

GONGKONG SHOUC

工控手册

龚顺镓 主 编

冯 薇 冯遵安 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

GONGKONG SHOUC

工控手册

龚顺镒 主 编

冯 薇 冯遵安 副主编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书采用了最新的国家标准和法定计量单位,数据准确可靠。内容简明实用,尽量做到图表化、数据化,便于查阅。

本书共六章,主要内容包括常用电子元器件及其应用、传感器及其应用、可编程控制器及其应用、触摸屏的原理及应用、变频技术及其应用、现场总线技术及应用等。

本书适用于工矿企业、科研设计单位、高新技术企业从事电气自动化工程技术人员以及相关专业师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

工控手册/龚顺镒主编. —北京:中国电力出版社,2012.3

ISBN 978-7-5123-2803-7

I. ①工… II. ①龚… III. ①工业控制系统-手册 IV. ①TB4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 040096 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 26.625 印张 711 千字

印数 0001—3000 册 定价 58.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

目前在国民经济各部门及生活领域里,工业控制技术的应用已普及、深入,成为实现现代先进科学技术的极其重要的一个组成部分。为了适应新的职场工作需要,我们编写了本书,供广大电气自动化专业的技术人员学习参考。

本书的内容包括电子技术常用元器件的原理、型号、用途及工业控制方面的传感器、变频技术、触摸屏的原理及应用,可编程控制器及现场总线技术及其应用。可作为在工矿企业、科研设计单位、高新技术公司中从事电气自动化工程技术人员及相关专业人员的必备工具书。

本书的特点:

(1) 内容简明、实用、新颖、通俗易懂,尽力做到图表化、数据化、条文化,以便查阅,并提供了直接运用的结论。

(2) 书中所用的技术标准采用了最新的国家标准、部颁标准和法定计量单位,内容比较全面,数据准确、可靠,有较强的直观性。

(3) 充分反映了电气自动化专业的新技术、新工

艺、新器件、新设备，扩大了知识面，使本书更具有实用性。

本书第一章由龚顺镒、冯薇、陈芳芳编写；第二章由郭燕编写；第三章由冯薇编写；第四、五章由冯遵安编写；第六章由江光灵编写。全书由龚顺镒统稿，江光灵主审。同时本书在编写过程中，严金云、栗云江、吴晓燕等同志参加了大量的整理工作，在此表示诚挚的谢意。

本书涉及内容较多，而新技术在不断发展，新器件层出不穷，应用不断推陈出新，限于编者的水平、实践经验有限，难免有不妥和疏漏之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2012 年 4 月

目 录

前言

第一章 常用电子元器件及其应用	1
第一节 电路元件的种类、特性及应用	1
第二节 常用半导体器件的特性与应用	47
第三节 集成电路的结构与应用	122
第四节 模拟集成电路器件	126
第五节 数字集成电路器件	164
第六节 电力电子器件	191
第二章 传感器及其应用	248
第一节 传感器概述	248
第二节 传感器的转换原理	252
第三节 传感器的选择与标定	254
第四节 常用传感器	259
第五节 常用传感器的应用	347
第三章 可编程控制器及其应用	362
第一节 可编程控制器 (PLC) 特点与类型	362
第二节 PLC 的结构及工作原理	367
第三节 常用 PLC 产品性能介绍	375
第四节 PLC 的编程语言与编程方法	397
第五节 PLC 的系统设计调试、安装与维护	430
第六节 PLC 的应用举例	448
第七节 自带编程器的小型可编程序控制器 LOGO!	456

