



全国普通高校电子信息类专业规划教材

电子测量原理实验指导书

宋宇 王凡 赵晓旭 编著

清华大学出版社





全国普通高校电子信息类专业规划教材

电子测量原理实验指导书

宋宇 王凡 赵晓旭 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书系统地阐述常用电子测量仪器的工作原理及其正确使用方法,以及围绕这些仪器所展开的实验。全书共 11 章,主要内容包括数字万用表、数字电桥、信号发生器、数字存储示波器、电子电压表、电子计数器、扫频仪、频谱分析仪、逻辑分析仪、虚拟仪器等电子仪器的原理及实验。

本书在选材上具有先进性、系统性和实用性,内容丰富、指导性强,可作为高等院校电子信息类和计算机类专业电子相关的基础实验教材,也可作为电子技术人员和电子爱好者的工具书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子测量原理实验指导书/宋宇,王凡,赵晓旭编著. —北京:清华大学出版社,2016

全国普通高校电子信息类专业规划教材

ISBN 978-7-302-39598-0

I. ①电… II. ①宋… ②王… ③赵… III. ①电子测量技术—实验—高等学校—教学参考资料
IV. ①TM93-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 049749 号

责任编辑:龙启铭 战晓雷

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁 毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:7

字 数:177 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版

印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:19.00 元

产品编号:058977-01

« F OREWORD

前言

本书详细地阐述了常用电子测量仪器的工作原理、性能和正确使用方法等内容,并且围绕这些常用仪器设计了若干个实验。在综合实验的部分,还加入了全国大学生电子竞赛关于测量仪器设计方面的题目。本书涉及的仪器包括数字万用表、数字电桥、信号发生器、数字存储示波器、电子电压表、电子计数器、扫频仪、频谱分析仪、逻辑分析仪和虚拟仪器等。

本书编写思路新颖,实验典型,具有较强的通用性、系统性和实用性。本书的宗旨是使学生掌握现代常用电子测量仪器的原理,通过实验能够正确、熟练地使用仪器,自主制定合理的测量方案和科学处理测量数据的技能。本书既可用于电子测量实验教学,也可用于电子技术课程设计及学生实践能力提高的训练,还可供从事电子技术研究开发的人员参考。

由于作者水平有限,在编写过程中难免出现纰漏,请读者给予批评指正。

作 者

2015 年 1 月

目录

CONTENTS

第 1 章 实验基本知识	1
1.1 电子测量的内容	1
1.2 电子测量仪器的分类	1
1.3 电子测量仪器的主要技术指标	2
1.4 电子测量仪器的使用	3
1.5 实验数据的记录及处理	4
1.6 常用电子元器件简介	4
1.6.1 电阻器	4
1.6.2 电容器	9
1.6.3 电感器	13
思考题	16
第 2 章 元器件基本参数的测量	17
2.1 数字万用表简介	17
2.1.1 数字万用表工作原理	17
2.1.2 数字万用表使用说明	22
2.2 数字电桥简介	23
2.2.1 数字电桥工作原理	24
2.2.2 数字电桥的特点	24
2.2.3 数字电桥的选择	25
2.3 实验	26
2.3.1 实验仪器介绍	26
2.3.2 数字万用表、数字电桥的使用	28
2.3.3 电阻不确定度的测量	30
思考题	31
第 3 章 信号发生器	32
3.1 信号发生器简介	32



