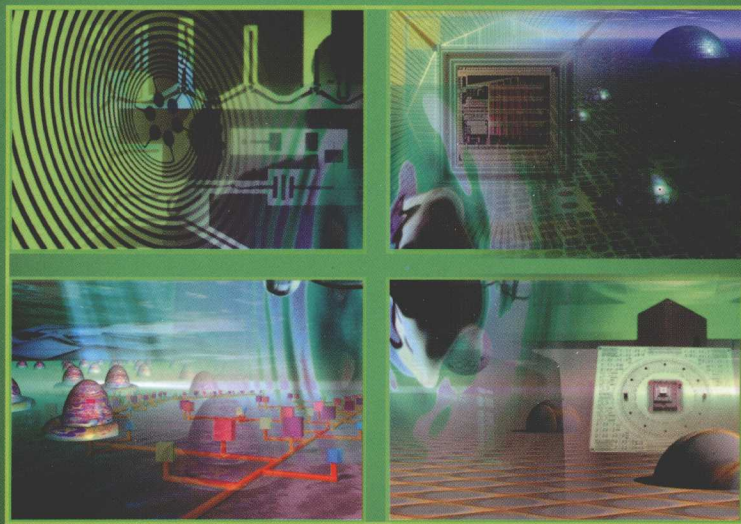


❖ 普通高等教育电子信息类规划教材 ❖

电路与信号 分析实验

CIRCUIT AND SIGNAL ANALYSIS
EXPERIMENTS



刘舒帆 赵红 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

013031230

TM133-33

15

普通高等教育电子信息类规划教材

电路与信号分析实验

刘舒帆 赵红 编著
龚晶 刘斌 孙梯全



机械工业出版社

TM133-33/15



北航

C1636658

013031530

本书是“电路与信号分析实验”课程的教材。该实验课程以电路与信号分析理论课程为依据编排内容,以培养学生掌握基本的电子测量技术,提高学生的实际动手能力,启迪学生的创新思维为目的。本书共分为4章:第1章主要介绍了电路与信号分析实验的基础知识;第2章介绍了6种电路与信号分析常用仪器的原理与使用;第3章安排了12个电路与信号分析的基本实验;第4章安排了5个设计性实验。

本书适合高等院校通信、电子信息类专业师生使用,建议学时数为20~40学时。

图书在版编目(CIP)数据

电路与信号分析实验/刘舒帆等编著. —北京:机械工业出版社,2013.3
ISBN 978-7-111-41754-5

I. ①电… II. ①刘… III. ①电路分析-实验-教材 ②信号分析-实验-教材 IV. ①TM133-33 ②TN911.6-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第043828号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李馨馨 责任编辑:李馨馨

封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2013年4月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·9.75印张·237千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41754-5

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

电路与信号分析实验是通信、电子信息类以及相关专业的必修课程。该实践课程以电路与信号分析理论课程为依据编排内容，以培养学生掌握基本的电子测量技术，提高学生的实际动手能力，启迪学生的创新思维。

全书共分为4章，能够满足20~40学时的电路与信号分析实验教学的要求。书中“*”代表选做与选学内容。

第1章主要介绍了电路与信号分析实验中的基础知识。包括课程开设的目的与要求、测量误差与数据处理、常用元器件的识别与检测、Multisim在电路与信号分析实验中的应用等部分。通过本章的学习，学生可以了解正确地处理测量数据、正确地选择和检测元件、初步使用Multisim电子设计仿真软件的方法，建立测量的概念。

第2章介绍了6种电路与信号分析常用仪器的原理与使用。包括万用表、直流稳压电源、函数信号发生器、交流电压表、双踪示波器、选频电平表。对每一种仪器都进行了1~3种典型型号的重点分析。不但有利于学生掌握基本的电子测量仪器，而且有利于加深对电路与信号理论在仪器中实际应用的了解。

