

第一部分 基础知识

电子技术的飞速发展使得对元器件的要求日益提高。为了顺应时代的潮流，使学生更好地理解和掌握电子元器件的特点及应用，本实验教材结合理论课知识内容，分别详细阐述了线性电子电路实验中常用电子元器件的种类、主要参数、性能特点等。

实验过程中由于受测量仪器仪表的偏差及人为因素的影响，实验数据会与理论数据存在一定的偏差，即实验数据总存在一些误差。为了正确评价实验结果，本教材将介绍实验数据计数单位以及误差的基本概念和估算方法。

第 1 章 常用电子元器件介绍

电子元器件是构成电子电路的基础，在实验或者各类电子产品制作中要使用许多不同的电子元件。对元器件了解的程度将直接影响到实验方案的确定、元器件的选用以及组装调试的顺利进行。为使实验者学会正确地识别和选用元器件，本教材选编了部分常用的电子元器件的种类、命名方法、性能特点、主要参数、选用方法和使用常识等。

随着电子技术的不断发展，各种新型电子元器件层出不穷，其应用也越来越广泛。使用者只有经常查阅近期有关资料，走访电子元器件生产厂家和销售商店，才能及时熟悉最新器件，不断丰富自己的电子元器件知识。

1.1 电 阻 器

1.1.1 电阻器的作用及分类

1. 电阻器的作用

电阻器是电子电路中应用最多的电子元件之一，在电路中用做负载电阻、限流电阻、分流器、分压器；它与电容器配合使用可作为滤波器；在电源电路中作为去耦电阻、稳压电源中的取样电阻及确定晶体管工作点的偏置电阻等。

2. 电阻器的分类

电阻器的种类繁多，分类方法也各不相同。根据电阻器的工作特性及在电路中的作用来区分，可分为固定电阻器、可变电阻器（电位器）和敏感电阻器。

按电阻器结构形状和材料的不同，可分为线绕电阻器和非线绕电阻器。其中，线绕电阻

器有通用线绕电阻器、精密线绕电阻器、功率型线绕电阻器和高频线绕电阻器；非线绕电阻器有碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、合成碳膜电阻器、棒状电阻器、管状电阻器、片状电阻器、钮扣状电阻器、金属玻璃釉电阻器、有机合成实芯电阻器和无机合成实芯电阻器等。按电阻器用途的不同，可分为通用型电阻器、高阻型电阻器、高压型电阻器和高频无感型电阻器。按电阻器引出线的不同，可分为轴向引线电阻器、径向引线电阻器、同向引线电阻器和无引线电阻器。

此外，还有一类特殊用途的敏感电阻器，例如，光敏电阻器、热敏电阻器、压敏电阻器、湿敏电阻器、气敏电阻器、力敏电阻器、磁敏电阻器以及具有双重功能的熔断电阻器等。

1.1.2 电阻器的图形符号及型号命名方法

1. 电阻器的图形符号

常见电阻器的图形符号如图 1.1 所示，其中图 1.1(a)是电阻器的基本图形符号；图 1.1(b)是可调电阻器图形符号；图 1.1(c)和图 1.1(d)分别是压敏电阻器和光敏电阻器图形符号；图 1.1(e)是带滑动触点的滑动电阻器图形符号；图 1.1(f)是带固定抽头的电阻器图形符号；图 1.1(g)、图 1.1(h)是功率电阻器符号等。电阻器功率图形符号如图 1.2 所示，该图形符号表明了电阻器功率的大小。如 $1/8\text{W}$ 、 $1/4\text{W}$ 、 $1/2\text{W}$ 、 1W 、 2W 、 3W 、 5W 、 10W 等。功率大于 10W 和小于 $1/8\text{W}$ 的电阻器，可以用数字及单位直接标志在电阻器上。

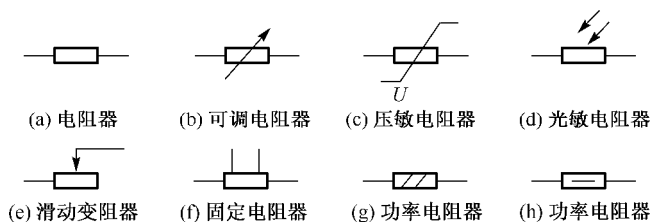


图 1.1 常见电阻器的图形符号

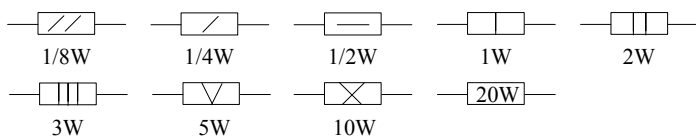


图 1.2 电阻器功率图形符号

2. 电阻器的型号命名方法

根据国家标准 GB2470—1981《电子设备用电阻器、电容器型号命名方法》的规定，电阻器的型号命名方法如表 1.1 所示，其型号命名主要由以下 4 部分组成：第 1 部分为主称，用字母表示，如 R 表示电阻器；第 2 部分为材料，用字母表示；第 3 部分为特征分类，一般用数字表示，个别类型用字母表示；第 4 部分为序号，用数字表示，以区别外形尺寸和性能指标等。图 1.3 所示为 RJ71 型精密金属膜电阻器的具体示例。

