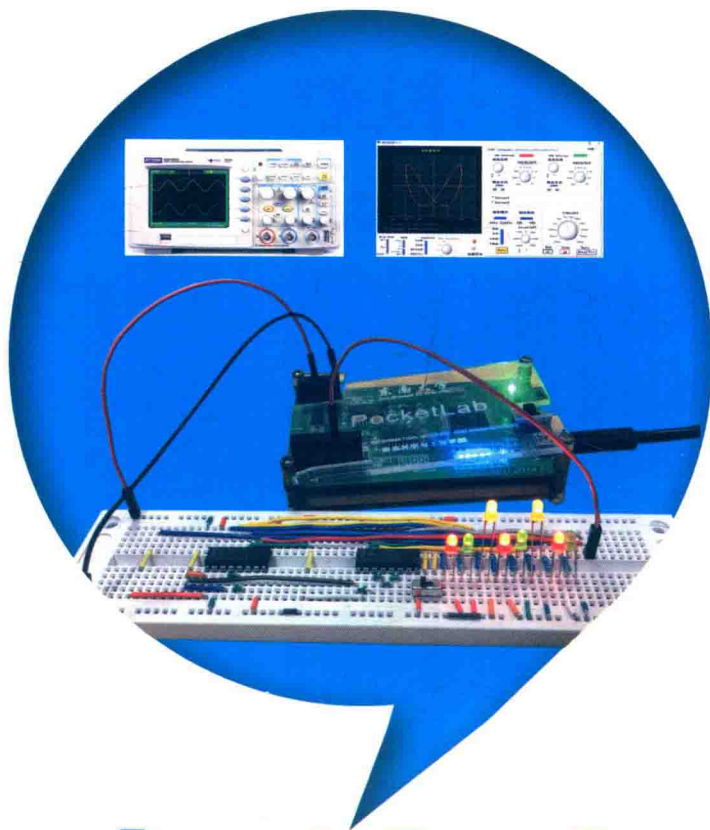




“十三五”江苏省高等学校重点教材（编号：2017-2-010）



基于Pocket Lab 的电子电路实践教程

王蓉 王欢 · 编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS



“十三五”江苏省高等学校重点教材（编号：2017-2-010）

基于Pocket Lab的电子电路 实践教程

王 蓉 王 欢 编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

• 南京 •

内容提要

本书以口袋实验室 Pocket Lab 为硬件测试设备,按照教指委制定的“电子线路”课程的基本要求来设计和编排实验。首先介绍了什么是口袋实验室,让读者对这种新型的实验手段有个基本的了解。然后介绍口袋实验室中的两大利器:仿真工具 Multisim 和硬件测试工具 Pocket Lab 的基本使用方法。最后提供了十个实验,包括晶体二极管、晶体三极管、单管晶体管放大器分析与设计、差分放大器、频率响应与失真、电流源与多级放大器、多级放大器的频率补偿和反馈、运算放大器及应用电路、功率电子线路和振荡器,每个实验都贯穿了理论计算、计算机软件仿真和硬件实验三个环节,可使读者更好的掌握完整的电子设计流程。

本书可以作为高等学校电子信息类、电气类、自动化类等相关专业的电子线路实践教学指导书,也可以作为日益丰富的 MOOC 资源以及翻转课堂的教学补充,帮助自学和在线课程学习的学生在课外和实验室外建立自己的专属实验室,有更充分的时间和空间来实践电子线路实验。书中实验内容基于 Pocket Lab 开发,但不仅限于 Pocket Lab 测试,可移植性强,在所有虚拟测试仪器构建的口袋实验室和真实实验室环境中均可完成测试。

图书在版编目(CIP)数据

基于 Pocket Lab 的电子电路实践教程 / 王蓉, 王欢编

著. — 南京: 东南大学出版社, 2018. 1

ISBN 978-7-5641-7640-2

I. ①基… II. ①王… ②王… III. ①电子电路-教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 024529 号

基于 Pocket Lab 的电子电路实践教程

出版发行 东南大学出版社

社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)

出 版 人 江建中

责任编辑 姜晓乐(joy_supe@126.com)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.75

字 数 318 千字

版 次 2018 年 1 月第 1 版

印 次 2018 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-7640-2

定 价 38.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830。

引言

Introduction

模拟电子线路,很多同学叫它“魔电”。这一方面说明了它的难度,另一方面也说明了它的魅力。它是电子信息、电气工程自动化等专业的一门重要的专业基础课,同时这门课程中的很多内容也以各种方式进入了其他专业——甚至很多非电专业——的教学内容中,在相关的专业领域担任着越来越重要的角色。在学习模拟电子线路的过程中,实验是一个非常重要的环节,在实验中,你可以更好地领会课程中说到的各种关键的知识,能够将你的奇思妙想实现在实际系统中,能够更好地发挥你的想象力和创造力,设计出更好的创新作品。

说到实验,离不开实验仪器,离不开实验室。在我们的印象中,实验室是学校提供给我们一个个专门的房间,里面提供了很多实验必需的、昂贵的实验设备。但是,本书给出了一个全新的实验方式,它可以将实验室装入你的书包,让你随时随地可以做实验,开始魔电世界的探索之旅。能够做到这一点,得益于两个关键词:计算机仿真和虚拟仪器!