第四章 触摸屏的原理及应用	466
第一节 概述	466
第二节 触摸屏的工作原理及种类	467
第三节 三菱触摸屏与 PLC 控制电动机正反转	476
第五章 变频技术及其应用	492
第一节 变频(器)的基本构成	492
第二节 变频器的分类及特点	493
第三节 通用变频器基础	502
第四节 高性能通用变频器和高压变频器	521
第五节 部分变频器的技术指标	541
第六节 通用变频器的应用	558
第六章 现场总线技术及应用	606
第一节 计算机网络基础	606
第二节 开放系统互联参考模型	653
第三节 基金会现场总线	665
第四节 控制器局域网总线——CAN	691
第五节 HART 通信协议	715
第六节 LonWorks 技术和 LON 总线	759
第七节 PROFIBUS	784
第八节 现场总线典型应用	808
附录 A FX 系列 PLC 功能指令	817
附录 B S7-200 的 SIMATIC 指令表	822
附录 C S7-200 PLC 的特殊存储器(SM)标志位	827
附录 D S7-200 PLC 错误代码	839
参考文献	843

常用电子元器件及其应用

第一节 电路元件的种类、特性及应用

一、电路理想元件的特性

纯电阻元件、纯电感元件及纯电容元件 (R 、 L 、 C) 是电路中最基本的理想元件, 其电路特性如表 1-1 所示。

表 1-1 电路理想元件的电路特性

电路理想元件	元件的伏安特性		元件吸收的电能	说 明
	交流	直流		
纯电阻元件 R	$i = \frac{u_R}{R}$ 或 $u_R = iR$	$I = \frac{U_R}{R}$ 或 $U_R = IR$	$W = \int_0^t u i dt = UIt$ 式中: ① t 为电流通过电阻的时间, 单位为 s 。 ② 电能的单位为 J (焦耳) $1J = 1W \cdot s$	这里所说的 R 是线性电阻, 流过 R 的电流与 R 两端的电压成正比, 电流通过 R 时会消耗能量
纯电感元件 L	$u_L = L \frac{di}{dt}$ 有效值 $U_L = IX_L$	$U_L = 0$ (短路) 表明 L 具有动态的特性, 有阻止交流电流通过的能力	$W_L = \int_0^I L i di = \frac{1}{2} L I^2$ 即电流 i 由零加到 I , 电感元件吸收的电能, 是储存在 L 中的能量, 所以 L 是储能元件, 具有记忆的功能	电流通过纯电感元件时不消耗能量, 只是储存能量 (磁场能量)
纯电容元件 C	$i = C \frac{du}{dt}$ 有效值 $U_C = IX_C$	$I_C = 0$ (开路) 表明 C 也有动态的特性, 有阻止直流电流通过 (隔直) 的特性	$W_C = \int_0^U C_u du = \frac{1}{2} C U^2$ 即电容电压由零升到 U 时电容吸收的电能, 是储存在 C 中的能量, 所以 C 是储能元件, 具有记忆的功能	电流通过 C 时不消耗能量, 只是储存能量 (电场能量)

二、电阻器的种类、识别与选用

电阻器是电路中广泛应用的基本元件，主要用途是稳定和调节电路中的电压或电流，组成分压器或分流器，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等，其分类、型号及主要参数如下。

(一) 常用电阻器的分类和命名方法

1. 电阻器的分类

电阻器的种类繁多，形式各异，功用不同，功率也有大小之分。电子设备中常见电阻器的分类如表 1-2 所示。

表 1-2 常见电阻器的分类

分类方法	名 称
构成电阻的材料	碳质电阻器、碳膜电阻器，金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、线绕电阻器等
物理性能	热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻等
用途	精密电阻器、高频电阻器、高压电阻器、大功率电阻器、熔断电阻器
结构形式	固定电阻器，可调电阻器、电位器
电位器阻值与转角关系	直线式 (X)、对数式 (D)、指数式 (Z)
电位器结构	单联、双联和多联式、带开关和不带开关，可变多圈和半可变式 (或微调)、旋转式和推拉式

常用电阻器的图形符号及名称如表 1-3 所示。

表 1-3 电阻器的图形符号及名称

图形符号	名 称	图形符号	名 称
	固定电阻		压敏电阻
	有抽头的固定电阻		直热式热敏电阻
	可调电阻器		旁热式热敏电阻
	微调电阻器		光敏电阻
	微调电位器		电位器

