



新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材

· 应用电子技术专业

现代电子设计与制作技术

刘南平 主 编

朱凤芝 副主编
欧触灵

蒋敦斌 主 审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业

现代电子设计与制作技术

刘南平 主 编

朱凤芝 副主编
欧触灵

蒋敦斌 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书按照循序渐进的规律,先介绍基本电子元器件,如电阻器、电容器、电感器、变压器、二极管、三极管、场效应管,单片机及 DSP 的选用方法,在此基础上介绍可编程模拟与数字器件的原理、结构及其开发软件和编程语言 VHDL,为读者从事现代电子设计打下扎实的器件、编程和设计开发软件应用的基础。考虑到常用 EDA 软件 Protel 的广泛使用,从原理图绘制、电路板设计和电路仿真三方面对它进行了简单介绍。最后通过设计与制作实例对知识进行大综合,介绍设计、制作的具体思路及过程,旨在为读者今后设计出优秀的电路起一个“抛砖引玉”的作用。

本书既可作为高职院校电子信息工程、通信技术、应用电子技术等专业的教材,也可供相关专业本科生使用,同时可作为相关工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子设计与制作技术/刘南平主编. —北京:电子工业出版社, 2003.7
新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·应用电子技术专业
ISBN 7-5053-8735-9

I. 现… II. 刘… III. 电子电路—电路设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 058229 号

责任编辑:程超群

印 刷:北京东光印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:467 千字

版 次:2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:23.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010) 68279077

出版说明

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分。其根本任务是培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型人才。近年来,高等职业教育发展迅猛,其宏观规模发生了历史性变化。为适应我国社会进步和经济发展的需要,高等职业教育的教学模式、教学方法需要不断改革,高职教材也必须与之相适应,进行重新调整与定位,突出自身的特色。为此,在国家教育部、信息产业部有关司局的支持、指导和帮助下,电子工业出版社在全国范围内筹建成立“全国高职高专教育教材建设领导小组”,下设“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等专业的多个编委会。各专业编委会成员由电子信息战线辛勤耕耘、功绩卓著的专家、教授、高工和富有高职教学经验的一线优秀教师组成。

2002年10月,“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等四个专业的编委会精心组织全国范围内的优秀一线教师编写了《新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材》60余种。这批教材的主要特点是:

1. 在编写方法上打破了以往教材过于注重“系统性”的倾向,摒弃了一些一般内容和烦琐的数学推导,采用阶跃式、有选择的编写模式,强调实践和实践属性,精炼理论,突出实用技能,内容体系更加合理;

2. 注重现实社会发展和就业需求,以培养职业岗位群的综合能力为目标,充实训练模块的内容,强化应用,有针对性地培养学生较强的职业技能;

3. 教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间和学生的自主学习;着力于培养和提高学生的综合素质,使学生具有较强的创新能力,促进学生的个性发展;

4. 教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有超前性、先进性。

首批教材共有60余种,将于2003年8月陆续出版。所有参加教材编写的高职院校都有一个共同的愿望:希望通过教材建设领导小组、编委会和全体作者的共同努力,使这批教材在编写指导思想、编写内容和编写方法上具有新意,突出高等职业教育的特点,满足高职学生学习和就业的需要。

高等职业教育改革与教材建设是一项长期的任务,不会一蹴而就,而是要经历一个发展过程。这批高职教材的问世,还有许多不尽人意之处。随着教育改革的不断深化,我国经济和科学技术的不断发展,高职教材的改革与开发将长期与之相伴而行。在教育部和信息产业部的指导和帮助下,我们将一如既往地依靠本行业的专家,与科研、教学第一线的教研人员紧密联系,加强合作,与时俱进,不断开拓,逐步完善各类专业课教材、专业基础课教材、实训指导书、电子教案、电子课件及配套教材,为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。

电子工业出版社高职高专教育教材事业部的全体成员殷切地希望全国高职高专院校的教师们能够踊跃投稿,提出选题建议,并对已出版的教材从多方面提出修改建议。除以上四个专业外,我们还设立了“计算机技术”、“电子商务”、“物流管理”、“会计类”、“金融类”、“环保类”等专业的编委会。我们衷心欢迎更多的志士仁人加入到各个编委会中来。

