

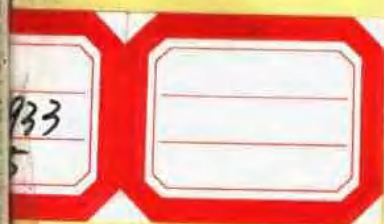
电装实习指导书

(试 行)

唐旭晖 编著

李晓明

燕山大学电子实验中心



电装实习指导书

(试 行)

唐旭晖 编著

燕山大学电子实验中心

前 言

电装实习课的全称是电子工艺实习或电子产品组装实习。本课程针对我校电类各专业和部分机电类专业的学生开设，其主要目的是通过一个完整的电子产品的组装调试，学习电子产品的生产工艺过程，认识和理解电子工艺的基本内容，掌握基本的工艺技术，进一步提高学生的动手操作能力，初步树立起电子工程意识。

电装实习课程在我校开设较早，多年的教学实践，我们已经积累了丰富的实习经验。通过电装实习，不仅能丰富同学们的电子技术实践知识，并且可以培养严谨的技术工作作风。当今世界，电子技术处在发展变化最活跃的前沿，新的技术层出不穷，电子产品更新换代周期不断缩短。因此，我校的电装实习课程为了跟踪电子技术的发展变化，不断更新和丰富实习内容。电装实习的主要内容是以有代表性的基本电子工艺实践为主，辅之以电子元器件应用基本知识，力图在电装实习课程中充分实现理论与实践的结合。

本书共分四章，包括常用电子元器件，印制电路板及焊接，数字万用表工作原理，数字万用表组装、调试工艺。

本书是电子实验中心各位教师多年工作经验的结晶，为了做好电装实习，电子实验中心曾组织了多次研讨活动，为电装实习课的建设做了大量细致入微的工作，在编写本书的过程中采纳了部分同志提出的宝贵意见，在此一并致谢。

由于编者水平有限，且时间仓促，本书中难免存在问题，望同志们批评指正。

第一章 常用电子元器件

任何一个电子仪器总是由若干电子元器件组成。固然其中起着核心关键作用的可能是微控制器，或模拟集成电路和数字集成电路，但其它电子元器件对仪器的功能，精度，稳定性和可靠性也同样起着不容忽视的作用。因此，为了更深刻理解电子产品的工艺过程，对这些元器件的功能，参数和使用方法也必须深入了解和熟练掌握。本章将对常用的一些电子元器件的有关知识加以介绍。

随着电子技术的飞速发展，新技术，新器件层出不穷，电子元件种类繁多，但受课程所限，本章只对那些最常用，最典型在实习过程中出现的元器件加以介绍。

1. 1 电阻器

电阻器是最常用的电子元件，据统计一般电子产品中电阻器可达元器件总数的 40%，由此可见掌握各种电阻器的基本特征和正确使用是至关重要的。

电阻器按照使用过程中阻值是否可变，分成固定电阻器和可变电阻器，前者通常叫做电阻器，后者通常叫做电位器。

电阻器的品种繁多，常用的电阻器按照导电体的结构特征可分为实芯电阻器，薄膜电阻器和线绕电阻器。

实心电阻器是体积导电。它是由高电阻系数的材料、粘接剂和填料混合后压制而成，如合成碳质电阻器。

薄膜电阻器是表面导电。它是将高电阻系数的材料，用一定的方法沉积在绝缘基体上，形成一层薄膜而制成的，如合成碳膜、热分解碳膜、金属膜、金属氧化膜等电阻器。

线绕电阻器是将电阻合金丝缠绕在绝缘基体上制成的，通过电阻合金丝导电。

按照各种电阻器的特性，还可进一步分成高精度、高稳定性、高阻、高压、大功率、高频以及超小型等各种专用类型的电阻器。

1. 1. 1 电阻器的性能指标

一、标称阻值

标称阻值是指标注于电阻体上的名义电阻值。其单位为欧 (Ω)、千欧 ($K\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。

二、允许偏差

电阻器的实际阻值与标称阻值不一定相同，它们之间的偏差大小，就反映了电阻器的精度。不同的精度有一个相应的允许偏差，即标称阻值与实际阻值的相对允许误差。一般允许误差小的电阻器，其阻值精度就高，稳定性也好，但生产要求就相应提高，成本也加大，价格也就贵些。常见允许偏差为 $\pm 0.5\%$ (005级)、 $\pm 1\%$ (01级)、 $\pm 2\%$ (02级)、 $\pm 5\%$ (I级)、 $\pm 10\%$ (II级)和 $\pm 20\%$ (III级)。

