



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代电子线路和技术实验 简明教程

第二版

孙肖子 徐少莹 李要伟 任爱锋 孙占彪 刘德刚 孙肖子 主编
编著



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

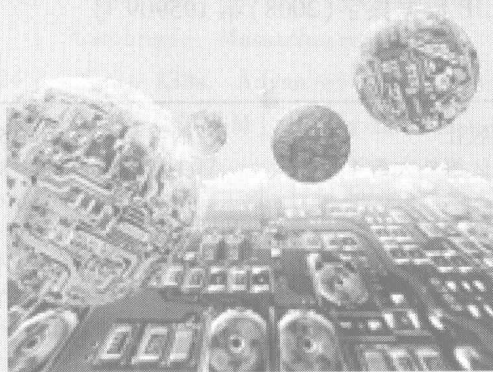
现代电子线路和技术 实验简明教程

第二版

孙肖子 主编

孙肖子 徐少莹 李要伟 任爱锋

孙占彪 刘德刚 编著



高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书共分4篇9章。第一篇含第一、第二章,介绍实验方法与基础仪器的原理及使用,是准备篇;第二篇是基础实验篇,含第三、第四、第五章,包括模拟电子线路及技术基础实验、数字电子技术基础实验、通信电子线路基础实验,是本书的重点。实验内容分基本命题与扩展命题,有利于培养学生的独立思考和自主学习能力。第三篇是综合设计应用篇,含第六、第七章,包括综合设计应用实验指南及设计举例和综合设计应用实验若干命题。第四篇是仿真工具篇,含第八、第九章,介绍3个常用数模混合仿真软件及PCB设计软件。

本书内容丰富,编排合理,可作为通信工程、电子信息工程、测控与仪器、自动控制、电子科学与技术、电气信息工程等专业本科生、专科生的电子线路和技术课程的实验教材以及课程设计、毕业设计的参考书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代电子线路和技术实验简明教程/孙肖子主编.

—2版. —北京:高等教育出版社,2009.2

ISBN 978-7-04-025545-4

I. 现… II. 孙… III. 电子电路-实验-高等学校-教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第195909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 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司

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.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×960 1/16
印 张 27.75
字 数 520 000

版 次 2004年1月第1版
2009年2月第2版
印 次 2009年2月第1次印刷
定 价 32.50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 25545-00

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E - mail: dd@ hep. com. cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

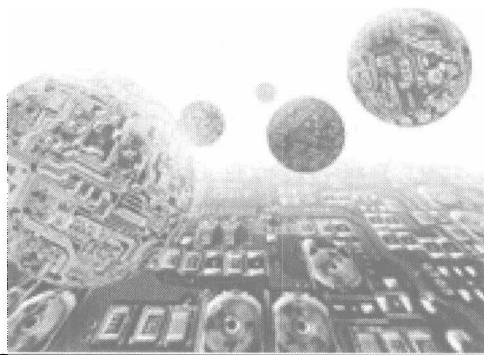
高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

策划编辑	吴陈滨
责任编辑	许海平
封面设计	张 楠
责任绘图	宗小梅
版式设计	陆瑞红
责任校对	杨凤玲
责任印制	毛斯璐

第二版前言



实验作为人才培养体系中的重要环节,越来越受到重视。近年来,一系列的实验教学改革思想和措施,使实验教学环节有了较大的加强,学生的创新意识和工程实践能力也有了长足的进步。实验教材在改革中发挥了有效的作用。

本书在第一版的基础上,做了较大的修订与补充。

(1) 新的编写构架:本书共分4篇:第一篇——实验方法及基础仪器篇(共2章),主要是为顺利实施实验做好准备。第二篇——基础实验篇(共3章),包括模拟电子线路及技术基础实验、数字电子技术基础实验、通信电子线路基础实验,此篇是本书的重点。第三篇——综合设计应用实验篇(共2章),包括综合设计指南、综合设计举例和综合设计若干命题,此篇将打破模拟与数字、低频与高频课程的界线,在更高的层次上,培养综合设计和实际解决问题的能力,扩大知识面,开拓视野。因本次修订,实验内容的难度和复杂度又上了一个台阶,所以建议与课程设计、工程设计课程结合起来。第四篇——设计及仿真工具篇,介绍几个数模混合仿真软件和PCB设计软件,这是学生必须掌握的现代电子设计方法与工具。

