

中等专业学校教材

电 阻 器

刘涛 编 朱余钊 审



电子工业出版社

内 容 简 介

本书主要介绍电阻器的基本概念,分析电阻器的各种性能参数,讨论各类电阻器的材料、结构和生产工艺。全书包括绪论、电阻器的性能参数、薄膜型电阻器、合金型电阻器、有机合成型电阻器、厚膜电阻器、电阻网络及新型电阻器、敏感电阻器和电位器等九章。

本书为中专电子元件专业的统编教材,也可作为相应专业的技工学校、职业培训的选用教材,还可作为从事电阻器和电位器生产的工程技术人员和工人的参考书。

电 阻 器

刘涛编 朱余钊审

责任编辑:陈晓莉

电子工业出版社出版(北京海淀区万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

北京燕山印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 9.5 字数: 221千字

1990年1月第一版 1990年1月第一次印刷

印数: 1—2200册 定价: 1.90元

ISBN 7-5053-0706-1/TN·256

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由中专电子类教材编审委员会电子元器件编审小组征稿,推荐出版,责任编委吴雪方。

本教材由淮阴电子工业学校刘涛担任主编,南京无线电工业学校朱余钊副教授担任主审。

本课程的参考学时数为60学时,其主要内容为第一章绪论;第二章电阻器的性能参数;第三章至第六章分别为薄膜型、合金型、有机合成型和厚膜型电阻器;第七章电阻网络及新型电阻器;第八章敏感电阻器;第九章电位器。使用本教材时应注意:由于全部采用了法定计量单位和新的国家标准,一些系数和常量与过去采用非法定计量单位的数值有所不同,对某些概念、术语本书均以新的国标为准。

本教材编写过程中,得到了许多同志的帮助和指导,天津仪表无线电工业学校的杜金朋同志、江西4321厂的王焕铭同志以及南昌无线电工业学校、淮阴无线电元件三厂的许多同志都为本书提出了宝贵意见,淮阴电子工业学校的成建生、刘利宏等同志和编者进行了大量有益的探讨。这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制定了1986~1990年的“七五”(第三轮)教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会(小组)评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

主要参考书目

(1) 天津大学无线电材料与元件教研室编,《电阻器》,技术标准出版社,1981。

(2) 电子元件专业技术培训教材编写组,《电阻器与电位器》,电子工业出版社,1984。

(3) 成都电讯工程学院胡忠谔等,《薄厚膜混合集成电路》,国防工业出版社,1982。

(4) 王文生编著,《怎样选用电阻器》,国防工业出版社,1987。

(5)《电子工业技术词典》编辑委员会编,《电子工业技术词典》,国防工业出版社,1973。

(6) 陈昭宪 曾纪科编著,《可靠性技术入门》,广东科技出版社,1980。

(7)《中国电子工业年鉴》编辑委员会编辑,《中国电子工业年鉴》1986年卷,电子工业出版社,1987。

(8) 中国出版工作者协会科技出版工作委员会编,《法定计量单位手册》,江苏科学技术出版社,1984。

(9) 中华人民共和国国家标准:

GB 2470—81 GB 2471—81

GB 2475—81 GB 2691—81

GB 5729—85

目 录

第一章 绪论	1
第一节 电阻器的基本概念.....	1
第二节 电阻器的发展史.....	2
第三节 电阻器的分类、型号及标志.....	5
第四节 电阻器的系列化.....	11
第五节 电阻器的基本要求.....	13
思考题.....	15
习题.....	15
第二章 电阻器的性能参数	16
第一节 电阻器的阻值.....	16
第二节 电阻器的等效电路与频率特性.....	26
第三节 电阻器的温度系数.....	31
第四节 电阻器的非线性.....	37
第五节 电阻器的噪声.....	42
第六节 电阻器的热过程及负荷特性.....	45
第七节 电阻器的电压限制与电流限制.....	59
第八节 电阻器的老化与机械特性.....	63
第九节 电阻器的失效分析.....	69
思考题.....	74
习题.....	76
第三章 薄膜型电阻器	79
第一节 概述.....	79

