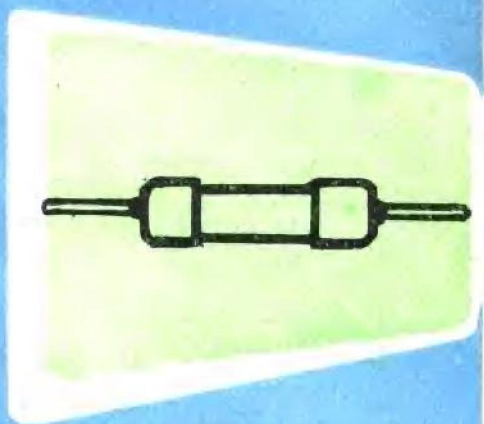


电子元件应用丛书

怎样选用电阻器



王文生 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要介绍电阻器的基本性能;电阻器的结构、制造工艺和特点;电阻器的选用方法以及敏感型电阻器。书中还介绍了怎样正确使用各种电阻器。

本书可供具有中等以上文化水平从事电子线路设计、生产和维修的工程技术人员以及广大无线电业余爱好者阅读,也可供有关大专院校学生参考。

电子元件应用丛书

怎样选用电阻器

王 文 生 编著

责任编辑 杨其眉

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/32$ 印张6 $8/4$ 144千字

1987年3月第一版 1987年3月第一次印刷 印数: 0,001—5,900册

统一书号: 15034·3131 定价: 1.40元

前 言

电子技术的广泛应用是现代技术进步的重要标志,是经济振兴的必要条件和重要措施。电子元件是电子整机的基础。由于电子整机线路及结构要求的不同,需要各种类型的元件,如:阻容元件、机电组件、敏感元件及传感器、混合集成电路、石英晶体、电子陶瓷与压电、铁电器件、传输线、微特电机以及新型的声光及表面波器件等。它们在电子线路中有控制、传输、耦合、转换、隔离、显示等各种不同的特定功能,满足电子整机的各种要求。随着电子设备日益提高的精确性、可靠性和多功能要求而使线路更复杂,组装密度也更高,因此对电子元件的选用变得越来越重要了。只有合理地选用电子元件,才能充分发挥它们在电子线路中应有的作用,保证和提高电子线路的精确效能和整机的可靠性。

中国电子学会电子元件学会为了宣传和推广电子元件的广泛应用,组织编写了一套科普性质的电子元件应用丛书,此丛书为广大整机工作者、应用电子元件的科技人员、无线电业余爱好者乃至家用电器使用者介绍各种电子元件的一般机理、性能、结构、用途,提供合理选用的科学知识,以减少由于选用不当造成的不必要的故障和损失,进一步提高电子整机的性能和质量水平,取得更高的经济效益。

首批陆续出版的有以下十一册:

怎样选用电容器;

怎样选用电阻器;

怎样选用电位器，
怎样选用继电器，
压敏电阻器及应用，
厚薄膜混合集成电路及应用，
石英谐振器及应用，
结构陶瓷及应用，
信息传输线及应用，
电子变压器及应用，
家用微电机。

