



新世纪电工电子系列“十二五”规划教材

# 电子技术基础实验(上)

## 模拟电子电路

主编 陈 军

MONIDIANZIDIANLU

 东南大学出版社  
Southeast University Press

新世纪电工电子系列“十二五”规划教材

# 电子技术基础实验(上)

## 模拟电子电路

主 编 陈 军

参 编 胡健生 龚 晶  
刘 斌 许凤慧

东南大学出版社  
· 南 京 ·

## 内 容 提 要

《电子技术基础实验》全书分为2册,上册为《模拟电子电路》,下册为《数字电子电路》。

《模拟电子电路》分为3篇,第1篇是模拟电子技术实验基础知识,主要包括模拟电子电路实验基础知识、基本测量技术、常用电子元器件基础知识;第2篇是基础型(验证性)实验,共有13个独立的模拟电子电路实验内容;第3篇是提高型(设计性)实验,主要包括针对第2篇各实验内容的模拟电子电路 Multisim 仿真实验和几个有代表性的模拟电子电路设计性实验。

本教材是高等学校电子信息类、计算机类学生“电子技术基础实验”、“模拟电子电路实验”、“低频电子线路实验”、“数字电子电路实验”等课程的教材,也可以供从事电子技术工作的工程技术人员、非电子信息 and 计算机类相关课程的教师及学生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验.上,模拟电子电路/陈军主编. 主  
南京:东南大学出版社,2011.3  
新世纪电工电子系列“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5641-2653-7

I. ①电… II. ①陈… III. ①电工技术-实验-  
高等学校-教材 ②模拟电路-实验-高等学校-教材  
IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 023210 号

### 电子技术基础实验(上):模拟电子电路

出版发行 东南大学出版社  
出 版 人 江建中  
社 址 南京市四牌楼2号  
邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店  
印 刷 南京京新印刷厂  
开 本 787 mm×1092 mm 1/16  
总 印 张 23.75  
总 字 数 593 千字  
版 次 2011年3月第1版  
印 次 2011年3月第1次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5641-2653-7  
定 价 48.00元(共两册)

(凡因印装质量问题,请与我社读者服务部联系。电话:025-83792328)

# 前 言

随着现代科学技术的飞速发展,实验已成为建立在科学理论基础之上的一门技术和内容十分庞大的知识体系。电子技术日新月异,已渗透到人们工作、生活等各个方面。电子技术基础实验是电类、计算机类专业的重要专业基础课程之一,在培养学生理论联系实际能力、动手实践能力、创新思维能力,以及培养和激发学生对电子技术的学习兴趣等方面发挥着至关重要的作用。作为电子技术基础实验课程的指导性教材,其内容的科学性、合理性、新颖性等将在一定程度上决定着实验课的教学效果。电子技术基础实验是一个课程体系,为适应科技发展、知识拓展、教学需要,其实验教材的编写按照传统分类,常将低频电子电路(或称模拟电子电路)和高频电子电路(或称通信电子电路)归于模拟电子技术基础实验部分,而将脉冲电路、数字电路、逻辑设计归于数字电子技术基础实验部分。

本教材是在对课程和教学内容体系改革进行充分调研论证之后,在充分总结实践教学经验和教学改革成果的基础上,依据相关专业人才培养方案和课程标准编写而成的。本教材的编写充分考虑课程教学体系的完整性,立足于新世纪的科技发展,主动适应实际工作和社会发展需要,突出应用性和创新性,增强设计性和综合性。实验内容丰富、层次清晰,既有传统的基础型(验证性)实验,也有提高型(设计性)实验内容,旨在培养学生的学习兴趣、实践能力、综合应用能力、创新思维能力,以适应教育转型、高素质人才培养目标的要求。本教材各章节和实验相对独立,便于根据教学需要选择不同的教学内容。教材的编写注重教学效果和实践经验总结,注重夯实基础和心智培养,注重实践技能和创新能力的培养。