现在成品电阻器大都为I级或II级，III级很少，它们已能满足一般设计和应用的要求。005级、02级和01级的精密电阻器，仅供精密仪器及特殊设备选用，他们属于E192、E96、E48系列。

数字万用表中对许多电阻器都要求高精度 (如 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 等)，不能选用普通精度的电阻器。

电阻器的标称阻值依允许偏差的等级，按表 1.1.1 的系列生产。GB2471-81 为国家标准化标号。在每一允许偏差下，系列标准阻值基本上覆盖了所有实际阻值。

表 1.1.1 电阻器标称阻值系列和允许偏差 (GB2471-95)

E24	E12	E6	E24	E12	E6
允许偏差 $\pm 5\%$	允许偏差 $\pm 10\%$	允许偏差 $\pm 20\%$	允许偏差 $\pm 5\%$	允许偏差 $\pm 10\%$	允许偏差 $\pm 20\%$
1.0	1.0	1.0	3.3	3.3	
1.1			3.6		
1.2	1.2		3.9	3.9	
1.3			4.3		
1.5	1.5	1.5	4.7	4.7	4.7
1.6			5.1		
1.8	1.8		5.6	5.6	
2.0			6.2		
2.2	2.2	2.2	6.8	6.8	6.8
2.4			7.5		
2.7	2.7		8.2	8.2	
3.0			9.1		

表中所列数值再乘以 10^n ，就会得出相应的电阻值。表中 E24 系

列是用 $X = \sqrt[n]{10^n}$ 的公式, 令 $n = 1, 2, \dots, 24$ 计算出来的; E12 系列是由公式 $X = \sqrt[12]{10^n}$ 得来的; E6 系列是由公式 $X = \sqrt[6]{10^n}$ 得来的 (在计算中实际上做了一定的修正)。E 系列通常称为优选系列。

三、额定功率

指电阻器在环境温度为 $+25^{\circ}\text{C}$, 长时间连续工作而不损坏, 或不显著改变其性能时, 所允许消耗的最大功率。成品电阻器常见的额定功率有: $1/8\text{W}$ 、 $1/4\text{W}$ 、 $1/2\text{W}$ 、 1W 、 2W 、 5W 、 10W 、 25W 、 50W 等。

四、额定使用电压

电阻器长期稳定工作所能承受的电压, 即长时间工作不发生过热或电击穿损坏时的电压。

额定使用电压与电阻器的额定功率密切相关 (即从公式 $U = \sqrt{PR}$ 来确定, 同时, 还必须考虑到电阻器本身的抗电强度以及工作环境的气压等因素。表 1.1.2 为碳膜(RT)和金属膜(RJ)电阻的额定工作电压, 仅供参考。

表 1.1.2 RT 和 RJ 的额定工作电压

型号	额定功率 (W)	标称阻值 (Ω —M Ω)	工作电压 (V)			最高环境温度
			40mmHg	5mmHg	脉冲幅值	
RT-0.125	0.125	27-1	100		400	100
RT-0.25	0.25	27-5.1	350	350	750	100
RT-0.5	0.50	27-10	500	400	1000	100
RT-1.0	1.0	47-10	700	500	1500	100
RT-2.0	2.0	47-10	1000	750	2000	100
RT-5.0	5.0	47-10	1500	800	5000	100
RT-10.0	10.0	75-10	3000	1000	10000	100
RJ-0.25	0.25	27-10	250		500	120
RJ-0.50	0.50	100-5.1	350	300	750	120
RJ-1.0	1.0	100-10	500	320	1000	120
RJ-2.0	2.0	100-10	700	350	1200	120

