

电子学基础系列  
ELECTRONICS



ESSENTIAL  
ELECTRONICS EXPERIMENT

模拟与数字电路基础实验

主编 孔庆生 俞承芳  
编著 沈云虎 刘效群

第 2 版 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会推荐教材



ESSENTIAL  
ELECTRONICS EXPERIMENT

# 模拟与数字电路基础实验

主编 王淑娟 副主编 王瑞芳  
编者 王淑娟 王瑞芳 王瑞芳



清华大学出版社

Beijing 100084, China

电子学基础系列  
ELECTRONICS



ESSENTIAL  
ELECTRONICS EXPERIMENT

模拟与数字电路基础实验

主编 孔庆生 俞承芳  
编著 沈云虎 刘效群

## 图书在版编目(CIP)数据

模拟与数字电路基础实验/孔庆生,俞承芳主编. —上海:  
复旦大学出版社,2005.3  
(电子学基础系列)  
ISBN 7-309-04374-X

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 014563 号

## 模拟与数字电路基础实验

孔庆生 俞承芳 主编

---

出版发行 复旦大学出版社

上海市国权路 579 号 邮编 200433

86-21-65118853(发行部) 86-21-65109143(邮购)

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

---

责任编辑 梁玲

总编辑 高若海

出品人 贺圣遂

---

印刷 上海江杨印刷厂

开本 787×960 1/16

印张 16 插页 2

字数 296 千

版次 2005 年 3 月第一版第一次印刷

印数 1—3 100

---

书号 ISBN 7-309-04374-X/T·283

定价 25.00 元

---

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

献给复旦大学一百周年校庆

(1905-2005)

In celebration of  
the 100th anniversary of Fudan University

## 主编简介

孔庆生，男，1961年生。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。

俞承芳，男，1947年出生，上海市人。1970年毕业于复旦大学，留校任教。长期从事电路与系统的教学与科研工作。编著有《微机原理与应用实验》、《可编程逻辑器件设计》、《音响技术》、《有线电视》、《电子系统设计》、《微机系统与接口实验》等书。

## 内容提要

本书系配合《模拟电子学基础》与《数字逻辑基础》两门技术类平台课程教学而编写的基础实验教材。

全书主要分为模拟电子学基础实验、数字逻辑基础实验、印刷电路板设计基础实验三个部分。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，使绝大多数学生能够充分理解与掌握理论基础概念、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。本书所有实验也适于电路的实际制作与仪器测量。

本书可作为大专院校电子信息科学与技术、微电子与固体电子学、生物医学工程、自动控制等专业的教材和教学参考书。也可供上述及相关专业的工程技术人员参考。

## 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,适应电子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

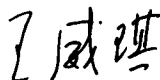


要求学生能提出和解决问题.从基础知识的掌握到电路设计的训练,从电子新技术的应用到系统设计能力的培养,对学生业务能力的提高起了很大的作用.

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。本书的第 1 篇由孔庆生、沈云虎编写,第 2 篇由俞承芳、刘效群编写,第 3 篇由孔庆生编写。在编写的过程中姚晓明、赵燕老师给予很大的帮助,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

2004 年 9 月

# 目 录

<b>第 1 篇 模拟电子学基础实验</b> .....	1
§ 1.1 线性电路的仿真 .....	1
1.1.1 OrCAD 的使用 .....	1
1.1.1.1 EDA 简介 .....	1
1.1.1.2 电路原理图输入 Capture 操作步骤 .....	2
1.1.1.3 电路仿真 PSpice 操作步骤 .....	3
1.1.2 无源 RLC 线性电路特性 .....	5
1.1.2.1 一阶系统 .....	5
1.1.2.2 二阶系统 .....	12
1.1.3 实验内容 .....	28
1.1.3.1 一阶低通和高通电路仿真分析 .....	28
1.1.3.2 二阶低通和高通电路仿真分析 .....	28
1.1.3.3 二阶带通和带阻电路仿真分析* .....	29
1.1.4 实验步骤 .....	29
1.1.4.1 无源 RLC 线性电路原理图输入 .....	29
1.1.4.2 无源 RLC 线性电路的瞬态分析 .....	31
1.1.4.3 无源 RLC 线性电路的交流分析 .....	34
1.1.4.4 实验数据记录 .....	36
§ 1.2 晶体管单级放大器的分析 .....	39
1.2.1 实验原理 .....	39
1.2.1.1 双极型管共射放大器 .....	39
1.2.1.2 MOSFET 共源放大器 .....	43
1.2.2 实验内容 .....	47
1.2.2.1 双极型管共射放大器分析 .....	47
1.2.2.2 绝缘栅型场效应管共源放大器分析 .....	48
1.2.2.3 实验数据记录 .....	49
§ 1.3 晶体管多级放大器的分析 .....	50
1.3.1 实验原理 .....	50