根据情况今后将增加新的书目，满足各方面读者的需要。

编辑出版电子元件应用丛书是一次尝试，缺乏经验，望
广大读者提出宝贵意见，以便改进。

中国电子学会电子元件学会

主任委员 陈克恭

编 者 的 话

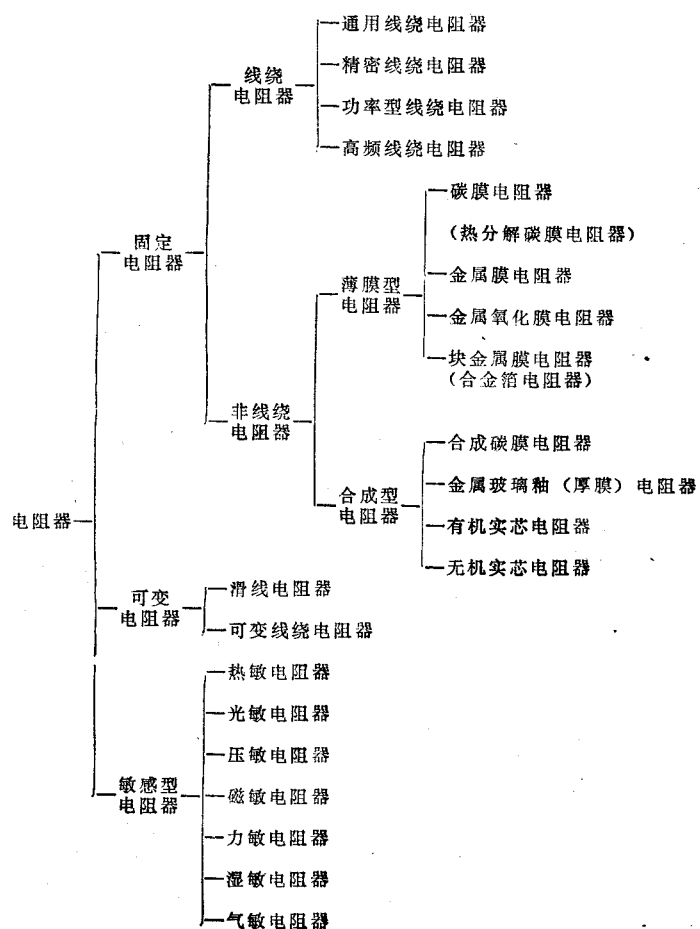
电阻器是组成各种电子线路的主要元件之一。一台普通的晶体管收音机使用几十支电阻器，一台大型电子仪器使用的电阻器，其数量可达近千支。大家知道，不同的电子线路对电阻器有不同的技术要求。电阻器的品种也很繁多（见表1）。每种电阻器的技术性能又因所用材料、外形结构及制造工艺方法的不同而千差万别。这样，摆在从事电子线路设计、制造和维修人员面前的一个重要课题就是怎样从种类繁多、性能各异的电阻器中选择出合适的电阻器安装到电子线路上，使整机产品性能优良、经久耐用而又价格低廉。

考核一台整机产品质量和性能的一个重要指标是它的可靠性，即使用寿命。这个指标的高低固然和电子线路的设计与装配、产品使用环境条件等有密切关系，但在很大程度上还决定于各种元件的质量和选用得是否正确。大量统计资料的分析表明，造成整机产品使用寿命不高的原因及各种原因所占的百分比是：

1. 设计原因	40%
2. 元器件的选用不当	30%
3. 制造原因	15%
4. 使用和维护不当	15%

在元器件选用不当的原因之中，由于电阻器选用不当而使整机产品失效的比例大约是40%。这两个数字相乘得到 $30\% \times 40\% = 12\%$ 。它说明，在100台失效的整机产品中，由

表1 国产电阻器分类表



于电阻器选用不当而造成失效的就可能有 12 台。这个数量是相当惊人的。

上述事实充分说明，正确地选用电阻器对于提高整机产品的质量是十分重要的。为了改进整机产品的质量，增长使用寿命，一方面应该通俗并系统地介绍各种电阻器的结构、性能、特点及正确的选用方法；另一方面，从事电子线路工作的人员应了解和掌握各种电阻器的性能与特点，并能正确地使用它。

当前，国内关于选用电阻器方面的书籍很少，而仅有的一部分介绍都零散地刊登在各种杂志上，学习起来很不方便。为了弥补这个不足，我们编写了名为《怎样选用电阻器》这样一本小册子，奉献给从事电子线路工作的同志们作为工作中的参考读物。

— 本书的主要内容有四部分。第一部分介绍各种电阻器都应具有的技术性能及其物理意义；第二部分介绍各种电阻器的制造工艺、外形结构、性能数据和特点；第三部分是从电阻器的特点出发来介绍应该怎样正确地使用电阻器；第四部分专门介绍各种敏感型电阻器的性能特点及其正确使用。

