



高等学校电子信息类“十二五”规划教材

电子技术实验教程

黄河 张建强 马静囡 陈丹亚 编著
张 君 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

电子技术实验教程

黄 河 张建强 马静因 陈丹亚 编 著
张 君 主 审

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书由长期从事电类课程实践教学的教师编写,内容侧重学生综合设计能力和工程实践能力的培养。全书共分5章,内容包括绪论、模拟电子技术基础实验、数字电子技术基础实验、高频电子技术基础实验和电子电路综合设计性实验。

本书共有18个实验题目和8个综合设计项目,每个实验题目均包含基本实验内容和拓展提高内容,其难易程度基本满足了不同层次的教学需求。

本书可作为高等院校电类专业电子技术课程的实验教材,也可作为相关专业技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验教程/黄河等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2014.3

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3342-8

I. ①电… II. ①黄… III. ①电工技术—实验—高等学校—教材

IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 027972 号

策 划 戚文艳

责任编辑 王 瑛·买永莲

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2014年3月第1版 2014年3月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 13.5

字 数 316千字

印 数 1~3000册

定 价 24.00元

ISBN 978-7-5606-3342-8/TN

XDUP 3634001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

编委会名单

主 编	黄 河				
编 委	马静因	陈丹亚	李少娟	张建强	
	鲁 昀	姬正洲	赵颖娟	王聪敏	
	耿道田	刘 宏	孙中禹	李 佳	
主 审	张 君				

前 言

电子技术实验是高等学校电类、机电类专业的一门必修基础课，其主要任务是通过理论与实践的紧密结合，巩固和深化已学理论知识，加强基本实验技能训练，使学生具备电路综合设计能力，掌握科学研究的基本方法，培养学生的综合素质和创新能力，树立学生的工程意识和严谨的科学作风。

本书是根据人才培养方案和课程教学的基本要求，并结合各专业特点编写而成的。本书主要包括基础实验、综合设计实验、拓展提高实验和计算机仿真实验四部分内容。基础实验旨在培养学生的基本实验技能和实验兴趣，巩固和加深学生对理论知识的理解，培养学生观察和分析实验现象、解决实际问题的能力，且实验的难度循序渐进，与理论知识紧密结合；综合设计实验的重点是让学生利用已学过的理论知识和实践技能，有选择地完成一些中大规模电子线路的设计、安装、调试任务，培养学生的电路综合设计能力以及对现代电路实验方法、测试技术的应用能力；拓展提高实验主要是开阔学生视野，让学生更多地了解电子线路的实际应用，培养学生从系统层面上分析、解决实际问题的能力，进而提高其综合创新能力；计算机仿真实验可使学生更深入地了解现代电子技术的进展，掌握先进的电子线路计算机辅助分析方法，培养学生的实验技能。

本书注重理论与实践相结合，注重现代电子技术的发展和新技术、新手段的应用，充分体现因材施教的教学指导思想。本书共分5章，第1章、第2章和第5章的5.1、5.2、5.3节由黄河编写，第3章和第5章的5.4、5.5、5.6节由马静因、李少娟和陈丹亚编写，第4章和第5章的5.7、5.8节由张建强编写。鲁昀、姬正洲、赵颖娟、王聪敏、耿道田、刘宏、孙中禹和李佳参与了电路设计调试和部分编写工作，全书由黄河统稿。本书吸取了空军工程大学理学院实验中心全体教师的实践教学经验，并在大家的支持与指导下完成。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2013年12月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子技术实验课的目的与意义	1
1.2 电子技术实验课的特点	1
1.3 电子技术实验课的学习方法	2
1.4 电子技术实验课的要求	3
1.5 误差分析	4
1.6 电子电路调试及故障分析处理	5
第 2 章 模拟电子技术基础实验	8
2.1 晶体管放大器	8
2.2 射极耦合差分放大器	21
2.3 集成运算放大器的线性应用	33
2.4 功率放大器	43
2.5 波形产生电路	51
2.6 集成稳压器的设计与应用	59
第 3 章 数字电子技术基础实验	72
3.1 数字电子技术实验基础	72
3.2 TTL 门电路和组合逻辑电路	91
3.3 集成触发器和计数器的应用	98
3.4 译码显示电路及其应用	108
3.5 555 时基电路及其应用	114
3.6 移位寄存器及其应用	120
3.7 数/模、模/数转换器	126
第 4 章 高频电子技术基础实验	138
4.1 高频电子技术实验基础	138
4.2 小信号谐振放大器	141
4.3 LC 振荡器	147
4.4 晶体三极管混频器	153
4.5 集成乘法器幅度调制电路	157
4.6 振幅解调器(包络检波、同步检波)	163
4.7 高频谐振功率放大器	170
第 5 章 电子电路综合设计性实验	175
5.1 电子电路综合设计性实验的意义与要求	175
5.2 方波—三角波—正弦波函数信号发生器	177
5.3 RC 有源滤波器	183
5.4 水温控制系统	188
5.5 数字钟	191
5.6 十字路口交通灯	194

