

电子工程师手册

ELECTRONICS ENGINEERS' HANDBOOK

上册

电子工程师手册

电子工程师手册编辑委员会 编

下 册



机械工业出版社

(京) 新登字054号

本手册系统地概括了电子技术基础及其应用领域的主要技术内容，有一定的深度和广度。

全书按其内容，大体上可分为如下三个部分：

1. 基础知识部分，包括：常用符号、物理化学常数、单位、标准和数学公式；电磁学与电路基础；信号与系统分析等。
2. 技术基础部分，包括：电子材料；电子元器件；模拟电路；数字电路；微波、电波传播与天线；电子产品的工艺、结构、电磁兼容与可靠性。
3. 技术应用部分，包括：电力电子技术；电子测量与电子仪器；机械量的电子测量；电子计算机与人工智能；自动控制系统与控制仪表；数控技术与机器人；广播、电视与声像处理技术；通信、雷达、导航与电子对抗；医疗电子技术。

本书在编写上，力求简明扼要、深入浅出、直观易懂、归类便查。注意理论阐述的严谨和采用数据、图表和公式的准确可靠。努力做到既反映我国电子技术近年来的主要成就，也介绍国外的先进技术和发展动向。

本手册主要供机电工业系统和其他行业系统的工程技术人员在处理专业工作中涉及电子技术问题时查阅使用，也可供大专院校有关专业师生参考。

电子工程师手册

电子工程师手册编辑委员会 编

责任编辑：贾 馨 版式设计：霍永明
封面设计：姚 毅 责任校对：肖新民
责任印制：路 琳

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码：100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京房山区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张 182¹/₂·插页 8·字数 5756 千字

1995年4月北京第1版·1995年4月北京第1次印刷

印数 00,001—10 000 定价：上、下册共198.00元

ISBN 7-111-04178-X/TM·523

发展电子技术促
进经济繁荣与社
会进步

孙俊人

一九八二年六月

电子工程师手册编委会

主任委员	吴咏诗					
副主任委员	胡健栋	邹洵	罗命钧(常务)			
委	翁瑞琪(常务)		秦起佑(常务)	张长生		
员	黄仕机	周孝琪	阚石	俞斯乐	丁润涛	
	郭维廉	徐苓安	张国雄	朱梦周		
总编辑	吴咏诗					
副总编辑	秦起佑	翁瑞琪				
秘书	尹明丽					

序

电子技术是一门发展迅速，应用广泛的技术。它的发展可以说是日新月异，新技术层出不穷。它的应用则已遍及工业、农业、国防、科技、文教和人民日常生活的各个领域，对于经济发展和社会进步有着重要的促进作用。当前第三次新的技术革命正在兴起，如果说第一次技术革命是以机械化为标志，第二次技术革命是以电气化为标志的话，那么，第三次新的技术革命就应该说是以电子化作为标志。前两次技术革命主要都是人类体能的延伸，而第三次新的技术革命则主要是人类智能的扩展，其基础就是电子技术。也有人说目前已是信息时代，而信息的获取、处理、传输也是要依赖于电子技术的。所以为了加速我国的现代化建设，体现“科学技术是第一生产力”的伟大作用，在各个领域，尤其是机电工业系统中推广与普及电子技术是十分重要的。在这种情况下，编写和出版这部《电子工程师手册》是很有必要的。

这部手册是为机电工业系统和其他行业系统中具有中等以上技术水平的工程技术人员在处理专业工作中涉及电子技术问题时查阅而编写的，是以应用为主的、综合性的电子技术手册。它是一部工具书，主要为工程技术人员在研究、处理电子技术问题时起备查、提示和启发的作用。它也可为高等学校有关专业师生及其他有关人员提供参考。

这部手册系统地概括了电子技术及其主要应用领域的基本技术内容。在内容取舍上力求做到：科学性、实用性和先进性。科学性是要体现现代电子科学技术的基本内容，介绍必要的基础知识，注意理论阐述的严谨，采用数据、图表的准确可靠；实用性是要从实用出发建立自己的体系，主要提供一些结论性的技术内容以及这些结论的应用，在编写上简明扼要，深入浅出，直观易懂，归类便查；先进性则是既要反映我国电子技术近年的主要成就，也要介绍国外的先进技术和发展动向，注意反映电子技术的时代特征。

整个手册共17篇，按其内容大体上可分为以下三个部分：

(1) 基础知识 共2篇，分别是：常用资料（符号、常数、单位、标准和数学公式）；电磁学与电路基础。

(2) 技术基础 共6篇，分别是：电子材料；电子元器件；模拟电路；数字电路；微波技术、电波传播与天线；电子产品的工艺、结构与可靠性。

(3) 技术应用 共9篇，分别是：电力电子技术；电子测量与电子仪器；机械量的电子测量；电子计算机；自动控制与控制仪表；电子技术在机械制造方面的应用；广播、电视与声像技术；通信、雷达、导航与电子对抗；医疗电子技术。

这部手册的编写方式也是一种改革的尝试。过去一部综合性手册的编写一般是组织全国各地的有关专家分头编写，然后集中统稿编辑的。由于专家分散在全国各地，联系讨论不便，统稿、编辑过程中也要往返于各地进行讨论、修改，这就不能不拖延时日，往往要5~6年，大型的甚至要8~10年才能出版。电子技术发展非常迅速，如果从编写到出版要花这样长的时间，那么，手册出版之日可能已是内容陈旧之时。因此，这部手册是主要聘请天