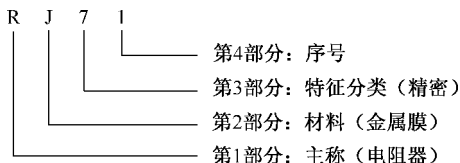


图 1.3 RJ71 型精密金属膜电阻器

1.1.3 电阻器的主要性能参数

1. 标称阻值及允许偏差

根据国家标准 GB2471《电阻器标称阻值系列》的规定，常用的电阻器标称值系列如表 1.2 所示。E24、E12 和 E6 系列也适用于电位器和电容器。电阻器的标称值，即将表中数值再乘以 10^n (n 为整数)，如 2.2 标称值可有 2.2Ω 、 22Ω 、 220Ω 、 $2.2k\Omega$ 、 $22k\Omega$ 、 $220k\Omega$ 等值。电阻器的实际阻值与标称阻值往往不相符，总是有一定的偏差的。两者间的偏差允许范围称为允许偏差。电阻器的允许偏差是指电阻器的实际阻值对于标称阻值所允许的最大偏差范围，它标志着电阻器的阻值精度。通常电阻器的阻值精度计算公式如下：

$$\delta = \frac{R - R_R}{R_R} \times 100\%$$

式中， R 为电阻器的实际阻值， R_R 为电阻器的标称阻值， δ 为电阻器的允许偏差。

表 1.1 电阻器型号命名方法

第 1 部分：主称		第 2 部分：材料		第 3 部分：特征分类			第 4 部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
					电阻器	电位器	
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	普通	对主称、材料相同，仅性能指标、尺寸大小有差别，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
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	—	—	
		C	沉积膜	7	精密	精密	
		I	玻璃釉膜	8	高压	特殊函数	
		P	硼碳膜	9	特殊	特殊	
		U	硅碳膜	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	—	

普通电阻器按偏差大小，可分 3 个等级：允许偏差为 $\pm 5\%$ 的称为 I 级，允许偏差为 $\pm 10\%$ 的称为 II 级，允许偏差为 $\pm 20\%$ 的称为 III 级。精密电阻器的偏差等级有 $\pm 0.05\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 等。表示电阻单位的文字符号如表 1.3 所示。表示允许偏差的文字符号如表 1.4 所示，若电阻体上没有印偏差等级，则表示允许偏差为 $\pm 20\%$ 。标志电阻器的阻值和允许偏差的方法有两种：一是直标法；二是色标法。

表 1.2 常用的电阻器标称值系列

系列	允许偏差	电阻器标称值系列																			
E6	±20%	1.0	1.5	2.2	3.3	5.7	6.8														
E12	±10%	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	5.7	5.6	6.8	8.2								
E24	±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	5.3	5.7	5.1	5.6	
E96	±1%	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1															
		1.00	1.02	1.05	1.07	1.10	1.13	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.30	1.33	1.37	1.40					
		1.43	1.47	1.50	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.74	1.78	1.82	1.87	1.91	1.96	2.00					
		2.05	2.10	2.15	2.21	2.26	2.32	2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.74	2.80	2.87					
		2.94	3.01	3.09	3.16	3.24	3.32	3.40	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02	5.12					
		5.22	5.32	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	5.99	5.11	5.23	5.36	5.49	5.62	5.76	5.90					
		6.04	6.19	6.34	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15	7.32	7.50	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45					
		8.66	8.87	9.09	9.31	9.53	9.76														

（1）直标法

直标法是将电阻器的类别、标称阻值、允许偏差、额定功率和其他主要参数的数值等直接标志在电阻体上，该标法实际上有 3 种标志形式。

表 1.3 表示电阻单位的文字符号

文字符号	R	k	M	G	T
表示单位	欧姆（Ω）	千欧姆（10 ³ Ω）	兆欧姆（10 ⁶ Ω）	吉咖欧姆（10 ⁹ Ω）	太拉欧姆（10 ¹² Ω）

表 1.4 表示允许偏差的文字符号

允许偏差（%）（对称）	±0.001	±0.002	±0.005	±0.01	±0.02	±0.05	±0.1	±0.2
文字符号	E	X	Y	H	U	W	B	C
允许偏差（%）（对称）	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20	±30	
文字符号	D	F	G	J（I）	K（II）	M（III）	N	
允许偏差（%） （不对称）	+100 -10	+50 -20	+80 -20	+不规定 -20				
文字符号	R	S	Z	不标记				

- ① 用阿拉伯数字和单位符号在电阻器表面标出阻值，其允许偏差直接用百分数表示。
- ② 用阿拉伯数字和文字符号的有规律的组合来表示标称阻值，其允许偏差也用文字符号表示。符号前面的数字表示整数阻值，后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值。如电阻器上标志符号 2R2 表示 2.2Ω；R33 表示 0.33Ω；6k8C 表示 6.8kΩ±0.2%等。
- ③ 电阻器上用 3 位数码表示标称值的标志方法。这种形式多用于片状电阻器。数码从左到右，第一、二位为有效值，第三位为乘数，即零的个数，单位为 Ω。偏差通常采用文字符号表示。如标志符号为 200，表示 20Ω；标志符号为 512，表示 5.1kΩ 等。

（2）色标法

色标法是将电阻器的类别及主要技术参数的数值用不同颜色的色环或色点标注在电阻体上的标志方法。色标电阻（色环电阻）器可分为三色环、四色环、五色环共 3 种标法。三色环电阻器的色环表示标称电阻值（允许偏差均为±20%）。例如，色环为绿黑红，表示 50×10² = 5.0kΩ±20%的电阻器。四色环电阻器的色环表示标称值（两位有效数字）及精度。例如，

色环为黄紫橙金，表示 $47 \times 10^3 = 47\text{k}\Omega \pm 5\%$ 的电阻器。五色环电阻器的色环表示标称值（3 位有效数字）及精度。例如，色环为红紫绿黄棕，表示 $275 \times 10^4 = 2.75\text{ M}\Omega \pm 1\%$ 的电阻器。

一般四色环和五色环电阻器表示允许偏差的色环的特点是该环离其他环的距离较远。较标准的表示应是表示允许偏差的色环的宽度是其他色环的 1.5~2 倍。各色环颜色所代表的含义如表 1.5 所示，色环法表示的电阻值单位一律是欧姆。

表 1.5 色环颜色所代表的含义

颜 色	有效数字	乘 数	允许偏差%	颜 色	有效数字	乘 数	允许偏差%
银 色	—	10^{-2}	± 10	绿 色	5	10^5	± 0.5
金 色	—	10^{-1}	± 5	蓝 色	6	10^6	± 0.2
黑 色	0	10^0	—	紫 色	7	10^7	± 0.1
棕 色	1	10^1	± 1	灰 色	8	10^8	—
红 色	2	10^2	± 2	白 色	9	10^9	$-20 \sim +50$
橙 色	3	10^3	—	无 色	—	—	± 20
黄 色	4	10^4	—				

