

第 1 章 电路实验基础知识

1.1 概 述

电路基础实验是进入技术基础课学习阶段的第一门实验课。它以应用理论为基础、专业技术为指导，是一门操作性很强的课程，并侧重于理论指导下的实践、技能的培训及综合能力的提高，旨在将所学理论过渡到应用，为后续实验课、技术基础课、专业课的学习及今后的工作打下一个良好的基础。

电路基础实验是实际能力与技能培养教学环节的入门课程，它的开设有别于中学及大学物理中的实验，已不再是为了巩固理论知识、验证某个定理，或者观察几个电路的功能是否与理论一致，而是侧重于在实验室这个模拟现场的环境里，逐步学会运用从书本中学到的理论知识，培养分析问题、解决问题的能力，了解将理论转化为生产力的各个环节和过程。

电路基础实验是电路理论课程的重要组成部分。通过这门课的学习，可以巩固加深理解电路基础课程中的基本概念和基本规律；学会使用电流表、电压表、万用表、功率表、调压器、变阻器等常用仪表和设备；掌握晶体管稳压电源、信号发生器、示波器等电子仪器的操作方法；掌握电路中电流、电压、电阻等电量的测试技术；学会分析实验过程中误差产生的原因、减小和消除误差的方法；学会正确处理数据、绘制曲线、分析实验结果，撰写实验报告；培养理论联系实际、实事求是、严谨的科学实验态度和良好的操作习惯，培养善于发现问题、分析问题和解决问题的能力。

实验课和理论课既有联系又有区别。要上好实验课，需完成以下工作，达到下述要求：

1. 课前预习

在上实验课之前，要认真阅读该次实验的实验教材及相关资料，明确实验目的，弄清实验原理、方法，理解并切记教材中提出的注意事项，对未使用过或不会使用的仪器设备要借阅使用说明书，熟悉其使用要领。在预习的基础上，撰写预习报告。

2. 实验过程

(1) 实验者按预先排好的位置到实验台上做实验。首先检查实验台上的仪器、设备是否齐全、完好，仪表选用是否合适，如发现问题及时报告给指导老师。

(2) 按照安全、方便、整齐的要求，合理布局仪器、仪表，然后开始接线。接线时参考电路图，先接主回路，由电源的一端开始，依次进行，回到电源的另一端，其次再接分支电路。

导线的长短、粗细、颜色等要合理选用，以备检查。接线松紧适度。

(3) 线路接好后，由同组实验者检查电路接线是否正确，所接仪表的量程和极性是否符合要求，电阻箱各旋钮的位置是否合适（较复杂的线路或不敢确定的线路要经指导老师检查）。确认无误后方可接通电源。接通电源后，应注意仪器仪表工作是否正常，有报警时应立即切断电源，检查电路。

(4) 做好对实验中出现的现象和所得数据的记录，为了保证实验结果的正确性，可先大致试做遍，试做时不必仔细读取数据，主要应观察各被测量的变化情况和出现的现象，以求对实验内容作定性了解。试做无问题时，就可以着手读取和记录数据。

(5) 为了测得准确的数据，在选择测试点时应注意使其分布合理。如曲线的弯曲段应多取几个测试点。读数前要认清仪表量程值，合理选择量程。读数时要眼、针、影成一线；记录的数据应是依所选量程换算后的值，要合理地读取有效数据（最末一位数为估计的存疑数）。每测试完一项内容，暂不要拆线，分析判断一下数据是否正确，若有错误可重新进行测试。要求对测量数据测前有预见，测后有判断。

(6) 实验内容全部完成后，原始记录经教师审查后方可拆线。拆线前先切断电源，拆完线后将设备复归原位、清理好，经教师验收后方可离去。

3. 撰写实验总结报告

(1) 撰写实验报告应文理通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、分析与论证得当。写报告应采用学校统一的实验报告纸，画曲线、波形应采用坐标纸。

(2) 报告应包括以下内容：

实验目的、实验方法、实验原理图；

② 注意事项；

数据图表及计算示例；

④ 对所得数据和所观察到的现象分析处理（包括结论、体会等）；

⑤ 回答问题；

⑥ 主要的仪器、仪表的名称、型号和规格。

(3) 做完实验后应及时撰写实验报告，并按时上交。

1.2 电路实验基础知识

1.2.1 电子测量的基本内容

1. 电量的测量。如电流、电压、功率的测量。
2. 电路参数的测量。如电阻、电容、电感、阻抗、品质因数、损耗等的测量。
3. 电信号波形参数的测量。如频率、周期、相位、失真度、调幅度、调频指数等的测量。
4. 电路性能的测量。如放大量、衰减量、灵敏度、频率特性等的测量。
5. 半导体器件的测量。如二极管、三极管、场效应管、集成电路组件的测量。

1.2.2 测量数据的处理

1. 测试技术中常用的两个术语

(1) 准确度。指测量结果与被测量真值的接近程度，反映了系统误差的影响程度。

(2) 精密度。指在重复测量同一系统中所得结果相互一致的程度。它反映了随机误差的影响程度。

2. 测量数据的读取

测量数据的读取应注意以下几点：

(1) 仪表应先进行预热和调零。

(2) 选择适当的仪表，同时合理选择仪表的量程。

(3) 注意正确读取数据。

(4) 当仪表指针与刻度线不重合时，应凭目测估读一位欠准数字。

3. 有效数字

(1) 简单概念。如用 100mA 量程的电流表测量某支路中的电流，读数为 78.4mA，则前面两个数“78”是准确的、可靠的读数，称“可靠数字”；而小数点后面的一位数字“4”是估读的，称“欠准数字”，两者合起来称“有效数字”。它的有效数字为三位，如果对其运算，其结果也应保留三位有效数字。