电子工业出版社的全体员工将竭诚为教育服务,为高等职业教育战线的广大师生服务。

全国高职高专教育教材建设领导小组
电子工业出版社

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”

编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北孝感职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技学院

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院
三峡大学职业技术学院
桂林电子工业学院高职学院
桂林工学院
南京化工职业技术学院
湛江海洋大学海滨学院
江西工业职业技术学院
江西渝州科技职业学院
柳州职业技术学院
邢台职业技术学院
漯河职业技术学院
太原电力高等专科学校
苏州工商职业技术学院
金华职业技术学院
河南职业技术师范学院
新乡师范高等专科学校
绵阳职业技术学院
成都电子机械高等专科学校
河北师范大学职业技术学院
常州轻工职业技术学院
常州机电职业技术学院
无锡商业职业技术学院
河北工业职业技术学院

天津中德职业技术学院
安徽电子信息职业技术学院
浙江工商职业技术学院
河南机电高等专科学校
深圳信息职业技术学院
河北工业职业技术学院
湖南信息职业技术学院
江西交通职业技术学院
沈阳电力高等专科学校
温州职业技术学院
温州大学
广东肇庆学院
湖南铁道职业技术学院
宁波高等专科学校
南京工业职业技术学院
浙江水利水电专科学校
成都航空职业技术学院
吉林工业职业技术学院
上海新侨职业技术学院
天津渤海职业技术学院
驻马店师范专科学校
郑州华信职业技术学院
浙江交通职业技术学院

前 言

为了适应高等职业院校电子信息类、通信类、应用电子技术类专业建设与发展的需要,提高学生的知识综合运用能力,增强学生的就业竞争力,我们编写了面向高职高专的《现代电子设计与制作技术》一书。

《现代电子设计与制作技术》理论和实践性极强,知识面广,内容新颖。通过对本课程的学习,可以为学生上岗就业奠定扎实的综合理论和实践基础,真正体现职业教育的特色。

本书共 8 章,从现代电子设计的要求出发,概述了现代电子设计理念和制作方法,介绍了常用基本元器件、单片机、DSP、可编程器件及其开发软件,为读者从事现代电子设计打下基础。同时考虑到 Protel 软件是电子设计最常用的 EDA 工具,所以本书进行了简要叙述。为了增加读者学习兴趣,本书特意安排了一些实用性强且具有代表性的设计和制作实例,既是对所学知识的综合,又可启发读者思维,开阔读者视野,培养读者分析和解决问题的能力。还有许多优秀 EDA 软件功能强大,能进行电磁分析、热分析,还能设计 IC(内部),如 Mentor Graphic 等,但由于其价格昂贵,一般单位无力购买,考虑到通用性,所以本书只有忍痛割爱了,这也是最大的遗憾。

本书既可作为高职院校电子信息工程、通信技术、应用电子技术等专业的教材,也可供相关专业本科生使用,同时可作为相关工程技术人员的参考书。

本书的第 4、5、6、7 章由天津渤海职业技术学院朱凤芝老师编写,第 8 章由广东湛江海洋大学海滨学院欧触灵老师编写,第 1、2、3 章及附录由天津职业大学刘南平老师编写。全书由刘南平老师负责统稿并担任主编,朱凤芝、欧触灵老师担任副主编,蒋敦斌教授任主审。

限于作者水平,书中难免有错误和疏漏等不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2003 年 5 月



Contents

第1章 概述	(1)
1.1 现代电子电路设计理念	(1)
1.2 现代电子电路制作方法	(2)
第2章 电子器件的选用	(3)
2.1 电阻器	(3)
2.1.1 电阻器的主要参数	(3)
2.1.2 普通电阻器的选用	(3)
2.1.3 敏感电阻器的选用	(5)
2.2 电容器	(7)
2.2.1 电容器的主要参数	(7)
2.2.2 电容器的选用	(7)
2.3 电感线圈	(10)
2.3.1 电感线圈的主要参数	(10)
2.3.2 电感线圈的选用	(11)
2.4 变压器	(14)
2.4.1 变压器的主要参数	(14)
2.4.2 变压器的选用	(15)
2.5 晶体二极管	(18)
2.5.1 晶体二极管的主要参数	(18)
2.5.2 晶体二极管的选用	(19)
2.6 晶体三极管	(21)
2.6.1 晶体三极管的主要参数	(21)
2.6.2 晶体三极管的选用	(22)
2.7 场效应管	(25)
2.7.1 场效应管的主要参数	(25)
2.7.2 场效应管的选用	(26)
2.8 常用集成电路的选用	(26)
2.9 单片机的选用	(26)
2.10 DSP (数字信号处理芯片)	(31)
2.10.1 数字信号处理和 DSP 系统	(31)
2.10.2 DSP 系统的设计	(32)



