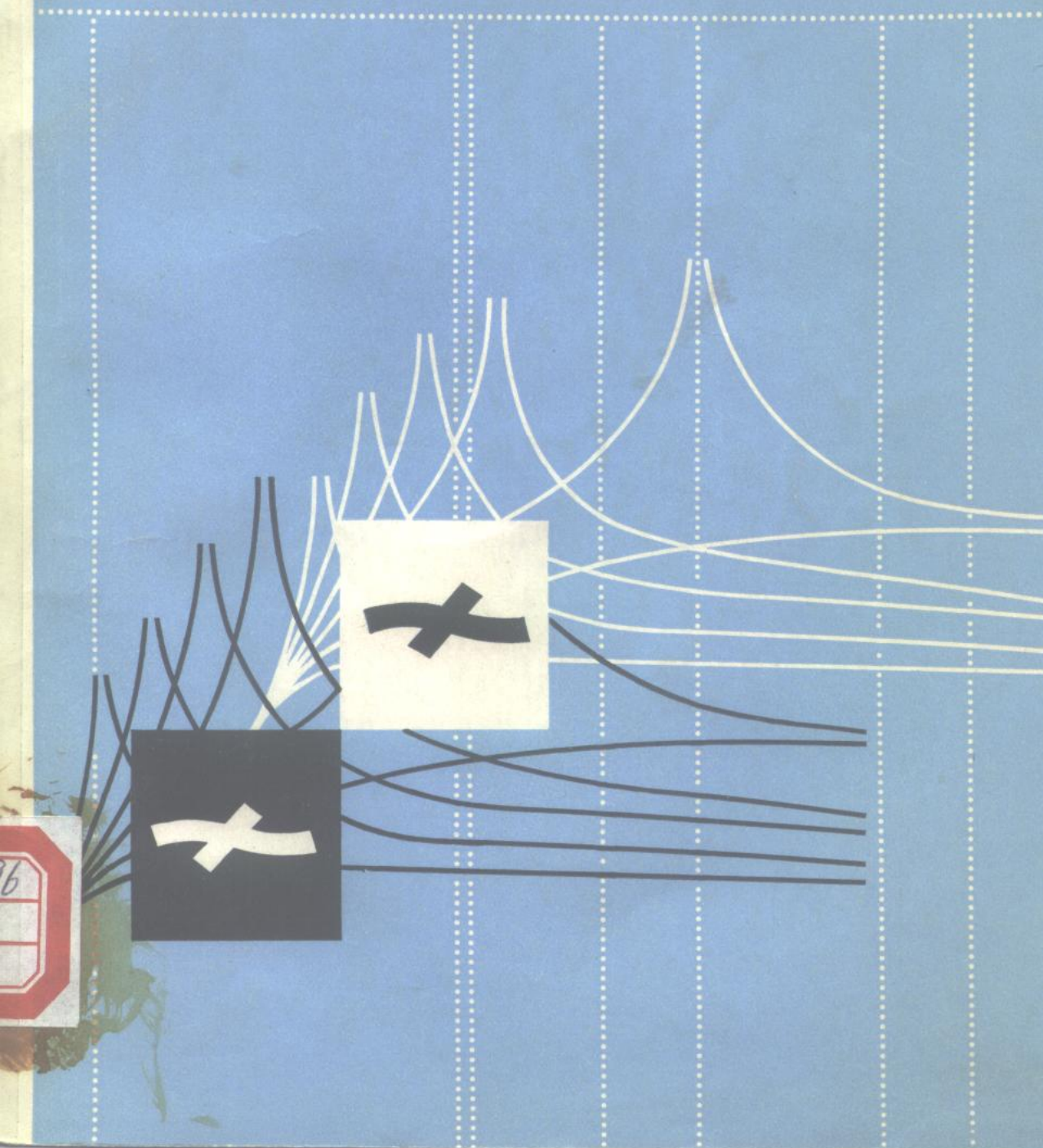


电信网络制作及元件

北京邮电学院一系《网络理论教研室》

Dianxin Wangluo Zhizuo ji Yuanjian



7-3145-96
163

电信网络制作及元件

北京邮电学院一系《网络理论教研室》



人民邮电出版社

内 容 提 要

本书比较详细地阐述了载波通信设备中无源部件的生产工艺问题，介绍了制作中的原则及方法。并对组成无源部件的元件以及测试仪表作了必要的介绍，最后附有设计制作铁氧体磁芯线圈的资料。全书共分八章，包括：电阻器、电容器、电感器、变量器、无源部件的制作、无源部件的测试方法、无源部件的调测、常用测试仪表等。可供从事载波通信工作的生产工人、维护人员、工程技术人员以及有关专业的师生学习和参考。

DT05/19

电信网络制作及元件

北京邮电学院一系〈网络理论教研室〉

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/16 1979年7月 第 一 版
印张：11 8/16 页数：92 1979年7月河北第一次印刷
字数：286 千字 印数：1—21,000 册