第二节	金属膜电阻器	81
第三节	金属氧化膜电阻器	104
第四节	热分解碳膜电阻器	111
	思考题	119
	习题	120
第四章	合金型电阻器	122
第一节	概述	122
第二节	电阻合金材料	123
第三节	线绕电阻器	132
第四节	合金箔电阻器	137
	思考题	146
	习题	147
第五章	有机合成型电阻器	148
第一节	概述	148
第二节	合成型电阻器的材料	151
第三节	合成型电阻器合成物的微观结构及电性能	154
第四节	合成型电阻器的生产工艺及基本特性	163
	思考题	172
	习题	172
第六章	厚膜电阻器	174
第一节	概述	174
第二节	厚膜电阻器常用材料	176
第三节	厚膜电阻器的生产工艺	178
第四节	厚膜电阻器的性能	195

思考题	200
习题	200
第七章 电阻网络及新型电阻器	202
第一节 电阻网络	202
第二节 新型电阻器	205
思考题	217
习题	217
第八章 敏感电阻器	218
第一节 概述	218
第二节 热敏电阻器	220
第三节 压敏电阻器	227
第四节 光敏电阻器	232
第五节 其它敏感电阻器	237
思考题	245
习题	246
第九章 电位器	247
第一节 概述	247
第二节 电位器的主要构件及材料	250
第三节 电位器的基本特性与主要参数	253
第四节 合金型电位器	371
第五节 有机合成型电位器	279
第六节 薄膜型电位器	284
第七节 厚膜电位器	285
第八节 其它类型电位器	287
思考题	291
习题	292

第一章 绪 论

第一节 电阻器的基本概念

电阻是指导电材料在一定程度上阻碍电流流通，并将电能转换成热能的一种物理性能。在电工和电子技术中应用的具有电阻性能的实体元件称为电阻器。通常简称为电阻。对于由特定材料制成的，并具有一定形状和尺寸的导体，加在它两端的电压 U 与流过它的电流 I 之比称为该导体的电阻值，用 R 表示。它是该导体电阻特性大小的数量表征。

国际单位制中，电阻值的基本单位用欧姆表示，相应的单位符号为 Ω 。对于数量较高的电阻值，可以在欧姆（欧姆简称欧）前加以一定的词头表示，如

$$10^3 \text{欧} = 1 \text{千欧} = 1 \text{k}\Omega$$

$$10^6 \text{欧} = 1 \text{兆欧} = 1 \text{M}\Omega$$

$$10^9 \text{欧} = 1 \text{吉欧} = 1 \text{G}\Omega$$

$$10^{12} \text{欧} = 1 \text{太欧} = 1 \text{T}\Omega$$

$$10^{15} \text{欧} = 1 \text{拍欧} = 1 \text{P}\Omega$$

1946年，国际计量委员会决议将欧姆作如下定义：欧姆是一导体两点之间的电阻值，当在这两点间加上1伏特恒定电位差时，在导体内产生1安培电流，而导体内不存在任何电动势。即：

$$1\Omega = 1\text{V}/\text{A}$$

在电子设备中，各类电阻器担任着不同的电路功能。一

般电阻器（包括固定和可变电阻器）主要用于稳定和调节电路中的电流和电压，构成分流器和分压器，在电路中起限流、降压、去耦、偏置、负载、匹配、取样等作用，还可用来调节时间常数，抑制寄生振荡等；电位器通常作为四端元件（即分压器）来使用，通过改变电刷在电阻体上的位置得到变化的电压输出，在电路中控制、转换、传输和调节信号；而各类敏感电阻器则根据其对应的敏感量来实现自动补偿、自动控制和自动检测。

第二节 电阻器的发展史

电阻器作为一种通用的电子元件，至今已有百余年的历史了。世界各国在电阻器的研制方面具有不同的特点，下面从出现的先后顺序介绍一下电阻器的发展情况。

合成实芯电阻器是一种历史最悠久的电阻器。1885年首创于美国，它的主要特点是可靠性高，工艺简单，适合于大批量生产，但电性能较差。多用于一些要求寿命长，可靠性高的设备上。

