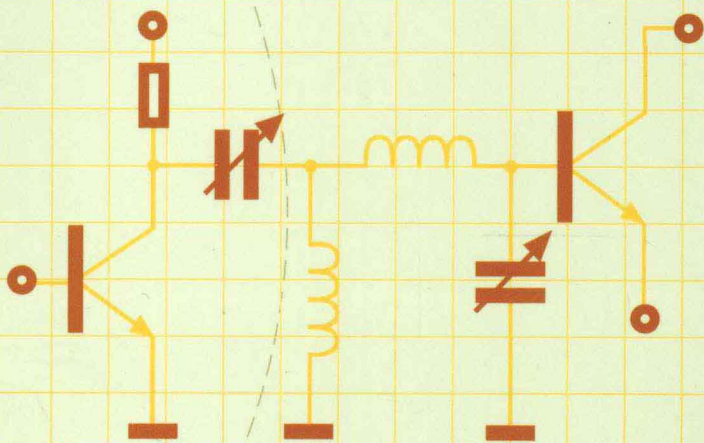


电子信息科学基础实验课程丛书

DIANZI XIANLU SHIYAN

电子线路实验

◎ 电子线路实验课程组 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

电子信息科学基础实验课程丛书

电子线路实验

电子线路实验课程组 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电子线路实验/电子线路实验课程组编著. —北京:北京大学出版社,2014. 1
(电子信息科学基础实验课程丛书)
ISBN 978-7-301-23526-3

I. 电… II. ①电… 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(2013)第 287862 号

书 名: 电子线路实验

著作责任者: 电子线路实验课程组 编著

责任编辑: 王 华

标准书号: ISBN 978-7-301-23526-3/TN · 0105

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 新浪官方微博:@北京大学出版社

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765014 出版部 62754962

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

730 毫米×980 毫米 16 开本 15 印张 220 千字

2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

内容提要

本书是北京大学电子信息科学基础实验中心“电子信息科学基础实验课程丛书”之一，根据北京大学电子信息科学类专业本科生基础实验课程“电子线路实验”的需要而编写。全书共分为三个部分，第一部分介绍了电子测量的基本概念，以及电子线路实验中的常用仪器，包括直流稳压电源、函数信号发生器、示波器、多用表以及半导体管特性图示仪；第二部分精选了10个电子线路实验，涵盖了电子线路课程的重要知识点，这些实验要求学生在实验室通过实际操作完成；第三部分为计算机仿真电路实验，学生需要使用计算机仿真软件，完成几个典型电子线路的设计及仿真验证。

本书介绍了电子线路实验的基础知识，内容设置注重理论与实践相结合，体现了电子信息科学类专业实验教学的特点，反映了现代电子技术的发展及应用。本书可以作为高等院校电子信息科学类本科生电子线路实验教材，也可以作为教师和工程技术人员的参考书。

丛书序言

本科教育是北京大学长远发展中最基础、最重要的工作之一，而实验教学是本科教育特别是一些基础学科教育的重要组成部分，是衡量学校教育质量的重要指标，是培养学生的实验能力以及实践与创新精神的重要过程，是培养高水平、创新型人才的重要手段，同时也是新的形势对高等教育教学的迫切要求。

我校根据改革开放以后国内高等教育形势、规模和人才需求结构的变化，借鉴国际上先进的教学理念并结合我国的实际情况，制定了“加强基础、淡化专业、因材施教、分流培养”的教学改革十六字方针。为了适应信息技术的发展，全面培养电子与信息科学类专业的高素质创新型人才，我校于2000年9月成立了北京大学电子信息科学基础实验中心，全面负责全校电子信息类基础实验课程的实施、改革和建设工作。

根据我校电子信息科学类专业本科生理论基础扎实、人数相对工科院校较少的特点，近年来，实验教学中心进行了具有研究、综合型大学特点的“电子信息科学基础实验课程体系”的建设。形成了模块化、多层次，具有理工相结合特色的实验课程体系，并将专业基础实验课程纳入到课程体系中来。实验课程既与相应理论课程相互呼应，同时又保持了自身的体系与特色。

