



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI

电子技术基础实验、 综合设计实验与课程设计

侯建军 主编

侯建军 佟毅 刘颖 曾涛 马英新 编著



高等教育出版社

TN-33/30

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
北京高等教育精品教材

电子技术基础实验、综合 设计实验与课程设计

侯建军 主编

侯建军 佟毅 刘颖 曾涛 马英新 编著

高等教育出版社

内容简介

电子技术基础实验、综合设计实验与课程设计是电气信息类专业重要的实践课程,本书于2006年被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和北京高等教育精品教材。第1章和第2章介绍了电子技术实验的基本知识。第3章介绍了模拟电子技术实验的基本技能实验和综合设计型实验。第4章介绍了数字电子技术实验的基本技能实验和综合设计型实验。第5章介绍了电子设计自动化技术,包括可编程器件原理、软/硬件平台的操作指南和综合设计型实验。第6章介绍了电子技术课程设计和设计综合型实验。

本书力求注重学生综合素质、创新意识的培养,通过从验证性实验转移到加强基本技能的训练,从小单元局部电路为主的实验转移到多模块、综合系统实验,从单一的实验室内实验形式转移到课上课下、实验室内外的多元化实验形式,培养学生自主学习的能力和分析问题、解决问题的能力。

本书可作为高等学校工科电子信息工程、通信工程、自动化、电子科学与技术、测控技术与仪器等专业的电子技术系列实验课程、电子设计自动化(EDA)和电子技术课程设计教材使用,也可供相关领域的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验、综合设计实验与课程设计 / 侯建军主编. —北京: 高等教育出版社, 2007. 10
ISBN 978-7-04-022387-3

I. 电… II. 侯… III. ①电子技术-实验-高等学校-教材②电子技术-课程设计-高等学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 141340 号

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 100011
总 机 010-58581000
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 27.5
字 数 520 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007年10月第1版
印 次 2007年10月第1次印刷
定 价 31.40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 22387-00

前 言

“电子技术基础实验、综合设计实验与课程设计”是电气信息类专业重要的实践课程。本教材2006年被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材和北京高等教育精品教材。本书主编侯建军教授主持建设的“数字逻辑与系统”课程2003年被评为首批国家精品课程(网址:<http://col.njtu.edu.cn/jingpinke/xhyxt/index.htm>)。

在实践教学方面,本教材力求注重学生综合素质、创新意识的培养,对电子技术实验体系、内容及实验方法进行了较大力度的改革。主要体现三个方面的转变,即从验证性实验转变到加强基本技能的训练,从小单元局部电路为主的实验转变到多模块、综合系统实验,从单一的实验室内实验形式转变到课上课下、实验室内外的多元化实验形式。通过多年实验教学的实践,体现三个转变的实验教学内容与方式取得了很好的教学效果。在方法与效果上形成从实验辅导到实验引导,从静态实验内容到动态实验内容,从面向实验结果到面向实验过程,培养了学生自主学习的能力和分析问题、解决问题的能力。

本教材在编写时,既保证传统、经典的基础实验,又充分吸收新概念、新理论和新技术。既有基本的技能测试训练,又增加了大量的综合设计型实验。力求教学和科研相结合,处理好先进性和适用性的关系,处理好教材内容变化和基础内容相对稳定的关系。力求教材重点内容突出,基本概念明确清晰,贯穿少而精和理论联系实际的精神。

本教材第1章和第2章介绍了电子技术实验的基本知识。第3章介绍了模拟电子技术实验的基本技能实验和综合设计型实验。第4章介绍了数字电子技术实验的基本技能实验和综合设计型实验。第5章介绍了电子设计自动化技术,包括可编程器件原理、软/硬件平台的操作指南和综合设计型实验。第6章介绍了电子技术课程设计和设计综合型实验,覆盖面广,可操作性强。

参加本教材编写的教师多年从事电子电路课程体系、课程内容的改革,有多年实验教学经验。本书第1章由佟毅执笔,第2章由马英新执笔,第3章由佟毅、马英新执笔,第4章由刘颖执笔,第5章由侯建军执笔,第6章由曾涛执笔。侯建军任主编,并负责全书的整理和统稿。

