

电子电路设计 与制作（第2版）

梅开乡 梅军进 张健 ©编著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电子电路设计与制作

——电子技术课程设计教学指导

(第2版)

编著 梅开乡 梅军进 张 健

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

“电子技术课程设计”是工科电类专业的重要实践教学环节。本书旨在促进该课程实践教学内容的更新与完善,收集并筛选了多年来省级教研项目“电子信息类专业产、学、研人才培养模式的研究”中,学生在“电子技术课程设计”教学环节中经过制作并取得成功的26个设计题目。全书共分5章,内容包括:模拟电子电路课程设计、数字电子电路课程设计、电子产品制作工艺、Altium Designer10.0印制电路板的设计制作举例、基于Proteus的“LED点阵显示电子钟”的设计与仿真等。

本书既适合作为应用型本科工科电气类、自控类、电子类、计算机类各电类专业的“电子技术课程设计”的教学指导书,又适合作为在校学生参加“全国大学生电子设计制作竞赛”的培训教材,也可以作为工程技术人员从事电子产品设计的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子电路设计与制作 / 梅开乡, 梅军进, 张健编著. —2版. —北京: 北京理工大学出版社, 2016.8

ISBN 978-7-5682-1874-0

I. ①电… II. ①梅… ②梅… ③张… III. ①电子电路-电路设计 ②电子电路-制作
IV. ①TN70

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第026818号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 412千字

版 次 / 2016年8月第2版 2016年8月第1次印刷

定 价 / 52.00元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

Preface 前言

“电子技术”是21世纪高新技术的“龙头”，各先进国家无不将它放在优先发展的地位。电子技术基础（又称模拟电子电路和数字电子电路）是电气类、自控类、电子类、计算机类各电类专业的一门重要的技术基础课，其显著的特征就是“实践性与应用性”。其实践教学环节“电子技术课程设计”旨在注重培养学生学以致用的设计能力与创造能力，使其就业本领技高一筹。本书是省级教学研究项目“电气信息类专业产、学、研人才培养模式的研究”（立项编号20120298）课题团队的教学研究成果，是“十一五”国家级规划教材《数字逻辑电路》（第3版）（电子工业出版社2010.6）及《模拟电子技术》（北京理工大学出版社2009.1）的实践环节配套教材，在教学内容的选取与编排方面，充分注意下述7点：

（1）以高速发展的大、中规模集成逻辑门电路和集成运放芯片为主线，重点介绍集成芯片的功能、性能参数、外部特性及其在信号检测、运算、转换、处理等电路中的应用。特别注意介绍功能十分强大的最新的计算机辅助设计软件 Altium Designer10.0 在电子产品设计中的应用，以及目前电子设计工程师广泛使用的设计与仿真软件 Proteus 在电子产品设计中的应用。

（2）复杂的数字系统设计。从传统的以 MSI（中规模集成芯片）、LSI（大规模集成芯片）构成为主，转向同 FPGA（现场可编程门阵列逻辑器件）、GAL（通用阵列逻辑器件）等现代 VLSI（超大规模集成芯片）构成相并重，使知识应用紧密结合生产实际并注意及时跟踪先进技术的发展，使学生的就业本领技高一筹。

（3）改变传统教材以 BJT（双极型晶体三极管）及其放大电路、TTL 数字集成门电路为主的实践内容体系，转向在目前市场销售和使用中占90%以上份额的 CMOSFET（绝缘栅场效应管）及其放大电路，门电路 CMOS4000 系列、CMOS4500 系列、74HC 系列数字集成芯片为主的内容体系，缩短了教学内容同市场应用之间的滞后时间。

（4）跟踪哈佛大学经典教材《电子学》（Horowitz 著，吴利民译）、电子信息经典教材《电子电路设计基础》（Richard R.spencer 著，张为译）、《VHDL 教学系统设计（第2版）》（Mark Zwolinsk 著，李仁发译）等西方国家优秀教材的内容特色，将复杂的问题进行分解。书中插图共260多幅，可收到直观、形象、易懂的视觉效果。

（5）注重“新器件、新技术、新工艺、新成果”在电子产品设计中的应用，以适应电子技术快速发展的需要。例如用于“PTC暖风机节能温控器的设计”中的PTC发热器件，用于“声光控节能开关的设计”中的声光控技术、节能开关，用于“大棚低成本温度计的设计”中的光柱式显示驱动器LM3914，用于“12V开关型稳压电源设计”中的PWM集成芯片TOP224Y的开发应用和软开关技术等。

（6）遵循“任务驱动、案例教学”的现代教学理念，立足于应用。全书列举了26个中型实用电子产品的设计案例，既激发学生在电子技术领域“产、学、研”的兴趣，又能培养学生的动手能力、实践能力和可持续发展的能力。