5.7 饮料自动售卖机	197
5.8 小型等幅发射机	198
5.9 高频信号发生器	203
参考文献	208

第1章 绪论

电子技术实验是一门实践性很强的课程，在学生能力培养中占有非常重要的地位，是整个本科生人才培养体系中不可或缺的部分，也是培养高素质拔尖创新型人才的关键环节。

1.1 电子技术实验课的目的与意义

实验教学的目的是巩固、加强和深化所学的理论知识，培养学生的基本实验技能、电路的设计与综合应用能力以及利用先进技术进行电路设计和仿真的能力，通过分析和解决实验中出现的问题，提高学生的工程实践能力，培养学生良好的素质和创新能力及科学严谨的作风，为后续专业课程的学习奠定基础。

实验教学和理论教学是相辅相成、互相促进的，理论的概念、原理必须通过实践才能获得更清晰、更深入的理解，而在实践中获得的丰富知识和经验有利于更好、更深刻地理解原理。学习过程中，对事物的了解和认识必须有理论上的描述和实践中的观察才是比较全面和深刻的，只有书本知识，缺乏实际经验和能力往往不能很好地解决实际问题。通过分析和解决实验过程中出现的现象和问题可以促使学生独立思考，学习新知识，扩大知识面，增强理论联系实际的能力，培养创新意识和研究性思维，这也是科学工作者应该具备的能力和素质，所以实践环节和理论学习具有同样重要的意义。

1.2 电子技术实验课的特点

电子技术实验课是一门重要的技术基础课程，具有很强的实践性和鲜明的工程特点。实验中要涉及器件、电路、工艺、环境等诸多实际因素，存在理想模型和工程实际的区别，也使得一些实验现象和结果与书本知识、课堂讲授内容存在差异。因此，要学好这门课程，就必须了解课程的特点。

1. 电子器件特性参数的离散性

电子器件品种繁多、特性各异，进行实验时除要求合理选择器件、了解器件性能外，还要注意相同型号的电子器件特性参数的离散性，如电子元件(电阻、电容)的元件值存在较大偏差，同型号的晶体三极管的 β 值不同，这使得实际电路性能与设计要求的有一定的差异，实验时需对实验电路进行调试。对于调试好的电路，一旦更换某个器件，则需要重新调试。

2. 电子器件的非线性

模拟器件的特性大多数都是非线性的，因此，在使用模拟电子器件时，就有如何合理

选择与调整工作点使其工作在线性范围,以及如何稳定工作点的问题。而工作点一般是由偏置电路确定的,因此偏置电路的设计与调整在模拟电路中占有极其重要的位置。

3. 测试仪器的非理想特性

理论分析时,一般认为测试仪器具有理想的特性,但实际上信号源内阻不可能为零,示波器和毫伏表的输入阻抗也不是无穷的,因此,测试时会对被测电路产生影响。了解这种影响,选择合适的测量仪器和方法进行测量,可减小测量过程带来的误差。

4. 阻抗匹配

电子电路各单元电路之间相互连接时,经常会遇到匹配问题。前后级电路间匹配不好,可能会影响电路的整体效果,使得整体电路不能正常工作。因此,在电路设计时,应该选择合适的参数或采取一定措施,尽量使前后级之间良好匹配。