统一书号：15045·总2307-有5124

定 价： 1.10 元

前 言

随着我国通信事业的飞跃发展，载波通信已经成为全国通信的主要手段之一。对于各类载波通信设备的质量和数量都提出了越来越高的要求，以保证准确、可靠、迅速的完成各种通信业务。因此，掌握载波通信设备中重要部件—电信网络的原理结构和制作方法，对从事载波通信工作的工人，工程技术人员来说，是不可缺少的技术知识。

为了适应通信技术发展的需要，适应广大从事载波通信工作的工人，工程技术人员及通信院校师生学习电信网络的要求，我们根据近几年来参加教学、生产实践的体会，继编写《电信网络基础》之后，又编写了这本《电信网络制作及元件》。《电信网络基础》主要介绍无源部件的基本理论，而本书主要介绍载波通信设备中无源部件的生产制作问题，并围绕这个中心，对于组成无源部件的元件、对于无源网络的分析方法、对于无源部件的测试及故障处理以及无源部件生产过程中的常用仪表，都进行了必要的介绍。

本书由吴如森、赵尔沅同志执笔。在编写过程中，我们曾多次到邮电通信工厂和企业，学习广大工人、工程技术人员生产实践的科学经验，得到了他们的大力支持，特别是邮电505厂和邮电519厂给了我们很多帮助，并对初稿提了不少宝贵意见，对此我们表示衷心的感谢！由于初稿形成较早，因而仍有一些工艺及技术方面的新创造，没有能得到系统的介绍。此外，由于我们水平不高，难免有不妥及错误之处，希望读者批评指正。

北京邮电学院一系《网络理论教研室》

一九七八年九月

目 录

结论	(1)
第一章 电阻器	(3)
1.1 电阻器的基本参数	(3)
一、电阻值及其精度等级 (4) 二、额定功率 (5) 三、稳定性 (5)	
四、噪声系数 (6)	
1.2 薄膜电阻器及线绕电阻器的特性	(7)
一、碳膜电阻器 (7) 二、金属膜电阻器 (8) 三、金属氧化膜电阻器 (9) 四、线绕电阻器 (9)	
1.3 电阻器的型号标记及阻值测量	(10)
一、电阻器的型号标记 (10) 二、电阻值的测量 (10) 三、551型电桥 (11)	
第二章 电容器	(13)
2.1 电容器的基本参数	(13)
一、电容量 (13) 二、绝缘电阻 (14) 三、电容器的损耗 (14) 四、稳定性 (15) 五、额定工作电压 (16)	
2.2 聚苯乙烯电容器、云母电容器及陶瓷电容器的特性	(16)
一、聚苯乙烯电容器 (16) 二、云母电容器 (18) 三、陶瓷电容器 (19)	
2.3 电容器的型号标记及测量	(21)
一、电容器的型号标记 (21) 二、电容器的测量 (21)	
第三章 电感器	(24)
3.1 铁氧体材料的性能	(25)
一、常用铁氧体的种类 (25) 二、铁氧体材料的应用参数 (25) 三、铁氧体材料的品种系列 (28)	
3.2 磁芯线圈的电感量和电感系数	(29)
一、磁芯线圈的电感量 (30) 二、磁芯的电感系数 (30)	
3.3 磁芯的结构尺寸及品种系列	(32)
一、磁芯的尺寸系列 (32) 二、磁芯的品种系列 (35) 三、铁氧体磁芯的产品型号 (36)	
3.4 磁芯线圈的品质因数	(37)
一、磁芯线圈的等效电路及品质因数 Q (37) 二、磁芯线圈的损耗及提高 Q 值的途径 (38)	
3.5 磁芯的空气隙	(41)
一、空气隙对磁芯磁导率的影响 (41) 二、空气隙对稳定性的影响 (41)	
三、空气隙对磁芯损耗的影响 (42) 四、空气隙对磁芯非线性的影响 (43) 五、最佳气隙 (43)	

3.6 磁芯线圈的固有电容	(44)
一、固有电容的形成 (44) 二、固有电容对线圈参数的影响 (44) 三、减小固有电容的措施 (45) 四、磁芯线圈的固有电容 (45)	
3.7 电感器的制作和测试	(46)
一、线圈的绕制 (46) 二、线圈的绝缘防潮处理 (50) 三、电感值的测试及调整 (51) 四、磁芯线圈的胶合 (51) 五、电感器参数的测量 (52)	
3.8 磁芯线圈的设计	(57)
一、磁芯的选择 (57) 二、导线的选择 (58) 三、等值 Q 图表 (58) 四、设计举例 (59)	
第四章 变量器	(61)
4.1 变量器的等效电路	(62)
4.2 变量器的基本参数	(64)
一、变量器的匝比 (64) 二、变量器的电感量 (65) 三、变量器的漏感 (66) 四、变量器的分布电容 (66) 五、变量器的损耗 (67)	
4.3 变量器的制作和测试	(67)
一、变量器的基本结构 (68) 二、变量器的绕制及减少漏磁通与分布电容的措施 (68) 三、检验、组装及绝缘处理 (70) 四、变量器的测量 (70)	
第五章 无源部件的制作	(73)
5.1 LC 滤波器的制作	(73)
一、元件的选择及印制板设计 (73) 二、调谐及印制板的制作 (75) 三、装配与焊接 (76) 四、特性调测 (76) 五、绝缘处理 (77)	
5.2 高频制作时需要注意的一些问题	(77)
一、减小分布参数的影响 (78) 二、减小电磁干扰的影响 (80) 三、高频滤波器的安装 (83)	
第六章 无源部件的测试方法	(85)
6.1 工作衰减 α 的测试	(85)
一、基本原理 (85) 二、测试方法 (86) 三、注意事项 (88)	
6.2 谐振衰减的测试	(91)
6.3 阻抗或反射系数 p 的测试	(93)
一、等臂桥路法 (p 及 α_r 的测量) (93) 二、阻抗电桥法 ($Z = Z \angle \varphi$ 的测量) (96) 三、电压比较法 ($ Z $ 的测量) (97)	
6.4 平衡度的测试	(97)
一、基本原理 (97) 二、测试方法及注意事项 (99)	
6.5 谐波衰减的测试	(101)
一、基本原理 (101) 二、测试电路及注意事项 (102)	
6.6 相移、时延的测试	(104)
第七章 无源部件的调测	(107)
7.1 无源网络分析的一些基本概念	(107)