电阻器色标示例如图 1.4 所示，其中图 1.4(a)为四环道 $72\text{ k}\Omega \pm 5\%$ 的一般电阻，图 1.4 (b) 为五环道 $5.72\text{ k}\Omega \pm 0.5\%$ 的精密电阻。

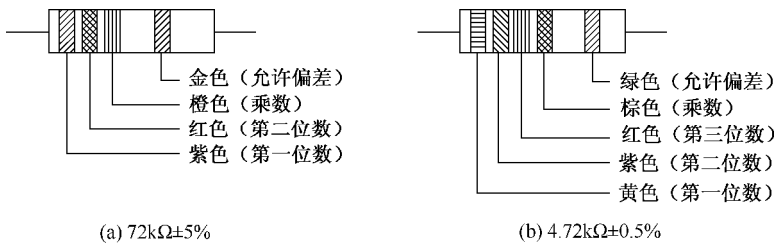


图 1.4 电阻器色标示例

2. 额定功率

电阻器的额定功率指电阻器在环境温度为 $-55^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ，大气压强为 101kPa 条件下，连续承受直流或交流负荷时所允许的最大消耗功率。选用电阻器时，根据其额定功率和环境温度的不同，应当留有不同余量，电路中电阻器消耗的实际功率必须小于其额定功率，一般要选用等于实际承受功率的 1.5~2 倍，才能保证电阻耐用可靠，否则电阻器的阻值及其他性能将会发生改变，甚至发热烧毁。

电阻器的额定功率采用标准化的额定功率系列值：线绕电阻器系列为 3W、4W、8W、10W、16W、25W、40W、50W、75W、100W、150W、250W、500W；非线绕电阻器系列为 0.05W、0.125W、0.25W、0.5W、1W、2W、5W。电阻器功率图形符号如图 1.2 所示，如果电阻器功率大于 10W 或小于 $1/8\text{W}$ ，可以用数字和单位直接在电阻器上标志。另外，可根据电阻体积大小来判断其功率大小，电阻器外形尺寸与额定功率的关系如表 1.6 所示。

表 1.6 电阻器外形尺寸与额定功率的关系

外形尺寸 额定功率（W）	碳膜电阻器（RT）		金属膜电阻器（RJ）		合成碳膜电阻器（RH）	
	长度（mm）	直径（mm）	长度（mm）	直径（mm）	长度（mm）	直径（mm）
1/8	11.0	3.9	6.0~7.0	2.0~2.2	12.0	2.5
1/4	18.5	5.5	8.0	2.6	15.0	5.5
1/2	28.0	5.5	10.8	5.2	25.0	5.5
1	30.5	7.2	13.0	6.6	28.0	6.0
2	48.5	9.5	18.5	8.6	46.0	8.0

3. 最大工作电压

电阻器长期工作不发生过热或电击穿损坏等现象的电压称为电阻器的最大工作电压。当电压过高超过最大工作电压时，电阻器将会发生极间击穿，使电阻变值或损坏而不能使用。一般来说，额定功率大的电阻，它的耐压较高。例如，1/8W 的碳膜电阻器的最大工作电压为 150V，而 1/4W 的碳膜电阻器的最大工作电压为 250V。同功率的金属膜电阻器的最大工作电压要比碳膜的高一些，例如，1/8W 的金属膜电阻器的最大工作电压约为 200V。

4. 温度系数

温度系数是指温度每变化 1℃所引起的电阻值的相对变化。温度系数越小，电阻的稳定性越好。阻值随温度升高而增大的为正温度系数，反之，为负温度系数。

5. 老化系数

老化系数是指电阻器长期负载于额定耗散功率后，电阻阻值的相对变化的百分数。老化系数表征电阻寿命的长短。

6. 高频特性

当电阻器在高频条件下使用时，应考虑引线电感和分布电容的影响。

1.1.4 电位器

1. 电位器的作用

可变式电阻器一般称为电位器，由一个电阻体和一个转动或滑动系统组成，是一种阻值连续可调的电阻器，它靠电阻器内一个活动触点（电刷）在电阻体上滑动，可以获得与转角（旋转式电位器）或位移（直滑式电位器）成一定关系的电阻值。在家用电器和其他电子设备电路中，电位器的作用是分压、分流和作为变阻器；在晶体管收音机、CD 唱机、VCD 机中，常用电位器阻值的变化来控制音量的大小，并有的兼作开关使用。

2. 电位器的分类

电位器的种类十分繁多，分类的方法也不同。按线绕方式或电阻体的材料分，可分为线绕电位器和非线绕电位器。按接触方式分，可分为接触式电位器和非接触式电位器。按结构

特点分,又可分为单联、双联、多联电位器;单圈、多圈、开关电位器;锁紧、非锁紧电位器等。按调节方式分,可分为旋转式电位器和直滑式电位器、一般调节和精密多圈调节等多种类型。

3. 电位器的主要技术指标

(1) 电位器的额定功率是指电位器的两个固定端上允许耗散的最大功率,使用中应注意额定功率不等于中心抽头与固定端的功率。

(2) 其标称阻值系列与电阻的系列类似。允许偏差等级根据不同精度等级,可允许 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 的偏差。精密电位器的精度可达 $\pm 0.1\%$ 。

(3) 电位器的阻值变化规律是指其阻值与滑动接触点旋转角度或滑动行程之间的关系,这种变化关系可以是任何函数形式,常用的有直线式、对数式和反转对数式(指数式)。

在使用中,直线式电位器适合于作分压器;反转对数式(指数式)电位器适合于作收音机、录音机、电唱机、电视机中的音量控制器。维修时若找不到同类品,可用直线式代替,但不宜用对数式代替。对数式电位器只适合于作音调控制等。