电阻器的性能指标还有温度系数、噪声等。

1.1.2 电阻器的型号和标志法

根据我国国家标准 (GB2470-95) 电阻器型号组成部分的意义及代号如表 1.1.3 所示。

表 1.1.3 电阻器的型号

第一部分:主称		第二部分:材料		第三部分: 特征分类		第四部分:序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	对主称、材料特征相同,仅特征尺寸性能指标略有差别,但不影响互换的产品给同一序号。若尺寸、性能指标的差别已明显影响互换性时,则在序号后面用大写字母予以区别。
					电阻器	电位器
R W	电阻器 电位器	T	碳膜	1	普通	普通
		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	特种
		P	碳膜	9	特殊	特殊
		U	碳膜	G	高功率	
		X	线绕	T	可调	
		M	压敏	W		微多
		G	光敏	D		调圈
		R	热敏	B	温度补偿	
				C	温度测量	
				P	旁热式	
				W	稳压式	
				Z	正温度系数	

例如: RT11 是型普通碳膜电阻器; RJ71 是精密金属膜电阻器。

电阻器的阻值及精度等级一般用文字和数字印于电阻器上,也可由色点和色环表示。对不标明等级的电阻器,一般为 $\pm 20\%$ 的偏差。

一、电阻器的直标法

电阻器的直标法是将电阻器的类别、标称电阻值及允许偏差、额定功率以及其他主要参数的数值直接标志在电阻器外表面上,目前,国产电阻器直标法是用文字、数字符号两者有规律地组合起来标志电阻器的标称阻值。文字符号标志电阻器标称阻值实例列于表 1.1.4, 仅

供参考。

表 1.1.4 用文字符号标志电阻器标称阻值实例

标称阻值	文字符号	标称阻值	文字符号
0.1 Ω	R10	1M Ω	1M0
0.33 Ω	R332	3.32M Ω	3M32
1 Ω	1R0	10M Ω	10M
3.32 Ω	3R32	33.2M Ω	33M2
10 Ω	10R	100M Ω	100M
33.2 Ω	33R2	332M Ω	332M
100 Ω	100R	1G Ω	1G0
332 Ω	332R	3.32G Ω	3G32
1K Ω	1K0	10G Ω	10G
3.32K Ω	3K32	33.2G Ω	33G2
10K Ω	10K	100G Ω	100G
33.2K Ω	33K2	332G Ω	332G
100K Ω	100K	1T Ω	1T0
332K Ω	332K	3.32T Ω	3T32

二、电阻器的色标法

色标法指的是将电阻器的参数用不同颜色的色环和色点表示阻值及精度的方法。如表 1.1.5 所示。

表 1.1.5 电阻器标称阻值及精度的色标

颜色	有效数字	应乘倍数	允许偏差
黑	0	1	
棕	1	10	$\pm 1\%$
红	2	100	$\pm 2\%$
橙	3	1000	
黄	4	10000	
绿	5	100000	$\pm 0.5\%$
蓝	6	1000000	$\pm 0.25\%$
紫	7	10000000	$\pm 0.1\%$
灰	8	100000000	
白	9	1000000000	
金	—	0.1	$\pm 5\%$
银	—	0.01	$\pm 10\%$
无色	—	—	$\pm 20\%$

色标法常见有四色环法和五色环法。

四色环法一般用于普通电阻器标注，四色环电阻器色环标注意义为：从左至右第一、二位色环表示其有效值，第三位色环表示乘数，即有效值后面零的个数，第四位表示允许误差

例 1：一只电阻器第一圈（有效数字）为黄，第二圈（有效数字）为紫，第三圈（倍乘）为橙，第四圈（允许误差）为银，则该电阻为 $47\text{K}\Omega \pm 10\%$ 的电阻。

五环色标法一般用于精密电阻器标注，四色环电阻器色环标注意义为：从左至右的第一、二、三位色环表示有效值，第四位色环表示乘数，第五位色环表示允许偏差。

例 2：一只电阻器第一圈为棕（有效数字 1），第二圈为紫（有效数字 7），第三圈为灰（有效数字 8），第四圈为金（倍乘 0.1），第五圈为棕（允许误差 $\pm 1\%$ ），则该电阻为 $17.8\Omega \pm 1\%$ 的电阻。

三、片状电阻器的标称阻值标志法

因为片状电阻器体积较小，一般只将标称阻值用三位数字标志在电阻的表面上，其它参数通常予以省略。前两位数字表示电阻值的有效数字，第三位数字表示有效数字后面零的个数，或者说是 10 的幂数。

例如：电阻器标志符号为 100，有效数为 10，其后面即第三位为 0，这样，100 表示 10Ω ，即电阻器标称阻值为 10Ω 。同理，221 表示 220Ω ，标称阻值为 220Ω ；512 表示 $5.1\text{K}\Omega$ ，标称阻值为 $5.1\text{K}\Omega$ ；473 表示 47 后面加三个 0，即为 $47\text{K}\Omega$ ，标称阻值为 $47\text{K}\Omega$ ，等等。