第3章安排了12个电路与信号分析的基本实验。这些实验涵盖了“电路与信号分析”课程中的经典教学内容，可以作为理论教学的有力支撑。对每个实验的基本原理都进行了简明扼要的介绍，而且很多实验内容中都包括Multisim仿真分析部分的内容，教师可根据实际情况自行选择。如果学时有限，建议教师演示仿真分析部分，并鼓励学生利用仿真软件边学边做，完成有关理论值的计算。

第4章安排了5个设计性实验。通过这些实验的训练，学生可以深入理解仪表的使用原理和电路与信号知识在工程实践中的应用，增强学生自主创新意识，使他们开拓思路，勇于实践，提高认识问题和解决问题的能力，更好地理解和掌握电路、信号与系统的相关理论。

本书最大的特点是在以实际操作为主、扎实完成基本训练的基础上，把Multisim仿真引入到电路与信号分析实验中。使学生既能通过基本实验掌握电子测量的基本技能，又能利用仿真软件完成实验的设计计算。在仿真与实测的对比中发现“理论与实际”的差别，从而培养学生的工程意识。

本书由刘舒帆、赵红主编，龚晶、刘斌、孙梯全老师参加了部分内容的编写。特别要感谢牟华坤和任姝婕两位老师，为我们提供了许多有价值的资料。由于编者水平有限，书中难免疏漏之处，敬请读者批评指正。

编 者



精品教材推荐

光纤通信技术

书号: 978-7-111-34919-8 定价: 49.00 元

作者: 原荣 配套资源: PPT、习题答案

推荐简言: 全书共分 10 章, 第 1 章讲解了光纤通信的发展史和基础知识, 包括光的传播特性和平板介质波导; 第 2~6 章介绍了光纤光缆, 光无源/有源器件, 光接收/发射和放大; 第 7~8 章阐述了调制/编码、复用/解复用, 光纤传输系统及其系统设计; 第 9 章介绍了无源光网络接入技术; 第 10 章简述了常用的光纤通信测量仪器, 以及光纤特性、通信器件和系统指标的测试技术。

通信原理简明教程

书号: 978-7-111-37784-9 定价: 29.00 元

作者: 黄葆华 配套资源: PPT 课件

推荐简言: 本书以现代通信系统组成为主线, 以预备知识为基础, 系统地阐述了通信原理的核心内容。全书共 8 章, 内容分别是绪论、预备知识、模拟调制、数字基带传输、数字调制、模拟信号数字传输、信道编码和同步原理。

电气工程与自动化专业英语

书号: 978-7-111-39787-8 定价: 35.00 元

作者: 龚育尔

推荐简言: 本书共 10 单元, 每单元三部分: Section A 为该单元阅读和翻译教学重点, 包括电气工程简介、电路、晶体管、数字电子线路、控制系统中的直流/交流电机驱动、DC-DC 开关式变流器、开关式 AC-DC 逆变器、开环控制系统、自动化控制系统简介、滑电力驱动、可编程逻辑控制器、FACTS 装置及应用、变速永磁同步风力发电机的控制、太阳能电站的自动控制。Section B 为写作指导, 包括求职信、个人简历、学术会议邀请及回复信函、学术论文写作的基本知识、作者与编辑的往来信函、会议主持词、会议日程、课题进展报告、电子邮件写作、备忘录、便条和通知等实用文体写作。Section C 为该单元辅助阅读部分。

电路与电子学基础

书号: 978-7-111-38850-0 定价: 49.00 元

作者: 陈利永 配套资源: PPT、习题答案

推荐简言: 本书将原来电路分析、模拟电子技术基础和通信电路三门课程的内容整合成电路与电子学基础一门课程, 用周学时为 4 的二个学期完成原来要三个学期才能完成的教学内容。本书主要内容有: 第 1 章电路分析基础, 第 2 章正弦稳态电路的分析, 第 3 章 RC 电路的特性, 第 4 章双端口网络, 第 5 章半导体二极管及其应用, 第 6 章半导体三极管和场效应管及其应用, 第 7 章负反馈放大器, 第 8 章集成运算放大器和信号处理电路, 第 9 章波形产生和变换电路, 第 10 章调制与解调及频率变换电路, 第 11 章功率放大器, 第 12 章直流稳压电源。

