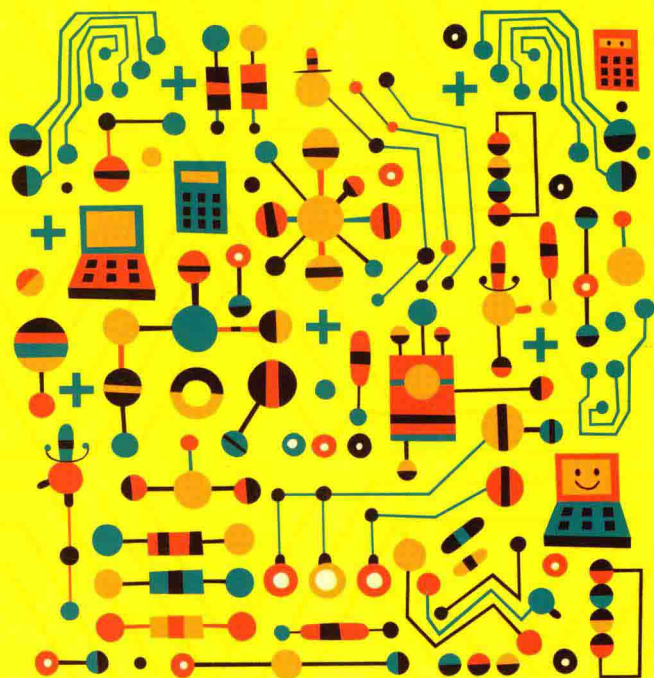


第 2 版



XU EXI DIANLUTU

学习电路图 的方法与技巧

DE FANGFA YU JIQIAO

王俊峰 王兰君◎等编著

- ▶▶ 实践论到认识论为你答疑解惑
- ▶▶ 方法与技巧为你破解两大难题



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

学习电路图的方法与技巧

第2版

王俊峰 王兰君 等编著

实践论到认识论为你答疑解惑
方法与技巧为你破解两大难题



机械工业出版社

全书共9章。内容包括：概述、元器件的结构原理与特性、电路图例、电路识图、典型电路原理分析、实用电路分析、元器件与部件的参数计算、电路参数计算的方法与技巧和实物图解电工实战应用电路。

本书理论与实践相结合，具有新颖性、可读性、实用性和可操作性。

本书可作为高等院校电类专业学生的学习用书，也可供生产、设计人员及广大电子爱好者学习使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

学习电路图的方法与技巧/王俊峰等编著. —2版.

—北京：机械工业出版社，2017.8

ISBN 978-7-111-57207-7

I. ①学… II. ①王… III. ①电路图 IV. ①TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 146517 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：吕 潇 责任编辑：吕 潇

责任校对：佟瑞鑫 王 延 封面设计：马精明

责任印制：李 昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2017年9月第2版第1次印刷

184mm × 260mm · 17.5 印张 · 457 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-57207-7

定价：49.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

前 言

自《学习电路图的方法与技巧》出版以来，深受广大电工人员和职业技术学院师生青睐，应广大从事电工专业和职业技术学院学生及读者人员的反映和要求，编者们对该书进行了修订，增加了实物图解电工实战应用电路一章，删除了附录，使第2版更加实用，贴近工作，贴近理论联系实际，让读者更加实惠地学到真本领。多年的工作实践经验告诉我们，在日常学习、电路原理分析、产品电路设计计算及各种理论考试和聘用单位实际操作考核中会遇到两大难题：其一，对复杂一点的实用电路看不懂，无法正确且完整地分析叙述其工作原理；其二，对电路的参数计算，表现出极大的困惑，束手无策。甚者说：“不会算，没法计算”。难道真的如此吗？

“师者，传道授业解惑也”。本书采用与众不同的选题思路，面对广大读者普遍存在的现实问题，经过大量的调查研究，总结分析问题存在的根源，从实践论到认识论，为指点迷津，破解“两大难题”编写此书。期望读者在理论学习的基础上，联系实际，强化实践环节，循序渐进，化难为易，不断提高电路原理分析和参数计算的能力。

全书共9章。内容包括：概述、元器件的结构原理与特性、电路图例、电路识图、典型电路原理分析、实用电路分析、元器件与部件的参数计算、电路参数计算的方法与技巧和实物图解电工实战应用电路。

本书以电路的基本概念为切入点，继而介绍元器件的结构原理与特性，展开各种应用图例，介绍典型电路和实用电路的原理分析方法、思路、特点和规律，详细叙述电路元器件及电路参数计算的方法与技巧。

本书可供广大电子产品开发、设计、生产人员和广大电子爱好者使用，也可作为大中专院校电子工程、电子技术、自动化、电力系统自动化、通信技术、机电一体化等专业师生教学参考用书。

参加本书编写的人员有王俊峰、王兰君、黄海平、黄鑫、李燕、凌万泉、王文婷、凌黎、李渝陵、张杨、邢军、朱雷雷、刘守真、凌玉泉、高惠瑾、李霞、凌珍泉、贾贵超、刘彦爱等。

本书的编写是编著者的一次尝试，问题和不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正，提出宝贵意见。