（7）附录中的常用集成芯片的引脚图、主要电参数和极限参数，给运用现代数字器件进行数字系统设计提供了硬件技术方面的支持。

针对当今“电子技术课程设计”已成为独立的实践教学体系，在内容、方法和手段等方面都发生了重大改变的新情况，本书特别注意将电子技术的实践教学环节内容与“全国大学生电子设计竞赛”这一大家普遍感兴趣的课题相结合，注意将传统的电子设计方法与现代电子设计（EDA）技术相结合，注意将实践教学环节内容与有市场需求的电子产品设计相结合，着力提高学生在电子行业的职业岗位能力、设计能力和创造能力。

本书第1章、附录A~D由梅开乡撰写，第2章由梅军进撰写，第3、5章和附录E由张健撰写，第4章由陈晔撰写，全书由梅开乡统编、定稿。本书得到了海南大学应用科技学院的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编著时间紧迫，编著者水平有限，书中难免有不当之处，敬请各位专家、同行、读者批评指正。编著者的电子邮件地址为：Cims-hs2006@163.com。

编著者

目 录

Contents

► 第1章 模拟电子电路课程设计	1
1.1 模拟电子电路课程设计的一般过程	1
1.1.1 模拟电子电路的设计方法	2
1.1.2 元器件的选择及参数的计算	2
1.1.3 模拟电子电路的安装与调试	8
1.1.4 模拟电子电路故障诊断的一般方法	12
1.1.5 模拟电子电路中的电磁干扰与抑制	15
1.1.6 电子电路设计报告的撰写	17
1.2 模拟电子电路课程设计实例	19
题目 1.2.1 数控直流稳压电源的设计	19
题目 1.2.2 数控自动进给装置的设计	24
题目 1.2.3 电冰箱保护器的设计	31
题目 1.2.4 简易心电图仪的设计	37
题目 1.2.5 集成化音频放大器的设计	41
题目 1.2.6 医院住院病人“呼喊器”的设计	46
题目 1.2.7 一种区域防盗报警系统的设计	49
题目 1.2.8 峰值检测系统的设计	51
题目 1.2.9 流量测量仪的设计	57
题目 1.2.10 照明灯节能控制开关的设计	59
题目 1.2.11 节能荧光灯电子镇流器的设计	67
题目 1.2.12 +10~+15 V 开关电源及恒流可调光节能 LED 台灯的设计	74
► 第2章 数字电子电路课程设计	85
2.1 数字电子电路的设计方法	85
2.1.1 数字电路系统的组成	85
2.1.2 数字电子电路的设计步骤	86
2.1.3 数字电子电路设计过程中应注意的问题	89
2.2 数字电子电路课程设计实例	91
题目 2.2.1 多功能数字时钟的设计	91
题目 2.2.2 自动复位数字频率计的设计	95

题目 2.2.3	数字电压表的设计	100
题目 2.2.4	基于FPGA的可编程逻辑门电路的设计	105
题目 2.2.5	可编程时间顺序控制器的设计	110
题目 2.2.6	红外线数字转速表的设计	121
题目 2.2.7	车速数字监测、超限报警装置的设计	124
题目 2.2.8	自动售货机控制系统的设计	126
题目 2.2.9	基于FPGA的交通信号灯控制器的设计	131
题目 2.2.10	出租车计费器的设计	136
题目 2.2.11	数字温度计的设计	141
题目 2.2.12	自动往返小车的设计	146
题目 2.2.13	基于FPGA芯片的FIR数字滤波器的设计	149
题目 2.2.14	居家照明不间断太阳能供电控制器的设计	154
▶ 第3章	电子产品制作工艺	159
3.1	印制电路板（PCB）的排版设计与布线	159
3.1.1	印制电路板（PCB）设计的一般原则	159
3.1.2	印制电路板（PCB）干扰的产生及其抑制	160
3.1.3	元器件的安装技术	162
3.1.4	焊盘及穿孔的设计	165
3.1.5	印制导线的设计	166
3.1.6	制板工艺图的绘制	167
3.2	印制电路板（PCB）的制作工艺	168
3.2.1	印制电路板（PCB）的制作工艺流程	168
3.2.2	印制电路板（PCB）的制板过程	169
3.2.3	手工自制印制板	170
3.3	焊接工艺	171
3.3.1	概述	171
3.3.2	手工焊接技术	174
3.3.3	浸焊技术	177
3.3.4	波峰焊技术	179
3.3.5	再流焊技术	186
3.3.6	接触焊技术	193
3.3.7	焊点的质量分析	196
3.4	表面安装技术（SMT）	197
3.4.1	概述	197
3.4.2	表面安装器件（SMD）	198
3.4.3	表面安装元件（SMC）	200
3.4.4	表面安装用基板	202

