

电子电路分析与制作

(第2版)

● 主 编 王彰云 谢兰清

电子电路分析与制作

(第2版)

主 编 王彰云 谢兰清
副主编 尤文坚
主 审 陶 权 孟东峰



内 容 简 介

本书将教学内容按项目模块编写,以电子技术中的典型项目为载体,全书的内容包括:直流稳压电源、调光灯电路、扩音机电路、音频信号发生器、叮咚门铃电路、简单抢答器的制作、产品质量检测仪、一位十进制加法计算器、由触发器构成的改进型抢答器、数字电子钟等共 10 个项目。以完成工作任务为主线,链接相应的理论知识和技能实训,融“教、学、做”为一体,充分体现了课程改革的新理念。本教材适合边教、边学、边做的教学方法,参考教学时间为 90~120 学时。

本书中穿插一些“小知识”、“小技能”、“思考”、“小问答”等小栏目,突出实际工作中的重点,并使全书形式活泼。

本书实用性强,可作为高等院校通信、电子、机电、电气、自动化等电类专业的教材,也可供从事相应工作的技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子电路分析与制作/王彰云,谢兰清主编.—2版.—北京:北京理工大学出版社,2018.8

ISBN 978-7-5682-6048-0

I. ①电… II. ①王… ②谢… III. ①电子电路-电路分析-高等职业教育-教材 ②电子电路-制作-高等职业教育-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 182539 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/19.5

字 数/460 千字

版 次/2018 年 8 月第 2 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

定 价/72.00 元

责任编辑/王艳丽

文案编辑/王艳丽

责任校对/周瑞红

责任印制/施胜娟

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

前言

Preface

本着“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的指导思想，我们在深入开展以项目教学为主体的专业课程改革过程中，编写了《电子电路分析与制作》项目教材。通过到工厂企业的生产一线进行广泛的专业调研，明确本教材的编写以通信、电子、机电、电气、自动化等专业学生的就业为导向，根据行业专家及企业技术人员对专业所涵盖的岗位群相关的工作任务和职业能力的分析，以电类专业共同具备的岗位职业能力为依据，遵循学生认知规律，紧密结合职业资格证书中对电子技能所作的要求，确定项目模块和课程内容。所有的实践项目都来自于实用的电子产品或与电子产品的开发、设计、生产与维修的工作过程密切相关。

《电子电路分析与制作》（第2版）教材根据教学及教学改革的需要，在第1版的基础上进行修订和完善。如降低一些项目的设计难度，增加一些课外制作项目等，并将“互联网+”思维融入教材中，以二维码的形式展现，可以随时随地练习学习。

本教材在如下方面体现出应用型本科教育的特色：

1. 教材的编写打破传统的章节划分的方法，合理选取10个项目，分解项目所包含的任务，围绕项目和任务展开课程教学内容及相关技能实训，将理论教学与实践教学融于一体，适合边教、边学、边做的教学方法。

2. 着眼应用。特别是集成电路强调以应用为主，对集成电路内部分析不作要求，并且削减分立，突出集成。

3. 把握理论上的“度”。教材中的理论知识力图以“必需、够用”为度，注重技术，强调应用。

4. 可操作性强。教材的实践项目不仅实用性强，而且可操作性强。通过编者的教学实践表明，我们的学生都能够在教师的指导下，很好地完成各项目的电路设计与制作工作，并使之实现相应的电路功能。

本教材由王彰云、谢兰清担任主编，共同策划了全书内容及组织结构，其中王彰云编写绪论、项目1、项目3、项目9、项目10，尤文坚编写项目2、项目4，王彩霞编写项目5，李俊负责制作本书课件，谢兰清编写项目6、项目7、项目8。全书由谢兰清负责统稿。

本教材由陶权教授担任主审，陶权教授在百忙之中对全部书稿进行了详细的审阅，并提

出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢!本教材在编写过程中,还得到了行业企业专家中兴通讯股份有限公司孟东峰工程师的支持,对教材项目的选择提炼进行了具体的指导,并担任教材审阅工作,在此也表示衷心感谢!另外,在编写过程中参考了大量的有关文献资料,对书后参考文献中所列的作者深表谢意。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有疏漏及错误之处,殷切希望使用本教材的师生和读者批评指正。