此外，少数片状电阻器有用 4 位数字标志阻值的。例如，有的片状电阻器标志符号为 6801，其实际阻值为 $6.8\text{K}\Omega$ 。4 位数组标志与 3 位数阻值标志只是多了一位有效数字，第四位数字表示零的个数，其余与 3 位数标志法相同。图 1-1 所示为片状电阻的阻值标志法。

100	221	512	473	564
10Ω	220Ω	$5.1\text{K}\Omega$	$47\text{K}\Omega$	$560\text{K}\Omega$
225	3R3	R62	392	6801
$2.2\text{M}\Omega$	3.3Ω	0.62Ω	$3.9\text{K}\Omega$	$6.8\text{K}\Omega$

图 1-1 片状电阻器标称阻值标志法

1.1.3 几种固定电阻器的性能

一、RT 型碳膜电阻器

碳膜电阻器阻值范围宽，有良好的阻值稳定性，受电压和频率的影响小，脉冲负载稳定，电阻温度系数不大，并且是负值。由于其特性不如金属膜电阻，在军品中已很少使用，但因其价格便宜，在民品中还大量使用。

二、RJ 型金属膜电阻器

金属膜电阻器工作环境温度宽，体机、温度系数和噪声都比较小，因此，多用于要求较高的电子电路。其主要缺点是脉冲负载能力差，因此，在脉冲状态下工作的电阻器，不宜选用金属膜电阻器。由于其可靠性高，是电子电路首选品种。

三、RY 型金属氧化膜电阻器

金属氧化膜电阻器除了具有 RJ 型电阻的优点外，还有耐高温、低阻（ $100\ \Omega$ 以内）性能好的优点。其缺点是在直流负载下氧化膜容易发生电解使氧化物还原，性能不太稳定。

四、R11 薄膜镍铬精密电阻器

该型电阻器的精度高，温度系数小，稳定性好，适宜于计算机、通信设备以及专用仪器等要求较高的场合。

五、RX 线绕型电阻器

线绕型电阻器在较宽的温度范围内具有较低的温度系数，阻值精度高、稳定性好、抗氧化、耐热。因此，它主要作为精密和大功率电阻器使用。其缺点是高频性能差。

六、MF 型普通负温度系数热敏电阻器

负温度系数的热敏电阻器又称 NTC 热敏电阻器，主要在电路中作

温度补偿用,也可在温度测量和温度控制电路中作感温元件用。

七、厚膜电阻网络

厚膜电阻网络以高铝瓷为基体,采用高稳定、高可靠性的锡系玻璃釉电阻材料,在高温下烧结制成,外有色封料保护。电阻网络承受功率大(单个电阻 $1/8$ 或 $1/4W$),温度系数小($\pm 300ppm/^{\circ}C$),阻值范围广($10\Omega \sim 1M\Omega$),适宜于电子整机小型化。图 1.1.1 所示为单列直插电阻网络。

1. 1. 4 电阻器的使用

一、电阻器的规格标志

为了识别和选用电阻器,每个电阻器都有完整的规格标志,在编写元器件表时,电阻器和其它元器件一样应注明其全标志,即电阻器型号—额定功率—标称阻值—允许偏差。如 RJX-0.125-1K Ω - $\pm 10\%$ 。

二、电阻器的正确选用

1. 按照不同的用途,选取适当型号

选取电阻器不仅要考虑电路的要求,还要考虑价格、供应情况,特别电阻器的具体应用场合等因素。

民用和一般用途,选择通用性电阻器,价廉,货源充足。军用和特殊用途,可选择专用型电阻器,以保证设备的性能指标和稳定可靠地工作。

线绕电阻器,即使是无感绕法的,其分布电感也比非线绕电阻大得多,因此不宜用于高频电路中。

2. 正确选取阻值及精度

电阻值应选择靠近计算值的一个标称值。若有高精度要求则应选用精密电阻器。在某些场合下,也可以挑选或采用串、并联的方法,以满足精度的要求。

3. 额定功率的选则

电阻器的额定功率,应选得比计算的实际耗散功率大,在一般情况下,按可靠性设计选取的减额因子选择实际功率的 1.5-3 倍以内。若功率较大,应选用功率电阻器。在某些情况下,也可将几个小功率电阻器串、并联使用,以满足功率的要求。