感谢东南大学出版社编辑朱珉老师在本书出版过程中的支持。由于编者水平有限,时间仓促,书中错误和不妥之处恳请读者批评指正。

编 者  
2010年11月

# 目 录

<b>第1篇 实验基础知识</b> .....	(1)
<b>1 模拟电子电路实验基础知识</b> .....	(1)
1.1 模拟电子电路实验的意义、目的和要求 .....	(1)
1.1.1 模拟电子电路实验课的意义 .....	(1)
1.1.2 模拟电子电路实验课的特点和学习方法 .....	(2)
1.1.3 模拟电子电路实验课教学目的 .....	(3)
1.1.4 模拟电子电路实验的一般要求 .....	(4)
1.2 模拟电子电路实验方法 .....	(6)
1.2.1 模拟电子电路实验规则 .....	(6)
1.2.2 电路调试中应注意的问题 .....	(7)
1.2.3 查找和排除故障的一般方法 .....	(8)
1.3 实验室的安全操作规则 .....	(9)
1.3.1 实验室安全注意事项 .....	(9)
1.3.2 实验室仪器使用注意事项 .....	(9)
1.4 实验室用工具和材料 .....	(10)
1.4.1 主要工具 .....	(10)
1.4.2 主要材料 .....	(11)
1.4.3 辅助工具 .....	(11)
<b>2 基本测量技术</b> .....	(13)
2.1 概述 .....	(13)
2.1.1 测量方法的分类 .....	(13)
2.1.2 选择测量方法的原则 .....	(14)
2.2 电压测量 .....	(15)
2.2.1 电压测量的特点 .....	(15)
2.2.2 高内阻回路直流电压的测量 .....	(15)
2.2.3 交流电压的测量 .....	(16)
2.2.4 电压测量的数字化方法 .....	(17)
2.3 阻抗测量 .....	(18)
2.3.1 输入电阻的测量 .....	(18)
2.3.2 输出电阻的测量 .....	(19)
2.4 增益及幅频特性测量 .....	(19)
2.5 误差分析和数据处理 .....	(20)

2.5.1	测量误差的表示方法	(21)
2.5.2	误差的来源	(21)
2.5.3	误差的分类	(22)
2.6	测量数据处理	(22)
2.6.1	测量数据的采集	(22)
2.6.2	实验数据的处理	(23)
<b>3</b>	<b>常用电子元器件基础知识</b>	(27)
3.1	半导体分立器件型号命名法	(27)
3.2	晶体二极管	(29)
3.2.1	晶体二极管的分类和图形符号	(29)
3.2.2	晶体二极管的主要技术参数	(30)
3.2.3	常用晶体二极管	(30)
3.2.4	晶体二极管使用注意事项	(35)
3.2.5	晶体二极管的变通运用	(35)
3.3	晶体三极管	(36)
3.3.1	晶体三极管的分类和图形符号	(36)
3.3.2	晶体三极管的主要技术参数	(37)
3.3.3	常用晶体三极管的主要参数	(38)
3.3.4	晶体三极管使用注意事项	(38)
3.4	场效应晶体管	(40)
3.4.1	场效应晶体管的特点	(40)
3.4.2	场效应晶体管的分类和图形符号	(40)
3.4.3	场效应晶体管主要技术参数	(42)
3.4.4	常用场效应晶体管的主要参数	(42)
3.4.5	场效应晶体管的测量	(43)
3.4.6	场效应晶体管使用注意事项	(44)
3.5	半导体模拟集成电路	(45)
3.5.1	模拟集成电路基础知识	(45)
3.5.2	集成运算放大器	(46)
3.5.3	集成稳压器	(48)
3.5.4	集成功率放大器	(54)
3.5.5	集成器件的测试	(55)
<b>第2篇</b>	<b>基础型(验证性)实验</b>	(58)
<b>4</b>	<b>模拟电子电路基础实验</b>	(58)
4.1	常用仪器的使用	(59)
4.1.1	实验目的	(59)
4.1.2	实验仪器仪表和器材	(59)

4.1.3	实验原理	(59)
4.1.4	实验内容	(60)
4.1.5	实验报告要求	(60)
4.1.6	思考题	(61)
4.2	常用电子元器件的识别和测量	(61)
4.2.1	实验目的	(61)
4.2.2	实验仪器仪表和器材	(61)
4.2.3	实验原理	(61)
4.2.4	实验内容	(66)
4.2.5	预习要求	(67)
4.2.6	实验报告要求	(67)
4.2.7	思考题	(67)
4.3	单级阻容耦合放大器	(68)
4.3.1	实验目的	(68)
4.3.2	实验仪器仪表和器材	(68)
4.3.3	实验电路和原理	(68)
4.3.4	实验内容	(73)
4.3.5	预习要求	(75)
4.3.6	实验报告要求	(75)
4.3.7	思考题	(75)
4.4	场效应管放大电路	(75)
4.4.1	实验目的	(75)
4.4.2	实验仪器仪表和器材	(76)
4.4.3	实验电路和原理	(76)
4.4.4	实验内容	(79)
4.4.5	预习要求	(81)
4.4.6	实验报告要求	(81)
4.4.7	思考题	(81)
4.5	两级负反馈放大器	(81)
4.5.1	实验目的	(81)
4.5.2	实验仪器仪表和器材	(81)
4.5.3	实验电路和原理	(82)
4.5.4	实验内容	(84)
4.5.5	预习要求	(86)
4.5.6	实验报告要求	(86)
4.5.7	思考题	(86)
4.6	差分放大器	(87)
4.6.1	实验目的	(87)

