

电子学基础系列



ELECTRONICS

# 模拟与数字电路基础实验

孔庆生 编著

复旦大学出版社

MONI YU SHUZI DIANLU JICHU SHIYAN MONI YU SHUZI DIANLU JICHU SHIYAN



电子学基础系列



ELECTRONICS

# 模拟与数字电路基础实验

孔庆生 编著

复旦大学出版社

MONI YU SHUZI DIANLU JICHU SHIYAN MONI YU SHUZI DIANLU JICHU SHIYAN

图书在版编目(CIP)数据

模拟与数字电路基础实验/孔庆生编著. —上海:复旦大学出版社,2014.8  
ISBN 978-7-309-10905-4

I. 模… II. 孔… III. ①模拟电路-实验-高等学校-教材②数字电路-实验-高等学校-教材  
IV. ①TN710-33②TN79-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 170461 号

模拟与数字电路基础实验

孔庆生 编著

责任编辑/梁 玲

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

上海市崇明县裕安印刷厂

开本 787×960 1/16 印张 16.25 字数 277 千

2014 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-10905-4/T·522

定价:35.00 元

---

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

A large, faint watermark of the Fudan University seal is centered on the page. The seal is circular and contains the university's name in Chinese characters, the year 1905, and a central emblem. The text "博学而笃志，切问而近思。" is overlaid on the seal.

“博学而笃志，切问而近思。”

(《论语》)

---

博晓古今，可立一家之说；  
学贯中西，或成经国之才。

## 作者简介

孔庆生，男，1961年7月出生.任教于复旦大学信息科学与工程学院电子工程系.长期从事电子信息类课程的课堂教学及实验教学工作，以及电子系统设计、过程控制等科研工作.曾获得上海市科技进步三等奖.

## 内 容 提 要

“模拟电子学基础”和“数字逻辑基础”是复旦大学理科学技术类基础平台课程,《模拟与数字电路基础实验》是这两门课程的配套实验教材.教材编写的立足点是使用当代EDA工具进行基础实验仿真教学,以有限课时对理论课程涉及的理论与概念进行全面分析与验证,从而能够使绝大多数学生充分理解及掌握理论基础概念、培养对电子信息类课程的学习兴趣、提高对电子信息类课程的分析与解决问题的能力.

本书内容分为模拟电子学基础实验、数字逻辑基础实验及印刷电路板设计基础实验共3个部分:第一部分内容涵盖“模拟电子学基础”课程的基本概念,包括线性电路分析、晶体管单级放大器分析、多级放大器分析、差动放大器分析、负反馈放大器分析、信号处理电路分析、信号发生器分析、直流电源分析等8个实验;第二部分内容涵盖“数字逻辑基础”课程的基本概念,包括数字EDA软件入门、组合电路的分析和验证、组合电路(7段译码器与编码器)的设计、层次化的设计方法(全加器设计)、迭代设计法(四位全加器与数据比较器的设计)、算术逻辑单元的设计、触发器及基本应用电路、同步计数器与应用、顺序脉冲信号发生器、状态机设计(自动售货机)、交通灯控制器等11个实验;第三部分内容与电子工程实习环节相结合,包括单面印刷电路板手工设计、双面印刷电路板手工及自动设计、电路原理图元件符号创建、印刷电路板元件封装符号创建等4个实验.本书所有实验也适于电路的实际制作与仪器测量.

## 前 言

复旦大学电子信息教学实验中心主任俞承芳教授约我为该中心编写的系列实验教材作序,我欣然同意,原因是我从切身经历中体会到实验课程的重要。

1956年,我考进复旦大学物理系。大学课程与中学课程最为不同的要算普通物理实验课了,它最难学。难在要自学实验讲义,要写预习报告,要做实验,要写实验报告。每个环节以前都未学过,实验老师对我们的要求又特别严格,我们要花费很多时间去学实验课。也就是这个实验课,使我感到收获最大,受用一生。它培养了我的自学能力、动手能力和严谨的科学态度。当年我们的系主任王福山教授十分重视实验教学。他是理论物理出身,曾与大名鼎鼎的理论物理学家海森伯(Werner Karl Heisenberg,于1932年获诺贝尔物理学奖)共事过。1956年党发出向科学进军的号召,可惜不久就被千万不要忘记阶级斗争的口号声所淹没。即使在“左”占统治地位的年代里,也是在说重实践,要动手。众所周知物质第一性,实践是检验真理的标准。科学实验是人们认识自然、建设社会、创造财富中一个很重要的环节,电子信息实验课在当前日新月异的电子科学与技术教学中更占重要地位。历年来,实验教学一直是复旦大学教学方面的一个强项,一个特色。