5. 接地问题

实际电路中所有仪器仪表都是非对称输入和输出的,所以一般输出电缆和测试电缆中都有接地线,通常要求仪器和电子电路要共地。应特别注意的是,电子电路中的“地”是可以人为选定的,是整个电路系统的参考点(零电位点)。

6. 分布参数和外界电磁干扰

在一定条件下,分布参数对电路的特性可产生重大影响,甚至因产生自激而使电路不能正常工作,这种情况在工作频率较高时更易发生,因此,元器件的合理布局和恰当连接、接地点的合理选择和地线的合理安排、必要的去耦合屏蔽措施在电子电路中是相当重要的。

7. 测试手段的多样性和复杂性

针对不同问题应采用不同的测试方法,同时应考虑测试仪器接入后对电路产生的影响。

上述特点决定了电子技术实验的复杂性,了解这些特点,对掌握实验技术、分析实验现象、提高工程实践能力具有重要意义。

1.3 电子技术实验课的学习方法

要学好电子技术实验这门课程,应注意以下几点。

(1) 掌握实验课的学习规律。实验课是以动手为主的课程,进入实验室实验时,应该做到有的放矢,并且清楚自己进入实验室该做什么、怎么做等。因此,每个实验都要经历预习、实验和总结三个阶段。

① 预习。预习的主要任务是清楚实验的目的、内容、方法及实验中必须注意的问题。通过预习,要拟定实验步骤、制订记录数据的表格,并对实验结果有一个初步的估计,以便实验时可以及时检查实验结果的正确性。预习质量的高低将直接影响实验的效果。

② 实验。实验就是按照自己预先拟定的方案进行实际操作,是提高实践能力、锤炼实验作风的过程。实验中既要动手,也要动脑,要实事求是地做好原始数据的记录,分析和解决实验中遇到的各种问题,养成良好的科学作风。

③ 总结。总结就是实验完成后,整理实验数据、分析实验结果,对实验做出评价,总结收获。这一阶段是培养总结归纳能力和学术写作能力的重要过程。

(2) 学会用理论指导实践。理解实验原理、制订实验方案需要用理论进行指导;调试电路时同样需要用理论分析实验现象,从而确定调试的方法、步骤。盲目地调试是错误的,虽然有时也能获得正确的结果,但对实验技术的掌握、调试电路能力的提高不会有帮助。另外,实验结果正确与否、实验结果与理论存在的差异也需要从理论的高度来进行分析。

(3) 注意实践知识与经验的积累。实践知识和经验需要通过长期积累才能丰富起来。在实验中,对所用的仪器与器件,要记住它们的型号与规格以及使用方法;对实验中出现的各种现象与故障,要记住它们的特征;对实验中的经验教训,要进行总结。

(4) 自觉提高工程实践能力。要养成主动学习的习惯,实验过程中要有意识地、主动地培养自己发现问题、解决问题的能力,不要事事问老师、过多依赖指导老师,而应该尝试自己去解决实验中遇到的各种问题,要不怕困难与失败,从某种意义上讲,困难与失败正是提高自己工程实践能力难得的机会。

1.4 电子技术实验课的要求

为确保实验顺利完成,达到预期实验效果,学生应做到以下几点。

1. 实验前要求

(1) 预习充分。认真阅读实验教材,清楚实验目的,充分理解实验原理,掌握主要参数的测试方法。

(2) 认真学习教材中介绍的仪器仪表的使用方法,熟悉要使用仪器仪表的性能和使用方法。

(3) 对实验数据和结果有初步估算。

2. 实验中要求

(1) 按时进入实验室,遵守实验室的规章制度。

(2) 严格按操作规程使用仪器仪表。

(3) 按照科学的方法进行实验,要求接线正确,布线整齐、合理。

(4) 实验中出现故障时,应利用所学知识进行分析,并尽量独立解决问题。

(5) 细心观察实验现象,真实、有效地记录实验数据。

3. 实验后要求

实验完成后要撰写实验报告。实验报告的撰写要求如下:

(1) 注明实验环境和实验条件,如实验日期、所使用仪器仪表的名称等。

(2) 整理实验数据,描绘测试波形,列出数据表格并画出特性曲线。

(3) 对实验结果进行必要的理论分析,得出实验结论,并对本次实验做出评价。

(4) 分析实验中出现的故障和问题,总结排除故障、解决问题的方法。

(5) 简述实验收获和对改进实验的意见与建议。

(6) 回答思考题。

1.5 误差分析

1. 误差的定义

在实际的测量中,由于受到测量仪器的精度、测量方法、环境条件或测量能力等因素的限制,测量值与真实值会有差异。测量值与真实值之差称为测量误差。

2. 误差的来源

测量误差的来源主要有以下几种。

1) 仪器误差

仪器仪表本身的电气和机械性能不完善引入的误差称为仪器误差,这是测量误差的主要来源之一。设计、制造等的不完善,以及计量器具使用过程中元器件老化、机械部件磨损、疲劳等因素会使计量器具带有误差。计量器具的误差可以分为读数误差(包括出厂校准精度不准确产生的校准误差、刻度误差、读数分辨率有限而造成的读数误差等,如指针式仪表的零点漂移、刻度非线性引起的误差及数字化仪表的量化误差)、计量器具内部噪声(即计量器具自己产生的干扰信号)引起的稳定误差和计量器具响应滞后现象造成的动态误差等。

2) 使用误差

使用误差又称操作误差,它是指在使用仪器过程中,因安装、调节、布置、使用不当而引起的误差。

3) 人身误差

人身误差是指由于人的感觉器官和运动器官的限制,因测量人员主观及客观因素所引起的误差。具体地讲,人身误差是因测量者的操作不规范、分辨能力差、视觉疲劳、反应速度慢及不良的固有习惯等引起的,如操作不当、看错、读错、听错和记错等。

4) 影响误差

影响误差又称环境误差。由于实际环境条件与规定条件不一致所引起的误差称为环境误差。它是指由于受到温度、湿度、大气压、电磁场、机械振动、声音、光照、放射性等影响所造成的附加误差。任何测量总是在一定的环境里进行的,环境由多种因素组成。对电子测量而言,最主要的影响因素是电源电压、电磁干扰、环境温度等。

5) 方法误差

方法误差是由于测量、计算方法不合理及理论缺陷等造成的误差。这种测量误差主要表现为测量时所依据的理论不严密,用近似公式或近似值计算出的数据作为测量结果或测试方法不合理等造成的误差。例如,用普通指针式万用表测量高内阻回路的电压。用谐振法测量频率时,常用近似公式为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

但实际上,回路电感 L 中总存在损耗电阻 R ,其准确的公式为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}$$

6) 被测量不稳定误差

由测量对象自身的不稳定变化引起的误差称为被测量不稳定误差。我们知道,测量是需要一定时间的,若在测量时间内被测量由于不稳定而发生变化,那么即使有再好的测量条件也是无法得到正确的测量结果的。如振荡器的振荡频率不稳定,则测量其频率必然会引起误差。

3. 削弱和消除误差的方法

在测量工作中,对于误差的来源要认真分析,并采取相应的措施,以减少误差对测量结果的影响。下面分别以系统误差、随机误差和粗大误差为例,分析削弱和消除误差的方法。

1) 系统误差

系统误差是指在多次等精度测量同一量时,误差的绝对值和符号保持不变,或当条件改变时按某种规律变化的误差。系统误差的大小用准确度说明,系统误差越小,测量的准确度越高。

引起系统误差的原因多为测量仪器不准确、测量方法不完善、测量条件变化及操作不正确等。一般来说,当实验环境系统确定后,系统误差就是恒定值;当实验环境系统改变或部分改变时,系统误差也随之改变。我们应根据系统误差的性质和变化规律,通过分析,找出产生的原因,并进行校正改善,或者采用一种适当的测量方法,削弱或基本消除系统误差。削弱或消除系统误差的方法一般有零示法、替代法、交换法、补偿法、微差法等。

另外,由于系统误差具有一定的确定性,因此对于无法有效消除其原因的误差项,还可用修正值的方法来减小测量误差。例如,欧姆表在电池电压降低时,会造成测量值变大,这时我们可以在测量值上加上一个修正值(根据与准确的欧姆表对比可获得此修正值),来减小测量的误差。