2. 电阻器型号的命名方法和名称

(1) 电阻器产品的型号由四部分组成。

第一部分：主称（字母 R——电阻器，RP——电位器）。

第二部分：材料（用字母表示）。

第三部分：分类（一般用数字表示，个别类型用字母表示）。

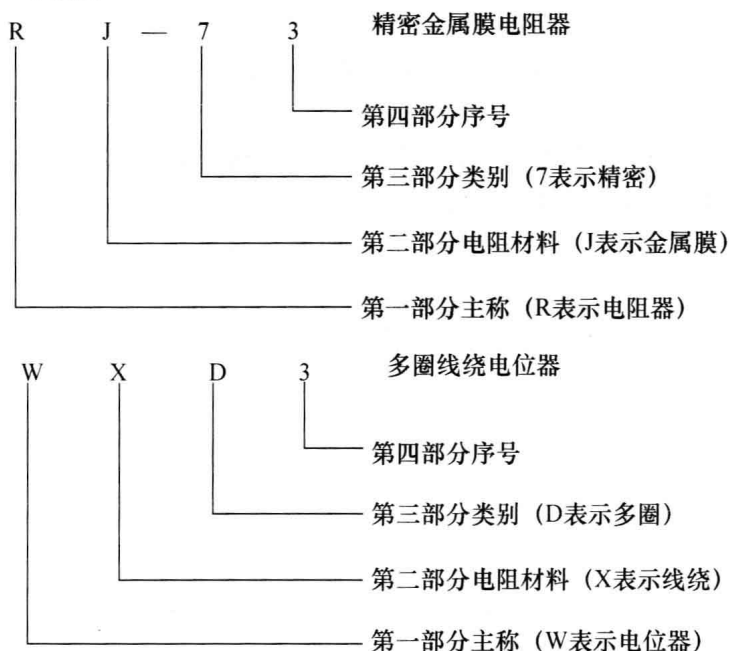
第四部分：序号（用数字表示）。

电阻器的型号命名方法及含义如表 1-4 所示。

表 1-4 电阻器和电位器的型号命名方法及含义

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		
					电阻器	电位器	
R	电阻器 电位器	T	碳膜	1	普通	普通	对主称、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时，则要标出不同序号或在序号后面用大写字母作为区别代号予以区别
		H	合成膜	2	普通	普通	
		S	有机实心	3	超高频	—	
		N	无机实心	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	特种函数	
		P	硼碳膜	9	特殊	特殊	
		U	硅碳膜	G	高功率	—	
		X	线绕	T	可调	—	
		M	压敏	W	—	预调	
		G	光敏	D	—	多圈	
	R	热敏	B	温度补偿用	—		
			C	温度测量用	—		
			P	旁热式	—		
			W	稳压式	—		
			Z	正温度系数	—		

例如：



(2) 型号和名称。型号和名称如表 1-5 和表 1-6 所示。

表 1-5 非线性绕电阻器型号与名称

型号	RS	RT	RTX	RJ	RJX	RY	RTL	RTL-X	MG
名称	实心碳质电阻	碳膜电阻	小型碳膜电阻	金属膜电阻	小型金属膜电阻	氧化膜电阻	测量用碳膜电阻	小型测量用碳膜电阻	光敏电阻

表 1-6 电位器型号及名称

型号	WT	WH	WS	WIW	WH173	WXD
名称	碳膜电位器	合成膜电位器	有机实心电位器	微调玻璃釉电位器	直滑碳膜电位器	多圈线绕电位器

(二) 电阻器的识别和选用

电阻器的规格参数主要有：标称电阻值和允许偏差、标称额定功率和极限工作电压。质量参数主要有温度系数、稳定性、噪声电动势、高频特性和机械特性等。正确地选用电阻器必须

了解电阻器的这些参数，一般主要考虑标称电阻、允许误差和额定功率三个参数。下面分别予以介绍。

(1) 电阻器的标称阻值及其允许偏差。标示在电阻器上的电阻值称为电阻器的标称阻值。常用电阻器的标称阻值是按标准化系列进行生产的，表 1-7 中列出了各种偏差下的标准化系列产品的标称阻值系列值。