编 者

目 录

Contents

► 绪 论	1
► 项目 1 直流稳压电源的分析与制作	6
【实践活动 1】 +5 V 直流稳压电源的制作	7
【实践活动 2】 输出可调直流稳压电源的制作	9
1.1 半导体二极管	11
1.1.1 半导体	11
1.1.2 N 型半导体和 P 型半导体	12
1.1.3 PN 结及单向导电性	12
自我测试	13
1.1.4 半导体二极管	13
自我测试	16
1.2 二极管整流电路	17
1.2.1 单相半波整流电路	17
1.2.2 单相桥式整流电路	18
1.3 滤波电路	20
1.3.1 电容滤波电路	20
1.3.2 电感滤波电路	21
1.3.3 复式滤波电路	22
自我测试	22
1.4 稳压电路	23
1.4.1 直流稳压电源的组成	23
1.4.2 稳压电路在直流稳压电源中的作用及要求	23
1.4.3 并联型稳压电路	24
1.4.4 串联型稳压电路	24
1.4.5 集成稳压器	25
1.5 开关型稳压电源	27
1.5.1 开关型稳压电路	28
1.5.2 开关型稳压电路的工作原理	28
自我测试	28

1.6 面包板的使用	29
【任务训练1】 阻抗元件的认识与检测	30
【任务训练2】 二极管的识别与检测	35
自我测试	37
【任务训练3】 整流滤波稳压电路的检测	37
本项目知识点	39
思考与练习	39
►项目2 调光灯电路的分析与制作	42
【实践活动】 调光灯电路的制作	43
2.1 晶闸管	46
2.1.1 单向晶闸管	47
自我测试	51
2.1.2 双向晶闸管	51
2.2 单结晶体管	52
2.3 双向触发二极管	55
2.4 可控整流电路	56
2.4.1 单相半波可控整流电路	56
自我测试	58
2.4.2 单相桥式可控整流电路	58
本项目知识点	60
思考与练习	60
►项目3 扩音机电路的分析与制作	62
【实践活动】 扩音机电路的安装与调试	62
3.1 半导体三极管	66
3.1.1 结构和类型	66
3.1.2 三极管的电流放大原理	67
3.1.3 三极管的特性曲线	68
3.1.4 三极管的应用	69
3.1.5 三极管主要参数及其温度影响	70
3.1.6 特殊三极管	70
自我测试	71
3.2 小信号放大电路	72
3.2.1 小信号放大电路的结构	72
3.2.2 小信号放大电路的主要技术指标	72
3.2.3 共射极基本放大电路的组成及工作原理	73
自我测试	75
3.2.4 共射极基本放大电路的分析	75

3.2.5 静态工作点稳定电路	78
3.2.6 共集电极放大电路	79
自我测试	82
3.3 多级信号放大电路	83
3.3.1 多级放大电路的组成	83
3.3.2 级间的耦合方式	83
3.3.3 多级放大电路的分析	84
自我测试	85
3.4 功率放大器	85
3.4.1 功率放大器的要求	85
3.4.2 低频功放的种类	86
3.4.3 集成功率放大电路	87
自我测试	91
3.5 负反馈放大器	92
3.5.1 反馈的概念与判断	92
3.5.2 负反馈的4种组态	94
3.5.3 反馈放大电路的一般表达式	95
3.5.4 负反馈对放大器性能的影响	96
自我测试	99
3.6 集成运算放大器	99
3.6.1 集成运算放大器概述	99
3.6.2 集成运算放大器的线性应用	100
3.6.3 集成运放的非线性应用——电压比较器	103
自我测试	106
3.7 场效应管简介	107
3.7.1 绝缘栅场效应管的结构及工作原理	107
3.7.2 场效应三极管的参数和型号	109
3.7.3 场效应管的正确使用	110
【任务训练1】三极管的识别与检测	110
【任务训练2】晶体管共射极单管放大器的安装与测试	111
【任务训练3】射极跟随器的安装与测试	117
【任务训练4】集成运算放大器的线性应用电路测试	119
本项目知识点	122
思考与练习	122
项目4 音频信号发生器的分析与制作	128
【实践活动】音频信号发生器的制作	129
4.1 正弦波振荡电路	131
4.1.1 正弦波振荡电路的基本概念	132

