



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

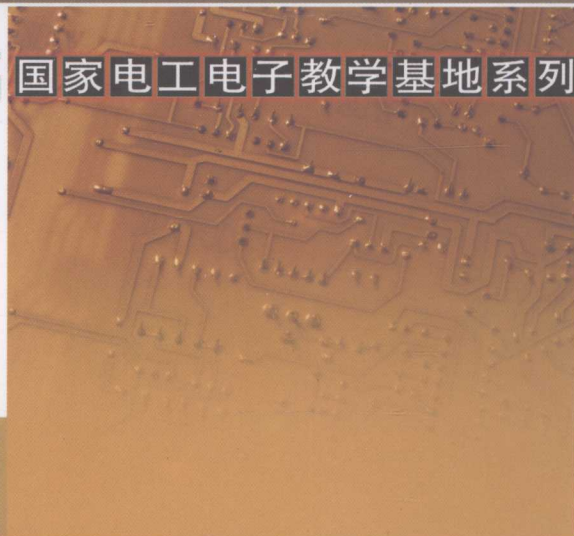
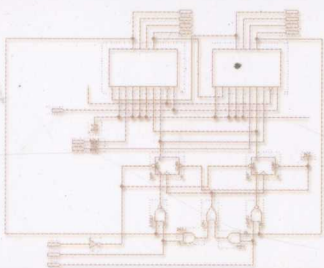


北京高等教育精品教材

BEIJING GAODENG JIAOYU JINGPIN JIAOCAI



国家电工电子教学基地系列教材



电子电路实验及仿真 (第2版)

◎ 路勇 主编

◎ 路勇 佟毅 张宇威 李维敏 曾涛 马英新 编著

◎ 高文焕 主审



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

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
国家电工电子基地系列教材

电子电路实验及仿真

(第2版)

		路 勇	主编
路 勇	佟 毅	张宇威	编著
李维敏	曾 涛	马英新	
		高文焕	主审

清华大学出版社
北京交通大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书是国家电工电子基地系列教材之一,是北京高等教育精品教材。现被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。为适应当前教学改革的要求及目前研究性教学的要求,本书按照认知规律,将传统的实验内容整合成基础实验、设计性实验、课程设计及仿真实验几个层次,并增加了一些新内容、新知识。为使读者对电子电路实验有一个整体的认识,本书还系统地介绍了实验中涉及的实验工具及实验仪器的使用、基本的设计方法、基本的测试方法、电路板的制作及元器件的基础知识。为使读者更好地理解实验内容及实验现象,在每个实验后都有一定的习题。为了配合目前的实践性教学(课程设计、创新实验及研究型教学)的开展,在课程设计、综合电子系统设计方面增加了一些内容。另外,为了给全国电子技术竞赛提供一些参考,书中还收录了部分电子大赛的题目及学生的获奖作品。

本书可作为高等学校电子信息类专业及相关专业的本、专科生的实验教材和课程设计、毕业设计的参考书及作为电子设计大赛的培训教材,也可作为电子技术专业人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电子电路实验及仿真/路勇主编.—2版.—北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2010.1

(国家电工电子教学基地系列教材)

ISBN 978-7-5121-0067-1

I. ①电… II. ①路… III. ①电子电路-实验-高等学校-教材 IV. ①TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 024194 号

责任编辑:韩 乐

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京东光印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印张:31 字数:692千字

版 次:2010年2月第1版 2010年2月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0067-1/TN·70

印 数:1~3000册 定价:43.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

国家电工电子教学基地系列教材

编审委员会成员名单

主 任 谈振辉

副主任 张思东 赵尔沅 孙雨耕

委 员 (以姓氏笔画为序)

王化深	卢先河	刘京南	朱定华	沈嗣昌
严国萍	杜普选	李金平	李哲英	张有根
张传生	陈后金	邹家骅	郑光信	屈 波
侯建军	贾怀义	徐国治	徐佩霞	廖桂生
薛 质	戴瑜兴			