2.10.3	DSP 芯片的选择	(33)
2.10.4	DSP 芯片简介	(33)
2.10.5	DSP 应用实例	(35)
第 3 章	可编程器件及开发系统	(61)
3.1	可编程逻辑器件概述	(61)
3.2	GAL 器件	(62)
3.2.1	GAL 的基本结构	(62)
3.2.2	GAL 产品简介	(66)
3.2.3	GAL 器件主要性能特点	(66)
3.3	ISP 器件	(67)
3.3.1	低密度 ISP-PLD	(67)
3.3.2	高密度 ISP-PLD	(68)
3.4	FPGA 器件	(71)
3.4.1	FPGA 的基本结构	(71)
3.4.2	IOB 和 CLB	(72)
3.4.3	可编程内部连线 (PI)	(75)
3.5	ispPAC 器件	(77)
3.6	在系统可编程数字开关和互连器件	(81)
3.7	PAC-Designer 开发系统	(83)
3.7.1	输入设计	(83)
3.7.2	设计仿真	(85)
3.7.3	下载设计方案	(85)
3.7.4	设计实例	(85)
3.8	ISP-VHDL 软件	(87)
3.8.1	逻辑图输入	(88)
3.8.2	VHDL 语言输入	(92)
3.8.3	ispDS+编译下载软件	(95)
3.9	MAX+PLUSII	(98)
3.9.1	MAX+PLUSII 基础	(98)
3.9.2	MAX+PLUSII 应用实例	(106)
3.10	FPGA 开发系统	(108)
3.10.1	FPGA 一般设计流程	(108)
3.10.2	FPGA 原理图输入设计	(109)
第 4 章	硬件描述语言 VHDL	(115)
4.1	VHDL 概述	(115)
4.2	VHDL 的基本结构	(116)
4.2.1	设计实体	(117)
4.2.2	库、程序包及配置	(119)



4.3	构造体描述方式	(120)
4.4	VHDL 的类型和属性	(122)
4.4.1	对象类型 (Objects Type)	(122)
4.4.2	数据类型 (Data Type)	(125)
4.4.3	子类型 (Subtype)	(128)
4.4.4	类型转换 (Type Conversion)	(129)
4.4.5	属性 (Attribute)	(130)
4.5	VHDL 主要描述语句	(131)
4.5.1	进程语句 (Process Statement)	(132)
4.5.2	并行语句	(133)
4.5.3	顺序语句	(139)
4.5.4	其他语句	(145)
4.5.5	运算符与保留关键字	(147)
4.6	基本逻辑电路设计	(149)
4.6.1	设计组合逻辑电路	(149)
4.6.2	设计时序电路	(151)
第 5 章	原理图设计基础	(154)
5.1	Protel 99 SE 概述	(154)
5.2	Protel 99 SE 使用基础	(155)
5.3	简单电路图的设计	(159)
5.4	模块化原理图的绘制	(167)
5.5	网络表	(170)
5.6	原理图的保存、导入、导出	(171)
5.7	原理图元器件库编辑器	(172)
5.8	创建新的元器件	(175)
第 6 章	电路板设计基础	(178)
6.1	印制电路板 (PCB) 设计的基本知识	(178)
6.2	简单的 PCB 设计	(182)
6.3	自动布线	(188)
6.4	PCB 图的保存与输出	(194)
6.5	电路板元器件库编辑	(195)
第 7 章	电子线路仿真	(201)
7.1	电子线路仿真概述	(201)
7.2	仿真波形的操作	(206)
7.3	电子线路仿真的基本分析功能	(208)
7.4	仿真实例	(219)
第 8 章	设计与制作实例	(222)
8.1	高频通信开关电源整流模块的设计	(222)