张有根、陈后金教授对本教材的实验体系、实验内容及实验管理进行了多方面的研究与讨论,并给予了肯定。北京革新科技有限公司提供了实验系统和多年研究的EDA实验内容。博士生李赵红、宋伟检验了书中的实验。在此,向他们表示衷心的感谢。

借此机会也向所有关心、支持和帮助过本书编写、修改、出版、发行工作的同志们致以诚挚的谢意。

限于水平,书中难免存在不妥之处及错误,恳请读者批评指正。

编者
2007年2月

目 录

第 1 章 电子技术实验预备知识	1
1.1 电子技术实验的目的和意义	1
1.2 电子技术实验的一般要求	2
思考题	4
第 2 章 电子实验测量、调试技术	5
2.1 电子测量的基本概念	5
2.1.1 测量及其重要意义	5
2.1.2 电子测量及其应用	5
2.1.3 电子测量的分类	6
2.1.4 电子测量的特点	7
2.1.5 电子测量的内容	8
2.1.6 电子测量技术的发展	9
2.2 电子测量的误差理论与数据处理	9
2.2.1 误差的概念与表示方法	9
2.2.2 实验数据处理基本知识	14
2.3 电子电路基本参数的测试方法	20
2.3.1 电压测量	20
2.3.2 时间测量	24
2.3.3 相位测量	25
2.3.4 调幅度的测量	26
2.3.5 放大电路输入电阻与输出电阻的测量	26
2.3.6 幅频特性与通频带的测量	29
2.4 电子电路调试	30
2.4.1 调试方法	30
2.4.2 调试过程中的注意事项	34
2.5 基本电子测试仪器的使用	36
2.5.1 信号发生器	37
2.5.2 示波器	50
思考题	69
第 3 章 模拟电子技术实验	71
3.1 模拟电子技术基础实验	71

3.1.1	单级低频放大电路	71
3.1.2	负反馈放大电路	81
3.1.3	场效应管放大电路	87
3.1.4	集成运算放大器参数测试	93
3.1.5	集成运算放大器的应用	99
3.1.6	集成功率放大器	108
3.1.7	二阶有源滤波器	112
3.2	模拟电子电路综合设计	123
3.3	模拟电子技术综合设计型实验实例	126
3.3.1	集成直流稳压电源——半导体器件设计及其应用	126
3.3.2	语音前置放大器——电路参数设计及其应用	132
3.3.3	多种波形发生器——集成运算放大器综合设计	136
3.3.4	语音放大器——模拟电路综合设计	140
3.3.5	功率放大器——电路故障检测设计	142
第4章	数字电子技术实验	146
4.1	基本单元电路实验与测试	146
4.1.1	数字集成电路概述	146
4.1.2	集成逻辑门电路参数指标及使用注意事项	150
4.1.3	集成逻辑门电路基本参数与逻辑功能测试实验	153
4.1.4	组合逻辑电路基本实验	160
4.1.5	集成触发器的功能测试与应用实验	174
4.1.6	时序电路的基本实验	178
4.1.7	集成555定时器的功能与应用	185
4.1.8	A/D、D/A转换电路基本实验	189
4.1.9	随机存储器基本实验	197
4.1.10	数字逻辑电路的检查与测试方法	199
4.2	数字电子技术综合设计实验	201
4.2.1	数字电子技术综合设计型实验的设计方法	202
4.2.2	TTL和CMOS集成逻辑门的逻辑功能与参数测试 ——基础测试性实验	205
4.2.3	数字显示电路——组合电路综合设计	206
4.2.4	可编程彩灯电路——时序电路综合设计	210
4.2.5	D/A转换和只读存储器电路综合设计	214
4.2.6	可编程时钟控制器——综合设计性课程设计	215
4.3	数字电子技术综合设计型实验实例	218