总 序

当今信息科学技术日新月异，以通信技术为代表的电子信息类专业知识更新尤为迅猛。培养具有国际竞争能力的高水平的信息技术人才，促进我国信息产业发展和国家信息化水平的提高，都对电子信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新提出了富有时代特色的要求。近年来，国家电工电子教学基地对电子信息类专业的技术基础课程群进行了改革与实践，探索了各课程的认知规律，确定了科学的教育思想，理顺了课程体系，更新了课程内容，融合了现代教学方法，取得了良好的效果。为总结和推广这些改革成果，在借鉴国内外同类有影响教材的基础上，决定出版一套以电子信息类专业的技术基础课程为基础的“国家电工电子教学基地系列教材”。

本系列教材具有以下特色。

- 在教育思想上，符合学生的认知规律，使教材不仅是教学内容的载体，也是思维方法和认知过程的载体。
- 在体系上，建立了较完整的课程体系，突出了各课程内在联系及课程群内各课程的相互关系，体现微观与宏观、局部与整体的辩证统一。
- 在内容上，体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系，反映当今信息科学与技术的新概念和新理论，内容阐述深入浅出，详略得当。增加工程性习题、设计性习题和综合性习题，培养学生分析问题和解决问题的素质与能力。
- 在辅助工具上，注重计算机软件工具的运用，使学生从单纯的习题计算转移到基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用，提高了学习效率和效果。

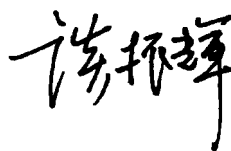
本系列教材包括：

《基础电路分析》、《现代电路分析》、《模拟集成电路基础》、《信号与系统》、《电子测量技术》、《微机原理与接口技术》、《电路基础实验》、《电子电路实验及仿真》、《数字实验一体化教程》、《数字信号处理综合设计实验》、

《电路基本理论》、《现代电子线路》(含上、下册)、《电工技术》。

本系列教材的编写和出版得到了教育部高等教育司的指导、北京交通大学教务处及电子与信息工程学院的支持,在教育思想、课程体系、教学内容、教学方法等方面获得了国内同行们的帮助,在此表示衷心的感谢。

北京交通大学
“国家电工电子教学基地系列教材”
编审委员会主任

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to the reviewer, Chen Baohua. The characters are fluid and connected, with a long horizontal stroke at the bottom.

2009 年 12 月

第2版前言

本书第1版出版以来受到了广泛的关注，有多所院校使用本书，并反馈了许多有价值的信息。该书于2005年1月被评为北京高等教育精品教材。5年来电子技术有了长足的发展，尤其是应用技术的发展十分迅速，与之相关的实验教学也得到了前所未有的重视。近些年来教育教学改革不断深入，高校中逐步推行研究型教学，与理论教学想适应的新的实验教学模式层出不穷，如创新实验、研究性教学及各种应用型的竞赛等，这些教学环节打破了传统的教育教学模式，强调了学生的主体作用，因此对实验教学的要求也进一步提高。作为教学重要载体的教材应不断进行改进和提高。

实验及测试在科学实践中主要有两方面的作用，其一是通过测试对理论知识的验证作用，对知识的掌握起到辅助和加强的作用；其二是进行科学探索的工具，去探索未知的世界。前者在过去的教学实践中得到了足够的重视，并起到了应有的作用，而后者则被传统的教学模式所忽略。因此本书在第2版中重视了此问题，并做了相应的添加。

应用技术的快速发展，使得原有每门课程本身的实验、设计和训练难以满足一个电子系统综合应用的要求，因此电子技术类课程的综合应用能力显得尤为重要。因此，本书（第2版）增加了电子系统综合应用实例，以加强综合应用训练。

为了培养创新人才，全国举行了各种层次的电子竞赛，目的也是推动全国高校电子信息类课程体系与教学内容的改革及创新人才的培养，本书第2版中也收录了一些全国大学生电子设计竞赛的优秀作品供参考。