(2) 有效数字的正确表示。当按照测试要求确定了有效数字的位数以后，每一测量数据只应有一位欠准数字，即最后一位是欠准数字，而它前面的各位数字必须是准确的“可靠数字”。

只与计量单位有关的“0”不计入有效数字。如 184mA 可写成 0.184A，这两种写法的有效数字都是三位。

小数点后的“0”不能随意省略。例如某电阻值 15.00Ω 和 15Ω 两种写法差别极大。前者 15.00Ω 中，表示小数点后第二位“0”是欠准数字，而后者 15Ω 中，其个位“5”就是欠准数字，它可能是 14Ω 或 16Ω。当数字很大时，“0”也不能随意取舍。

(3) 四舍五入化整规则。测量技术中，当处理有效数字时，应遵守规定：“小于 5 舍，大于 5 入，等于 5 取偶。”

例如对下列数字取三位有效数字：

18.23→18.2(第四位有效数字小于 5，舍去)

18.28→18.3(第四位有效数字大于 5，入)

18.25→18.2(第四位有效数字等于 5，舍去，因为第三位有效数字为偶数)

18.15→18.2(第四位有效数字等于 5，入，因为第三位有效数字为奇数，应取偶数)

(4) 有效数字的运算法则。相加减的数中，如有小数，则以小数点后面位数最少的那个数为标准，将其他数进行处理，使其他小数点后的位数仅比它多保留一位，计算结果也以它为标准处理。如：

三数相加： $222.1 + 0.777 + 2.34 = ?$

处理后应为： $222.1 + 0.78 + 2.34 = (225.22) = 225.2$

有效数字相乘应注意到乘积的误差总是大于任何一个乘数的误差。当几个数相乘时，应以其中有效数字最少的那个数为标准，对其他数进行处理，处理到比该数多一位有效数字时，然后再进行运算。计算结果的有效数字的位数应与作为标准的那个数的位数相一致。如：

$$8.5 \times 10.3 \times 102.4 = ?$$

这时以 8.5 为标准对其余两数进行处理后为 $8.5 \times 10.3 \times 102$ 计算结果为 8930.10，则根据上述法则其结果应为 8900。

4. 曲线修补

所谓曲线修补，就是对测量过程中所获取的数据点进行的一种图解处理方法。在许多测量中，测量的目的不单单是获得一个或几个数值，而是要在测量数据的基础上得到某些量之间的关系曲线。由于实际测量中存在着误差，且有限次的测量所得到的数据只是关系曲线的一个离散点，简单地将这些离散点连成一条折线是不行的，必须对此进行一定的处理即对曲线进行修匀。修匀中应注意到：

(1) 以被测量及相关量为坐标变量，选择合适的坐标系，常用的为直角坐标系。当变量范围很宽时，常采用对数坐标。

(2) 测量的数据点必须足够。曲线的线性段数据可适当少些，但非线性段测量数据点又应足够多些。

(3) 纵、横坐标分度比例可以不同，但比例分度要适当，一般应与测量的精确度相适应。

(4) 绘制曲线应是靠近数据点的一条光滑而无斜率突变的曲线。有时，可采取数据分组的办法，取各组几何中心连接成的平滑曲线。

1.3 常用电工电子元器件基础知识

本章主要介绍常用的电工电子元器件的种类、特点、性能、指标、用途及使用方法，包括电阻器、电位器、电容器、电感器、二极管、数码管、三极管和运算放大器等。

电工电子元器件是组成实际电路的基本部件，因此，只有掌握了一定数量的电工电子元器件，才有可能对电路进行分析和电路设计。

电工电子元件是为表示自然界中客观存在的电气特性而抽象出来的模型符号总称。每种性能都规定一种符号，即电路符号。它们的种类有限，且相对稳定，一旦有新的元件产生，就意味着在电工电子领域又有新的进展（多为理论上的）或变革。它们是组成电路原理图的基本元素，也可用来构成电工电子器件模型。常见的电工电子元件如电阻、电容、电感等。

电工电子器件是为完成某种特定电器功能而专门制造的实物总称，在电工电子器件这个大家族中，成员众多且不断有新的成员加入。它们是组成一个实际电路或电子产品的最基本的元素，如电阻器、电容器、电感器等。

从以上定义可以看出，电子元件和电子器件是两个完全不同的概念，但在日常生活中，有时又常常把它们混为一谈，如常把电阻器、电容器称为电阻、电容等。另外，本书中

出现的元件、器件如不加说明则均指电子元件、电子器件。

由于器件是组成一个实际电路最基本的元素，且不同的器件有其特定的功能，因此认识器件、了解器件意义重大。不管是对已有电路进行探讨分析，还是进行电路设计，都少不了对器件的了解和掌握。一般来说，对器件了解的越多，对电路分析的越透彻，掌握器件的种类就越多，在电路设计时也会越灵活。下面将对部分电工电子元器件进行具体介绍。

1.3.1 电阻器

1. 电阻的定义

电阻是电路的基本元件之一，它是从实际电阻器中抽象出来的模型。在关联参考方向下，可以用欧姆定律 $u(t) = Ri(t)$ 来定义电阻元件。当 u, i 是常数时，该式可表示为 $U = RI$

2. 电阻器的符号及功能

电阻器在电路图中用字母 R 表示，基本单位是 Ω (欧姆) 辅助单位有 $m\Omega, k\Omega, M\Omega$ 和 $G\Omega$ 进率为 10^3 。常用的图形符号如图 1.3.1 所示。

电阻器是一种耗能器件，具有一定功率。在常态下有固定的阻值，广泛应用于电工电子产品的各个领域，是一种常用的电工电子器件。电阻在电路中对电流起阻碍作用，主要用作电路的负载、分流、限流、分压等。

