

实验三：电阻温度特性实验

一、实验目的

1. 学习与深刻认识空间高低温环境的特点及地面模拟环境试验装置
2. 学习和测量相同阻值的碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻、热敏电阻与温度的关系；
3. 学习和计算电阻温漂系数；

二、实验设备和仪器

高低温交变湿热试验箱、深冷试验箱

六位半数字万用表

三、实验原理

电阻器是在电子电路中最常见的元件，其基本特征是流过它的电流 I 与它两端的电压 V 成正比（欧姆定律），比例系数即为它的阻值 $R=V/I$ 。

电阻器的分类：根据阻值是否可调，可分为固定电阻和可变电阻，后者还可细分为电位器和微调电阻。

根据封装形式的不同，可分为插装电阻和表面贴装电阻。

根据所用材料及结构的不同，可分为碳膜、金属膜、线绕、体金属及金属箔等电阻。

根据在电路中使用场合的不同，可分为分立电阻（用于 PCB 组装）和集成电阻（用于集成电路内部），后者又可分为薄膜电阻和厚膜电阻。

根据阻值是否随外加应力变化，可分为线性电阻（不随外加电压变化）、压敏电阻（随外加电压变化）、热敏电阻（随温度变化）、光敏电阻（随光强变化）等。

温度变化的来源：（1）使用环境温度的变化，（2）电阻耗散功率引起的自身散热过程。

表 1 电阻器的型号命名

一(主称)		二(电阻材料)		三(分类)			四	五
符号	意义	符号	意义	符号	电 阻 器	电位器	序号	区别代号
R	一 般 电 阻 器	T	碳膜	1	普通	普通	用 数 字 表示, 有 的 表 示 外 形 尺 寸	用大写字 母表示
W	电位器	H	合成膜	2	普通	普通		
		S	有机实 芯	3	超 高 频	—		
		N	无机实 芯	4	高阻	—		
		J	金属膜	5	高温	—		
		Y	氧化膜	6	—	—		
		G	沉积膜	7	精密	精密		
		I	玻璃釉 膜	8	高压	函数		
		X	线绕	9	特殊	特殊		
				G	高 功 率	—		
				T	可调	—		
				W		微调		
				D		多圈		

1. 电阻温度系数

电阻温度系数（TCR）表示电阻当温度改变 1 度时，电阻值的相对变化，当温度每升高 1℃时，导体电阻的增加值与原来电阻的比值。定义式如下：

$$TCR=dR/R.dT$$

实际应用时，通常采用平均电阻温度系数，定义式如下：

$$TCR（平均）=（R2-R1）/（R1*（T2-T1））=（R2-R1）/（R1*ΔT） \quad （1）$$

R1--温度为 t1 时的电阻值，Ω；

R2--温度为 t2 时的电阻值，Ω。

电阻器在装配或工作时，由于使用环境温度的变化，或者由于电阻耗散功率

引起的散热过程，会导致自身温度的变化。温度系数用于表征每变化单位温度时电阻器阻值的变化比例，单位为 $1 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，常用 ppm/ $^\circ\text{C}$ ，即每变化 1 摄氏度阻值变化多少百万分之一。温度系数越大，电阻器的温度稳定性越差。常用电阻器温度系数的范围如图 1 所示。其中实线表示典型范围，虚线表示可能的最大范围。不同类型的电阻器温度稳定性从优到劣的次序大致为：金属箔>线绕>金属膜与金属氧化膜>碳膜>有机实芯。