第一个关键词,计算机仿真,说的是计算机电路仿真技术。现在电子器件建模技术不断成熟,使得器件的电路模型与实际电路的契合度越来越高,各个器件供应商都提供了各个元器件的精确模型。在此基础上,电路的计算机仿真软件也得到了飞速的发展,各种优秀的仿真软件不断涌现,在这些平台上可以方便地搭起你的电路开展实验,观察电路在运行时的各种表现,探索魔电世界。在这里,你可以尽情发挥你的想象,不用担心硬件价格,不用担心由于搭错电路对硬件产生损害。而这一切的实现,只需要一台你书包中的笔记本电脑!

但是,仿真毕竟是“仿”真,并不是完全的真实,毕竟模型与实际电路之间依然可能存在这样那样的差异,有时并不能完全展现电路的实际情况。所以,我们还需要在实际电路中进一步测试和验证,真正保证我们的电路能够达到预期的设计指标。只有在实际电路中实现了以后,才能真正发挥电路在实际应用中的功能。此外,从实验中,我们可以掌握利用多种仪器设备,发现、分析、解决电路中出现的各种问题的能力。所以,实物实验也是一个必不可少的环节。

实验调试需要用到很多的仪器设备,必须在专业的环境下进行。实验室环境的构建成为实验教学的关键。以往的实验,由于需要使用大量的专门仪器设备,大都在专设的

实验室中完成。而近来计算机技术的迅猛发展和普及给我们带来的虚拟仪器技术,给实验带来了很大的变化。借助于虚拟仪器,可以将计算机扩展成各种实验仪器,实验环境得以大大的简化。这就是我们说的第二个关键词——虚拟仪器!

本书介绍的口袋实验室 Pocket Lab 以及其他类似的平台,就是这样一种虚拟仪器。虽然只有巴掌大小,但是接在笔记本电脑上,就可以构成一个集信号发生器、示波器、电源、系统参数测试仪、逻辑分析仪等多种设备于一体的完整的电类实验台。而这个“实验台”完全可以放进你的书包中,构成你的私人实验室,让你可以摆脱实验室场地的束缚,随时随地做实验,在教室、宿舍、图书馆等地方,针对你感兴趣的题目,搭建实验系统,探索相关的难题,实现和验证你脑海里的奇思妙想。而这个平台的价格,甚至低于一些廉价手机。

但是必须提醒大家的一点是:虚拟仪器虽然可以替代实物仪器支持我们的实验学习任务,但是今后在实际工程应用中,并不能完全替代实物仪器,后者在性能指标上会远远超过虚拟仪器。所以,在学习中千万不能以学会虚拟仪器为终极目标。

本书的特色,就在于充分利用了计算机仿真和虚拟仪器技术,通过仿真实验和实物实验,带领大家遨游奇妙的魔电世界。各个实验直接在元器件层面进行连接,实现各种电路系统。这种实验方式,看起来比那些实验箱、实验模块式的实验方式要略微麻烦一些,但是通过这样的元器件级的连接和测试过程,你才能够真正了解电子系统的奥妙,才能够真正设计出具有你自己完整的自主知识产权的创新作品。实验使用到的元器件成本比实验箱、实验模块式的产品要低得多。

这本书的另一特色在于其中无论是仿真实验还是通过口袋实验室的实物实验,都做到了相关的仪器操作界面与实际仪器非常接近。这样在学会这本书介绍的实验以后,你实际上也掌握了实际仪器的使用方法,以后再使用相关的实际仪器就非常容易了。

东南大学信息科学与工程学院多年来利用这种口袋实验室的方式,在“电路基础”“模拟电子线路”“数字电路”等课程中进行了理论—实践教学一体化的大胆尝试,让实验教学打破了时间和地点的限制,让学生可以随时随地做实验。多年的教学实践取得了优异的成绩。本书是王蓉等老师们这几年教学探索的一个总结,对其他相关院校的学生和老师有着很大的参考价值。同时,在 MOOC 等在线开放教育模式不断发展的今天,广大的网上学习者对“电子线路”等课程的实验也有着很大的需求,本书的出版也可以给广大的网上学习者找到一个方便的途径。

来吧,让我们跟着这本书,一起探索魔电世界!