表 1-7 电阻器的标称阻值系列（普通型）和允许偏差

阻值系列	精度等级	允许偏差(%)	标称阻值系列值
E24	I	± 5	1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2
			2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1
			5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
E12	II	± 10	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7
			5.6 6.8 8.2
E6	III	± 20	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

注 表中所列标称阻值乘以 10^n (n 为正或负整数) 即为电阻的阻值。

高精度型阻值的允许偏差为 $\pm 1\%$ (01 级) 和 $\pm 0.5\%$ (005 级)。

(2) 阻值的标注。电阻器的标称阻值和允许偏差一般都标注在电阻上，其标准的方法常用直标法和色标法两种。

1) 直标法。将电阻的标称值和偏差等级直接用数字印在电阻上。例如 $5.1\text{k}\Omega \pm 10\%$ 。就是 5100Ω 偏差为 $\pm 10\%$ ； $100\Omega \pm 5\%$ 就是 100Ω 偏差为 $\pm 5\%$ 。有的没有标注偏差等级的，则一律表示偏差为 $\pm 20\%$ ，如图 1-1 所示。

2) 色码表示法。体积很小的和一些实心碳质

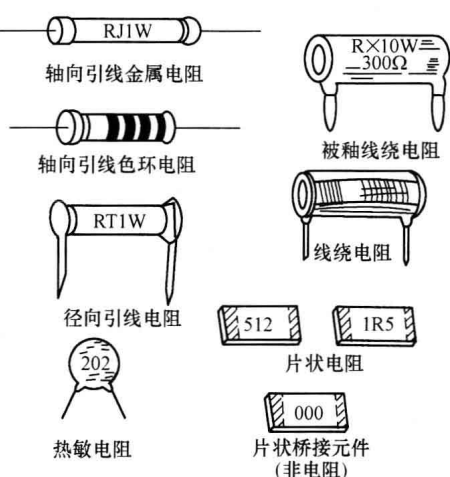


图 1-1 电阻器的直标法

电阻器，其标称值和偏差常以色标法表示，标称电阻值的单位为 Ω 。色标法有两种形式：一种是四道色环或色点表示法，另一种是对精密电阻采用五道色环或色点标注。表 1-8 列出了各种色环（或色点）所表示的数字和允许偏差的等级。

表 1-8 不同色环表示阻值和允许偏差

颜色	第一位数	第二位数	倍乘数	允许偏差 (%)
黑	—	0	$\times 10^0 = 1$	—
棕	1	1	$\times 10^1 = 10$	± 1
红	2	2	$\times 10^2 = 100$	± 2
橙	3	3	$\times 10^3 = 1000$	—
黄	4	4	$\times 10^4 = 10000$	—
绿	5	5	$\times 10^5 = 100000$	± 0.5
蓝	6	6	$\times 10^6 = 1000000$	± 0.2
紫	7	7	$\times 10^7 = 10000000$	± 0.1
灰	8	8	$\times 10^8 = 100000000$	—
白	9	9	$\times 10^9 = 1000000000$	—
金	—	—	$\times 10^{-1} = 0.1$	± 5
银	—	—	$\times 10^{-2} = 0.01$	± 10
无色	—	—	—	± 20
外形				

第一和第二（五色环第三）个色环分别表示电阻值的第一和第二两位数字，第三个色环表示再乘以 10 的 n 次方数，第四个色环表示允许偏差的等级。没有印上第四个色环，则表示其允许偏差为 $\pm 20\%$ 。