---

4.6.2	实验仪器仪表和器材	(87)
4.6.3	实验电路和原理	(87)
4.6.4	实验内容	(88)
4.6.5	预习要求	(90)
4.6.6	实验报告要求	(90)
4.6.7	思考题	(90)
4.7	集成运算放大器的线性应用	(90)
4.7.1	实验目的	(90)
4.7.2	实验仪器仪表和器材	(91)
4.7.3	实验电路和原理	(91)
4.7.4	实验内容	(96)
4.7.5	预习要求	(98)
4.7.6	实验报告要求	(98)
4.7.7	思考题	(98)
4.8	集成运算放大器在信号处理中的应用	(98)
4.8.1	实验目的	(98)
4.8.2	实验仪器仪表和器材	(99)
4.8.3	实验电路和原理	(99)
4.8.4	实验内容	(104)
4.8.5	预习要求	(104)
4.8.6	实验报告要求	(105)
4.8.7	思考题	(105)
4.9	集成运算放大器在波形产生中的应用	(105)
4.9.1	实验目的	(105)
4.9.2	实验仪器仪表和器材	(105)
4.9.3	实验电路和原理	(105)
4.9.4	实验内容	(108)
4.9.5	预习要求	(109)
4.9.6	实验报告要求	(109)
4.9.7	思考题	(109)
4.10	集成功率放大电路	(109)
4.10.1	实验目的	(109)
4.10.2	实验仪器仪表和器材	(109)
4.10.3	实验电路和原理	(109)
4.10.4	实验内容	(111)
4.10.5	预习要求	(112)
4.10.6	实验报告要求	(112)
4.10.7	思考题	(112)



4.11	OTL 功率放大电路	(112)
4.11.1	实验目的	(112)
4.11.2	实验仪器仪表和器材	(112)
4.11.3	实验电路和原理	(113)
4.11.4	实验内容	(115)
4.11.5	预习要求	(116)
4.11.6	实验报告要求	(116)
4.11.7	思考题	(116)
4.12	整流、滤波和集成稳压电路	(116)
4.12.1	实验目的	(116)
4.12.2	实验仪器仪表和器材	(117)
4.12.3	实验电路和原理	(117)
4.12.4	实验内容	(121)
4.12.5	预习要求	(123)
4.12.6	实验报告要求	(124)
4.12.7	思考题	(124)
4.13	555 定时器及其应用	(124)
4.13.1	实验目的	(124)
4.13.2	实验仪器仪表和器材	(124)
4.13.3	实验电路和原理	(124)
4.13.4	实验内容	(128)
4.13.5	预习要求	(130)
4.13.6	实验报告要求	(130)
4.13.7	思考题	(131)
<b>第 3 篇 提高型(设计性)实验</b>		(132)
<b>5</b>	<b>模拟电子电路 Multisim 仿真实验</b>	(132)
5.1	概述	(132)
5.2	基本操作	(133)
5.3	使用说明	(134)
5.4	单级阻容耦合放大器 Multisim 仿真	(135)
5.4.1	在 Multisim 中组建单级阻容耦合放大器仿真电路	(135)
5.4.2	单级阻容耦合放大器电路仿真	(140)
5.5	场效应管放大电路 Multisim 仿真	(144)
5.5.1	在 Multisim 中组建场效应管放大器仿真电路	(144)
5.5.2	场效应管放大器电路仿真	(144)
5.6	两级负反馈放大器 Multisim 仿真	(145)
5.6.1	在 Multisim 中组建两级负反馈放大器仿真电路	(145)
5.6.2	两级负反馈放大器电路仿真	(146)