津、北京两地的有关专家编写、审稿，而且由机械工业出版社委托天津大学承担了具体的组织工作。由于编写人员居住相对集中，便于交流与讨论，主编与主审也能及时交换意见，除出版社外，还有一个专业面较宽的学术单位负责组织工作，这就使整个手册的编写、审稿和定稿工作在两年之内顺利完成，而且保证了质量，基本上达到了预定的目标和要求。应该说这种做法是成功的，不足之处则可能是未能充分反映其他各地有关专家的经验与成就，这就希望各位专家和广大读者对本手册多提宝贵意见，以便今后能予以修改和补充。

这部手册能以顺利地完成和出版，我愿诚挚地感谢编委会各位委员、各篇的主编、主审以及全体编者所付出的辛勤劳动，感谢他们认真负责的态度和友好合作的精神。我还要特别感谢机械工业出版社的罗命钧、秦起佑、贾馨三位同志和天津大学的翁瑞琪教授，他们为本手册的组织编写、统稿定稿、编辑出版做了大量的工作，为保证手册的质量做出了重要的贡献。

我希望，这部手册的出版，能为有关专业的工程技术人员和高等学校的师生，在从事电子技术应用与推广工作中提供一本实用的工具书。如果它能为我国电子技术的广泛应用起到一些促进作用的话，这将使我们所有这些参加手册编写、出版工作的同志感到荣幸和欣慰。

吴泳诗

目 录

第1章 电阻器与电容器

1 概述	4-1
2 电阻器	4-1
2.1 电阻器的分类	4-1
2.2 电阻器的结构及型号命名方法	4-2
2.3 电阻器的主要技术参数和性能	4-3
2.4 使用电阻器时的注意事项	4-8
3 电位器	4-8
3.1 电位器的分类	4-8
3.2 电位器的结构和型号命名方法	4-9
3.3 电位器的主要技术参数和性能	4-10
3.4 使用电位器时的注意事项	4-16
4 电容器	4-17
4.1 电容器的分类	4-17
4.2 电容器的结构与型号命名方法	4-18
4.3 电容器的主要技术参数和性能	4-19
4.4 电容器的选择方法和使用时 注意事项	4-28
5 片式元器件	4-28
5.1 片式元器件的种类和特点	4-29
5.2 片式元件的结构和性能	4-29

第2章 电子用传输线缆

1 概述	4-33
2 电子线缆	4-33
2.1 电子线缆的结构	4-33
2.2 电子线缆的产品型号与代号	4-33
2.3 电子线缆分类	4-33
2.4 电子线缆的性能及参数	4-35
2.5 电子线缆的应用	4-41
3 光纤光缆	4-47
3.1 光缆通信系统	4-47
3.2 光缆的基本结构	4-47
3.3 光缆的分类及特性	4-47
3.4 光缆的安装及敷设	4-49

第3章 电声器件、接插件和继电器

1 电声器件概述	4-51
----------	------

2 扬声器和扬声器系统	4-51
2.1 扬声器的分类	4-51
2.2 扬声器的结构和工作原理	4-52
2.3 扬声器的特性和参数	4-52
2.4 扬声器的应用	4-53
2.5 扬声器的选择方法	4-53
2.6 扬声器箱及其分类	4-55
3 传声器	4-55
3.1 传声器的分类	4-55
3.2 动圈传声器的结构和工作原理	4-56
3.3 电容传声器的结构和工作原理	4-56
3.4 传声器的特性和参数	4-56
3.5 应用传声器时的注意事项	4-57
4 耳机	4-57
4.1 耳机的分类	4-57
4.2 耳机的结构和工作原理	4-57
4.3 耳机的特性	4-57
5 送话器和受话器	4-58
5.1 送话器	4-58
5.2 受话器	4-58
6 接插件	4-58
6.1 概述	4-58
6.2 接插件的分类	4-58
7 继电器	4-59
7.1 概述	4-59
7.2 继电器的分类	4-59
7.3 继电器的动作原理	4-61

第4章 电真空器件

1 概述	4-62
1.1 定义	4-62
1.2 地位	4-62
1.3 分类及型号命名方法	4-62
2 电子管	4-66
2.1 简介	4-66
2.2 二极管	4-67
2.3 三极管	4-68
2.4 多栅管	4-69
2.5 发射管和振荡管	4-71

3	微波电子管	4-71
3.1	简介	4-71
3.2	速调管	4-72
3.3	行波管	4-74
3.4	磁控管	4-76
4	电子束器件	4-78
4.1	简介	4-78
4.2	示波管	4-78
4.3	摄像管	4-79
4.4	黑白显象管	4-82
4.5	彩色显象管	4-83
5	光电器件	4-89
5.1	简介	4-89
5.2	光电阴极与二次电子发射体	4-89
5.3	光电倍增管	4-91
5.4	象管	4-91
6	真空微电子管	4-95
6.1	简介	4-95
6.2	结构和工作原理	4-95
6.3	应用前景	4-96