在写作过程中曾得到许多单位提供资料，西安交通大学陈国光教授审阅原稿，陆传良同志审校，董向红同志描绘插图，刘志刚同志抄稿。谨向他们表示衷心的感谢。

限于编者的业务水平，书中缺点和错误一定很多，热情地欢迎读者批评指正。

目 录

第一章 电阻器的基本性能	1
第一节 电阻器的基本概念	1
第二节 电阻器的基本性能	4
§ 2-1 电阻器的标称阻值与精度	4
§ 2-2 电阻器标称阻值的表示方法	11
§ 2-3 电阻器的功率负荷	14
§ 2-4 电阻器的降功率曲线	16
§ 2-5 电阻器的温度特性	17
§ 2-6 电阻器的频率特性	19
§ 2-7 电阻器的噪音	21
§ 2-8 电阻器的非线性与电压系数	24
§ 2-9 电阻器的电压限制	25
§ 2-10 电阻器的脉冲负荷	27
§ 2-11 电阻器的机械性能	29
§ 2-12 电阻器的可靠性	30
第二章 电阻器的结构、制造工艺及其特点	33
第一节 薄膜型固定电阻器	33
§ 1-1 热分解碳膜电阻器	33
§ 1-2 金属膜电阻器	41
§ 1-3 化学沉积金属膜电阻器	49
§ 1-4 金属氧化膜电阻器	51
§ 1-5 精密合金箔电阻器	56
第二节 合成型固定电阻器	59
§ 2-1 合成碳膜电阻器	59
§ 2-2 玻璃釉电阻器	64
§ 2-3 有机实芯电阻器	69
第三节 线绕电阻器	74

§ 3-1	精密型线绕电阻器	72
§ 3-2	功率型线绕电阻器	74
第四节	各种改进型电阻器	77
§ 4-1	阻燃电阻器	77
§ 4-2	熔断电阻器	79
§ 4-3	水泥电阻器	82
第三章	电阻器的选用方法	85
第一节	选用电阻器的基本原则	85
第二节	标称阻值的选择	88
第三节	阻值精度的选择	90
第四节	电阻器额定功率的选择	94
第五节	电阻温度系数的选择	98
第六节	额定工作电压和最高工作电压的选择	100
第七节	电阻器噪音的处理	102
第八节	电阻器分布参数的处理	106
第九节	常用电阻器的选择	109
第四章	敏感型电阻器	112
第一节	热敏电阻器	113
§ 1-1	热敏电阻器的命名方法	113
§ 1-2	热敏电阻器的基本性能	115
§ 1-3	正温度系数热敏电阻器	120
§ 1-4	负温度系数热敏电阻器	126
§ 1-5	热敏电阻器的正确选用	131
第二节	光敏电阻器	132
§ 2-1	光敏电阻器的命名方法	134
§ 2-2	光敏电阻器的基本性能	135
§ 2-3	可见光光敏电阻器	139
§ 2-4	红外光光敏电阻器	141
第三节	压敏电阻器	144
§ 3-1	压敏电阻器的命名方法	144
§ 3-2	压敏电阻器的基本性能	146
§ 3-3	压敏电阻器的结构和性能	149

§ 3-4	压敏电阻器的正确使用	154
第四节	力敏电阻器	157
§ 4-1	力敏电阻器的命名方法	158
§ 4-2	力敏电阻器的基本性能	159
§ 4-3	力敏电阻器的种类和技术性能	164
第五节	湿敏电阻器	169
§ 5-1	湿敏电阻器的命名方法	170
§ 5-2	湿敏电阻器的基本性能	171
§ 5-3	湿敏电阻器的种类、结构、性能及其应用	173
第六节	磁敏电阻器	181
§ 6-1	磁敏电阻器的命名方法	182
§ 6-2	磁阻效应	182
§ 6-3	磁敏电阻器的基本性能	184
§ 6-4	磁敏电阻器的结构和性能	185
§ 6-5	磁敏电阻器的应用	191
第七节	气敏电阻器	194
§ 7-1	气敏电阻器的命名方法	194
§ 7-2	气敏电阻器的基本性能	195
§ 7-3	气敏电阻器的种类和性能	199
§ 7-4	使用中应注意的问题	203

第一章 电阻器的基本性能

虽然电阻器有很多种类，每一种电阻器在技术性能的具体数量上可能有所不同，但是许多技术性能和基本概念则是每一种电阻器都必须共有的。要做到正确地选用电阻器，必须对电阻器技术性能的物理意义有明确的了解。本章的内容就是讨论电阻器技术性能的物理意义。了解这些内容便可对正确选用电阻器打下一定的理论基础。