在学校和信息科学技术学院领导的关心和支持下，实验教学中心组织在教学第一线的骨干教师，总结多年来实践教学和改革经验，并参考兄弟院校的实践教学改革成果，编写了电子信息科学基础实验课程丛书。该套丛书具有理工相结合特色，实验内容选择上注重深度，注重启发性、研究性和综合性，同时将EDA等技术有机地融入到实验课程中去，以便全面地培养学生的综合研究能力和创新意识。

电子信息科学基础实验课程丛书共12本，涵盖了北京大学电子信息科学基础实验课程体系的4个层次。

基础实验层次：

《电路基础实验》《电子线路实验》《数字逻辑电路实验》

综合设计层次：

《电子线路计算机辅助设计》《微机原理与接口技术》《可编程逻辑电路设计》

研究创新层次：

《电子系统设计》《嵌入式系统开发原理与实验》

专业基础层次：

《通信电路实验》《光电子实验》《集成电路设计》《数字信号处理实验》

本套丛书的筹划和编写得到了原电子学系主任王楚教授的关心和指导，信息科学技术学院陈徐宗副院长，实验教学中心顾问唐镇松教授、沈伯弘教授在整个编写过程中，都进行了严格把关和悉心指导。同时，北京大学教务部、北京大学出版社和信息科学技术学院的领导都给予了大力支持和帮助。在此，向他们致以崇高的敬意，并表示衷心的感谢。向所有关心、支持和帮助过本丛书编写、修改、出版、发行工作的各位同仁致以诚挚的谢意。

限于作者的水平和经验，丛书中的疏漏和不足，敬请专家和读者批评指正，不吝指教。

北京大学
电子信息科学基础实验中心
2013年12月

前 言

本书是根据北京大学电子信息科学基础实验中心“电子线路实验”课程需要编写的教材，同时适用于高等院校电子信息科学类专业，以及对这一领域知识感兴趣的读者作为入门的参考教材。

“电子线路实验”是北京大学电子信息科学类专业本科生基础实验课程，作为电子信息科学基础实验中心课程体系的一个重要组成部分，本课程的教学目的是使学生加深对基础理论知识的理解，全面培养实验技能，同时对现代电子技术的发展和应用有所了解，以适应未来对电子信息科学领域优秀人才的要求。

本书由多年来参与电子信息科学课程体系、课程内容及教学方法改革的电子线路实验课程组的教师编写。全书由三部分组成：第一部分是实验仪器介绍，第二部分是电子线路实验，第三部分是计算机仿真电路实验。学生在开始实验之前需要完成第一部分内容的自主学习，深入了解实验室常用仪器的工作原理和性能指标，再通过完成第二部分实验一的内容，熟练掌握各仪器的使用方法，为后续实验的顺利进行奠定基础。第二部分的10个电子线路实验要求学生实验室通过实际操作完成，包括设计、焊接及调试电路，测量和整理实验数据，撰写实验报告等环节，这10个实验共计需要52个课时。第三部分的计算机仿真电路实验包括三种放大器和两类滤波器的设计及仿真验证，要求学生使用计算机仿真软件完成，共计需要20个课时。

本课程体系的建设开始于1995年，在北京大学电子学系前系主任王楚教授的领导下展开。现在书中的晶体管放大器、运算放大器、峰值检测器以及文氏桥选频放大器实验内容是当年由王楚教授亲自编写，李斗、刘新元、何玉梅等老师参与了实验电路调试和实验装置制作。从此构建了厚基础、高起点、具有数理背景和理工科相结合的实验课程知识体系。

2000年北京大学电子信息科学基础实验中心成立以后，由信息科学技术学院主管本科生教学的陈徐宗院长领导，唐镇松教授担任顾问，对本课程的教学内容进行了一系列深化改革，课程体系日趋完善，本书的三部分内容逐步完成。唐镇松教授根据多年的科研工作经验，提出在电路实验中增加振荡器、功率放大器、波形发生器、稳压电源和模拟锁相环等教学内容，并指导课程组编排了相关实验。其中刘新元编排了二相振荡电路和波形发生器实验，董明科编排了LC压控振荡器和模拟锁相环实验，毛新宇编排了稳压电源实验，崔玉芹编排了互补对称式功率放大器实验，郭强设计了本书第二部分前七个实验的通