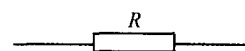


图 1.3.1 电阻器的符号

3. 电阻器的分类

电阻器的种类很多，按使用功能可分为固定电阻器、可变电阻器和特殊电阻器。固定电阻器的电阻值是固定不变的，可变电阻器的电阻值可在一定范围内调节改变，特殊电阻器的阻值是随外界条件（如温度、压力、光线等）的变化而变化的。

按制造工艺和材料，电阻器可分为合金型、薄膜型和合成型，其中薄膜型又分为碳膜、金属膜和金属氧化膜等。

按用途，电阻器可分为通用型、精密型、高阻型、高压型、高频无感型和特殊电阻。其中特殊电阻又分为光敏电阻、热敏电阻、压敏电阻等。

国产电阻器一般习惯用汉语拼音的第一个字母来表示电阻器的制作材料，如 RT 表示碳膜电阻器， RJ 表示金属膜电阻器， RX 表示线绕电阻器等等。

4. 电阻器的参数

电阻器的主要技术指标有标称值、允许误差（精度等级）、额定功率、噪声、极限工作电压和高频特性等。下面主要介绍标称值、允许误差、额定功率和极限电压四项指标。

(1) 标称值

电阻器体表面所标的阻值称为标称值。标称值是按国家规定标准化了的电阻值系列值，不同精度等级的电阻器有不同的阻值系列，见表 1.3.1。

使用时可将表中所列数值乘以 10^n (n 为整数)，例如，“1.2”包括 $1.2\Omega, 12\Omega, 120\Omega, 1.2k\Omega, 12k\Omega, 120k\Omega, 1.2M\Omega$ 等阻值系列在电路设计时，计算出的电阻值要尽量选择

标称值系列，这样在市场上才能选购到所需要的电阻。如果在标称系列中找不到实际需要的数值（电路要求比较严格），可在相邻的两个标称值之间进行挑选，需要量少的话，如果允许，也可采用串并联的方法解决。

表 1.3.1 电阻器标称值系列

标称阻值系列	精度	精度等级	电阻器标称值																							
E24	±5%	I	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
E12	±10%	II	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2												
E6	±20%	III	1.0	2.2	3.3	4.7	6.8																			

(2) 额定功率

电阻器的额定功率是指在标准大气压和一定环境温度下，长期连续负荷所允许消耗的最大功率。

电阻器通电工作时，吸收的电转换成热能，并使自身温度升高。如果温升速率大于热扩散速率，会因温度过高将电阻器烧毁。因此，在选用电阻（器）时，应使其额定功率高于电路实际要求的 1.5~2 倍以上。表 1.3.2 为常用碳膜和金属膜电阻器外形尺寸和额定功率的关系。

表 1.3.2 碳膜和金属膜电阻器的外形尺寸与额定功率的关系

额定功率/W	碳膜电阻器(RT)		金属膜电阻器(RJ)	
	长度(mm)	直径(mm)	长度(mm)	直径(mm)
1/8	11	3.9	6~8	2~2.5
1/4	18.5	5.5	7~8.3	2.5~2.9
1/2	28	5.5	10.8	4.2
1	30.5	7.2	13.0	6.6
2	48.5	9.5	18.5	8.6

(3) 允许误差

电阻器的允许误差是指实际阻值对于标称阻值的允许最大误差范围，它表示产品的精度。允许误差有两种表示方法：一种是用文字符号将允许误差直接标注在电阻器的表面上，另一种是用色环表示。

如在文字符号表示法中，通用型电阻采用文字标注，其允许误差标记为 ±5%、±10%、±20% 三个等级，也可以表示为 I 级、II 级、III 级；精密型电阻的精度等级采用符号

标注，一般在电阻器的标记最后有一个大写字母，用来表示它的精密等级。精密等级的符号标注方法如表 1.3.3 所示。

表 1.3.3 精密电阻器精密等级采用的标注符号

%	字母	%	字母	%	字母
±0.001	E	±0.05	W	±2	G
±0.002	X	±0.1	B	±5	J
±0.005	Y	±0.2	C	±10	K
±0.01	H	±0.5	D	±20	M
±0.02	U	±1	F		

(4) 极限电压

电阻器能够承受而不会造成损坏的最高电压称为电阻器的极限电压，当加在电阻器两端的电压超过极限电压时，会发生击穿现象，使电阻器损坏。

一般常用电阻器功率与极限电压如下：

0.25W 250V

0.5W 500V

1~2W 750V

若电压更高，应选用高压型电阻器。

(5) 温度系数

电阻器的温度系数是指电阻值随温度的变化率，单位是 $\Omega/^\circ\text{C}$ 。金属膜、合成膜等电阻都具有较小的温度系数，碳膜电阻器的温度系数较大。

(6) 噪声系数

电阻器阻值不规则的微小变化叫做电阻器的噪声，分为热噪声和电流噪声两种。

5. 电阻器的标注方法

受电阻器体表面积的限制，通常只在电阻器的外表面上标注电阻器的类别、标称值、精密等级和额定功率。对于额定功率小于 0.5W 的电阻器，一般只标注标称值和允许误差，材料类型和额定功率常从其外形尺寸和颜色来判断。

电阻器的标注一般采用文字符号直接标注和色码标注两种方法。

(1) 文字符号直接标注

在电阻器的表面，将材料类型和主要参数直接以数字或字母标出，如图 1.3.2 所示。

在直接标注法中，可以用单位符号代替小数点，例如 5.1k Ω 可标注为 5k1。对于额定功率在 2W 以下的电阻器，不标注功率和材料，只标注标称值和精度。

(2) 色码标注

现在大量的电阻器是用色码来标注的。色码标注的电阻器表面有不同颜色的色环，每一种颜色对应一个数字；色环位置不同，所表示的意义也不相同，它可表示有效数字、乘数或允许误差。各种颜色所对应的数值见表 1.3.4。