3.4.5 表面安装的工艺流程·····	202
3.5 调试工艺·····	204
3.5.1 概述·····	204
3.5.2 整机的调试·····	206
3.5.3 故障的诊断和排除·····	207
3.5.4 整机的老化·····	208
3.5.5 整机的环境试验·····	209
▶ 第4章 Altium Designer10.0 印制电路板的设计制作举例·····	211
4.1 Altium Designer10.0 的汉化·····	211
4.2 电路原理图的设计·····	212
4.2.1 数字时钟电路原理图的设计·····	212
4.2.2 元器件封装的创建·····	215
4.2.3 原理图的查错及编译·····	218
4.3 印制电路板(PCB)的设计·····	219
4.3.1 单面印制电路板的设计·····	219
4.3.2 进入 Altium Designer10.0 PCB 编辑器·····	220
4.3.3 印制电路板结构及环境参数设置·····	222
4.3.4 单面印制电路板的制作准备·····	223
4.3.5 在 PCB 文件中导入原理图网络表信息·····	224
4.3.6 元器件布局·····	225
▶ 第5章 基于 Proteus 的“LED 点阵显示电子钟”的设计与仿真·····	233
5.1 LED 点阵显示的电子钟设计·····	233
5.2 系统设计·····	233
5.3 硬件电路设计·····	234
5.3.1 Proteus 工作界面介绍·····	234
5.3.2 电路原理图设计·····	235
5.3.3 Proteus 仿真与调试·····	237
5.4 软件设计·····	238
5.4.1 点阵编码·····	238
5.4.2 主程序·····	239
5.4.3 计时程序·····	239
5.4.4 时间校准程序·····	239
5.4.5 显示程序·····	239
5.5 调试与仿真·····	241
5.5.1 Keil C51 开发套件及应用·····	241

5.5.2 Keil C51 软件调试	242
5.5.3 Keil C51 和 Proteus 的联合调试	244
▶ 附录 A 常用数字集成电路引脚图	248
▶ 附录 B 常用可编程逻辑器件引脚图	256
▶ 附录 C 常用集成运算放大器引脚图	259
▶ 附录 D 常用 A/D 和 D/A 集成电路引脚图	261
▶ 附录 E 电子时钟的源代码	263
▶ 参考文献	269

第 1 章

模拟电子电路课程设计

模拟电子电路课程设计是在基本掌握了基本单元电路、综合型实验电路的基础上进行的模拟电子最小系统的设计、调试与制作。该环节教学旨在提高学生对基础知识和基本实验技能的运用能力,掌握有关参数及电子电路的内在规律,真正理解模拟电路参数“量”的差别和工作“状态”的差别,培养学生在消费类电子产品领域的设计能力和创造能力。

1.1 模拟电子电路课程设计的一般过程

模拟电子电路设计的一般过程如图 1.1 所示,它是综合运用模拟电子技术理论知识的过程,必须从实际出发,通过市场调查、查阅有关资料,方案的比较与选择,电路参数的计算,元器件的选型等环节,设计出一款有市场需求的、性能优越的、性价比高的模拟电子产品。由于电子元器件参数的离散性,还涉及设计者的工程经历,理论上设计出来的产品,可能存在这样或那样的缺陷,这就要求通过实验、调试来发现和解决设计中存在的缺陷,使设计方案逐步完善,以求达到“设计任务书”中的设计要求。

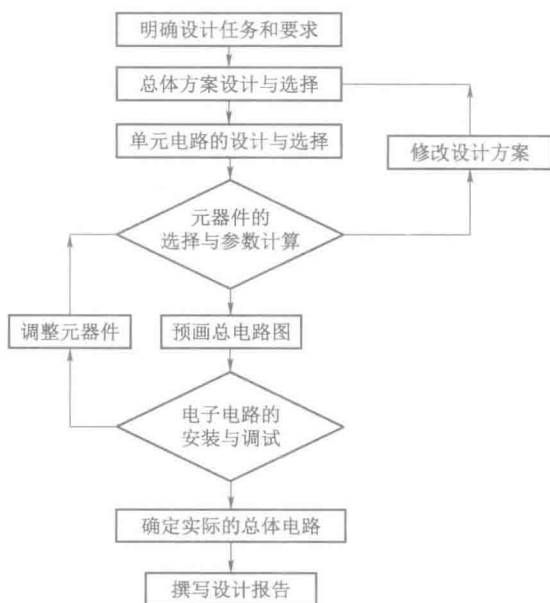


图 1.1 模拟电子电路设计的一般过程

1.1.1 模拟电子电路的设计方法

1. 总体方案的设计与选择

所谓总体方案就是根据设计任务、指标要求和给定的条件，分析所要设计电路应完成的功能，并将总体功能分解成若干单元，分清主、次和相互间关系，形成若干单元功能模块组成的总体方案。该方案可以有多个，需要通过实际的调查研究，查阅有关的资料，着重从方案能否满足设计要求、结构是否合理、实现是否经济可行等方面，对几个方案进行比较和论证，选择最佳方案。对于所选用的方案，常用方框图的形式表示出来。