自我测试	133
4.1.2 RC 正弦波振荡电路	133
4.1.3 LC 正弦波振荡电路	134
4.1.4 石英晶体振荡电路	136
自我测试	137
4.2 非正弦波振荡器	138
4.2.1 方波发生器	138
4.2.2 三角波发生器	139
4.2.3 锯齿波发生器	140
4.3 集成函数信号发生器 ICL8038 简介	141
本项目知识点	142
思考与练习	142
►项目5 叮咚门铃电路的分析与制作	145
【实践活动】 叮咚门铃的制作	145
5.1 555 集成定时器	148
5.2 555 定时器的应用电路	149
5.2.1 构成多谐振荡器	149
5.2.2 构成单稳态触发器	152
5.2.3 构成施密特触发器	154
自我测试	156
本项目知识点	156
思考与练习	157
►项目6 简单抢答器的分析与制作	158
【实践活动】 简单抢答器的制作	158
6.1 逻辑代数的基本知识	161
6.1.1 逻辑变量和逻辑函数	161
6.1.2 逻辑运算	162
6.1.3 逻辑函数的表示方法	166
6.1.4 逻辑代数的基本定律	168
自我测试	168
6.2 逻辑门电路的基础知识	169
6.2.1 基本逻辑门	169
6.2.2 复合逻辑门	171
6.2.3 TTL 集成门电路	172
自我测试	178
6.2.4 CMOS 集成门电路	178
自我测试	180

6.3 不同类型集成门电路的接口	181
6.3.1 TTL 集成门电路驱动 CMOS 集成门电路	182
6.3.2 CMOS 集成门电路驱动 TTL 集成门电路	182
【任务训练】 常用集成门电路的逻辑功能测试	182
本项目知识点	186
思考与练习	186
►项目7 产品质量检测仪的设计与制作	188
【实践活动】 产品质量检测仪的制作	189
7.1 逻辑函数的化简方法	192
7.1.1 公式化简法	192
7.1.2 卡诺图化简法	192
7.2 组合逻辑电路的分析与设计	197
7.2.1 组合逻辑电路概述	197
7.2.2 组合逻辑电路的分析	197
7.2.3 组合逻辑电路的设计	198
【任务训练1】 4人表决器的设计与制作	199
【任务训练2】 产品质量检测仪的设计与制作	200
自我测试	201
本项目知识点	202
思考与练习	202
►项目8 一位加法计算器的分析与制作	204
【实践活动】 一位加法计算器的设计与制作	205
8.1 数制与编码的基础知识	209
8.1.1 数 制	209
8.1.2 不同数制之间的转换	210
8.1.3 编 码	211
自我测试	212
8.2 编码器	212
8.2.1 二进制编码器	212
8.2.2 二-十进制编码器	213
8.3 译码器	214
8.3.1 二进制译码器	214
8.3.2 二-十进制译码器	215
8.3.3 译码器的应用	216
自我测试	217
8.4 数字显示电路	217
8.4.1 数码显示器件	218