4.3.1	可预置定时电路	218
4.3.2	加/减法运算电路	224
4.3.3	多路抢答器	229
4.3.4	交通灯控制电路	231
4.3.5	多功能流水灯	232
4.3.6	数字式频率计	234
4.3.7	出租汽车里程计价表	236
4.3.8	洗衣机控制电路	238
第5章	电子设计自动化系统实验	241
5.1	数字可编程系统实验意义与目的	241
5.2	可编程逻辑器件的结构与原理	242
5.2.1	可编程逻辑器件的基本结构	242
5.2.2	Altera 可编程逻辑器件	249
5.2.3	Altera 器件系列	251
5.2.4	FLEX10K 系列	252
5.2.5	ACEX1K 器件系列	269
5.3	MAX + plus II 平台操作指南	270
5.3.1	安装指南	271
5.3.2	实验一 2 位十六进制数转换为 2 位十进制数	271
5.3.3	实验二 七段共阳 BCD 码显示译码器	289
5.3.4	实验三 4 位二进制加法器	295
5.3.5	EDAPRO/240H 综合实验系统简介	301
5.4	可编程器件数字系统设计方法	331
5.5	可编程器件综合数字系统实验	332
5.5.1	组合逻辑电路设计	332
5.5.2	时序逻辑电路设计	334
5.5.3	状态机设计	335
5.5.4	数字系统设计	340
5.5.5	数字系统综合设计思考题	344
第6章	电子技术课程设计	349
6.1	电子技术课程设计基础	349
6.1.1	课程设计概述	349
6.1.2	课程设计的方法与步骤	351
6.1.3	电路安装、调试与抗干扰技术	366
6.2	电子技术课程设计举例及题目汇集	376

6.2.1 课程设计举例	376
6.2.2 课程设计题目选编	384
附录	406
附录 A VHDL 程序清单	406
附录 B 基本逻辑门电路图形符号	421
附录 C 常用组合电路图形符号	423
附录 D 基本触发器电路逻辑符号	426
附录 E 常用时序逻辑电路图形符号	428
参考文献	431

第1章 电子技术实验预备知识

1.1 电子技术实验的目的和意义

电子技术课程是电类专业的一门实践性很强的专业技术基础课,其实验教学是一个重要的环节。对于电子技术这样一门具有工程特点和实践性很强的课程,加强工程训练,特别是技能的培养,对于培养工程技术人员的素质和能力具有非常重要的作用。在积累了多年电子技术实验教学体系与内容改革经验的基础上增加了设计性和综合设计性实验内容,这对提高学生的自主学习能力、综合设计能力以及创新意识是非常重要的。

通过基础测试实验教学,可使学生掌握器件的基本性能、电子电路基本原理及基本的实验方法,从而验证理论,并发现理论知识在实际中的应用条件,培养学生从大量的实验数据中总结规律、发现问题的能力。在这一阶段注重培养学生的基本技能。电子技术实验按其性质可分为基本技能型和训练型实验、设计型实验、综合设计型实验和仿真实验。

基本技能型和训练型实验主要针对电子技术课程内的理论验证和实际技能的培养,着重夯实基础。这类实验除了巩固加深某些主要的基础理论外,主要在于帮助学生认识现象,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

通过设计型实验教学,可提高学生的对基础知识、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,真正理解电子电路参数“量”的差别和工作“状态”的差别。

通过综合型实验教学,使学生了解各功能电路间的相互影响,掌握各功能电路之间参数的衔接和匹配关系,以及模拟电路和数字电路之间的结合,可提高学生单元功能电路理解和灵活运用能力、综合运用能力和创新能力。

通过仿真实验教学,使学生掌握各种仿真软件的应用,各软件具有的功能、特点,学会电子电路现代化的设计方法。在实验中软件的使用以自学为主,再结合具体的题目,培养学生对新知识掌握和应用的能力。

1.2 电子技术实验的一般要求

一、电子技术实验的基本步骤

模拟电子技术实验和数字电子技术实验需遵循一定的实验步骤,才能顺利进行实验,获得正确的测试结果。实验所遵循的步骤是:预习(设计)→实验操作→实验总结→综合实际情况撰写实验报告。

