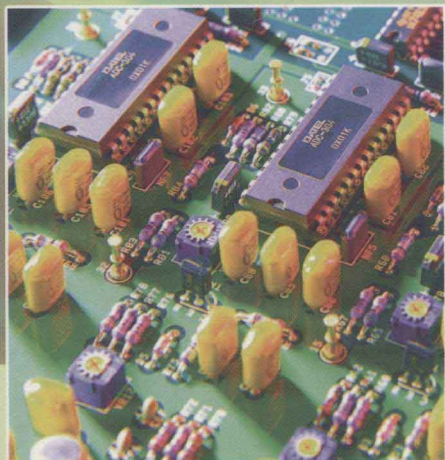




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子技术实验

段国华 张晴 李丹 邵群 张士文



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

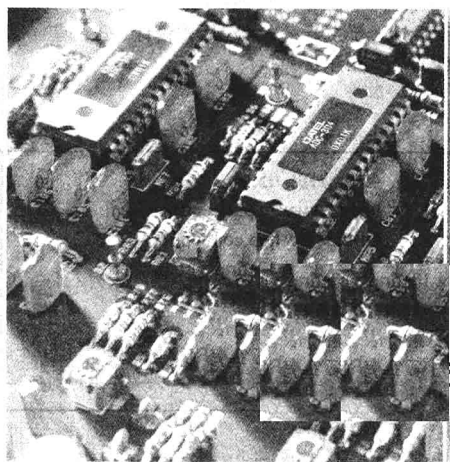


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子技术实验

Dianzi Jishu Shiyan

段国华 张晴 李丹 邵群 张士文



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是独立设课的电子技术实验课程教材,内容包括 Multisim 电子电路仿真方法、晶体管电路、数字电路、模拟集成电路等部分,共分 5 章。第 1 章为电子技术实验基础,第 2 章为电子技术实验中常用的电子测量仪器原理与使用,第 3 章为晶体管电子学实验,第 4 章为数字电子技术实验,第 5 章为模拟集成电路实验。为帮助学生开展设计性实验,附录提供了丰富的参考资料。

本书每章包括实验原理、实验要求,在每章的最后有若干综合性或设计性的实践课题,要求学生自行拟定实验方案、步骤和电路,并测试调试达到设计要求,完成这些题目,为培养学生独立开展研究型实验打下基础。

本书适合高等学校电气信息类专业的电子技术实验课程,也可以供其他类型学校有关专业的学生学习使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验/扈国华等编. —北京:高等教育出版社, 2011.6

ISBN 978 - 7 - 04 - 031799 - 2

I. ①电… II. ①扈… III. ①电子技术 - 实验 - 高等学校 - 教材

IV. ①TN - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 123929 号

策划编辑 金春英
插图绘制 尹 莉

责任编辑 王耀锋
责任校对 殷 然

封面设计 于文燕
责任印制 张泽业

版式设计 王 莹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京市联华印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 19.75
字 数 480 千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
版 次 2011 年 6 月第 1 版
印 次 2011 年 6 月第 1 次印刷
定 价 31.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究
物 料 号 31799 - 00

前 言

信息技术的发展,使得人们的生活日益便利。电子技术是信息技术的基础,是近半个世纪以来高速发展的一门科学技术,电子技术课程是电气信息类理工专业学生的基础课程,而电子技术实验是电子技术基础课程的重要组成部分,其在培养学生操作技能、动手实践方面具有重要的作用。电子技术实验的主要任务是培养学生熟练掌握基本电子电路的分析、测量、调试等实验技能,培养学生电路综合、设计能力,在实验过程中培养学习研究兴趣、创新意识,为后续专业课程的学习奠定基础。

本书是针对电气信息类专业本科生电子技术实验课程编写的教学用书。希望学生通过实验课程的学习和实践,能够熟练掌握常规电子测量仪器原理和使用方法;掌握电子技术课程中单元电路的原理和性能;具备基本的电子电路的测试、调试、故障排除能力;加深对模拟电子技术、数字电子技术相关内容的理论知识点理解;初步掌握电子系统的分析、调试过程和方法,初步具备模拟、数字电路硬件设计能力;注重计算机技术在现代电子设计中的运用。最终目的是培养学生具备电子电路和系统的分析、综合、设计能力,同时形成严谨、科学的实验态度,具有独立思考、分析问题、解决问题的能力,具有一定的创新能力。

当今技术发展日新月异,电子技术也不例外。掌握最基本的模拟、数字电子技术是从事计算机、通信、自动化、测控、电气等专业课程学习的基础,扎实的基础是创新的条件和保障。因此在基础实验中不仅要掌握相关的知识和方法,为自己所用,更要逐步培养自己专业技术的研究兴趣,并逐步形成适合自己的学习科研方法。

本教材的编写理念是使教学内容更加丰富:例如有传统的电子电路原理,也引入了最新的可编程技术;内容主体贴近生活,有一定的趣味性,让学生“在玩中学习,在学习中玩”,在保证安全的前提下,寝室就是实验室,实验室是调试、演示、答辩的场所;实验教学过程中注重计算机仿真技术的运用,丰富分析、设计电路的手段;实验内容强调循序渐进,教学内容从半导体器件原理过渡到数字电路再到模拟电路,同时注重模拟数字的结合。实验内容注重验证性实验、综合性实验和设计性实验比例合理,前者与后两者之和比例约为1:1。