2. 单元电路的设计与选择

任何复杂的电子电路，都是由若干具有简单功能的单元电路组成，这些单元电路的性能指标往往比较单一。在明确每个单元电路的技术指标后，要阐述清楚单元电路的工作原理，设计出各单元的电路结构形式，要善于通过查阅资料，分析研究新型电路，开发应用新型器件；也可借鉴要求相近且经过实践检验证明技术成熟的电路。通常设计单元电路的步骤是：

(1) 根据设计要求和已选定的总体方案的原理框图，确定对各单元电路的设计要求，必要时应详细拟定主要单元电路的性能指标。对于各单元电路之间的相互配合，要求少用或不用接口电路来实现电平转换，以求简化电路，降低成本。

(2) 拟定出各单元电路的要求后再前后检查一遍，确认前后衔接无误后才分别设计各单元电路。

(3) 选择各单元电路的结构形式。一般情况下，应查阅相关资料，丰富知识、开阔眼界，以找到适用的且技术成熟的电路，或与设计要求比较接近的电路，然后调整电路参数。

各单元电路的结构形式确定后还要进行全面检查，看各个单元的功能能否实现，信号的传递能否畅通，总体功能是否满足要求，若存在问题必须进行局部调整。同时还要注意在满足功能的前提下，尽可能减少元器件的数量、类型、电平转换和接口电路，追求电路最简单、工作最可靠、性价比最高。

1.1.2 元器件的选择及参数的计算

电子电路的设计过程，其实质就是选择最合适的电子元器件，用最合理的电路形式将它们组合起来，以实现其要求功能的过程。实践证明，电子电路的各种故障往往以元器件的故障与元器件损坏的形式表现出来。分析其原因，并非元器件本身的缺陷所致，而是由于元器件选用不当所造成的。因此，在进行电路总体方案设计和单元电路参数计算时，都应考虑如何选择元器件的品种与型号的问题。选择元器件应考虑两个方面的问题：

(1) 在保证满足电路设计指标要求的前提下，尽可能减少元器件的品种和规格，以提高它们的复用率。要在仔细分析、比较同类元器件在品种、规格、型号和制造厂商之间的差异后，选用便于安装、货源充足、信誉好、产品质量高、价格低廉、知名度高的制造厂家生产的元器件。

(2) 根据电路的总体方案及其功能要求，确定需要哪些元器件，每个元器件应具备哪些功能。在单元电路的参数计算时，应根据电路的指标要求、工作环境等，确定所选元器件参数的额定值，并留有一定的裕量，使其在低于额定值的条件下工作。

1. 集成电路的选择

由于集成电路可以实现许多单元电路甚至某些电子系统的功能，因此，电子电路选用集成电路既大大地简化了设计过程，又减小了电路的体积，还提高了电路工作的可靠性，节省了安装和调试的人工费用。因此，在电子电路设计的过程中应优先选用集成电路。常用的模拟集成电路有普通运算放大器、仪表用放大器、视频放大器、电压比较器、功率放大器、模拟乘法器、函数发生器等。由于集成电路的品种繁多，在选用时先根据总体方案确定选用什么功能的集成电路，然后考虑所选集成电路的性能，最后根据市场价格、货源等因素来确定采购某种型号的集成电路。集成电路的封装一般有塑料（或陶瓷）扁平式、金属草帽壳体式、塑料双列直插（DIP）式、塑料双列贴片（SOP）式等四种。双列直插式封装方便安装和调试，更换也十分方便，目前大都选用这种形式的集成电路。