第5章 半导体器件

1	半导体器件基础概述	4-97
1.1	半导体的导电性	4-97
1.2	PN结的种类和特性	4-98
1.3	半导体分立器件的型号命名方法	4-99
2	半导体二极管	4-103
2.1	二极管的分类和特性	4-103
2.2	常用二极管的型号和选用常识	4-104
3	半导体三极管	4-110
3.1	晶体管的分类和放大原理	4-110
3.2	晶体管的特性参数	4-112
3.3	晶体管的型号和选用常识	4-113
4	场效应晶体管	4-121
4.1	场效应晶体管的分类	4-121
4.2	场效应晶体管的结构和工作原理	4-121
4.3	场效应晶体管的主要参数	4-121
4.4	场效应晶体管的型号和选用常识	4-123
5	单结晶体管	4-124
5.1	单结晶体管的结构和工作原理	4-124
5.2	单结晶体管的特性参数、型号和 选用常识	4-126

第6章 集成电路

1	概述	4-128
1.1	集成电路的定义和特点	4-128
1.2	集成电路的分类	4-128
2	数字集成电路	4-128
2.1	数字集成电路的主要性能参数	4-128
2.2	数字集成电路的发展趋势	4-129
2.3	双极型逻辑集成电路	4-129
2.4	MOS型逻辑集成电路	4-137
2.5	集成触发器	4-144
3	模拟集成电路	4-149
4	专用集成电路	4-152
4.1	简介	4-152
4.2	实例	4-153
5	混合集成电路	4-155
5.1	薄膜混合集成电路	4-155
5.2	厚膜混合集成电路	4-157
5.3	混合集成电路的型号命名方法	4-160
6	模块	4-161
6.1	概述	4-161
6.2	模块的种类、结构和性能	4-161

第7章 光电子器件

1	概述	4-165
2	光子探测器	4-165
2.1	光电二极管	4-165
2.2	光电池	4-166
2.3	光电三极管	4-167
2.4	光敏电阻	4-168
2.5	光控晶闸管	4-169
2.6	电荷耦合器件	4-170
3	激光器	4-171
3.1	气体激光器	4-171
3.2	固体激光器	4-172
3.3	半导体激光器	4-173

第8章 显示器件

1	概述	4-175
2	等离子体显示板(PDP)	4-175
2.1	PDP的分类	4-175
2.2	器件结构及工作原理	4-175
2.3	各类PDP的主要参数	4-177

3	发光二极管(LED)	4-178
3.1	LED的分类	4-178
3.2	LED的结构及工作原理	4-178
3.3	LED的主要参数	4-179
3.4	LED的应用	4-180
4	电致发光器件(EL)	4-180
4.1	电致发光器件的分类	4-180
4.2	工作原理和材料	4-180
4.3	器件实例	4-181
4.4	应用领域	4-181
5	液晶显示(LCD)	4-181
5.1	液晶材料的分类	4-181
5.2	液晶显示的结构及工作原理	4-182
5.3	液晶显示的主要参数	4-183
5.4	液晶显示器的应用及注意事项	4-184

第9章 敏感元器件

1	概述	4-185
2	力敏元器件	4-185
2.1	压阻式压力敏感元件	4-185
2.2	压阻式加速度敏感元件	4-186
2.3	力敏元器件的应用	4-186
3	热敏元件及温度传感器	4-187
3.1	热敏电阻	4-187
3.2	晶体管和集成电路温度传感器	4-190
4	磁敏元件	4-191
4.1	霍尔元件与霍尔集成电路	4-191
4.2	磁敏二极管和三极管	4-195
4.3	磁敏电阻元件	4-198
4.4	磁敏元件的应用	4-200
5	气敏元件	4-200
5.1	气敏元件的种类	4-200
5.2	SnO_2 气敏元件的特点	4-201
5.3	SnO_2 气敏元件的结构与性能	4-201
5.4	其他气敏元件	4-202
6	湿敏元件	4-204
6.1	湿度的含义	4-204
6.2	湿敏元件的结构与性能	4-204
6.3	湿敏元件的应用	4-207
7	离子敏感器件	4-207
7.1	ISFET的结构和工作原理	4-207
7.2	ISFET的分类	4-207

7.3	ISFET的特性	4-207
7.4	ISFET的应用	4-208

第10章 微波半导体器件

1	概述	4-209
2	变容二极管	4-209
2.1	变容二极管的工作原理	4-209
2.2	变容二极管的基本参量	4-209
2.3	电调谐变容二极管	4-209
2.4	参放变容二极管	4-210
3	阶跃恢复二极管	4-210
3.1	阶跃恢复二极管的工作原理	4-210
3.2	阶跃二极管的主要参数	4-211
3.3	阶跃二极管的用途	4-211
4	PIN二极管	4-211
4.1	PIN二极管的工作原理	4-211
4.2	PIN二极管的主要参数	4-212
4.3	PIN二极管的用途	4-212
5	雪崩渡越时间二极管	4-212
5.1	雪崩渡越时间二极管的几种结构 及典型参数	4-212
5.2	雪崩渡越时间二极管的用途	4-212
6	肖特基势垒二极管	4-212
6.1	肖特基势垒二极管的工作原理 和结构	4-212
6.2	肖特基势垒二极管的用途	4-213
7	电子转移器件	4-213
7.1	电子转移效应	4-213
7.2	耿氏二极管	4-213
7.3	耿氏二极管的特点和用途	4-213
7.4	限累二极管	4-213
8	硅微波双极晶体管	4-214
9	砷化镓场效应晶体管	4-215
9.1	砷化镓场效应晶体管的结构 和工作原理	4-215
9.2	砷化镓场效应晶体管的特点	4-215
10	高电子迁移率晶体管	4-216
10.1	HEMT的基本工作原理	4-216
10.2	HEMT的特性	4-216