3.1.1	信号发生器工作原理	32
3.1.2	信号发生器的分类	33
3.1.3	信号发生器的使用	35
3.2	实验	36
3.2.1	实验仪器介绍	36
3.2.2	函数信号发生器的使用(一)	37
3.2.3	函数信号发生器的使用(二)	38
	思考题	38
第4章	示波器	39
4.1	示波器简介	39
4.1.1	示波器工作原理	39
4.1.2	示波器使用说明	40
4.2	实验	44
4.2.1	实验仪器介绍	44
4.2.2	示波器基本功能	45
4.2.3	示波器观测相位	48
4.2.4	示波器观测脉冲信号	49
4.2.5	示波器观测频谱	50
	思考题	51
第5章	电子电压表	52
5.1	电子电压表简介	52
5.1.1	电子电压表工作原理	53
5.1.2	电压表使用说明	54
5.2	实验	56
5.2.1	实验仪器介绍	56
5.2.2	交流毫伏表实现电压测量(一)	56
5.2.3	交流毫伏表实现电压测量(二)	57
	思考题	58
第6章	电子计数器	59
6.1	电子计数法测量频率简介	59
6.1.1	电子计数器工作原理	59
6.1.2	电子计数器使用说明	62
6.2	实验	62
6.2.1	实验仪器介绍	62
6.2.2	电子计数器测量频率和周期	64
	思考题	65

第 7 章 扫频仪	66
7.1 扫频仪简介	66
7.1.1 扫频仪的工作原理	67
7.1.2 扫频仪使用说明	68
7.2 实验	68
7.2.1 实验仪器介绍	68
7.2.2 扫频仪测量振荡频率	70
7.2.3 扫频仪测量阻抗	71
7.2.4 扫频仪测量电路幅频特性	72
思考题	73
第 8 章 频谱分析仪	74
8.1 频谱分析仪简介	74
8.1.1 实时频谱分析仪工作原理	74
8.1.2 频谱分析仪使用说明	75
8.2 实验	76
8.2.1 实验仪器介绍	76
8.2.2 频谱仪分析信号频谱	77
思考题	78
第 9 章 逻辑分析仪	79
9.1 逻辑分析仪简介	79
9.1.1 逻辑分析仪工作原理	79
9.1.2 逻辑分析仪使用说明	81
9.2 实验	83
9.2.1 实验仪器介绍	83
9.2.2 逻辑分析仪显示数据流	83
9.2.3 逻辑分析仪寻找毛刺	83
思考题	84
第 10 章 综合实验	85
10.1 简单实验	85
10.2 按要求设计实验	85
思考题	94
第 11 章 虚拟仪器	95
11.1 虚拟仪器简介	95
11.1.1 虚拟仪器工作原理	96

11.1.2	虚拟仪器使用说明	96
11.2	实验	97
11.2.1	基本参数测量	97
11.2.2	二极管、三极管的特性测量.....	98
11.2.3	函数发生器和示波器的使用.....	100
11.2.4	幅频特性的测量.....	102
	思考题.....	103
	参考文献.....	104

实验基本知识

1.1 电子测量的内容

电子测量是指以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,对电量和非电量进行的测量。其中电量测量可分为以下几个方面。

1. 电能量测量

电能量测量包括各种频率波形下的电压、电流、功率等的测量。

2. 电信号特性测量

电信号特性测量包括波形、频率、周期、相位、失真度、调幅度、调频指数及数字信号的逻辑状态等的测量。

3. 电路元件参数测量

电路元件参数测量包括电阻、电感、电容、阻抗、品质因数及电子器件的参数等的测量。

4. 电子设备的性能测量

电子设备的性能测量包括增益、衰减、灵敏度、频率特性、噪声指数等的测量。

上述各项测量内容中,尤以频率、时间、电压、相位、阻抗等基本电参数的测量更为重要,它们往往是其他参数测量的基础。如放大器的增益测量实际上就是其输入端、输出端电压测量;脉冲信号波形参数的测量可归结为电压和时间的测量;许多情况下电流测量是不方便的,就以电压测量来代替。同时,由于时间和频率测量具有其他测量所不可比拟的精确性,因此人们越来越关注把其他待测内容转换成时间或频率的测量方法和技术。

1.2 电子测量仪器的分类

电子测量仪器的种类繁多,一般分为专用仪器和通用仪器两大类。专用仪器是指为某一个或几个专用目的而设计的仪器,一般不做他用。通用仪器是为测量元器件参量或一般设备性能而设计的仪器,它能用于多种器件和设备的测量。本书所涉及的测量仪器全部为通用仪器。按通用仪器的功能,大致可分为以下几类。