本书共有5章,第1章主要介绍电子技术实验的基本知识和方法,以及利用Multisim仿真软件进行电子电路的虚拟仿真和设计的过程和方法;第2章简单介绍几种电子技术实验中常用的电子测量仪器的原理及其使用方法;第3章介绍半导体分立元件电路;第4章介绍数字逻辑、时序、脉冲电路和可编程逻辑器件;第5章介绍模拟集成电路及其运用,为了帮助同学初步进行电子电路设计,在附录中包括了一些常用电子元器件的知识以及数字可编程逻辑器件编程语言的介绍,在1~5章后列出了若干带研究性的实验课题,以供同学选用。本书安排先数字电路后模拟集成电路的目的是和当前部分高校教学计划保持一致,而晶体管电子学作为电子技术的基础知识,我们将它放在了实验部分的最前面。

本书适合独立设课的电子技术实验课程,实验课程的独立设置可以帮助目前高校中实验中心整合教学资源,深化教学改革,提升学生实践能力。

本书由上海交通大学电工电子教学实验中心组织编写，父国华老师负责第1章内容的编写，李丹老师负责第2章内容的编写，邵群、张士文老师负责第3章和第4章中晶体管电子学、模拟集成电路、数字逻辑电路等内容的编写；张晴老师负责第4章可编程数字逻辑电路、附录4AHDL语言的编写。全书由父国华负责整理和统稿并担任主编。中心其他电子技术实验课程组老师为本书提供了丰富的教学案例和经验，研究生陈海滨、李永鹤、王自珍、黄远长等同学参与了文字和图形的计算机录入工作，本书的编写得到了上海交通大学电子信息与电气工程学院模拟电子技术课程组、数字电子技术课程组和实验中心领导、老师的大力支持。

本书由上海交通大学电子技术课程组组长蔡萍教授主审，蔡教授审稿认真仔细，对系统、内容及各细节均提出了中肯的意见，并改正了不少疏漏之处，使教材增色不少，在此表示衷心感谢。

由于电子技术发展迅速，新技术、新器材不断涌现，限于编者的阅历和水平，书中很难全面反映当今电子技术的发展成果，另外书稿虽经多次审校及修改，在原理理解及文字表达、表述等方面仍存在不足之处，恳请读者不吝批评指正。

联系邮箱：shuguohua@sjtu.edu.cn

编者

2011年3月于上海

学生实验守则

1. 实验前必须认真预习，写好实验预习报告。
2. 实验电路通电前必须认真检查接线，必要时使用万用表检查，确认无误后方可通电，实验的电压超过 36 V 时，应由老师在场检查后方可通电。
3. 操作时注意人身安全，严禁带电拆线或改接电路。
4. 爱护实验仪器，不随意移动、把玩仪器和设备。
5. 按照技术说明和操作规程使用仪器，防止设备事故。
6. 实验期间保持实验室环境整洁、安静，严禁在实验室饮食、吸烟，注意环境卫生，实验前后要洗手。
7. 实验结束后，关闭电源，经老师检查实验数据后，整理实验器材，离开实验室。
8. 实验结束后认真撰写实验报告，整理实验数据。

目 录

第 1 章 电子技术实验基础 1

- 1.1 电子技术实验概论 1
 - 1.1.1 电子技术实验的性质与任务 1
 - 1.1.2 电子技术实验的基本程序 1
 - 1.1.3 电子技术实验的操作规程 2
 - 1.1.4 电子技术实验报告的编写 2
 - 1.1.5 利用面包板搭建电子电路 3
 - 1.1.6 电子电路设计的一般方法 3
- 1.2 电子技术实验操作技术 8
 - 1.2.1 基本测量技术 9
 - 1.2.2 实验现场处理技术 10
 - 1.2.3 测量误差及数据的处理 13
- 1.3 Multisim 仿真软件及使用简介 14
 - 1.3.1 电子电路的仿真软件介绍 14
 - 1.3.2 Multisim 虚拟仪器 16
 - 1.3.3 Multisim 的电路分析 31
 - 1.3.4 Multisim 中自己创建电子元件模型 46
 - 1.3.5 Multisim 仿真分析实例 52
 - 1.3.6 关于虚拟实验与实物实验 55
- 1.4 实践课题 56
 - 课题 1.1 TTL 与非门电路的研究 56
 - 课题 1.2 CMOS 差分电路的研究 57

第 2 章 电子技术实验中常用的电子测量仪器原理与使用 59

- 2.1 示波器 59
 - 2.1.1 模拟示波器基本工作原理 60
 - 2.1.2 模拟示波器 SS-7702A 简介 63
 - 2.1.3 数字存储示波器 66
- 2.2 数字多用表 69
 - 2.2.1 双积分式转换器原理 69

