品质因素 $Q \gg 1$ 时, $\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ($f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$)

(3) 当角频率 $\omega > \omega_0$ 时, 呈容性。

实际线圈电抗 Z 特性与理想电感 L 差别很大。当频率 f 接近 f_0 时, 寄生电容 C 的影响不能忽略。当频率 $f = f_0$ 时, 呈阻性; 而当频率 $f > f_0$ 时, 呈容性, 失去了电感特性。因

此, 为使线圈在电路中逼近理想电感属性, 最高工作频率 f 一般取 $\frac{1}{2} f_0$ 。



举例说明：

某线圈电感 $L=10\text{mH}$ ，寄生电阻 $R_s=100\ \Omega$ ，寄生电容 $C=2\text{pF}$ ，则共振频率

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 1.126\text{MHz}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R_s} \approx 71$$

在滤波电路中，电感线圈引线也不宜长，引线寄生电感对滤波有益，但引线寄生电阻会消耗额外功率。

关于电阻的基本知识

电阻是电子产品、设备中使用最多的电子元件，约占总数的 35%，而有些产品如彩电则占 50%以上，因此电阻器质量对产品影响很大。根据材料，可将电阻分为：碳膜电阻、金属膜电阻、金属氧化膜电阻、实心（碳质）电阻和绕线电阻。

一、种类

按电阻器(电位器)构成材料分类，常见电阻器(电位器)有以下三种：

1. 碳膜（包括合成碳膜）电阻

阻值范围宽($1\Omega\sim 10M\Omega$)；耐高压；精度差（误差为 5%、10%、20%），高频特性较差，常用作放大电路中的偏置电阻、数字电路中的上拉及下拉电阻。

由于精度低，因此标称阻值及误差用 E6(精度为 20%)、E12（精度为 10%）、E24（精度为 5%）分度。

额定功率范围从 1/8W 到 10W，其中耗散功率为 1/4W、1/2W，偏差为 5%和 10%的碳膜电阻器用得最多。

热稳定性较差，温度系数典型值为 $5000\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 。即温度升高 1°C ，阻值的变化量为百万分之 5000，即千分之五。例如一个标称阻值为 10K 的碳膜电阻，当温度升高 10°C 时，阻值增加 $10\text{K}\times 5\%\times 10$ ，约 0.5K。

2. 金属膜（包括金属氧化膜）电阻

用真空镀膜或阴极溅射工艺，将特定金属或合金(例如镍铬合金、氧化锡或氮化钽)淀积在绝缘基体(如模制酚醛塑料)表面上形成薄膜电阻体，构成的电阻器成为金属膜电阻或金属氧化膜电阻。

阻值范围也宽（从 $10\sim 10M\Omega$ ），精度高（误差为 0.1%~1%），温度系数小（金属膜电阻为 $10\sim 100\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ；金属氧化膜电阻典型值为 $300\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ），噪声低，体积小，频率响应特性好，常用作电桥电路、RC 振荡电路及有源滤波器的参数电阻、高频及脉冲电路、运算放大电路中的匹配电阻。

但耐压较低。

由于精度高，因此标称阻值及误差用 E48(精度为 1%)、E116（精度为 0.5%~1%）分度。阻值用 3 位有效数字表示。

金属氧化膜电阻温度系数比金属膜电阻大一些（300~400ppm/°C），耗散功率较大。

3. 线绕电阻

线绕电阻阻值范围宽（从 0.01Ω~10MΩ）精度高(0.05%)，温度系数小（<10ppm/°C），耗散功率大，但寄生参数（分布电容、寄生电感）大，高频特性差。常用在对阻值有严格要求的电路系统中，例如调谐网络和精密衰减电路。

4. 特种电阻

主要有热敏电阻(包括负温度系数的 NTC 电阻以及正温度系数的 PTC 电阻)、压敏电阻、光敏电阻、气敏电阻及磁敏电阻等。

二、标称值及误差

工业标准电阻、电容、电感大小按 E6、E12、E24、E48、E96、E116、E192 系列规范分度。所谓 E12 分度规范，把阻值分为 12 档；而 E24 分度规范，把阻值分为 24 档，各分度阻值及误差范围如下表所示。

系列	阻值计算及有效数字	误差	说明
E6	$10^{\frac{n}{6}}$ (n=0...5);2 位	20%	低精度电阻、大容量电解电容
E12	$10^{\frac{n}{12}}$ (n=0...11);2 位	10%	低精度电阻、非极性电容及电感
E24	$10^{\frac{n}{24}}$ (n=0...23);2 位	5%	普通精度电阻及电容
E48	$10^{\frac{n}{48}}$ (n=0...47);3 位	1%、2%	半精密电阻
E96	$10^{\frac{n}{96}}$ (n=0...95);3 位	0.5%、1%	精密电阻
E116	$10^{\frac{n}{116}}$ (n=0...115);3 位	0.2%、0.5% 、1%	高精密电阻
E192	$10^{\frac{n}{192}}$ (n=0...191);3 位	0.1%、0.25%、 0.5%	超高精密电阻