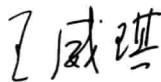
为培养具有创新精神的高素质人才,适应信息技术飞跃发展对学生知识结构和能力的要求,复旦大学电子信息教学实验中心的教师积极开展实验教学研究,改革和整合实验课程及其教学内容。经过多年的努力,中心开设了以EDA软件教学为主的“模拟与数字电路基础实验”,以硬件电路设计为主的“模拟与数字电路实验”、“微机系统与接口实验”,以系统设计能力培养为主的“电子系统设计”和以新的电子技术应用为主的“近代无线电实验”等实验课程。这些实验在基础实验阶段要求学生能了解问题,在电路设计阶段要求学生能发现问题,在系统设计阶段要求学生能提出和解决问题。从基础知识的掌握到电路设计的训练,从电子

新技术的应用到系统设计能力的培养,对学生业务能力的提高起了很大的作用.

在总结教学改革经验的基础上,该实验中心编写了一系列的实验教材,这套教材既保持了实验课程自身的体系与特色,又与相应的理论课程相衔接.在教材内容上,这套教材取材新颖,知识面宽,既将 EDA 融合在实验教学中,又强调了硬件电路和系统的设计与实现.

复旦大学电子工程系的电子学教学实验室经历赵梓光、叶君平、陈瑞涛、蓝鸿翔、吴皖光、陆廷璋等老师主持实验教学的六十、七十、八十年代,到今天在 211 工程、985 工程和世界银行贷款资助下,在校、院、系领导的大力支持下,俞承芳等教授领导的电子信息教学实验中心得到了更大的发展、充实和提高.此系列教材是实验中心全体人员努力工作的结晶,是一项很好的教学成果.

中国工程院院士、复旦大学首席教授



2004 年 6 月



## 编者的话

“模拟电子学基础”、“数字逻辑基础”是复旦大学理科学技术类基础平台课程,《模拟与数字电路基础实验》是这两门课程的配套实验教材。

采用 EDA 手段进行基础实验仿真教学,可以使没有电路制作经验的学生在极其有限的课时内,通过仿真实验手段以经历大量的实验事例、现象、结果分析,使绝大多数学生充分理解及掌握理论基础概念,培养对电子信息类课程学习的兴趣,提高分析与解决问题能力,达到电子信息类课程的教学目的。

本书内容分为模拟电子学基础实验、数字逻辑基础实验及印刷电路板设计基础实验 3 个部分。

第一篇基础实验内容涵盖“模拟电子学基础”课程的基本概念,包括线性电路分析、晶体管单级放大器分析、多级放大器分析、差动放大器分析、负反馈放大器分析、信号处理电路分析、信号发生器分析、直流电源分析等 8 个实验。

第二篇基础实验内容涵盖“数字逻辑基础”课程的基本概念,包括数字 EDA 软件入门、组合电路的分析和验证、组合电路(7 段译码器与编码器)的设计、层次化的设计方法(全加器设计)、迭代设计法(四位全加器与数据比较器的设计)、算术逻辑单元的设计、触发器及基本应用电路、同步计数器与应用、顺序脉冲信号发生器、状态机设计(自动售货机)、交通灯控制器等 11 个实验。

第三篇基础实验内容与电子工程实习环节相结合,包括单面印刷电路板手工设计、双面印刷电路板手工及自动设计、电路原理图元件符号创建、印刷电路板元件封装符号创建等 4 个实验。

“模拟与数字电路基础实验”课程的建设得到了学校和院系领导的大力支持,电子信息教学实验中心的诸多老师参加了课程的教学实践。此书的编写汇集了很多老师的教学改革经验,讲义也经多次多届学生试用并在此基础上修改完稿。自从本书的第一版于 2005 年 3 月出版以来,EDA 手段不断更新,教学内容与方法也不断改进,因此有必要对本书改版。在改版编写的过程中,赵燕、马煜、郭翌老师提供了宝贵意见和建议,给予了很大的帮助,许多学生也就课程设置与内容安排提出了很好的建议,在此致以衷心的感谢。鉴于编者的水平与经验,书中的疏漏和错误之处在所难免,欢迎广大读者给予批评和指正,并请提出宝贵意见。