第一节 电阻器的基本概念

为了下面介绍电阻器技术性能的需要，在本节中我们先介绍一些关于电阻器的基本概念。

1. 电阻

电阻是物体阻碍电流流通，并将电能转换成热能的一种物理性质。由于物体性质的不同，它们阻碍电流流通能力的大小也不同。若将物体制成棒状，在它们的两端施加上电压 U ，流过的电流为 I ，如果这种物体的电阻用 R 表示，则它和电压 U 及电流 I 的关系便是

$$R = \frac{U}{I}$$

这个公式就是物理学中著名的欧姆定律。当电压 U 用伏 (V) 表示，电流 I 用安 (A) 表示时，电阻 R 的单位便是欧 (Ω)。 R 叫做电阻值或简称为阻值。

2. 电阻率

电阻率是表示物体电阻性能的一个常数。它是单位长度、单位面积材料的阻值。因为物体的电阻值 R 的大小，不但与物体的组成成份有关系，而且还和物体的几何形状有关系。假设物体的长度为 L 厘米(cm)，横截面积为 S 平方厘米(cm^2)，电阻率是 ρ ，则它们和电阻值 R 有下列关系：

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

将上式改写一下便可求出电阻率 ρ 为 $\rho = \frac{R \cdot S}{L}$ ，其单位是欧·厘米 ($\Omega \cdot \text{cm}$)。它是和物体几何形状无关的一个物理常数。

各种常用金属和半导体材料的电阻率 ρ 如表 1-1 所示。

表1-1 常用材料的电阻率 ρ (20°C)

材 料	ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)	材 料	ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)
铝	2.82×10^{-6}	磷青铜	8×10^{-6}
金	2.42×10^{-6}	镍铬合金	100×10^{-6}
铁	9.8×10^{-6}	锌	5.92×10^{-6}
铜	1.72×10^{-6}	石墨 (多晶)	8×10^{-4}
银	1.62×10^{-6}	纯硅	$3 \times 10^5 (27^{\circ}\text{C})$
黄铜	8×10^{-6}	纯锗	$43 (27^{\circ}\text{C})$

金属材料的电阻率 ρ 与材料中所含的杂质有密切关系。纯金属的电阻率较小，含有杂质时其电阻率较大，如铜和黄铜。半导体材料的情况则恰恰相反，纯半导体的电阻率较大，含有杂质时其电阻率较小。

各种材料的电阻率还和环境温度有关系。金属材料的电阻率随环境温度的升高而增大。半导体材料与金属不同，它的电阻率随环境温度的升高而减小。

3. 电阻器

电阻器是利用物体的电阻性质制造的一种电子元件。或者说电阻器是具有一定电阻值、一定外形结构、一定技术性能，在电路中专起电阻作用的电子元件。

电阻器大多数都是由电阻体、基体（或骨架）、引出线及保护层等部分所构成。它的主要作用是限制和调节电路中的电流和电压。组成分流器和分压器，调节时间常数以及作为电路中的匹配元件或消耗电能的负载元件。

4. 电阻器的命名方法

为了生产和使用的方便，世界各国都对本国生产的电阻器规定出统一的名称与标志。电阻器的制造部门根据这种规定在电阻器上印刷一定的标志。使用单位凭借这种标志便能区分出它们的类型和基本性能。

我国电阻器命名方法规定电阻器上印刷的标志由四部分组成。它们是(从左到右)：

第一部分为元件的主称，用英文字母 *R* 表示。

第二部分是电阻体使用的材料，用汉语拼音字母表示，就是：

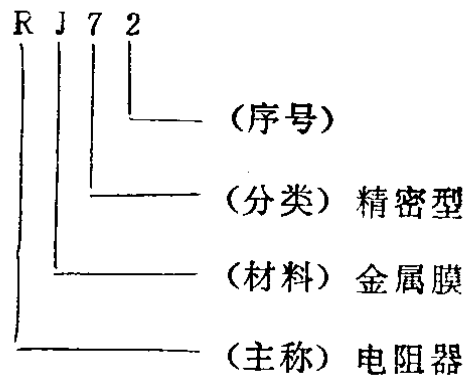
字 母	电阻体材料	字 母	电阻体材料
T	碳膜	S	有机实芯
J	金属膜	N	无机实芯
Y	氧化膜	X	线绕型
H	合成膜	M	敏感型
C	沉积膜		
I	玻璃釉膜		