1.3.1.1	共射放大器特性	52
1.3.1.2	共基放大器特性	53
1.3.1.3	共集放大器特性	53
1.3.2	实验内容	54
1.3.2.1	多级放大器的瞬态分析	55
1.3.2.2	多级放大器的交流分析*	55
1.3.2.3	实验数据记录	56
§ 1.4	差动放大电路的分析	57
1.4.1	实验原理	57
1.4.1.1	基本型差动放大器	57
1.4.1.2	恒流源型差动放大器	59
1.4.1.3	有源负载型差动放大器	61
1.4.2	实验内容	64
1.4.2.1	差动放大器的瞬态分析	64
1.4.2.2	差动放大器的交流扫描分析*	64
1.4.2.3	实验数据记录	65
§ 1.5	负反馈放大电路的分析	66
1.5.1	实验原理	66
1.5.1.1	负反馈系统组态	66
1.5.1.2	负反馈系统特性	67
1.5.2	实验内容	69
1.5.2.1	电压串联负反馈放大电路的分析	69
1.5.2.2	电流串联负反馈放大电路的分析*	71
1.5.2.3	电压并联负反馈放大电路的分析*	72
1.5.2.4	电流并联负反馈放大电路的分析	74
1.5.2.5	数据记录	76
§ 1.6	运算放大器及其信号处理电路的分析	78
1.6.1	实验原理	78
1.6.1.1	运算放大器特性	78
1.6.1.2	信号处理电路	81
1.6.1.3	有源滤波器	86
1.6.2	实验内容	90
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	91
1.6.2.3	积分与微分运算电路分析	92
1.6.2.4	有源滤波器电路分析	92
1.6.2.5	数据记录	92
§ 1.7	信号波形发生电路的分析	94
1.7.1	实验原理	94
1.7.1.1	Wien 正弦波振荡器	94
1.7.1.2	非正弦波振荡器	97
1.7.2	实验内容	99
1.7.2.1	Wien 正弦波振荡器分析	99
1.7.2.2	非正弦波振荡器分析*	100
1.7.2.3	数据记录	101
§ 1.8	串联型调整管稳压电源的分析	102
1.8.1	实验原理	102
1.8.1.1	变压器	102
1.8.1.2	整流与滤波电路	102
1.8.1.3	稳压电路	104
1.8.1.4	稳压电源主要指标	105
1.8.2	实验内容	106
1.8.2.1	输出电压范围分析	106
1.8.2.2	稳压系数分析	106
1.8.2.3	输出阻抗分析*	107
1.8.2.4	滤波电压纹波分析*	107
1.8.2.5	数据记录	107
§ 1.9	OrCAD 使用指南	108
1.9.1	电路原理图输入 Capture	108
1.9.1.1	电路原理图的基本结构	108
1.9.1.2	设计项目管理	109
1.9.1.3	PSpice 数据表示	110
1.9.1.4	元件(Part)与库(Library)	110
1.9.1.5	元器件的放置(Place/Part)	113
1.9.1.6	电源与接地符号的放置(Place/Power 和 Place/Ground)	113
1.9.1.7	端口连接符号的放置(Place/Off-Page Connector)	114