2) 随机误差

随机误差(又称偶然误差)是指对同一量值进行多次等精度测量时,其绝对值和符号均以不可预定的方式无规则变化的误差。随机误差的大小用精密度说明,随机误差越小,精密度越高。产生随机误差的主要原因是那些对测量值影响较小又互不相关的诸多因素,如各种无规律的干扰、热骚动、电磁场变化等。根据随机误差的特点,可以通过对多次测量值取算术平均值的方法来降低随机误差对测量结果的影响。

3) 粗大误差

粗大误差是指因测量人员不正确操作或疏忽大意而造成的明显超出预计的测量误差。带有粗大误差的数据是不可靠的,在可能情况下应重复测量核对这些数据。在数据处理时,带有粗大误差的数据应该被删除,但是,如果是由于被测电路工作不正常而造成的粗大误差,则应做进一步的测量分析。

1.6 电子电路调试及故障分析处理

1. 电子电路的调试

电子电路的调试在电子工程实践中占据很重要的地位,是把理论付诸实践的重要过

程,对设计的电路能否正常工作,是否能达到预期的性能指标要求,起到至关重要的作用。在先期电子电路设计过程中,不可能周全地考虑到许多复杂、客观的因素,如元器件标称值的偏差、器件参数的离散性、分布参数的影响等,所以安装完成的实际电路往往达不到预期的指标和性能要求,这就需要通过测试与调整来发现和纠正设计与安装中出现的偏差,然后采取必要的措施加以改进,使电路能正常工作,并达到设计指标要求。

调试一般包括以下几步。

1) 不通电检查

电路安装完毕后,不要急于通电,应该先检查电路连接是否正确,是否有连错、少线、多线,各元器件引脚间连接是否正确,引脚间有无短路情况,焊点有无接触不良,电解电容极性是否接反等,同时检查直流供电情况,包括电源是否可靠接入电路,电源正负极性是否接反,还可用万用表测量供电端到地电阻,看是否存在短路情况。一般检查方法有两种:一是按照设计的电路原理图逐条支路检查;二是将实际电路与电路原理图进行对照,从两个元件引脚连线的去向清查,看每个引脚连线去处在电路图中是否存在。

2) 通电观察

将电源输出调到电路供电电压值,然后接入电路。首先要仔细观察电路通电后有无异常现象,如是否有冒烟、打火、异味等。若出现异常现象,则应立即切断电源,重新检查,排除故障。

3) 电路调试

电路调试包括电路的测试和调整。测试是在安装后对电路的参数及工作状态进行测量,以判断电路是否正常工作;调整是在测量的基础上对电路的结构和元器件参数等进行必要的调整,使电路的各项性能指标达到设计要求。测试与调整一般需要反复交叉进行多次。调试的方法有两种:一是边安装边调试,采用逐级调试的方法;二是整个电路全部安装完毕后进行统一调试。实验中一般采用先分级调试,再联调的方法,重点是解决各单元连接后相互之间的影响。

(1) 静态调试。所谓静态调试,就是在没有外加输入信号的情况下,对电路进行的测试和调整。正确的直流工作状态是电路正常工作的基础。在模拟电路中,静态调试一般是测量和调整各级直流工作点;在数字电路中,静态调试一般是测量和调整集成电路某些引脚施加的固定直流电平,通过测量电路中各点电位来判断各级输入、输出逻辑关系是否正常。通过静态调试,可以及时发现损坏的元器件,准确判断电路各部分的工作状态。若发现器件损坏,需分析原因,排除故障后再更换元器件;若发现电路工作状态不正常,则需调整电路参数,使直流工作状态符合设计要求。

(2) 动态调试。静态调试完成后,在电路输入端施加符合要求的信号,按照信号流向逐级检查有关点的信号波形、幅度、相位,并依据检查结果判断电路性能指标、逻辑关系、时序关系是否达到要求。若发现异常,需调整电路参数,直到满足设计要求为止。

(3) 注意事项。为提高调试效率,确保调试效果,应注意以下事项:

① 调试前应该明确主要测试点的直流电压、相应波形等主要数据,将其作为调试过程中分析判断的基本依据。

② 调试时使用的仪器设备必须连接到电路地。只有仪器设备与电路之间共地,测量结果才是正确的,才有可能做出正确的分析判断。

③ 调试过程中,发现电路连接或器件、接线有问题,需要更换器件、重接电路时,应先关掉电源再进行,不能在带电情况下更换器件和连接电路。

④ 调试过程中应认真观察和测量,并做好相关记录,尤其对与设计要求不符的现象要进行分析,从中发现问题,对设计进行改进、完善。

2. 电子电路的故障分析和处理

调试过程中,肯定会遇到各种故障现象,分析故障原因,进而排除故障,是提高实验技能,积累实践经验,提高分析问题和解决问题能力,把理论知识向实践能力转化的重要途径。分析和处理故障的过程,就是通过调试,发现电路中存在的问题和故障,并从故障现象出发,结合所学理论知识,做出正确的分析判断,逐步找出问题的过程。

1) 产生故障的常见原因

电子电路的故障多样,产生的原因各不相同,一般有如下几种情况:

(1) 电路安装错误引起的故障,如接线错误(错接、漏接、多接、断线),元器件安装错误(电解电容正负极性接反、二极管正负极性接反、三极管引脚接错等),元器件之间碰撞造成的错误连接,集成电路插接不牢、接触不良等。

(2) 器件性能不良引发的故障,如电阻、电容、晶体管、集成电路等损坏或性能不良,参数不符合要求,实验箱、面包板内部出现短路或接触不良等。

(3) 各种干扰引发的故障,如接线、布局不合理会造成自激振荡,接地处理不当(包括地线阻抗过大、接地点不合理、仪器设备与电路不共地等),退耦、直流滤波效果不佳会造成 50 Hz(或 100 Hz)干扰。

(4) 测试仪器引发的故障。仪器设备选择不当、测试方法不合理,都会给测试结果带来很大误差,直接影响分析判断,得到错误结论。

工程实践中,如果调试的不是经过验证的电子电路,那么在调试过程中出现的异常现象可能是电路设计不够合理、元器件选择不当或考虑不周所致,这种原理上的欠缺必须通过修改电路设计方案或更换元器件才能解决。

2) 分析查找故障原因的一般方法

(1) 观察判断法。在没有恶性异常现象发生的情况下,可通过观察元器件外表,印制电路板连线,元器件引脚之间有无断路、短路,焊点有无松动或虚焊来发现问题,查找故障。

(2) 测量分析法。有些问题必须通过测量才能发现,如连接导线内部导体开路但外部绝缘层完好,半导体器件击穿或引脚接触不良等,这种情况下就要借助万用表或示波器等仪器通过测量、分析找出产生故障的原因。例如,放大器的静态调试就是利用万用表检查电路的直流工作点或输出端的高低电平以及逻辑关系来发现问题、查找故障的。

(3) 信号寻迹法。在了解电路工作原理、性能指标和各级工作状态的情况下,可采用信号寻迹法来检查排除故障。在电路输入端施加符合要求的信号,用示波器由前级到后级,逐级检测各级的输入、输出波形,哪级波形出现异常,故障就出在哪级。

分析、查找故障的方法多样,要迅速、准确地找到故障原因并加以排除,除了要有理论作指导,能熟练使用仪器设备外,丰富的实践经验至关重要,所以要在实践中不断总结、不断积累,才能提高分析和解决问题的能力。

第 2 章 模拟电子技术基础实验

本章为模拟电子技术基础实验，重点是在巩固和加深理解基本理论知识的基础上，介绍基本实验方法，培养学生观察和分析实验现象的能力，并通过拓展内容的学习，使学生具备一定的工程实践能力。实验内容主要包括晶体管放大器、射极耦合差分放大器、集成运算放大器的线性应用、功率放大器、波形产生电路、集成稳压器的设计与应用。

2.1 晶体管放大器

一、实验目的

- (1) 掌握晶体二极管、三极管极性判别方法。
- (2) 练习规范的焊接、组装与调试方法。
- (3) 掌握放大器静态工作点调试方法和性能指标的测量方法。
- (4) 了解负反馈对放大器性能指标的影响。
- (5) 学会用 Multisim 仿真实验内容。