- 2.2.2 数字多用表主要技术指标 72
- 2.3 电子电压表 73
 - 2.3.1 电子电压表工作原理 74
 - 2.3.2 AS2294D 型双通道交流毫伏表 76
- 2.4 频谱分析仪 76
- 2.5 失真度测量仪 77
- 2.6 扫频仪 78
- 2.7 数据域测试仪器 79
 - 2.7.1 逻辑笔 80
 - 2.7.2 数字信号发生器 81
 - 2.7.3 逻辑分析仪 82
- 2.8 直流稳压电源 86
- 2.9 函数信号发生器 88
- 2.10 实践课题 91
 - 课题 2.1 设计简易晶体管输出特性测试仪 91
 - 课题 2.2 设计简易逻辑测试笔 91
 - 课题 2.3 设计函数信号发生器 91
 - 课题 2.4 设计直流稳压电源 92

第 3 章 晶体管电子学实验 93

- 3.1 晶体管基本放大电路 93
 - 3.1.1 半导体三极管的三种基本放大电路 93
 - 3.1.2 单管低频放大器原理 94
 - 3.1.3 晶体管单级放大器实验(一) 98
 - 3.1.4 晶体管单级放大器实验(二) 99
- 3.2 负反馈放大器 100
 - 3.2.1 负反馈放大器原理 100
 - 3.2.2 负反馈放大器实验(一) 102
 - 3.2.3 负反馈放大器实验(二) 104
- 3.3 场效应管基本放大电路 105
 - 3.3.1 场效应管基本放大器工作原理 105

3.3.2 场效应管放大电路实验	107	4.7.2 数字万用表实验	147
3.4 晶体管电路应用举例——功率放 大器	108	4.8 数字可编程逻辑器件及 EDA 初步	148
3.4.1 功率放大器原理	108	4.8.1 数字可编程逻辑器件简介	148
3.4.2 功率放大器实验	110	4.8.2 数字系统的设计方法	149
3.5 实践课题	114	4.8.3 JDEE-20 在系统可编程器件实验箱 简介	150
课题 3.1 20W BTL 功放设计	114	4.8.4 多人表决器实验	153
课题 3.2 10W D 类功放设计	114	4.8.5 七段共阳 BCD 译码器和数码管显示 电路实验	159
第 4 章 数字电子技术实验	115	4.8.6 点阵的使用实验	165
4.1 数字电路基础知识	115	4.8.7 十字路口交通管理信号灯实验	171
4.2 TTL 门电路	118	4.8.8 简易数字钟实验	173
4.2.1 TTL 与非门工作原理	118	4.8.9 音阶发生器实验	174
4.2.2 TTL 与非门性能测试实验	119	4.8.10 四位二进制数的可控加法/减法 实验	175
4.2.3 基本组合逻辑电路工作原理	120	4.8.11 自动售饮料机实验	176
4.2.4 加法器、减法器 and 数码比较器 实验	125	4.8.12 出租车模拟计费器实验	179
4.2.5 代码转换电路实验	126	4.8.13 两层楼电梯控制器实验	180
4.2.6 编码器和译码器实验	127	4.8.14 电子密码锁实验	181
4.2.7 译码器的应用实验之一	128	4.9 实践课题	182
4.2.8 译码器的应用实验之二	129	课题 设计自行车里程、时速表	182
4.2.9 数据选择器实验	129	第 5 章 模拟集成电路实验	184
4.3 触发器	130	5.1 集成运算放大器	184
4.3.1 触发器的原理及其逻辑功能	130	5.1.1 集成运放基础知识	184
4.3.2 触发器逻辑功能测试及其转换 实验	132	5.1.2 运算放大器的使用及注意事项	188
4.4 计数器	133	5.1.3 运算放大器参数测试实验	192
4.4.1 计数器的基本工作原理	133	5.1.4 运算放大器在基本运算中的应用 实验	195
4.4.2 计数器实验	135	5.1.5 有源滤波器实验	198
4.5 数字脉冲电路	136	5.1.6 运算放大器在波形发生器中的应用 实验	203
4.5.1 数字脉冲电路产生	136	5.2 集成稳压电路	207
4.5.2 数字脉冲电路实验	139	5.2.1 三端式集成稳压器	207
4.6 数/模(D/A)和模/数(A/D)转换器	140	5.2.2 三端式集成稳压器实验	209
4.6.1 D/A 和 A/D 转换器基本原理	140	5.3 555 集成定时器	210
4.6.2 D/A 和 A/D 转换器实验	142	5.3.1 集成定时器 555 工作原理	210
4.7 数字集成电路应用举例——数字万 用表	143	5.3.2 555 集成定时器应用实验	211
4.7.1 数字万用表原理	143		