2. 半导体分立器件的选择

在某些信号频率高、工作电压高、工作电流大或对噪声要求极低的特殊场合，常常采用半导体分立器件。另外，对于某些功能比较简单，只要用少量半导体分立器件就能解决问题的电子电路，也常常选用半导体分立器件。半导体分立器件包括晶体二极管、三极管、场效应管、绝缘栅双极晶体管（IGBT）、晶闸管和其他一些特殊的半导体器件，选用时应根据电路设计中的具体用途、要求来确定选用哪一种器件，对于同一种半导体器件，型号不同者所适用的场合也不同，选用时务必注意。例如，在选用二极管时，首先要看其用途，用于高频检波时应选用高频检波二极管 SR280、2CP10 等；用于整流时应选用整流二极管 IN4147、IN5418 等；高压整流则应选用硅整流堆。在选用半导体器件时，应根据电路设计中的有关参数，查阅半导体器件手册，使其实际使用的管压降、工作电流、频率、功耗和环境温度等都不超过手册中的规定值，以确保半导体器件的性能和安全工作。在选用晶体三极管时，首先要确定其类型，是 PNP 型还是 NPN 型，然后根据电路设计指标的要求选用所需型号的管子。例如，根据电路的工作频率确定选用相应工作频率的三极管，根据电路的输出功率来确定选用满足输出功率的三极管。另外，还要考虑管子的电流放大系数 β 、特征频率 f_T 等参数。

三极管的极限参数有集电极最大允许电流 I_{CM} 、集电极-发射极间的反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$ 、集电极最大允许耗散功率 P_{OM} 等。这些参数反映了三极管在实际使用时应受到的限制。在使用三极管时，要查阅《半导体器件手册》，了解这些参数，使三极管在工作环境的实际值不超过这些参数，并且还应有 1.5~2 倍的裕量。

3. 电阻器的选择

电阻器是电子电路中最常用的元件，其种类很多，性能各异。根据电阻器的结构形式来分类，有固定电阻器、可调电阻器和电位器。在选用时首先应根据在电路中的用途确定选用哪一种结构形式的电阻器。

（1）电阻器的主要性能指标有额定功率、标称阻值、允许误差、最高工作电压等。在电路图中，非线绕电阻器的额定功率的符号表示法

如图 1.2 所示。在实际中应用较多的有 $\frac{1}{4}$ W、

$\frac{1}{2}$ W、1 W、2 W 等几种规格，线绕电位器应用

较多的有 2 W、3 W、5 W、10 W 等。

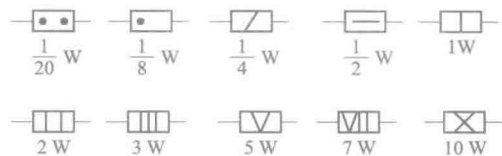


图 1.2 电阻器额定功率的符号表示法

(2) 标称阻值。它是产品标志的“名义”阻值，其单位为 Ω （欧姆）、 $k\Omega$ （千欧）、 $M\Omega$ （兆欧）。标称阻值系列如表 1.1 所列。任何固定电阻器的阻值都为表 1.1 中所列的数值乘以 10^n (Ω)，其中 n 为整数。

表 1.1 电阻器的标称阻值

允许误差	系列代号	标称阻值系列
$\pm 5\%$	E24	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
$\pm 10\%$	E12	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
$\pm 20\%$	E6	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

(3) 允许误差。它是指电阻器和电位器的实际阻值相对于标称值的最大允许偏差范围。它表示产品的精密度。允许误差等级如表 1.2 所列。线绕电位器的允许误差一般小于 $\pm 10\%$ ，非线绕电位器的允许误差一般小于 $\pm 20\%$ 。

表 1.2 电阻器的允许偏差等级

级别	0.05	0.1	0.2	I	II	III
允许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$

电阻器的阻值和误差，一般都用数标注在电阻器上，但体积很小的碳膜、金属膜电阻器，其阻值和误差常用色环来表示，如图 1.3 所示。它是在靠近电阻器的一端画有四道（精密电阻器为五道）色环。其中第一、二道色环及精密电阻的第三道色环表示其相应数位上的数字（可以看作系数）。第三道（精密电阻的第四道）色环则表示将前面的数字乘以 10 的 n 次幂，最后一道色环则表示阻值的允许误差。色环颜色表示的意义如表 1.3 所列。