合成碳膜电阻器继合成实芯电阻器之后，于1897年由美国研制成功。它的主要特点是阻值范围宽，工艺简单，特别适用于高阻、高压等场合。至今它仍是欧美各国的主要品种。

线绕电阻器也是一种古老的电阻元件。19世纪末欧美各国相继研制出多种合金线用于制造线绕电阻器。它的主要特点是阻值精度高，稳定性好，功耗大，多用于精密、大功耗等场合。但由于高频性能差，使用上受到一定的限制。

热分解碳膜电阻器1925年在德国问世。它的主要特点是

电性能良好，生产工艺简单。目前，在我国，它已成为电阻器的最主要品种。产量居各类电阻器之首。

金属膜电阻器1926年由德国发明。当时由于阻值范围窄，工艺复杂，成本高等原因，曾一度被否认。到了五十年代初，由于对耐热性、耐磨性及高稳定性等要求，加上采用了真空蒸发工艺，才使金属膜电阻器得以复兴。它的主要特点是阻值精度高，稳定性好，可在较宽的温度范围内及较高的频率下工作。将来有可能成为最主要的电阻器产品。随后出现的金属氧化膜电阻器的特点是耐热性良好，其性能可与金属膜电阻器相媲美。

五十年代末期出现的金属玻璃釉电阻器又叫厚膜电阻器，近几年来对它的深入研究改善了电阻膜的性能，可制造精度比较高而且温度系数较小的电阻器，其阻值范围宽，耐热性好，制造工艺简单，适合于大批量生产。

七十年代发展起来的合金箔电阻器在精度上已超过了线绕电阻器，而且具有良好的高频性能，因此已逐步取代了线绕电阻器在高精密方面的地位。

随着“组装技术革命”的兴起，片式电阻器以及电阻网络越来越受到整机生产厂的欢迎。它使得电子设备轻型、薄型、高可靠的目标得以实现，因此，这类新出现的电阻器正在迅速发展。

敏感电阻器是指阻值对外界某种物理量的变化表现敏感的一类电阻器。它们一方面可以把非电量转换成电信号，另一方面可以完成一定的电路功能。近年来由于科学技术的发展，应用越来越广，特别是在尖端科学、军事技术中占有重要地位。

电位器是在电阻器基础上发展起来的一种机—电转换元

件。它可以把机械位移转换成电压变化。自十九世纪末电位器的雏型——滑线变阻器出现以来，已发展了线绕、合成碳膜、实芯、金属膜、金属玻璃釉和导电塑料电位器等品种。为了避免机械摩擦，近年来又发展了利用敏感电阻器做成的非接触式电位器。

总之，电阻器的生产发展到今天也是经过了一段从小规模到大规模，从低水平到高水平的过程。目前，由于采用新技术和自动化生产线，电阻器无论是在产量上还是在质量上都达到了新的水平。全世界各种电阻器的年产量已超过1千亿只，在性能上能够做出阻值低至 0.001Ω 的超低阻电阻器和阻值高达 $200T\Omega$ 的超高阻电阻器，精密合金箔电阻器的精度可高达 $\pm 0.001\%$ 。

六十年代集成电路的迅速发展使电子工业的结构发生了深刻的变革。曾有人认为：电阻器的产量会随之下降。实际生产情况与之相反，以日本为例，1981年总计生产各种电阻器419亿只，到1983年增加为517亿只，1985年达728亿只。预计1990年将超过1千亿只。片式电阻器更是供不应求。目前，集成电路还不可能完全取代分立的电阻器。因为分立元件有很大的灵活性，元件参数范围宽，精度高，质量好。况且目前还有不少元件无法集成。可见，电阻器的许多品种在今后相当长的一段时间内仍将继续发展，其主要发展方向是高可靠、高精密、高稳定、大功率、小型化以及廉价化。在品种上，片式电阻器、电阻网络、敏感电阻器、电位器以及各种具有专门用途的新型电阻器（如熔断电阻器、阻燃电阻器）等将得到迅速发展。