编著者

目 录

前言	
第一章 概述	1
第一节 电路图分析计算中的两大 难题	1
第二节 各章内容导读	2
第二章 元器件的结构原理与 特性	4
第一节 元器件的选用	4
第二节 电阻器	5
第三节 敏感电阻器	9
第四节 电容器	16
第五节 电感器	20
第六节 半导体器件	22
第七节 集成电路	27
第八节 电磁与电声器件	31
第九节 电子显示器件	38
第十节 开关与插接件	40
第三章 电路图例	42
框图	42
电路原理图	43
接线图	44
逻辑电路图	48
实物布局图	49
印制板图	49
电子元器件布局图	51
产品机械加工图	52
面板图	52
单线图	53
简化图	54
照明平面图	54
动力用电平面图	56
有线电视系统图	57
计算机网络图	57
第四章 电路识图	61
第一节 文字符号与图形符号	61
第二节 识图的方法与技巧	66
第三节 电气控制电路识图	70
第四节 电子电路识图	71
第五章 典型电路原理分析	74
第一节 电路原理分析基础	74
第二节 电路分析的方法与技巧	76
第三节 直流电路原理分析	78
第四节 正弦交流电路原理分析	83
第五节 放大电路原理分析	88
第六节 反馈放大电路原理分析	93
第七节 正弦振荡电路原理分析	97
第八节 场效应晶体管放大电路 原理分析	100
第九节 集成运算放大电路原理 分析	100
第十节 功率放大电路原理分析	102
第十一节 整流滤波电路原理分析	103
第十二节 数字逻辑电路原理分析	107
第十三节 接口电路原理分析	113
第十四节 信号发生器电路原理分析	116



第十五节 特殊电路原理分析	119	第八节 功率放大电路的参数计算	219
第十六节 保护电路原理分析	122	第九节 电气控制电路的参数计算	220
第六章 实用电路分析	126	第十节 现代照明的参数计算	223
第一节 电气控制电路分析	126	第十一节 动力用电负荷的参数计算	227
第二节 直流稳压电源电路分析	131	第十二节 信号源的参数计算	230
第三节 仪表测量电路分析	136	第十三节 机床电路的参数计算	233
第四节 实用信号源电路分析	140	第十四节 家用电器的参数计算	235
第五节 机床控制电路分析	141	第十五节 电力供电电路的参数计算	238
第六节 家庭照明动力电路分析	145	第九章 实物图解电工实战应	
第七节 电力系统电路分析	147	用电路	242
第八节 调速控制电路分析	150	带指示灯的电动机起动停止线路	242
第九节 定时电路分析	153	单向控制电动机磁力起动线路	243
第十节 可编程电路分析	154	接触器联锁的正反转控制线路	243
第十一节 遥控电路分析	157	电动机多点控制线路	244
第十二节 检测电路分析	161	单线远程正反转控制线路	244
第十三节 无线电收音机电路分析	163	单线远程起停控制线路	247
第十四节 节电电路分析	169	XJ01 型自动自耦减压起动柜线路	247
第十五节 报警电路分析	172	异步电动机反接制动线路	250
第十六节 机器人控制电路分析	174	直流能耗制动线路	250
第十七节 生产线监视电路分析	177	电动机转动方向的改变	250
第十八节 故障电路分析	179	三端固定稳压微型直流电动机电源	
第七章 元器件与部件的参数		电路	250
计算	183	三相异步电动机改为单相运行	253
第一节 电阻、电容、电感的参数		单相电容电动机的接线	254
计算	183	一种三相异步电动机低速运行方法	254
第二节 变压器的参数计算	185	他励直流电动机失磁保护	256
第三节 电动机的参数计算	187	防止制动电磁铁延时释放	259
第四节 水泵的参数计算	194	断电限位器线路	259
第五节 电磁铁的参数计算	195	双回路单相电源自投控制电动机线路	261
第六节 电梯的参数计算	197	双回路三相电源自投控制电动机线路	261
第八章 电路参数计算的方法与		供水、排水应用线路之一 (JYB714 型	
技巧	198	电子式液位继电器供水方式 220V	
第一节 电路参数的计算方法	198	单相电动机自动控制线路)	263
第二节 直流电路的参数计算	200	供水、排水应用线路之二 (JYB714 型	
第三节 交流电路的参数计算	202	电子式液位继电器供水方式 380V 三相	
第四节 放大电路的参数计算	204	电动机自动控制线路)	264
第五节 多级放大电路的参数计算	207	供水、排水应用线路之三 (JYB714 型	
第六节 直流稳压电源的参数计算	210	电子式液位继电器排水方式 220V 单相	
第七节 反馈放大电路的参数计算	217	电动机自动控制线路)	265
		供水、排水应用线路之四 (JYB714 型	



电子式液位继电器排水方式 380V 三相 电动机自动控制线路)	265	能发出开车信号的起停控制线路	267
变频调速电动机正转控制线路	267		
主线路用转换开关预选正反转 起停线路	266	参考文献	271
加密的电动机控制线路	266		