5.4 模拟集成电路应用举例——开关电源	213	附 2 通用数字逻辑集成电路芯片型号功能对照表	229
5.4.1 串联开关型稳压电路	213	附 2.1 常用 74/54 系列 TTL 数字电路型号功能表	229
5.4.2 串联开关型稳压电路实验	215	附 2.2 常用 CMOS 4000 系列数字电路型号功能表	234
5.5 本章实践课题	216	附 3 电子元件基础知识	236
课题 5.1 话筒、音频放大器	216	附 3.1 无源器件	236
课题 5.2 设计简易晶体管输出特性测试仪	217	附 3.2 控制元件	247
课题 5.3 设计简易逻辑测试笔	217	附 3.3 电声器件	248
课题 5.4 设计函数信号发生器	217	附 3.4 半导体器件及 SPICE 模型	250
课题 5.5 设计直流稳压电源	217	附 4 AHDL 语言简介	262
5.6 全书总研究性课题	217	附 4.1 概述	262
总课题 1 超声波测距仪设计	217	附 4.2 可编程逻辑器件中组合逻辑电路的设计	274
总课题 2 红外传输耳机	217	附 4.3 可编程逻辑器件时序逻辑电路设计	281
附录	218	附 4.4 ADHL 附录	302
附 1 常用电子元器件命名及图符	218	参考书目	305
附 1.1 常用电子元器件型号命名法	218		
附 1.2 常用半导体参数	224		
附 1.3 部分电气图形符号	227		

第1章 电子技术实验基础

本书介绍的电子技术实验是针对模拟电子技术、数字电子技术两门课程而开设的实验课程,因此分为模拟电子技术和数字电子技术两大部分,其中模拟电子技术又分成晶体管电子学和模拟集成电路两部分,数字电子技术分成组合逻辑电路、时序逻辑电路、数字脉冲电路和数字可编程逻辑器件四部分。本章主要介绍电子技术实验的基础知识,包括实验基本要求和过程、Multisim 仿真软件的使用。

1.1 电子技术实验概论

1.1.1 电子技术实验的性质与任务

电子技术实验是学习现代电子技术基础知识不可或缺的学习环节,学生在实践过程中进行观察、分析、研究,使理论与实践紧密结合起来,达到加深理解、巩固所学理论知识的目的,并能够将电子技术作为后续课程学习的基础,为开展专业学习和系统设计奠定基础。实验教学是提高学生的综合素质、培养学生的创新思维、实践能力和工程能力的一个非常重要的环节,也是提高学生独立工作,培养自主学习、自我发展的一个重要途径。

电子技术实验按实验性质分为三大类,即验证性实验、综合性实验及设计性实验。本书编写思路是:验证性实验的主要目的是使学生掌握基本单元电路和电路模块的工作原理和过程,涉及工作状态的调整 and 测定、电路参数和功能的判断等;综合性实验是利用多个单元电路,将其整合,形成一个小系统,该小系统能实现一定的应用功能,通过综合性实验提高学生综合运用所学理论的能力,形成工程观点;设计性实验以完成项目(或完整的系统)为形式,完成整个项目的设计、调试、测试、演示、答辩的过程,培养学生的综合创新能力。验证性实验可以根据学生的学习程度进行取舍,每个实验安排2个学时左右课堂教学,2个小时左右课外预习和准备;综合性实验课堂安排2学时进行调试和测试,课外要求有3~4小时的准备,包括电路仿真和实物搭接;设计性实验课堂安排4~6小时课堂测试和调试,其中2学时用于答辩或演示(每人10~15分钟),课外需要5~10小时用于电路设计、仿真实验、电路实物搭接,具体安排可以根据各个实验室教学安排适当调整进行。

1.1.2 电子技术实验的基本程序

虽然电子技术各实验项目的目的和内容要求有所不同,但是实验的基本程序是一样的,主要由三个环节组成。

1. 实验预习

实验前预习的作用是明确实验目的和要求,避免实验中的盲目性,提高实验效率。实验前预习要求复习实验电路知识,理解实验原理,拟出实验步骤和测试方法,列出相应数据记录表

格,进行理论分析计算相关参数,并进行计算机仿真,得出模拟仿真结果,在设计性实验中,要求计算机模拟仿真设计电路结构、优化参数。最后完成实验预习报告。

2. 实验环节

实验环节就是学生利用实验仪器和实验器材,亲自动手对电路进行组装、调试、测试的过程,要求完成实验相关内容,筛选和记录实验数据,记录实验中发生的现象和解决问题的过程。这是学生感受理论联系实际的过程,起到培养动手能力、实践能力和掌握基本技能的作用。其中综合性、设计性实验过程是知识综合应用的过程,是提高学生工程能力和创新能力必不可少的环节,这类具有探索性的实验对于提高学生的综合素质、培养创新意识非常有益。

3. 实验报告

撰写实验报告就是对实践过程详细记录及实验内容的再思考,对实验中得到的数据进行分析、总结和得出结论的过程,通过撰写实验报告,可以起到培养和提高学生分析问题能力、训练思维能力和创新能力的作用。

1.1.3 电子技术实验的操作规程

实验者应熟悉和遵守实验室规则,养成良好的科学的实验操守。在电子技术实验过程中,除了要遵守《学生实验室守则》外,还要求遵守下列操作规程:

1. 实验前应先熟悉实验仪器设备,了解仪器设备的使用条件和注意事项。

2. 根据预习报告内容,按实验方案独立进行实验;实验中若出现问题甚至发生电路故障,(在非紧急情况下)应尽量独立思考,耐心排除故障,并记下排除故障的过程和方法,这是培养学生独立工作、自主解决问题最好的机会,如果自己不能解决时,再与指导老师讨论或向其请教。