1. 电平测量仪器

电平测量仪器包括各种模拟式电压表、毫伏表、数字式电压表等。

2. 电路参数测量仪器

电路参数测量仪器包括各类电桥、Q表、 R 、 L 、 C 测试仪及晶体管或集成电路参数测试仪、图示仪等。

3. 频率、时间、相位测量仪器

频率、时间、相位测量仪器主要有电子计数式频率计、石英钟、数字式相位计、波长计等。

4. 波形测量仪器

波形测量仪器主要指各类示波器。如通用示波器、多踪示波器、多扫描示波器、取样示波器以及记忆和数字存储示波器等。

5. 信号分析仪器

信号分析仪器包括失真度仪、谐波分析仪、频谱分析仪等。

6. 模拟电路特性测试仪器

模拟电路特性测试仪器包括扫频仪、噪声系数测试仪、网络特性分析仪等。

7. 数字电路特性测试仪器

数字电路特性测试仪器主要指逻辑分析仪。这类仪器内部多带有微处理器或通过接口总线与外部计算机相连,是数据域测量中不可缺少的设备。

8. 测试用信号源

测试用信号源包括各类低频和高频信号发生器、脉冲信号发生器、函数发生器、扫频和噪声信号发生器等。由于其主要功能是作为测试用信号源,因此也叫供给量仪器。

1.3 电子测量仪器的主要技术指标

电子测量仪器的技术指标也称性能指标,用来说明仪器能实现何种测量功能,以及完成这些功能的优劣程度。电子测量仪器的技术指标主要包括以下几个方面。

1. 频率范围

测量正弦信号时,要考虑这一指标。如果被测信号含有许多谐波,则测量仪器的频率范围应同时满足基波和高次谐波。

2. 量程

量程指仪器测量值的范围,仪器常把一个大的测量值范围分成多个小量程挡来测量。

3. 精度

精度指测量仪器的读数或测量结果与被测量真值相一致的程度。对精度目前还没有一个公认的定量的数学表达式,因此常作为一个笼统的概念来使用,其含义是:精度高,表明误差小;精度低,表明误差大。因此,精度不仅用来评价测量仪器的性能,也是评定测量结果最主要、最基本的指标。精度又可用精密度、正确度和准确度3个指标加以表征。

4. 稳定度

稳定性通常用稳定度和影响量两个参数来表征。

稳定度也称稳定误差,是指在规定的区间,其他外界条件恒定不变的情况下,仪器示值变化的大小。造成这种示值变化的原因主要是仪器内部各元器件的特性、参数不稳定

和老化等因素。稳定度可用示值绝对变化量与时间一起表示,也可用示值的相对变化率与时间一起表示。

影响量或影响误差是指由于电源电压、频率、环境温度、湿度、气压、振动等外界条件变化而造成的仪表示值的变化量。

5. 输入阻抗

像电压表、示波器等类仪表,由于测量时并接于待测电路两端,所以测量仪表的接入会改变被测电路的阻抗特性,这种现象称为负载效应。为了减小测量仪表对待测电路的影响,提高测量精度,通常对这类测量仪表的输入阻抗都有一定要求。另外,对信号源等供给量仪器,还要考虑输出阻抗,在高频尤其是微波测量等场合,还必须注意阻抗的匹配。

6. 灵敏度

灵敏度表示测量仪表对被测量变化的敏感程度,一般定义为测量仪表指示值(指针的偏转角度、数码的变化、位移的大小等)增量 Δy 与被测量增量 Δx 之比。例如,示波器在单位输入电压的作用下,示波管荧光屏上光点偏移的距离就定义为它的偏转灵敏度,单位为 cm/V 、 cm/mV 等。对示波器而言,偏转灵敏度的倒数称为偏转因数,单位为 V/cm 、 mV/cm 或 mV/div (每格)等。出于习惯用法和测量电压读数的方便,也常把偏转因素当作灵敏度。