(2) 在模拟电子线路及技术基础实验中,将运算放大器的应用实验提前到最前面(与理论课改革同步),并作为本章重点,共设计了4个运算放大器应用实验,实践证明这项改革十分重要,并已收到了很好的效果。

(3) 将VHDL(硬件描述语言)引入数字电子技术基础实验中,每个实验



后面都附有 VHDL 的设计及仿真结果,结合理论课学习,有利于学生掌握这种新的设计方法。

(4) 在基础实验内容中采用基本命题和扩展命题两部分,先提出任务和要求,以任务书代替指导书,鼓励学生独立思考和自主构建实验,为学生留有创新思维的空间。考虑到是基础实验,所以在“实验说明与思路提示”中又要给学生较多的启发和引导,以避免学生不知所措,无从入手。

(5) 综合设计应用实验篇的内容有较大修改,由浅入深,更强调实用性、综合性,同时加入了 VHDL 设计。

孙肖子提出本书的编写构架及编写大纲,并带领年轻团队完成本书的编写任务。在编写中融入长期积累的经验和部分科研成果的转化以及集体的智慧。书中,第一章由徐少莹编写;第二章由孙肖子编写;第三章由孙占彪、孙肖子编写;第四章由徐少莹、任爱锋编写;第五章由李要伟编写;第六章、第七章由孙肖子、任爱锋、李要伟、徐少莹共同编写;第八章、第九章由孙肖子、任爱锋编写;附录 A 由刘德刚编写;附录 B 由刘德刚、李要伟、徐少莹编写。孙肖子负责全书的统稿工作。

西安交通大学邓建国教授在百忙中审阅了全书,并提出许多十分宝贵的建议和修改意见。田根登老师在本书第一版中给予我们许多指导并提供了宝贵的经验。甄改英同学为本书编排做了许多工作。在此,对给予我们帮助的所有教师和同学表示最衷心的感谢。

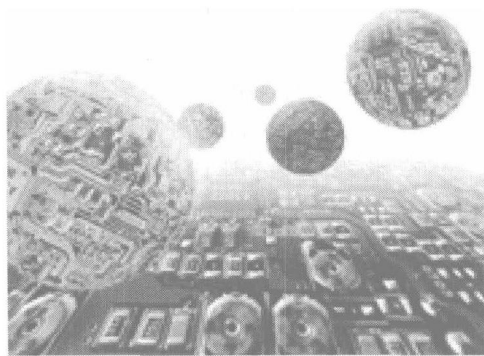
由于编者水平与编写时间所限,本书难免有许多不妥之处,望广大教师和同学以及尊敬的读者给予批评指正。

编 者

2008 年 8 月

于西安电子科技大学

第一版前言



实践是工程最本质的属性,是检验真理的标准。在 21 世纪初叶的高等教育改革和培养人才的整个过程中,“实践”占据极为重要的地位。经过几年的努力,理论课教学改革和教材建设有了很大的进展,但因受到诸多因素的制约,实验改革和实验教材的建设相对滞后。大部分学校没有比较系统的、完整的实验教材,提供给学生的仅是一本很简单的实验讲义或实验指导书。学生只要按照讲义规定的步骤去做,不需要多动脑子,便可完成实验,因此收效较少,一定程度上扼制了广大学生的创造性和个性的发挥。之所以长期维持这种状况,是因为存在错觉和误区,即认为离开实验室现有的具体仪器和实验板无法写实验教材,而各实验室的仪器和实验板又不尽相同,即使写出来也无法通用。

在教育部国家电工电子教学基地建设和高等理工科教育教学改革项目“现代电子技术实验教学模式研究与实践”的推动下,我们以极大的热情尝试着写这本实验教材,希望该教材的出版有助于实验教学的改革和进步。