孟 桥

2018年1月于东南大学

前言

Preface

随着社会对学生素质要求的提高,学生作为独立个体,自主性增强,多样化和自主创新的需求提升。同时,在线课程、翻转课堂等全新的教学方式盛行,使得提高学生的分析、设计能力和独立解决问题的能力变得越来越重要。特别是对于实践性较强的课程体系,如三电课程:“电路”“数字电路”和“模拟电路”,需要将实践教学纳入常态化教学体系,才能极大地发挥理论和实践教学的互相促进作用,极大地提升学生的动手实践能力和解决问题的能力。

“电子线路”作为一门电子类的专业基础课,内容涵盖了半导体器件、放大器分析与设计、频响、反馈、集成运放的应用、功率电路、振荡器等多方面内容,知识点多,理论和实践结合性要求高,工程应用背景强。实验作为理论课的有效补充,不仅可以加强学生对理论知识的消化和吸收能力,而且可以增强学生动手实践和创新能力,在实践中提高分析和解决问题的能力。另一方面,电学实验的测量和调试离不开测量仪器,传统实验手段对实验地点和实验时间均提出了极大的限制,使得实验只能在确定的地点和合适的时间开展。有限又昂贵的实验室资源也无法支撑大量学生的研究性实验。近年来,EDA技术不断发展成熟,电子产品和虚拟仪器价格不断下降,现代电子化设备的发展和翻转课堂、MOOC课程的兴起,都对实验教学提出了新的要求和挑战。因此,便携式口袋实验室成为实验教学的新型手段。围绕口袋实验室可以建立丰富多彩的课堂教学方式,可以让学生在图书馆,在宿舍,在教室,在翻转课堂,在在线课程学习中,都可以随时建立起属于自己的实验环境,满足学生日益增强的自主研学需求。

口袋实验室的构建和发展为学生创造了随时随地做实验的环境,也为开展研究性和设计性实验奠定了基础,而合适的实验指导书就变得更为重要。实验指导书要能体现理论的重点和难点,还要兼顾验证性、设计性和探讨性实验比例,既能加强学生的理论学习,又能增强他们的动手能力,同时提升他们思考和解决问题的能力,为实验课堂的探讨性研究提供实验素材。在此背景下,笔者编著了基于 Pocket Lab 口袋实验室的电子线路实践教程。

本书以电子线路的理论内容为依托,以口袋实验室 Pocket Lab 为硬件基础,注重理论计算、计算机仿真和硬件实验三个环节的融合,注重提升学生的分析、设计能力和独立解决问题的能力。优化设计实验内容,提高实验的可操控性和灵活性,注重让学生通过设计和优化器件参数等方式加深对电路的理解,注重提出问题,让学生自行设计解决方案,激发学生的主动性。本书注重平衡验证性实验和设计性实验。加大课后思考题比重,以思考题的方式实现对实验结果的总结和提升。

本书的实验内容是按照教指委制定的“电子线路”课程的基本要求进行设计和编排。实验内容的安排突出反映“电子线路”课程的教学重点和难点,实现用理论指导实验,用实验结果加深对理论的理解。本书第一章介绍了什么是口袋实验室,让读者对这种新型的实验手段有个基本了解;第二章介绍了口袋实验室中的两大利器:仿真工具 Multisim 和硬件测试工具 Pocket Lab 的基本使用方法。第三章是全书的主体部分,提供了十个实验,包括晶体二极管、晶体三极管、单管晶体管放大器分析与设计、差分放大器、频率响应与失真、电流源与多级放大器、多级放大器的频率补偿和反馈、运算放大器及应用电路、功率电子线路和振荡器。附录部分提供了 Pocket Lab 口袋实验室的软件安装和接口说明。Pocket Lab 提供了用于计算机端二次开发的控制接口协议,可供有兴趣的读者通过 C++、LabVIEW、Matlab 等软件进行二次开发,构成其他的测量、控制系统。

每个实验中都贯穿了理论计算、计算机软件仿真和硬件实验三个环节。这三个环节也是现代电子设计的三个主要阶段:理论分析能力是设计能力和分析能力的基础;然后利用 EDA 软件工具针对分析或设计的电路进行仿真,验证设计和分析的正确性;最后进行硬件实现和测试,并分析测试结果,务求使读者能掌握完整的电子设计流程。在实验栏目设计中,我们设计了“背景知识回顾”和“背景知识小考查”,以培养学生对所学理论知识的掌握、复习和运用,“一起做仿真”注重仿真工具的使用和仿真方法的培养;“动手搭硬件”注重硬件搭试和测试分析能力的提升;“设计大挑战”栏目提出设计类题目,“研究与发现”提出探索性问题,注重培养学生在实践中发现问题和解决问题的素养训练。每个实验阶段都配有一定的思考题,启发学生对实验现象进行思考,并鼓励学生对思考结果进行理论分析和实践验证。

本书所有的实验案例均在 Multisim 上仿真通过;硬件均在 Pocket Lab 口袋实验室上测试通过。实验内容基于 Pocket Lab 开发,但不仅限于 Pocket Lab 测试,可移植性强,在所有虚拟测试仪器构建的口袋实验室和真实实验室环境中均可完成测试。