8.4.2 显示译码器	219
8.5 加法器	221
8.5.1 半加器	222
8.5.2 全加器	222
8.5.3 多位加法器	223
8.6 寄存器	224
8.7 数据选择器与数据分配器	225
8.7.1 数据选择器	225
8.7.2 数据分配器	227
自我测试	228
8.8 大规模集成组合逻辑电路	228
8.8.1 存储器的分类	228
8.8.2 只读存储器 (ROM) 的结构原理	228
8.8.3 可编程逻辑阵列 PLA	231
【任务训练1】译码器逻辑功能测试及应用	232
【任务训练2】计算器数字显示电路的制作	234
【任务训练3】数据选择器的功能测试及应用	237
本项目知识点	239
思考与练习	239
►项目9 由触发器构成的改进型抢答器的制作	242
【实践活动】由触发器构成的改进型抢答器的制作	243
9.1 触发器的基础知识	245
9.1.1 基本 RS 触发器	246
9.1.2 同步 RS 触发器	247
9.1.3 主从触发器	249
9.1.4 边沿触发器	249
自我测试	249
9.2 常用集成触发器的产品简介	250
9.2.1 集成 JK 触发器	250
9.2.2 集成 D 触发器	251
9.3 触发器的转换	252
9.3.1 JK 触发器转换为 D 触发器	253
9.3.2 JK 触发器转换为 T 触发器和 T' 触发器	253
9.3.3 D 触发器转换为 T 触发器	253
自我测试	255
本项目知识点	255
思考与练习	255

► 项目 10 数字电子钟的分析与制作	258
10.1 计数器及应用	259
10.1.1 二进制计数器	259
10.1.2 十进制计数器	260
10.1.3 实现 N 进制计数器的方法	263
【任务训练】 计数、译码和显示电路综合应用	266
自我测试	270
10.2 数字电子钟的电路组成与工作原理	270
10.2.1 电路组成	270
10.2.2 电路工作原理	271
【实践活动】 数字电子钟的设计与制作实训	275
本项目知识点	280
思考与练习	280
► 附 录	282
► 参考文献	300

绪 论

一、电子技术发展历程

电子技术是 19 世纪末 20 世纪初开始发展起来的新兴技术。随着生产和科学技术的发展、工艺革新和新材料的使用、新器件的出现尤其是大规模和超大规模集成电路的研制和推广, 电子技术在 20 世纪发展地最为迅速, 成为近代科学技术发展的一个重要标志。进入 21 世纪, 人们面临的是以微电子技术 (半导体和集成电路为代表) 电子计算机和因特网为标志的信息社会。高科技的广泛应用使社会生产力和经济获得了空前的发展。现代电子技术在国防、科学、工业、医学、通讯 (信息处理、传输和交流) 及文化生活等各个领域都起着巨大的作用。现在的世界, 电子技术无处不在: 电视机、音响、电子手表、数码相机、电脑、大规模生产的工业流水线、因特网、机器人、航天飞机、宇宙探测仪, 可以说, 人们现在生活在电子世界中, 一天也离不开它。

1. 电子技术的发展里程碑

(1) 电子管 (1883 年到 1904 年电子管问世)

固然电子管的产生是必不可少的一步, 但是其还是存在很多的缺点, 十分笨重, 能耗大, 寿命短, 噪声大, 制造工艺也十分复杂。

(2) 晶体管产生 (1950 年—)

在 1948 年 6 月 30 日, 贝尔实验室首次在纽约向公众展示了晶体管 (肖克利、巴丁和布拉顿)。1948 年 11 月, 肖克利构思出一种新型晶体管, 其结构像“三明治”夹心面包那样, 把 N 型半导体夹在两层 P 型半导体之间。由于当时技术条件的限制, 研究和实验都十分困难, 直到 1950 年, 人们才成功地制造出第一个 PN 结型晶体管。它的优点:

- ① 晶体管的构件是没有消耗的, 晶体管的寿命一般比电子管长 100 到 1 000 倍。
- ② 晶体管消耗电子极少, 仅为电子管的十分之一或几十分之一。
- ③ 晶体管结实可靠, 比电子管可靠 100 倍, 耐冲击、耐振动。

但是一个系统的元件多,集成度低,不能满足电子产品发展的需要。

(3) 集成电路(1958年—)

什么是集成电路呢?集成电路是在一块几平方毫米的极其微小的半导体晶片上,将成千上万的晶体管、电阻、电容包括连接线做在一起。它是材料、元件、晶体管三位一体的有机结合。