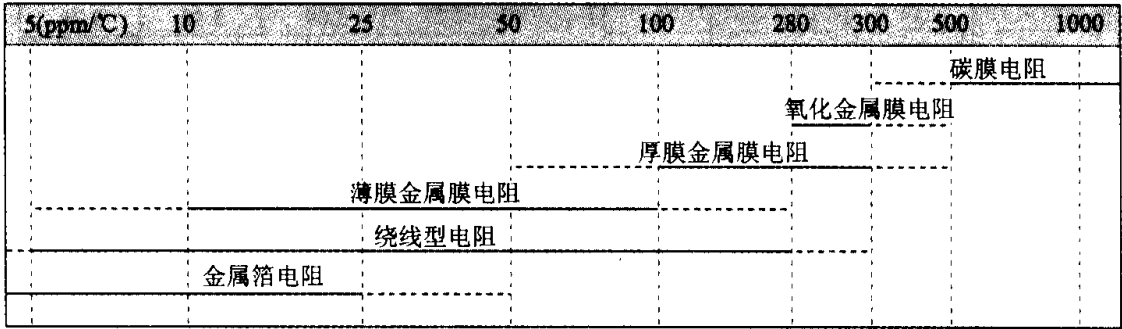


图 1 常用电阻器温度系数的范围

2. 电阻分类及特点

2.1 碳膜电阻

碳膜电阻（碳薄膜电阻）为最早期也最普遍使用的电阻器，利用真空喷涂技术在瓷棒上面喷涂一层碳膜，再将碳膜外层加工切割成螺旋纹状，依照螺旋纹的多寡来定其电阻值，螺旋纹愈多时表示电阻值愈大。最后在外层涂上环氧树脂密封保护而成。其阻值误差虽然较金属皮膜电阻高，但由于价钱便宜。碳膜电阻器仍广泛应用在各类产品上，是目前电子，电器，设备的最基本零组件。

2.2 金属膜电阻

金属膜电阻（金属拍摄电阻）同样利用真空喷涂技术在瓷棒上面喷涂，只是将炭膜换成金属膜（如镍铬），并在金属膜车上螺旋纹做出不同阻值，并且于瓷棒两端度上贵金属。虽然它较碳膜电阻器贵，但低杂音，稳定，受温度影响小，精确度高成了它的优势。因此被广泛应用于高级音响器材，电脑，仪表，国防及太空设备等方面。

2.3 金属合成膜电阻

某些仪器或装置需要长期在高温的环境下操作，使用一般的电阻会未能保持其安定性。在这种情况下可使用金属氧化膜电阻（金属氧化物薄膜电阻器），

	类型	优点	缺点
--	----	----	----

它是利用高温燃烧技术于高热传导的瓷棒上面烧附一层金属氧化薄膜（如氧化锌），并在金属氧化薄膜车上螺旋纹做出不同阻值，然后于外层喷涂不燃性涂料。它能够在高温下仍保持其稳定性高。它还兼备低杂音，稳定，高频特性好的优点。

表 2 电阻器的主要技术指标

参 数 种 类	阻值范围	温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	温度参数 ($1/^{\circ}\text{C}$)	功率范围 (W)	频率 特性	噪声	线性度
金属膜电阻(RJ)	3~10M Ω	-55~+125 -55~+155	$\pm 6 \sim 10 \times 10^{-4}$	1/8~10	优	1~1 μV /V	良
金属氧化膜电阻(RY)	1~200k Ω	-55~+125	$\pm 7 \sim 12 \times 10^{-4}$	1/8~10	优	—	良
炭膜电阻(RT)	10~10M Ω	-55~+100	$-5 \sim 20 \times 10^{-4}$	1/4~15	良	1~5 μV /V	良
线绕电阻(RX)	3~5.6k Ω	-55~+100 -55~+275	$\pm 1 \sim 15 \times 10^{-6}$	2~150	一般 $\leq 50\text{kHz}$		优
精密合金箔电阻(RJ711)	5~20k Ω	-55~+125	$\pm 5 \times 10^{-6}$	1/8~1	优		优
合成实芯电阻器(RS)	4.7~22M Ω	-55~+70 -55~+125	$10 \sim 35 \times 10^{-4}$	1/4~2	差		差
高压玻璃釉电阻器(RI)	1~2000M Ω	-55~+125	$\pm 500 \times 10^{-6}$	1/8~2	良	—	
高阻玻璃釉电位器(RI)	1~1000M Ω	-55~+125	$\begin{matrix} +500 \\ -1000 \end{matrix} \times 10^{-6}$	—	良	—	
合成膜电阻器(RH)	10~10 ⁶ M Ω	-55~+85	$\pm 20 \times 10^{-4}$	—	良	—	良
线绕电位器(WX)	47~47k Ω	-55~+125	$\pm 1 \sim 15 \times 10^{-6}$	一般 $\leq 50\text{Hz}$		优	
有机实芯电位器(WS)	100~4.7M Ω	-55~+125	$\pm 20 \times 10^{-4}$		差	良	
合成炭膜电位器(WH)	100~4.7M Ω	-40~+70	$\pm 40 \times 10^{-4}$	0.1~3	差	10~15 W/V	良
玻璃釉电位器(WI)	4.7~10M Ω	-55~+85	$\pm 1000 \times 10^{-6}$	0.125	良	大	良