7. 线性度

线性度是测量仪表输入输出特性之一,表示仪表的输出量(示值)随输入量(被测量)变化的规律。若仪表的输出为 y ,输入为 x ,两者关系用函数 $y=f(x)$ 表示,如果 $y=f(x)$ 为 y - x 平面上过原点的直线,则称为线性刻度特性,否则称为非线性刻度特性。由于各类测量仪器的原理各异,不同的测量仪器可能呈现不同的刻度特性。

8. 动态特性

动态特性表示仪表的输出响应随输入变化的能力。例如示波器的垂直偏转系统,由于输入电容等因素的影响,造成输出波形对输入信号的滞后与畸变,示波器的瞬态响应就表示了这种仪器的动态特性。

并非所有仪器都用上述性能指标加以考核。另外,有些测量仪器除了上述指标特性外,还有其他技术要求。

1.4 电子测量仪器的使用

在使用电子测量仪器之前,要选择合适的电子测量仪器,选择时主要考虑下列因素:被测量本身的特性、所要求的测量准确度、测量环境及现有测量设备等。

在使用电子测量仪器之前,先看仪器的说明书,要做到正确使用测量仪器,否则,即便使用价值昂贵的精密仪器设备,也不一定能够得到准确的结果,甚至可能损坏测量仪器和被测设备。

在使用电子仪器前后以及在使用过程中,一般都应注意下述事项,以确保安全,防止事故,减少故障。

(1) 在开机通电前,应检查仪器设备的工作电压与市点交流电压是否相符;检查仪器设备的电源电压变换装置是否正确地插置在响应电压的部位;检查仪器面板上各种开关、旋钮、度盘、接柱、插孔等是否松脱或滑位。如果发生这些现象应加以紧固或整位,以防止因此



而拉断仪器内部连线,甚至造成开断、短路以及接触不良等人为故障。

(2) 在开机通电前,应检查电子仪器的接地情况是否良好。这是关系到测量的稳定性、可靠性和人身安全的重要问题。

(3) 在开机通电时,应先接通电子仪器上的“低压”开关,待仪器预热 5~10 分钟后,再接通“高压”开关。否则可能引起仪器内部整流电路的器件产生击穿等故障。

(4) 在开机通电时,应注意检查仪器的工作情况。

(5) 在开机通电时,如果发现仪器的保险丝烧断,应调换相同容量的熔丝管后再开机通电。

(6) 对于内部有通风设备的电子测量仪器,在开机通电后,应注意仪器内部电风扇是否正常运转。

(7) 在使用仪器过程中,对于面板上各种旋钮、开关、度盘等的扳动或调节动作应缓慢稳妥,不可强硬操作。

1.5 实验数据的记录及处理

实验记录的基本要求是真实和细心。除了要记录下实验中的有关现象、测量的原始数据及波形图外,对于实验中出现的异常现象以及与理论值或估计值相差很大的测量数据,在未查明原因时,也要如实记录。因为有些异常现象可能恰好反映了测量装置的某些隐患,也可能导致某种新发现或新发明。

数据处理是对测量数据进行处理,包括:确定被测量的最佳结果及其误差,分析和整理出科学结论,用一定的形式表示结果,必要时,需要将数据绘制成曲线或归纳成经验公式。

1.6 常用电子元器件简介

电子电路中,常用的元器件有电阻器、电容器、电感器等分立元件和集成电路等。电子元器件是一个品种繁多、数量庞大的电子基础产品,它是组装任何一个仪器仪表、电子装置、设备和系统的基础。目前随着电子技术和信息技术的飞速发展,合理地选用电子元器件关系到电子电路设计的水平,电子元器件的质量直接决定电子电工产品性能的优劣。