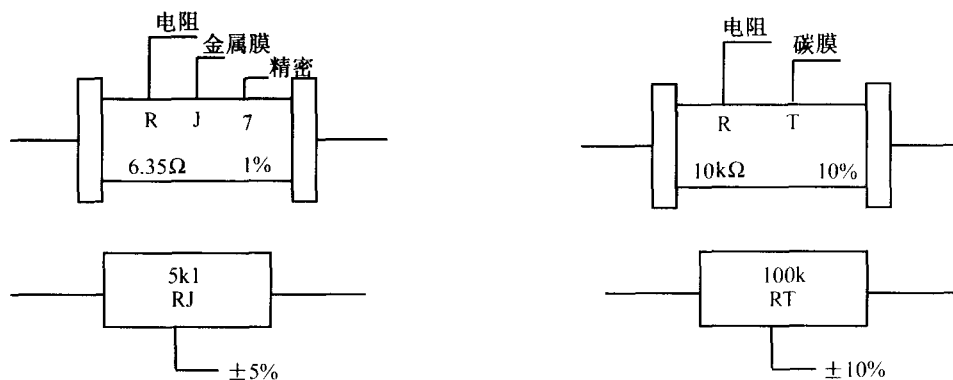


图 1.3.2 文字直接标注

表 1.3.4 色码对应的数值

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	本色
有效数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
乘数	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^0	10^{-1}	10^{-2}	
允许误差(%)	1	2			0.5	0.25	0.1				5	10	20

用色环标注的电阻器称为色环电阻或色码电阻，常见的有三环、四环、五环三种。对于三道色环电阻器，第一道、第二道色环代表标称值的第一位和第二位有效数字，第三道色环代表乘数，它的误差色环是本色（与电阻体同色）的，所以允许误差是 $\pm 20\%$ 。四道色环电阻器的第一道、第二道色环表示电阻器的有效数字，第三道色环表示乘数，第四道色环表示允许误差。五道色环电阻器的第一道、第二道、第三道色环表示有效数字，第四道色环表示乘数，第五道色环表示允许误差。显然，色环越多，电阻器的精度越高。图 1.3.3 为色环电阻器的示意图。

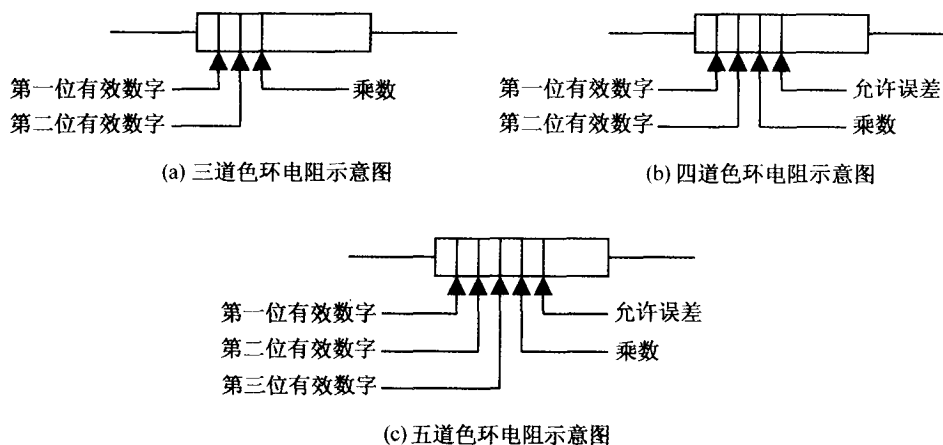


图 1.3.3 电阻器色码标志示意图

五环电阻器为精密型电阻器，其第五道精度环一般为棕色（1%）或红色（2%）。

识别一个色环电阻器的标称值和精度，首先要确定首环和尾环（精度环）。首、尾环确定后，就可按照图 1.3.3 中每道色环所代表的意义读出标称值和精度。

按照色环的印制规定，离电阻器端边最近的为首环，较远的为尾环。五环电阻器中，尾环的宽度是其他环的 1.5~2 倍。

例如一只电阻器的色环按顺序为红、红、橙、本色，则其标称值为 22kΩ，允许误差为 ±20%。

又如一电阻器的色环为棕、紫、绿、金、棕，则这个电阻器的标称值为 17.5Ω，允许误差为 ±1%。

6. 电阻器的使用常识

选用电阻器时，除注意其标称值外，还要考虑其额定功率，应使额定功率高于电路实际功率的 1.5~2 倍以上。使用前先用欧姆表检查其阻值是否与标称值一致，同时还要注意不超过极限工作电压，以免电阻器内部产生火花，引起噪声。

电阻器种类繁多，选用时应根据电路的不同用途和不同要求，选择不同类型的电阻器。碳膜电阻器成本较低、频率特性好、噪声小且尺寸小，适合于数字电路和无特殊要求的一般电路；金属膜电阻器的耐热性、稳定性、频率特性都较好，常用于温度稳定性高、高频、低噪声、精密等电路中；金属氧化膜电阻器主要用于大功率消耗的设备中；线绕电阻器因其噪声小、温度系数小、频率特性差、外形尺寸大，所以主要用于高精度、低频、低噪声要求的电路中。

1.3.2 电位器

电位器的阻值可在一定的范围内变化，一般有三个端子：两个是固定端、一个是滑动端。电位器的标称值是两个固定端的电阻值，滑动端可在两固定端之间的电阻体上滑动，使滑动端与固定端之间的电阻值在标称值范围内变化。