5.7	差分放大电路 Multisim 仿真	(148)
5.7.1	在 Multisim 中组建差动放大器仿真电路	(148)
5.7.2	差分放大器电路仿真	(148)
5.8	集成运算放大器线性应用电路 Multisim 仿真	(149)
5.8.1	在 Multisim 中组建集成运算放大器仿真电路	(149)
5.8.2	集成运算放大器电路仿真	(150)
5.9	集成运算放大器在信号处理中的 Multisim 仿真	(151)
5.10	集成运算放大器在波形产生电路中的 Multisim 仿真	(155)
5.11	集成功率放大电路的 Multisim 仿真	(156)
5.12	555 定时器及其应用的 Multisim 仿真	(157)
<b>6</b>	<b>模拟电子电路设计型实验</b>	<b>(161)</b>
6.1	负反馈放大器电路设计	(161)
6.1.1	设计任务和目的	(161)
6.1.2	设计原理	(161)
6.1.3	设计内容和要求	(163)
6.1.4	思考题	(165)
6.2	方波-三角波发生器电路设计	(166)
6.2.1	设计任务和目的	(166)
6.2.2	设计原理	(166)
6.2.3	设计内容和要求	(166)
6.2.4	思考题	(168)
6.3	有源低通滤波器电路设计	(168)
6.3.1	设计任务和目的	(168)
6.3.2	设计原理	(168)
6.3.3	设计内容和要求	(170)
6.3.4	思考题	(170)
6.4	OTL 功率放大器电路设计	(171)
6.4.1	设计任务和目的	(171)
6.4.2	设计原理	(171)
6.4.3	设计内容和要求	(172)
6.4.4	思考题	(176)
6.5	直流稳压电源电路设计	(176)
6.5.1	设计任务和目的	(176)
6.5.2	设计原理	(177)
6.5.3	设计内容和要求	(177)
6.5.4	思考题	(179)
	<b>参考文献</b>	<b>(180)</b>

# 第 1 篇 实验基础知识

## 1 模拟电子电路实验基础知识

### 1.1 模拟电子电路实验的意义、目的和要求

#### 1.1.1 模拟电子电路实验课的意义

众所周知,科学技术的发展离不开实验,实验是促进科学技术发展的重要手段。电子技术基础基本理论的建立,有许多是从实验中得到启发,并通过实验得到验证。通过实验可以揭示电子世界的奥秘,可以发现现有理论存在的问题(近似性和局限性等),从而促进电子技术基础理论的发展。

对于模拟电子技术基础这样一门具有工程特点和实践性很强的课程,加强实践锻炼,特别是技能训练,对于培养学生的素质和能力具有十分重要的作用。

进入 21 世纪,社会对人才的要求越来越高,不仅要求具有丰富的知识,还要具有更强的对知识的运用能力及创新能力。为适应新形势的要求,实验课内容已有新的改变。本课程体系中,将传统的实验教学内容划分为基础验证性实验、提高设计性实验、综合应用性实验、虚拟仿真性实验几个层次。

通过基础实验教学,可使学生掌握元器件的性能、模拟电子电路基本原理及基本实验方法,从而验证理论并发现理论知识在实际应用中的局限性,培养学生从枯燥的实验数据中总结规律、发现问题的能力。另外,实验要求分成必做和选做两部分,可使学习优秀的学生有发挥的余地。

通过设计性实验教学,可提高学生对基础知识、基本技能的运用能力,掌握参数及模拟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。

通过综合性实验教学,可提高学生对单元功能电路的理解,了解各功能电路之间的相互影响,掌握各功能电路之间参数的衔接和匹配关系,以及模拟电路与数字电路之间的结合,可提高学生综合运用知识的能力。

通过虚拟仿真实验教学,使学生掌握模拟电子电路常用仿真设计应用软件,培养学生掌握和应用模拟电子电路实验的新技术和新方法。

### 1.1.2 模拟电子电路实验课的特点和学习方法

#### 1) 模拟电子电路实验的特点

(1) 电子器件(如半导体管、集成电路等)品种繁多,特性各异。在进行实验时,首先面临如何正确、理性地选择电子器件的问题。如果选择不当,则难以获得满意的实验结果,甚至造成电子器件的损坏。因此,必须了解所用电子器件的性能。