3. 实验过程中如果需要修改线路和连接时,须先断开电源,然后再进行操作。

4. 采用正确的测量方法才能得到真实、准确的实验数据。要全面记录实验条件(包括时间、地点、座位号、仪器名称、型号等)和所得数据、波形,如有条件,可使用数码相机、手机等工具进行拍摄,保存原始数据。

5. 实验中若发生异常情况(如发现异味、元器件过热、异常声音、电源跳闸保护等),要立即切断电源,并报告指导教师和实验室工作人员等待处理。

6. 学生实验结束时,关掉电源,不要拆除线路,先将实验原始记录送指导教师审阅签字,同意后方可拆卸实验装置和电路,整理器材离开实验室。

1.1.4 电子技术实验报告的编写

实验报告的编写必须格式规范、文理通顺、书写整洁;符号标准、图表齐全;讨论深入,结论简明。内容中要说明实验原理、使用的实验设备和器件、测量数据的原始记录和处理结果(如数据、表格、波形、图形等)分类列出,如果预习时曾经进行电路仿真,可将理论值、仿真值和实际测量值进行比较。分析数据时要去粗取精、由表及里,结合理论知识进行研究讨论,还要进行误差分析,最后得出有理有据的结论。

1.1.5 利用面包板搭建电子电路

面包板是实验室中常用的电路连接调试工具,如图 1.1.1 所示,通常用于制作供测试用实验电路。面包板不需要焊接,可以很容易地改变连接和更换元件,而且不会破坏元件,实验完毕之后还可以重新利用这些元件。

实验时使用的所有器件都在面包板上接插连线,实现各种电路功能,所以熟练掌握面包板的使用方法是提高实验效率、减少实验故障的基础之一,下面我们就面包板的使用技巧做简单的介绍。

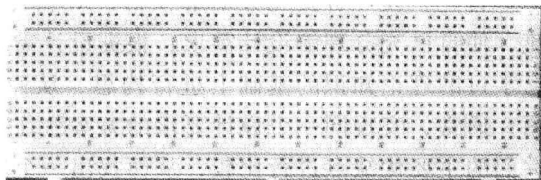


图 1.1.1 面包板

面包板上的连线可以采用直径为标准尺寸的 0.6 mm 粗细、塑料外皮的单芯铜线。布线是完

成实验任务的重要环节,要求走线整齐、清楚,横平竖直,切忌混乱。有条件的话,使用不同颜色的导线,以示区别,如电源线采用红色导线,地线采用黑色,定义相同的线路采用同一颜色的导线等;布线次序一般是先布电源线和地线,再布固定电平的规则线,最后按照信号流程逐级连接各逻辑控制线。切忌无次序连线,以免漏线;导线应在集成电路芯片周围走线,切忌在集成电路上方悬空跨过;应避免导线之间的互相交叉重叠,并注意不要过多地遮盖其他插孔,所有走线尽可能贴近面包板表面;在合理布线的前提下,导线尽可能短些。尤其对较复杂电路,由于使用元器件较多,在面包板上安装集成电路芯片和其他元器件之前,应仔细排列,反复调整位置,元器件布局合理才能使连线尽量短。所以清楚和规则的布线有利于实现电路功能,并为检查和排除电路故障提供方便。

一些元件如开关、驻极体话筒、可变电位器等,自己本身的管脚不合适插入面包板插孔,需要给这些元件焊接合适的管脚。在面包板上插拔芯片、元器件、连接导线必须关断电源,全部连线完成后,检察无误再通电。

1.1.6 电子电路设计的一般方法

在掌握了基本的电子电路或完成了基本单元电路的实验后,可以逐步开展“综合实验”、“研究型的实验项目”、“设计性实验”,甚至开展“电子设计”,设计一个具有一定功能的电子小系统或实用电子装置,该系统或装置通常是由多个单元电路组成的比较复杂的电路。下面讨论此类系统设计的一般方法。在进行电子系统设计时,通常不但要考虑系统总体电路的设计,还要考虑系统各部分电路的选择、设计及它们之间的相互连接。由于各种通用和专用的模拟、数字集成电路的大量涌现,所以在电子系统的方案框图确定后,除少数电子电路的参数需要设计计算外,大部分只需根据电子系统框图各部分要求正确选用模拟和数字集成电路的芯片就可以了。

电子设计通常采用“顶层设计”的方法,即由上到下,由总体到各模块,由模块再到电路的过程。电子系统的设计没有固定不变的步骤,它往往与设计者综合应用所学知识的能力、经验等有密切关系。常用的电子系统设计过程通常包括:

- ① 总体设计:分析系统总体需求、确定方案、设计系统框图;