8.1.1	设计要求	(222)
8.1.2	基本方案选择	(223)
8.1.3	基本计算	(223)
8.1.4	主电路设计	(224)
8.1.5	变压器、电抗器的设计	(225)
8.1.6	控制电路的设计	(226)
8.1.7	高频有源 PFC 的电路设计	(228)
8.2	简易数字频率计设计	(230)
8.3	短波调频接收机设计	(232)
8.4	无线数据通信中调制解调器的设计	(234)
8.5	线阵 CCD 单板旋切厚度在线测量系统设计	(237)
8.5.1	测量系统工作原理与性能指标	(237)
8.5.2	测量系统的基本结构	(238)
8.5.3	视频信号和时钟信号处理与软件设计	(241)
8.6	酒店餐厅无线呼叫看台服务系统的设计与制作	(241)
8.6.1	系统工作原理	(242)
8.6.2	呼叫发射机	(242)
8.6.3	呼叫接收机	(243)
8.7	通用阵列逻辑 GAL 实现三相六拍步进电机的控制	(244)
8.7.1	设计要求	(244)
8.7.2	逻辑设计	(245)
8.7.3	软件设计	(248)
8.7.4	电路连接	(249)
8.8	集成电路超外差收音机制作	(249)
8.9	高、中频信号发生器制作	(253)
8.10	简易电视信号发生器制作	(259)
8.11	用 TMS320LF2407 实现三相 SPWM 波形发生器	(264)
附录		(275)
参考文献		(279)

第一章 概述

1.1 现代电子电路设计理念

现代电子系统一般由模拟电子系统、数字电子系统和微处理器电子系统三大部分组成。数字电子系统以往是采用传统的搭积木式的方法进行设计，即由器件搭成电路板，由电路板搭成数字电子系统。数字电子系统最初的“积木块”是固定功能的标准集成电路和一些固定功能的大规模集成电路，用户只能根据需求选择合适的器件，并按照器件推荐的电路搭成系统。在设计时，设计者几乎没有灵活性可言，搭成的数字电子系统所需的芯片种类多且数目大。

随着半导体技术、集成技术和计算技术的发展，电子系统的设计方法和设计手段发生了很大的变化，特别是 EDA（电子设计自动化）技术的发展和普及给电子系统的设计带来了革命性的变化，并已渗透到电子系统的各个领域。

传统的电子系统设计只能对电路板进行设计，通过设计电路板来实现系统功能。而利用 EDA 工具，采用可编程器件，可通过设计芯片来实现系统功能。将原来由电路板设计完成的大部分工作放在芯片的设计中进行，这样不仅可以通过芯片设计实现系统功能，而且大大减轻了电路图设计和电路板设计的工作量和难度，从而有效地增强了设计的灵活性，提高了工作效率。同时，基于芯片的设计可以减少芯片的数量，缩小系统体积，降低能源消耗，提高系统的性能和可靠性。

数字、模拟、可编程器件和 EDA 技术给硬件系统设计者提供了强有力的工具，使得电子系统的设计方法发生了质的变化。传统的设计方法正逐步地退出历史舞台，而基于芯片的设计方法正在成为现代电子系统设计的主流。

过去，电子产品设计的基本思路一直是先选用通用集成电路芯片，再由这些芯片和其他元器件自下而上地构成电路、子系统和系统。这样设计出来的电子系统所用元器件的种类和数量均较多，体积与功耗大，可靠性差。随着集成电路技术的不断进步，可以把数以亿计的晶体管，几万门、几十万门甚至几百万门的电路集成在一块芯片上。半导体集成电路已由早期的单元集成、部件电路集成发展到整机电路集成和系统电路集成。电子系统的设计方法也由过去的那种集成电路厂家提供通用芯片，整机系统用户采用这些芯片组成电路系统的“自底向上”设计方法改变为一种新的“自顶向下”设计方法。在这种新的设计方法中，由整机系统用户对整个系统进行方案设计和功能划分，系统的关键电路用一片或几片专用集成电路 ASIC 来实现，且这些专用集成电路是由系统和电路设计师亲自参与设计的，直至完成电路到芯片版图的设计，再交由 IC 工厂投片加工，或者是用可编程 ASIC（例如 CPLD、FPGA、ISP 等）现场编程实现。