第三节 电阻器的分类、型号及标志

一、电阻器的分类

电阻器的种类繁多，结构形式也各有不同，因而分类的方法也就多种多样。本书所讨论的电阻器根据其工作特性及电路功能可分为固定电阻器、敏感电阻器和电位器三大类。其中固定电阻器（简称电阻器）又可根据电阻体材料或用途等进行分类。

1. 根据电阻体材料分类

电阻器根据电阻体所用材料的不同可分为薄膜型、合金型、合成型电阻器三大类。

薄膜型电阻器是用不同的工艺方法在绝缘基体上淀积一层很薄的导电膜（其厚度在 $10^{-9} \sim 10^{-6}$ m数量级）作为电阻体而制成的电阻器。包括金属膜、金属氧化膜和热分解碳膜电阻器等品种。

合金型电阻器是指用块状电阻合金拉制成线或碾压成箔作为电阻体所制成的电阻器。包括用合金线绕在绝缘骨架上制成的线绕电阻器和用合金箔粘贴在绝缘基片上制成的合金箔电阻器。

合成型电阻器的电阻体是由导电颗粒、粘结剂以及一些填充料组成的机械混合物。根据粘结剂种类的不同又可分为有机合成型和无机合成型两类，可分别制成厚膜和实芯两种形式。如合成碳膜、有机合成实芯和金属玻璃釉电阻器等都属于合成型电阻器。

2. 根据电阻器的用途分类

电阻器根据用途的不同可分为：

(1) 通用电阻器 可满足一般电子技术的要求。其额定功耗为 $1/16 \sim 2\text{W}$ ，少数为 $5 \sim 10\text{W}$ 。标称阻值为 $1\Omega \sim 22\text{M}\Omega$ ，允许偏差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 三个等级。

(2) 精密电阻器 主要用于精密电子设备及其它要求较高的场合。具有较高的精度和稳定性，额定功耗一般不大于 2W ，标称阻值为 $0.01\Omega \sim 20\text{M}\Omega$ ，允许偏差范围为 $\pm 2\% \sim \pm 0.001\%$ 。

(3) 高频电阻器 用于高频电路，主要是薄膜型电阻器。阻值一般不大于 $1\text{k}\Omega$ ，额定功耗范围较宽，可达 100W ，采用一定冷却措施可高达 50kW 或更高。

(4) 高压电阻器 用在高压电路中，结构特点细长。额定功耗为 $0.5 \sim 15\text{W}$ ，工作电压可达 35kV 或更高，标称阻值很高，可达 $1\text{G}\Omega$ 。

(5) 高阻电阻器 常用于测量仪器。额定功耗一般很小，标称阻值在 $10\text{M}\Omega$ 以上，最高可达 $1\text{T}\Omega$ ，甚至 $0.1\text{P}\Omega$ 。

此外，电阻器还可按结构形状的不同分为：圆柱形、管形、平面形、圆盘形、马蹄形等；按引出方式的不同分为：轴向引出、径向引出、同向引出、无帽结构等；按保护方式的不同分为：无保护、涂漆、塑压、密封和真空密封等。

二、电阻器的型号命名

根据国标GB2470—81《电子设备用电阻器、电容器型号命名方法》电阻器的型号由四个部分组成。

第一部分 用字母表示产品的主称

R——电阻器 W——电位器

第二部分 用字母表示产品的材料

H——合成膜 I——玻璃釉膜

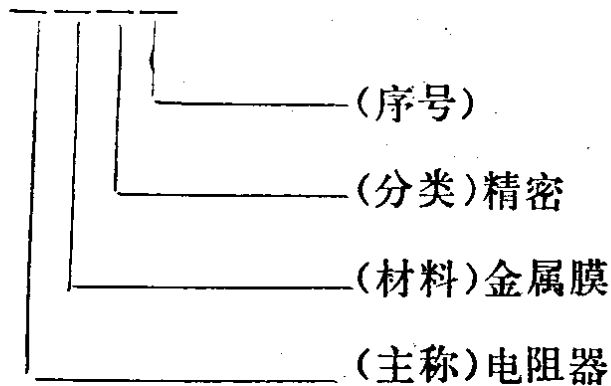
J——金属膜（箔）	N——无机实芯
S——有机实芯	T——碳膜
X——线绕	Y——氧化膜