1.1.5 电阻器的选用及使用注意事项

(1) 主要参数必须满足,优先选用通用型电阻器和标准系列的电阻器。选用电位器时,还应注意尺寸大小和旋转轴柄的长短、轴端式样,以及轴上是否需要锁紧装置等。

(2) 在高频电路中,应选用分布参数小的电阻器;在高增益前置放大电路中,应选用噪声电动势小的电阻器。

(3) 电阻器的引线不要从根部弯曲,否则容易将引线折断。在高压电路中,应注意电阻器的最大工作电压,以防电阻器内产生电弧,致使电阻器击穿或烧毁。

(4) 使用前,必须进行检测。应先检查一下外观有无损坏、引线是否生锈、端帽是否松动,然后再用万用表复查一下,其阻值是否与标称值相符。电位器轴应转动灵活,松紧适当,且无机械杂音,检查开关是否灵活,开关通、断时“喀哒”声是否清脆。在用万用表测量固定端对活动触点间的电阻值时,若缓慢旋转转轴,表针应平稳移动,不应有跳跃现象。

(5) 电阻器出现故障需要更换时,最好用同类型、同规格、同阻值的电阻器。如果无合适阻值和功率的电阻,代换方法:额定功率大的可以代换额定功率小的,精度高的可以代换精度低的,金属膜电阻器可以代换同阻值、同功率的碳膜电阻器;半可调电阻器可代换固定电阻器。电位器代换时,还应注意电位器的轴长及轴端形状能与原旋钮配合,其体积大小、外形和阻值范围应同原电位器相近。

1.2 电 容 器

电容器作为基本元件在电子线路中起着重要作用,在传统的应用中,电容器主要用做调谐、交流信号的旁路、交直流电路的交流耦合、电源滤波、隔直以及小信号中的振荡、延等等。电容器通常叫做电容。电容的种类很多,按结构形式来分,有一般电容器、极性电容器(别名:电解电容)、可调电容器、预调电容器等。在电路中,电容的符号如图 1.5 所示。

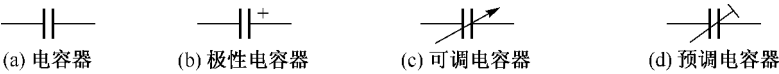


图 1.5 电容的符号

1.2.1 电容器的型号命名和标志方法

1. 电容器的型号命名方法

电容器的型号一般由以下 4 部分组成：第 1 部分用一个字母表示产品主称代号，电容器代号用字母 C 表示；第 2 部分为电容器介质材料代号，其电容器介质材料代号字母所表示的意义如表 1.7 所示；第 3 部分为类别代号，一般用数字表示分类，个别类型用字母表示，电容器分类部分数字或字母所表示的意义如表 1.8 所示；第 4 部分用阿拉伯数字表示序号，对主称、介质材料相同，仅尺寸、性能指标略有不同，但基本不影响互换使用的产品，给予同一序号；若尺寸、性能指标的差别明显，影响互换使用时，则在序号后面用大写字母作为区别代号。图 1.6 所示为铝电解电容器型号命名范例。

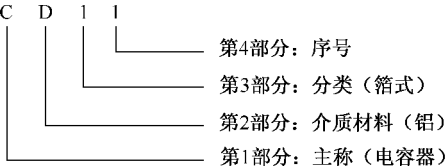


图 1.6 铝电解电容器型号命名范例

表 1.7 电容器介质材料代号字母所表示的意义

字 母	电容器介质材料	字 母	电容器介质材料
A	钽电解	L	聚酯等极性有机薄膜（包括涤纶电容等）
B	聚苯乙烯等非极性薄膜	L S	聚碳酸酯等极性有机薄膜
C	高频陶瓷	N	钽电解
D	铝电解	O	玻璃膜
E	其他材料电解	Q	漆膜
G	合金电解	S T	低频陶瓷
H	纸膜复合介质	V X	云母纸
I	玻璃釉	Y	云母
J	金属化纸介	Z	纸介

表 1.8 电容器分类部分数字或字母所表示的意义

数字代号	分类意义				字母代号	分类意义
	瓷介	云母	有机	电解		
1	圆形	非密封	非密封	箔式	J	金属化
2	管形	非密封	非密封	箔式		
3	叠片	密封	密封	烧结粉液体		
4	独石	密封	密封	烧结粉固体		
5	穿心	—	穿心	—	W	微调
6	支柱等	—	—	—		
7	—	—	—	无极性	G T	高功率
8	高压	高压	高压	—		
9	—	—	特殊	特殊		

2. 电容器的标志方法

(1) 直标法

容量单位: F (法拉)、 μF (微法)、nF (纳法)、pF (皮法), 1 法拉 = 10^6 微法 = 10^9 纳法 = 10^{12} 皮法。

① 直接用数字和字母结合标志: 如 100nF 用 100n 标志, $33\mu\text{F}$ 用 33μ 标志, 3300pF 用 3300p 标志等。

② 用文字、数字符号的有规律组合来标志: 如 5.1pF 用 5p1 标志, $3.3\mu\text{F}$ 用 $3\mu 3$ 标志等。另外, 也有用 3 位数字直接标志的, 其中第一、第二位数为容量的有效数字, 第三位为倍数, 表示有效数字后边零的个数, 电容量单位为 pF, 即数码表示法。例如, 333 表示 $33 \times 10^3 \text{pF}$, 为 $0.033\mu\text{F}$, 101 表示 100pF 等。

(2) 色标法

电容器的色标法原则上与电阻器的色标法相同, 标志颜色符号所代表的数字可参阅表 1.5, 其单位为 pF。

偏差的标志方法一般有 3 种: 一是将允许偏差直接标在电容器上; 二是将罗马数字 “I”、“II”、“III” 标在电容器上, 分别表示 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 这 3 个偏差等级; 三是用英文字母表示偏差等级, 如用 J、K、M 和 N 分别表示 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 和 $\pm 30\%$ 的偏差, 用 D、F、G 分别表示 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 的偏差, 而用 R、S 和 Z 分别表示 $^{+100\%}_{-10\%}$ 、 $^{+50\%}_{-20\%}$ 和 $^{+80\%}_{-20\%}$ 的偏差。例如, 标有 224k 字样的电容器, 其标称容量为 $22 \times 10^4 \text{pF}$, 其允许偏差为 $\pm 10\%$ 。