二、预习要求

- (1) 预习单管共射极放大器和负反馈放大器的基本理论，了解放大器性能指标的测量方法。
- (2) 复习晶体管放大器工作原理，了解实验步骤。
- (3) 实验放大电路采用 3DG6($\beta=100$)晶体管， $U_{CC}=12\text{ V}$ 。参照原理电路设计实验电路，确定放大器的静态工作点，估算电压放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。
- (4) 应用电路设计仿真软件 Multisim 10，对单管共射极放大电路进行仿真设计、分析。

三、实验原理

1. 晶体管测量

1) 晶体二极管

晶体二极管是由一个 P 型半导体和 N 型半导体形成的 PN 结，在两端加上接触引线并以外壳封装而成，接在 P 区的引线为阳极(正极)，接在 N 区的引线为阴极(负极)。其结构和电路中常用的表示符号如图 2.1 所示，实物如图 2.2 所示。

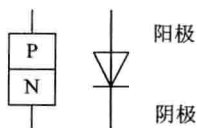


图 2.1 常用二极管的图形符号

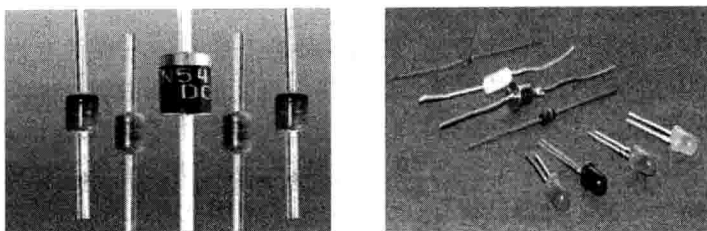


图 2.2 常见二极管的实物图片

(1) 二极管的正向特性。在电子电路中，将二极管的正极接在高电位端，负极接在低电位端，二极管就会导通，这种连接方式称为正向偏置。必须说明，当加在二极管两端的正向电压很小时，二极管仍然不能导通，因为流过二极管的正向电流十分微弱；只有当正向电压达到某一数值（这一数值称为“门坎电压”，又称“导通电压”）时，二极管才能真正导通。导通后，二极管两端的电压基本保持不变（锗管为 $0.1 \sim 0.3 \text{ V}$ ，硅管为 $0.5 \sim 0.7 \text{ V}$ ），称为二极管的“正向压降”。

(2) 二极管的反向特性。在电子电路中，将二极管的正极接在低电位端，负极接在高电位端，此时二极管中几乎没有电流流过，二极管处于截止状态，这种连接方式称为反向偏置。当二极管处于反向偏置时，仍然会有微弱的反向电流流过二极管，该电流称为漏电流。当二极管两端的反向电压增大到某一数值时，反向电流会急剧增大，二极管将失去单方向导电特性，这种状态称为二极管的击穿。

(3) 二极管测量。利用 PN 结的单向导电性，测量正向导通电压的大小（或测量其正向电阻的大小），就可判断晶体二极管的极性及性能。测试时，可将数字万用表旋到蜂鸣挡，将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入 V/Ω 插孔（数字万用表红表笔极性为“+”，黑表笔极性为“-”），并将表笔接到待测二极管两端。如红表笔接二极管正极，黑表笔接二极管负极，则万用表显示为二极管正向导通压降的近似值（硅管为 $0.5 \sim 0.7 \text{ V}$ ，锗管为 $0.1 \sim 0.3 \text{ V}$ ）。

2) 晶体三极管

晶体三极管是半导体基本元器件之一，具有电流放大作用，是电子电路的核心元件。三极管是在一块半导体基片上制作两个相距很近的 PN 结，这两个 PN 结把整块半导体分成三部分，中间部分是基区，两侧部分分别是发射区和集电区，排列方式有 PNP 和 NPN 两种。晶体三极管的结构和电路中常用的符号如图 2.3 所示。不论是 NPN 型三极管，还是 PNP 型三极管，在结构上都可以把它们等效成两个背靠背的二极管，如图 2.4 所示。