第三部分表示电阻器的基本性能，一般使用阿拉伯数字，个别的使用汉语拼音字母表示，它们是：

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

第四部分是每一种类电阻器中的序号，全部用阿拉伯数字表示。

例如：精密金属膜电阻器 RJ7 的意义是



第二节 电阻器的基本性能

在选用电阻器时，常常要查阅电阻器产品手册或电阻器生产厂编印的产品目录。这些手册或产品目录中列有许多技术性能。只有了解这些技术性能的物理意义才能做到正确地选用电阻器。在本节中，我们将简要地介绍电阻器基本性能

§ 2-1 电阻器的标称阻值与精度

电阻器的标称阻值是指在电阻器上标志的名义阻值，它是电阻器的设计阻值。在规定条件下测量电阻器时测得的阻值叫做实际阻值。测量得到的实际阻值与标称阻值之间可以允许有偏差。实际阻值与标称阻值之间所允许的最大偏差范

围叫做阻值允许偏差,通常都用标称阻值的百分之几来表示。所谓阻值精度是指阻值允许偏差的等级。通用电阻器的阻值精度分为三级。其中Ⅰ级精度的阻值允许误差是 $\pm 5\%$,Ⅱ级是 $\pm 10\%$,Ⅲ级是 $\pm 20\%$ 。

为了生产和使用的方便,通用电阻器的标称阻值,根据精度的不同又分成三个阻值系列(见表1-2)。电阻器表面上印刷的标称阻值都是使用表 1-2 规定的系列值再乘以 1、10、100 等倍数和单位〔如欧 (Ω)、千欧 ($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)等〕所

表1-2 通用电阻器的阻值系列

Ⅰ级精度 ($\pm 5\%$) 的 阻值系列: E_{24} 系列	Ⅱ级精度 ($\pm 10\%$) 的 阻值系列: E_{12} 系列	Ⅲ级精度 ($\pm 20\%$) 的 阻值系列: E_8 系列
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
2.4		
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
5.1		
5.6	5.6	
6.2		
6.8	6.8	6.8
7.5		
8.2	8.2	
9.1		

构成的。Ⅰ级精度的系列值共有24个，Ⅱ级精度有 12 个，Ⅲ级精度有 6 个，它们分别叫做 E_{24} 系列、 E_{12} 系列和 E_6 系列。

这样，在Ⅰ级精度的电阻器中，其标称阻值可以有5.1Ω、51Ω、510kΩ 等等。

如果在设计电路时计算的电阻值是 330Ω，允许误差规定为±5%，通过计算可知，阻值的上限是336Ω，阻值下限是314Ω。从表 1-2 中看到，若选Ⅰ级精度阻值系列，其系列值为 3.3。电阻器标称阻值应为 330Ω。通过计算可知，它的阻值上限是 $R_1=330+330\times 5\%=346.5\Omega$ ，阻值下限是 $R_2=330-330\times 5\%=313.5\Omega$ 。

通过比较可清楚地看到，选择Ⅰ级精度、标称阻值为 330Ω 的电阻器便可满足电路的设计要求。

除了通用电阻器之外，还有精密电阻器。它们的阻值精度分为 11 个等级，就是：±2%，±1%，±0.5%，±0.2%，±0.1%，±0.05%，±0.02%，±0.01%，±0.005%，±0.002%，±0.001%。表 1-3 给出了精密电阻器的标称阻值系列。

表1-3 精密电阻器的阻值系列

E_{192} 系列	E_{96} 系列	E_{48} 系列
100	100	100
101		
102	102	
104		
105	105	105
106		
107	107	
109		
110	110	110
111		

(续)

<i>E</i> ₁₉₂ 系列	<i>E</i> ₉₀ 系列	<i>E</i> ₄₈ 系列
113	113	
114		
115	115	115
117		
118	118	
120		
121	121	121
123		
124	124	
126		
127	127	127
129		
130	130	
132		
133	133	133
135		
137	137	
138		
140	140	140
142		
143	143	
145		
147	147	147
149		
150	150	
152		
154	154	154
156		
158	158	
160		
162	162	162
164		
165	165	
167		
169	169	169
172		
174	174	
176		
178	178	178
180		