一、本教材的定位

我们对新的实验教学体系进行了总体构架和顶层设计,将整个实验分为 4 个层次,即基础实验层;提高设计层;综合应用开发层;课外科技活动层。

本教材定位在第一个层次——基础实验层。结合“模拟电子技术基础”、“数字电子技术基础”、“通信电子线路”3 门理论课,独立设置“现代电子线路和技术实验”课,4~6 学分。通过该课程的教学,加强基础,开阔视



野,学习基本的实验技能,培养科学严谨的工作方法和作风。本课程不涉及可编程器件及单片机 CPU 等内容,后者有专门的课程和教材。

二、本教材特点和意图

1. 摆脱过多地介绍具体仪器型号及其面板功能,希望通过基本的通用的测试原理的学习使读者掌握基础仪器的使用和测试技术。仪器介绍面有所扩大,包括时域、频域、数据域的数字化基础仪器。

2. 将现代电子设计自动化技术(EDA)引入电子线路与技术实验。介绍了 Electronics Workbench、Multisim、OrCAD、Protel 99 四种 EDA 软件,在做硬件实验前必须用其中的一种 EDA 工具来完成实验电路的计算机仿真。在综合应用开发实验中也必须完成一个 PCB 图的设计。

3. 将实验内容和要求分为“基本命题”和“扩展命题”,将部分指导书改为任务书。尽量做到因材施教,分流培养。减少验证性实验,增加设计性、综合性实验,留出发展个性和创新的空间。

4. 多一点启发,多一点引导,多一点设计和实验举例,多一些思路上的提示。

5. 自主开发实验设备与测试仪器,为实验改革创造条件。

为实现以上改革意图,我们自主开发了一些实验设备和测试仪器,例如将模拟和数字实验板以元、器件库的形式提供一个实验平台,可自己设计和搭建实验电路。又如自主开发的 32 通道和 48 通道逻辑分析仪,可代替昂贵的台式逻辑分析仪,使数据域测试成为可能。

本书共分 7 章,3 个附录。其中第一章、第三章(3.1、3.2、3.3 节)、第七章由孙肖子老师编写,第三章(3.4 节)由任爱锋老师编写,第四章由田根登老师编写,第二章、第五章由徐少莹老师编写,第六章由李要伟老师编写。附录 A 由刘德刚老师编写,附录 B、附录 C 由田根登、徐少莹、李要伟老师共同编写。孙占彪老师参与了教材讨论并提供了部分材料。孙肖子老师负责规划教材的总体框架结构和统稿、田根登老师负责部分章节的统稿。

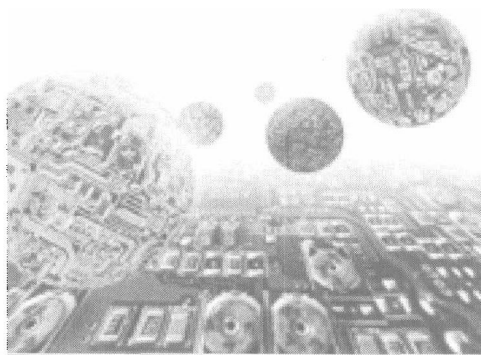
西安交通大学邓建国教授在百忙中审阅了全书并提出了许多十分宝贵的建议和修改意见,对保证书稿质量起了很大的作用。邓成、闫卫利、冯涛等老师和同学对本书的编排给予了许多帮助。在此,对给予我们帮助的所有老师和同学们表示最衷心的感谢。

由于水平与时间的限制,本书必有许多不妥之处,望广大同学、老师以及尊敬的读者给予批评指正。

编 者

2003 年 6 月于西安

目 录



第一篇

1

实验方法及基础仪器篇——实验准备篇

第一章 电子线路实验方法及实验数据处理	2
1.1 概述	2
1.2 电子线路实验的一般步骤	3
1.3 电子线路实验方法	6
1.4 测量误差与实验数据处理	11
第二章 基本测量原理及基础仪器使用实验	19
2.1 概述	19
2.2 模拟及数字电路实验基础仪器简介	20
2.3 高频测试仪器简介	48
2.4 晶体管特性图示仪	53
2.5 基础仪器使用练习实验	57