(2) 电子器件(特别是模拟电子器件)的特性参数离散性大,电子元件(如电阻、电容等)的元件值也有较大的偏差。因此,使得实际电路性能与设计要求有一定的差异,实验时就需要进行调试。调试电路所花的精力有时甚至会超过制作电路。对于已调试好的电路,若更换了某个元器件,也有重新调试的问题。因此,掌握调试方法、积累调试经验是非常重要的。

(3) 模拟电子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以及如何使工作点稳定的问题。工作点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子电路中占有极重要的地位。另一方面,模拟电子器件的非线性特性使得模拟电子电路的设计难以精确,因此通过实验进行调试是必不可少的。

(4) 模拟电子电路的输入输出关系具有连续性、多样性与复杂性。这决定了模拟电子电路测试手段的多样性与复杂性。针对不同的问题采用不同的测试方法,是模拟电子电路实验的特点之一。而数字电子电路的输出输入关系比较简单,但各测试点电平之间的逻辑关系或时序关系则应搞清楚。

(5) 测试仪器的非理想特性(如信号源具有一定的内阻、示波器和毫伏表输入阻抗不够大等)会对被测电路的工作状态有影响。了解这些影响,选择合适的测试仪器和分析由此引起的误差,是模拟电子电路实验中一个不可忽视的问题。

(6) 模拟电子电路中的寄生参数(如分布电容、寄生电感等)和外界电磁干扰在一定条件下可能对电路的特性有重大影响,甚至产生自激而使电路不能正常工作。这种情况在工作频率高时更容易发生。因此,元器件合理布局 and 合理连接、接地点的合理选择和地线的合理安排、必要的去耦和屏蔽措施等在模拟电子电路实验和应用中相当重要。

(7) 模拟电子电路各单元电路相互连接时经常会遇到匹配的问题,尽管各单元电路都能正常工作,若不能做到很好匹配,则相互连接后的总体电路也可能不能正常工作。为了匹配,除了在设计时就要考虑选择合适的元器件参数或采取某些特殊措施外,在实验时也要注意这些问题。

模拟电子电路实验的上述特点决定了其实验的复杂性,也决定了实验能力和实际经验的必要性。了解这些特点,有利于掌握模拟电子电路的实验技术,分析实验中出现的問題并提高实验能力。

#### 2) 模拟电子电路实验的学习方法

为了学好模拟电子电路实验课,应注意以下几点:

(1) 掌握实验课的学习规律。实验课是以实验为主的课程,每个实验都要经历预习、实验和总结三个阶段,每个阶段都有明确的任务与要求。

① 预习:任务是弄清实验的目的、内容、要求、方法及实验中应注意的问题,并拟定出实验步骤,画出记录表格;此外,还要对实验结果做出估计,以便在实验时可以及时检验实验结果的正确性。预习是否充分,将决定实验能否顺利完成和收获的大小。

② 实验:任务是按照预定的方案进行实验。实验的过程既是完成实验任务的过程,又是锻炼实验能力和培养实验作风的过程。在实验过程中,既要动手,又要动脑,要养成良好的实验作风,要做好原始数据的记录,要分析与解决实验中遇到的各种问题。

③ 总结:任务是在实验完成后整理实验数据、分析实验结果、总结实验收获和写出实验报告。这一阶段是培养总结归纳能力和编写实验报告能力的主要手段。一次实验收获的大小,除决定于预习和实验外,总结也具有重要作用。

(2) 应用已学理论知识指导实验。首先要从理论上研究实验电路的工作原理与特性,然后再制定实验方案。在调试电路时,也要用理论来分析实验现象,从而确定调试措施。盲目调试是错误的,虽然有时也能获得正确结果,但对调试电路能力的提高不会有什么帮助。对实验结果的正确与否及与理论的差异也应从理论的高度来进行分析。

(3) 注意实际知识与经验的积累。实际知识和经验需要靠长期积累才能丰富起来,在实验过程中,对所用的仪器与元器件,要记住它们的型号、规格和使用方法。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。为此,可准备一本“实验知识与经验记录本”,及时记录与总结。这不仅对当前有用,而且可供以后查阅。

(4) 增强自觉提高实际工作能力的意识。要将实际工作能力的培养从被动变为主动。在学习过程中,有意识地、主动地培养自己的实际工作能力,不应过分依赖老师的指导,而应力求自己解决实验中的各种问题。要不怕困难和失败,从一定意义上来说,困难与失败正是提高自己实际工作能力的良机。