② 电路设计：单元电路设计与选择、电子元器件的选择、单元电路之间的连接；

③ 系统制作、测试：系统电路搭接、方案及单元电路测试，根据测试结果，修改电路参数或结构，直至完成设计指标要求；

④ 设计报告：绘制总体电路，最后写出设计报告。

一、总体设计

首先，设计者要充分了解项目，对项目所有要求的指标和技术要求进行详尽的讨论和交流，使自己充分理解设计需求；根据设计需求进行认真分析和研究，通过收集和查阅资料，在已学过的理论知识的基础上进行构思，从而提出实现设计要求的可能方案，并画出相应的框图；通常，实现同一个设计要求的方案往往不止一个，这时就应对每一个设计方案的可行性及它们的主要优缺点进行比较，从而找出一个较为合理的设计方案。对于关键部分电路的可行性首先应在原理进行验证，而后还需进行电路仿真计算，甚至进行实际搭试，只有搭试成功后才能确定电路的总体方案框图。

在进行设计方案选择时，还应注意以下几个问题：

1. 总体方案是一个反映设计要求的、合理的粗略框图，它不涉及许多具体的细节问题。总体方案框图中的每一个方框图应具有一个独立的功能，并用文字写在方框内。每一个方框图可能由一个单元电路组成，也可能由多个单元电路组成。总体方案框图不宜分得太粗，但也不宜分得过细。

2. 总体框图按信息流向设计，信息流向一般按从左到右、从上到下的方向来画，并用箭头“→”表示数据信息和控制信息的流向。

3. 总体方案框图应画在同一张纸上，这样便于阅图，也便于分析、排除故障。

二、电路设计

1. 单元电路选择与设计

在系统方案的框图确定以后，应明确方案中每一个方框图的任务，在此基础上便可进行单元电路的选择与设计。可以根据查阅资料、手册，阅读教科书、期刊文献、互联网资料等途径获得适合本设计的电子单元电路，以便进一步论证，选择合适的电路，有时还需对电路进行改造和设计。

有时满足某个框图要求的电路可能有多个，这时也需对各个电路进行分析和比较，从中选出电路结构简单、成本低，而又能满足设计要求的电路。在进行单元电路的选择与设计时，还应注意它们之间应协调一致地工作。对于模拟系统，根据需要选择合适的耦合方式进行连接，功率放大器件还应考虑与负载的匹配问题。对于数字系统，它主要是通过控制电路协调各部分电路工作的。因此，控制电路不允许出现竞争冒险现象，否则控制电路会出现控制错误，使电路不能正常工作。同时还应注意 CMOS 电路和 TTL 电路之间的电平配合，有时还需要加入接口电路，否则电路也不能正常工作。

2. 参数计算、电路仿真

为了保证单元电路达到设计要求，还需对某些单元电路进行参数计算和元器件的选择。如放大电路中的各个电阻值和放大倍数的计算，振荡电路中的电阻、电容、振荡频率的计算，单稳态触发器中的电阻、电容和输出脉冲宽度的计算等，一旦参数计算完成，可以通过电路仿真软件进行计算机仿真，以确保电路正确性。只有单元电路的技术指标符合要求了，才能保证总

体设计方案的实现。

进行单元电路设计时,在理解电路工作原理的基础上,正确利用模拟和数字电路中的有关公式进行计算,才能设计出符合要求的单元电路。在进行电路参数计算仿真时,应注意以下几点:

(1) 如没有特殊要求,模拟集成电路和数字集成电路应尽量选用通用集成电路。这样既可保证货源,又降低了成本。不要盲目追求高性能、高指标,只要能满足设计要求就可以了。

(2) 电路元器件的工作电压、电流、频率和功耗等都应符合电路要求,并留有一定的裕度。对半导体器件来说,一般按照大于额定值的 1.5 倍来选择,以保证电路能安全可靠地工作。

(3) 计算电路参数时,应考虑最不利的工作环境,如温度的最高与最低,电网电压波动的变化范围对工作的不利影响等。

(4) 电阻的数值和 $100\text{ pF} \sim 0.1\text{ }\mu\text{F}$ 范围内的非电解电容的数值,应选择计算值附近的标称值。

(5) 利用计算机软件的强大功能,通过软件分析功能,进行元器件或电路参数的优化设计,如通过元件参数的扫描,选择最好电路特性时的器件参数,考虑器件的最坏情况时对电路特性影响等。

三、电路之间的级联设计

在完成了单元电路的设计和选择后,接下来就应仔细考虑它们之间的级联问题,如电气特性的相互匹配、信号的耦合、时序配合等。只有解决了上述问题,才能使单元电路和总体电路稳定可靠地工作,本过程也可以和计算机仿真软件配合进行。这里主要考虑:

1. 电气特性的相互匹配

电气性能的相互匹配主要包括阻抗匹配、线性范围匹配、负载能力匹配和高低电平匹配等。前两种情况是指模拟电路之间的匹配,第四种是数字电路之间的匹配问题,第三种是模拟和数字单元电路都有的匹配问题。从提高放大倍数方面考虑,要求下一级(后级)电路的输入电阻要大、上一级(前级)电路输出电阻要小;从改善频率响应方面考虑,则要求下一级电路的输入电阻要小。

2. 信号耦合方式

单元电路之间的耦合方式主要有:直接耦合、阻容耦合、变压器耦合和光电耦合四种,它们在电子技术课程中已详细讨论,这里不作介绍。上述四种耦合方式中,直接耦合和阻容耦合用得较多,如要求只传送交流信号而不传送直流成分时,应采用阻容耦合,否则采用直接耦合。如在传送信号时需要电隔离,则可采用光电耦合方式,变压器耦合尽量少用或不用。