工业标准电阻值误差分为：0.05%、0.1%、0.2%、0.25%、0.5%、1%、2%、5%、10%、20%。

各系列标称值如下：

(1) E6 系列标称值(20%)

1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

注：目前大容量电解电容多用 E6 系列分度。

(2) E12 系列标称值(10%)

1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2

注：小容量电解电容、中等精度无极电容用 E12 系列分度。

(3) E24 系列标称值(5%)

1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7 3.0

3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1

注：多用于小容量无极电容、普通精度电阻、标称电感的分度。

E48 系列标准值(1%、2%)：

10.0 10.5 11.0 11.5 12.1 12.7 13.3 14.0 14.7 15.4 16.2 16.9

17.8 18.7 19.6 20.5 21.5 22.6 23.7 24.9 26.1 27.4 28.7 30.1

31.6 33.2 34.8 36.5 38.3 40.2 42.2 44.2 46.4 48.7 51.1 53.6

56.2 59.0 61.9 64.9 68.1 71.5 75.0 78.7 82.5 86.6 90.9 95.3

(2) E96 系列标称值(1%)

10.0	10.2	10.5	10.7	11.0	11.3	11.5	11.8	12.1	12.4	12.7	13.0
13.3	13.7	14.0	14.3	14.7	15.0	15.4	15.8	16.2	16.5	16.9	17.4
17.8	18.2	18.7	19.1	19.6	20.0	20.5	21.0	21.5	22.1	22.6	23.2
23.7	24.3	24.9	25.5	26.1	26.7	27.4	28.0	28.7	29.4	30.1	30.9
31.6	32.4	33.2	34.0	34.8	35.7	36.5	37.4	38.3	39.2	40.2	41.2
42.2	43.2	44.2	45.3	46.4	47.5	48.7	49.9	51.1	52.3	53.6	54.9
56.2	57.6	59.0	60.4	61.9	63.4	64.9	66.5	68.1	69.8	71.5	73.2
75.0	76.8	78.7	80.6	82.5	84.5	86.6	88.7	90.9	93.1	95.3	97.6

(3) E116 系列标称值(0.1%、0.2%、0.5%)

10.0 10.2 10.5 10.7 11.0 11.3 11.5 11.8 12.0 12.1 12.4 12.7 13.0
13.3 13.7 14.0 14.3 14.7 15.0 15.4 15.8 16.0 16.2 16.5 16.9 17.4
17.8 18.0 18.2 18.7 19.1 19.6 20.0 20.5 21.0 21.5 22.0 22.1 22.6
23.2 23.7 24.0 24.3 24.7 24.9 25.5 26.1 26.7 27.0 27.4 28.0 28.7
29.4 30.0 30.1 30.9 31.6 32.4 33.0 33.2 34.0 34.8 35.7 36.0 36.5
37.4 38.3 39.0 39.2 40.2 41.2 42.2 43.0 43.2 44.2 45.3 46.4 47.0
47.5 48.7 49.9 51.0 51.1 52.3 53.6 54.9 56.0 56.2 57.6 59.0 60.4
61.9 62.0 63.4 64.9 66.5 68.0 68.1 69.8 71.5 73.2 75.0 75.5 76.8
78.7 80.6 82.0 82.5 84.5 86.6 88.7 90.9 91.0 93.1 95.3 97.6