### 1.1.3 模拟电子电路实验课教学目的

模拟电子电路实验课的目的是加强学生对电子技术基础知识的掌握,使学生通过实验过程掌握模拟电子电路基本的实验技能。要求学生达到的目标可概括为以下几个方面:

(1) 使学生学到一定的元器件使用技术。学会识别元器件的类型、型号、规格,并能根据设计的具体要求选择元器件。元器件是组成电子电路的基本单元,通过导线把不同的元器件连接在一起就组成了电子电路。所以,电子电路实验中的一个核心问题就是元器件的正确使用。元器件的正确使用包括对其电气特性和机械特性的了解和正确操作、对其引脚的正确识别和使用等。电子电路实验中的许多故障,往往都是因为不能正确使用元器件所造成的。因此,正确使用元器件是电子电路实验的基本教学内容。

(2) 使学生得到一定的基本技能训练,如焊接、组装等基本技能。要实现一个电子电路,必须对电路中各种不同的元器件实现正确的电路连接。电路连接技术虽然不像元器件的使用技术那样复杂,但对于不同的元器件应采用怎样的连接方法、什么样的连接是正确的,以及判断连接正确与否也不是一件容易的事,需要在电子电路实验课程中不断地认识和实践,只有经过反复操作练习才能掌握电路的正确连接技术。此外,电路连接技术还将直接影响电路的基本特性和安全性,需要在电子电路实验中不断地学习总结。电路连接技术是实验中的基本教学内容之一,也是必须掌握的一项基本技术。

(3) 使学生学到一定的仪器使用技术。电子电路实验的一个重要内容就是各种类型电子仪器(如万用表、示波器、信号源、稳压电源等)的使用和操作技术。电子仪器的使用包括两个方面的含义,一是仪器本身技术特性的应用,二是被测电路的基本技术特性。只有使仪器本身技术特性与被测电路的技术特性相对应,才能取得良好的测量结果。对于电类学科的学生来说,正确操作电子仪器是学科基本技术素质和工程素质之一,在实验课程中,必须十分注意学习并掌握各种电子仪器的正确使用和操作方法。

(4) 使学生学到一定的测量系统设计技术。在进行电子电路设计和调试时需要使用各种不同的仪器对电路进行测量,以便确定电路的状态、判断电路是否按设计要求工作并达到了设计指标。为了保证测量对电路没有影响,在电子电路设计和实验中还必须对测量系统进行设计,以决定采用什么样的测量系统和如何进行测量。测量系统设计的基本依据是电子电路的参数特性,例如电路的最高电压、最高频率、输入电阻、输出电阻、频率特性等。测量系统设计技术不仅涉及测量仪器的一些知识,还直接与电子电路系统结构有关,因此,测量系统设计技术是一门综合技术。测量系统设计技术是实验的基本学习内容之一,只有合理的测量系统设计,才能保证测量结果的正确。

(5) 使学生学到一定的仿真分析技术。仿真分析是一项以计算机和电子技术理论为基础的电子电路实验技术。对于现代电子工程技术人员来说,必须十分注意使用计算机仿真技术。计算机仿真技术不仅可以节省电路设计和调试的时间,更可以节约大量的硬件费用。电子系统的计算机仿真技术已成为现代电子技术中的一个重要组成部分,也已经成为现代电子工程技术人员的基本技术和工程素质之一。因此,电子电路实验课程的一个重要内容就是学习使用有关的电子电路设计和仿真软件。在一个电路进入实际制作和调试之前,先用计算机进行仿真,使电路设计合理,并使用仿真软件对电路进行测试,这是电子电路实验课程的一个基本内容。

(6) 使学生学到一定的测量结果分析技术。电子电路的一个特点是,电路的功能可以直接从调试过程中得到证实,而有关的技术指标和一些技术特性则需要通过对测量结果数据进行分析处理才能得到。所以,如何处理实验中的测量结果,是电子电路实验的一项基本技能。

(7) 使学生能够利用实验的方法完成具体任务,如根据具体的实验任务拟定实验方案(测试电路、仪器、测试方法等),独立地完成实验,对实验现象进行理论分析,并通过实验数据的分析得到相应的实验结果,撰写规范的实验报告等。

(8) 培养学生独立解决问题的能力,如独立完成某一项设计任务(查阅资料、方案确定、器件选择、安装调试),从而使学生具备一定的科学研究能力。

(9) 培养学生实事求是的科学态度和踏实细致的工作作风。

#### 1.1.4 模拟电子电路实验的一般要求

为了使实验能够达到预期效果,确保实验顺利完成,并培养学生良好的工作作风,充分发挥学生的主观积极作用,对学生提出如下基本要求:

1) 实验前的要求

(1) 实验前要充分预习,包括认真阅读理论教材和实验教材,深入了解本次实验的目

的,弄清实验电路的基本原理,掌握主要参数的测试方法。

(2) 阅读实验教材中仪器使用的章节,熟悉所用仪器的主要性能和使用方法。

(3) 估算测试数据、实验结果,并写出预习报告。

2) 实验中的要求

(1) 按时进入实验室并在规定的时间内完成实验任务。遵守实验室的规章制度,实验后整理好实验工作台。

(2) 严格按照科学的操作方法进行实验,要求接线正确、布线整齐和合理。

(3) 按照仪器的操作规程正确使用仪器,不得野蛮操作和使用。

(4) 实验中出现故障时,应利用所学知识冷静分析原因,并能在教师的指导下独立解决。对实验中的现象和实验结果要能进行正确的解释。

(5) 测试参数时要做到心中有数,细心观测,原始记录完整、清楚,实验结果正确。

3) 实验后的要求

撰写实验报告是整个实验教学中的重要环节,是对实验人员的一项基本训练,一份完美的实验报告是一次成功实验的最好答卷。因此,实验报告的撰写要按照以下要求进行:

(1) 普通验证性实验报告的要求

① 实验报告用规定的实验报告纸书写,上交时应装订整齐。

② 实验报告中所有的图都用同一颜色的笔绘制。

③ 实验报告要书写工整,布局合理、美观,不应有涂改。

④ 实验报告内容要齐全,应包括实验目的、实验原理、实验电路、元器件型号规格、测试条件、测试数据、实验结果、结论分析及教师签字的原始记录等。

(2) 设计性实验报告的要求

① 标题。包括实验名称、实验日期等。

② 已知条件。包括主要技术指标、实验用仪器(名称、型号、数量)。

③ 电路原理。如果所设计的电路由几个单元电路组成,则阐述电路原理时,最好先用总体框图说明,然后结合框图逐一介绍各单元电路的工作原理。

④ 单元电路的设计与调试步骤

a. 选择电路形式。

b. 电路设计(对所选电路中的各元器件参数进行定量计算或工程估算)。

c. 电路装配与调试。

⑤ 整机联合调试与测试。各单元电路调试正确后,按以下步骤进行整机联调。

a. 测量主要技术指标。实验报告中要说明各项技术指标的测量方法,画出测试原理图,记录并整理实验数据,正确选取有效数字的位数。根据实验数据进行必要的计算,列出表格,在方格纸上绘制出波形或曲线。

b. 分析故障,说明在单元电路和整机调试中出现的主要故障及解决办法,若有波形失真,要分析失真的原因。

c. 绘制出完整的电路原理图,并标明调试后的各元器件型号、规格和参数。

⑥ 测量结果的误差分析。用理论计算值代替真值,求得测量结果的相对误差,并分析产生误差的原因。

⑦ 思考题解答与其他实验研究。

⑧ 电路改进意见及本次实验中的收获体会。

实验电路的设计方案、元器件参数及测试方法等都不可能尽善尽美,实验结束后,感到某些方面如果作适当修改可进一步改善电路性能或降低成本,以及实验方案的修正、内容的增删、步骤的改进等,都可写出改进建议。

学生每完成一项实验都有不少收获体会,既有成功的经验,也有失败的教训,应及时总结,不断提高。每份实验报告除了上述内容外,还应做到文理通顺、字迹端正、图形美观、页面整洁。

## 1.2 模拟电子电路实验方法

### 1.2.1 模拟电子电路实验规则

为避免盲目性,保证实验顺利进行,培养学生实事求是、科学严谨的学风,通常有以下实验规则。

#### 1) 预习要求

(1) 各实验中指定的“预习要求”内容。

(2) 了解每个实验中所使用仪器的基本原理和操作方法。

#### 2) 合理布线

首先应按照实验电路图正确合理布线,布线的原则以直观、便于检查为宜。例如:电源的正极、负极和地可以用不同颜色的导线加以区分,一般电源正极用红色,负极用蓝色,地用黑色,这样便于查错。低频实验时,尽量用短的导线,防止电路产生自激振荡。高频实验时,最好焊接在通用电路板上,如果用面包板,元器件引脚和连线应该尽量短而直,以免分布参数影响电路性能。