在电阻器散热良好或电阻器连续工作时间较短的情况下,可以满足功率甚至适当地超过额定功率使用。若工作于高温、低气压等环境应

降低功率使用。

当电阻器在脉冲状态下工作时，只要脉冲平均功率不大于额定功率，允许脉冲功率超过额定功率使用。但当脉冲宽度远小于重复周期时，应防止电阻器因局部过热或电击穿而损坏。

4. 注意最高工作电压

每个型号的电阻器都有一定的耐压，超过这个电压，电阻器就会击穿、烧坏或产生表面飞弧现象。在高压下使用时，对于高阻值电阻，其应用值更应小于最高工作电压。这是因为应用值不仅受电阻发热的限制，而且还与相邻两导电体之间薄膜的耐压、电阻器表面的洁净程度、气压高低、相对湿度大小、负载性质（是连续负载还是脉冲负载）有关。

四、使用中应注意的问题

1. 电阻器引线需要弯曲时，不应从根部打弯，根部需留出一定距离，不小于5毫米，否则容易折断引线。

2. 焊接电阻器时动作要快，尽可能不要使电阻器长时间受热，以免引起阻值发生变化，影响其固有性能指标。

3. 电阻器在存放和使用过程中，都要保持漆膜的完整，不要互相碰撞和强烈摩擦。电阻器漆膜脱落后，防潮性能降低，甚至损坏导电层，使电阻器失效。

五、电阻器的测量

电阻其实际阻值的测量最简单的方法是使用指针或数字万用表。指针式万用表电阻测量范围约为 $0.1\Omega \sim 10M\Omega$ ，准确度 $\pm 1.0\% \sim \pm 4.0\%$ 。数字万用表电阻测量范围一般为 $0.1\Omega \sim 20M\Omega$ ，准确度 $\pm 0.2\% \sim \pm 1.0\% \pm 1$ 个字。

利用直流电桥（惠斯登电桥）和数字电桥也可测量电阻，一般测量范围约 $1\Omega \sim 2M\Omega$ ，准确度为读数的 $\pm 1.0\% \pm 1$ 个字。