电路分析基础

书号: 978-7-111-34281-6 定价: 29.00 元

作者: 王丽娟 配套资源: PPT、学习指导

推荐简言: 本书阐述了电路的基本概念、基本定理和线性电路的基本分析方法。分析对象包括直流电阻电路、一阶直流动态电路和正弦稳态电路。主要分析方法有: 等效电路分析法、线性网络的一般分析法、运用电路定理分析法、三要素法和相量分析法。书中例题和应用实例丰富, 难易程度适中。还介绍了 Multisim 软件在电路分析中的使用。

微型计算机系统原理及应用

书号: 978-7-111-35187-0 定价: 34.00 元

作者: 贺建民 配套资源: PPT 课件

推荐简言: 本书以应用十分广泛的 Intel 80x86 微处理器为核心, 介绍了微型计算机系统的硬件工作原理、接口技术和典型应用。本书注重理论联系实际, 从应用的角度出发, 强调对分析问题、解决问题能力的训练与培养。读者从中可以学习如何掌握微型机硬件的有关基础知识, 以及汇编语言程序设计、微机接口电路的开发与应用等重要内容。



精品教材推荐

光纤通信系统 第2版

书号: 978-7-111-12293-7 定价: 25.00 元
作者: 李履信 沈建华 配套资源: PPT 课件
获奖情况: 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
推荐简言: 本书紧密结合光通信的发展, 全面系统地介绍了光纤通信系统的构成及下一代光网络的关键技术。本书不仅全面清晰地对光纤通信系统的构成和各部分的工作原理进行了阐述, 还对光通信中最新的技术进行了介绍。

数字信号处理 第2版

书号: 978-7-111-15260-6 定价: 44.00 元
作者: 张小虹
配套资源: PPT、学习指导及习题解答
获奖情况: 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
推荐简言: 全书以数字信号处理基础知识和基本理论为主线, 同时将具有强大计算功能的 MATLAB 软件引入本书。通过经典理论与现代技术的结合, 将数字信号处理的知识点叙述得更加通俗易懂。另外, 本书紧密联系实际, 精选了丰富的练习题。通过课后习题和大量的模拟实验, 帮助学生理解、领会教学内容。

通信原理 第2版

书号: 978-7-111-24059-4 定价: 39.00 元
作者: 沈越泓
配套资源: PPT、学习指导及习题解答
获奖情况: 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
推荐简言: 本书在模块级、系统级层次上, 阐述了通信系统的原理。内容包括: 数学基础、信道、模拟通信系统、数字基带信号传输与最佳接收原理、正弦载波数字调制、现代数字调制同步原理和现代数字通信理论与技术等。配有丰富的习题和详尽的解题步骤。

数字电视原理 第2版

书号: 978-7-111-24902-3 定价: 41.00 元
作者: 卢官明 配套资源: PPT、学习指导
获奖情况: 普通高等教育“十一五”国家级规划教材
推荐简言: 本书介绍了数字电视的基础理论、系统组成、关键技术。包括彩色电视基础知识、数字电视信号的产生、数字音视频压缩编码的基本原理, 数字电视中的码流复用及业务信息、信道编码及调制技术、数字电视传输标准、数字电视机顶盒与条件接收系统的组成及工作原理, 以及显示器和接口的工作原理、发展现状。

语音信号处理 第2版

书号: 978-7-111-27190-1 定价: 42.00 元
作者: 赵力 配套资源: PPT 课件
推荐简言: 本书介绍了语音信号处理的基础、原理、方法和应用, 以及该领域的新的研究成果和技术。本书注重理论联系实际, 结合作者多年来在东南大学的教学及科研实践的体会, 力求简明、通俗地将这门课程介绍给读者。