第一章 概述

摘要

本章详尽叙述电路图原理分析和参数计算中遇到的两大难题、难题产生的原因及破解方法。为了让读者先睹为快，本章第二节介绍了各章内容导读。

第一节 电路图分析计算中的两大难题

一、两大难题是什么？

不少读者反映，在电路原理分析、参数计算中遇到两大难题：

第一，对复杂一点的实用电路、综合性电路看不懂，无法正确且完整地分析其工作原理。

第二，对电路的参数不会计算，甚至感到束手无策。

二、难题产生原因

1. 学与用脱节，理论与实践脱节

电工电子技术具有理论性和实践性非常强的特点，仅靠看书是远远不够的。理论教材上的电路大多都是由元器件符号组成，这些元器件无参数、无型号、无实际的负载，与实际应用脱节，而且电路简单，导致读者见到实际应用电路，不会分析是在预料之中的。

2. 缺乏实践环节

常言说得好“百闻不如一见，多见不如去干”。在理论指导下实践，实践又反过来检验理论，促进理论的发展，实践才能出真知。

实践环节少，是造成难题的主要原因。笔者认为，学好一门专业技术需要五大环节：理论学习环节、实验环节、实习环节、设计环节及产品制作环节。理论与实践相结合，学得会、学得活，记得牢、用得上，才能培养读者的创新意识。以日本某高校汽车专业为例，理论课学时很少，主要放在实践教学上，要求学生自己从设计计算、绘制图纸、加工零部件、组装成品汽车开出去，才算合格。这是值得我们深思的。

3. 缺乏实验条件

对于一些自学爱好者来说，他们缺乏元器件和实验仪器，无法测量元器件参数和调试电路，影响了实验环节的学习；对于在校学生来说，据问卷调查所知，有的学校没有实验设备，不做实验，有的实验很少。这样致使有的学生不认识元器件，不会使用仪器仪表，个别学生到毕业设计时，连万用表都不会用，甚至分不清晶体管的 e、b、c 三个电极，分不清普通电容和电解电容的



区别等等。

4. 缺乏综合应用知识的能力

过分强调专业的单一性,致使知识面狭窄,有的人只知其一,不知其二。甚者,搞电子技术的人不认识熔断器的符号,不知道电动机还有交流电动机和直流电动机之分,缺乏利用知识综合解决问题和分析问题的能力,不能适应当前科学技术发展新形势的需要。

三、破解难题有方

本书以电路图原理分析和参数计算为中心,以方法与技巧为手段,以实践论到认识论为思路,突出重点,分析要点,找出特点,解析难点,达到破解两大难题之目的。

1. 学与用结合是一种行之有效的方法

学习的目的在于应用,学而用则进,学而不用则废。学用结合,可做到有的放矢,有兴趣、有压力、有目标,只有这样,才能学得会、学得快、记得牢。

2. 实践是提高电路分析计算能力的关键

不论是任何科学领域,实践都是检验真理的唯一标准。在理论指导下去实践,在实践中反过来验证理论,从中发现新问题,又促进理论的发展。

3. 拓宽知识面是提高分析计算能力的基础

读万卷书,行万里路。本书从电路的基本概念入手,以电路中的元器件的结构、原理、特性及选用方法为切入点,介绍了20多种不同的工程技术应用图例,大多数都是在课堂上未见过的,让读者大开眼界。

4. 综合应用是破解两大难题的金钥匙

综合应用各学科知识是非常重要的,因为用于生产实践中的电路是复杂的,不是哪一门课所能解决的,往往需要综合电路、电子技术、电动机、传感器、测量显示、计算机技术、机电一体化技术等多门知识进行有机的组合,用新的构思方法,设计出满足要求的电路或产品。

本书通过20多个典型电路和60多个实用电路的原理分析,打破专业过细划分,突出新颖性、实用性,综合性;而且贴近生活、贴近生产、贴近实际。让读者掌握电路图的分析方法、技巧和规律,为读者提供电路定性分析的基础,为读者破解第一大难题。

在原理分析的基础上,列举了10多种元器件的参数计算,然后介绍几十种不同电路的参数计算方法与技巧,为读者设计电路、技术改进、电子制作等提供量化计算的基础,为读者破解第二大难题。

第二节 各章内容导读

全书共九章,各章主要内容如下:

第一章是概述,主要介绍两大难题和各章内容导读。

第二章是元器件的结构原理与特性。元器件是构成电路的基本元素,又是电路原理分析的最终结果。本章介绍几十种元器件的结构、特性、参数、选用和代用方法以及元器件在电路中所起的作用,对整个电路产生的影响。并配有实物图,实现图物对照,增强读者对元器件的识别、选择和应用能力。

在电路参数计算中,每个元器件参数又是电路计算的最终结果,便于合理选择元器件的规格、型号。正确选择元器件是实现电路功能的关键,选择的方法与技巧是非常重要的。

第三章是电路图例。本章从专业需要、生产实际和科技人员必备的基本要求出发,列举了



20 多种不同形式的电路图例, 大多数都是课堂上没有见过的, 让你大开眼界。这些电路图取材于生产、科研、设计、应用部门, 科学、规范、实用, 是电路原理分析和参数计算的基础。