表 2 电阻器的优缺点比较

分立元件	碳膜	成本最低；高功率/体积比；宽阻值范围	精度低（5%）；温度稳定性差（1500ppm/℃）；固有噪声大
	金属膜	精度高（0.1%）；温度稳定性好（<1~100ppm/℃）；成本中等；宽阻值范围；低电压系数	内置稳定性设计；耐受功率低
	线绕	精度很高（0.1%）；温度稳定性很好（1ppm/℃）；耐受功率大；固有噪声低	寄生电感大；体积大；价格贵
	体金属或金属箔	精度极高（可达 0.005%）；温度稳定性极好（<1ppm/℃）；寄生电感小；低电压系数	耐受功率小；价格昂贵
	高阻	非常高的阻值（10 ⁸ ~10 ¹⁴ ）；仅用于特定电路	高电压系数（200ppm/V）；价格昂贵
集成元件	厚膜	低成本；耐受功率大；可激光修正；工艺较简单	匹配性一般（0.1%）；温度稳定性差（>100ppm/℃）；
	薄膜	匹配性佳（<0.01%）；温度稳定性好（<100ppm/℃）；中等成本；可激光修正；寄生电容小	尺寸较大；有限的阻值和组态

四、 实验内容与步骤

（1）测量电阻类型及阻值

序号	名称	规格	数量
1	碳膜电阻	100R	2
2	碳膜电阻	1K	2
3	金属膜电阻	100R	2
4	金属膜电阻	1K	2
5	线绕电阻	100R	2
6	热敏电阻	NTC 5D-7	2

（2）为了便于测量放入温箱中的电阻，用两根 0.5 米镀银线对电阻两端进行延长。用电烙铁焊接镀银线与电阻，并在镀银线外端对不同电阻进行标记（阻值、材料、学号），方便多个电阻多人同时测量。

（3）测阻值 1k 碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻和热敏电阻的 R-t 曲线

将四种材料电阻放入高低温交变湿热试验箱中，连接好电源线，打开电源开

关。设置温度湿度，打开设备运行开关，设备运行指示灯发亮（加热/制冷状态），观察恒温箱温度的变化。在温箱温度达到预设值后用六位半数字万用表测出此温度时三种电阻的阻值并记录。注意需等待温度稳定 2~3 分钟后再做测量工作。

（4）重复第三步骤，选择温度为-40℃、-20、0℃、20℃、40℃、60.0℃、80.0℃、100.0℃测出四种电阻在上述温度点时的电阻值。

（5）根据上述实验数据，绘出 R-t（电阻-温度）曲线。

（6）求三种材料电阻的电阻温度系数

根据 R-t 曲线，从图上取相距较远的两点，t₁-R₁ 及 t₂-R₂ 根据（1）式有：

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$$

$$R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$$

联立求解得：

$$\alpha = (R_2 - R_1) / (R_1 t_2 - R_2 t_1)$$

（7）对实验过程及结果进行分析说明

五、 注意事项

1. 环境实验室设备采用双岗操作，本实验中高低温箱需两人同时在场时才可使用；
2. 本实验中测试电阻的温度高于 LCR 仪器的表头耐温范围，因此不能直接将表头放入温箱中进行测量。

附表 1

温度(摄氏度)	-40	-20	0	20	40	60	80	100
碳膜电阻								
碳膜电阻								
金属膜电阻								
金属膜电阻								

线绕电阻								
热敏电阻								