为了适应上述形势的变化，适应新的教学改革的要求，本书第2版在保留原有风格的基础上对教材进行了如下几方面的修改。

(1) 第1、2章，主要介绍基本的使用方法和基本的测试方法，但在具体的验证性实验及设计性实验中，学生并没有注意到实验、测试方法的实际应用，尤其在一些竞赛中，学生往往做出了电路，但却不会准确地测试出性能指标。为了加强电路测试能力方面的训练，尤其是加强模拟电路的

测试能力。在第4章的基础实验部分各加入一部分自拟测试实验,培养学生对测试方法的灵活运用。

(2) 为了加强本书在课程设计中的应用,在第6章课程设计部分的基础上,增加了一些典型的电子系统综合设计实例。供学生在电子竞赛及创新实验等环节中参考。

(3) 为了发挥本书在全国及北京市电子竞赛中的参考作用,选用一些全国电子大赛的题目进行详细解析,作为本书新增的第8章。

(4) 为了与现今电子技术的发展趋势(集成化、系统化)相适应,将本书第7章仿真部分内容加强;增加其使用性,选用更多实用电路进行仿真。

(5) 目前由于网络搜索引擎的高速发展,使得器件的查询变得更加简便,因此在保留原有部分内容的基础上,增加一些常用的搜索网站,便于学生查询。

全书共分为10章,其中第1、2、7、8、10章及4、5、6、9章的模拟部分由路勇编写;第3章的信号发生器部分、第4章的数字部分由张宇威编写;第4章的模拟低频部分由李维敏编写;第5、6章的数字部分,由佟毅编写;第6章印刷电路板制作部分由马英欣编写,第9章的数字部分由曾涛编写;最后由路勇对各章进行了文字润饰和定稿。

本书在编写过程中,得到了北京交通大学教务处及电子信息学院领导的大力支持,得到了国家电工电子教学基地领导的热情支持。一些内容的录入及图片的绘制得到了邱振兴和陶凯两位同学的大力支持。在此,对上述所有帮助过我们的同志表示深切的谢意!在此对关心本书的师生及专家表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者
2009年12月

前 言

电子技术是电类专业的一门重要的技术基础课,课程的显著特点之一是它的实践性。要想很好地掌握电子技术,尤其是模拟电子技术,除了掌握基本器件的原理、电子电路的基本组成及分析方法外,还要掌握电子器件及基本电路的应用技术,因而实验教学成为电子技术教学中的重要环节,是将理论知识付诸于实践的重要手段。

由于科学技术的飞速发展,社会对人才的要求也越来越高,不仅要求人才具有丰富的知识,还要求其具有更强的对知识的综合运用能力及创新能力,以适应新形势的要求。以往的实验教学中,主要偏重验证性的内容,这种教学模式很难满足现代社会的要求。为适应面向 21 世纪教育的基本要求,为提高学生对知识的综合运用能力及创新能力,实验课内容应有相应的改变,因此本教材的基本思想是:将传统的实验教学内容划分为基础验证性实验、设计性实验、综合性实验、仿真实验几个层次。

本书分为 8 章,其中第 1~3 章分别介绍了电子电路实验的基础知识、常用的测试方法和实验仪器。

通过第 4 章的基础验证性实验,可使学生掌握器件的性能、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应用中的局限性;培养学生从实验数据中总结规律、发现问题的能力。另外,实验分成必做和选做两部分,并配备一定数量的思考题,使学习优秀的学生有发挥的余地。

通过第 5 章的设计性实验,可提高学生对基础知识及基本实验技能的运用能力,掌握参数及电子电路的内在规律,真正理解模拟电路参数“量”的差别和工作“状态”的差别。

通过第 6 章的综合性实验,可使学生加深对单元功能电路的理解,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,可提高学生综合运用知识的能力。

通过第 7 章的仿真实验,可使学生掌握各种仿真软件的应用,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,配合具体的题目,培养学生对新知识的掌握和应用能力。