例如：

黄	紫	棕	金色	
↓	↓	↓	↓	
4	7	10^1	$\pm 5\%$	—— $470\Omega \pm 5\%$
橙	橙	红	银色	
↓	↓	↓	↓	
3	3	10^2	$\pm 10\%$	—— $3.3k\Omega \pm 10\%$
红	红	绿	无色	
↓	↓	↓	↓	
2	2	10^5	$\pm 20\%$	—— $2.2M\Omega \pm 20\%$

(3) 电阻的额定功率。在一定的环境温度下, 电流通过电阻时, 电阻器长期连续负荷而不改变其性能的允许功率(耗散功率), 称为额定功率。常用电阻器的额定功率如表 1-9 所示。

表 1-9 电阻器的额定功率系列

电阻器类别	额定功率系列/W
线绕电阻	0.05 0.125 0.25 0.5 1 2 4 5 10 16 25 40 50 75 100 150 250 500
非线性绕电阻	0.05 0.125 0.25 0.5 1 2 5 10 16 25 50 100
片状电阻	0.05 0.1 0.125 0.25 0.5 1 2
线绕电位器	0.25 0.5 1 1.6 2 3 5 10 16 25 40 63 100
非线性绕电位器	0.25 0.05 0.1 0.25 0.5 1 2 3

在电路中, 常用如图 1-2 所示的符号表示不同的电阻器额定功率。

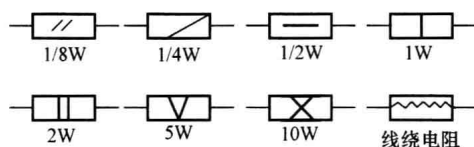


图 1-2 电阻器和电位器功率的通用符号

(4) 最大工作电压。电阻器在正常工作条件下, 两端所能

承受的最大电压值称为最大工作电压。阻值较大的电阻器，当电压过高时、虽然损耗功率未超过规定值，但电阻器的内部还可能发生电火花放电，而使电阻器损坏变质。

(三) 常用电阻器的性能指标

1. 常用电阻器的性能指标

常用电阻器的性能指标如表 1-10 所示。

表 1-10 常用电阻器性能指标

名称和型号	额定功率/W	标称电阻值范围/ Ω	允许偏差(%)	最大工作电压/V	应用(频率)
RJ 型金属膜电阻	0.125 ~ 10	30 ~ 10 $\times 10^6$	± 5 ± 10	150 ~ 2000	精密电子设备，外表常涂覆红漆(10MHz 以下)
RT 型碳膜电阻	0.05 0.125 ~ 10	10 ~ 100 $\times 10^3$ 5.1 ~ 10 $\times 10^6$	± 5 ± 10	150 ~ 2000	价格较 RJ 型低(10MHz 以下)，外表常涂覆绿漆
RT7 型碳膜精密电阻	0.125 ~ 1	10 ~ 10 $\times 10^6$	± 0.2 $\pm 0.5, \pm 1$	—	测量仪表用(10MHz 以下)
RY 型金属氧化膜电阻	0.125 ~ 10	1 ~ 200 $\times 10^3$	± 5 ± 10	180 ~ 2000	电子设备(10MHz 以下)
RJ7 型金属膜精密电阻	0.125 ~ 2	100 ~ 5.1 $\times 10^6$	± 0.2 ± 0.5 ± 1	—	精密电子设备(10MHz 以下)
RU 型硅碳膜电阻	0.125 ~ 2	5.1 ~ 10 $\times 10^6$	± 5 ± 10	—	电子设备(10MHz 以下)
RX 型线绕电阻	0.25 ~ 100	5.1 ~ 56 $\times 10^5$	± 5 ± 10	—	功率较大，精度较高的低频电路中，外表多为黑色
RS 型有机实心电阻器	0.25 ~ 0.5 1 ~ 2	10 ~ 22 $\times 10^6$ 47 ~ 22 $\times 10^6$	± 10 , ± 20 , I, II, III	300 ~ 600	—