1. 电位器的表示法

电位器用字母 R_p 表示，电路符号如图 1.3.4 所示。

电位器常用作可变电阻或用于调节电位。有的家用电器和测量仪器的调节旋钮就是电位器，如电视机中的亮度、对比度调节都是通过电位器来完成的。

当电位器作为可变电阻使用时，连接如图 1.3.5(a)所示，这时将 2 和 3 两端连接，调节 2 点位置，1 和 3 端的电阻值会随 2 点的位置而改变。用作调节电位时，连接如图 1.3.5(b)所示，输入电压 U_i 加在 1 和 3 的两端，改变 2 点的位置，2 点的电位就会随之改变，起到调节电位的作用。

2. 电位器的分类

电位器的种类很多，用途也各不相同，通常可按其材料、结构特点、调节机构运动方式等进行分类。

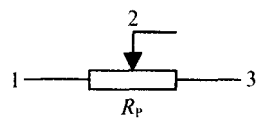


图 1.3.4 电位器的电路符号

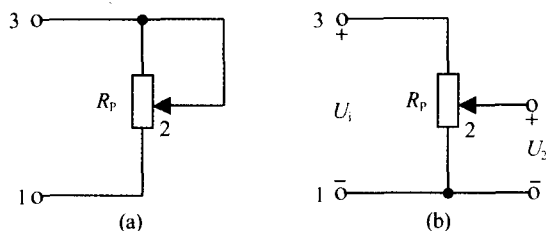


图 1.3.5 可调电阻与电位器

按电阻材料划分,可分为薄膜和线绕两种电位器。薄膜电位器又分为小型碳膜电位器、合成碳膜电位器、有机实芯电位器、精密合成膜电位器和多圈合成膜电位器等。按调节机构的运动方式可分为旋转式和滑动式;按阻值变化规律可分为线性和非线性等。

薄膜电位器的阻值范围宽、分布电容和分布电感小,但噪声较大、额定功率较小,多应用于家用电器中。线绕电位器额定功率大、噪声低、温度稳定性好,但制作成本高、阻值范围小、分布电容和分布电感大,一般应用于电子仪器中。

随着电子技术的发展,电子电位器(或称数字电位器)的使用逐渐增多。数字电位器实际是数控模拟开关加一组电阻网络构成的功能电路,其特性和一般集成电路相同。

3. 电位器参数

电位器的参数主要有三项:标称值、额定功率和阻值变化规律。

(1) 标称值

电位器的标称值与电阻器的系列相同,其允许误差范围为: $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$, $\pm 2\%$ 和 $\pm 1\%$ 等。

(2) 额定功率

电位器的额定功率是指两个固定端之间允许耗散的最大功率,滑动头与固定端之间所承受的功率要小于额定功率。线绕电位器额定功率系列为: 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 16, 25, 40, 63, 100(W) 非线性绕电位器功率系列为: 0.025, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 3(W) 等。

(3) 阻值变化规律

电位器的阻值变化规律是指当旋转滑动触点时,阻值随之变化的关系。常用的电位器有直线式(X)、对数式(D)和指数式(Z)如图 1.3.6 所示。

线性电位器(图 1.3.6 中的 X),常用于精密仪器、示波器、万用表等,其线性精度为 $\pm 2\%$, $\pm 1\%$, $\pm 0.2\%$, $\pm 0.1\%$, $\pm 0.05\%$ 。图 1.3.6 中的 D,特点是先粗调,后细调,常用于对比度调节。

指数式电位器(图 1.3.6 中的 Z),特点是先细调,后粗调,常用于收音机的音量调节

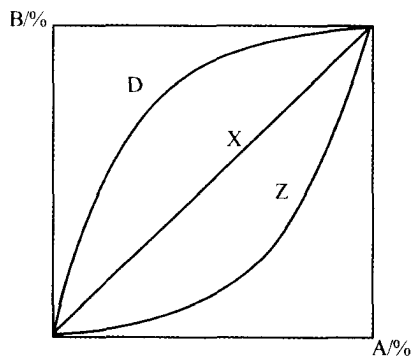


图 1.3.6 阻值变化规律

A—旋转角度百分比

B—阻值百分比

(以标称阻值为基数)

1.3.3 特殊电阻器

特殊电阻器都是用特殊材料制造的，它们在常态下的阻值是固定的，当外界条件发生变化时，其阻值也随之发生变化，故又称其为敏感型电阻。常见的有热敏、光敏、压敏电阻器等。

敏感型电阻器产品型号由下列四部分组成：第一部分为主称（用字母 M 表示）；第二部分为类别（用字母表示），如表 1.3.5 所示；第三部分为用途或特征（用数字表示），如表 1.3.6 所示；第四部分为序号（用数字表示）。

表 1.3.5 敏感电阻器型号中类别部分的字母含义

字母	敏感电阻器类别	字母	敏感电阻器类别
F	负温度系数热敏电阻	S	湿敏电阻
Z	正温度系数热敏电阻	Q	气敏电阻
G	光敏电阻	L	力敏电阻
Y	压敏电阻	C	磁敏电阻

表 1.3.6 敏感电阻器型号中用途或特征部分的数字含义

符号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
产品名称										
负温度系数热敏电阻器	特殊用途	普通	稳压	微波测量	旁热式	测温	控温		线性型	
正温度系数热敏电阻器		普通				测温	控温	消磁		恒温
光敏电阻器	特殊	紫外光	紫外光	紫外光	可见光	可见光	可见光	红外光	红外光	红外光
力敏电阻器		硅应变片	硅应变梁	硅杯						