3. 时序配合

时序配合是数字系统设计时必须考虑的问题。为了能让数字系统正常工作,应根据系统正常工作的要求来确定哪个控制信号先作用,哪个控制信号后作用,这样整个系统在统一的时序脉冲作用下,可协调有序地工作,否则会造成时序配合上的混乱,甚至会导致系统不能正常工作。

时序脉冲的相互配合同时又是一个很复杂的问题,为了能获得一个合理的时序控制信号,首先要认真分析整个系统各部分电路协调有序工作时所要求的时序脉冲先后时间的顺序,并画

出相应的时序波形图,然后设法设计出能实现该时序波形图的时序电路。应当指出,在模拟系统中,不存在时序问题,而在数字系统或数字和模拟电路组成的混合系统中都存在时序问题。

以上几点都可以在仿真软件中先实验,根据元件条件和实验效果修改不同的方式,达到最佳的性能。

四、总体电路图

在完成了单元电路设计及它们之间相互连接关系确定后,可进行总体电路的绘制。总体电路图是电子设计的重要文件,是电路安装接线、测试调整、分析排除故障和绘制印刷电路板的主要依据。总体电路图只是一个草图,还不是正式的图纸,只有在总体电路经测试调整,并达到设计要求后,才能画出正式的、完整总体电路图。

设计总体电路图时应采用目前流行的电子设计软件,在计算机上进行,使用规范的图形符号,图纸布置应清晰整齐,能反映总体电路的组成、工作原理、各部分电路之间的关系及信号的流向。在绘制总体电路图时,应注意以下几点:

1. 布置要合理

按照信号的流向从左到右依次均匀排列各单元电路,一般不要将电路图画成窄长条,必要时可按信号流向把各个单元电路画成横的“ $\supset$ ”字形,它的开口可朝左,如图1.1.2(a)所示。如一排画不下,也可画两排,如图1.1.2(b)所示。两边标明a,则表明a—a相连,这时虚线可不画;如不标a时,则方框3的输出和方框4的输入可直接相连,见图中虚线。

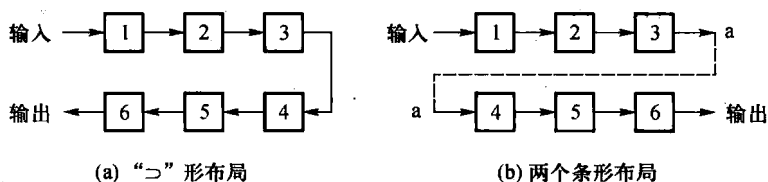


图 1.1.2 单元电路的布局

2. 总体电路图应画在一张纸上

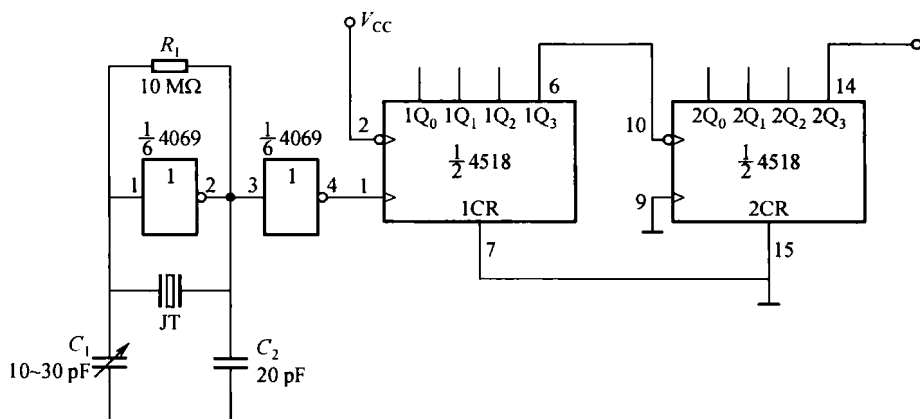
对于不是很复杂的总体电路图,应将设计放在一页图纸上。对于比较复杂的总体电路需要画数张图纸时,应将主要部分画在一张纸上,而一些次要的、较独立的部分可画在另外的图纸上,但必须在断开处标明从一张图纸引出点到另一张图纸引入点的连接符号。或者采用分层设计的方法,第一页画系统结构框图及各框图之间的连接,第二页、第三页画框图中详细的电路图。