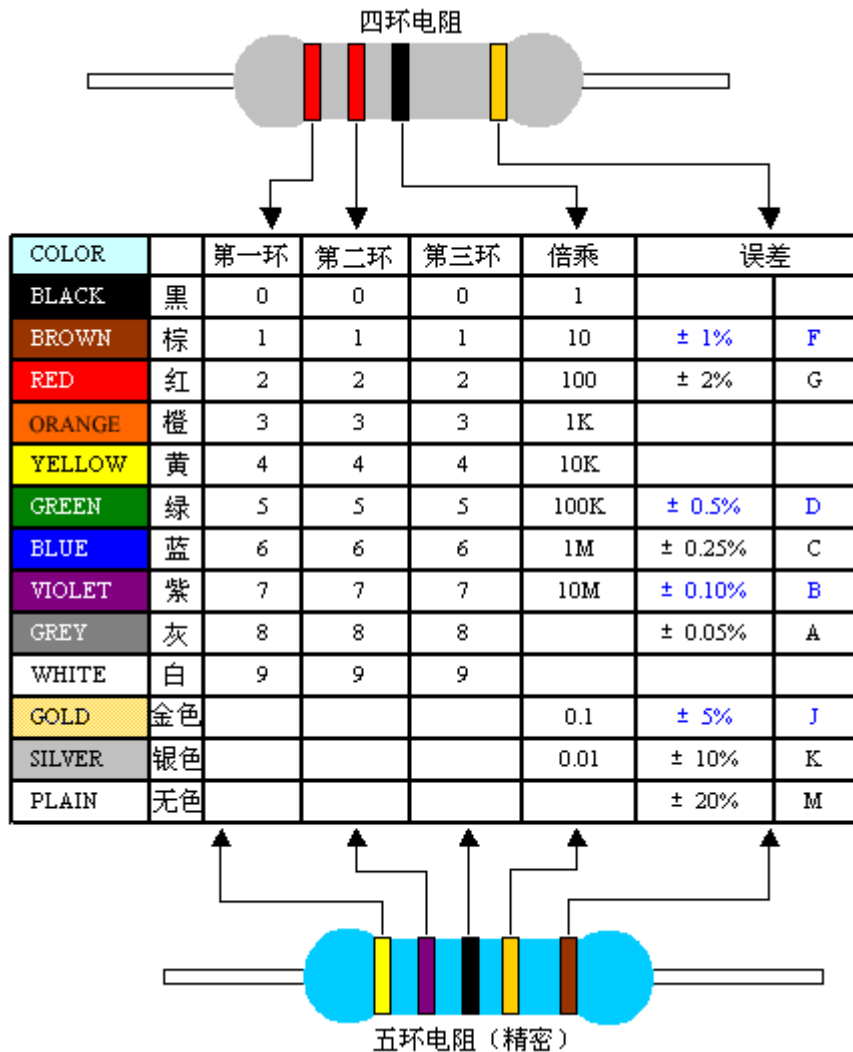
(4) E192 系列标称值(0.1%、0.25%、0.5%)

10.0	10.1	10.2	10.4	10.5	10.6	10.7	10.9	11.0	11.1	11.3	11.4
11.5	11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.4	12.6	12.7	12.9	13.0	13.2
13.3	13.5	13.7	13.8	14.0	14.2	14.3	14.5	14.7	14.9	15.0	15.2
15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.5	16.7	16.9	17.2	17.4	17.6
17.8	18.0	18.2	18.4	18.7	18.9	19.1	19.3	19.6	19.8	20.0	20.3
20.5	20.8	21.0	21.3	21.5	21.8	22.1	22.3	22.6	22.9	23.2	23.4
23.7	24.0	24.3	24.6	24.9	25.2	25.5	25.8	26.1	26.4	26.7	27.1
27.4	27.7	28.0	28.4	28.7	29.1	29.4	29.8	30.1	30.5	30.9	31.2
31.6	32.0	32.4	32.8	33.2	33.6	34.0	34.4	34.8	35.2	35.7	36.1
36.5	37.0	37.4	37.9	38.3	38.8	39.2	39.7	40.2	40.7	41.2	41.7
42.2	42.7	43.2	43.7	44.2	44.8	45.3	45.9	46.4	47.0	47.5	48.1
48.7	49.3	49.9	50.5	51.1	51.7	52.3	53.0	53.6	54.2	54.9	55.6
56.2	56.9	57.6	58.3	59.0	59.7	60.4	61.2	61.9	62.6	63.4	64.2
64.9	65.7	66.5	67.3	68.1	69.0	69.8	70.6	71.5	72.3	73.2	74.1
75.0	75.9	76.8	77.7	78.7	79.6	80.6	81.6	82.5	83.5	84.5	85.6
86.6	87.6	88.7	89.8	90.9	92.0	93.1	94.2	95.3	96.5	97.6	98.8

三、表示法

1. 色环表示

色环法多用于轴向封装电阻(即穿通式封装)。



2. 数码表示法

用三位（对于普通精度）或四位（高精度）数码表示数值。对于电阻来说，单位为 Ω ；对于电容来说，单位为 PF；对于电感来说，单位为 μH 。例如 102（对于电阻来说是 10 00，即 1K Ω ；对于电容来说是 1000PF，即 0.001 μF 或 1nF）、1203、333 等。

数码法多见于贴片电阻（即 SMC 封装）。

3. 文字符号法

文字符号法是指：用数字表示电阻器阻值的有效数字，用字母 R——表示 Ω 、K——表示 K Ω 、M——表示 M Ω 作为阻值单位，且规定整数部分位于单位符号前，小数部分放在单元符号后，如下所示：