用实验电路装置，董明科设计了第二部分后三个实验的专用实验装置。在充实电路实验教学内容的基础上，教学改革的一项重要内容是增加了计算机仿真电路实验。本书第三部分中反馈放大器和两个滤波器仿真实验是由崔玉芹等人编排，董明科将晶体管放大器和文氏桥选频放大器两个电路实验改编为计算机仿真实验。本书第一部分实验仪器介绍的内容是在多年教学实践中总结出来的，其中第一章至第五章、思考题和附录部分由毛新宇等人编写，第六章由董明科编写。

在本书出版过程中，李斗组织了全书的修订工作，参加最后修订的有：李斗修订导论，第二部分电路实验三，第三部分仿真实验一和仿真实验二；刘新元修订第二部分电路实验五和电路实验八；毛新宇修订第一部分第一章至第五章，第二部分电路实验二、电路实验四和电路实验九；董明科修订第一部分第六章及思考题、附录内容，第二部分电路实验六和电路实验十；郭强修订本书第二部分电路实验一和电路实验七；刘璐修订第三部分仿真实验三至仿真实验五。谢柏青教授审校了全书内容，提出了许多有益的建议，为进一步提升本书的质量做出贡献。

本书的编写得到北京大学教材建设立项项目的支持，对此表示衷心感谢。同时感谢北京大学教务部和北京大学出版社的大力支持。电子信息科学基础实验中心历任领导王志军教授、毛晋昌教授和李迎春教授也给予了大力支持，在此一并感谢。

电子线路实验课程建设历时十八年，本书内容凝结了北京大学电子学系几代教师的智慧结晶，有许多老师为此付出了辛勤的劳动，在此深表谢意。

由于作者的水平有限，书中难免出现错误和不足，敬请读者不吝赐教。

编者
于北京大学
2013年12月

目 录

电子线路实验导论	1
----------------	---

第一部分 实验仪器介绍

第一章 电子测量的基础概念	7
第二章 直流稳压电源	10
2.1 概述	10
2.2 参数与技术指标	10
2.3 参数测试方法	12
2.4 使用注意事项	14
第三章 函数信号发生器	17
3.1 概述	17
3.2 工作原理	19
3.3 参数与技术指标	25
第四章 示波器	30
4.1 概述	30
4.2 工作原理	55
第五章 多用表	61
5.1 概述	61
5.2 技术指标及说明	77
5.3 使用方法	80
第六章 半导体管特性图示仪	83
6.1 概述	83
6.2 典型技术指标	85
6.3 工作原理	85
6.4 使用方法	89
思考题	95
附:计数法	98

第二部分 电子线路实验

实验一	仪器使用	103
实验二	晶体管放大器	109
实验三	运算放大器	116
实验四	峰值检测器	123
实验五	二相振荡电路	129
实验六	LC 压控振荡器	133
实验七	互补对称式功率放大器	139
实验八	波形发生器	150
实验九	稳压电源	154
实验十	模拟锁相环	162

第三部分 计算机仿真电路实验

仿真实验一	晶体管放大器	185
仿真实验二	反馈放大器	193
仿真实验三	滤波器(一)	204
仿真实验四	滤波器(二)	212
仿真实验五	文氏桥选频放大器	220
参考文献		228

电子线路实验导论

1. 引言

电子学(electronics)是一门研究与电子相关的理论和技术的学科,它是从物理学派生出来的,其原来的狭义内容是研究电子或离子的运动规律及其应用。电子学与传统的无线电技术(利用电磁波传播信息的技术)相结合,形成了一门独立的学科。随着现代科学的发展,电子学进一步与其它学科结合(如物理学、计算机科学、光学、材料科学、生物学等),它的内涵已大大地扩展,成为一门庞大的学科。从目前电子学的研究内容来看,大致可分为如下几个方面:电路与系统、通信与信息系统、信号分析与处理、电磁场和电磁波、控制和智能系统、真空电子学、固体电子学(微电子学)、量子电子学、生物电子学。

电子学又是一门发展极为迅速的学科,它的应用已经广泛地渗透到人类生活、生产和科学实践活动的各个方面,可以说,电子学是人类现代文明的基础。从微波炉到空调、电视,从计算机到光纤通讯,从磁悬浮列车到人造卫星都凝聚着电子学的最新技术发展和广泛应用,人们研制和生产电子产品的速度大大加快,设计新型电子产品的周期大大缩短。在电子领域这种飞速发展的前提下,如何培养我们的学生使之能既很快地适应当前电子学这种快节奏的方式,又能在他们今后漫长的电子学生涯中有一种持之以恒、不断创新的能力。北京大学信息科学技术学院在本科生电子学基础课程改革中正在作这方面的努力和探索。