电容器的偏差除按上述方法标志外, 也有采用色标法来标志的, 原则上与电阻器色标法相同, 标志颜色符号所代表的数字可参阅表 1.5。

在电路图中电容单位的标注规则: 通常在容量小于 $10\,000\text{pF}$ 时, 用 pF 做单位, 大于 $10\,000\text{pF}$ 时, 用 μF 做单位。为了简便起见, 大于 100pF 而小于 $1\mu\text{F}$ 的电容量常常不注单位。没有小数点的, 它的单位是 pF, 有小数点的, 它的单位是 μF 。例如, 3300 就是 3300pF , 0.1 就是 $0.1\mu\text{F}$ 等。

1.2.2 电容器的主要技术指标和结构与特点

1. 电容器的主要技术指标

(1) 标称容量和允许偏差

电容器上标有的电容量是电容器的标称容量, 其标称容量和它的实际容量会有偏差。常用固定电容的标称容量系列如表 1.9 所示, 常用固定电容允许偏差的等级如表 1.10 所示。

(2) 电容的耐压

电容长期可靠地工作所能承受的最大直流电压就是电容的耐压, 也叫做电容的直流工作电压。在交流电路中, 要注意所加的交流电压最大值不能超过电容的直流工作电压值。表 1.11 所示为常用固定电容的直流工作电压系列。有*的数值只限电解电容用。

(3) 电容的绝缘电阻

由于电容两极之间的介质不是绝对的绝缘体, 它的电阻不是无限大, 而是一个有限的数

值，一般在 $1000\text{M}\Omega$ 以上。电容两极之间的电阻叫做绝缘电阻，或者叫做漏电阻。漏电阻越小，漏电越严重。电容漏电会引起能量损耗，这种损耗不仅影响电容的寿命，而且会影响电路的工作。因此，漏电阻越大越好。

表 1.9 常用固定电容的标称容量系列

类别	允许偏差	容量范围	标称容量系列
纸介电容、金属化纸介电容、纸膜复合介质电容、低频（有极性）有机薄膜介质电容	$\pm 5\%$	$100\text{pF}\sim 1\mu\text{F}$	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 5.7, 6.8
	$\pm 10\%$	$1\mu\text{F}\sim 100\mu\text{F}$	1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20
	$\pm 20\%$	只取表中值	30, 50, 60, 80, 100
高频（无极性）有机薄膜介质电容、瓷介电容、玻璃釉电容、云母电容	$\pm 5\%$	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, 5.3, 5.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1	
	$\pm 10\%$	1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 5.7, 5.6, 6.8, 8.2	
	$\pm 20\%$	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 5.7, 6.8	
铝、钽、铌、钛电解电容	$\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ $+50/-20\%$ 、 $+100/-10\%$	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 5.7, 6.8（容量单位为 μF ）	

表 1.10 常用固定电容允许偏差的等级

允许偏差	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$+20\% -30\%$	$+50\% -20\%$	$+100\% -10\%$
级别	02	I	II	III	IV	V	VI

表 1.11 常用固定电容的直流工作电压系列（单位：V）

1.6	4	6.3	10	16	25	32*	40	50*	63
100	125*	160	250	300*	400	450*	500	630	1000

2. 常用电容器的结构与特点

常用电容按介质区分，有纸介电容、油浸纸介电容、金属化纸介电容、云母电容、薄膜电容、陶瓷电容和电解电容等。表 1.12 所示为几种常用电容的结构和特点。

表 1.12 几种常用电容的结构和特点

电容种类	电容结构和特点
纸介电容	用两片金属箔做电极，夹在极薄的电容纸中，卷成圆柱形或者扁柱形芯子，然后密封在金属壳或者绝缘材料（如火漆、陶瓷、玻璃釉等）壳中制成。它的特点是体积较小，容量可以做得较大。但是固有电感和损耗都比较大，用于低频比较合适
云母电容	用金属箔或者在云母片上喷涂银层做电极板，极板和云母一层一层叠合后，再压铸在胶木粉或封固在环氧树脂中制成。它的特点是介质损耗小，绝缘电阻大，温度系数小，适宜用于高频电路
陶瓷电容	用陶瓷做介质，在陶瓷基体两面喷涂银层，然后烧成银质薄膜做极板制成。它的特点是体积小，耐热性好，损耗小，绝缘电阻高，但容量小，适宜用于高频电路。铁电陶瓷电容容量较大，但是损耗和温度系数较大，适宜用于低频电路
薄膜电容	结构和纸介电容相同，介质是涤纶或者聚苯乙烯。涤纶薄膜电容介电常数较高，体积小，容量大，稳定性较好，适宜做旁路电容。聚苯乙烯薄膜电容介质损耗小，绝缘电阻高，但是温度系数大，可用于高频电路
金属化纸介电容	结构和纸介电容基本相同。它是在电容器纸上覆上一层金属膜来代替金属箔，体积小，容量较大，一般用在低频电路中
油浸纸介电容	是把纸介电容浸在经过特别处理的油里，能增强它的耐压。它的特点是电容量大，耐压高，但是体积较大
铝电解电容	是由铝圆筒做负极，里面装有液体电解质，插入一片弯曲的铝带做正极制成。还需要经过直流电压处理，使正极片上形成一层氧化膜做介质。它的特点是容量大，但是漏电流大，稳定性差，有正负极性，适宜用于电源滤波或者低频电路中。使用的时候，正负极不要接反

续表

电容种类	电容结构和特点
钽、铌电解电容	用金属钽或者铌做正极，用稀硫酸等配液做负极，用钽或铌表面生成的氧化膜做介质制成。它的特点是体积小，容量大，性能稳定，寿命长，绝缘电阻大，温度特性好。用在要求较高的设备中
半可变电容	也叫做微调电容，它是由两片或者两组小型金属弹片，中间夹着介质制成的。调节时，改变两片之间的距离或者面积。它的介质有空气、陶瓷、云母、薄膜等
可变电容	由一组定片和一组动片组成，它的容量随着动片的转动可以连续改变。把两组可变电容装在一起同轴转动，叫做双连。可变电容的介质有空气和聚苯乙烯两种。空气介质可变电容体积大，损耗小，多用在电子管收音机中。聚苯乙烯介质可变电容做成密封式的，体积小，多用在晶体管收音机中