本书可以作为高等学校电子信息类、电气类、自动化类等相关专业的电子线路实践教学指导书。使用过程中,可根据实验的学时和理论课程的重点选择相关实验内容开展教学研究。同时,因为它是围绕方兴未艾的口袋实验室编著,因此可以作为日益丰富的

MOOC 资源以及翻转课堂的教学补充,帮助自学和在线课程学习的学生在课外和实验室外建立自己的专属实验室,以有更充分的时间和空间来实践电子线路实验。

本书由王蓉主编,王欢撰写了 2.1 节和晶体二极管、差分放大器、多级放大器的频率补偿和反馈、运算放大器及应用电路和功率电子线路的实验部分。

在本书的编写过程中,得到了孟桥教授、冯军教授的热情帮助,提出了许多宝贵意见和有益建议,谨在此表示衷心的感谢。

虽然本书从 2013 年开始,经历了 4 轮实践,对书的结构、文字做了多次修改、充实,但限于作者水平,书中内容还有待进一步完善,敬请专家和读者提出宝贵意见。作者邮箱为:wangrong@seu.edu.cn。

王 蓉

2017 年 10 月于南京

本书的电子资源及关于 Pocket Lab 的更多介绍请见下面的网址,您也可以通过网站内的讨论区与更多的人交流电子电路实验。

<http://pocketlab.seupress.com>

还可扫描二维码进入



背景知识回顾

梳理和回顾基础知识，系统呈现教学中的重点和难点。

背景知识小考查

理论分析和计算实验中的部分电路。

一起做仿真

仿真验证理论知识，分析计算和设计的正确性。

实验用器件	型号	数量
电阻	不同阻值(含滑动变阻器)	若干
电容	不同容值	若干
面包板	任意	1块
数字万用表	任意	1台
口袋虚拟实验室	Pocket Lab	1台

【背景知识回顾】

本实验涉及的理论知识包括 PN 结的伏安特性、PN 结的击穿特性、晶体二极管模型、晶体三极管电路的分析方法、晶体二极管整流和稳压电路等。

背景知识的回顾部分仅仅是提炼了教科书相关章节的重点和难点，如果想深入仔细研究理论知识和推导过程，可参阅任何一本教科书的相关章节和知识点。

1) PN 结的伏安特性

PN 结的伏安特性是指通过 PN 结的电流与加在其上电压之间的依存关系。PN 结的正向特性和反向特性可统一由下列指数函数表示：

$$I = I_S(e^{\frac{V}{V_T}} - 1) \quad (3-1-1)$$

若 $V \gg V_T$ (或 $V > 100 \text{ mV}$)，则上式可简化为

$$I = I_S e^{\frac{V}{V_T}} \quad (3-1-2)$$

而当 V 为负值，且 $|V| \gg V_T$ 时， $I \approx -I_S$ ，即为反向饱和电流。PN 结掺杂浓度越大， I_S 越小； I_S 随温度升高而增大； I_S 值还与 PN 结的结面积成正比。实验结果表明：温度每升高 10°C ， I_S 约增加一倍。

根据式(3-1-1)和(3-1-2)可推导出 PN 结的伏安特性方程为

图 3-1-1 所示

应的两端电压称

硅 PN 结； V

锗 PN 结； V

实验结果表

2) PN 结的

当 PN 结上



【背景知识小考查】

考查知识点：直流工作点计算

在图 3-2-11 所示电路中，双极型晶体管 2N3904 的 $\beta \approx 120$ ， $V_{BE(sat)} = 0.7 \text{ V}$ 。计算 T_1 的各级电流和电压，并填入表 3-2-3 的计算值一栏。

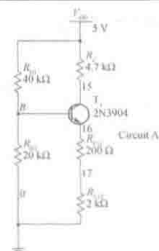


图 3-2-11 晶体三极管静态工作点分析电路

【一起做仿真】

1) 晶体管输入特性曲线

在 Multisim 中搭建图 3-2-12 所示电路，仿真双极型晶体管 2N3904 的输入特性曲线。

仿真设置：依次选择 Simulate→Analyses→Parameter sweep，在弹出窗口中(如图 3-2-13 所示)选择扫描参数的 Device type 为接在 CE 间的电源 V_1 ，这是两个参数扫描中的参变量；在 Points to sweep 中选择扫描种类为 List(列表离散值)，并在 Value list 中给定 0、0.3 和 10 三个值；在 More Options 的 Analysis to sweep 中选择 Nested sweep，点击 Edit analysis 按钮，弹出如图 3-2-14 所示窗口，选择 Device type 为接在 BE 间的电源 V_2 ，这是两个参数扫描中的主变量；在 Points to sweep 中选择扫描种类为 Linear(线性扫描)，给定 Start(起始值)、Stop(终止值)和 Increment(步进值)；在 More Options