第二篇

60

基础实验篇

第三章 模拟电子线路及技术基础实验	61
3.1 集成运算放大器基本特性及应用研究实验	62
3.2 集成运放在有源滤波器中的应用实验	67



目 录

3.3	集成运放非线性应用及其在波形产生方面的实验	71
3.4	小综合——程控放大器设计实验	76
3.5	单级共射、共集放大电路性能与研究实验	78
3.6	差分放大器性能研究实验	83
3.7	功率放大器应用与研究实验	88
3.8	直流稳压电源性能与研究实验	92
第四章	数字电子技术基础实验	97
4.1	组合逻辑研究实验(一)	97
4.2	组合逻辑研究实验(二)	108
4.3	集成触发器实验	117
4.4	计数器及其应用研究实验	123
4.5	移位寄存器及其应用实验	134
4.6	脉冲波形的产生与形成实验	142
4.7	发光二极管点阵显示器的应用实验	147
4.8	十字路口交通灯自动控制器的设计实验	152
4.9	时钟控制器的设计实验	153
4.10	D/A 及 A/D 转换器实验	157
第五章	通信电子线路基础实验	162
5.1	小信号调谐放大器实验	163
5.2	LC 正弦振荡器实验	169
5.3	变容管调频电路和鉴频器实验	174
5.4	模拟乘法器应用实验	182
5.5	二极管检波器实验	190
5.6	集成锁相环应用实验	197
5.7	高频功率放大及高电平调幅实验	210
5.8	小功率调幅制高频发射机/接收机的设计与实验	218
5.9	小功率调频制高频发射机/接收机的设计与实验	223

II

第三篇

228

综合设计应用实验篇——课程设计篇

第六章	综合设计应用实验指南及设计举例	229
6.1	综合设计应用实验指南	229
6.2	电压超限指示和报警电路的设计与实验	232
6.3	用运算放大器构成的压控张弛振荡器的设计与实验	235
6.4	设计、装配、调试一个检测、显示、报警、传输心电信号的子系统	



电路实验	238
第七章 综合设计应用实验若干命题	268
7.1 程控放大器设计与实验	268
7.2 程控滤波器设计与实验	274
7.3 多波形发生器电路实验	280
7.4 电容测试仪设计与实验	286
7.5 R 、 C 、 L 多功能测试仪设计与实验	291
7.6 锁定放大器设计与实验	293
7.7 数字相位计设计与实验	301
7.8 多功能数字钟设计与实验	303
7.9 多路数据巡回采集电路设计与实验	308
7.10 简易无线通信系统设计、装配、调试实验	310

第四篇

321

设计及仿真工具篇

第八章 常用数模混合仿真工具介绍	322
8.1 计算机仿真软件 Electronic Workbench 简介	322
8.2 Multisim 2001 软件简介	340
8.3 OrCAD 使用简介	356
第九章 PCB 设计——Protel 99 SE 软件简介	372
9.1 原理图设计	372
9.2 印制电路板 (PCB) 设计	385

III

附 录

393

附录 A 常用分立元器件简介	393
附录 B 常用集成电路简介	408

主要参考文献

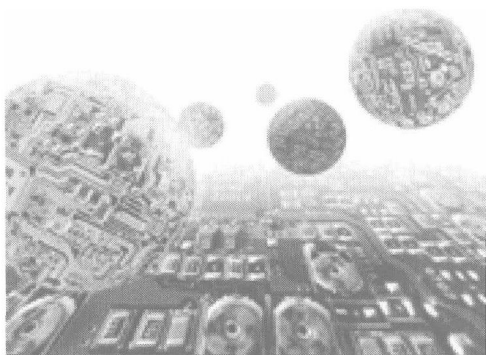
432

第一篇

实验方法及基础仪器篇——实验准备篇

本篇主要介绍电子线路与技术实验课的重要性,使读者了解实验的科学方法、科学规则、调试中的故障发现和一般的排除方法、测试误差的来源及实验数据处理等有关问题。

测试仪器是实验的必备工具,也是实验的“眼睛”和尺度。是要求掌握的基本技能之一。在实验之初,要很好地了解电子线路的基本测试原理、仪器的主要功能及性能以及正确的使用方法。了解什么实验应选择什么样的相应仪器。仪器型号很多,但原理基本相通,重点在于掌握测试原理。本篇通过一些典型仪器使用方法的介绍,使读者能够在实践中逐渐做到触类旁通,举一反三。