在晶体管技术基础上迅速发展起来的集成电路,带来了微电子技术的突飞猛进。微电子技术的不断进步,极大降低了晶体管的成本,1958年美国得克萨斯仪器公司(TI)的一位工程师基尔比按照英国科学家达默提出的电路集成化的思想发明了第一个集成电路(IC),电子技术出现了划时代的革命。随着CMOS和双极型集成电路的出现,IC逐步成为现代电子技术和计算机发展的基础。从此以后,集成电路技术开始了长足的发展,同时几乎所有的电子技术和计算机技术都开始了飞速的发展。

2. 电子技术的现状

当前电子技术以三种技术为主:分别是数字信号处理器、嵌入式系统ARM、EDA技术。

(1) 数字信号处理器

数字信号处理器(DSP, Digital Signal Processor)是在模拟信号变换成数字信号以后进行高速实时处理的专用处理器,其处理速度比最快的CPU还快10~50倍。随着大规模集成电路技术和半导体技术的发展,1982年TI推出了第一代DSP芯片。这种DSP芯片采用微米工艺NMOS技术制作,虽功耗和尺寸稍大,但运算速度却比MPU快了几十倍,尤其在语音合成和编码解码器中得到了广泛应用。至20世纪80年代中期,随着CMOS技术的进步与发展,第二代基于CMOS工艺的DSP芯片应运而生,其存储容量和运算速度都得到成倍提高,成为语音处理、图像硬件处理技术的基础。20世纪80年代后期,第三代DSP芯片问世,运算速度进一步提高,其应用范围逐步扩大到通信、计算机领域。现在的DSP属于第五代产品,它与第四代相比,系统集成度更高,将DSP内核及外围元件综合集成在单一芯片上。

(2) 嵌入式系统ARM

嵌入式系统按形态可分为设备级(工控机)、板级(单板、模块)、芯片级(MCU、SoC),技术发展方向是满足嵌入式应用要求,不断扩展对象系统要求的外围电路(如ADC、DAC、PWM、日历时钟、电源监测、程序运行监测电路等),形成满足对象系统要求的应用系统。

(3) EDA技术

EDA技术是在电子CAD技术基础上发展起来的,是指以计算机为工作平台,融合应用电子技术、计算机技术、信息处理及智能化技术的最新成果,进行电子产品的自动设计。

可编程逻辑器件自20世纪70年代以来,经历了PAL、GAL、CPLD、FPGA几个发展阶段,其中CPLD/FPGA属高密度可编程逻辑器件,目前集成度已高达200万门/片,它将掩膜ASIC集成度高的优点和可编程逻辑器件设计生产方便的特点结合在一起,特别适合于样品研制或小批量产品开发,使产品能以最快的速度上市,而当市场扩大时,它可以很容易地转由掩膜ASIC实现,因此开发风险也大为降低。

二、电子电路中的信号

在人们周围存在着形形色色的物理量，尽管它们的性质各异，但就其变化规律的特点而言，不外乎两大类：模拟信号和数字信号。如图 0.1、图 0.2 所示。

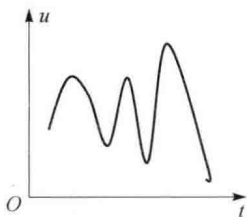


图 0.1 模拟信号

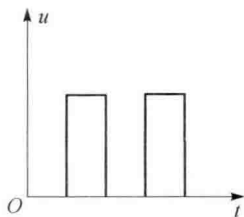


图 0.2 数字信号

1. 模拟信号

模拟信号是指数值随时间作连续变化的信号。人们从自然界感知的许多物理量均是模拟性质，如速度、压力、声音、温度等。在工程技术上，为了便于分析，常用传感器将模拟量转化为电流、电压或电阻等电量，以使用电路进行分析和处理。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电子线路，简称模拟电路。在模拟电路中主要关心输入、输出信号间的大小、相位、失真等方面的问题。

2. 数字信号

数字信号是指数值随时间作不连续变化的信号，即数字信号具有离散性。交通信号灯控制电路，智力竞赛抢答电路以及计算机键盘输入电路中的信号，都是数字信号。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电子线路，简称数字电路。在数字电路中主要关心输入、输出之间的逻辑关系。