编者

2014 年 5 月

## 复旦 电子学基础系列

※	模拟电子学基础	陈光梦	编著
□	数字逻辑基础	陈光梦	编著
○	高频电路基础	陈光梦	编著
	现代工程数学	王建军	编著
	模拟与数字电路基础实验	孔庆生	编著
	模拟与数字电路实验	王 勇	主编
	微机原理与接口实验	俞承芳 李 旦	主编
	近代无线电实验	陆起涌	主编
	电子系统设计	俞承芳 李 旦	主编
	模拟电子学基础与数字逻辑基础学习参考	王 勇 陈光梦	编著

加“※”者为普通高等教育“十二五”国家级规划教材；

加“□”者为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,2011年荣获第二届中国大学出版社图书奖优秀教材奖一等奖；

加“○”者2012年荣获中国电子教育学会全国电子信息类优秀教材奖二等奖,2013年荣获第三届中国大学出版社图书奖优秀教材奖一等奖。

# 目 录

第 1 篇 模拟电子学基础实验 .....	1
§ 1.1 线性电路的仿真 .....	2
1.1.1 OrCAD 的使用 .....	2
1.1.1.1 电路原理图输入 Capture 操作步骤 .....	2
1.1.1.2 电路仿真 PSpice 操作步骤 .....	3
1.1.2 无源 RLC 线性电路特性 .....	4
1.1.2.1 一阶低通系统 .....	5
1.1.2.2 一阶高通系统 .....	9
1.1.2.3 二阶低通系统 .....	11
1.1.2.4 二阶高通系统 .....	17
1.1.2.5 二阶带通系统 .....	20
1.1.2.6 二阶带阻系统 .....	23
1.1.3 实验内容 .....	26
1.1.3.1 一阶低通和高通电路仿真分析 .....	27
1.1.3.2 二阶低通和高通电路仿真分析 .....	27
1.1.3.3 二阶带通和带阻电路仿真分析* .....	28
1.1.4 实验步骤 .....	28
1.1.4.1 无源 RLC 线性电路原理图输入 .....	28
1.1.4.2 无源 RLC 线性电路阶跃响应的瞬态分析 .....	30
1.1.4.3 无源 RLC 线性电路正弦响应的瞬态分析 .....	32
1.1.4.4 无源 RLC 线性电路的交流分析 .....	34
1.1.4.5 实验数据记录 .....	35
§ 1.2 晶体管单级放大器的分析 .....	38
1.2.1 实验原理 .....	38
1.2.1.1 双极型管共射放大器 .....	38
1.2.1.2 MOSFET 共源放大器 .....	42
1.2.2 实验内容 .....	46
1.2.2.1 双极型管共射放大器分析 .....	46

1.2.2.2	绝缘栅型场效应管共源放大器分析	47
1.2.2.3	实验数据记录	48
§ 1.3	晶体管多级放大器的分析	49
1.3.1	实验原理	49
1.3.1.1	共射放大器特性	51
1.3.1.2	共基放大器特性	52
1.3.1.3	共集放大器特性	52
1.3.2	实验内容	53
1.3.2.1	多级放大器的瞬态分析	54
1.3.2.2	多级放大器的交流分析*	54
1.3.2.3	实验数据记录	55
§ 1.4	差动放大电路的分析	56
1.4.1	实验原理	56
1.4.1.1	基本型差动放大器	56
1.4.1.2	恒流源型差动放大器	58
1.4.1.3	有源负载型差动放大器	60
1.4.2	实验内容	63
1.4.2.1	差动放大器的瞬态分析	63
1.4.2.2	差动放大器的交流扫描分析*	63
1.4.2.3	实验数据记录	64
§ 1.5	负反馈放大电路的分析	65
1.5.1	实验原理	65
1.5.1.1	负反馈系统组态	65
1.5.1.2	负反馈系统特性	66
1.5.2	实验内容	68
1.5.2.1	电压串联负反馈放大电路的分析	68
1.5.2.2	电流串联负反馈放大电路的分析*	70
1.5.2.3	电压并联负反馈放大电路的分析*	71
1.5.2.4	电流并联负反馈放大电路的分析	73
1.5.2.5	数据记录	75
§ 1.6	运算放大器及其信号处理电路的分析	77
1.6.1	实验原理	77
1.6.1.1	运算放大器特性	77