在“自顶向下”的设计中，首先需要进行行为设计，确定该电子系统或 VLSI 芯片的功能、性能及允许的芯片面积和成本等。接着进行结构设计，根据该电子系统或芯片的特点，将其分解为接口清晰、相互关系明确、尽可能简单的子系统，得到一个总体结构。这个结构



可能包括算术运算单元、控制单元、数据通道、各式各样的算法状态等。下一步是把结构转换成逻辑图，即进行逻辑设计。在这一步中，希望尽可能采用规则的逻辑结构或采用已经过考验的逻辑单元或模块。接着进行电路设计，逻辑图将进一步转换成电路图，在很多情况下，需进行硬件仿真，以最终确定逻辑设计的正确性。最后是进行版图设计，即将电路图转换成版图。

“自底向上”的设计一般是在系统划分和分解的基础上先进行单元设计，在单元的精心设计后逐步向上进行功能块设计，然后再进行子系统的设计，最后完成系统的总体设计。

所谓片上系统的设计，是将电路设计、系统设计、硬件设计、软件设计和体系结构设计集合于一体的设计。因此，可以说 EDA 转向片上系统是一次系统设计的革命。

对电子系统设计自动化而言，现代设计方法和现代测试方法是至关重要的。当前，EDA 包含单片机、ASIC（专用集成电路）和 DSP（数字信号处理）等主要方向。无论哪一种方向，都需要一个功能齐全、处理方法先进、使用方便和高效的开发系统。目前世界上一些大型 EDA 软件公司已开发了一些著名的软件，如 Protel、PSpice 等。各大半导体器件公司也推出了一些开发软件，如 Altera 公司的 Max Plus II，Xilinx 公司的 Foundation 等。随着新器件和新工艺的出现，这些开发软件也在不断更新或升级。

每个开发系统都有自己的描述语言，为了便于各系统之间的兼容，IEEE 公布了几种标准语言，最常用的有 VHDL 和 Verilog。由于 VHDL 和 Verilog 语言的优越性，各大半导体器件公司纷纷将它们作为开发本公司产品的工具，IEEE 也于 1995 年将其定为协会的标准。这两种语言已成为从事 EDA 的工程师必须掌握的工具。

与开发工具同样重要的是器件，就 ASIC 方向而言，所使用的集成方式有全定制、半定制和可编程逻辑器件等。CPLD、ISP 和 FPGA 普及的另一个重要原因是知识产权越来越被高度重视，带有 IP 内核的功能块在 ASIC 设计平台上的应用日益广泛。越来越多的设计人员采用设计重用，将系统设计模块化，为设计带来了方便，并可以使每个设计人员充分利用软件代码，提高开发效率，减少上市时间，降低研发费用，缩短开发周期，降低风险。

同时，通用集成电路和分立元器件的种类、功能、性能指标的发展也为现代电子设计提供了更大的选择余地和便利。

总之，基于现代电子器件和现代电子开发系统的现代电子设计理念是每个从事电子设计的工程技术人员不可回避的，它必将逐步深入人心，永远向前。

1.2 现代电子电路制作方法

传统的电子制作一般是用面包板或铜板先试验，试验通过后再制作 PCB 板。现代电子制作可用 FPCB 工具，该工具不需要手工连电路，只要把设计元器件“插入”FPCB 板上，将电路“下载”到 FPCB 中，即可实现各种连接。FPCB 可以当成“电子”面包板。FPCB 广泛应用于国外的军工、航空、航天单位，价格比较高。国内可采用刻板机快速制板，价格比较低，使用方便。壳体及面板可用超薄 PVC 板制作，成型后再开模具。