第11章 其他电子元器件

1	超导器件	4-218
---	------------	-------

1·1 概述·····	4-218	3·2 石英谐振器·····	4-224
1·2 超导器件的工作原理及应用·····	4-218	4 磁性元器件·····	4-225
2 半导体致冷器件·····	4-220	4·1 永磁材料元器件·····	4-225
2·1 半导体致冷器件的型号命名方法·····	4-220	4·2 软磁材料元器件·····	4-226
2·2 半导体致冷器件的结构与性能·····	4-221	4·3 磁存储材料元器件·····	4-229
3 石英晶体与器件·····	4-223	4·4 微波铁氧体器件·····	4-229
3·1 石英晶体的制造方法与性能·····	4-223	参考文献 ·····	4-232

第1章 电阻器与电容器

1 概述

电阻器和电容器简称为阻容元件。在各类电子元器件中，它们是生产量最大、使用范围最广的一种电子元件。

电阻器是一种具有一定阻值、一定几何形状、一定性能参数、在电路中起电阻作用的实体元件。在电路中，它的主要作用是稳定和调节电路中的电流和电压，作为分流器、分压器和消耗电能的负载电阻使用。

电位器是电阻值可调整的电阻器，可作为分压器和可变电阻器使用的具有三个引出端的可调电子元件。它的两个引出端分别连接到电阻体的两端，另一个引出端连接到可以沿电阻体作机械运动的接触刷上。它也是一种机-电转换元件。

电容器是由两个中间隔以绝缘材料（介质）的电极组成的，具有存储电荷功能的电子元件。在电路中，它有阻止直流电流通过，允许交流电流通过

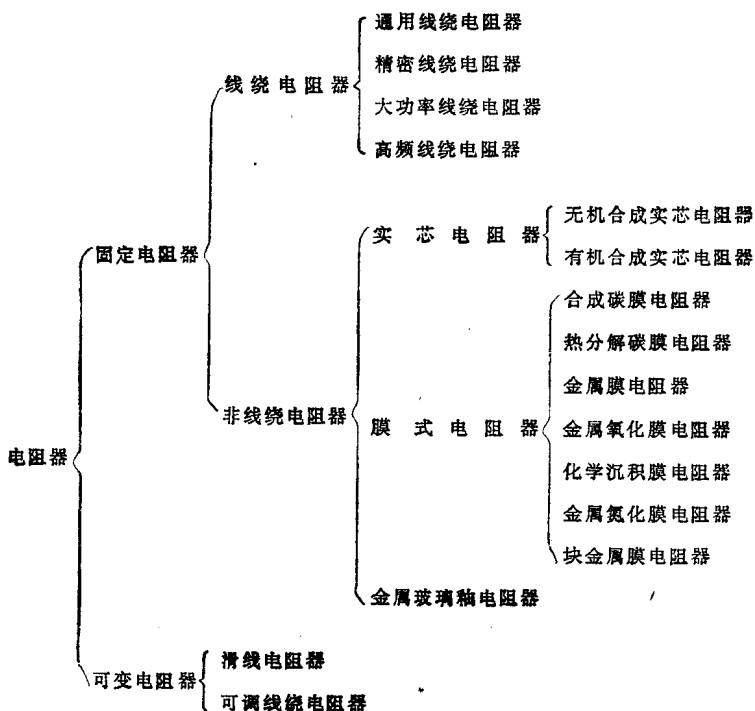
的性能。在电路中可起到旁路、耦合、滤波、隔直流、储存电能、振荡和调谐等作用。

2 电阻器

2.1 电阻器的分类

电阻器的种类很多，分类方法也不相同。通常根据其电阻值的变化情况分为固定电阻器和可变电阻器两大类型。前者是指电阻器制成之后，电阻值固定不能任意调整阻值的电阻器；后者是指电阻器制成之后，利用机械方法可在规定范围内改变其电阻值的电阻器。与电位器相比较，可变电阻器的结构比较简单，阻值变化范围比较小，用途也有限。电位器虽然属于可变电阻器，但结构复杂、种类繁多、阻值变化范围大，用途也相当广泛。电阻器中还有一类电阻值对外界环境条件，如温度、光照、湿度、气氛、压力、磁场等十分敏感的电阻器，通常都称为敏感元件（详见第9章）。各种电阻器详细分类如表4.1-1所示。

表4.1-1 电阻器的分类表



2.2 电阻器的结构及型号命名方法

2.2.1 电阻器的结构

电阻器一般由陶瓷基体(骨架)、电阻体(电阻丝或电阻膜)、引线帽、引出线和保护层等所构成。其中大部分电阻器的引出线为轴向引线,一小部分为径向引线。另外,为了适应现代表面组装技术(SMT)的需要,还有无引出线的片状电阻器(详见第7章)。各种电阻器的结构如图4.1-1所示。