第四章是电路识图。电路图是电气技术工程中交流信息的载体, 也是设计与施工、用户之间进行沟通交流的共同语言。各种类型的电气图除了遵循电气图的一般规则外, 各有各的特点。

本章在电路图例的基础上, 首先介绍组成电路的文字符号和图形符号, 然后介绍电气控制电路、模拟电子电路、数字电子电路的识图方法、技巧, 掌握识图的规律, 为电路原理分析和参数计算奠定基础。

第五章是典型电路原理分析。电路的形式多种多样, 其分析方法也是多种多样的。在前几章的基础上, 本章除了介绍已为人知的电路分析方法外, 还介绍鲜为人知的分析方法与技巧。这些都是从长期实践中总结的宝贵经验。对典型电路, 从不同侧面, 从实践论到认识论, 考虑这些电路在实际应用中的影响因素和应用价值, 对电路的原理进行全面分析, 克服电路简单而无实用价值的弊端。

电路分析就是分析电路的工作原理、特性、功能和每个元器件在电路中的作用。由于理论课中电路举例是简单的, 仅是实用电路的雏形, 只有理论分析价值, 而无实际应用价值, 致使许多人面对复杂的实用电路, 手足无措, 成了不会分析电路的主要原因。

本章通过 20 多种典型电路分析, 建立分析思路、研究分析方法, 总结分析规律。

这些典型电路, 是构成生产实际中应用电路的基础模型, 本章从基本概念为切入点, 从应用角度出发, 对这些电路的概念、组成、原理进行分析。通过这些电路的分析, 加深理解, 温故而知新, 为下一章实用电路分析奠定基础。

第六章是实用电路分析。本章打破过细的专业划分, 列举实用电路 60 多个, 电路图 80 多个, 这些电路具有新颖性、实用性和可操作性。对拓宽知识结构, 提高综合能力, 适合当前就业多样化、多变化的要求, 具有一定的意义。在选材举例上, 从电力系统(强电)到无线电(弱电); 从照明用电到动力用电; 从电气控制技术、机床控制技术到遥控技术; 从仪表测量技术到检测技术; 从直流稳压电源、定时电路到调速电路; 从可编程电路到报警电路; 从计算机控制技术到机器人控制技术; 从节电电路分析到故障电路分析。通过各种各样的实用电路原理分析举例, 让读者了解这些电路的不同特点、结构和应用, 学会电路原理分析的方法与技巧。

通过本章和第五章的内容, 将为读者破解第一大难题。

第七章是元器件与部件的参数计算。由于篇幅的限制, 本节介绍了 10 多种生产实际中常用元器件的参数计算。元器件参数计算是电路参数计算的基础, 在电路设计中, 每个元器件的参数又是整个电路计算的最终结果, 往往根据元器件的参数选择元件的规格型号, 使电路设计更加合理。

第八章是电路参数计算的方法与技巧。本章介绍电路参数计算的方法与技巧, 通过 20 多种电路的参数计算举例, 为读者提供思路、方法与规律。其中包括电路参数计算的基本方法、直流电路的参数计算、交流电路的参数计算、放大电路的参数计算、多级放大电路的参数计算、直流稳压电源的参数计算、反馈放大电路的参数计算、功率放大电路的参数计算、电气控制电路的参数计算、现代照明的参数计算、动力用电负荷的参数计算、信号源电路的参数计算、机床电路的参数计算、家用电器的参数计算、电力供电电路的参数计算等。

本章电路贴近生活、贴近生产、贴近实际, 对于电路的设计和应用都有一定的参考价值。

第九章是实物图解电工实战应用电路。

通过这三章的内容, 将为读者破解第二大难题。

第二章 元器件的结构原理与特性

摘 要

元器件是构成电路的基本元素，又是电路原理分析计算的最终结果。在电路原理分析中，要知道每个元器件的结构、特性、参数及其在电路中所起的作用，对整个电路产生哪些影响；在电路参数计算中，每个元器件参数又是电路计算的最终结果，便于合理选择元器件的规格、型号。

正确选择元器件是实现电路功能的关键，选择方法与技巧是非常重要的。

第一节 元器件的选用

本节的主要问题是元器件的选择及使用。元器件选择的依据是标准化、通用化和国产化，选择符合电路参数需要的合格元器件；元器件使用则是以科学的方法把选择的元器件应用到电路中去，实现设计电路的各项技术指标。

一、元器件选用的重要性

电路图上标明的各元器件的规格、型号、参数，是元器件选用的依据。已经定型的产品，原理图上各元器件是经过设计、研制、试制后投入生产的，各项参数是根据“定性分析、定量估算、试验调整”的方法确定下来的。一般情况下，选用的元器件是不允许更换的。但对于电子产品的研制者、业余爱好者、维修人员来说，由于客观条件等诸多因素的影响，在符合技术要求规范的条件下，因为用量少，可机动灵活地选用元器件。在某些特定情况下，即使有了原理图，但由于有些元器件标注参数不全，如电解电容只标容量不标耐压，在电源电路中要重新考虑；产品使用现场条件与技术资料不符，可调整部分元器件以适应实际情况；个别元器件当地买不到，可选用符合要求的元器件代用；在维修过程中发现个别元器件有不尽合理之处，就需要换上合适的元器件。