第2章 电子元器件的选用



内容提要

本章主要介绍电阻器、电容器、电感、变压器、二极管、三极管、场效应管的主要参数及选用方法,掌握这些知识是电子设计的基础。单片机与 DSP 广泛应用于电子设计中,已成为电子设计的基本器件。本章对主流单片机种类、资源做了简单介绍,为读者选用提供了依据。DSP 性能优越,广泛应用于 IT 行业,因此从选择及应用角度对它做了一些基本介绍。

2.1 电阻器

2.1.1 电阻器的主要参数

电阻器的主要参数有标称阻值和允许偏差、额定功率、温度系数、电压系数、最大工作电压、噪声电动势、频率特性、老化系数等。电阻器参数定义及说明如表 2.1 所示。

表 2.1 电阻器参数定义及说明

参数	定义及说明
标称阻值	指电阻体表面上标志的电阻值。一个电阻器的实际阻值不可能绝对等于标称阻值,总存在一定的偏差,两者间的偏差允许范围称做允许偏差。一般允许偏差小的电阻器,其精度越高,性能越稳定,但生产要求高,成本大,价格相对昂贵
额定功率	指电阻器在一定大气压和产品标准规定的温度下长期连续工作所允许承受的最大功率。电阻器额定功率通常有 1/8 W、1/4 W、1/2 W、1W、2W、3W、5W、10W 等
温度系数	表示电阻器热稳定性随温度变化的物理量。温度系数越大其稳定性越差
电压系数	指外加电压每改变 1V 时,电阻器阻值相对的变化量。电压系数越大,电阻器对电压的依赖性越强,反之则弱
最大工作电压	指电阻器长期工作不发生过热或电击穿损坏等现象的电压

2.1.2 普通电阻器的选用

1. 阻值和额定功率数必须满足

阻值的选用很容易满足,功率大小得到满足才是需要考虑的重要问题。在实际电路中要



保证电阻器正常工作而不至烧坏,必须使它实际工作时所承受的功率不超过额定功率。为了使电阻器工作可靠,通常选用电阻器的额定功率要大于其实际承受功率 1 倍以上。选用功率型电阻器的额定功率都要高于电路实际要求功率 2 倍才行,否则很难保证电路正常工作。目前见到的大多数功率型电阻器为线绕电阻器,它具有许多优点:耐高温、热稳定性好、温度系数小、电流噪声小、功率大,能承受较大的负载等。线绕电阻器中有低噪声、耐热性好的功率型普通电阻器、精密电阻器和高精度高稳定电阻器,其额定功率通常为 $4\text{W} \sim 300\text{W}$;阻值范围为几十欧到几十千欧;允许误差为 $0.005\% \sim 2\%$ 。其缺点是:相对体积较大,分布电容、电感也较大,不能用在 2MHz 以上的高频电路中;另外,线绕电阻器最大阻值不超过 $100\text{k}\Omega$ 。

2. 在高增益前置放大电路中应选用噪声电动势小的电阻器

各种类型的电阻器都存在噪声电动势。有的电阻器噪声电动势较大,可达几十微伏/伏,如合成碳膜电阻器和实心电阻器的噪声电动势就很大;有的电阻器噪声电动势很小,如金属膜电阻器有的噪声电动势不大于 $1\mu\text{V/V}$;有些类型高精密金属膜电阻器噪声电动势不大于 $0.2\mu\text{V/V}$ 。高增益放大电路的作用是将输入的电信号放大数百倍以上,如电视机的高频头、调频收音机的调谐电路和寻呼机的变频级等都属于高增益放大电路。这些放大电路的输入端接收来的输入信号都非常微弱,仅在几微伏到几十微伏的范围内。如果把这样微弱的信号输入到其中有噪声电动势较大的电阻器等组成的高增益放大电路中进行放大时,信号和噪声都放大了,这样噪声将严重干扰有用信号,无法达到预期的效果。因此,在高增益放大电路中必须选用噪声电动势小的电阻器。