1. 预习

① 实验前要充分预习,包括认真阅读理论教材及实验教材,深入了解本次实验的目的,弄清实验电路的基本原理,掌握主要参数的测量方法,设计实验并准备好相应的元器件。

② 阅读实验教材中关于仪器使用的章节,熟悉所用仪器的主要性能和使用方法。

③ 估算测试数据、实验结果,并写出预习报告。

2. 实验操作

① 根据电路选择元器件,并对其好坏进行判断。

② 连接(焊接)电路,连接完毕后检查其与原理图是否完全一致。

③ 将已调节好的电源打开,粗测电路是否正常,排除出现的故障。

④ 逐次测量电路各种指标,与理论值比较(是否满足设计要求),误差在10%之内(满足工程要求)说明实验结果正确,否则应该找出原因改变电路参数重新测量。测量结果要有记录,作为原始实验数据。一般应该有两次以上的测量记录。

⑤ 在做综合设计型实验时,应注意先分级调试,然后再级联,做系统测试。

3. 实验总结

① 将原始数据进行整理、分析。

② 进行误差计算,并进行分析。

③ 对实验中的故障问题和现象进行具体分析。

④ 撰写本次实验报告。

二、电子技术实验的操作规程

正确的操作方法和操作程序是提高实验可靠性和实验效果的保障。因此,要求在每一操作步骤之前都要做到心中有数、目的明确。操作规程如下。

① 按照实验原理连接好实验电路。

② 在直流电源空载情况下调整好电源电压,断电后按极性要求接入实验电路。

③ 在信号源空载时调整好频率、电压,使其满足实验要求。

④ 先接通直流电源,再接通信号源电源。

⑤ 实验中要眼观全局,先看现象,有无异常现象,然后再进行实验。

⑥ 不能带电插拔器件和连线,以免烧坏电路。

⑦ 测试时,手不得接触测试笔或探头金属部位,以免造成干扰。

⑧ 实验完毕,先关掉仪器设备开关,再关掉实验电路供电电源,最后拆掉实验连线。

三、电子技术实验报告的撰写

实验报告是实验不可缺少的一部分,如何根据实验数据和实验过程撰写一份既简明扼要又内容完整的实验报告,是学生在校期间应该培养的基本素质。实验报告结构如下。

1. 实验名称

每篇实验报告均应有名称,应列在报告的最前面。实验名称应该简练、鲜明、准确,既能令人一目了然,又能恰当反映实验的性质和内容。

2. 实验目的

用简短的文字叙述本实验的目的。实验目的要具体,不要超出实验范围,更不要泛指。

3. 实验原理及内容

简要阐述实验基本原理和实验的基本知识点。将要完成的实验内容完整、详细地写出来。

4. 实验设计与实验方法

按要求写入已知条件和设计要求,画出设计的电路图,注明各元器件参数,设计步骤可采用附录的形式。

报告中简要地描述实验方法,详细说明实验步骤,对于某些复杂或关键步骤更应详细描述。

5. 实验分析

根据测量的实验结果,对实验数据进行必要的计算,列出表格,画出波形或曲线图,和理论计算值进行比较,分析误差原因。

说明实验过程中出现的主要故障及解决的办法。若有波形失真,分析其失真原因。

6. 实验总结

每正确完成一项实验都会有很多的收获和体会,有成功的经验也有失败的

教训,应该及时总结,不断提高。实验后还可以提出关于此项实验的有关建议,具体指出实验中存在哪些问题,应该如何改善,以及实验内容的创新改造。

【思考题】

1. 简述电子技术实验的目的和意义。
2. 做实验的基本程序是什么?请具体描述一个实验操作过程。

第2章 电子实验测量、调试技术

2.1 电子测量的基本概念

2.1.1 测量及其重要意义

测量的定义是“为确定被测对象的量值而进行的实验过程”。

测量是通过实验获得对客观事物定量表征的过程。为了确定被测量的量值,可以借助专门的仪器设备,如万用表、示波器、信号发生器等,把被测量与标准同类单位量进行比较,从而确定被测量与单位量之间的数值关系,并用数值和单位共同表示测量结果。测量结果的表示方法多种多样,如数据表格法、曲线图形法,然而,它们依然是由一组具有单位的数据组成,如用万用表测量某电阻,万用表的指针偏转了5个格,欧姆挡挡位设置为“ $R \times 1 \text{ k}$ ”,因此该电阻的阻值为 $5 \text{ k}\Omega$ 。