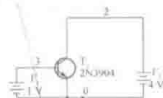


图 3-2-12 输入/输出特性曲线仿真图

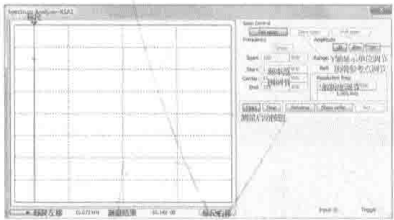


图 3-1-16 频率仪设置



针对性的启发思考问题，鼓励学生对各种电路现象展开研究与思考。



若改变二极管的直流电压，输出信号的失真情况会有什么变化？

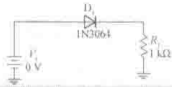
动手搭硬件

采用口袋实验室提供的电源、信号和测试手段实测电路。

【动手搭硬件】

二极管伏安特性曲线实验

根据图 3-1-17 在面包板上设计电路，直流电压源采用信号源替代，交流幅度设置为 0，改变信号源的直流电压获得不同的直流电压输入，测量二极管两端电压，计算二极管中电流，完成表格 3-1-4，并通过描点的方式绘制实际的二极管伏安特性曲线（可采用软件处理数据）。



输入电压(V)
$V_{in}(V)$
$V_{in}(V)$
$\Delta V_{in}(V)$
$I_D(mA)$



基于 Pocket Lab 的电子电路实践教程



除了描点法，还有其他运用 Pocket Lab 功能进行二极管伏安特性曲线的测试方法吗？试一试吧。

【设计大挑战】

采用稳压管 RD2.0S 设计稳压电路，具体要求如下：

- a. 输入直流电压 5 V；
- b. 负载短路电流小于 40 mA；
- c. 输出电压 2 V，负载变化时输出电压波动小于 ±1%，确定负载电阻范围。

根据以上要求设计稳压电路，给出电路图和器件参数，并在面包板上设计电路，采用 Pocket Lab 实验系统对电路进行测量，完成表 3-1-5。

表 3-1-5 稳压电路测试结果

负载电阻 (kΩ)	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	1	10
输出电压(V)								
符合要求的负载电阻范围为								

提示：负载电阻可以采用可变电阻，便于测试；为了得到准确的负载电阻范围，负载电阻的取值不仅局限于上表。

【研究与发现】

二极管温度系数的研究

按照图 3-1-18 所示电路在 Multisim 中进行温度扫描仿真(Temperature Sweep)，直流电流源 I_1 为 1 mA，温度扫描范围为 -40℃~125℃，步长为 5℃，线性扫描，进行直流工作点仿真，得到图中节点 1 的电压随温度的变化波形。



图 3-1-18 温度扫描仿真电路

仿真设置：依次点击 Simulate→Analyses→Temperature Sweep，在 Analysis to sweep 中选择 DC Operating Point。

设计大挑战

培养学生的综合能力，根据设计要求，自行设计电路。

研究与发现

深入分析研究电路问题，借助仿真和测试手段，验证分析的正确性。

目 录

Contents

第一章 口袋实验室	1
1.1 虚拟仪器	2
1.1.1 虚拟仪器系统的硬件构成	3
1.1.2 虚拟仪器系统的软件构成	3
1.2 Pocket Lab 能干什么?	4
1.2.1 它是信号发生器	5
1.2.2 它是直流电压源	6
1.2.3 它是示波器	6
1.2.4 它是频谱测试仪	7
1.2.5 它是波特图仪(扫频仪)	9
1.2.6 它是数字直流电压表	10
1.2.7 它是逻辑分析仪	10
1.2.8 它有强大的数学功能	11
1.3 口袋实验室——随时随地实现实验构想	11
1.4 本书特色	13
第二章 口袋实验室中的两大利器	18
2.1 Multisim 仿真软件	18
2.1.1 Multisim 12 仿真环境简介	18
2.1.2 使用实例	23
2.2 Pocket Lab 虚拟仪器	28
2.2.1 核心硬件	28
2.2.2 功能说明与参数	29
2.2.3 软件的运行	31

2.2.4 虚拟实验室功能使用	33
-----------------------	----

第三章 玩转电子电路	42
-------------------------	-----------

3.1 晶体二极管	42
3.2 晶体三极管	53
3.3 单管晶体管放大器分析与设计	71
3.4 差分放大器	85
3.5 频率响应与失真	98
3.6 电流源与多级放大器	112
3.7 多级放大器的频率补偿和反馈	127
3.8 运算放大器及应用电路	135
3.9 功率电子线路	151
3.10 振荡器	161