第8章介绍了实验中常用的电子器件。另外，文中的选做内容用“*”标识，供基础较好的同学选做。

本书由路勇担任主编。第1、2、8章及第5、6、7章的模拟部分由路勇编写，第3章的示波器部分及第5、6章的数字部分由佟毅编写，第4章的模拟部分由李维敏编写，第3章的信号发生器部分、第4章的数字部分由张宇威编写，第6章印制电路板制作部分由马英新编写，第7章的数字部分由曾涛编写，最后由路勇对各章进行了文字润饰和定稿。

清华大学高文焕教授主审了全书，并提出了许多宝贵的意见，这些意见对提高本书质量十分重要。

本书在编写过程中始终得到北方交通大学电子信息工程学院张有根副院长及国家电工电子基地领导的热情支持。在此，对上述所有帮助过我们的同志表示深切的谢意！

由于编者水平所限，书中难免有不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

作 者
2004 年 1 月

作者简介

路勇 1963 年生人,1988 年毕业于哈尔滨理工大学并获得工学硕士学位,其后 21 年一直从事电子技术相关课程的教学和科研工作,为北京交通大学副教授、教学特聘教授、中央电视台相关课程的责任教师。

2004 年主编的《电子电路实验与仿真》教材于 2005 年被评为北京高等教育精品教材,现被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。2003 年与李金平教授合编的《模拟集成电路基础》教材于 2005 年被评为北京高等教育精品教材。主持的“模拟电子技术”课程 2006 年被评为北京交通大学精品课程;并于 2008 年作为第二主持人,“模拟电子技术”课程被评为北京市精品课程。本人为北京交通大学优秀主讲教师,并多次被学生评为最敬爱的老师。

主要著作有:《电子电路实验与仿真》、《模拟集成电路基础》、《汽车电工电子基础及电路分析》、《汽车电工电子基础及电路分析实训》和《电子电路知识识图自学通》。



目 录

第 1 章 电子电路实验的基础知识	1
1.1 电子电路实验课的意义、目的及要求	1
1.1.1 电子电路实验课的意义	1
1.1.2 电子电路实验课的特点及学习方法	2
1.1.3 电子电路实验课的目的	4
1.1.4 电子电路实验的一般要求	5
1.2 实验室的安全操作规程	7
1.2.1 人身安全	7
1.2.2 仪器及器件安全	7
1.3 实验室常用工具和材料的使用	7
1.3.1 主要工具	8
1.3.2 主要材料	8
1.3.3 辅助工具	9
1.4 电子测量中的误差分析	10
1.4.1 测量误差产生的原因及其分类	10
1.4.2 误差的各种表示方法	11
1.4.3 削弱和消除系统误差的主要措施	12
1.5 实验数据的处理方法	13
1.5.1 有效数字和数字的舍入规则	13
1.5.2 数据运算规则	14
1.5.3 等精度测量结果的处理	14
第 2 章 电子电路实验中常用的测试方法	15
2.1 电子测量概述	15
2.1.1 电子测量	15
2.1.2 计量的概念	15
2.1.3 测量方法的分类	16