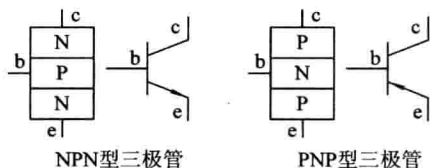


图 2.3 晶体三极管的结构及电路符号

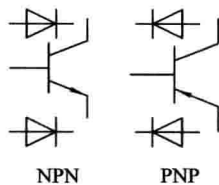


图 2.4 晶体三极管的等效结构

晶体三极管引脚识别方法有以下两种。

(1) 用三极管的封装形式进行识别。目前各种类型的晶体三极管有许多种，封装形式和引脚的排列不尽相同。三极管的封装形式是指三极管的外形参数，也就是安装半导体三极管用的外壳。材料方面，三极管的封装形式主要有金属、陶瓷和塑料形式；结构方面，三极管的封装为 $TO \times \times \times$ ， $\times \times \times$ 表示三极管的外形；装配方式有通孔插装（通孔式）、表面安装（贴片式）和直接安装；引脚形状有长引线直插、短引线和无引线贴装等。常用三极管的封装形式有 $TO-92$ 、 $TO-126$ 、 $TO-3$ 、 $TO-220$ 等。图 2.5 给出了几种常用三极管的实物图片和引脚排列。

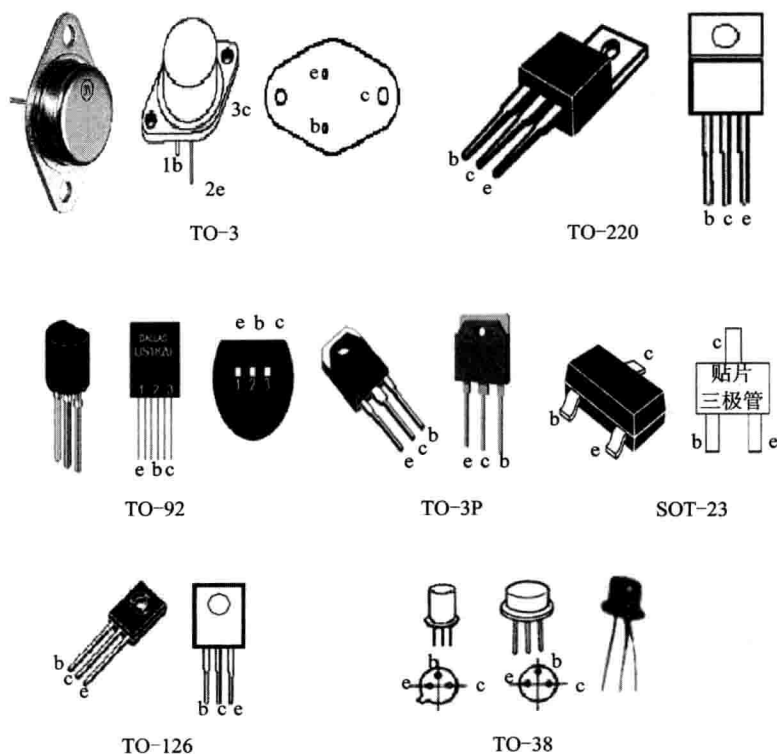


图 2.5 常见三极管的型号和引脚排列

(2) 用测量法进行识别。测量步骤是先测定三极管基极，再判定三极管管型和材料，最后测定集电极和发射极。

基极识别：对于任意一只三极管，如图 2.6 所示，引脚排序为 1、2、3，随机选定 1 脚作为基极，数字万用表红表笔接 1 脚，黑表笔分别接 2、3 脚进行测量（结构见图 2.4），若两次测量全部显示导通压降，则 1 脚就是基极，且管型为 NPN 型；否则选 2 脚作为基极进行测量，方法同上，若两次测量全部显示导通压降，则 2 脚就是基极，且管型为 NPN 型；否则选 3 脚作为基极进行测量，方法同上，若两次测量全部显示导通压降，则 3 脚就是基极，且管型为 NPN 型。如果三次测量没有出现同时导通的情况，则管型为 PNP 型，仍按上述方法即可判定三极管基极。

三极管材料识别：在基极识别测量过程中，PN 结导通压降在 $0.5 \sim 0.7 \text{ V}$ ，则三极管为硅管；导通压降在 $0.1 \sim 0.3 \text{ V}$ ，则三极管为锗管。