电子元器件是执行预定功能而不可拆卸分解的电路基本单元。如电阻器、电容器、半导体分立元件、半导体集成电路、微波元器件、继电器、磁性元器件、开关、电连接器、滤波器、传感器、纤维光学器件等。实践证明，在电子设备中，由元器件选用不当引起的失效占失效总数的44%~67%，而元器件本身质量引起的失效只占33%~46%，见表2-1。因此元器件选用在电路设计中占有重要地位，设计人员必须高度重视，精心设计。

表 2-1 元器件失效原因统计

报告日期	选用不当引起失效所占的比例 (%)	器件本身质量引起失效所占的比例 (%)	资料来源
1982 年 7 月	66.6	33	某厂元器件总结报告
1989 年 11 月	54	46	信息产业部第五研究所
1990 年 1 月	64	33	航天部质量局
1998 年 6 月	44.4	—	航天质量局

二、元器件的选用原则

- 1) 选择经过实践证明质量稳定、可靠性高、有发展前途、有良好信誉的厂家生产的标准元器件，不能选用已被淘汰的及劣质的元器件。
- 2) 元器件的技术性能、质量等级、使用条件等应满足设计电路的要求。
- 3) 在满足性能参数的情况下，应选用低功耗、低热阻、低损耗、高功率增益、高效益的元器件。
- 4) 国产元器件的优选。首先选择经过认证鉴定的符合国标的元器件；经过使用考验、符合要求、能够稳定供货的元器件；有成功应用经验的符合要求的其他元器件。
- 5) 进口元器件的优选。选用国外权威机构的 PPL（优选清单）、QPL（质量鉴定合格的元器件清单）中的元器件；生产过程中经过严格筛选的高可靠性元器件；经过国内使用考核，符合要求的、高质量的元器件。
- 6) 选择应按照标准化、通用化的原则。

三、元器件的选用

元器件按符合型号的优选手册或国外权威机构公布的 PPL 进行优选。设计人员应制定准确明了的采购元器件的技术规范，为保证可靠性要求，规范应明确筛选（含二次筛选）和质量一致性检验的措施和方法。同时应按型号规范制定合格的元器件采购清单。对于影响元器件的可靠性和质量的因素必须在采购清单中明确，如质量等级、环境条件、失效率、技术标准、封装形式、特殊要求（抗静电特性、芯片保护工艺等）、生产厂家等。

采购规范应按规定经审批后方可实施。元器件在产品中的应用确定后，应预计其可靠性，并考虑是否满足电路对元器件可靠性的要求。

第二节 电 阻 器

一、电阻器的分类

电阻器的种类很多，常用的有固定电阻器、可调电阻器、熔断电阻器、电位器等 10 多种。本节只介绍常用的电阻器。

1. 碳膜电阻器

碳膜电阻器的外形如图 2-1a 所示。碳膜电阻器的阻值范围为 $0.75\Omega \sim 10M\Omega$ ，额定功率有 0.1W、0.125W、0.25W、1W、2W、5W、10W 等，还有少数的碳膜电阻器的功率为 25W、50W、100W。



碳膜电阻器的温度系数小、稳定性好、运用较多、价格便宜，广泛用于直流、交流和脉冲电路中。

2. 金属膜电阻器

金属膜电阻器的外形如图 2-1b 所示。金属膜电阻器耐热特性和稳定性较好，温度系数小，噪声小，体积小，可工作于 120℃ 的温度条件。阻值范围为 $1\Omega \sim 600M\Omega$ ，精度可达 0.5%，额定功率不超过 2W。