1.2.3 电容器的使用

1. 电容器的选择

(1) 根据电子设备对电容器主要参数的要求选择电容器

① 容量及精度的选择。电容器容量的数值必须按规定的标称值来选择，需要注意的是，不同类型的电容器，其标称值系列的分布规律是不同的。电容器的偏差等级有多种，但除振荡、延时、选频等网络对电容精度要求较高外，大多数情况下对电容的精度要求并不高。如低频耦合、去耦、电源滤波等电路中，其电容选 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$ 的偏差等级都可以。

② 耐压值的选择。为保证电容器的正常工作，被选用的电容器的耐压值不仅要大于其实际工作电压，而且还要留有足够的余地，一般选耐压值为实际工作电压的两倍以上。在滤波电路中，电容的耐压值不要小于交流有效值的 1.42 倍。

③ 优先选用绝缘电阻大、介质损耗小、漏电流小的电容器。

表 1.13 所示为常用电容的几项特性。

表 1.13 常用电容的几项特性

电容种类	容量范围	直流工作电压 (V)	运用频率 (MHz)	准确度	漏电阻 ($M\Omega$)
中小型纸介电容	470pF~0.22 μ F	63~630	8 以下	I ~ III	>5 000
金属壳密封纸介电容	0.01~10 μ F	250~1600	直流，脉动直流	I ~ III	>1 000~5 000
中、小型金属化纸介电容	0.01~0.22 μ F	160、250、400	8 以下	I ~ III	>2 000
金属壳密封金属化纸介电容	0.22~30 μ F	160~1 600	直流，脉动电流	I ~ III	>30~5 000
薄膜电容	3pF~0.1 μ F	63~500	高频，低频	I ~ III	>10 000
云母电容	10pF~0.51 μ F	100~7 000	75~250 以下	02~III	>10 000
瓷介电容	1pF~0.1 μ F	63~630	低频、高频 50~3 000 以下	02~III	>10 000
铝电解电容	1~10 000 μ F	4~500	直流，脉动直流	IV V	
钽、铌电解电容	0.47~1 000 μ F	6.3~160	直流，脉动直流	III IV	
瓷介微调电容	2/7~7/25pF	250~500	高频		>1 000~10 000
可变电容	最小>7pF 最大<1 100pF	100 以上	低频，高频		>500

(2) 根据电路应用的性质选择对应介质的电容

在低频耦合、旁路电路中可选用纸介电容和电解电容；在电源滤波、去耦等电路中可选用电解电容；谐振回路可选用云母电容、高频陶瓷电容；隔直流可选用纸介、涤纶、云母、电解、陶

瓷等电容；在中频电路中可选用金属化纸介和有机薄膜电容；在高频电路中，应选用 CC 型瓷介电容和云母电容；在调谐电路中可选用小型密封可变电容、空气介质电容等。

2. 使用电容器的注意事项

(1) 电容器在使用前必须进行检测。应先进行外观检查，电容器引线是否折断，表面有无损伤，型号、规格是否符合要求；然后用万用表检测电容器是否击穿、短路或漏电流是否过大。

(2) 使用电解电容器时，还要注意正负极不要接反，当极性接反时，可能因电解液的反向极化导致电解电容器的爆裂。另外还需注意，电解电容器只能工作在直流或脉动直流电路中，安装时还应注意远离发热组件。

(3) 电容器的引线不要从根部弯曲，焊接时间要适当，不要使电容器长期受热，以免引起其性能变化甚至损坏。

3. 电容器的检测

(1) 固定电容器的检测

① 检测 10pF 以下的小电容，因 10pF 以下的固定电容器容量太小，用万用表进行测量，只能定性地检查其是否有漏电、内部短路或击穿现象。测量时，可选用万用表 $R\times 10\text{k}$ 挡，用两表笔分别任意接电容的两个引脚，阻值应为无穷大。若测出阻值（指针向右摆动）为零，则说明电容漏电损坏或内部击穿。

② 检测 $10\text{pF}\sim 0.01\mu\text{F}$ 固定电容器是否有充电现象，进而判断其好坏。万用表选用 $R\times 1\text{k}$ 挡，两只三极管的 β 值均为 100 以上，且穿透电流要小，可选用 3DG6 等型号硅三极管组成复合管。万用表的红表笔和黑表笔分别与复合管的发射极 E 和集电极 C 相接。由于复合三极管的放大作用，把被测电容的充放电过程予以放大，使万用表指针摆幅度加大，从而便于观察。应注意的是：在测试操作时，特别是在测较小容量的电容时，要反复调换被测电容引脚接触两点，才能明显地看到万用表指针的摆动。

③ 对于 $0.01\mu\text{F}$ 以上的固定电容，可用万用表的 $R\times 10\text{k}$ 挡直接测试电容器有无充电过程以及有无内部短路或漏电，并可根据指针向右摆动的幅度大小估计出电容器的容量。

(2) 电解电容器的检测

① 因为电解电容的容量较一般固定电容大得多，所以在测量时，应针对不同容量选用合适的量程。一般情况下， $1\sim 47\mu\text{F}$ 的电容，可用 $R\times 1\text{k}$ 挡测量，大于 $47\mu\text{F}$ 的电容可用 $R\times 100$ 挡测量。

② 将万用表红表笔接负极，黑表笔接正极，在刚接触的瞬间，万用表指针即向右偏转较大偏度（对于同一电阻挡，容量越大，摆幅越大），接着逐渐向左回转，直到停在某一位置。此时的阻值便是电解电容的正向漏电阻，此值略大于反向漏电阻。实际使用经验表明，电解电容的漏电阻一般应在几百 $\text{k}\Omega$ 以上，否则将不能正常工作。在测试中，若正向、反向均无充电的现象，即表针不动，则说明容量消失或内部断路；如果所测阻值很小或为零，说明电容漏电大或已击穿损坏，不能再使用。