0.51 Ω ——用 R51 表示；5.1 Ω ——用 5R1 表示；5.1K Ω ——用 5K1 表示。

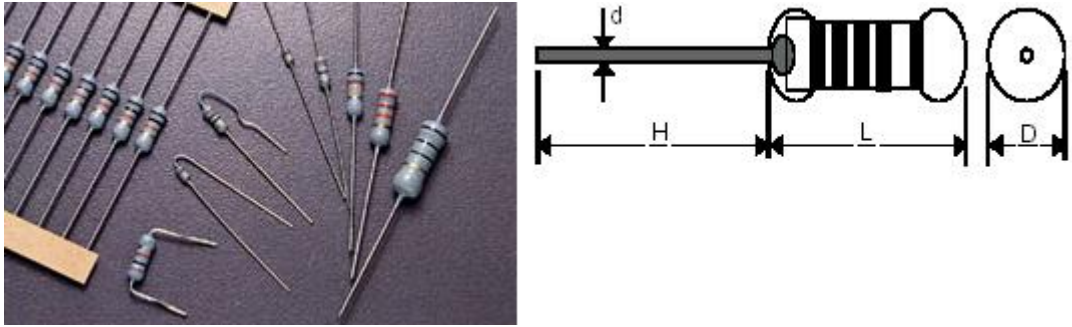
4. 直标法

在电阻体上直接标出阻值及误差，如 10K Ω 5%。早期多用这种方法，目前电阻体积越来越小，直标法已不再适用。

四、封装方式及尺寸

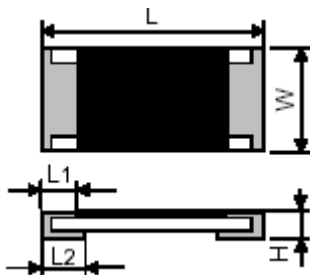
电阻有两种封装方式：轴向引线电阻器（即传统穿通式 AXIAL 封装形式）及贴片电阻

(SMD 封装形式)。



传统穿通式(AXIAL): 结合安装工艺要求, 对于 1/16W、1/8W 以下电阻, 在印制板上可选用 AXIAL0.3 封装方式; 对于 1/4W 电阻, 多选用 AXIAL0.4 或 AXIAL0.5 封装方式; 对于 1/2W、1W 电阻, 可选用 AXIAL0.5 或 AXIAL0.6 封装方式。1W 以下小功率电阻引脚直径为 0.40~0.60mm (即 20mil~25mil)。

在电路板上轴向封装元件引线较长, 引线寄生电感比贴片封装大; 占用电路面积也较大。但散热效果比贴片封装电阻好。



贴片电阻(SMD 封装): 0603 封装规格电阻耗散功率为 1/16W 或 1/10W; 0805 封装规格电阻耗散功率为 1/8W (部分贴片 1/8W 电阻采用 1005 封装规格); 1206 封装规格电阻耗散功率为 1/4W。

五、主要参数

1. 阻值

导电材料在一定程度上阻碍电流流过的物理性能。在保证测试灵敏度的情况下, 应注意测试电压应可能低, 时间尽量短, 避免电阻发热引起误差。并使测量功率小于额定功率的 10%。

2. 标称电阻及允差

实际值与标称值之间的差别。

误差与标称值之间并没有直接的联系, 但阻值越大, 误差越大。

3. 额定功率

在正常大气压力 (650-800mmhg) 和额定温度下, 长期连续工作并能满足性能要求所允许的最大功率。

电阻的额定功率也是采用标准化的额定功率系列值: 0.05(1/16W)、0.125(1/8W)、0.25(1/4W)、0.5(1/2W)、1、2、5、10、25、50、100W。

4. 额定电压

由阻值和功率换算得到的电压，考虑到电击穿，上升到一定值后，受最大工作电压的限制。

5. 最大工作电压

由于尺寸结构的限制所允许的最大连续工作电压。

6. 温度系数

在某一规定的环境温度范围内，温度改变 1 度时电阻的变化量。

$$\text{T.C.P (ppm/°C)} = \frac{R - R_0}{R_0} \times \frac{1}{T - T_0} \times 10^6$$

其中 T_0 温度对应的阻值为 R_0 ； T 温度对应的阻值为 R 。

7. 绝缘电阻

在正常大气压力下，电阻引线 with 电阻壳体之间的绝缘电阻。

8. 噪声

产生于电阻器中的一种不规则的电压起伏，包括热噪声和电流噪声两部分，热噪声是由于导体内部不规则的电子自由运动，使导体任意两点的电压不规则变化。在非线绕电阻中，还有电流噪声，由于电流噪声和电阻两端的工作电压成正比，所以衡量电流噪声指标表示为 $\mu\text{v/v}$ 。

9. 稳定性

在指定的时间内，受到环境，负荷等因素的影响，保持其初始阻值的能力。