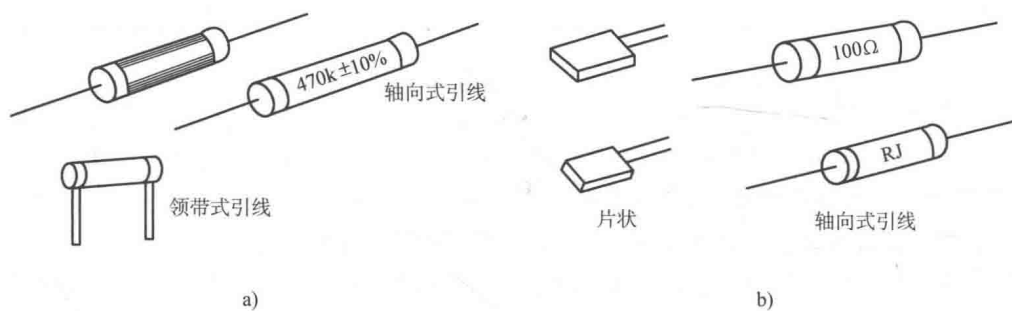


图 2-1 电阻器件
a) 碳膜电阻器 b) 金属膜电阻器

3. 电位器

电位器分为旋转式开关电位器、推拉式开关电位器等。可根据电路不同的技术要求及各种电位器的特点进行选择。电位器的实物外形和图形符号如图 2-2 所示。

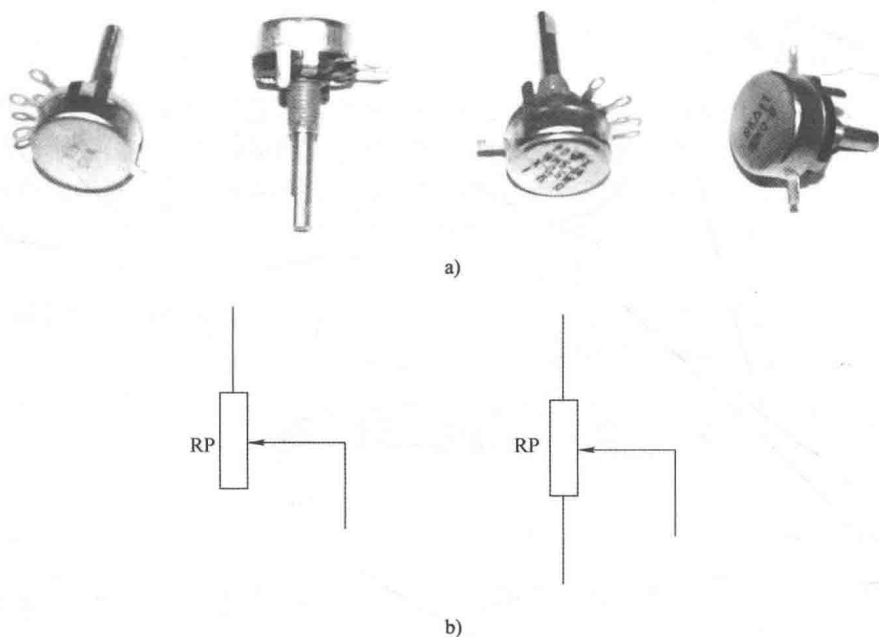


图 2-2 电位器
a) 电位器实物外形图 b) 图形符号

金属膜电位器耐温性能好、分辨力强，但阻值变化范围较窄。



实心电位器体积小、耐高温、分辨力强。

合成碳膜电位器分辨力强、阻值范围宽，但阻值的稳定性及耐高温耐湿性差。

金属玻璃釉电位器分辨力强、阻值范围宽、可靠性高、高频特性好，有耐高温耐湿耐磨通用型，精密型和微调型等。

线绕电位器接触电阻低、精度高、温度系数小，但是分辨力、可靠性差，不宜应用于高频电路。标称阻值一般不低于 100Ω ，既有小功率型也有大功率型。

4. 色环电阻器

在电阻器上一般涂有四个色环，偏向电阻器的一端。如果电阻器体积较小，色环均匀分布，则由误差色环来区分首尾。两位有效数字的色环如图 2-3a 所示，色环第一圈 *A* 表示电阻值的最高位数字，第二圈 *B* 表示电阻值的第二位数字，第三圈 *C* 表示再乘以 10^c ，第四圈 *D* 表示阻值的允许误差。

五位有效数字的色环如图 2-3b 所示，色环第一圈 *A* 表示电阻值的最高位数字，第二圈 *B* 表示电阻值的第二位有效数字，第三圈 *C* 表示电阻值的第三位有效数字，第四圈 *D* 表示再乘以 10^D ，第五圈 *E* 表示阻值的允许误差。电阻的单位为欧 (Ω)。



图 2-3 色环电阻器

a) 四色环电阻器 b) 五色环电阻器

电阻色环颜色表示值见表 2-2。

表 2-2 电阻色环颜色表示值

颜色	有效数字	乘数	允许误差 (%)	颜色	有效数字	乘数	允许误差 (%)
银色		10^{-2}	± 10	绿色	5	10^5	± 0.5
金色		10^{-1}	± 5	蓝色	6	10^6	± 0.25
黑色	0	10^0	—	紫色	7	10^7	± 0.1
棕色	1	10^1	± 1	灰色	8	10^8	—
红色	2	10^2	± 2	白色	9	10^9	± 50
橙色	3	10^3	—	无色	—	—	$\pm 20\%$
黄色	4	10^4	—				

例如，四个色环分别为：红（第一位数）、紫（第二位数）、橙（乘数）、金（允许误差）则电阻值为 $R = [(2 \times 10 + 7) \times 10^3 \times (1 \pm 5\%)] \Omega$ 。

若五个色环分别为：橙（第一位数）、橙（第二位数）、红（第三位数）、棕（乘数）、蓝（允许误差），则电阻值为 $R = [(3 \times 100 + 3 \times 10 + 2) \times 10^1 \times (1 \pm 0.25\%)] \Omega = 3320 \times (1 \pm 0.25\%) \Omega$ 。