1.6.1.2	信号处理电路	80
1.6.1.3	有源滤波器	85
1.6.2	实验内容	89
1.6.2.1	运算放大器特性分析	90
1.6.2.2	加运算电路分析	90
1.6.2.3	积分与微分运算电路分析	91
1.6.2.4	有源滤波器电路分析	91
1.6.2.5	数据记录	92
§ 1.7	信号波形发生电路的分析	93
1.7.1	实验原理	93
1.7.1.1	Wien 正弦波振荡器	93
1.7.1.2	非正弦波振荡器	96
1.7.2	实验内容	98
1.7.2.1	Wien 正弦波振荡器分析	98
1.7.2.2	非正弦波振荡器分析*	99
1.7.2.3	数据记录	100
§ 1.8	串联型调整管稳压电源的分析	101
1.8.1	实验原理	101
1.8.1.1	变压器	101
1.8.1.2	整流与滤波电路	101
1.8.1.3	稳压电路	103
1.8.1.4	稳压电源主要指标	104
1.8.2	实验内容	105
1.8.2.1	输出电压范围分析	105
1.8.2.2	稳压系数分析	105
1.8.2.3	输出阻抗分析*	106
1.8.2.4	滤波电压纹波分析*	106
1.8.2.5	数据记录	106
§ 1.9	OrCAD 使用指南	107
1.9.1	电路原理图输入 Capture	107
1.9.1.1	电路原理图的基本结构	107
1.9.1.2	设计项目管理	108
1.9.1.3	PSpice 数据表示	109

1.9.1.4	元件(Part)与库(Library) .....	109
1.9.1.5	元器件的放置(Place/Part) .....	112
1.9.1.6	电源与接地符号的放置(Place/Power 和 Place/Ground) .....	112
1.9.1.7	端口连接符号的放置(Place/Off-Page Connector) .....	113
1.9.1.8	互连线的绘制(Place/Wire) .....	113
1.9.1.9	电连接结点的放置(Place/Junction) .....	114
1.9.1.10	节点名的放置(Place/Net Alias) .....	114
1.9.1.11	总线 .....	114
1.9.1.12	电路图的编辑修改 .....	115
1.9.1.13	元器件属性参数的编辑修改 .....	116
1.9.2	电路仿真 PSpice .....	117
1.9.2.1	输出变量表示 .....	117
1.9.2.2	直流工作点分析(Bias Point) .....	119
1.9.2.3	直流特性扫描分析(DC Sweep) .....	119
1.9.2.4	交流小信号频率特性分析(AC Sweep) .....	120
1.9.2.5	瞬态特性分析(Time Domain(Transient)) .....	121
1.9.2.6	输入激励信号 .....	122
1.9.2.7	波形显示和分析模块 Probe .....	125
§ 1.10	放大器参数测试以及无源器件参数系列 .....	128
1.10.1	放大器参数测试的实验方法 .....	128
1.10.1.1	最大动态范围 $V_{opp}$ 的测试 .....	128
1.10.1.2	放大器输入阻抗 $r_i$ 的测试 .....	128
1.10.1.3	放大器输出电阻 $r_o$ 的测试 .....	129
1.10.1.4	放大器增益的测试 .....	130
1.10.1.5	放大器幅频特性的测试 .....	131
1.10.2	无源器件参数系列 .....	131
1.10.2.1	电阻参数系列 .....	131
1.10.2.2	电容参数系列 .....	133
1.10.2.3	电感参数系列 .....	134
第 2 篇	数字逻辑基础实验 .....	135
§ 2.1	数字 EDA 软件入门 .....	135
2.1.1	设计软件 ISE 的使用 .....	135