1.6.1 电阻器

电阻器是组成电子电路不可缺少的元件,是一种消耗电能的元件,其数值与工作频率无关。电阻器在电路中用做分压器、分流器和负载电阻,它与电容器一起可以组成滤波器及延时电路,在电源和控制电路中用做取样电阻,在晶体管电路中用做偏置电阻以确定工作点。用电阻还可以进行电路的阻抗匹配,进行降压和限流,在电源电路中用做去耦电阻等。

1. 电阻型号命名方法

根据国家 GB 2470-81《电子设备用电阻器、电容器型号命名方法》的规定,国产电阻的型号由 4 部分组成(不适用于敏感电阻),见表 1.1。

表 1.1 电阻型号的命名

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：特征			第四部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	电阻	电位器	
R W	电阻	T	碳膜	1	普通	普通	对主称、材料相同,仅性能指标或尺寸大小有区别,但基本不影响互换使用的产品,给予同一序号;若性能指标、尺寸大小明显影响互换时,则在序号后面用大写字母作为区别代号
		H	合成膜	2	普通	普通	
		S	有机实心	3	超高频		
		N	无机实心	4	高阻		
		J	金属膜	5	高温		
		Y	氧化膜	6			
	电位器	C	沉积膜	7	精密	精密	
		I	玻璃釉膜	8	高压	特殊函数	
		P	硼酸膜	9	特殊	特殊	
		U	硅酸膜	G	高功率		
		X	线绕	T	可调		
		M	压敏	W		微调	
		G	光敏	D		多圈	
		R	热敏	B	温度补偿用		
				C	温度测量用		
				P	旁热式		
				W	稳压式		
				Z	正温度系数		

2. 电阻器的标注方法

一般电子元件的标注应反映出它们的种类、材料及主要电气参数。电阻器常用的标注方法有直标法、文字符号法和色标法 3 种。

1) 直标法

一般用数字和单位符号直接地标称电阻值并印刷在电阻表面,这种方法主要用于功率比较大的电阻。如电阻表面上印有 RXYC-50-T-1k5- $\pm 10\%$,其含义是耐潮被釉线绕可调电阻器,额定功率为 50W,阻值为 1.5k Ω ,允许误差为 $\pm 10\%$ 。

2) 文字符号法

传统的电阻器文字符号标注是将电阻器的阻值、精度、功率、材料等用文字符号在电阻体上表示出来。如阻值单位用 Ω 、k Ω 、M Ω 表示,精度用等级 J($\pm 5\%$)、K($\pm 10\%$)、M($\pm 20\%$),电阻器的材料可通过外表的颜色予以区别等。随着电子元件的不断小型化,特别是表面安装元器件(SMC 和 SMD)的制造工艺不断进步,使得电阻器的体积越来越小,其元件表面上标注的文字符号也作出了相应改革。一般仅用 3 位数字标注电阻器的数值,精

度等级不再表示出来(一般小于±5%)。具体规定如下:

- (1) 元件表面涂以黑颜色表示电阻器。
- (2) 电阻器的基本标注单位是欧(Ω),其数值大小用 3 位数字标注。
- (3) 对于 10 个基本标注单位以上的电阻器,前两位数字表示数值的有效数字,第三位数字表示数值的倍率。如 100 表示其阻值为 $10\times10^0=10\Omega$;223 表示其阻值为 $22\times10^3=22\text{k}\Omega$ 。
- (4) 对于 10 个基本标注单位以下的元件,第一位、第三位数字表示数值的有效数字,第二位用字母 R 表示小数点。如 3R9 表示其阻值为 3.9Ω 。

3) 色标法

小功率电阻器使用最广泛的是色标法,根据色码形式的不同,用不同颜色的色环或色点标志在电阻表面上,以表示电阻的标称阻值和允许偏差,见表 1.2。

表 1.2 电阻色标对应颜色意义

颜色	有效数字第一位数	有效数字第二位数	倍率	允许误差
棕色	1	1	10^1	±1
红色	2	2	10^2	±2
橙色	3	3	10^3	—
黄色	4	4	10^4	—
绿色	5	5	10^5	±0.5
蓝色	6	6	10^6	±0.2
紫色	7	7	10^7	±0.1
灰色	8	8	10^8	—
白色	9	9	10^9	—
黑色	0	0	10^0	—
金色	—	—	10^{-1}	±5
银色	—	—	10^{-2}	±10
无色	—	—	—	±20