附录一 Pocket Lab 的软件安装	178
-----------------------------------	------------

1 程序安装	178
2 驱动安装	181

附录二 Pocket Lab 的软件接口	183
-----------------------------------	------------

1 通用命令	183
2 模拟信号相关指令	183
3 逻辑分析仪相关指令	190

参考文献	192
-------------------	------------



第一章 口袋实验室

“电路”“数字电路”和“模拟电路”等电类专业基础课,是实践性很强的课程。初学者在开始学习的时候,往往会觉得它们很深奥。如果缺乏实践的机会,学习者会认为课程里面的内容毫无用武之地,书本上的知识难以理解甚至难以相信,眼不见不为实!有的时候突然有了新的 idea,却不知道想得对不对,毕竟实践才是检验真理的标准。这时,或许需要一个进入实验室的机会,需要用仪器来检验理论,用仪器来检验设计,用仪器来验证 idea。

众所周知,电路虽然是“设计”出来的,但更是调试出来的,可以毫不夸张地说,世界上几乎没有任何一套稍微复杂一点的电路是不经过调试就可直接由设计到生产的。而电路的调试离不开测量仪器,特别是最常用的示波器、信号源、电源等。当我们走进传统实验室(图 1-1),各种仪器设备像小山一样堆叠在一起。不同的仪器均拥有自己的显示器、供电模块、处理器单元、内存空间和存储器。如果实验室里有多套类似的仪器设备,那么就会有成倍增加的显示器、电源、处理器内存和存储器。这对于硬件来说是巨大的重复和浪费。更重要的是,这样一套实验室设备价格高昂,所需要占用的面积也不小,使得实验只能在固定的地点和合适的时间开展,给同学们的实践带来不便。而且近年来,随着慕课(MOOC, Massive Open Online Courses)的快速发展,各大在线课程平台上涌现出很多优秀的电类专业基础课,吸引了很多同学通过网络进行学习。但是,MOOC 无法

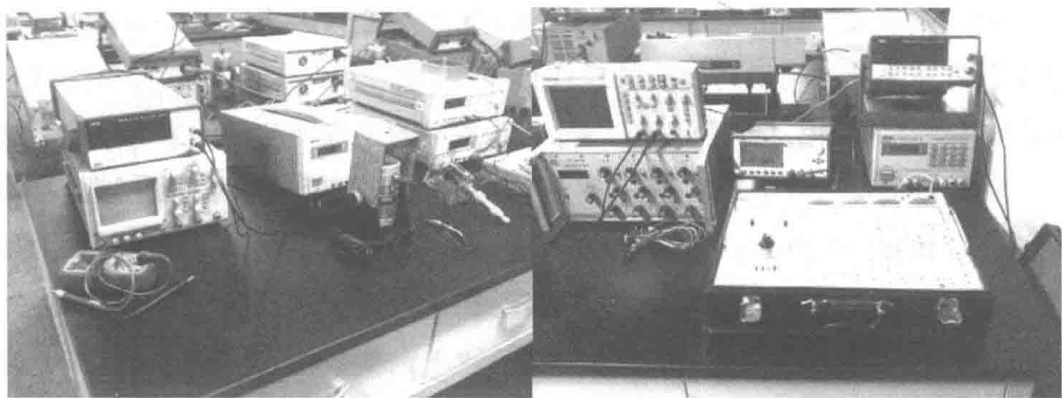


图 1-1 传统实验室



提供实践教学需要的实验室环境,这就给同学们深入掌握课程内容带来了困难。

那么想象一下,如果有这样一种实验室,它能把所有的实验设备和仪器都放进一个口袋里(图 1-2),那么无论在图书馆、宿舍,还是在教室,只要需要,都可以随时建立起属于自己的专属实验室——便携式口袋实验室。这种实验室能够将实验仪器按照需求进行合理整合,高效而灵活,价廉而便利。拥有这样一个实验室,就可以随时获得理论知识的感性认知机会,设计理念就可以随时付诸实践并接受检验。



图 1-2 口袋实验室

近年来,由于 EDA 技术的不断发展成熟,电子产品和虚拟仪器价格的不断下降,笔记本电脑的全面普及,以虚拟仪器为核心架构的便携式口袋实验室迎来了蓬勃发展时期。那么究竟什么是虚拟仪器?口袋实验室又包括哪些组成部分?这本书究竟有什么用处?本章的后续部分将对以上问题一一解答。

✓ 1.1 虚拟仪器

“虚拟仪器技术”这个概念缘起于 20 世纪 70 年代末。在当时,微处理器技术的发展已经可以通过改变设备的软件来轻松地实现设备功能的变化,要在测量系统中集成分析算法已经成为可能,因此虚拟仪器技术将会改变整个测试测量的世界。当传统仪器的供应商们还在将微处理器和厂商定义的算法嵌入到他们提供的封闭式专用系统中时,一个全新的趋势——打开测量系统,允许用户自己定义分析算法并且配置数据的显示方式——已经开始形成。就这样,虚拟仪器技术的概念诞生了。

虚拟仪器技术就是利用高性能的模块化硬件,结合高效灵活的软件来完成各种测试、测量和自动化的应用。自其问世以来,世界各国的工程师和科学家们都已将虚拟仪器用于产品设计周期的各个环节,从而改善了产品质量、缩短了产品投放市场的时间,并提高了产品开发和生产效率。使用集成化的虚拟仪器环境与现实世界的信号相连,分析数据以获取实用信息,共享信息成果,有助于在较大范围内提高生产效率。