2.2.2 电阻器的型号命名方法

电阻器品种很多,为了生产和使用方便又符合标准化要求,国家标准GB2470-81规定电阻器型号命名由下面四部分组成。

第一部分主称用英文字母表示;第二部分材料用汉语拼音字母表示;第三部分分类和特点用数字表示,个别者用汉语拼音字母表示;第四部分序号用数字表示。各部分所用符号及其含义分别如表4.1-2和表4.1-3所示。

表4.1-2 电阻器的主称与材料的符号及含义

主 称		材 料	
符号	意 义	符号	意 义
R	电 阻 器	T	碳 膜
		H	合 成 膜
		S	有 机 实 芯
		N	无 机 实 芯
		J	金 属 膜
		Y	氧 化 膜
		C	沉 积 膜
		X	玻 璃 釉 膜

表4.1-3 电阻器分类和特点的符号及含义

符号	1	2	3	4	5	7	8	9	T	G
意义	普通	普通	超高频	高阻	高温	精密	高压	特殊	可调	高功率

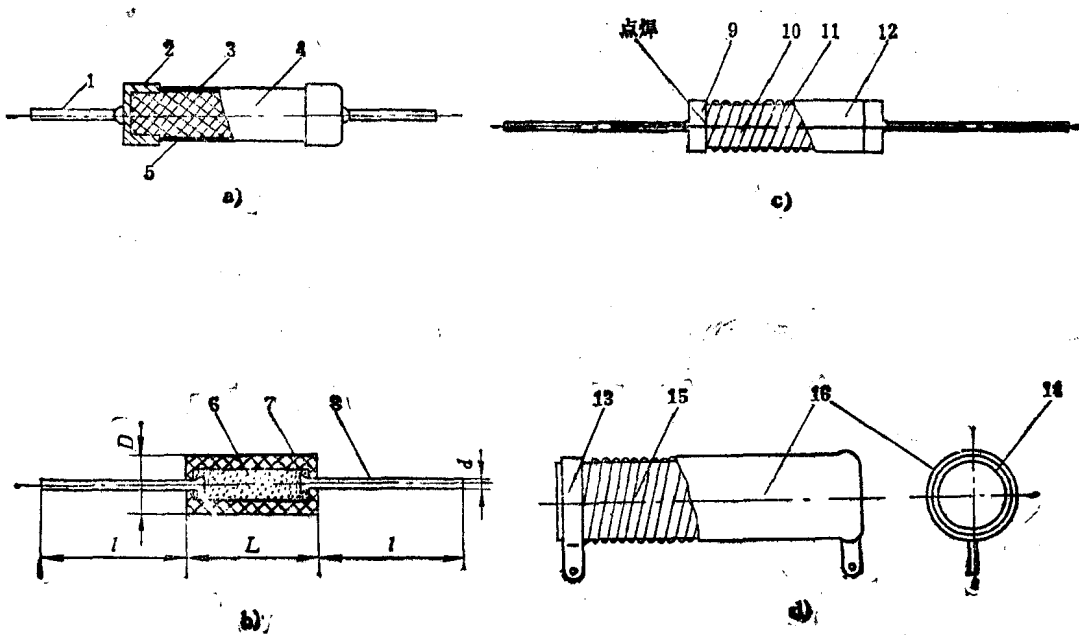
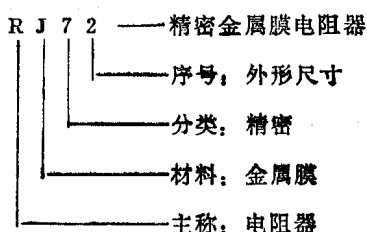


图4.1-1 各种电阻器的结构

- a) 薄膜型电阻器的典型结构
- 1—引线 2—引线帽 3—电阻体膜 4—保护漆层 5—陶瓷基体
- b) 合成实芯电阻器结构
- 6—电阻体 7—保护层(或绝缘外壳) 8—引出线
- c) 被漆线绕电阻器结构
- 9—引线帽 10—瓷骨架 11—电阻合金线 12—漆层
- d) 被釉线绕电阻器结构
- 13—卡圈式引出端 14—空心瓷骨架 15—电阻合金线 16—釉层

例如，精密金属膜电阻器可表示为：



2.3 电阻器的主要技术参数和性能

2.3.1 电阻器的主要技术参数及其意义

1. 标称阻值和允许偏差 标称阻值是电阻器设计的阻值，通常标志在电阻器表面上。实际阻值是电阻器在规定条件下测量出的电阻值。允许偏差是实际阻值与标称阻值之间允许的最大偏差范围，通常用标称阻值的百分值（%）表示。一般电阻器的允许偏差有三种，即±5%、±10%、±20%。阻值变化是指当外界条件（如温度、湿度、功耗等）改变时，电阻器阻值产生的变化。

2. 精度与标称阻值系列 电阻器的精度是指电阻值由阻值允许偏差和阻值变化决定的一个等级指标。通用电阻器的精度分为I、II、III等三个等级。它所对应的阻值允许偏差分别为±5%、±10%和±20%。相应的标称阻值系列如表4.1-4所示。E3系列是允许偏差大于±20%时的标称阻值系列。