下面介绍常用的热敏电阻器和光敏电阻器。

1. 热敏电阻器

热敏电阻器是利用半导体的电阻率受温度影响很大的性质制成的温度敏感器件。热敏电阻器按电阻—温度特性可分为负温度系数热敏电阻器（简称 NTC）和正温度系数热敏电阻器（简称 PTC）。负温度系数就是它的阻值随温度的增加而减小，正温度系数与之相反，它的阻值随温度的增加而增大。热敏电阻器可用于温度测量或温度自动控制中，电路符号如图 1.3.7 所示。

2. 光敏电阻器

光敏电阻器是利用半导体材料的电阻率受光照影响很大的性质制成的。光敏电阻一

般有两个状态，即高阻值态和低阻值态。无光照射时，其阻值可达 $1.5\text{M}\Omega$ ；而有光照射时，其阻值减小到 $1\text{k}\Omega$ 左右。光敏电阻器主要应用于光控电路中，电路符号如图 1.3.8 所示。

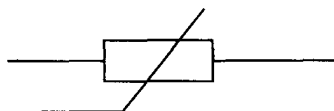


图 1.3.7 热敏电阻

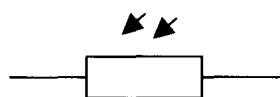


图 1.3.8 光敏电阻

1.3.4 开关

开关是一种能将电路接通和断开的器件，一般可由下式定义：

$$\left. \begin{aligned} R &= 0 && (\text{闭合}) \\ R &= \infty && (\text{断开}) \end{aligned} \right\}$$

开关种类很多，通常提到的开关多指有触点的手动式开关。此外，还有压力控制、光电控制、超声控制等控制开关，它们具有较复杂的控制电路，已不再是一个简单的开关。至于“电子开关”，则是利用一些有源器件的开关特性构成的电子控制电路单元。本单元只介绍有触点的手动式开关。

1. 开关的分类和结构

手动式开关按结构特点可分为旋转开关、按钮开关、滑动开关；按用途可分为琴键开关、微动开关、电源开关、波段开关、多位开关、转换开关、拨码开关和触摸开关。

一个简单的开关通常有两个触点，当这两个触点不接触时，电路断开，触点闭合，电路接通。开关的活动触点叫“极”，静止触点叫“位”。单极单位开关，只能通断一条电路；单极双位开关，可选择接通（或断开）两条电路中的一条；而双极双位开关，可同时接通（或断开）两条独立的电路；多极多位开关可依次类推。开关的“极”和“位”如图 1.3.9 所示。

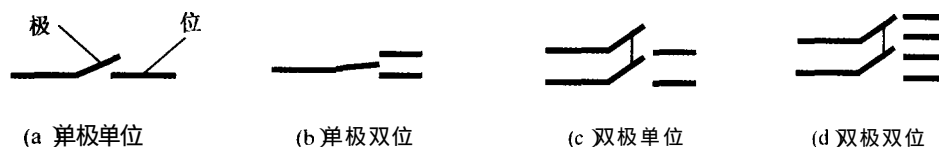


图 1.3.9 开关的“极”和“位”

2. 开关的主要参数

(1) 额定电压：指正常工作状态下开关可以承受的最大电压。对交流开关，则指交流电压的有效值。

(2) 额定电流：指正常工作时开关所允许通过的最大电流。

(3) 接触电阻：指开关接通时两触点之间的电阻值。此值越小越好。

(4) 绝缘电阻：指开关不相接触的各导电部分的电阻值。此值越大越好，一般在 $100\text{M}\Omega$ 以上。

开关的使用比较简单,使用前先用万用表进行测量,分清“极”和“位”,然后安装即可。应注意的是,选用时除其电气参数外,还要根据使用具体情况,考虑到它的结构形式、外形尺寸等。这样,选出的开关才可能既可完成电路功能,又好安装操作方便。

1.3.5 电容器

1. 电容的定义

电容器是电工电子电路中常用的器件,它是由两个导电极板,中间夹一层绝缘介质构成。当在两个导电极板上加上电压时,电极上就会储存电荷。它是储存电能的器件,主要电参数是电容。

电容元件是从实际电容器抽象出来的模型,对于线性非时变的电容,其定义如下:

$$C = \frac{q(t)}{u(t)}$$

式中 $q(t)$ 为电容上电荷的瞬时值; $u(t)$ 为电容两端电压的瞬时值。

2. 电容的符号、单位

电容用字母 C 表示,基本单位是 F(法拉)辅助单位有 μF (微法, 10^{-6}F), nF (纳法, 10^{-9}F)和 pF (皮法, 10^{-12}F)。常用的有 μF 和 pF 。电容的图形符号如图 1.3.10 所示。

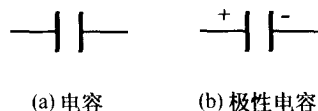


图 1.3.10 电容的图形符号

电容器具有隔直通交的特点,因此,在电路中通常可完成隔直流、滤波、旁路、信号调谐等功能,在关联参考方向下,其约束关系如下式所示:

$$i = C \frac{du(t)}{dt}$$

上式说明,电容电路中的电流与其上电压大小无关,只与电压的变化率有关,故称电容为动态元件。

3. 电容器的分类

电容器按结构可分为固定电容器、可变电容器和微调电容器,按介质材料可分为有机介质、无机介质、气体介质和电解质电容器等。图 1.3.11 所示的为常见的电容器分类方法。

4. 电容器的主要参数

电容器的主要参数有标称容量、额定工作电压、绝缘电阻、介质损耗等。

(1) 标称容量及精度

电容量是指电容器两端加上电压后存储电荷的能力。标称容量是电容器外表面所标注的电容量,是标准化了的电容值,其数值同电阻器一样,也采用 E24, E12, E6 标称系列。当标称容量范围在 $0.1 \sim 1\mu\text{F}$ 时,采用 E6 系列。对于标称容量在 $1\mu\text{F}$ 以上的电容器(多为电解电容器),一般采用表 1.3.7 所示的标称系列值。