3. 根据电路工作频率选用不同类型的电阻器

任何一种电阻器都或多或少存在分布电感和分布电容。由于各种电阻器的结构和制造工艺不同,其分布参数也不相同。 RX 型线绕电阻器的分布参数都比较大,不适合在高频电路中工作,但在低频电路中工作影响不大,甚至可以忽略。这样,在低频 (50kHz 以下) 电路中就可以选用线绕电阻器。如电源中的分压电阻、放电电阻和大功率管的偏置电阻,都可以选用普通线绕电阻器。在高频电路中工作,要求电阻器的分布参数越小越好,这样电路的频率特性越好。所以,在高达数百兆赫的高频电路中工作的电阻器,要选用 RT 型碳膜电阻器、 RJ 型金属膜电阻器和 RY 型金属氧化膜电阻器。在超高频电路中,还可以选用 RTCP 型棒状超高频碳膜电阻器和 RTCP-Q 型纽扣式超高频碳膜电阻器。

4. 根据电路稳定性的要求选用不同温度系数的电阻器

电阻器在不同电路里的作用不同,在稳定性方面要求也不一样。有的电路对电阻器的阻值变化要求不严格,阻值变化大小,对电路工作影响不大。例如,在去耦电路中,即使选用的电阻器阻值有较大变化,对电路工作影响并不大。类似这样的电路就可以选用温度系数较大的普通电阻器,如实心类电阻器等。有的电路对温度稳定性要求较高,要求电路中工作的电阻器阻值变化很小才行。如稳压电源电路中的取样电阻器,阻值的变化将引起稳压电源输出电压不稳定;又如在直流放大器的电路中,为了减小放大器的零点漂移,选用稳定性高的电阻器等元器件很重要,否则由于电阻器阻值的变化等将产生大的零点漂移。碳膜电阻器、



金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、玻璃釉膜电阻器等温度系数都较小，温度稳定性好，很适合用于要求稳定性较高的电路中。线绕电阻器由于采用特殊的合金线绕制，它的温度系数极小，因此其阻值最为稳定，适合用于高稳定电路中。

值得指出的是，可以利用电阻器具有正（负）温度系数的特性去补偿电路中某些器件的热稳定性，以达到稳定工作的要求。例如，在甲、乙类推挽功放电路中，常选用合适的负温度系数的热敏电阻与下偏置电阻并联，补偿功放管集电极电流随温度的变化，稳定功放管的静态工作点。

5. 根据工作环境条件选用电阻器

使用电阻器的环境条件不同时，所选用的电阻器种类也不相同。有的电阻器用在环境温度较高或安装在靠近发热器件旁边的位置，一定要考虑选用耐高温的电阻器，如金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器等，都能承受较高的环境温度（可在 125℃ 的高温条件下长期工作）；也有的电阻器使用在温度、湿度都较大的环境中，这样应选用抗潮湿性能好的金属玻璃釉电阻器，不要选用抗潮性能差的合成膜电阻器；有的场合不仅温度、湿度较大，而且有酸碱腐蚀的影响，这样应选用耐高温、抗潮性好、耐酸碱性强的金属氧化膜电阻器和金属玻璃釉电阻器。由于制作各种电阻器的材料和工艺不同，相同阻值和功率的电阻器体积不相同，在实际选用时应根据空间结构和价格因素，综合考虑具体选择种类。

6. 应优先选用通用型电阻器

通用型电阻器种类多，如碳膜电阻器、金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、金属玻璃釉电阻器、实心电阻器、线绕电阻器等。这些电阻器规格齐全，阻值范围宽，精度包括 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 三级，功率为 0.1W~10W。再加上通用型电阻器每种规格的生产数量都较大，成本较低，价格就便宜，便于生产与维修。因此，只要通用型电阻器能满足电路的工作要求，就应优先选用通用型电阻器。如不能满足电路工作要求，才考虑选用精密型电阻器和其他特殊电阻器。

2.1.3 敏感电阻器的选用

敏感电阻器的种类很多，其参数也很多，主要有标称阻值、标称电压、工作电压、额定功率、稳压电压、频率特性、响应时间、温度系数、时间常数、灵敏度、亮阻、暗阻、环境湿度、环境温度等。