1.9.1.8	互连线的绘制(Place/Wire)	114
1.9.1.9	电连接结点的放置(Place/Junction)	115
1.9.1.10	节点名的放置(Place/Net Alias)	115
1.9.1.11	总线	115
1.9.1.12	电路图的编辑修改	116
1.9.1.13	元器件属性参数的编辑修改	117
1.9.2	电路仿真 PSpice	118
1.9.2.1	输出变量表示	118
1.9.2.2	直流工作点分析(Bias Point)	120
1.9.2.3	直流特性扫描分析(DC Sweep)	120
1.9.2.4	交流小信号频率特性分析(AC Sweep)	121
1.9.2.5	瞬态特性分析(Time Domain(Transient))	122
1.9.2.6	输入激励信号	123
1.9.2.7	波形显示和分析模块 Probe	126
§ 1.10	放大器参数测试以及无源器件参数系列	129
1.10.1	放大器参数测试的实验方法	129
1.10.1.1	最大动态范围 $V_{opp}$ 的测试	129
1.10.1.2	放大器输入阻抗 $R_i$ 的测试	129
1.10.1.3	放大器输出电阻 $R_o$ 的测试	130
1.10.1.4	放大器增益的测试	131
1.10.1.5	放大器幅频特性的测试	132
1.10.2	无源器件参数系列	132
1.10.2.1	电阻参数系列	132
1.10.2.2	电容参数系列	134
1.10.2.3	电感参数系列	135
<b>第2篇</b>	<b>数字逻辑基础实验</b>	<b>136</b>
§ 2.1	数字 EDA 软件入门	136
2.1.1	利用 EDA 工具设计数字电路的基本流程	136
2.1.2	以电原理图为顶层的设计	137
2.1.2.1	进入设计环境	138
2.1.2.2	进入电原理图编辑器	140
2.1.2.3	编辑电原理图	142

2.1.2.4 后续处理 .....	145
2.1.3 实验内容 .....	151
2.1.3.1 输入电原理图 .....	151
2.1.3.2 设计后续处理 .....	151
2.1.3.3 实验预习 .....	151
2.1.3.4 实验报告要求 .....	151
§2.2 组合电路的分析和验证 .....	151
2.2.1 实验原理 .....	151
2.2.2 实验内容 .....	152
2.2.2.1 编码器电路分析 .....	152
2.2.2.2 组合电路分析 1* .....	154
2.2.2.3 组合电路分析 2* .....	154
2.2.2.4 实验预习报告内容 .....	155
2.2.2.5 实验报告要求 .....	156
§2.3 组合电路(7 段译码器与编码器)的设计 .....	156
2.3.1 实验原理 .....	156
2.3.2 实验内容 .....	158
2.3.2.1 设计 7 段数码显示器译码电路 .....	158
2.3.2.2 设计 4-2 优先编码器* .....	159
2.3.2.3 实验预习报告内容 .....	160
2.3.2.4 实验报告要求 .....	160
§2.4 层次化的设计方法(全加器设计) .....	161
2.4.1 实验原理 .....	161
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 .....	168
§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 .....	170

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	188
§ 2.12 逻辑功能验证和时序仿真技巧	189
2.12.1 时钟及二进制信号的产生与选择	189
2.12.2 总线的设置	191
§ 2.13 逻辑单元图形符号	193
<b>第3篇 印刷电路板设计基础实验</b>	194
§ 3.1 单面印刷电路板设计	194
3.1.1 印刷电路板设计原理	194
3.1.1.1 印刷电路板层次结构	194
3.1.1.2 印刷电路板元件布局	195
3.1.1.3 印刷电路板布线	196
3.1.2 Protel的使用	196
3.1.2.1 Protel的操作流程	196
3.1.2.2 Protel的启动	197
3.1.2.3 电路原理图编辑步骤	197
3.1.2.4 印刷电路板设计步骤	198
3.1.3 实验内容	199
3.1.4 实验步骤	200
3.1.4.1 启动 Protel	200
3.1.4.2 电路原理图的编辑	200