大学电子线路实验是一门电类专业本科学生的专业基础课程,它的内容主要涉及基本电学量的测量、基础电路的分析和设计、计算机辅助设计的基本方法。该课程的目的是让学生:

- (1)掌握基本元器件的选择、辨认、特性测量和正确使用方法;
- (2)掌握基本电子仪器的原理和正确使用方法;
- (3)掌握现代电子学的基本设计手段和方法;
- (4)掌握基本电路的设计、分析方法,使其具有设计简单功能电路的能力;
- (5)掌握常见电路故障的判断和排除;
- (6)掌握基本的焊接和电路制作技术。

2. 实验要求

一、实验程序

实验前认真预习,完成预习报告,预习报告应包括实验设计和实验步骤,未完成预习报告的同学不能参加实验;

实验中应按照正确的操作规程使用仪器和设备,记录观测的数据和现象,完成实验后应经指导教师验收结果;

实验后应认真完成实验报告,并将实验报告与预习报告和实验中记录的数据一起及时交给指导教师。

指导教师将根据同学实验前的预习情况,实验课上的表现,以及实验报告的完成情况来评定成绩。

二、操作规范

在实验过程中必须关掉电源才能插、拔芯片或焊接元器件,不允许带电焊接,以免损坏仪器及元器件。

正确使用稳压电源。要求先调整好稳压电源的输出电压到预定数值后,才可以将电源输出夹子加到实验装置板上。不应该先把电源加到装置板上,再调整电源输出电压。

遇到异常现象,如打火、冒烟等,应立即切断电源。

实验结束后应有条理地关闭各种仪器的电源,清理桌面,拔掉烙铁电源插头及将仪器面板上的控制旋钮放到正确的“准备”位置上。特别是万用表应量程置于空挡,如无空挡则应置于直流电压量程的最高挡,不应该置于电阻挡,更不应该置于电流挡。

三、管理制度

必须按时到达实验室上课,如因故不能出席需事先请假,并申请调整实验时间。

实验前检查实验台上的各类工具是否齐全。如缺少工具,应立即向实验室管理老师报告。实验结束后收拢工具,待老师检查后才能离开。

实验结束后整理桌面,保持实验室的环境清洁。

3. 正确撰写实验报告

要想圆满地完成一项实验,必须把握三个环节,即实验前的预习、实验中正确的操作及实验后撰写一份完整的报告。写好实验报告十分重要,它不仅仅是完成一项实验工作所不可缺少的组成部分,还是今后写好技术报告或科技论文的基础。因此,每一位同学都必须认真对待。

一般而言,一份完整的实验报告应由实验题目、实验目的、实验原理、实验仪器和设备、实验方法和步骤、数据记录和分析、问题讨论这几部分构成。下面逐一加以说明。

【实验题目】

每份实验报告的题目包括:实验的题目,实验者的姓名,实验合作者的姓名,实验日期,提交报告的日期等内容。

【实验目的】

实验目的叙述要简洁、明了、恰如其分。切忌用过于笼统的语言来描述它,更不要将它扩大到超出在一个实验中实现的可能,例如写“研究 LC 振荡器的特性”就不如写“研究 LC 振荡器的起振条件”更贴切。

【实验原理】

实验原理主要简略描述该实验的基本原理,其中应包括原理图、主要公式等。

【实验仪器和元器件】

列写清楚实验中所使用的仪器、仪表、设备,主要元器件的型号、规格,甚至制造厂家也是极其必要的。因为别人能据此对实验结果的可靠性和精确程度做出初步的判断,也可供想重做该项实验并得到相同结果的人参考。

目前实验中应用集成电路芯片愈来愈多,国产的集成电路芯片大都已有国标或部标,例如 TTL 电路芯片中的 T000 系列, T1000 系列等, CMOS 电路芯片中的 C0000 系列, CC0000 系列等。国外生产的集成电路芯片,尽管类型和型号相同,如果生产厂家不同,则性能往往会有差异,这一点应加以注意。