一般,用背景区别电阻器的类别,如浅色(淡绿色、淡蓝色、浅棕色)表示碳膜电阻,红色表示金属或金属氧化膜电阻,深绿色表示线绕电阻。用色环表示电阻器的数值及精度,普通电阻器大多用 4 个色环表示其阻值和允许偏差,第一、二环表示有效数字,第三环表示倍率(乘数),与前三环距离较大的第四环表示精度;精密电阻器采用 5 个色环标志,第一、二、三环表示有效数字,第四环表示倍率,与前四环距离较大的第五环表示精度。

色标法具有颜色醒目、标志清晰、无方向性的优点,小型化的电阻都采用色标法。

3. 电阻的主要参数

电阻的主要参数有电阻值及精度、额定功率、最大工作电压、高频特性、噪声电动势、非线性度及稳定性等。

4. 电阻的分类

- 1) 薄膜类
- 薄膜类电阻是在玻璃或陶瓷基体上沉积一层碳膜、金属膜、金属氧化膜等形成电阻薄膜,膜的厚度一般在几微米以下。

(1) 金属膜电阻(型号: RJ)。在陶瓷骨架表面,经真空高温或烧渗工艺蒸发沉积一层金属膜或合金膜。其特点是:精度高,稳定性好,噪声低,体积小,高频特性好,且允许工作环境温度范围大($-55\sim+125^{\circ}\text{C}$)、温度系数低($(50\sim100)\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)。目前是组成电子电路应用最广泛的电阻之一。常用额定功率有 $1/8\text{W}$ 、 $1/4\text{W}$ 、 $1/2\text{W}$ 、 1W 、 2W 等,标称阻值在 $10\Omega\sim 10\text{M}\Omega$ 之间。

(2) 金属氧化膜电阻(型号: RY)。在玻璃、瓷器等材料上,通过高温以化学反应形式生成以二氧化锡为主体的金属氧化层。该电阻器由于氧化膜膜层比较厚,因而具有极好的脉冲、高频和过负荷性能,且耐磨,耐腐蚀,化学性能稳定。但其阻值范围窄,温度系数比金属膜电阻差。

(3) 碳膜电阻(型号: RT)。在陶瓷骨架表面上,将碳氢化合物在真空中通过高温蒸发分解沉积成碳结晶导电膜。碳膜电阻价格低廉,阻值范围宽($10\Omega\sim 10\text{M}\Omega$),温度系数为负值。常用额定功率为 $1/8\text{W}\sim 10\text{W}$,精度等级为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$,在一般电子产品中大量使用。

2) 合金类

合金类电阻是用块状电阻合金拉制成合金线或碾压成合金箔制成的电阻,主要包括:

(1) 线绕电阻(型号: RX)。将康铜丝或镍铬合金丝绕在磁管上,并将其外层涂以珐琅或玻璃釉加以保护。线绕电阻具有高稳定性、高精度、大功率等特点。温度系数可做到小于 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,精度高于 $\pm 0.01\%$,最大功率可达 200W 。但线绕电阻的缺点是自身电感和分布电容比较大,不适合在高频电路中使用。

(2) 精密合金箔电阻(型号: RJ)。在玻璃基片上黏合一块合金箔,用光刻法蚀出一定图形,并涂敷环氧树脂保护层,引线封装后形成。该电阻器的最大特点是具有自动补偿电阻温度系数功能,故精度高,稳定性好,高频响应好,这种电阻的精度可达 $\pm 0.001\%$,稳定性为 $\pm 5\times 10^{-4}\%/ \text{年}$,温度系数为 $\pm 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,是一种高精度电阻。