3. 采用标准的图形符号

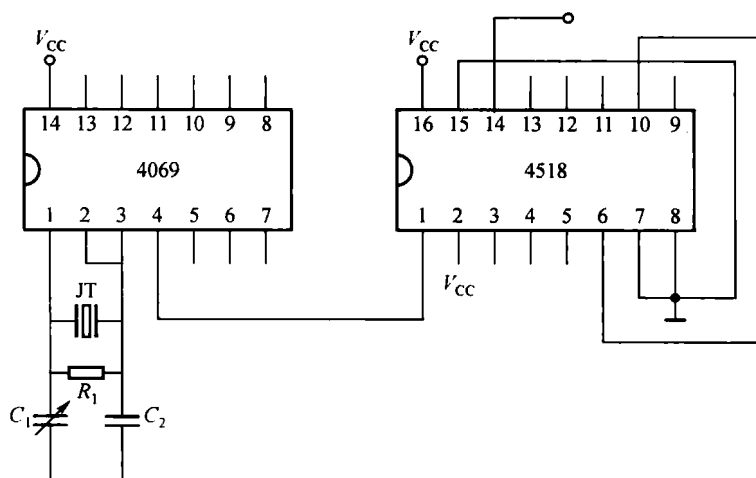
系统总体电路图应采用国家标准规定的图形符号。作为原理图时尽量采用器件原理图的方法,而不要使用器件接线图,这样便于其他人理解,同时在原理图的基础上标上接线信息(如引脚号等)。如图1.1.3(a)所示为CMOS石英晶体振荡器经100分频输出的电路,这种画法读者不但容易看懂逻辑电路的原理,也便于分析和排除故障。如画成图1.1.3(b)所示的电路图时,读者是不易看懂它的原理的,更难于查找问题,这种画法实际上是画的连线图。因此,总体电路图应画成图1.1.3(a)所示的原理图的形式。

4. 连线清晰、工整

常用的电子设计软件都是很好的电子电路原理图设计工具，充分利用这些工具，可以设计出规范标准的原理图。通常要求各单元电路之间的连线应为直线，连线通常画成水平线和竖线，不画斜线。互相连通的交叉线，在交叉处用实心圆点标记。连线要尽量短。公共电源线、时钟线等可用规定的符号表示，不需要直接画出连线。如电源用 $+V_{CC}$ (或 $+V_{DD}$) 或 $-V_{CC}$ (也可用电源电压数值标记, 如 $+5\text{ V}$ 、 -5 V 等)。地线用 “ $\perp$ ” 表示，时钟用 CP 表示。



(a) 原理图画法



(b) 接线图画法

图 1.1.3 石英晶体振荡器经 100 分频电路的两种电路图

5. 电子元件的数值标记在相应元件的附近

电阻和电容的文字符号和数值应标记在相应元件的附近，同时还应注明电阻和电容的单位、封装规格、容差、耐压等参数。二极管和三极管的文字符号和型号应标在其旁边。集成电路的文字符号和型号可标注在器件图形符号中或附近。

五、电子设计报告

设计报告是对学生综合能力和撰写技术总结报告能力的重要训练，比实验报告体现了更多

独立工作的内涵,它既可提高学生的文字组织和语言表达能力,又将实践训练的内容上升到理论的高度,有利于提高学生灵活运用理论知识,并将所学知识用于解决实际问题的能力和创新意识的培养。

电子设计报告包括预设计报告和设计总结报告两个方面的内容,它们的要求如下:

1. 预设计报告内容

- (1) 完成总体方案框图;
- (2) 画出总体电路图(或逻辑电路图);
- (3) 完成各单元电路设计与选择、仿真原理图、仿真结果;
- (4) 总体电路原理及说明、计算机总体仿真结果;
- (5) 画出总体电路(或逻辑电路)的安装接线图;
- (6) 开出电子元器件清单 BOM 表(BOM, Bill of Material);

在完成预设计任务后进实验室领取材料,进行安装接线和测试调整,完成所有项目和技术要求后,撰写设计报告,设计报告是对整个设计过程、制作、调试、测试过程的总结。

2. 设计报告内容

- (1) 设计报告名称;
- (2) 设计任务(或技术要求);
- (3) 总体方框图;
- (4) 总体电路图(或总体逻辑电路图)及简要说明;
- (5) 各单元电路设计、电路参数计算及简要说明、计算机仿真过程及结果图表等;
- (6) 总体电路(或总体逻辑电路图)的安装接线图;
- (7) 安装调试过程(遇到问题和解决问题的过程);
- (8) 详尽的测试方法、结果及其分析,包括选用仪器和仪表、测试调整步骤、实测数据和波形、故障分析和排除,并对测试结果进行分析与比较;
- (9) 心得体会;
- (10) 电子元器件清单。

以上的方法论述是指一般性的原则,所有设计不是要求完全按部就班,但是原则性的还是要坚持,养成良好的撰写设计报告的习惯,对今后课程的学习和撰写项目总结、毕业设计论文(报告)均有帮助。

1.2 电子技术实验操作技术

在电子技术实验中,不管是真实电路实验还是计算机仿真实验,都要求掌握电路组装、电子测量、电路调试、误差分析及数据处理等技术,逐步培养排除故障及避免或抑制噪声干扰的能力。实验能否达到目的,是通过分析实验数据来印证的,因此收集足够的、合理的、真实的原始数据,是实验成功与否的保证,电子测量技术正是取得实验数据的重要手段,由于技术的发展,电子测量的手段和仪器也日新月异,由于实验室条件的限制,不可能一一配置所有实验仪器,在本课程中主要掌握一些基本电子测量方法及仪器。另外,在实验过程中,电路组装、调试、排障、消除干扰等能力是正确测量的保证,误差分析及数据处理是测量结果的应用,在