③ 对于正、负极标志不明的电解电容器，可利用上述测量漏电阻的方法加以判别。即先任意测一下漏电阻，记住其大小，然后交换表笔再测出一个阻值。两次测量中阻值大的那一次便是正向接法，即黑表笔接的是正极，红表笔接的是负极。

④ 使用万用表电阻挡,采用给电解电容进行正、反向充电的方法,根据指针向右摆动幅度的大小,可估测电解电容的容量。

(3) 可变电容器的检测

① 用手轻轻旋动转轴,应感觉十分平滑,不应有时松时紧甚至有卡滞的现象。将转轴向前、后、上、下、左、右等各方向推动时,转轴不应有松动的现象。

② 用一只手旋动转轴,另一只手轻摸动片组的外缘,不应感觉有任何松脱现象。转轴与动片之间接触不良的可变电容器,是不能再继续使用的。

③ 将万用表置于 $R \times 10k$ 挡,一只手将两个表笔分别接可变电容器的动片和定片的引出端,另一只手将转轴缓缓旋动几个来回,万用表指针都应在无穷大位置不动。在旋动转轴的过程中,如果指针有时指向零,说明动片和定片之间存在短路点;如果碰到某一角度,万用表读数不为无穷大而是出现一定阻值,说明可变电容器动片与定片之间存在漏电现象。

1.3 电感器

电感器就是电感线圈,用漆包线或纱包线绕制在由塑料或其他绝缘材料构成的骨架上而形成的。绝大多数的电子元器件,如电阻器、电容器、扬声器等,都是生产部门根据规定的标准和系列进行生产的标准元件。而电感线圈除少数(如阻流圈、低频阻流圈、振荡线圈和 LG 固定电感线圈等)可采用现成产品外,通常为非标准组件,需根据电路要求自行设计、制作。电容是通交流隔直流,而电感恰好相反,它的作用是通直流阻交流,电感线圈常用在 LC 滤波、调谐放大、振荡、均衡和去耦等电路中。

1.3.1 电感器的分类与符号

常用的电感器有固定电感器、微调电感器和色码电感器等。变压器、阻流圈、振荡线圈、偏转线圈、天线线圈、中频变压器(俗称中周)、继电器以及延迟线和磁头等,都属于电感器种类。电感器的常用符号如图 1.7 所示。

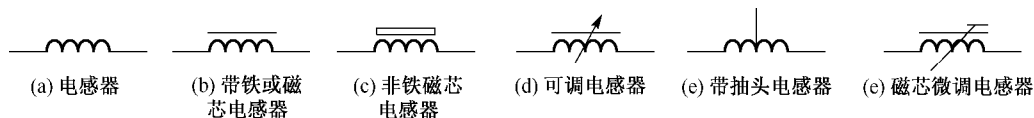


图 1.7 电感器的常用符号

1.3.2 电感器的型号命名和标志方法

1. 电感器的型号命名

电感器的型号命名由主称、特征、型式、区别代号 4 部分组成。第 1 部分:主称,用字母表示,其中 L 代表电感线圈, ZL 代表阻流圈;第 2 部分:特征,用字母表示,其中 G 代表高频,低频一般不标;第 3 部分:型式,用字母或数字表示,其中 X 代表小型, 1 代表轴向引线(卧式), 2 代表同向引线(立式);第 4 部分:区别代号,用数字或字母表示。例

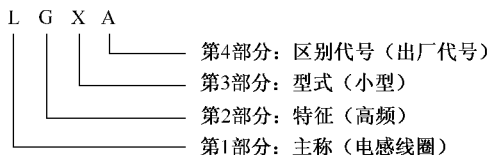


图 1.8 电感器的型号命名范例

如，LGXA 型为小型高频电感线圈，如图 1.8 所示。

2. 电感器的标志方法

(1) 直标法

电感量用数字和单位直接标志在外壳上。单

位有 H（亨利）、mH（毫亨）和 μH （微亨）。

(2) 数码表示法

与电容器的表示方法相同，采用 3 位数码表示，前两位为有效数，第 3 位为零的个数。

(3) 色码表示法

这种表示法也与电阻器的色标法相似，色码一般有 4 种颜色，前两种颜色为有效数字，第 3 种颜色为倍率，单位为 μH ，第 4 种颜色是误差位。

此外，电感量的小数点用 R 表示，最后英文字母表示误差，如 8R2J 表示 $8.2\mu\text{H}$ 。

1.3.3 电感器的主要技术指标

1. 电感量及允许偏差

电感量也称为自感系数，是表示电感器产生自感能力的一个物理量，用字母 L 表示。线圈电感量的大小，主要取决于线圈的圈数、绕制方式及磁芯的材料等。线圈圈数越多，绕制的线圈越密集，电感量越大；线圈内有磁芯的电感量比无磁芯的大，磁芯磁导率越大的，电感量越大。电感线圈电感量的允许偏差取决于用途。用于谐振回路或滤波器中的线圈，要求精度较高，允许偏差为 $\pm 0.2\% \sim \pm 0.5\%$ ；而一般用于耦合或作为阻流圈的线圈，要求精度不高，允许偏差为 $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ 。超小型元件（片状）不标偏差，一般为 $\pm 5\%$ 。

2. 品质因子

线圈的品质因子是衡量线圈质量的重要参数，用字母 Q 表示。Q 值的大小表明了线圈损耗的大小，Q 值越大，线圈的损耗就越小；反之损耗就大。品质因子 Q 在数值上等于线圈在某一频率的交流电压下工作时所呈现的感抗和线圈的直流电阻的比值，即

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{\omega L}{R}$$

式中，L 为电感量，f 为频率，R 为线圈电阻值， ω 为角频率。

Q 值与线圈的结构（导线粗细、多股或单股、绕法、磁芯）有关，Q 值越高，电路的损耗越小。在调谐回路中，要求 Q 较高，以减小与线圈回路的损耗；在滤波回路中，Q 值不宜过高，以免使其与滤波电容构成谐振回路，对电路产生影响，对于高频扼流圈和低频扼流圈不做要求。