对于气敏电阻器，要注意标定气体、标定气体电压、灵敏度、响应时间和恢复时间等参数的选用。

1. 选用敏感电阻器时要注意选用适合电子设备要求的型号

敏感电阻器种类和型号很多，在选用时要根据设备、电路的不同要求选用不同类型的敏感电阻器。比如 MZ81 型和 MZ84 型热敏电阻器适于作为电冰箱压缩机的启动控制元器件；当作为家电自动恒温元器件时，可选用 MZ91 型热敏电阻器；当用做电子设备各种直流电路的温度补偿、定点测温及节能灯的启动用热敏元器件时，可选用 MF51 型、MF52 型、MF53 型负温度系数热敏电阻器和 MZ2 型热敏电阻器；当用于交、直流电路和低频电子线路作为温

度补偿元器件时,可选用 MZ11 型正温度系数热敏电阻器和 MF13 型圆柱形热敏电阻器;当用于电视机、录音机等电子设备作为过载保护时,可选用 MF10-1 型直热式负温度系数热敏电阻器等;当用于无霜电冰箱过压保护、过压吸收时,可选用 MYG3、MYG4 型压敏电阻器。当用于报警器等电子设备作为过压保护时,可选用 MYT 型、MY21 型氧化锌压敏电阻器;MYH3-205 型、MYH3-208 型压敏电阻器为彩电专用压敏电阻器;当用于录像机和精密电子设备防止结露、空调的检测温度电路时,可选用 MSC-2 型、高分子聚合物湿敏电阻器以及 YSH 型湿敏元器件。

2. 各种敏感电阻器的具体选用方法

选用敏感电阻器应在不超过额定功率的情况下,选择使用电路的实际电压低于元器件的最高工作电压,可确保电路和敏感元器件可靠工作。各类电阻器选用时要注意它的标称阻值应符合电路要求,对光敏电阻器还要特别注意暗阻、亮阻、电阻灵敏度等参数。

(1) 光敏电阻器的选用。

① 选用光敏电阻器前要进行检测。对比较重要的电参数进行检测,包括对电阻值的测量。

② 光敏电阻器在不超过额定功率的情况下,其工作电压可在最高工作电压以下选择。

③ 用于光电控制、光照度测量及自动计数方面的光敏电阻器的型号很多,并各有其特点。应根据光电控制电路、测量对象等,从参数指标、特性、结构、价格等方面来选用适合不同场合的光敏电阻器。比如 MG41、MG45 型硫化镉光敏电阻器常用做光电控制的光敏感元器件。

④ 使用光敏电阻器时,有的要加限流电阻,以防光照突然变化而使光敏电阻超载。

⑤ MG 型光敏电阻器适用于可见光谱范围为 $0.4\mu\text{m} \sim 0.76\mu\text{m}$ 。

⑥ MG41-2X1、MG43-2X4 型为双光敏电阻器,其亮阻值 $\leq \pm 20\%$ 。

⑦ 光敏电阻器最好存于常温并无光直接照射的干燥处。

(2) 热敏电阻器的选用。对热敏电阻器,选用时除了注意标称阻值、最大工作电压、额定功率等参数外,要特别注意电阻温度系数、最高工作温度、热耦合系数等参数。

① 选用时,要对比较重要的技术参数进行检测。检测参数时,不能用万用表和数字欧姆表来测量其阻值,因为上述两种仪表工作电流较大,用它们测量时会使热敏电阻体发热而改变阻值。可以用电桥法测量,并在恒温室内将热敏电阻器放在专用夹具上检测。

② 用于彩电的热敏电阻器,可选用 MF10 型、MZ72 型、MZ73 型、MZ75 型热敏电阻器。

③ 用做温度补偿的热敏电阻器可以选用 MZ11A 型、MZ11 型、RJZ 型、MF13 RRCL 型圆柱形热敏电阻器等。

④ 用于测中温的热敏电阻器可选用 MF51 型、MF54 型、MF55 型、MF91 型、MF95 型、MF96 型、RC3 型等 NTC 中温热敏电阻器。其中 MF55 型、MF54 型适用于 125°C 以下的场合测温 and 控温;MF51 型、MF91~96 型适用于 300°C 以下的场合测温 and 控温。

⑤ 用于测量高温的热敏电阻器可选用 G1 型、MF61 型、MF92 型等热敏电阻器,适用于 300°C 以上的场合测温 and 控温。

⑥ 用于测低温的热敏电阻器可选用 MF111 型、MF512 型等低温 NTC 热敏电阻器,适