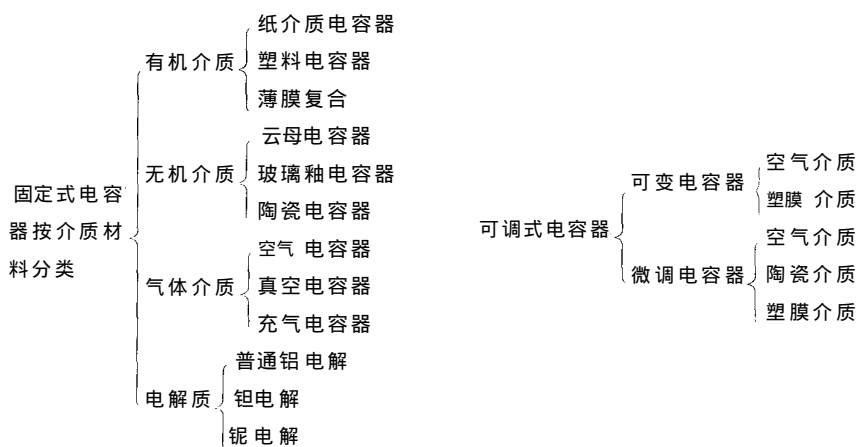


图 1.3.11 电容器的分类

表 1.3.7 1μF 以上电容器的标称系列值

容量范围	标称系列电容值/μF														
>1μF	1	2	4	4.7	6	8	10	15	20	30	47	50	60	80	100

不同类型的电容器采用不同的精度等级，精密电容器的允许误差较小，而电解电容器的允许误差较大。一般常用电容器的精度等级分为三级：Ⅰ级为±5%，Ⅱ级为±10%，Ⅲ级为±20%。

(2) 额定工作电压

电容器在规定的温度范围内长期、可靠地工作所能承受的最高电压为额定工作电压。若工作电压超出这个电压值，电容器就会被击穿损坏。额定工作电压通常指直流电压。常用固定式电容器的直流电压系列值（单位：V）为：1.6, 4, 6.3, 10, 16, 25, 32*, 40, 50*, 63, 100, 125*, 160, 250, 300, 400, 450*, 500, 630, 1000（有“*”号的只限于电解电容器使用）。电解电容器和体积较大的电容器的额定电压值直接标在电容器的外表面上，体积小的只能根据型号判断。

(3) 绝缘电阻及漏电电流

电容器的绝缘电阻是指电容器两极之间的电阻，或叫漏电电阻。电解电容的漏电流较大，通常给出漏电流参数；其他类型电容器的漏电流很小，用绝缘电阻表示其绝缘性能。绝缘电阻一般应在数百兆欧姆到数千兆欧姆数量级。

(4) 介质损耗

介质损耗是指介质缓慢极化和介质导电所引起的损耗。通常用损耗功率和电容器的无功功率之比，即损耗角的正切值表示：

$$\tan\delta = \frac{\text{损耗功率}}{\text{无功功率}}$$

不同介质电容器的 $\tan\delta$ 值相差很大，一般在 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ 数量级。损耗角大的电容器不适合于高频情况下工作。

5. 电容器的标注方法

电容器的标注方法有直接标注法和色码法。

(1) 直接标注法

直接标注法是用字母或数字将电容器有关的参数标注在电容器表面上。对于体积较大的电容器，可标注材料、标称值、单位、允许误差和额定工作电压，或只标注标称容量和额定工作电压；而对体积较小的电容器，则只标注容量和单位，有时只标注容量不标注单位，此时当数字大于 1 时单位为 pF 小于 1 时单位为 μF 。

电容器主要参数标注的顺序为：

第一部分，主称，用字母 C 表示电容；

第二部分，用字母表示介质材料，其对应关系见表 1.3.8；

第三部分，用字母表示特征；

第四部分，用字母或数字表示，包括品种、尺寸代号、温度特征、直流工作电压、标称值、允许误差、标准代号等。

如 CJX 250 0.33 \pm 10%，表示金属化纸介质小型电容器，容量为 0.33 μF ，允许误差 \pm 10%，额定工作电压为 250V。

又如 CD 25V 47 μF ，表示额定工作电压为 25V、标称容量为 47 μF 的铝电解电容。C1 为聚酯（涤纶）电容器，CB 为聚苯乙烯电容器，CBB 为聚丙烯电容器，CC 为高频瓷介质电容器，CT 为低频瓷介质电容器等。

表 1.3.8 电容器的介质材料采用的标注字母

字母	介质材料	字母	介质材料	字母	介质材料
A	钽电解	H	纸膜复合	Q	漆膜
B	聚苯乙烯等非极性有机薄膜	I	玻璃釉	T	低频陶瓷
C	高频陶瓷	J	金属化纸	V	云母纸
D	铝电解	L	聚酯等极性有机薄膜	Y	云母
E	其他材料电解	N	铌电解	Z	纸
G	合金电解	O	玻璃膜		

用数字标注容量有以下几种方法：

只标数字，如 4700, 300, 0.22, 0.01。此时指电容的容量是 4700pF, 300pF, 0.22 μF , 0.01 μF 。

以 n 为单位 如 10n, 100n, 4n7。它们的容量是 0.01 μF , 0.1 μF , 4700pF。

另一种表示方法是用三位数码表示容量大小，单位是 pF, 前两位是有效数字，最后一位是零的个数。

例如 :102 它的容量为 $10 \times 10^2 \text{pF} = 1000 \text{pF}$ 读作 1000pF；

103 它的容量为 $10 \times 10^3 \text{pF} = 10000 \text{pF}$ 读作 0.01 μF ；

104 它的容量为 100000pF 读作 0.1 μF ；

332, 它的容量为 3300pF , 读作 3300pF ;