一、衰减与损耗 (107) 二、分流与分压 (108) 三、电抗曲线 (108) 四、实验参数 (109) 五、复合与分解 (112) 六、定阻式桥 T 型网络的分析 (112) 七、电路的等效变换 (115)	
7.2 无源网络故障的一般处理方法	(116)
一、分段检查的方法 (117) 二、正误对比的方法 (118) 三、局部替代的方法 (118) 四、校核计算的方法 (120)	
7.3 无源部件的调测示例	(121)
一、一般性故障 (121) 二、低质量的电感元件对滤波器特性的影响 (122) 三、两个故障实例的分析 (124)	
第八章 测试仪表	(129)
8.1 交直流阻抗电桥	(129)
WQJ—S1型精密万用电桥 (129)	
8.2 Q表	(133)
QBG—1A型品质因数测量仪 (133)	
8.3 传输测试振荡器	(139)
一、QF—867型阻容式载频振荡器 (140) 二、QJF2—701型晶体管振荡器 (142) 三、QF630—1型18.6兆赫锁定式电平振荡器 (143)	
8.4 传输测试电平表	(147)
一、QP373型传输测试器 (147) 二、QJXP—701型晶体管选频表 (150) 三、QP330—1型18.6兆赫锁定式选频电平表 (152)	
8.5 QB—307频率—时间—计数器	(157)
附录	(161)
附录1—1 精密电阻器标称阻值系列 (161) 附录1—2 电阻器、电容器的型号命名法 (162) 附录3—1 可调罐型磁芯电气性能要求 (164)	
附录3—2 不可调罐型磁芯电气性能要求 (166) 附录3—3 空芯罐型磁芯电气性能要求 (169) 附录3—4 E型磁芯电气性能要求 (169)	
附录3—5 漆包铜线规格数据 (171) 附录3—6 各类导线在几种圆形线圈架上的满绕匝数 (172)	

绪 论

《电信网络制作及元件》介绍载波通信设备中主要无源部件的生产制作工艺，调整测试的原理和方法，对于构成无源部件的元件，如电感器、电容器等，因有其严格的特殊的要求，常常需要自行设计制作，故在本书中用了较大的篇幅介绍无源元件的有关问题。

随着现代通信技术的发展，对于通信设备提出了越来越高的要求。例如载波通信设备的基群转接滤波器在通带 ± 900 赫以外，要求其阻带防卫度大于8.5奈，并且在极限温度湿度的条件下，能保持这样的特性。再如：要求海底电缆通信设备的寿命长，不出故障。为此各增音机的故障率通常规定一千小时内为十万分之二到十万分之三。由此可见，对于设备的技术性和可靠性的要求都是十分严格的，否则就难以准确、可靠、迅速地完成任务。除此，还要求有较好的工艺性和经济性，既便于生产，又要做到产品的一致性，成品率高，成本低。只有这样，才符合多快好省地建设社会主义的原则。

生产制造工艺是保证通信设备质量的重要关键之一。对于无源部件的生产，则需注意如下一些特点：

(1)对元件精度和质量的要求较高。无源部件的设计计算相当严格，在生产上要保证部件的特性和设计要求基本一致，元件值的精度要求就高。例如制作某些均衡器和滤波器的电阻、电容元件，要求元件值的误差在千分之三以内；电感元件值的误差在千分之五以内。此外，电容、电感元件的品质因数、频率温度稳定性等也必须满足设计时所规定的技术指标，这样才能全面保证无源部件的质量。

(2)要进行专门的绝缘、防潮、防腐蚀等处理。这是为了保证无源部件在各种环境条件下，长时期地正常可靠地工作。

(3)应尽量减少分布参数的影响。在较高频率（几兆赫以上）工作的无源部件，其元件、布线等的分布参数对特性的影响很大。因为在高频时，有些分布参数的数量级可以接近电路中某个元件的数量级；有些分布参数则由于其耦合作用而破坏了原有的特性。所以在设计和生产的过程中，都要认真解决减小分布参数影响的问题。