在生产和使用电阻器时，根据需要要用表中数值再乘以10ⁿ即可得到所需的标称阻值。n可为正或负整数。

从表中所列数值可计算出，前一个标称阻值的下限与后一个标称阻值的上限是互相衔接的。其中只有少数几个标称阻值上下限，因计算中的取舍而稍有间隙或重叠。这种合理的分级方法可以消除生产中因阻值不符合要求而产生废品。

对于精密电阻器，其精度分别为±2%、±1%、±0.5%、±0.2%、±0.1%、±0.05%、±0.01%、±0.005%、±0.002%、±0.001%。它们的标称阻值系列如表4.1-5所示。在应用中，精度为±2%者可选用E48系列，精度为±1%和±0.5%者可选用E96系列，其他则适宜选用E192系列。与通用电阻器一样，根据需要可乘以10ⁿ便可得到所需的标称阻值，其中n为正或负整数。

对于小型电阻器，无法在电阻器表面标志标称阻值和精度时，可采用印刷色环的方法表示。各种色环的意义如表4.1-6所示。在电阻器上标志的方法如图4.1-2所示。

表4.1-4 通用电阻器的标称阻值系列

E24系列 I级精度 (±5%)	E12系列 II级精度 (±10%)	E6系列 III级精度 (±20%)	E3系列 (>±20%)
1.0	1.0	1.0	1.0
1.1			
1.2	1.2		
1.3			
1.5	1.5	1.5	
1.6			
1.8	1.8		
2.0			
2.2	2.2	2.2	2.2
2.4			
2.7	2.7		
3.0			
3.3	3.3	3.3	
3.6			
3.9	3.9		
4.3			
4.7	4.7	4.7	4.7
5.1			
5.6	5.6		
6.2			
6.8	6.8	6.8	
7.5			
8.2	8.2		
9.1			

表4.1-5 精密电阻器的标称阻值系列

E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48
100	100	100	124	124		154	154	154
101			128			156		
102	102		127	127	127	158	158	
104			129			160		
105	105	105	130	130		162	162	162
106			132			164		
107	107		133	133	133	165	165	
109			135			167		
110	110	110	137	137		169	169	169
111			138			172		
113	113		140	140	140	174	174	
114			142			176		
115	115	115	143	143		178	178	178
117			145			180		
118	118		147	147	147	182	182	
120			149			184		
121	121	121	150	150		187	187	187
123			152			189		

(续)

E192	E96	E48	E192	E96	E48	E192	E96	E48
191	191		336			590	590	590
193			340	340		597		
196	196	196	344			604	604	604
198			348	348	348	612		
200	200		352			619	619	
203			357	357		626		
205	205	205	361			634	634	634
208			365	365	365	642		
210	210		370			649	649	
213			374	374		657		
215	215	215	379			665	665	665
218			383	383	383	673		
221	221		388			681	681	681
223			392	392		690		
226	226	226	397			695	695	
229			402	402	402	706		
232	232		407			715	715	715
234			412	412		723		
237	237	237	417			732	732	
240			422	422	422	741		
243	243		427			750	750	750
246			432	432		759		
249	249	249	437			768	768	768
252			442	442	442	777		
255	255		448			787	787	
258			453	453		796		
261	261	261	459			806	806	806
264			464	464	464	816		
267	267		470			825	825	
271			475	475		835		
274	274	274	481			845	845	845
277			487	487	487	856		
280	280		493			866	866	866
284			499	499		876		
287	287	287	505			887	887	
291			511	511	511	898		
294	294		517			909	909	909
298			523	523		920		
310	310	310	530			931	931	
305			536	536	536	942		
309	309		542			953	953	953
312			549	549		965		
316	316	316	556			976	976	
320			562	562	562	983		
324	324		569					
328			576	576				
332	332	332	583					

表4-1-6 电阻器用色环标志的种类及含义

颜色	有效数字	乘数	精度(%)
银色	—	10 ⁻²	±10
金色	—	10 ⁻¹	±5
黑色	0	10 ⁰	—
棕色	1	10 ¹	±1
红色	2	10 ²	±2
橙色	3	10 ³	—
黄色	4	10 ⁴	—
绿色	5	10 ⁵	±0.5
蓝色	6	10 ⁶	±0.2
紫色	7	10 ⁷	±0.1
灰色	8	10 ⁸	—
白色	9	10 ⁹	+50 -20
无色	—	—	±20

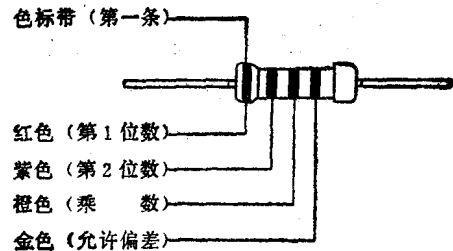


图4-1-2 电阻器色环的标志方法

3. 电阻温度系数 当环境温度每变化1°C时, 电阻器阻值的相对变化称为电阻器的电阻温度系数。它表示电阻值随温度变化发生可逆性变化的特性。在实际应用中, 某一个规定环境温度范围内的电阻温度系数称为平均温度系数, 并用下式进行计算:

$$\alpha_t = \frac{R_t - R_0}{R_0(t - t_0)} (\%/^{\circ}\text{C})$$

式中 $R_t(\Omega)$ 、 $R_0(\Omega)$ 分别为环境温度 $t(^{\circ}\text{C})$ 和 $t_0(^{\circ}\text{C})$ 时的电阻值。