#### 3) 检查实验电路

在连接完实验电路后,不急于加电,要认真检查。检查的内容包括以下几方面。

(1) 连线是否正确。包括有没有接错的导线,有没有多连或少连的导线。检查的方法是对照电路图,按照一定的顺序逐一进行检查,例如从输入端开始,一级一级地排查,一直检查到输出端。

(2) 连接的导线是否导通。需要用万用表的欧姆挡,对照电路图一个点一个点地检查,例如在电路图中应该连接的点是否导通、有电阻的两点之间电阻是否存在等。

(3) 检查电源的正、负极连线和地线是否正确,信号源连线是否正确。

(4) 电源到地之间是否存在短路。如果电路比较复杂,常会将电源正极与地接在一起,造成电源短路,如果这时不认真检查,急于通电,则容易损坏元器件。

#### 4) 电路调试

检查完实验电路后,进入调试阶段。调试包括静态调试和动态调试。在调试前,应先观察电路有无异常现象,包括有无冒烟、是否有异常气味、用手摸元器件是否发烫、电源是否有短路现象等。如果出现异常情况,应该立即切断电源,排除故障后再加电。



### (1) 静态调试

在模拟电子电路实验中,静态调试是指在不加输入信号的情况下所进行的直流调试和调整,例如测量交流放大器的直流工作点等。在数字电路中,静态调试是指在电路的输入端加入固定的高、低电平值,测试输出的高、低电平值。

### (2) 动态调试

在模拟电子电路实验中,动态调试是以静态调试为基础,静态调试正确之后给电路输入端加入一定频率和幅度的信号,用示波器观察输出端的信号,再用仪器测试电路的各项指标是否符合实验指标要求。如果出现异常,还要查出故障的原因,排除故障后继续调试。在数字电子电路实验中,动态调试是指用示波器观察输入、输出信号波形,以此判断电路时序是否正确。

在进行比较复杂的系统性实验的调试时,应该接好一级电路便调试一级,其中包括静态调试和动态调试,正确之后,再将上一级电路的输出加至下一级电路的输入端,接着调试下一级电路,这样,可以解决电路一次连接后由于导线过多而造成调试比较困难的问题,不但节省时间,还可以减少麻烦。

### 5) 实验结束后的要求

实验中所记录的实验结果(数据、波形等)须经教师审查后才能拆除实验电路;实验所用仪器应保持良好的,实验室应保持整洁。

## 1.2.2 电路调试中应注意的问题

测量结果的正确与否直接受测量方法和测量精度的影响,因此,要得到正确的测量结果,应选择正确的测量方法,提高测量精度。为此,在电路调试中应注意以下几点。

### 1) 正确使用仪器的接地端

在电路调试过程中,仪器的接地端是否连接正确,是一个重要方面,如果接地端连接不正确,或者接触不良,会直接影响测量精度,甚至影响测量结果的正确与否。在实验中,直流稳压电源的“地”即是电路的地端,所以,直流稳压电源的“地”一般要与实验板的“地”连接。稳压电源的“地”与机壳连接,就形成了一个完整的屏蔽系统,减少了外界信号的干扰,这就是常说的“共地”。示波器的“地”应该与电路的“地”连在一起,否则看到的信号处于“虚地”状态,是不稳定的。信号发生器的“地”也应与电路的“地”连接在一起,否则会导致输出信号不正确。特别是毫伏表的“地”如果悬空,就得不到正确的结果,如果地端接触不良,就会影响测量精度,正确的接法是毫伏表的“地”应尽量直接连接到电路的接地端,而不要用导线连接至电路接地端,以减少测量误差。

此外,在模拟数字混合电路中,数字“地”与模拟“地”应该分开连接,遇到“热地”,即接入了交流 220 V 的火线,则应该用隔离变压器分开,以免因测量而造成元器件损坏。

### 2) 采用电源去耦电路

在模拟电路实验中,往往会由于安装时的引线电阻、电源和信号源的内阻,使电路产生自激振荡,也称为寄生振荡。消除引线电阻的方法是改变布线方式,尽量使用比较短的导线。对于电源内阻引起的寄生振荡,消除的方法是采用 RC 去耦电路,如图 1.2.1 所示,电阻一般应选 100  $\Omega$  左右,不能过大,以免降低电源电压或形成超低频振荡。在数字电路实