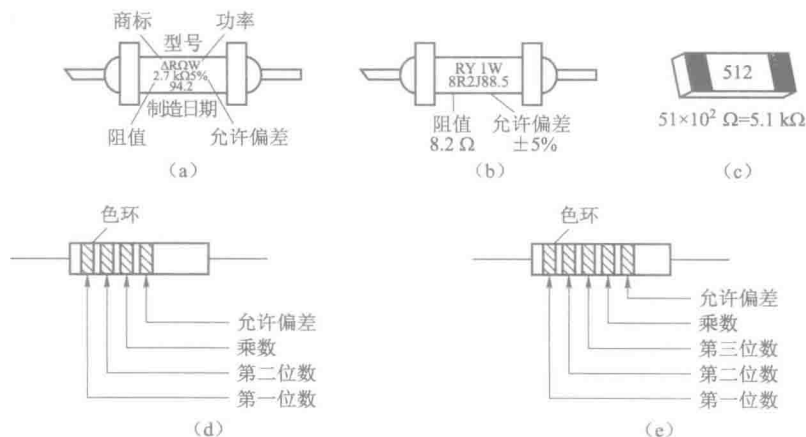


图 1.3 电阻器的阻值和色环标记

(a) 直接标记表示；(b) 文字符号表示；(c) 数码表示法；(d) 四道色环表示；(e) 五道色环表示

表 1.3 色环颜色表示的意义

颜色数值	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	本色
代表数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
容许误差	F (±1%)	G (±2%)				D (±0.5%)	C (±0.25%)	B (±0.1%)			J (±5%)	K (±10%)	±20%

(4) 最高工作电压。最高工作电压是根据电阻器、电位器最大电流密度、电阻体击穿及其结构等因素所规定的工作电压限度。对阻值较大的电阻器，当工作电压过高时，虽然功率不超过规定值，但内部会发生电弧火花放电，导致电阻变质变坏。一般 $\frac{1}{8}$ W 的碳膜电阻器或金属膜电阻器的最高工作电压分别不超过 150 V 与 200 V。

(5) 选用电阻器（简称“电阻”）的注意事项。

① 根据电子设备的技术指标和电路的具体要求选用电阻器的型号和误差等级。

② 为提高设备的可靠性，延长使用寿命，应选用额定功率大于实际消耗功率的 1.5~2 倍。

③ 在装配电子测量仪器时，若所用的电阻器为非色环电阻，则应将电阻标称值标志向上，且标志顺序一致，以方便观察。

④ 电阻器在安装之前应进行测量、核对，尤其在精密电子测量仪器设备上安装时，还需要经人工老化处理，以提高其稳定性。

⑤ 焊接电阻器时，烙铁在其引脚上停留的时间不宜过长。

⑥ 电路中如果需要串联或并联电阻来获得所需阻值时，应考虑其额定功率。阻值相同的电阻串联或并联时，额定功率等于各个电阻额定功率之和；阻值不同的电阻串联时，额定功率取决于高阻值电阻；并联时，取决于低阻值电阻，且需计算后方可应用。

⑦ 在选用电阻器的类型时，还应考虑电路中信号频率的高低。在高频电路中，一个电阻可等效为一个 R 、 L 、 C 二端线性网络，如图 1.4 所示。不同类型的电阻，其等效参数 R 、 L 、 C 的大小有很大的差异。线绕电阻本身就是电感线圈，所以不能用在高频电路中；薄膜电阻中的电阻体上若刻有螺旋槽的，可用在 10 MHz 的电路中，未刻螺旋槽的（例如 RY 型，即氧化膜型），工作频率则更高。

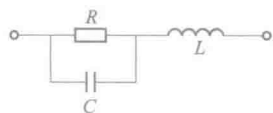


图 1.4 电阻器的等效电路

4. 电容器的选择

电容器是一种储能元件，常用于谐振、耦合、隔离、滤波、交流旁路等电路中。常用的固定电容器如图 1.5 所示。电容器的主要性能指标有：标称容量和偏差、额定直流工作电压、工作温度范围、温度系数、损耗角正切值 $\tan\delta$ 等。

(1) 电容器的标称容量和偏差。

电容器的标称容量和偏差与电阻器的规定相同，但不同种类的电容器会使用不同系列，如电解电容器使用的是 E6 系列，偏差有 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 、 $\pm 50\%$ 等几种，它们的标记方法有以下几种。

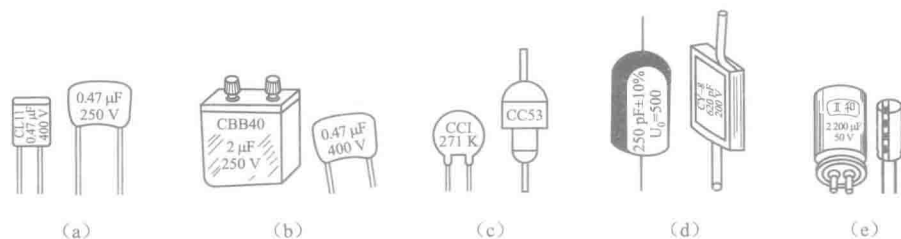


图 1.5 常用的固定电容器

(a) 涤纶电容器；(b) 聚丙烯电容器；(c) 瓷介电容器；(d) 云母电容器；(e) 铝电解电容器

① 直接标记表示法。将电容器的容量、偏差、额定电压等参数直接标记在电容器件上，如图 1.6 (a) 所示。有时因面积小而省略单位，但存在这样的规律，即小数点前面为 0 时，其单位为 μF ；小数点前不为 0 时，其单位为 pF ，如图 1.6 (d) 图所示。偏差也有用 I、II、III 级来表示的。