在上述测量过程中,有三个成分参与了测量。第一个是作为被测对象的电阻,第二个是作为测量标准的万用表,欧姆挡挡位为“ $R \times 1 \text{ k}$ ”,第三个是将被测量与标准进行比较的设备——万用表。所以,测量的实质就是将被测量与标准量进行比较,从而得出测量结果的过程。

测量结果是验证理论的客观标准。通过测量可以揭示自然界的奥秘,可以发现理论中存在的问题以及理论的近似性和局限性,从而促进科学理论的进一步发展。门捷列夫在论述测量的意义时说过这样一句名言:“没有测量,就没有科学。”

科学的进步,生产的发展,都需要用测量技术进行定量分析,以取得科学的数据。没有测量,人类就不能准确地认识世界。测量水平的高低反映一个国家科学技术发展的状况。在进入信息时代的今天,测量技术(获取信息)、通信技术(传递信息)和计算机技术(处理信息)被称为信息社会三大技术支柱。

2.1.2 电子测量及其应用

电子测量是测量学的一个重要分支。从广义上讲,凡是以电子技术为基本

手段进行的测量都可以称为电子测量。从狭义上讲,电子测量主要是利用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量,不仅如此,而且还可以通过各种传感器把非电量转换成电量来测量。因此,电子测量既用于电子领域,也广泛用于医学、光学、生物学、物理学等科学领域,以及国防、机械制造、交通、环保、安保、商贸及日常生活的各个方面。

2.1.3 电子测量的分类

1. 按测量性质分类

被测对象种类繁多,性质千差万别,根据被测量的性质将它们大致分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量四类。

① 时域测量是测量与时间有函数关系的量,如正弦信号和方波信号等。代表性测量仪器是示波器,它不仅可以在观测信号的波形,还可以测量信号的幅度、频率、脉冲宽度、上升时间和下降时间等。

② 频域测量是测量与频率有函数关系的量和信号的频谱分析。既可以通过扫频仪等仪器分析电路的幅频特性,也可以通过频谱分析仪来分析信号的频谱成分和相位特性。

③ 数据域测量是对数字逻辑量进行测量。用逻辑分析仪可以同时观测并行数据的时序波形,如微处理器数据线或地址线上的信号,既可以显示其时序波形,也可以用1和0显示其逻辑状态。

④ 随机测量主要是对各类随机的噪声信号、干扰信号进行测量,如噪声系数分析仪对噪声信号进行测量,电磁干扰测试仪对电磁干扰信号进行测量。

2. 按测量手段分类

对同一性质的被测量目标进行测量时,由于测量原理不同,选择的测试仪器、采用的测量手段也可能不一样。常用的有直接测量、间接测量和组合测量三种。

① 直接测量是指可以通过测量直接得到被测量的量值方法。例如用电压表测电压、用电流表测电流、用频率计测频率等。直接测量简单快捷,在工程测量中应用相当普遍。

② 间接测量是指当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,即间接获得测量结果。例如测量电阻 R 上流过的电流,可以先测量电阻 R 两端的电压,再根据函数关系 $U=IR$,计算出电阻 R 上流过的电流。在实际的测量中,如放大电路的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻都是采用间接测量的方法测量出来的。

③ 组合测量是指当某项测量结果需要用多个未知参数表达时,可通过改变测量条件进行多次测量,根据函数关系列出方程组求解,从而得到被测量的值,这种兼用直接测量与间接测量的方法称为组合测量。这种方法通过计算机软件进行求解,速度更快。