数字电路又称为开关电路或逻辑电路，它是利用半导体器件的开关使电路输出高、低两种电平，从而控制事物相反的两种状态，如灯的亮和灭、开关的开和关，电机的转动和停转。数字电路中的信号只有高、低两种电平，分别用二进制数字 1 和 0 表示，即数字信号都是由 0、1 组成的一串二进制代码。

三、电子电路分析与制作课程的特点

电子电路分析与制作课程是入门性质的技术基础课，目的是使学生初步掌握电子电路的基本理论、基本知识和基本技能。本课程与数学、物理、电路分析等课程有着明显的区别，主要表现在它的工程性和实践性上。

1. 工程性

在电子电路分析与制作课程中，需要学会从工程的角度思考和处理问题。

① 实际工程需要证明其可行性。本课程特别重视电子电路的定性分析，定性分析是对电路是否能够满足功能、性能要求的可行性分析。

② 实践工程在满足基本性能指标的前提下总是容许存在一定的误差范围，这种计算称

为“近似估算”。若确实需要精确求解,可借助于各种 EDA 软件。

③ 近似分析要“合理”。在估算时必须考虑“研究的是什么问题、在什么条件下、哪些参数可忽略不计及忽略的原因”。也就是说,近似应有道理。

④ 估算不同的参数需采用不同的模型。不同的条件、解决不同的问题,应构造不同的等效模型。

2. 实践性

实用的电子电路几乎都要通过调试才能达到预期的指标,掌握常用电子仪器的使用方法、电子电路的测试方法、故障的判断和排除方法是教学的基本要求。了解各元器件参数对性能的影响是正确调试的前提,了解所测试电路的原理是正确判断和排除故障的基础。

四、电子电路分析与制作学习方法

电子技术具有很强的工程性和实践性,而且课程本身概念多、理论多、理论性强、原理抽象,在学习时需要根据课程特点,采取有效的学习方法。

1. 抓基本概念

学习电子电路分析与制作,理解是关键,这就要从基本概念抓起。基本概念的定义是不变的,要先知其意,后灵活应用。基本概念是进行分析和计算的前提,要学会定性分析,务必防止用所谓的严密数学推导掩盖问题的物理本质。在掌握基本概念、基本电路的基础上还应该掌握基本分析方法。不同类型的电路具有不同的功能,不同的参数有不同的求解方法。基本分析方法包括电路的识别方法、性能指标的估算方法和描述方法、电路形式及参数的选择方法等。

各种用途的电路千变万化,但它们具有共同的特点,所包含的基本原理和基本分析与设计方法是相通的。我们要学习的不是各种电路的简单罗列,不是死记硬背各种电路,而是要掌握它们的基本概念、基本原理、基本分析与设计方法。只有这样才能对给出的任何一种电路进行分析,或者根据要求设计出满足实际需要的电子电路。

2. 抓规律,抓相互联系

电子电路内容繁多,总结规律十分重要。要抓住问题是如何提出的,有什么矛盾,如何解决,然后进一步改进。具体而言,基本电路的组成原则是不变的,电路却是千变万化的,要注意记住电路组成原则而不是记住每个电路。在每一个项目都有其基本电路,掌握这些电路是学好该课程的关键。某种基本电路通常不是指某一电路,而是指具有相同功能和结构特征的所有电路。掌握它们至少应了解其生产背景、结构特点、性能特点及改进方法。

3. 抓重点,注重掌握功能部件的外特性

数字集成电路的种类很多,各种电路的内部结构及内部工作过程千差万别,特别是大规模集成电路的内部结构更为复杂。学习这些电路时,不可能也没有必要一一记住它们,主要是了解电路结构特点及工作原理,重点掌握它们的外部特性(主要是输入和输出之间的逻辑功能)和使用方法,并能在此基础上正确地利用各类电路完成满足实际需要的逻辑设计。

4. 抓理论联系实际

电子电路是实践性很强的学科，一方面要注意理论联系实际，另一方面要多接触实际。在可能的条件下，多进行电子制作实践，这样不仅便于掌握理论知识，而且能够提高解决问题的能力。