3) 合成类

合成类电阻是将导电材料与非导电材料按一定比例混合成不同电阻率的材料后制成的电阻。该类电阻最突出的优点是可靠性高,但电性能和稳定性比较差。常在某些特殊的领域内使用(如航空航天工业、海底电缆等)。合成类电阻种类比较多,按用途可分为通用型、高阻型和高压型等。

(1) 金属玻璃釉电阻(型号: RI)。以无机材料做黏合剂,用印刷烧结工艺在陶瓷基体上形成电阻膜。该电阻具有较高的耐热性和耐潮性,常用它制成小型化贴片式电阻。

(2) 实芯电阻(型号: RS)。用有机树脂和碳粉合成电阻率不同的材料后热压而成。体积与相同功率的金属膜电阻相当,但噪声比金属膜电阻大。常用额定功率为 $4.7\text{W}\sim 22\text{mW}$,精度等级为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

(3) 合成膜电阻(RH)。合成膜电阻可制成高压型和高阻型。高阻型电阻的额定功率范围为 $10\sim 106\text{mW}$,允许误差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 。高压型电阻的额定功率范围为 $47\sim 1000\text{mW}$,耐压分 10kV 和 35kV 两挡。

(4) 厚膜电阻网络(电阻排)。它是高铝瓷做基体,综合掩膜、光刻、烧结等工艺,在一块基片上制成多个参数性能一致的电阻,连接成电阻网络,也叫集成电阻。集成电阻的特点是温度系数小,阻值范围宽,参数对称性好。目前已越来越多地应用到各种电子设备中。

4) 敏感类

使用不同材料和工艺制造的半导体电阻,具有对温度、光照度、湿度、压力、磁通量、气体浓度等非电物理量敏感的性质,这类电阻叫敏感电阻。包括以下几种:

(1) 压敏电阻。主要有碳化硅和氧化锌压敏电阻,氧化锌具有更多的优良特性。

(2) 湿敏电阻。由感湿层、电极、绝缘体组成,湿敏电阻主要包括氯化锂湿敏电阻、碳湿敏电阻、氧化物湿敏电阻。氯化锂湿敏电阻随湿度上升而电阻减小,缺点为测试范围小,特性重复性不好,受湿度影响大。碳湿敏电阻缺点为低温灵敏度低,阻值受温度影响大,有老化特性,目前使用较少。氧化物湿敏电阻性能优越,可长期使用,温度影响小,阻值与湿度变化呈线性关系,有氧化锡、镍铁酸盐等材料。

(3) 光敏电阻。光敏电阻是电导率随光量力的变化而变化的电子元件,当某种物质受到光照时,载流子的浓度增加,从而增加了电导率,这就是光电导效应。

(4) 气敏电阻。利用某些半导体吸收某种气体后发生氧化还原反应制成,主要成分是金属氧化物,主要品种有金属氧化物气敏电阻、复合氧化物气敏电阻、陶瓷气敏电阻等。

(5) 力敏电阻。力敏电阻是一种阻值随压力变化而变化的电阻,国外称为压电电阻器。所谓压力电阻效应即半导体材料的电阻率随机械应力的变化而变化的效应。可制成各种力矩计、半导体话筒、压力传感器等。主要品种有硅力敏电阻器、硒碲合金力敏电阻器。相对而言,合金电阻器具有更高的灵敏度。

5. 电阻的使用说明

(1) 为提高电阻器的稳定性,电阻器使用前应进行人工老化处理。常用的老化处理方法是给电阻器两端加一个直流电压,使电阻器承受的功率为额定功率的 1.5 倍,处理时间为 5 分钟,处理后测量电阻值。

(2) 电阻器在使用前,应对电阻器的阻值及外观进行检查,将不合格的电阻器剔除,以防电路存在隐患。

(3) 选择合适的电阻器主要从以下几个方面进行:

- ① 按照不同用途及使用条件,选用适合型号的电阻。
- ② 正确选用电阻的阻值及允许偏差。
- ③ 额定功率的选择。
- ④ 电阻的质量选择。

(4) 电阻器的安装。电阻器安装前应先对引线挂锡,以确保焊接的牢固性。电阻器安装时,电阻器的引线不要从根部打弯,以防折断。较大功率的电阻器应采用支架或螺钉固定,以防松动造成短路。电阻器焊接时动作要快,不要使电阻器长期受热,以防引起阻值变化。电阻器安装时,应将标记向上或向外,以便于检查及维修。

(5) 电阻器的功率大于 10W 时,应保证有散热的空间。

(6) 存放和使用电阻器时,应保证电阻器外表漆膜的完整,以免降低防潮性能。

(7) 电阻器的更换。当电阻器损坏而当时又无合适的电阻器可换时,应遵守以下原则:

① 用阻值较小的电阻器串联,代替大阻值的电阻器,或用阻值较大的电阻器并联代替小阻值的电阻器。

② 小功率电阻器代替大功率电阻器时,可采用串联或并联的方法。当串、并联的小功率电阻器的阻值不相等时,应计算它们各自分担的功率,使总功率大于原电阻器的额定

功率。

③ 代用的电阻器应遵循就高不就低、就大不就小的原则,即用质量高的电阻器代替质量低的电阻器,用大功率的电阻器代替小功率的电阻器。

(8) 当需要测量电路中的电阻器的阻值时,应在切断电源的条件下断开电阻器一端进行阻值的测量。否则,电路中其他元件的并联阻值会造成误判。

1.6.2 电容器

电容器在电子电路中是不可缺少的电子元件,它具有隔断直流和分离各种频率的能力,在电路中主要起隔断直流、耦合、旁路、滤波、消振、定时和延时、整形稳压及谐振等作用。电容器还具有储存电荷、记忆信息的能力,在电路中发挥极其重要的作用。

1. 电容器的分类

电容器的分类有很多,可以从不同的角度来分类。

1) 根据极性分类

电容器可分为有极性电容和无极性电容(包括无极性可变电容和无极性固定电容)。常见到的电解电容就是有极性电容,它是有正负极之分的。

2) 根据介质材料分类

电容器可分为有机介质电容器(包括漆膜电容器、混合介质电容器、纸介电容器、有机薄膜介质电容器、纸膜复合介质电容器等)、无机介质电容器(包括陶瓷电容器、云母电容器、玻璃膜电容器、玻璃釉电容器等)、电解电容器(包括铝电解电容器、钽电解电容器、铌电解电容器、钛电解电容器及合金电解电容器等)和气体介质电容器(包括空气电容器、真空电容器和充气电容器等)。

3) 根据作用分类

电容器可分高频电容器、低频电容器、高压电容器、低压电容器、耦合电容器、旁路电容器、滤波电容器、中和电容器、调谐电容器。

4) 根据封装外形分类

电容器可分圆柱形电容器、圆片形电容器、管形电容器、叠片形电容器、长方形电容器、珠状电容器、方块状电容器和异形电容器。

5) 根据引出线分类

电容器可分轴向引线型电容器、径向引线型电容器、同向引线型电容器和无引线型(贴片式)电容器。

2. 电容器型号的命名方法

各国电容器型号的命名不统一,我国电容器产品型号的命名一般由4部分组成。

第一部分:用字母表示名称,电容器为C。

第二部分:用字母表示材料。

第三部分:用数字表示分类,个别用字母表示。

第四部分:用数字表示序号。

表示材料的字母含义:A-钽电解,B-聚苯乙烯等非极性薄膜,C-高频陶瓷,D-铝电解,E-其他材料,G-合金电解,H-复合介质,I-玻璃釉,J-金属化纸,L-涤纶等极性有机薄膜,N-铌电解,O-玻璃膜,Q-漆膜,T-低频陶瓷,V-云母纸,Y-云母,Z-纸介。