2.1.1.1	进入设计环境 .....	136
2.1.1.2	进入电原理图编辑器 .....	138
2.1.1.3	编辑电原理图 .....	142
2.1.1.4	逻辑功能验证 .....	145
2.1.1.5	设计实现和时序仿真 .....	150
2.1.2	实验内容 .....	152
2.1.2.1	输入电原理图 .....	152
2.1.2.2	设计后续处理 .....	152
2.1.2.3	实验预习 .....	153
2.1.2.4	实验报告要求 .....	153
§2.2	组合电路的分析和验证 .....	153
2.2.1	实验原理 .....	153
2.2.2	实验内容 .....	153
2.2.2.1	编码器电路分析 .....	153
2.2.2.2	组合电路分析 1* .....	155
2.2.2.3	组合电路分析 2* .....	156
2.2.2.4	实验预习报告内容 .....	156
2.2.2.5	实验报告要求 .....	157
§2.3	组合电路(7段译码器与编码器)的设计 .....	157
2.3.1	实验原理 .....	157
2.3.2	实验内容 .....	159
2.3.2.1	设计 7 段数码显示器译码电路 .....	159
2.3.2.2	设计 4-2 优先编码器* .....	160
2.3.2.3	实验预习报告内容 .....	161
2.3.2.4	实验报告要求 .....	161
§2.4	层次化的设计方法(全加器设计) .....	162
2.4.1	实验原理 .....	162
2.4.2	实验内容 .....	168
2.4.2.1	用层次化的方法设计 4 位加法器电路 .....	168
2.4.2.2	用已验证的 4 位加法器宏单元组成一个 8 位的加减器* .....	168
2.4.2.3	实验预习报告内容 .....	168
2.4.2.4	实验报告要求 .....	169
§2.5	迭代设计法(4 位全加器与数据比较器的设计) .....	169

2.5.1	实验原理	169
2.5.2	实验内容	170
2.5.2.1	设计采用超前进位技术的4位加法器	170
2.5.2.2	采用迭代的方法设计一个4位的数据比较器	171
2.5.2.3	实验预习报告内容	171
2.5.2.4	实验报告要求	171
§2.6	算术逻辑单元的设计*	172
2.6.1	实验原理	172
2.6.2	实验内容	173
§2.7	触发器及基本应用电路	173
2.7.1	实验原理	173
2.7.1.1	触发器的转换	173
2.7.1.2	二进制异步计数器	174
2.7.1.3	移位寄存器	175
2.7.2	实验内容	176
2.7.2.1	触发器与锁存器的性能比较	176
2.7.2.2	触发器形式的变化	176
2.7.2.3	异步计数器的基本性能分析	176
2.7.2.4	异步计数器的工作过程分析	176
2.7.2.5	移位寄存器分析*	177
2.7.2.6	实验预习报告内容	177
2.7.2.7	实验报告要求	177
§2.8	同步计数器与应用	178
2.8.1	实验原理	178
2.8.2	实验内容	180
2.8.2.1	同步计数器的基本性能分析	180
2.8.2.2	构成秒信号发生器	180
2.8.2.3	10进制计数器和6进制计数器的设计	180
2.8.2.4	电子秒表电路设计	180
2.8.2.5	带冗余状态的同步时序电路的设计*	180
2.8.2.6	实验预习报告内容	180
2.8.2.7	实验报告要求	181
§2.9	顺序脉冲信号发生器	182



2.9.1	实验原理	182
2.9.2	实验内容	182
2.9.2.1	计数器与译码器构成的顺序脉冲信号发生器	182
2.9.2.2	环型计数器构成的顺序脉冲信号发生器	183
2.9.2.3	伪随机序列发生器*	183
2.9.2.4	实验预习报告内容	183
2.9.2.5	实验报告要求	184
§2.10	状态机设计(自动售货机)	184
2.10.1	实验原理	184
2.10.2	实验内容	187
2.10.2.1	自动售货机控制电路设计	187
2.10.2.2	自动售货机控制电路的改进*	187
2.10.2.3	实验预习报告内容	187
2.10.2.4	实验报告要求	188
§2.11	交通灯控制器*	188
2.11.1	实验原理	188
2.11.2	实验内容	189
§2.12	逻辑单元图形符号	189
§2.13	FPGA 结构数据下载	190
2.13.1	实验开发板 FPGA 外围设备	190
2.13.1.1	系统电源与结构文件数据下载方式选择	190
2.13.1.2	外围输入设备的 FPGA 芯片管脚定义	191
2.13.1.3	外围输出设备的 FPGA 芯片管脚定义	191
2.13.1.4	外围双向设备的 FPGA 芯片管脚定义	191
2.13.2	结构文件数据配置下载的准备	194
2.13.2.1	接通 FPGA 开发板电源和 JTAG 下载线	194
2.13.2.2	完成项目顶层电路原理图的编辑与修改	194
2.13.2.3	分配 FPGA 管脚	196
2.13.3	下载结构文件数据到 FPGA 芯片内部 RAM	198
2.13.3.1	指定 bit 编程文件	198
2.13.3.2	下载 bit 文件到 FPGA 芯片内部 RAM	200
2.13.4	下载结构文件数据到 FPGA 芯片外部 EEPROM	201
2.13.4.1	指定 mcs 编程文件	201