2.2	模拟电子电路基本参数的测量方法	16
2.2.1	电压的测量方法	16
2.2.2	阻抗的测量方法	18
2.2.3	幅频特性与通频带的测量方法	20
2.2.4	调幅系数的测量方法	22
2.2.5	失真系数的测量方法	22
2.3	数字电路中常用的测试方法	23
2.3.1	数字集成电路器件的功能测试	23
2.3.2	数字电路的几种基本电路的测试方法	23
第3章	实验常用仪器	25
3.1	电子示波器的基本工作原理、技术参数及使用方法	25
3.1.1	示波器的分类及基本工作原理	25
3.1.2	SS-7804 通用示波器的使用方法	27
3.2	示波器的基本使用方法	30
3.2.1	通用示波器的几项主要技术指标	30
3.2.2	使用示波器的基本步骤	30
3.2.3	使用示波器应注意的几个问题	31
3.2.4	示波器使用过程中的常见问题及解决办法	32
3.3	信号发生器原理与使用	33
3.3.1	信号源的种类	33
3.3.2	HP33120A 函数/任意波形信号发生器	35
3.3.3	HP33120A 的基本功能与使用方法	36
3.3.4	HP33120A 基本操作示例	40
第4章	电子电路基础实验	45
4.1	模拟电子电路基础实验	45
实验 4.1	单级低频放大器	45
实验 4.2	负反馈放大器	48
实验 4.3	场效应管的特性测试	52
实验 4.4	集成运算放大器参数测试	55
实验 4.5	集成运算放大器的应用	60
实验 4.6	波形发生器	65
实验 4.7	集成功率放大器	68
实验 4.8	单调谐放大器	70
实验 4.9	峰值包络检波器	72

实验 4.10	模拟乘法器的应用——调幅	75
实验 4.11	模拟乘法器的应用——解调	78
实验 4.12	调频振荡器	80
实验 4.13	鉴频器	84
实验 4.14	集成锁相环的基本测试	88
4.2	数字电子技术基础实验	92
4.2.1	数字集成电路概述	92
4.2.2	基本逻辑门电路	95
实验 4.15	TTL 与 CMOS 集成逻辑门的参数测试	98
实验 4.16	集电极开路 OC 门与三态门的应用	101
4.2.3	组合逻辑电路	105
实验 4.17	组合逻辑电路的竞争与冒险	110
实验 4.18	可控加法器设计	112
实验 4.19	数字密码锁设计	114
实验 4.20	LED 数字显示系统设计	116
实验 4.21	数字函数发生器	120
4.2.4	触发器	123
实验 4.22	触发器及其应用	124
4.2.5	时序逻辑电路	129
实验 4.23	计数器的设计与应用	130
实验 4.24	移位寄存器及其应用	134
实验 4.25	简易交通灯电路的设计	137
实验 4.26	出租车自动计价器的设计	139
4.2.6	数模转换接口电路	140
实验 4.27	A/D、D/A 转换电路应用设计	142
4.2.7	脉冲信号发生电路和定时电路	148
实验 4.28	555 定时电路	152
4.3	模拟电路的自拟测试实验	155
4.3.1	模拟电子技术的自拟测试实验	155
实验 4.29	单级低频放大电路的测试	155
实验 4.30	多级低频放大电路的设计及测试	156
实验 4.31	带通滤波器的测试	156
实验 4.32	二阶有源低通滤波器的设计与测试	157
实验 4.33	波形发生器的设计与测试	157
实验 4.34	集成运放电路的测试	158

实验 4.35 正弦振荡器的测试	159
第 5 章 电子电路设计实验	160
5.1 模拟电子电路的一般设计过程	160
5.1.1 模拟电子电路的设计方法	160
5.1.2 模拟电子电路的安装	165
5.1.3 模拟电子电路的调试	167
5.1.4 电子电路的故障分析与处理	170
5.1.5 模拟电路设计性实验	171
实验 5.1 具有恒流源偏置的差分放大器设计	171
实验 5.2 方波—三角波—正弦波函数发生器设计	180
实验 5.3 RC 有源滤波器的设计	189
实验 5.4 OCL 低频功率放大器的设计	193
实验 5.5 语音放大电路的设计	197
实验 5.6 集成直流稳压电源的设计	202
实验 5.7 测量放大器的设计	210
实验 5.8 LC 振荡器的设计与测试	213
实验 5.9 小功率调频发射机	216
实验 5.10 集成化调频接收机	221
实验 5.11 小功率调幅高频发射机的设计	224
5.2 数字电子电路设计实验的一般设计方法	227
5.2.1 设计总体方案	227
5.2.2 设计单元电路	228
5.2.3 元器件的选择	229
5.2.4 总电路图的画法	232
5.2.5 数字电路设计过程中的一些问题	233
5.2.6 数字电子电路设计实例	238
实验 5.12 多功能流水灯	238
实验 5.13 8 路抢答器	242
实验 5.14 三设备顺序控制器	245
实验 5.15 洗衣机控制电路	246
实验 5.16 交通灯控制电路	248
实验 5.17 多踪信号显示转换器	250
第 6 章 课程设计及制作	252
6.1 印制电路板设计的一般原则	252