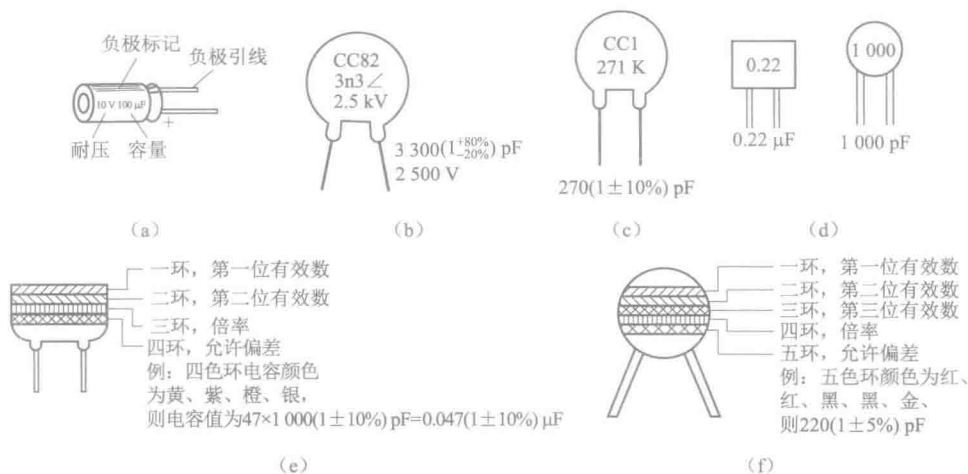


图 1.6 电容器容量和偏差标记的方法

(a) 直标法；(b) 文字符号法；(c) 数码表示法；(d) 简略标记法；(e) 四色环色标法；(f) 五色环色标法

② 文字符号表示法。与电阻器文字符号法相似，只是单位不同，如图 1.6 (b) 所示。例如“6n8”表示 6 800 pF ，“2 μ 2”表示 2.2 μF ，“P82”表示 0.82 pF 。

③ 数码表示法。如图 1.6 (c) 所示，与电阻的数码表示法基本相同，只有个别地方不同，比如第三位数“9”不是表示 10^9 而是表示 10^{-1} ，后面的字母表示偏差。

例如：339K = $33 \times 10^{-1} (1 \pm 10\%) \text{ pF} = 3.3 (1 \pm 10\%) \text{ pF}$ ；102J = $10 \times 10^2 (1 \pm 5\%) \text{ pF} = 1\,000 (1 \pm 5\%) \text{ pF}$ ；103J = $10 \times 10^3 (1 \pm 5\%) \text{ pF} = 0.01 (1 \pm 5\%) \mu\text{F}$ ；204K = $20 \times 10^4 (1 \pm 10\%) \text{ pF} = 0.2 (1 \pm 10\%) \mu\text{F}$ 等。

④ 色标表示法。与电阻器色标表示法相同，基本单位为“ pF ”，有时还会在最后增加一环表示额定电压，如图 1.6 (e)、(f) 所示。

固定电容器的标称容量系列和容许偏差如表 1.4 所列，表中所列数值乘以 10^n ，则构成实际电容器的标称容量。

表 1.4 固定电容器的标称容量系列和容许偏差

系列代号	E24	E12	E6
容许误差	±5% (I级)	±10% (II级)	±20% (III级)
标称容量	10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91	10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82	10, 15, 22, 47, 68

(2) 电容器的额定直流电压。

它是指在允许的温度范围内电容器能长期可靠地工作所能承受的最大直流电压，其大小与介质的厚度、种类有关。该参数一般直接标记在电容器上，以便选用。但要注意，当电容器工作在交流电路时，交流电压的峰值不得超过额定直流电压。电容器常用的额定直流工作电压有：6.3 V、10 V、16 V、25 V、63 V、100 V、160 V、250 V、400 V、630 V、1 000 V、1 600 V、2 500 V 等。

(3) 工作温度范围。

电容器必须在指定的温度范围内才能稳定工作。一般的电解电容器都直接标出它的上限工作温度，如 85 °C 或 105 °C 等。

(4) 温度系数。

它是反映电容器稳定性的一个重要性能指标，该值有正有负，它的绝对值越小，则表明电容器的稳定性越高。

(5) 损耗角正切值 $\tan\delta$ 。

它是指电流通过电容器时，电容器的损耗功率与存储功率的比值，该值的大小取决于电容器介质所用的材料、厚度和制造工艺，它真实地反映了电容器质量的优劣。数值越小，则电容器的质量越好。 $\tan\delta$ 一般在 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 之间。但是该值一般不标在电容器上，只能用专用的仪器来测量，也可以根据电容器所用的介质来作参考。