3. 分布电容

线圈的匝与匝之间、线圈与地之间以及线圈与屏蔽罩之间都存在离散电容，这些电容统

称为线圈的分布电容。分布电容的存在降低了线圈的稳定性，也使线圈的工作频率受到限制。高频线圈采用减小线圈骨架直径，用细导线绕制、蜂房式或分段式绕法就是为了减少分布电容。

4. 线圈的标称电流值

电感线圈在正常工作时所允许通过的最大电流，也叫做额定电流。它是高频、低频扼流线圈和大功率谐振线圈的重要参数。常以字母 A、B、C、D、E 来分别表示标称电流值 50mA、150mA、300mA、700mA、1600mA。应用时实际通过电感器的电流不宜超过标称电流值。若工作电流大于额定电流，电感器会因此改变参数，甚至烧毁。

5. 线圈的稳定性

线圈的稳定性是指线圈参数随环境条件变化而变化的程度。

1.3.4 电感器的检测和选用注意事项

1. 电感器的检测

电感元件的通断、绝缘等情况可用万用表的电阻挡进行检测。具体方法是：将指针式万用表置于 $R \times 1$ 挡或 $R \times 10$ 挡，将两表笔接在路线圈的两端，表针应指示导通，否则线圈断路。焊开一脚，如果线圈较细或匝数较多，指针应有较明显的摆动，一般为几欧姆~十几欧姆，如果阻值明显偏小，可判断线圈匝间短路。不过有许多线圈线径较粗，电阻值为几欧姆，甚至小于 1Ω ，这时可改用数字万用表的 200 挡测量。

2. 电感器的选用注意事项

- (1) 选择电感器时要注意其性能参数是否符合电路要求。
- (2) 通常选用损耗小、频率性能好的材料做线圈的骨架。
- (3) 线圈的机械结构应牢固，不应有松匝现象。
- (4) 不论何种电感器，必须考虑其工作频率，使其适应相应频率的工作特点。

1.4 忆 阻 器

1971 年，在研究电荷、电流、电压和磁通量之间的关系时，当时任教于美国加州大学伯克利分校的华裔科学家蔡少棠教授推断在电阻、电容和电感器之外，应该还有一种组件，代表着电荷与磁通量之间的关系。这种组件的效果，就是它的电阻会随着通过的电流而改变，而且即便电流停止了，它的电阻仍然会停留在之前的值，直到接收到反向的电流才会被推回去。蔡少棠认为，电路学基本变量有 4 个，即电压 $v(t)$ 、电流 $i(t)$ 、电荷 $q(t)$ 与磁通量 $\varphi(t)$ ，从统计学的角度对应 6 种关系，其中 5 种已知。6 种关系中，仅磁通量 $\varphi(t)$ 与电荷 $q(t)$ 的关系尚不能确定。蔡教授将这种关系定义为 $d\varphi = Mdq$ ，其中 M 表示忆阻值，这是一个与电

阻具有共同物理量纲的变量，数值上等于施加在忆阻器两端的电压与流经电流之比。4 种基本变量的关系如图 1.9 所示。

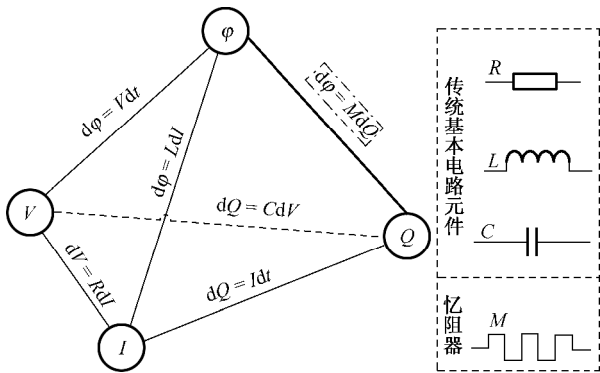


图 1.9 4 种基本变量的关系

2008 年，Strokov 等成功实现了电路世界中的第 4 种基本无源二端电路元件——记忆电阻器，简称忆阻器（memristor），证实了蔡少棠教授于 1971 年最早提出的忆阻器元件概念和 1976 年建立的忆阻器件与系统理论。忆阻器是一种有记忆功能的非线性电阻，通过控制流过忆阻器的电流可以改变其阻值。如果把高阻值定义为“1”，把低阻值定义为“0”，则这种电阻就可以实现存储数据的功能。忆阻器的常用符号如图 1.10 所示。

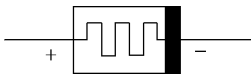


图 1.10 忆阻器的常用符号

2013 年，比勒费尔德大学物理学系的高级讲师安迪·托马斯博士研制的忆阻器被内置于比人的头发细 600 倍的芯片中，利用这种忆阻器作为人工大脑的关键部件。

忆阻器具有以下特点：

- （1）由于忆阻器是连续器件，因而存储的精度是无限的；
- （2）由于忆阻器在使用过程中其内部的结构发生变化，因而具有电不易失性；
- （3）由于忆阻器是基础元器件，可以方便地将忆阻器设计在电路中，获得混合型的电路，便于使用；
- （4）随着忆阻器内部变量变化方式的不同，可以实现数字与模拟两种状态。

忆阻器是一种无源器件，因为其消耗能量而不产生能量，不产生功率增益。独特的记忆特性使其能够以非易失方式记忆流经电荷的总量。据预测，忆阻器的记忆功能可应用于集成电路。基于忆阻器的计算机无须费时、耗能的启动过程，也不同于使用传统 DRAM 的计算机，后者一旦切断电源就无法保存信息。上述设想有望在未来几年内实现。

1.5 半导体分立器件

1.5.1 半导体分立器件型号命名方法

1. 国产半导体分立器件的型号命名法

国产半导体分立器件的型号命名法如表 1.14 所示。