特殊情况下可以用 U-I 法，即测出电阻两端电压和通过的电流在折算出电阻值。

的阻值电阻可用开尔文电桥测量。高阻值电阻阻值高于数十兆欧的（如绝缘电阻）可用兆欧表（或摇表）测量，但准确度较差。

上述各测量都必须离线，即线路上的电阻至少要断开一端来测量，以减少其它电路对测量的影响。

1.1.5 电位器

常用的电位器是旋转式的，按照导电体的结构特征，可分为实芯电位器、薄膜电位器、和线绕电位器。

一、 电位器的性能指标

各种电位器所用电阻材料与相应的电阻器相同，因而各种电位器的主要性能也与相应的电阻器类似。由于电位器的阻值可变和有触点，因此还有其它一些参数。

1. 电阻规律

电阻规律指的是电位器阻值随活动触点的旋转角度变化的关系，这种关系可以是任意函数形式，常用的是直线式、指数式和对数式，分别用X、Z、D表示，如图1.1.2所示

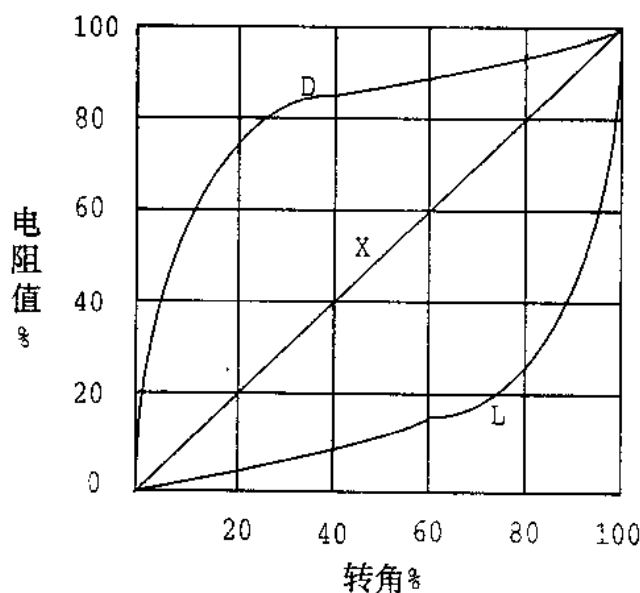


图 1.1.2 阻值变化特性

2. 最大阻值与最小阻值

电位器的标称阻值都是指最大阻值。最小阻值又称零位电阻，由于触点存在接触电阻，因此，最小阻值不可能是零。

除上述参数外，电位器还有符合度、线性度、分辨力、平滑性、动态噪声、绝缘电阻、旋转角度、耐磨性等参数。

二、电位器的选用

1. 电位器的电阻值最小时，通过的电流达到最大，电位器的额定功率应选择的能承受这一电流。

2. 电位器的阻值变化特性，应根据用途选择，如音量控制电位器应选用指数式的；用作分压器时应选用直线式的；作音调控制时，应选用对数式的。

3. 选用电位器时，还应注意尺寸大小和旋转轴柄的长度，昼短试样和轴上是否需要锁紧装置等。经常需要调节的电位器，应选择轴端铣成平面的，以便安装旋钮；不需要经常调节的，可选择轴端带有刻槽的，用螺丝刀调整好后不再经常转动；一经调好就不再变动的，可选择带锁紧装置的电位器。

4. 电位器轴应旋转灵活，松紧适当，无机械杂声。用欧姆表测量固定端和滑动端接线片之间的阻值时，缓慢旋转轴，表针应平稳移动，不应有跳跃现象。

由于电位器有转动机构存在，不可能进行有效密封，所以电位器不能在高湿度环境中使用。

1. 2 电容器

电容器的结构非常简单，两个相互靠近的导体，中间加一层不导电的绝缘介质，就构成了电容器。当在电容器的两个极板上加上电压时，电容器就储存电荷，所以电容器是充放电荷的电子元件。电容器的电容量在数值上等于一个极板上的电荷量与两个极板之间的电压之比值。

电容器的电容量的基本单位是法拉（用字母 F 表示） $C = Q/U$

如果一伏特的电压能使电容器充电一库仑，那么电容器的容量就是一法拉（1F）。在实际应用时，法拉这个单位太大，通常用法拉的百万分之 10^{-6} ，称作微法（ $1\mu F$ ），和微法的百万分之一为单位，称作皮法（ $1pF$ ） 10^{-12} 有时也用 nF（ $1nF=1000pF$ ）标注电容量。

电容器具有隔直和分离各种频率的能力，在电子仪器中主要用作隔直流、耦合、旁路、滤波及用于谐振回路。

电容器还具有储存电能的能力，可以将电能逐渐积累起来，然后向外电路输送出去，从而获得大功率的瞬时脉冲。

电容器基本分为固定和可变两大类。固定电容器按介质材料分，有空气（或真空）、云母、瓷介、纸介（包括金属化纸介）、薄膜（包

括塑料、涤纶等)、混合介质、玻璃釉、漆膜和电解电容器等。可变电容期则有可变和半可变(包括微调电容器)之分,按介质材料又可分为空气和固体介质两种。

1.2.1 电容器的性能指标

电容器的主要参数有:标称容量、允许偏差、额定工作电压、绝缘电阻、温度系数、电容器损耗、频率特性等。

一、标称电容量

标志于电容体上的名义电容量。其单位为微法($1\mu\text{F}$)、纳法(1nF)、皮法(1pF)。它们之间的换算关系如下:

$$1\text{F}(\text{法拉})=10^6\mu\text{F}(\text{微法})$$

$$1\mu\text{F}(\text{微法})=10\text{nF}(\text{纳法})=10^6\text{pF}(\text{皮法})$$

为了简化标称容量规格,根据国家标准电容器大都是按 E24、E12、E6、E3 优选系列进行生产的。实际选购时通常应按系列标准要求,否则可能难以购到。当然特殊规格电容器是例外,可以专门联系定制和购买。

二、允许偏差

标称电容量与实际电容量的相对允许误差,允许偏差 $<\pm 1\%$ 时用绝对偏差表示。允许偏差与其代号之间的关系见下表。

表 1.2.1 电容器允许偏差

允许偏差	$\pm 0.1\text{pF}$	$\pm 0.25\text{pF}$	$\pm 0.5\text{pF}$	$\pm 1\text{pF}$ $\pm 1\%$	$\pm 2\text{pF}$ $\pm 2\%$
代号	B	C	D	F	G