【实验方法和步骤】

实验方法和步骤要用实验者本人的语言简明扼要地描述,不要照抄实验教材上的内容。

【实验数据记录和分析】

实验数据包括实验中实际测得的数据(有时也可能是波形)和根据测得的

数据计算得到的数据两种。这里需要注意以下几个问题:

1. 测得的数据要根据误差的要求,正确选取其有效数字的位数,而计算所得数据的精度(有效数字的位数)要与测得数据的精度相吻合。

2. 将测得的数据列表表示时,每张表格都应加上说明标题,表中所列的数据应附有单位,同一类型的量采用的单位应力求相同。计算所得的数据也可列在同一表格中,但要清楚地说明它是计算所得数据。

3. 有时需要将测得的数据绘制成图形或曲线。那么,每根曲线的水平和垂直坐标轴都应标明所代表的量、采用的单位及刻度大小。每张图上的数据点应使用记号表示得十分清晰,每条曲线都应画得光滑、连续,而不是机械地用每个数据点连成的多段折线或多段弧线来表示。有时,如需将实验结果与理论曲线进行比较,则应将理论曲线画在同一张图上,所使用的单位和刻度也应相同。

4. 任何一次实验的结果都存在误差。认真地对实验结果进行误差分析,不仅是提高实验质量的关键,还能提高对实验过程的洞察力以及培养分析问题和解决问题的能力。

分析实验误差应包括:误差的计算,误差变化规律的探寻,误差产生原则的分析以及对误差贡献大小不同的因素的区分等。如果本次实验是验证某项理论,那么,就应把实测数据与理论计算结果进行对比分析,说明产生误差的原因及影响的大小。

【问题讨论】

问题讨论包括二部分:

1. 实验教材中问题的讨论。

2. 实验结果或实验过程中奇异现象和结果的讨论。如果实验数据揭示出一种未曾预料到的结果,则应在讨论部分加以陈述,并对此现象做出解释与判断。最后,实验者对该项实验的改进建议(诸如实验方案的修正,内容的增删,步骤的改进,精度的提高等)。

除了以上所阐明的那些内容要求外,一份高质量的实验报告,还应做到表述清晰,字迹工整,图形美观,页面整洁。

第一部分 实验仪器介绍

第一章 电子测量的基本概念

电压和电流是电子线路测量中最基本的参量,对它们的测量是最基本的测量,其他许多参数的测量都以二者为基础。

电压是相对电路结构中的两点来定义的,只有当载流子在电路中从一点运动到另一点的过程中使电势能发生变化时,两点之间的电压差才非零。所以对电压的测量一定是针对电路中两点的测量,是将电压表**并联**在电路中使用。

电流是单位时间内流过某个截面的载流子的电荷数的度量。从电路拓扑的角度来看,电流是对电路结构中的一点而言的,即单位时间内通过这一点的电荷数的度量。所以,对电流的测量一定是针对一点的测量,是将电流表**串联**到电路使用的。

电压有直流电压和交流电压之分。在观测时间内,直流电压表示两端电压恒定的高低关系,而交流电压则表示两端电压时变的高低关系,即两端电压的高低关系是随时间不断变化的。

当电路中两点之间的电压保持恒定不变时,宏观上可以定义这两点之间的直流电压,只要一个值就可以完整地描述电压。而当两点间不能保持电压恒定不变时,从宏观上对电压的描述有多种方式,分别描述它们不同方面的特性,下面只考虑应用得最广泛的周期信号的情况。

峰峰值 V_{pp} (peak to peak):指一个周期内信号最高值和最低值之间的差值,它描述了信号值的变化范围的大小。

峰值 V_p (peak):指一个周期内信号最高值或最低值与平均值之间的差值。一般来说,峰值对上下对称的信号才有定义,可以看到,峰值等于峰峰值的一半。

有效值/均方根值 V_{rms} (root mean square):指在一个周期内对信号平方后积分,再开方平均。设 T 为信号的周期,则如公式(1.1)所示。

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} \quad (1.1)$$

平均值 V_{avg} (average):指信号在一个周期内的平均值,如公式(1.2)所示。

$$V_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (1.2)$$

对于正负对称的信号来说,平均值显然为零,有时规定这种信号的平均值为全波整流之后的平均值,即公式(1.3)的定义。