473, 它的容量为 47000pF , 读作 $0.047\mu\text{F}$ 。

第三位数字如果是 9, 则乘 10^{-1} , 如 339 表示 $33 \times 10^{-1}\text{pF} = 3.3\text{pF}$ 。

由以上可以总结出, 直接数字标注法的电容器, 其电容量的一般读数原则是: 10^1 以下的读 pF , 10^1 以上 (含 10^4) 的读 μF 。

(2) 色码法

电容器的色码法与电阻器相似, 各种色标所表示的有效数字和乘数见表 1.3.4。

电容器的色标一般有三种颜色, 从电容器的顶端向引线方向, 依次为第一位有效数字环、第二位有效数字环、乘数环, 单位为 pF 。若两位有效数字的色环是同一种颜色, 就涂成一道宽的色环。如图 1.3.12 所示。

6. 电容器的选用

电容器的种类很多, 应根据电路的需要, 考虑以下因素, 合理选用。

(1) 选用合适的介质

电容器的介质不同, 性能差异较大, 用途也不完全相同, 应根据电容器在电路中的作用及实际电路的要求, 合理选用。一般电源滤波、低频耦合、去耦、旁路等, 可选用电解电容器; 高频电路应选用云母或高频瓷介电容器。聚丙烯电容器可代替云母电容器。

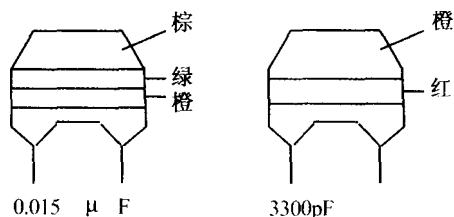


图 1.3.12 电容器的色标表示法

(2) 标称容量及允许误差

因为电容器在制造中容量控制较难, 不同精度的电容器其价格相差较大, 所以应根据电路的实际需要选择。对精度要求不高的电路, 选用容量相近或容量大些的即可, 如旁路、去耦及低频耦合等; 但在精度要求高的电路中, 应按设计值选用。在确定电容器的容量时, 要根据标称系列来选择。

(3) 额定工作电压

电容器的耐压是一个很重要的参数, 在选用时, 器件的额定工作电压一定要高于实际电路工作电压的 $1 \sim 2$ 倍。但电解电容器是个例外, 电路的实际工作电压为电容器额定工作电压的 $50\% \sim 70\%$ 。如果额定工作电压远高于实际电路的电压, 会使成本增加。

7. 性能测量

准确测量电容器的容量, 需要专用的电容表。有的数字万用表也有电容挡, 可以测量电容值。通常可以用模拟万用表的电阻挡, 检测电容的性能好坏。

(1) 用万用表的电阻挡检测电容器的性能, 要选择合适的挡位。大容量的电容器, 应选小电阻挡; 反之, 选大电阻挡。般 $50\mu\text{F}$ 以上的电容器宜选用 $R \times 100$ 或更小的电阻挡, $1\mu\text{F} \sim 50\mu\text{F}$ 之间用 $R \times 1\text{k}$ 挡; $1\mu\text{F}$ 以下用 $R \times 10\text{k}$ 挡。

(2) 检测电容器的漏电阻的方法。用万用表的表笔与电容器的两引线接触, 随着充电过程结束, 指针应回到接近无穷远处, 此处的电阻值即为漏电阻。一般电容器的漏电阻为几百至几千兆欧姆。测量时, 若表针指到或接近欧姆零点, 表明电容器内部短路; 若指针不动, 始终指在无穷处, 则表明电容器内部开路或失效。对于容量在 $0.1\mu\text{F}$ 以下

的电容器，由于漏电阻接近无穷大，难以分辨，故不能用此方法检查电容器内部是否开路。

1.3.6 电感器及互感器

1. 电感器

电感器又称电感线圈，由绕在支架或磁性材料上的导线组成，是种储存磁能的器件。

(1) 电感的定义

电感元件是从实际电感器抽象出来的模型，对于线性定常电感其定义如下：

$$L = \frac{\Phi(t)}{i(t)}$$

即电感是载流线圈的磁通 Φ 与线圈中电流 i 的比值（单位电流产生的磁通）。

(2) 电感的符号及用途

电感在电路图中用字母 L 表示，它的图形符号如图 1.3.13 所示。



图 1.3.13 电感器图形符号

电感具有通直流、阻交流的特性，在关联参考方向下，其上电压与通过的电流满足下面的约束关系，即

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

上式说明，电感上的电压与通过它的电流无关，只与电流的变化率有关，这正反映出了它通直流阻交流的特性。电感也是动态元件。

电感器主要用于耦合、滤波、延迟、补偿、陷波和组成谐振电路等。

(3) 电感器的分类

电感器的种类很多，可按不同的方式分类。按结构可分为空心电感器、磁心电感器、铁心电感器；按工作参数可分为固定式电感器、可变电感器；按功能可分为振荡线圈、耦合线圈、偏转线圈。一般低频电感器大多采用铁心（铁氧体心）或磁心，而中高频电感则采用空心或高频磁心

(4) 电感器的主要参数

电感器的主要参数有电感量、品质因数、标称电流、分布电容等。

电感量：电感量用 L 表示，单位为 H(亨利)，辅助单位有 mH(毫亨)、 μ H(微亨)，它们之间的关系是 $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$ 。

同电阻、电容器一样，电感器的标称电感量也有误差，常用电感器的误差在 5%~