第一章

电子线路实验方法及实验数据处理

1.1 概 述

在电子技术日益迅猛发展的今天,对当代大学生在电子线路实验创新精神和创新能力方面提出了更高的要求。实验,作为一种更好地掌握理论知识、进一步将理论应用于实际的手段,占据着极为重要的地位。开设电子线路实验课程的目的,就是培养学生的实验技能,在此基础上,进一步发挥他们的潜能,激发他们的创新意识,为以后成为一名合格的电子工程师打好基础。

电子线路(包括通信、模拟、数字)是一门应用性很强的课程,而电子线路实验是该课程的重要教学环节之一。电子线路实验就是按教学、生产和科研的具体要求对所设计的电子线路进行安装、调试与测试的过程。在实验过程中,既能验证理论的正确性和实用性,又能从中发现理论的近似性和局限性,往往还可以发现新问题,产生新设想。既促使电子线路和应用技术的进一步发展,又培养了学生的创新意识和创新能力。

目前,电子技术的发展日新月异,新器件、新电路相继产生并迅速转化为生产力。要认识和掌握应用种类繁多的新器件和新电路,最为有效的途径就是进行实验。通过实验,可以分析器件和电路的工作原理,完成性能指标的检测;可以验证和扩展器件、电路的性能或功能的使用范围;可以设计并制作出各种实用



电路、实用产品。可见,熟练掌握电子线路实验技术,对从事无线电子技术工作的人员来说是至关重要的。

通过电子线路实验可以巩固和加深电子技术的基础理论和基本概念,使学生受到必要的基本实验技能的训练,学会识别和选择所需的元器件,设计、安装和调试实验电路,分析实验结果,从而提高实际动手能力以及分析问题和解决问题的能力。

1.2 电子线路实验的一般步骤

电子线路实验一般包括以下几个步骤:

第一步,拿到实验任务以后,首先要进行理论准备、理论设计。先要画出整个系统的框图。这就要求查阅相关的资料,选出实现任务要求的最佳设计方案,然后把系统划分为若干个单元电路,将技术指标和功能分配给各个单元电路。有了各个单元电路,就可以进行各个单元电路的设计,然后再把各单元电路联系起来,组成一个系统。

在理论准备阶段,可以利用仿真软件进行系统仿真。现在常用的系统仿真软件有:Electronic Workbench、Multisim 2001、OrCAD 等,在本书的第四篇将有详细的介绍。对于比较简单的电路,在电路仿真的基础上,反复调整参数直至达到任务要求为止。但对于一个复杂的系统,电路设计就不是一个简单的、一次就能完成的过程,而是一个逐步试探的过程。所以,仿真软件能够缩短电路设计的进程,但决不能代替硬件实验,它只是理论设计的一种延伸。

第二步,正确选择元器件。首先应该对元器件的功能、性能、特性参数等有所了解,所选元器件的精度、速度必须满足设计要求。

例如,做一个运算放大器(简称运放)实验,要求电路带宽达到 8 MHz。如果选择单运放 $\mu\text{A}741$,就达不到指标要求,因为它的闭环带宽只能达到 1 MHz。改为选用单运放 LM318,它的闭环带宽可以达到 15 MHz 左右,符合题目要求。

对于数字器件而言,运算速度是很重要的一个技术指标。例如,在用数字方法实现多波形发生器电路时,地址计数器的选用就涉及器件的速度问题。用数字方法产生多种波形的原理是通过读出存于 EPROM 中的波形数据,再经过 D/A 转换器产生所需要的模拟波形。它的原理框图如图 1-2-1 所示。