几种常用电阻器的温度特性曲线如图4-1-3所示。

4. 电阻器的负荷特性 它表示电阻器允许功耗 P 与环境温度 t_0 的关系曲线如图4-1-4所示。

允许功耗 P 是指在规定环境温度范围内保证电

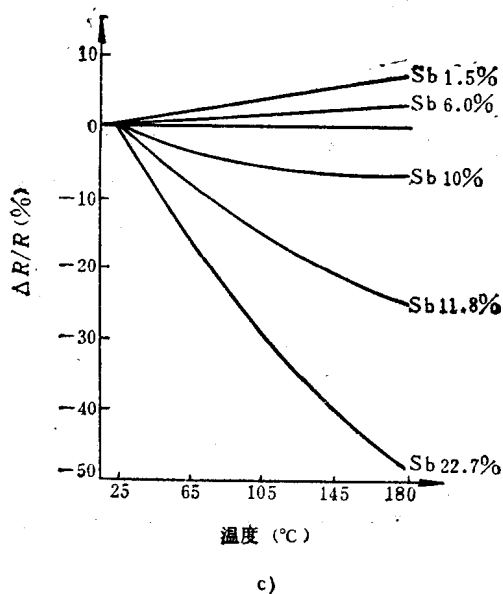
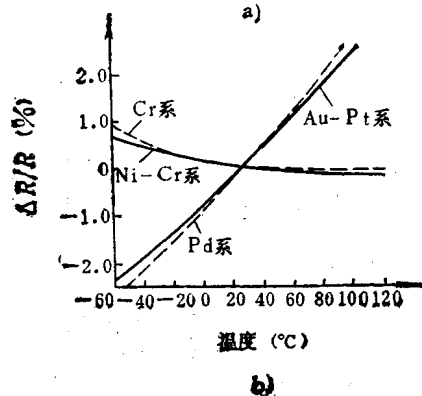
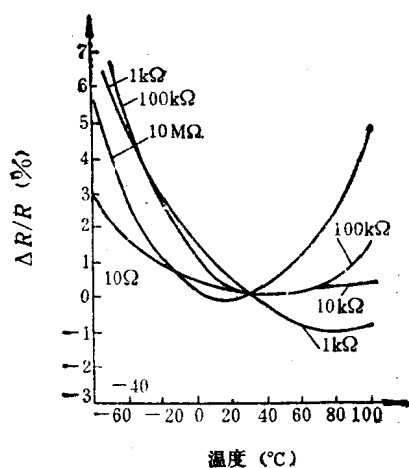


图4-1-3 几种常用电阻器的温度特性
a) RT型 b) RJ型 c) RY型

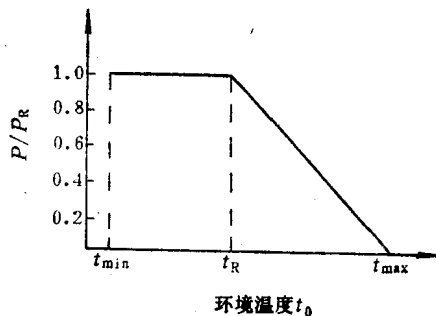


图4-1-4 电阻器的负荷特性曲线
 P —允许功耗 P_R —额定功耗
 t_R —额定环境温度

阻器在不同温度下连续正常工作所能负荷的最大功耗。在额定环境温度 t_R 时，电阻器的允许功耗 P 称为额定功耗并用 P_R 表示。 P_R 的大小与电阻器的结构、几何尺寸和材料有关。当环境温度 $t_0 < t_R$ 时，电阻器可满足负荷使用。当环境温度 $t_0 > t_R$ 时，应降负荷使用。当环境温度 t_0 等于最大环境温度 t_{max} 时，允许功耗 P 可等于零。

固定电阻器的额定功耗 P_R 有不同系列值，分别如表4-1-7和表4-1-8所示。生产和使用时应按此规定选择。

表4-1-7 线绕电阻器额定功耗(P_R)系列

线绕电阻器额定功率系列 (W)							
0.05	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8 10 16
25	40	50	75	100	150	250	500

表4-1-8 非线绕电阻器额定功耗(P_R)系列

非线绕电阻器额定功率系列 (W)					
0.05	0.125	0.25	0.5	1	2
5	10	25	50	100	

5. 电阻器的噪声 由于电阻体中载流子浓度的不规则变化，在电阻器引出端产生的不规则起伏电压称为电阻器的噪声。这种噪声称为静噪声，包括热噪声和电流噪声。

热噪声存在于一切电阻器中，可用下式近似计算求出：

$$\overline{e_T^2} = 4kTRAf \quad (V^2)$$

式中 e_T ——热噪声电动势(V)； T ——绝对温度

(K); R ——电阻值(Ω); Δf ——测量系统频带宽度(Hz); k ——玻耳兹曼常数, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 。