(4)无源部件都是由电阻、电容、电感及互感（变量器）元件构成的。元件的好坏直接关系到部件的质量，必须合理地选择和制作这些元件。由于现代电子工业的广泛发展，这些元件的品种繁多，性能各异。这就要求从事无源部件设计和生产的同志，对各类元件的特性有较好的了解，特别是对于象电感及互感这类非标准化元件，更要掌握其设计和制作的技能，只有这样才能确保无源部件的优良质量。这也就是本书用较大篇幅介绍各类元件的原因。

载波设备中的主要无源部件包括滤波器、均衡器、变量器、差动系统（混合线圈）、衰减器等，它们在生产制作工艺上有其共性，因此无须一一介绍，我们选择了变量器和滤波器作为典型进行分析讨论。

无源部件技术特性的测试是贯穿于整个生产过程中的。为了叙述的方便，易于掌握和突出重点，故将无源部件的测试方法专门集中在第六章进行介绍，并在第七章中介绍一些调整的方法。此外，为了使没有系统学习过电信网络知识的读者，能顺利地阅读本书，在第七章中还介绍了无源网络分析的基本知识，作为调测和分析故障的理论基础。最后，在本书的第八章中收集了几种制造和维护载波通信设备用的测试仪表，并介绍其简要工作原理及使用方法，以帮助读者对于常用测试仪表的了解。

第一章 电 阻 器

电阻器是具有一定阻值、一定几何形状和一定技术性能的一种电阻元件。它一般可分为电阻体、基体、引出端子等几部分。在各种电子设备中，电阻器是不可缺少的一类主要元件，因而种类极其繁多，通常可根据其结构特点、电阻体材料的特征以及用途等来进行分类。

1. 电阻器按照结构特点可分为：

固定电阻器——其阻值固定，不能随意调节。

可变电阻器——其阻值可以根据使用需要进行调节。

2. 电阻器按照电阻体的特征可分为：

线绕电阻器——用高电阻率合金导线（电阻丝）绕在绝缘基体上构成。

非线绕电阻器——这种电阻器由于生产技术不同，又分为两种类型。一种是薄膜型电阻器，其电阻体是用真空蒸发、溅射和化学沉积等方法，在介质基体上形成薄膜，如炭膜、金属膜电阻器。另一种是合成形电阻器，其电阻体是粉状导电物质与胶合介质的混合物，经压塑方法形成，如实心炭阻器。

敏感电阻器——其电特性（如电阻率）可随温度、光通量、电压等物理量的变化而改变，其电阻体一般是由对上述各物理量敏感的半导体材料做成，如热敏电阻器、光敏电阻器和压敏电阻器等。

3. 电阻器按照用途可分为：

通用电阻器——适应于一般用途的电阻器，用途广泛，其阻值为5.1欧~10兆欧，功率为0.125~2瓦。

兆欧电阻器——其阻值高达 10^{13} 欧姆，多用于测量微电流的设备中。

高压电阻器——能在1000~3500伏的高压条件下工作。

高频电阻器——工作频率可高于10兆赫。

精密、半精密电阻器——精度高，可达 $0.5 \sim \pm 0.01\%$ ，稳定性好，适用于精密测量仪器。

小型电阻器——体积小，专供小型化设备使用。

对于制作载波通信设备的无源部件来说，电阻器主要用来构成衰减器、均衡器以及假线（仿真线）等部件，这些部件对于电阻器的质量一般要求较高，但消耗的功率却较小，所以经常应用的是固定薄膜电阻器，个别情况也用固定线绕电阻器，且大都属于通用电阻器及精密电阻器，因此本章的内容就仅限于讨论这些类型的电阻器。

本章主要讨论描述电阻器特性的各种基本参数以及无源部件中所使用的各类电阻器的性能指标，此外对电阻器的测量方法及测量仪器也作了简要的介绍。

1.1 电阻器的基本参数

电阻器的参数是用来表征电阻器性能的物理量。由于电阻器的应用十分广泛，对其性能

的要求是多种多样的,但其中有一些是基本的,具有一般性,称之为基本参数,如电阻值、额定功率、稳定性、噪声系数等。

一、电阻值及其精度等级

电阻值是用来表征对电流所呈现阻力大小的物理量。当电阻器两端加上的电压为 U ,流过的电流为 I 时,根据欧姆定律,则电阻值 R 为:

$$R = \frac{U}{I} \tag{1-1-1}$$

若电压的单位为伏特(V),电流的单位为安培(A),则电阻的单位为欧姆(Ω),或简称欧。

实用中,欧姆的单位往往太小,因此还采用千欧($K\Omega$),兆欧($M\Omega$)等辅助单位,它们之间的换算关系如下:

$$1(K\Omega) = 10^3(\Omega)$$
$$1(M\Omega) = 10^6(\Omega)$$

电阻器阻值的变化范围十分广泛,可自十分之几欧到 10^{13} 欧,为了生产和使用的方便,已将阻值规定了标准系列。表1—1中列出了通用电阻器的标称值系列,生产的电阻器的标称阻值必须符合表中所列数值之一(或表列数值再乘以 10^n ,其中 n 为正或负整数)。