二、一般电阻器的特性与选用

1. 符号与标称值

固定电阻器阻值的大小，不是按多个连续数值标定的，而是按一定规律制造的，产品出厂时给定的值，称为标称值，它标注在电阻器上面。



电阻器标称值的直接表示方法，即把此数值直接标出，见表 2-3。

表 2-3 电阻器的文字符号及其标称值

文字符号	电阻器标称值/ Ω	文字符号	电阻器标称值/ Ω
R10	0.1	10k	1×10^4
R232	0.232	33k2	3.32×10^4
1R0	1	1M0	1×10^6
3R32	3.32	33M2	3.32×10^7

2. 电阻器的特性

电阻器的额定功率，是指在长期连续负荷而不损坏或基本不改变性能的情况下，在电阻器上允许消耗的最大功率。当超过额定功率时，电阻器的阻值会发生改变，严重时还会烧坏。

普通电阻器的额定功率随电阻值的增大而增大。额定功率为 0.05 ~ 2W 的一般不标出，而大功率电阻器的额定功率往往直接标注在电阻器上面。

(1) 一般电阻器的特性

- 1) 它对电流存在阻碍作用。
- 2) 它是一个耗能元件，当电流流过它时，电阻器将电流转换成热能，所以对电能存在损耗作用。电路中电阻器通过消耗电能分配电流。
- 3) 它对直流电和交流电呈现相同的电阻。无论是交流电还是直流电，只要电压一定，流过电阻器的电流就只与电阻值有关。
- 4) 在交流电路中，同一个电阻器对不同频率的信号所呈现的阻值相同。当交流信号的波形不同时（如正弦波、三角波），电阻器所呈现的电阻值一样。
- 5) 普通电阻器是线性的（还有非线性电阻器）。

(2) 可调电阻器的特性

- 1) 它是一个阻值可以连续改变的电阻器，阻值的改变要靠人工调整。
- 2) 两定片之间的电阻值为该可调电阻器的标称阻值，也是这个可调电阻器的最大阻值。
- 3) 当动片从一个定片向另一个定片滑动时，动片到一个定片的阻值在减小，到另一个定片的阻值在增大，最大阻值为该可调电阻器的标称阻值。

(3) 熔断电阻器的特性

- 1) 它是一个具有过电流保护和电阻双重功能的电阻器，在两种功能中，过电流熔断功能是主要的。
- 2) 熔断电阻器是一次性的，它熔断后呈开路状态，不能再恢复正常。
- 3) 熔断电阻器通常用于直流电源电路中，即用于直流电压供给电路中。
- 4) 电路在正常工作时，熔断电阻器起一个电阻器的作用。当流过熔断电阻器的电流大于它的熔断电流时，熔断电阻器迅速无声、无烟、无火地熔断，相当于一个熔断器，起到了过电流熔断的作用，能防止因过电流而烧坏电路中的其他元器件。

3. 电阻器的选用

在选用电阻器时，不仅要求其各项参数（额定功率、阻值、允许误差、耐压等）符合电路的使用条件，还要考虑外形尺寸和价格等方面的因素。应该选用标称阻值系列，允许偏差多用 $\pm 5\%$ 的电阻器，选取电阻器的额定功率为实际值的 2 ~ 3 倍。也可根据电路的工作频率选择电阻器的类型。RX 型线绕电阻器的分布电感和分布电容较大，只用于频率低于 50kHz 的电路中；RH



型合成膜电阻器和 RS 型有机实心电阻器可用在几十兆赫电路中；RT 型碳膜电阻器可用于频率在 1000MHz 左右的电路中；而 RJ 型金属膜电阻器和 RY 型氧化膜电阻器可在高达数百兆赫的高频电路中工作。

在使用过程中，要仔细分析电路的具体要求。在稳定性、耐热性、可靠性要求较高的电路中，应该选用金属膜或金属氧化膜电阻器；如果要求功率大、耐热性能好、工作频率不高，则可选用线绕电阻器；对于无特殊要求的一般电路，可用碳膜电阻器，以便降低成本。

三、电阻器的检测

对电阻器的检测主要是看其实际阻值与标称阻值是否相符。检测方法如下：

1. 具体的检测方法

用万用表的欧姆档进行检测，欧姆档的量程应视电阻器阻值的大小而定。一般情况下应使指针指向刻度盘的中间段，以提高测量精度。这样做的原因是万用表的欧姆档刻度线是非线性的，而中间段分度较细而且准确。

2. 检测电阻器的注意事项

1) 使用万用表（电阻档）欧姆档的不同量程时，首先要进行万用表指针的校零；即将红、黑表笔短接，调整欧姆档校零旋钮，使万用表指针指向 0Ω 处。对不同量程的欧姆档，在使用时均须校零。

2) 用万用表检测电阻器的阻值时，手不能同时接触被测电阻器的两个引脚，以避免人体电阻影响测量结果。

3) 测量电阻器时，红、黑表笔可以不分，这不影响测量结果。

4) 欧姆档量程选得是否合适，将直接影响测量精度。例如，测 20Ω 的电阻器时，应选用 $R \times 1$ 档，如选用 $R \times 1k$ 档，其读数精度极差。因此，认真选择欧姆档量程是提高测量精度的重要环节。被测电阻器的阻值为几欧 ~ 几十欧时，可选用 $R \times 1$ 档；被测电阻器阻值为几十欧 ~ 几百欧时，可选用 $R \times 10$ 档；被测电阻器的阻值为几百欧 ~ 几千欧时，可选用 $R \times 100$ 档；被测电阻器的阻值为几千欧 ~ 几十千欧时，可选用 $R \times 1k$ 档，被测电阻器的阻值在几十千欧以上时，应选用 $R \times 10k$ 档。