3. 按测量方式分类

按测量方式分可分为直读法和比较法。

① 直读法是用直接指示被测量大小的指示仪表进行测量,能够直接从仪表刻度盘上或从显示器上读取被测量数值的测量方法。例如,用欧姆挡测量电阻时,从指示的数值可以直接读出被测电阻的数值。这种方法是由于欧姆表的数值事先用标准电阻进行了校验,标准电阻已将它的量值和单位传递给欧姆表,因而间接地参与了测量。直读法操作方便、简单,得到广泛应用,但其测量的准确度不高。

② 比较法是将被测量与标准量在比较仪器中直接比较,从而获得被测量数值的方法。例如,用电桥测量电阻时,标准电阻直接参与了测量过程。这种方法准确度很高,但操作麻烦,相应的设备价格也比较昂贵。

根据测量的自动化程度不同,还可以分为自动测量和非自动测量。根据测量的精度不同,可以分为工程测量和精密测量。

2.1.4 电子测量的特点

由于电子技术领域中的新理论、新技术、新器件、新材料和新工艺的不断涌现,使电子测量技术得到了前所未有的迅速发展。与其他测量技术相比,电子测量具有以下特点。

1. 测量速度快

由于电子测量是通过电子运动和电磁波的传播来进行的,加之现代测试系统中高速电子计算机的应用,使得电子测量无论在测量速度方面,还是在测量结果的传输与处理方面,都能以极高的速度进行。这就是电子测量技术广泛应用于现代科技各个领域的重要原因。

2. 测量频率范围宽

采用电子测量技术测量,可以根据不同的工作频段,采用不同的测量原理和使用不同的测量仪器,获得较宽的频率和较广的动态测试范围。例如,超低频信号发生器、音频信号发生器和高频信号发生器等。随着技术的发展,不断地研制出能在相当宽的频率范围内正常工作的仪器,例如,目前一台较为先进的频率计,频率测量范围为 $10^{-6} \sim 10^{12}$ Hz。

3. 测量方便灵活、准确度高

在电子测量中,各种电量之间的转换实现起来很容易,如电流、电压、功率和频率等。对于非电量,如温度、湿度、压力、位移和速度等物理量可以通过各种类型的传感器将其转换成电量来测量。可以根据不同的对象、不同的要求,以不同的方式完成测量任务。

在电子测量中,可以很方便地利用各种转换技术,如分频、倍频、调制、解调、A/D 转换、D/A 转换、U/T、U/F 等,还可以采用先进的 DSP 技术,使测量数据更为准确可靠。

4. 易于实现遥控

由于电子测量是基于电子运动和电子传播的,因此可以通过各种类型的传感器将现场待测量的量转换成易于传输的电信号,用有线或无线的方式传送到测试中心,以实现遥控、遥测。例如,对于远距离、环境恶劣以及人体不便接触或无法达到的深海、太空、高温炉及核反应堆内等区域,可以通过传感器或通过电磁波、光辐射方式进行测量。

5. 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的智能化、小型化

电子测量本身是电子科学的一个分支。电子科学的飞速发展,为测量自动化和测量仪器智能化提供了有利条件。测量结果通过计算机很容易实现自动存储、数据计算和分析处理,大大提高了仪器的功能。特别是功耗低、体积小、处理速度快、可靠性高的嵌入式系统的出现,给电子测量理论、技术和设备带来了新的革命。

2.1.5 电子测量的内容

电子测量的范围很广,主要有以下内容。

① 元件的测量,如电阻、电容、晶体管和集成电路等。

② 能量的测量,如功率、电压和电流等。

③ 电信号特性的测量,如信号的幅度、频率、脉冲宽度、上升时间、下降时间等。

④ 电子线路性能的测量,如放大电路电压放大倍数、输入电阻、输出电阻和通频带等。

⑤ 特性曲线的显示与测量,如晶体管输入、输出特性曲线,放大电路幅频、相频特性曲线的显示与测量。

以上各种参数中,功率、电压、电流、幅度、频率等都是最基本的电参数,对它们的测量是获得其他许多派生参数的基础。