电阻器的实际阻值对于标称阻值的允许最大偏差范围就是阻值的精度。一般电阻器规定了六个精度等级,如表1—2所示。通用电阻器只包括表1—2中的前三个等级,即Ⅰ级,Ⅱ级,Ⅲ级。精密电阻器则包括表1—2中的后三个等级。

表1—1 电 阻 器 标 称 阻 值 系 列

允许偏差±5%	允许偏差±10%	允许偏差±20%	允许偏差±5%	允许偏差±10%	允许偏差±20%
E24	E12	E6	E24	E12	E6
1.0	1.0	1.0	3.3	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		

* 此表也适用于电容器的标称值系列。

表1—2 阻 值 误 差 等 级

精 度 等 级	允 许 误 差	精 度 等 级	允 许 误 差
Ⅰ 级	±5%	0 级	±2%
Ⅱ 级	±10%	01级	±1%
Ⅲ 级	±20%	005级	±0.5%

表1—1中的标称阻值系列间隔太大,且允许误差范围也大,在要求阻值精确度高的电子设备中是不能满足需要的,因而又规定了精密电阻器标称阻值系列,参阅附录1—1.使用时,

根据电路设计中要求的阻值及允许的偏差范围, 采用相应的系列。

这里需要指出: 标称系列的精度等级与制造上所能达到的阻值最高精度是不同的, 前者是指生产使用中规定的统一标准, 后者是指工艺技术所能达到的水平, 同时后者还与电阻体的特征有关, 例如薄膜电阻器的阻值精度可做到0.1%, 而线绕电阻器则可以做到0.01%。

二、额定功率

电阻器的额定功率是指在规定的环境温度下, 电阻器长时间工作而不损坏以及基本上不改变本身电参数的最大负载功率。额定功率的大小与电阻器的结构、尺寸和电阻体材料有关。当电阻器所消耗的功率等于其额定功率时, 发热的温度应不高于周围环境温度 50°C 。

通用电阻器的额定功率一般为: 0.125瓦、0.25瓦、0.5瓦、1瓦、2瓦, 也有5瓦和10瓦的。

在使用中, 电阻器实际允许的负荷不一定能达到额定功率值, 这是由于温度对电阻器负载能力的影响所致, 当环境温度升高时, 电阻的允许负荷就应降低, 否则会因过热而烧坏电阻器。图1-1-1给出了炭膜电阻的环境温度与允许负荷的关系曲线, 由曲线可见, 在较低的温度下允许负荷与额定功率相等, 当温度超过某一数值以后, 允许负荷降低, 在较高环境温度下工作时, 允许负荷仅为额定功率的百分之二十到三十。

三、稳定性

电阻器的阻值会受电压、温度、湿度以及时间等因素的影响而发生变化, 稳定性就是用来衡量这些因素对阻值影响程度的参数。对于长期工作的通信设备来说, 要求阻值受上述各种因素的影响小, 也就是要求稳定性要好。

表征稳定性的参数一般有电压系数、温度系数、存放系数及老化系数等。

1. 电压系数 K_v

电压系数是指加在电阻器上的电压每改变1伏时, 电阻器阻值的相对变化量。

$$K_v = \frac{R_2 - R_1}{R_1(U_2 - U_1)} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

式中 U_1 、 U_2 ——外加电压(变化前为 U_1 , 变化后为 U_2)

R_1 、 R_2 ——对应于 U_1 和 U_2 的电阻值。

由上式可见, 电压系数说明阻值对外加电压的稳定程度, 电压系数越大, 稳定性越差。一般碳质合成实心电阻器的电压系数最大, 线绕电阻器的最小。

2. 电阻温度系数 TKR

电阻温度系数是指电阻值随温度变化的相对变化率, 可由下式表示。

$$TKR = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} [1/^{\circ}\text{C}] \quad (1-1-3)$$

对于金属及合金的电阻体, 阻值与温度的关系是线性的, 式(1-1-3)可以写成,

$$TKR = \frac{R_t - R_0}{R_0(t - t_0)} [1/^{\circ}\text{C}] \quad (1-1-4)$$

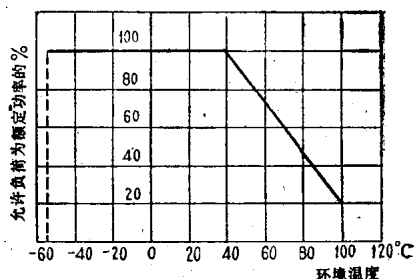


图 1-1-1

式中: t_0 ——室温。

t ——变化后的温度。

R_0 ——室温下的阻值。

R_t ——温度为 t 时的阻值。

对于非线性电阻器的材料来说, 其阻值与温度的关系是非线性的, 因此 TKR 不是常数, 而是随温度变化的。一般用 20°C 和 70°C 时测得的 TKR 取其平均值。

例如: 合成炭阻的 TKR 约为 $\pm 1000 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, 碳膜电阻的 TKR 约为 $-(250 \sim 500) \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