图中,地址计数器的作用是指定 EPROM 数据写入的地址。地址计数器如果采用普通的 CD4040B,在电源电压为 +5V 时其计数频率只能达到 10 MHz,这会影响后续电路,跟不上 D/A 转换器的速度。但如果将地址计数器换为高速 CMOS 电路 74HC4040,则计数频率可以达到 15 MHz,就不会出现由于器件速度跟不上而产生错误动作的情况。

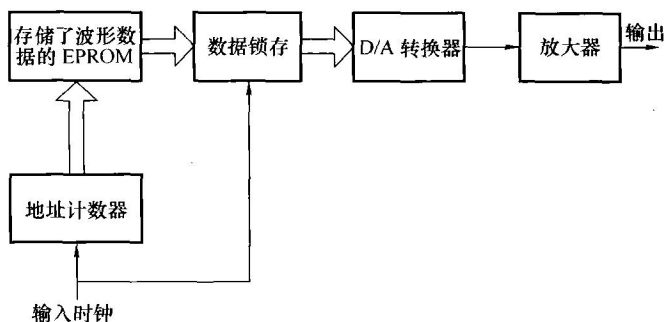


图 1-2-1 数字方法产生多波形的原理框图

因此,正确选择元器件,不但可以使电路简化,还可以避免出现很多的错误,以保证后面电路调试的顺利进行。

第三步,在理论准备充分的前提下,进行硬件实验。

① 应正确搭接实验线路。可以用面包板插接实验线路,或者用实验板(采用自锁紧接插件结构)插接实验线路,也可以将元器件焊接在 PCB 上进行调试。对于比较简单的电路,可以采用前面两种方法。对于比较复杂的电路,可以采用制作 PCB,然后在 PCB 上进行焊接、调试的方法。

在这里,将面包板和实验板做简单的介绍。

面包板是由有许多小方孔的塑料板组成的,如图 1-2-2 所示。图 1-2-3 是面包板的结构图。

每块面包板中央有一凹槽,凹槽两边各有 60×5 个插孔。纵向每 5 个插孔为一组(图 1-2-3 中的 ABCDE 或 FGHIJ),5 个孔由内部的金属簧片连通。面包板的上、下各有一条横向的 10×5 的小插孔(图 1-2-3 中的 M 和 N),左右每 5 个孔为一组,它们是相通的,这两条插孔可用作电源线和地线的插孔。集成电路引脚必须插在面包板中央凹槽两边的孔中(如图 1-2-3 中的 74LS00 所示),并且使集成电路的缺口端朝向左方。

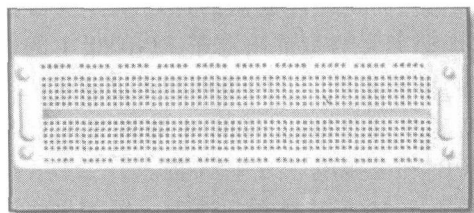


图 1-2-2 面包板

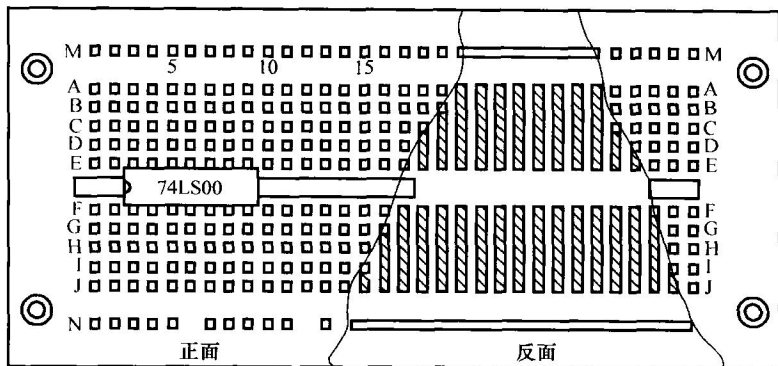


图 1-2-3 面包板结构图

实验板,采用的是自锁紧接插件结构。这种接插件,插头与插座的导电接触面较之一般接插件要大得多,接触电阻极其微小,在插入时略加旋转,即可获得极大的轴向锁紧力,接触十分牢靠。拔出时采用旋转方式亦很轻松,无需借助任何工具,便可快速插拔。如果一个点要引出好几根导线,可以采用叠插,使用非常方便。图 1-2-4、图 1-2-5 和图 1-2-6 所示分别为模拟电路实验板、数字电路实验板和通信电子线路实验板。