电流噪声只存在于微粒状电阻体中, 如各种薄膜电阻器、玻璃釉电阻器和实芯电阻器。它可用有关仪器进行测量, 并用电流噪声指标 I_n 表示:

$$I_n = 20 \lg \frac{E}{V_T} \quad (\text{dB})$$

式中 V_T 为加到被测电阻器上的直流测量电压(V); E 为在10倍频程理想矩形通带中的电流噪声电动势的方均根值(有效值) (μV), 通频带几何中心频率为1000Hz。

各种电阻器的电流噪声指标分别是: RX型为 $-35 \sim -40 \text{dB}$, RS型为 $-10 \sim -20 \text{dB}$, RT型为 $-17 \sim -23 \text{dB}$, Ry型为 $-23 \sim -27 \text{dB}$, RJ型为 $-30 \sim -35 \text{dB}$ 。它们与电阻值的关系如图4-1-5所示。

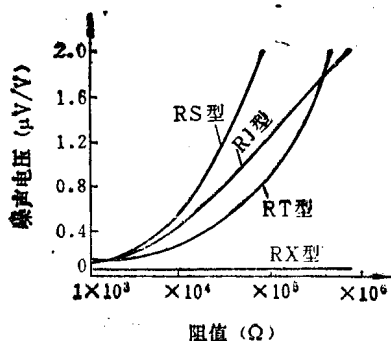


图4-1-5 各种电阻器的噪声电压

6. 电阻器的频率特性 电阻器因其本身分布电容和分布电感的影响, 交流等效电阻(电阻器在交流情况下测量的电阻分量)随频率变化而变化。电阻器的交流电阻用 R_{AC} 表示, 直流电阻用 R_{DC} 表示, 它们的比值与电阻值和频率的关系如图4-1-6所示。从图中看到, 同种电阻值中阻值较小者其频率特性较好。不同电阻器相比较, 无引线片状电阻器有较好的频率特性。

7. 电阻器的最高工作电压 根据电阻器的额定功耗 P_R 和标称阻值 R , 由公式 $U_R = \sqrt{RP_R}$ 求出的电压 U_R 称为额定工作电压。当 P_R 为一定值后, U_R 随 R 值增大而增大。由于电阻体内部电流密度和击穿电压的限制, U_R 不能任意增大。当 U_R 增大到一定值之后, 即使 R 再增大, 也不许 U_R 继续增大。这时的 U_R 称为电阻器的最高工作电压, 并用 U_{max} 表示。 $U_R = U_{max}$ 时的电阻值称为临界阻值并用 R_m

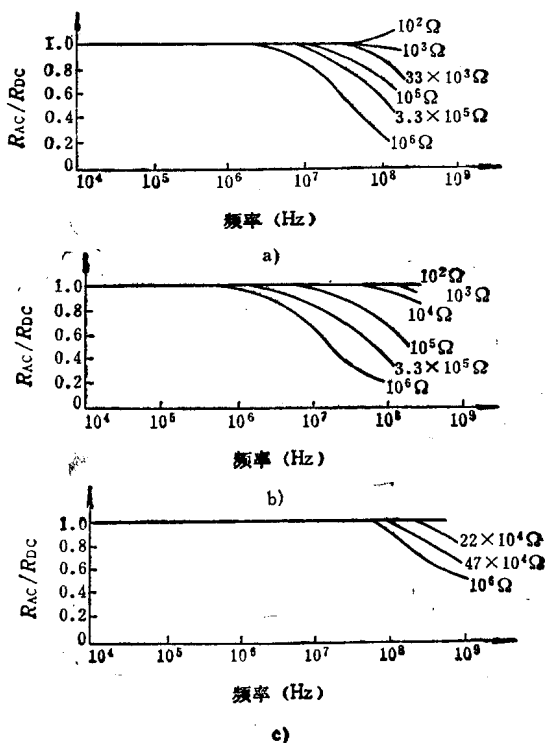


图4-1-6 各种电阻器的频率特性
a) RT14型 b) RJ14型 c) 片状无引线型

表示。当 R 小于 R_m 时, 电阻器工作电压受 U_R 限制, 当 R 大于 R_m 时, 其工作电压受 U_{max} 的限制。几种常用电阻器的额定功耗 P_R 、标称阻值 R 和最高工作电压 U_{max} 如表4-1-9所示。

表4-1-9 常用电阻器 P_R 、 R 和 U_{max} 的关系

型号	额定功耗 P_R (W)	标称阻值 R (Ω)	工作电压 U_{max} (V)
RT14	0.25	$1 \sim 1 \times 10^0$	250
RT106	0.16	$4.7 \sim 1 \times 10^0$	150
RJ14	0.25	$10 \sim 2.2 \times 10^0$	250
RJ15	0.5	$10 \sim 4.99 \times 10^0$	350
RJ20	3	$1 \sim 100 \times 10^3$	500
RI 8	2	$1 \sim 4.7 \times 10^0$	15kV (DC)
RHZ	0.25	$10 \times 10^0 \sim 51 \times 10^0$	400
RY25	0.5	$1 \sim 5.1 \times 10^3$	250

8. 电阻器的稳定度 电阻器经受各种外界条件(如温度、湿度、功耗、时间等)作用后, 保持其初始值的能力称为电阻器的稳定度。它与耐久性不同。耐久性是指电阻器在规定条件下, 经过一段