温度系数可正可负, 阻值随温度升高而增大的, 其温度系数为正; 阻值随温度升高而减小的, 其温度系数为负。

需要指出, 电阻温度系数 TKR 所表征的阻值随温度的变化是可逆性变化, 即温度回复到变化前的数值时, 其阻值也可回复到变化前的数值, 不过这种可逆性, 是有一定条件的, 当温度超过某一定值时, 阻值的变化就是不可逆的了。所以对不同类型的电阻器都规定了电阻温度系数所适应的温度范围, 一般为 $-60^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ 。

3. 存放系数 K_x

在常温条件下阻值为 R_1 的电阻器, 经在一定环境条件 (如温度 $+10^\circ\text{C} \sim +35^\circ\text{C}$, 相对湿度 $50 \sim 80\%$) 下存放一定时间 (如半年) 后的阻值变为 R_x , 则其存放系数为:

$$K_x = \frac{R_x - R_1}{R_1} \times 100\% \quad (1-1-5)$$

4. 老化系数 K_0

电阻值为 R_1 的电阻器, 在一定负荷下 (如 150% 的额定负载) 工作一定时间 (如 100 小时) 后的阻值变为 R_0 , 则其老化系数为:

$$K_0 = \frac{R_0 - R_1}{R_1} \times 100\% \quad (1-1-6)$$

存放系数和老化系数都是表征阻值随时间变化的特性, 而且这种随时间的变化是不可逆的。

四、噪声系数

当电阻器通以直流电时, 其两端的电压并非恒定不变, 而是有着微小的起伏波动, 这就相当于在直流电压上叠加了一个交变分量, 此交变分量就是电阻器的噪声, 它对有效信号会造成干扰。

产生噪声的原因有两种, 一种叫做热噪声, 它是由电阻体内电子不规则的热运动所造成的, 这种噪声与电阻体的材料性质及形状无关, 仅与温度和阻值有关, 因而热噪声是一种无法消除的物理现象; 另一种叫做电流噪声, 它是由于在微粒结构的电阻体内, 其微粒发生非正常振动, 使微粒间接触面发生变化, 从而引起接触电阻值的起伏变化, 当电流通过时就产生交变电压成分, 形成电流噪声。电流噪声与热噪声不同, 它不决定于温度, 而在很大程度上取决于电阻器的结构, 如电阻体较长, 导电微粒较细, 其电流噪声就较小。

电阻器的噪声系数 E_n 就是用来衡量噪声特性的。它的定义是: 总的噪声电压 e_n 与外加总直流电压 U_0 的比值。

$$E_n = \frac{e_R}{U_0} [\mu V/V] \quad (1-1-7)$$

式中, e_R 的单位是〔微伏〕,

U_0 的单位是〔伏〕,

由上式可见, 噪声系数也就是 1 伏外加电压所产生的噪声电动势的数值, 故噪声系数 E_n 又常称为噪声电动势。

在通信设备中, 噪声电动势对有用信号造成的干扰会严重影响通信质量, 因此必须采用噪声系数小的电阻器。

实心炭阻的噪声系数 E_n 约为 $3\mu V/V$ 。

碳膜电阻的噪声系数 E_n 约为 $0.15\mu V/V$ 。

可见碳膜电阻器的噪声系数比实心炭阻器低得多, 故无源部件中多用碳膜电阻器。

上述各种参数对于目前无源网络中所使用的电阻器来说已经足够了, 但电阻器的特性参数决不仅限于此, 还有最高工作电压、最大工作电流、高频等效电阻等, 这里就不一一介绍了。

1.2 薄膜电阻器及线绕电阻器的特性

薄膜电阻器是载波通信设备中用得最多的一类电阻器, 它又分为碳膜, 金属膜及金属氧化膜等若干种类型。此外, 在某些较低频率设备中也有用线绕电阻器的, 下面分别介绍它们的主要特性。

一、碳膜电阻器

碳膜电阻器又称热分解碳膜电阻器, 它是在高温下热分解碳氢化合物, 使之在陶瓷基体上形成石墨状结晶的炭膜, 构成电阻体。用控制导电碳膜厚度的方法来获得不同的阻值。

碳膜电阻器具有稳定性较好、噪声系数低(与合成型电阻器比较)、受电压和频率的影响小、温度系数不大并且是单值的以及能精密地调整阻值等等优点, 因而是目前应用最广泛的一种电阻器。

但碳膜电阻器也有缺点, 如薄膜不耐磨擦, 不能用作具有可动触点的可变电阻器; 阻值高时稳定性会降低等, 故最高额定阻值限制为兆欧级。

为了便于控制碳膜电阻器的阻值, 常常采用在电阻体上进行刻槽的办法, 使导电碳膜的长度增加而截面积减小。对于高阻值电阻器用螺旋式刻槽, 如图1-2-1(a)所示, 低阻值电阻器则用纵向刻槽, 如图1-2-1(b)所示。

碳膜电阻器的外形结构一般有两种, 分别如图1-2-2(a)及(b)所示。

碳膜电阻的技术指标随着品种规格的不同而有所差异, 使用时, 根据电路设计要求进行选用, 一般可查阅工厂产品的技术条件。在表1-3中也给出了其特性的平均数据, 作为应用时参考。