第三部分 一般用数字表示分类，个别类型用字母表示

1或2——普通	3——超高频
4——高阻	5——高温
7——精密	8——高压
9——特殊	G——大功耗
T——可调	D——多圈
W——微调	

第四部分 用数字表示序号，以区别产品外形尺寸和性能指标。

例如： R J 7 2 ——精密金属膜电阻器



在采用上述方法进行命名时，若产品的材料、特征相同，仅尺寸、性能指标略有差别，但基本上不影响互换时，给予同一序号，若产品的材料、特征相同，仅尺寸、性能指标的差别已明显影响互换时（但该差别仍并非本质的，而属于今后统一技术标准时应予统一的差别），仍给同一序号，但在序号后用一字母作为区别代号。此时该字母作为该型号的组成部分。但在统一该产品技术标准时应取消区别代号。

三、电阻器的标志内容与标志方法

为便于识别和使用电阻器，生产厂家通常在电阻器的表面进行有关内容的标志。

1. 标志内容

电阻器的标志内容在产品技术标准中有明确规定。标志的项目应能反映出产品的主要参数，小型产品由于受其表面积的限制只要标出最主要的参数和单位，例如标称阻值及允许偏差、额定功耗等，大功耗电阻器还可标出产品的其它参数以及工厂商标、制造年月等。

2. 标志方法

按国标GB2691-81《电阻器、电容器标志内容与标志方法》规定电阻器的标志方法有以下三种：

(1) 直标法 即直接在产品表面标出其主要参数和技术性能的方法。主要参数和技术性能的有效值用阿拉伯数字标出，电阻值的单位用 Ω 、 $k\Omega$ 、 $M\Omega$ 等符号表示，允许偏差用百分数表示。例如，在电阻器上印有标志 $4.7k\Omega \pm 10\%$ ，即表示其标称阻值为 $4.7k\Omega$ ，允许偏差为 $\pm 10\%$ 。

(2) 文字符号法 即将需要标出的主要参数与技术性能，用文字、数字符号或者它们有规律的组合标志在产品表面的方法。在这种方法中，标称阻值用阿拉伯数字及其单位的词头符号(Ω 、 k 、 M 、 G 、 T 、 P 等)组合表示。例如， 0.1Ω 、 $36k\Omega$ 、 $4.7M\Omega$ 、 $100G\Omega$ 分别表示为： $\Omega 1$ 、 $36k$ 、 $4M7$ 、 $100G$ 。

表示允许偏差的文字符号如表1-1所示。

例如： $4300\Omega \pm 5\%$ ，标志为 $4k3J$

$4.7M \pm 10\%$ 标志为 $4M7K$

表 1-1 电阻器允许偏差的文字符号

允许偏差(%)	文字符号	允许偏差(%)	文字符号	允许偏差(%)	文字符号
±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	±30	N

另外, GB2691——81中对不对称允许偏差、工作温度范围、制造年月(或年周)等内容的表示符号也作了类似的规定。

(3) 色标法 即用不同颜色的带或点, 在产品表面上标志出产品主要参数的方法。各种颜色所代表的具体意义如表 1-2所示。

表 1-2 色标法各种颜色的意义

颜色 代表意义	银	金	黑	棕	红	橙	黄	绿	兰	紫	灰	白	无
有效数字	—	—	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—
乘数(数量级)	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	—
阻值允许 偏差(%)	±10	±5	—	±1	±2	—	—	±0.5	±0.25	±0.1	—	+50 -20	±20

色标法包括色环法和色点法两种。二者的区别仅在于色点法将色环法中的环换成点, 常用的是色环法。它是在电阻器表面上从左往右涂上4条或5条色环(也叫色标带)。第一条应从靠近一端引线的位置开始标注, 以区别首尾。对于非精密电