允许偏差	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	+50% -20%	+80% -20%	+100% 0%
代号	J	K	M	S	Z	H

表 1.2.2 标称电容器系列和允许偏差的组合

允 许 偏 差				
标称电容量 $C_r \geq 10\text{pF}$		标称电容量 $< 10\text{pF}$		标称电容量 系列
数值	代号	数值	代号	
+100%	H			E6
0%				
+80%	Z			
-20%				E12
+50%	S			
-20%				
$\pm 20\%$	M	$\pm 2\text{pF}$	G	E24
$\pm 10\%$	K	$\pm 1\text{pF}$	F	
$\pm 5\%$	J	$\pm 0.5\text{pF}$	D	
$\pm 2\%$	G	$\pm 0.25\text{pF}$	C	E24
$\pm 1\%$	F	$\pm 0.1\text{pF}$	B	

注：电容量的标称系列基本上与电阻器的 E6、E12、E24 相同。10pF 以下的电容量为 1, 2, 3...10pF

三、额定直流电压

表示电容器长期正常工作的最高直流电压，它随着气压降低、环境温度升高而减小。

当电容器工作于交流电路中，应注意，交流电压峰值不要超过额定工作电压，一般电容器能承受的交流电压峰值，为其额定直流工作电压的 10~60%。频率越高，能承受的电压越低。这是因为在交流电压作用下，介质损耗增加，发热量增加，同时也容易发生表面放电或电极边缘的空气游离击穿。

四、绝缘电阻

理想电容器的介质应是不导电的绝缘体，实际上任何电容器都具有绝缘电阻，电容器介质的电阻即为绝缘电阻。绝缘电阻等于加到电容器上的直流电压与漏电流的比值，即 $R = U / I$ 。

一般电容器绝缘电阻的数量级在 100-10000MΩ，绝缘电阻随温度的升高或电压的降低而减小。

对于大容量的电容器（如电解电容器），因其漏电流较大，所以

用漏电流表示绝缘性能更合理。电解电容器的漏电流与其标称值和额定电压有关，允许漏电流数量级在 $0.1 \sim 1.5 \mu\text{A}$ 。

五、电容器的损耗角正切

电容器的损耗包括介质损耗和金属损耗。介质损耗包括极化损耗（介质在电场作用下因极化而引起的能量损耗）和漏导损耗（介质的漏电流引起的损耗）。金属损耗是由基片与引线之间的接触电阻造成的。频率越高这两个损耗越严重，通常用损耗角的正切 $\tan \delta$ 来描述电容器电能损耗， δ 为损耗角。

损耗角是这样定义的：由于电容器有损耗，加在电容器两端的正选交流电压，与通过电容器的电流之间的相位差不是 $\pi/2$ ，而是稍小于 $\pi/2$ 。这一偏离 $\pi/2$ 的小角度 δ ，就称为电容器的损耗角。

$\tan \delta$ 值越小，损耗就越小。在高频电路中，应选择 $\tan \delta$ 小的电容器。

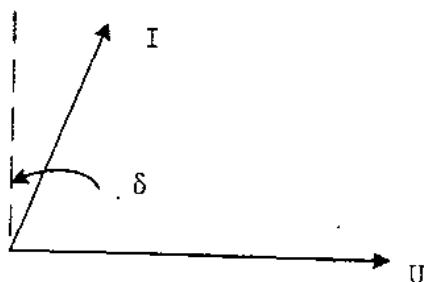


图 1.2.1 电容器的损耗角

六、电容器的温度特性

一般情况下，电容器的容量会随着温度而改变，这就是电容器的温度特性。用电容温度系数和温度系数的允许偏差来表示。电容器的温度系数为

$$\alpha = \frac{1}{C} \frac{\Delta C}{\Delta T} \times 100\%$$

其中 C 为标称电容量， $\Delta C / \Delta T$ 为温度变化所引起的容量相对变化。

电容温度系数允许偏差常用代号表示，如表 1.2.3 表示。

表 1.2.3 α 的允许偏差

允许偏差代号	F	G	H	J	K	L	M
偏差值 ppm	± 15	± 30	± 60	± 120	± 250	± 500	± 1000

1.2.2 电容器的型号和标志法