无论是在面包板上还是在实验板上安装集成器件,都要求使器件的缺口朝向左方,先对准插孔的位置,然后稍稍用力将其插牢,防止集成器件引脚弯曲或折断。所有集成器件的方向要一致,便于正确布线和查线。在拔出集成器件时,最好用螺丝刀或镊子插入到芯片下面的凹槽中轻轻用力撬起,以免引脚弯曲或断裂。

采用制作 PCB 板的方法搭接实验电路,就是要用软件 Protel 99 画出 PCB 版图,再制作出 PCB 板,然后进行焊接、调试。软件 Protel 99 在本书第四篇有详细的介绍。

搭接电路完成后,就构成了一个完整的系统。通过给输入端加输入信号,在系统的输出端得到输出信号,来测试系统是否达到了任务书规定的指标要求。

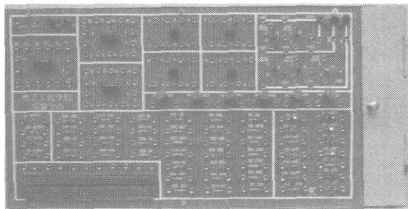


图 1-2-4 模拟电路实验板

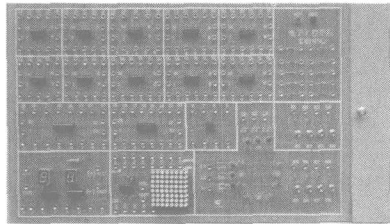


图 1-2-5 数字电路实验板

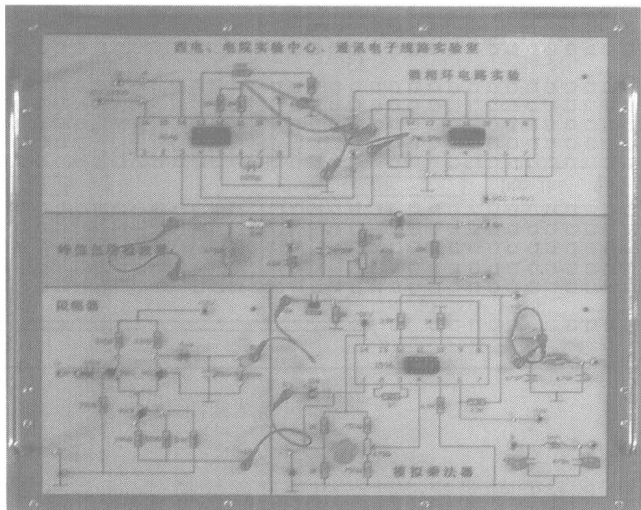


图 1-2-6 通信电子线路实验板

② 进行电路调试和测量。可以进行静态调测,也可以进行动态调测。在这一步中,仪器的选择也是很重要的。如果仪器的精度和指标达不到要求,或者选择了错误的仪器,即使系统本身的输入、输出是正确的,也得不到正确的实验结果。

6

第四步,撰写实验报告。在系统调试测量结束后,应撰写一份实验报告,这是一名合格的电子工程师应该具备的基本的文字表述能力。实验报告应包括:

- ① 实验题目。
- ② 实验任务要求。
- ③ 理论设计。包括系统总体框图、各单元电路的具体设计、选择的元器件清单列表等。
- ④ 电路仿真。包括仿真的电路图,得到的仿真数据、波形图等。
- ⑤ 硬件电路实验。包括实验中遇到的故障以及故障是如何排除的。
- ⑥ 实验数据处理。
- ⑦ 实验总结。收获、体会等。

1.3 电子线路实验方法

1.3.1 实验规则

电子技术实验技能是每一个从事电子设计的工程技术人员必须具备的基本