与碳膜电阻器特性类似的还有硼碳膜及硅碳膜电阻器, 它们是应用硼或硅的有机化合物掺入碳氢化合物, 用热分解方法获得。这种电阻器具有更小的温度系数, 膜的结构稳定, 耐热性好等优点, 故实际生产中也经常被采用。

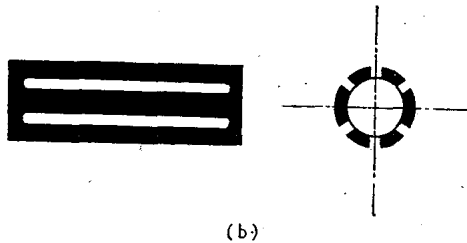
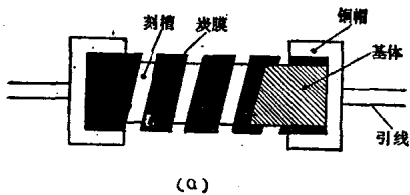


图 1-2-1

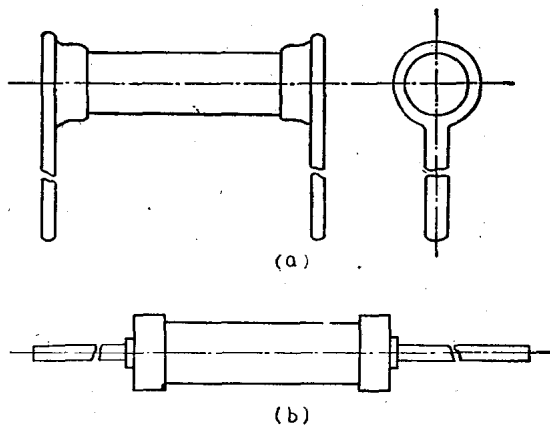


图 1-2-2

表1-3

碳膜电阻器的特性

名 称	阻值范围 (Ω)	误差 (%)	最大 直流 电压 (V)	绝 缘 电 阻 (Ω)	噪 声 系 数 ($\mu V/V$)	平 均 频 率 范 围 (MHz)	最大工作 温度($^{\circ}C$) (环境+负载)	电 阻 温 度 系 数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)	最 大 功 率 (W) (表面温度在 $70^{\circ}C$ 下)
数 据	$1 \sim 10^7$	5	500	10^7	0.15	~ 50	150	$250 \sim 1200$	2

二、金属膜电阻器

这种电阻器的电阻体是特种金属或合金的薄膜，薄膜是用真空蒸发或阴极溅射法在介质基体上获得的。它在制造工艺上比碳膜电阻具有更大的灵活性，易于用控制薄膜的厚度和改变合金的成分来调整阻值及其各种电气性能。

金属膜电阻器与碳膜电阻器比较，具有如下的优点：

①稳定性高，有较小的温度系数，一般为 $(100 \sim 200) \times 10^{-6}/^{\circ}C$ ，耐湿性和防潮性能较好。

②噪声系数小，一般仅为 $0.015 \mu V/V$ 。

③能耐高温，在温度高达 $800^{\circ}C$ 时不致烧坏。

④机械强度高，薄膜的耐磨性好，可制造可变电阻器。

它的主要缺点是：

①难于获得均匀的金属膜，因而易在局部产生过负荷，不能制造大功率电阻器。

②对绝缘基体的表面质量要求很高，而且需要较贵重的金属材料，以致成本较高。

金属膜电阻器由于性能优良，常作为精密和高稳定性的电阻器而被广泛应用，也适用于各种通信设备，如模拟电缆特性的假线多采用精密金属膜电阻器。

金属膜电阻器的外形结构如图 1-2-3 所示。它与碳膜电阻器一样，也可以用刻槽的方法来调整阻值。

三、金属氧化膜电阻器

这种电阻器是由能水解的金属盐类溶液（如四氯化锡），在炽热的玻璃或陶瓷的表面分解沉积而成。电阻体是一种半导体导电薄膜，由于这种半导体氧化膜具有超显微的微小晶体结构，同时在氧化物内存在着过剩的金属，所以它在性能上具有如下的特点。

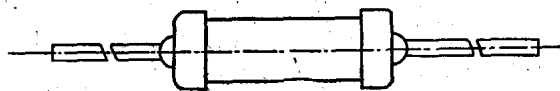


图 1-2-3

①耐高温，可在 $140^{\circ}\text{C} \sim 235^{\circ}\text{C}$ 范围内工作，甚至在 400°C 时，尚能工作几百小时。

②性能稳定，在 $-65^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ 范围内，电阻温度系数约为 $\pm 200 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 左右，适当地控制和调节原材料的组成，可使温度系数大大减小。

③噪声系数较小，可达 $0.03\mu\text{V}/\text{V}$ 。

④抗酸、抗碱、抗水性均优于碳膜及金属膜电阻器。

然而这种电阻器的应用暂时还受到限制，因为阻值范围较窄，在容许的外形尺寸条件下，其阻值大约不超过200千欧。

四、线绕电阻器

线绕电阻器是电阻器中参量稳定性最好的一种，其温度系数和噪声系数比薄膜电阻还要低得多，而且可以制成高精度阻值和大耗散功率的电阻器，所以一般用于高精度和高稳定性的测量仪器以及有大耗散功率的电路中。线绕电阻器的最大缺点是：随着阻值的增大，其体积、固有电感和固有电容都随之加大，使其所适用的频率范围受到很大的限制，另外价格也较贵。故目前载波通信设备中，除了某些频率低，要求功耗大和阻值精确的地方，有采用线绕电阻器的以外，一般已极少应用线绕电阻器。