(6) 选用电容器的注意事项。

① 电容器安装前应进行测量，看其是否短路、断路或漏电严重，在安装电路时，应使电容器的标识便于观察，且标识顺序一致。

② 在电路中，电容器两端的电压不能超过电容器本身的耐压值。安装电解电容器时要注意正、负极性不能接反。

③ 当手头的电容器与电路中要求的容量或耐压不合适时，可以采用串联或并联的方法来满足电路的要求。当两个工作电压不同的电容器并联时，耐压值取决于低的电容器；当两个容量不同的电容器串联时，容量小的电容器所承受的电压高于容量大的电容器。

④ 技术要求不同的电路，应选用不同类型的电容器。例如，谐振回路中需选用介质损耗小的电容器，即选用高频陶瓷电容器（CC 型）；隔直、耦合电容可选用纸介、涤纶、电解等电容器；低频滤波电路一般选用电解电容器；旁路电容可选用涤纶、纸介、陶瓷和电解电容器。

⑤ 应根据电路中信号频率的高低来选择电容器。在高频电路中，一个电容器可等效成一个 R 、 L 、 C 二端线性网络，如图 1.7 所示。不同类型的电容器其等效参数 R 、 L 、 C 的差

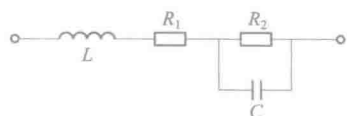


图 1.7 电容器的等效电路

异很大。等效电感大的大电容量电解电容器不适用于耦合、旁路高频信号；等效电容器不适合用于 Q 值要求高的谐振电路中。为了满足从低频到高频滤波旁路的要求，在实际电路中，常将一个容量较大的电解电容器（用于中、低频滤波）与一个小容量的瓷片电容器（用于高频滤波）并联在电路中。

5. 电感器的选择

电感器一般由线圈构成。为了增加电感量 L 、提高品质因数 Q 、减小体积，通常在线圈中加入软磁材料的磁芯。电感器的性能指标主要有电感量 L 、品质因数 Q 和额定工作电流等。

(1) 电感量 L 。电感器的外形图及其电路符号如图 1.8 所示。电感量是指电感器通过变化的电流时产生感应电动势的能力，其大小与线圈单位长度上绕制的匝数 n 、线圈的体积 V 、线圈内磁介质的磁导率 μ 等有关。当线圈的长度远大于直径时，其电感量为：

$$L = \mu n^2 V \quad (1.1)$$

式中， L 的单位有 mH（毫亨）、 μH （微亨）和 H（亨利）； V 为电感器的体积。

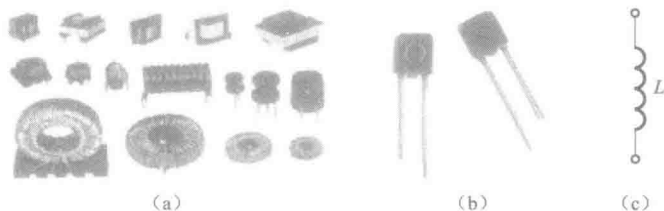


图 1.8 电感器的外形图及其电路符号

(a) 小型固定电感器；(b) 平面型电感器；(c) 电路符号

(2) 品质因数 Q 。它是反映电感器传输能量的本领。 Q 值越大，则传输能量的本领越大，损耗越小，一般要求 $Q=50\sim 300$ 。

$$Q = \frac{\omega L}{R} \quad (1.2)$$

式中， ω 为传输交变信号的角频率； L 为线圈的电感量； R 为线圈的等效电阻。

(3) 额定电流。额定电流主要针对高频电路电感器和大功率调谐电感器而言。通过电感器的电流超过额定值时，电感器将发热，严重时烧坏。

(4) 选用电感器的注意事项。

① 在选用电感器时，首先要明确其使用的频率范围。铁芯线圈只能用于低频；一般的铁氧体线圈、空心线圈则用于高频。其次要弄清线圈的电感量。

② 线圈是磁感应元件，它对周围的电感元件有影响。安装时一定要注意电感性元件之间的相互位置，一般应使相互靠近的电感线圈的轴线互相垂直，必要时可在电感性元件上加屏蔽罩。

1.1.3 模拟电子电路的安装与调试

在电子电路设计完成后，要安装好试验电路，以便对理论设计做出检验，若达不到设计要求，还需要对原设计方案进行修改，使之达到设计要求和更加完善。尤其对于缺乏设计经验者来说，更需要经过多次试验和修改，才能使设计方案满足设计的需要。实践证明：一个