虚拟仪器系统在应用的早期面临着许多技术上的挑战。当时的标准方式是通过通用接口总线(GPIB, IEEE 488)连接仪器和计算机,将仪器测量的原始数据传输到计算机处理器中,计算机执行分析功能并且显示结果。不过,市场上的各个仪器厂商都使用各



自的命令集来控制各自的产品,同时虚拟仪器技术的编程对于那些习惯用 Basic 等文本语言来编程的专业人员来说是一个严峻的挑战。很明显,市场需要一种更高层、更强大的工具,但是这个工具到底是什么,当时却并不明朗。转机出现在 1984 年,那一年苹果公司推出了带有图形化功能的 Macintosh 计算机。较之以往键入命令行,人们通过使用鼠标和图标大大提高了创造性和工作效率。同时,Macintosh 的这种图形化操作方式也激发了 Jeff Kodosky 博士的灵感。1985 年 6 月,Jeff 带领一组工程师开始了图形化开发环境的编程工作,研发出虚拟仪器系统的 1.0 版本。在 30 多年后的今天看来,这个产品的诞生大大超越了当时业界的理念,具有深远的前瞻性。技术发展到这一步,虚拟仪器技术已经不再单纯是一个概念性的名词,而是一个切实可行的解决方案,并且可以用图形化或者基于文本的方式来设计系统,不但能为用户带来广泛的灵活性和可扩展性,而且可以节约成本。

虚拟仪器由硬件设备与接口、设备驱动软件和虚拟仪器面板组成。其中,硬件设备与接口可以是各种以 PC 为基础的内置功能插卡、通用接口总线接口卡、串行口、VXI 总线仪器接口等设备,或者是其他各种可编程的外置测试设备,设备驱动软件是直接控制各种硬件接口的驱动程序,虚拟仪器通过底层设备驱动软件与真实的仪器系统进行通信,并以虚拟仪器面板的形式在计算机屏幕上显示与真实仪器面板操作元素相对应的各种控件。用户使用鼠标操作虚拟仪器的面板就如同操作实际仪器一样真实与方便。

1.1.1 虚拟仪器系统的硬件构成

虚拟仪器的硬件系统一般分为计算机硬件平台和测控功能硬件。专用虚拟仪器系统硬件平台可以是各种类型的计算机,如台式计算机、便携式计算机、工作站、嵌入式计算机等。它管理着虚拟仪器的软件资源,是虚拟仪器的硬件基础。因此,计算机技术在显示效果、存储能力、处理器性能、网络、总线标准等方面的发展,促致了虚拟仪器系统的快速发展。

1.1.2 虚拟仪器系统的软件构成

测试软件是虚拟仪器的核心。使用者可以根据不同的测试任务,在虚拟仪器开发软件的提示下编制不同的测试软件,来实现所需的、复杂的测试任务。在虚拟仪器系统中用灵活、强大的计算机软件代替传统仪器的某些硬件,特别是系统中应用计算机直接参与测试信号的产生和测量特性的分析,使仪器中的一些硬件甚至整个仪器从系统中消失,而由计算机的软硬件资源来完成它们的功能。虚拟仪器测试系统的软件主要分为以下 4 部分:



(1) 仪器面板控制软件

仪器面板控制软件即测试管理层,是用户与仪器之间交流信息的纽带。用户可以利用计算机强大的图形化编程环境,使用可视化技术,从控制模块上选择所需要的对象,放在虚拟仪器的前面板上。

(2) 数据分析处理软件

利用计算机强大的计算能力和虚拟仪器开发软件功能强大的函数库可以极大地提高虚拟仪器系统的数据分析处理能力,节省开发时间。

(3) 仪器驱动软件

虚拟仪器驱动程序是处理与特定仪器进行控制通信的一种软件。仪器驱动器与通信接口及使用开发环境相连接,它提供一种高级的、抽象的仪器映像,它还能提供特定的使用开发环境信息。仪器驱动器是虚拟仪器的核心,是用户完成对仪器硬件控制的纽带和桥梁。

(4) 通用 I/O 接口软件

在虚拟仪器系统中,I/O 接口软件作为虚拟仪器系统软件结构中承上启下的一层,其模块化与标准化越来越重要。VXI 总线即插即用联盟提出了自底向上的 I/O 接口软件模型,即 VISA。作为通用 I/O 标准,VISA 具有与仪器硬件接口无关的特点,即这种软件结构是面向器件功能而不是面向接口总线的。应用工程师为带 GPIB 接口仪器所写的软件,也可以用于 VXI 系统或具有 RS232 接口的设备上,这样不但大大缩短了应用程序的开发周期,而且彻底改变了测试软件开发的方式和手段。

本书所列实验实例的硬件测试全部是在基于 Pocket Lab 虚拟仪器构成的口袋实验室上完成。下面就以 Pocket Lab 虚拟仪器为例,介绍虚拟仪器家族强大的测试功能。

✓ 1.2 Pocket Lab 能干什么?