线绕电阻器的结构是将一段电阻线绕在一个骨架（通常是陶瓷骨架）上，电阻线的两头固定在端引线上，电阻线的外面用一层外壳保护并使其免受腐蚀。

常用的电阻线由镍铬、铜锰等合金制成，导线直径允许的电流密度为 $10\text{A}/\text{mm}^2$ ，相邻两匝间的电位差一般为 $2 \sim 5\text{V}$ 。

为了提高线绕电阻器的使用频率，必须采取减小分布参数的绕制方法。

图1-2-4所示为双线绕法和分段双线绕法。双线绕法（图1-2-4(a)）由于相邻两导线通过的瞬时电流大小相等而方向相反，故合成的磁场很小，分布电感很小，但是这种电阻线圈的分布电容却较大。为了减小分布电容量，可将电阻线分为数段绕制，如图1-2-4(b)所示，这样各段的分布电容彼此串联，使总的分布电容量大大减小。

图1-2-5所示为双线并联绕法，用两条电阻线在绝缘基体上依相反的方向缠绕后，在始端与末端再汇接起来。这种绕法的分布电感和分布电容都比较小，但是制造比较麻烦，需要较多的电阻线。

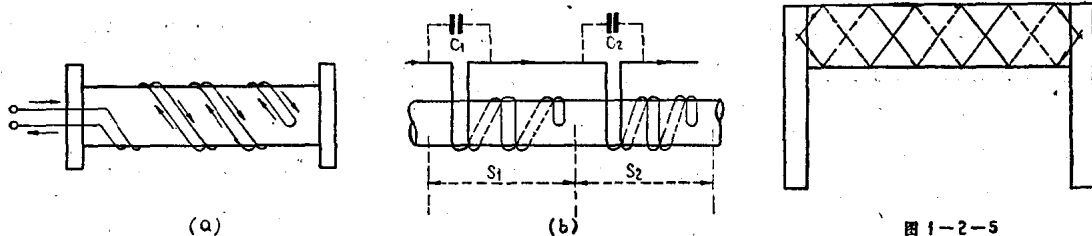


图 1-2-4

图 1-2-5

线绕电阻器采用上述绕制方法以后，其工作频率一般可到20千赫。当采用特殊的绕制方法，如编织绕法，单线和双线结合绕制法时，可使工作频率提高到100千赫左右。

为了比较各种电阻器的特性，现将它们的主要性能数据列于表1—4中，在表1—4中还列出了其他几种类型的固定电阻器，以便与薄膜及线绕电阻器进行比较，更好地了解它们的特点，应用时能正确地选择。

表1—4 各类固定电阻器的主要特性

性 能 \ 种 类	碳 质	金 属 釉	碳 膜	金 属 膜	金属氧化膜	精密线绕
阻 值 范 围	10Ω~22MΩ	10Ω~150KΩ	1Ω~10MΩ	100Ω~1MΩ	10Ω~200KΩ	10Ω~500KΩ
误 差 (%)	5~20	0.5~1	0.5~5	0.1~1	1~5	<0.5~0.1
最大直流电压(V)	500	350	500	350	500	350
电 压 系 数 ($\times 10^{-6}/V$)	300	忽略	100	忽略	忽略	忽略
噪声系数($\mu V/V$)	8	1.0	0.15	0.015	0.03	忽略
平 均 频 率 范 围 (MHz)	~10	~50	~50	~50	~50	/
最高工作温度(°C)	110	120	150	150	150	150
电 阻 温 度 系 数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}C$)	<1200	100	250~1200	15~200	50~250	< 5

1.3 电阻器的型号标记及阻值测量

一、电阻器的型号标记

由于电阻器的品种规格十分繁多，为了生产使用上的方便，规定了表征各类电阻器的型号及标志。如用“RT”表示碳膜电阻器，“RJ”表示金属膜电阻器等，而每类电阻器中还因其特征不同，再进一步细分类别，如“RTX”表示小型碳膜电阻器，“RJJ”表示精密金属膜电阻器等等。

关于电阻器型号的组成及其意义可参阅附录1—2。

在提供生产使用的技术文件中，对所用电阻器，除了注明型号及阻值外，还应包括允许误差及额定功率等要求。

例如电阻器 RTX—0.125—b—20KΩ±10%， “电阻器”后面的标注，依次表示为型号、额定功率、引出线形式，标称阻值及允许偏差。

二、电阻值的测量

在无源部件的生产中，对电阻值精度的要求一般都较高，如要求阻值误差小于±0.3%，这样即使采用精密电阻系列，其精度仍然不能满足要求，故需对所用电阻器的阻值进行精确的测量。

精确的测量阻值，不能用普通的万用表，而要用直流惠斯登电桥，其测量的原理图如图1—3—1所示。