6.2 印制电路板的设计	255
6.2.1 印制电路板的选材	255
6.2.2 设计制作印制电路板前的准备	255
6.2.3 印制电路板的设计方法	255
6.3 印制电路板的制作	256
6.4 利用软件 Protel 设计印制电路板	258
6.4.1 Protel 98 的发展	258
6.4.2 Protel 98 的功能特点	258
6.4.3 Protel 98 的基本操作	258
6.4.4 电路原理图的绘制实例	260
6.4.5 电路设计综合练习	272
6.5 电子电路课程设计	273
6.5.1 模拟电子电路课程设计实例	273
实验 6.1 开关稳压电源的设计与调试	273
实验 6.2 峰值检测系统的设计	279
实验 6.3 频率合成器的设计	287
6.5.2 数字电子电路课程设计实例	299
实验 6.4 三位显示计数系统	299
实验 6.5 简易数字频率计	303
实验 6.6 数显电子秤	309
实验 6.7 可编程字符显示器	310
6.5.3 电子电路综合课程设计题目	311
实验 6.8 电视天线放大器	311
实验 6.9 心率测试电路	312
实验 6.10 小型调幅发射机	313
实验 6.11 遥测心率调频发射器	314
实验 6.12 音调控制电路	314
实验 6.13 频域可调耳聋助听器	315
实验 6.14 双工传呼对讲系统	316
第 7 章 小型电子系统综合设计	318
7.1 集成电路锁相环及其应用电路设计	318
7.1.1 数字锁相环 CC4046 及其应用电路设计	318
7.1.2 高频模拟锁相环 NE564 及其应用电路设计	323
7.1.3 低频模拟锁相环 NE567 及其应用电路设计	327

7.1.4 锁相环实用电路的设计	330
7.2 多路数据采集系统设计	332
7.2.1 单片机数据采集系统组成框图	332
7.2.2 数据采集系统的电路和程序设计	332
7.2.3 单片机应用系统的开发	335
7.2.4 设计任务	336
7.3 红外多路遥控无线发射、接收系统设计	336
7.3.1 系统组成框图	337
7.3.2 主要技术指标	337
7.3.3 红外发射、接收系统的电路设计	338
7.3.4 系统调试与技术指标测量	345
7.3.5 设计任务	346
7.4 多路遥控无线发射系统	346
7.4.1 无线多路遥控发射系统组成框图	346
7.4.2 无线多路遥控发射系统的主要技术指标	347
7.4.3 无线多路遥控发射系统的电路及其程序设计	347
7.4.4 系统安装与调试	351
7.4.5 无线多路遥控发射、接收系统设计	351
第8章 全国大学生电子设计竞赛实例详解	352
8.1 全国大学生电子设计竞赛命题原则及要求	352
8.1.1 全国大学生电子设计竞赛命题原则	352
8.1.2 培训中必须涉及的重要知识点	355
8.1.3 电子设计竞赛总结报告写作	355
8.1.4 电子设计竞赛常用网站	358
8.2 全国电子设计大赛获奖作品选编	358
8.2.1 1999年E题——数字化语音存储与回放系统	358
8.2.2 2003年B题——宽带放大器	367
8.2.3 2003年F题——液体点滴速度监控装置	377
第9章 电子电路的仿真实验	387
9.1 基于EWB的电子电路设计及仿真	387
9.1.1 EWB的功能简介	387
9.1.2 EWB实验平台的虚拟实验	409
实验9.1 共射放大器的频率响应	409
实验9.2 运算放大器的频率响应	412