2. 部分金属膜电阻器的主要性能指标

部分金属膜电阻器的主要性能指标，如表 1-11 所示。

表 1-11

金属膜电阻器主要性能指标

1. RJ 型电阻器的性能指标					
型号	额定功率 /W	标称阻值 范围/ Ω	最高工作 电压/V	允许偏差 (%)	引线直径 /mm
RJ—0.125	0.125	$30 \sim 510 \times 10^3$	200	± 5 ± 10	0.65
RJ—0.25	0.25	$30 \sim 1.0 \times 10^6$	250		0.65
RJ—0.5	0.5	$30 \sim 5.1 \times 10^6$	350		0.85
RJ—1	1	$30 \sim 10 \times 10^6$	500		0.85
RJ—2	2	$30 \sim 10 \times 10^6$	750		1.10
2. RJJ 型电阻器的性能指标					
型号	标称阻值范围/ Ω			引线直径/mm	
	$\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.2\%$		$\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$		
RJJ—0.125	$1 \sim 510 \times 10^3$		$100\Omega \sim 510k\Omega$	0.85	
RJJ—0.25	$1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^6$		$100\Omega \sim 1M\Omega$	0.85	
RJJ—0.5	$1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^6$		$100\Omega \sim 5.1M\Omega$	1.10	
3. 部分精密电阻器的主要性能指标					
种类	型号	精度 (%)	温度系数 ($0.0001\%/^{\circ}\text{C}$)	阻值范 围/ Ω	主 要 特 点
金属膜 电阻器	RJ—74	± 0.5 , ± 0.2 ± 0.1	正温: ± 25 负温: ± 80	$50 \sim 1$ $\times 10^6$	优点: (1) 电感和电容效应小, 工作频率范围大。 缺点: 体积较小, 价格较低。 精度不太高, 温度系数较大
	RJ—76	± 0.1 ± 0.05	正温: ± 15 负温: ± 80	$1 \times 10^3 \sim$ 1×10^6	
线绕 电阻器	RX70	± 0.1	± 20	$100 \sim$ 10×10^6	优点: 精度高, 温度系数小、噪 声小。 缺点: (1) 电感和电容效应较大, 工作频率一般不宜超 过 20kHz。 (2) 价格较贵, 体积较大
		± 0.05	± 10		
		± 0.02			
		± 0.01			
	RX73	± 0.005	± 0.5	$100 \sim 1 \times 10^6$	

续表

种类	型号	精度 (%)	温度系数 (0.0001%/℃)	阻值范围/Ω	主要特点
合金箔电阻器	RJ—711	±0.1 ±0.05 ±0.02 ±0.01	±20, ±15, ±10, ±5	5 ~ 20 × 10 ³	优点: (1) 精度高、温度系数较小。 (2) 电感和电容效应小。 缺点: 电阻值低、价格较贵

金属膜电阻器的性能特点是：工作环境温度范围宽，体积小，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。

3. RT 型碳膜电阻器的性能指标

RT 型碳膜电阻器的性能指标如表 1-12 所示。

表 1-12 RT 型电阻器的性能指标

型号	额定功率/W	标称电阻范围/Ω	允许偏差	最大工作电压 DC 或 AC/V	额定温度 /℃
RT—13	0.125	1 ~ 1 × 10 ⁶	G、J、K	150	70
RTX	0.125	1 ~ 5.6 × 10 ⁶	G、J、K	100	40
RT—14	0.25	1 ~ 5.6 × 10 ⁶	G、J、K	250	70
RT—0.25	0.25	10 ~ 5.1 × 10 ⁶	J、K	350	40
RT—0.5	0.5	10 ~ 10 × 10 ⁶	J、K	500	40
RT—1	1	27 ~ 10 × 10 ⁶	J、K	700	40
RT—2	2	27 ~ 10 × 10 ⁶	J、K	1000	40
RT—5	5	47 ~ 10 × 10 ⁶	—	1500	40
RT—10	10	47 ~ 10 × 10 ⁶	—	2000	40

注 允许偏差：G (±2%)、J (±5%)、K (±10%)。

碳膜电阻器的性能特点是：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，在军用产品中