3. 普通电阻器的代换

当电阻器在使用中出现断裂、阻值与标称阻值不符、短路、端部引出线接触不良时，都要进行更换。

代换的原则是阻值与功率最好与原来的电阻器一致。当没有同规格的电阻器时，应采用额定功率大的代换功率小的；精度高的代换精度低的。当阻值不符时，可通过电阻器的串联、并联的方法取得相应阻值。通过串联可增大阻值，通过并联可减小阻值。但要注意不同的阻值所分担的功率是不同的。串联电路中阻值越大，其分担的功率就越大，并联电路中阻值越大，其分担的功率就越小。

第三节 敏感电阻器

常用的敏感电阻器有光敏电阻器、热敏电阻器、湿敏电阻器、压敏电阻器，分别介绍如下：

一、光敏电阻器

光敏电阻器是用能产生光电效应的半导体材料制成的电阻器。

1. 光敏电阻器的类型、结构与特性

光敏电阻器的种类很多,根据光敏电阻器的光敏特性,可分为可见光光敏电阻器、红外光光敏电阻器及紫外光光敏电阻器等。

可见光光敏电阻器有硒化镉光敏电阻器、硫化镉光敏电阻器、砷化镓光敏电阻器、硅光敏电阻器、锗光敏电阻器、硫化锌光敏电阻器等。红外光光敏电阻器有硫化铅光敏电阻器、碲化铅光敏电阻器、锗掺汞光敏电阻器等。紫外光光敏电阻器有硒化镉光敏电阻器、硫化镉光敏电阻器等。

根据光敏层所用半导体材料的不同,又可分为单晶光敏电阻器与多晶光敏电阻器。

光敏电阻器的结构如图 2-4a 所示,光敏电阻器的外形如图 2-4b 所示,光敏电阻器在电路中的图形符号如图 2-4c 所示。从光敏电阻器的结构图中可以看到,它是由玻璃基片、光敏层、电极、外封装等组成的。

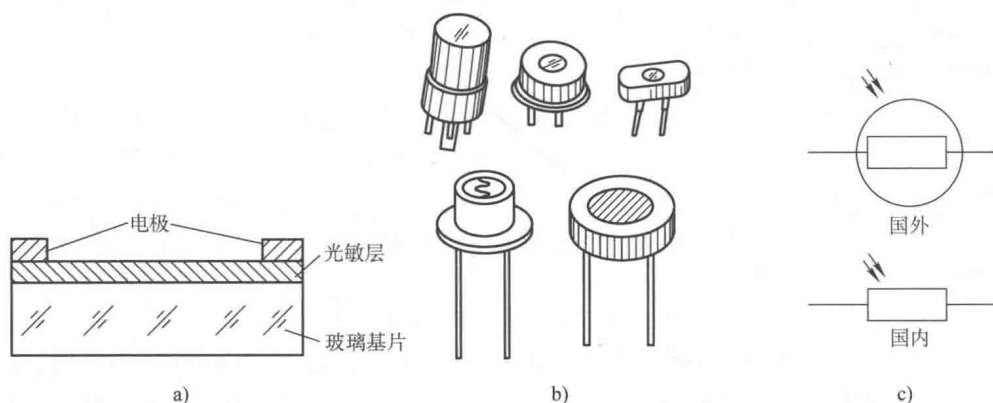


图 2-4 光敏电阻器的结构、外形与图形符号

a) 结构 b) 外形 c) 图形符号

(1) 光敏电阻器的特点

光敏电阻器的最大特点是对光线非常敏感,电阻器在无光线照射时,其阻值很高;当有光线照射时,阻值下降很快,即光敏电阻器的阻值是随着光线的强弱而发生变化的。

(2) 光敏电阻器的应用

光敏电阻器的应用比较广泛,主要用于各种光电自动控制系统,如自动报警系统、电子照相机的曝光电路,还可以用于非接触条件下的自动控制等。

(3) 常用光敏电阻器的型号

常用光敏电阻器的型号有 MG41—1、MG41—22、MG41—23、MG42—02、MG42—03 及 MG—43、MG44、MG45 系列等。

2. 光敏电阻器的选用、检测与代换

(1) 光敏电阻器的选用

由于光敏电阻器对光线特别敏感。无光线照射时,其阻值为高阻状态,有光线照射时,其阻值迅速下降。因此选用时,应首先确定控制电路对光敏电阻器的光谱特性有何要求,到底是选用可见光光敏电阻器还是选用红外光光敏电阻器。

另外选用光敏电阻器时还应确定亮阻、暗阻阻值的范围。此项参数的选择是关系到控制电路能否正常动作的关键,因此必须予以认真确定。常用光敏电阻器的几项主要参数见表 2-4。