Pocket Lab 是东南大学信息科学与工程学院自主研发并交付生产的一款虚拟仪器。该产品主要由 Pocket Lab 硬件和 Pocket Lab 软件配套组成,可以实现示波器、信号发生器、逻辑分析仪、电源、波特图分析、直流电源、直流电压表等多种功能。Pocket Lab 是一个可以用于“电路”“电子线路”“数字与逻辑电路”等课程的虚拟仪器,具有价格低、体积小、精度高等特点。它也可以用于一些实际系统的数据采集、模拟与数字控制,而且它提供了用于计算机端二次开发的控制接口协议,可供用户通过 C++、LabVIEW、Matlab 等软件进行二次开发,构成其他的测量、控制系统。

如图 1-3 所示为 Pocket Lab 的硬件实物图,其尺寸为 $9.7\text{ cm} \times 6.8\text{ cm} \times 2.3\text{ cm}$,体



积轻巧,便于携带;中间为其核心电路,上下用两块透明有机玻璃面板进行保护。Pocket Lab 的软件部分操作界面与传统的实验仪器操作面板非常类似,以便学生将来操作实际仪器时不会感到陌生。

下面将对 Pocket Lab 的用途做简单介绍。

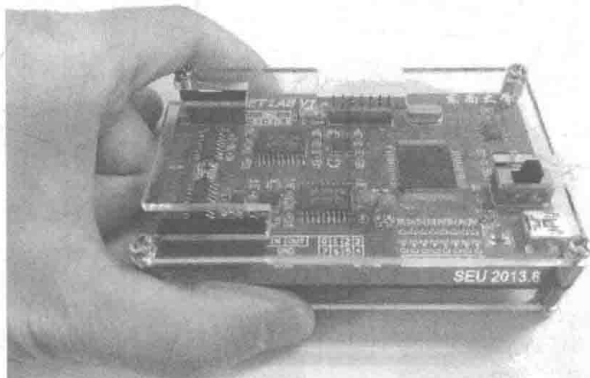
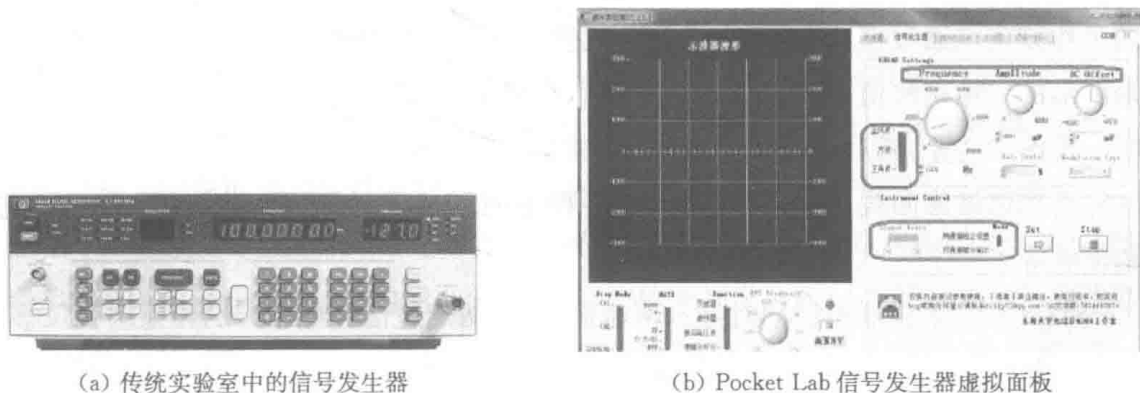


图 1-3 Pocket Lab 硬件实物图

1.2.1 它是信号发生器

信号发生器又称信号源或振荡器,是一种能提供各种频率、波形和输出电信号的设备。在测量各种电信系统或电信设备的振幅特性、频率特性、传输特性及其他电参数时,以及测量元器件的特性与参数时,用作测试的信号源或激励源。能够产生某些特定的周期性时间函数波形,如三角波、锯齿波、矩形波(含方波)、正弦波的电路被称为函数信号发生器。

Pocket Lab 信号发生器可以同时输出用户设定的两路信号,波形包括弦波、矩形波(含方波)和三角波。这两路信号可以是频率、幅度、直流偏置单独设置的两路独立通道信号,也可以是直流偏置相等、互为差分信号(幅度相同,相位差 180°)的双通道信号。图 1-4(a)为传统实验室中采用的某种型号的信号发生器照片,图 1-4(b)为 Pocket Lab 信号发生器虚拟面板。



(a) 传统实验室中的信号发生器

(b) Pocket Lab 信号发生器虚拟面板

图 1-4 信号发生器