现代移动通信 第3版

书号: 978-7-111-39937-7 定价: 47.00 元
作者: 蔡跃明 配套资源: PPT 课件
推荐简言: 本书详细介绍了现代移动通信的基本概念、基本原理、基本技术和典型系统, 较充分地反映了移动通信工程设计和新技术。全书共 12 章, 内容包括移动通信信道、组网技术基础、数字调制技术、抗衰落技术、多址接入技术、GSM 移动通信系统、IS-95 CDMA 移动通信系统、3G 移动通信系统、专用移动通信系统、无线网络规划和 B3G/4G 移动通信系统。



北航

C1636658



目 录

前言

第 1 章 电路与信号分析实验基础知识	1
1.1 课程目的与要求	1
1.1.1 课程目的	1
1.1.2 课程要求	1
1.1.3 实验课成绩评定	2
1.2 测量误差与数据处理	2
1.2.1 测量及误差的基本概念	2
1.2.2 测量数据的处理	5
1.2.3 测量方法及测量仪器简述	6
1.2.4 实验常见故障及排除方法	7
1.3 常用元件	8
1.3.1 电阻	8
1.3.2 电容	11
1.3.3 电感	13
1.4 Multisim 在电路与信号分析实验中的应用	15
1.4.1 Multisim 的用户界面	15
1.4.2 用 Multisim 的元件工具建立仿真电路	15
1.4.3 Multisim 的虚拟仪器	18
1.4.4 Multisim 的仿真分析方法	24
第 2 章 电路与信号分析常用仪器的原理与使用	31
2.1 万用表	31
2.1.1 模拟式万用表的原理与使用	31
2.1.2 500 型万用表	39
2.1.3 数字式万用表的原理与使用	42
2.2 直流稳压电源	45
2.2.1 直流稳压电源的组成及工作原理	46
2.2.2 DF1731SC3A 型直流电源	46
2.3 信号发生器	48
2.3.1 信号发生器的一般知识	48
2.3.2 EE1641D 型函数信号发生器/计数器	49
2.3.3 DF1641B 型函数信号发生器	52
2.4 交流电压表	53

2.4.1	交流电压表的组成及工作原理	53
2.4.2	DF2175/DF2175A 型交流电压表	54
2.4.3	DF2170A 型交流电压表	55
2.5	电子示波器	56
2.5.1	通用示波器的组成及工作原理	56
2.5.2	DF4320A/DF4321A/DF4321C 型双踪示波器	60
2.6	选频电平表	65
2.6.1	选频电平表的工作原理	65
2.6.2	HF5018 型选频电平表	66
2.6.3	HX-D21 型选频电平电压表	69
第3章	电路与信号分析实验	73
3.1	元器件的检测与基尔霍夫定律的验证	73
3.1.1	实验目的	73
3.1.2	实验原理	73
3.1.3	实验内容与步骤	74
3.1.4	Multisim 仿真分析	76
3.1.5	实验要求与注意事项	77
3.1.6	实验设备	77
3.1.7	实验报告与思考题	78
3.1.8	实验预习	78
3.2	等效电源定理的研究	78
3.2.1	实验目的	78
3.2.2	实验原理	79
3.2.3	实验内容与步骤	79
3.2.4	Multisim 仿真分析	82
3.2.5	实验要求与注意事项	83
3.2.6	实验设备	84
3.2.7	实验报告与思考题	84
3.2.8	实验预习	84
3.3	线性电路特性的研究	85
3.3.1	实验目的	85
3.3.2	实验原理	85
3.3.3	实验内容与步骤	85
3.3.4	实验要求与注意事项	87
3.3.5	实验设备	87
3.3.6	实验报告与思考题	87
3.3.7	实验预习	87
3.4	交流信号参数的测量	87
3.4.1	实验目的	87

3.4.2	实验原理	88
3.4.3	实验内容与步骤	89
3.4.4	Multisim 仿真分析	91
3.4.5	实验要求与注意事项	93
3.4.6	实验设备	93
3.4.7	实验报告与思考题	93
3.4.8	实验预习	94
3.5	正弦稳态电路的研究	94
3.5.1	实验目的	94
3.5.2	实验原理	94
3.5.3	实验内容与步骤	95
3.5.4	实验要求与注意事项	97
3.5.5	实验设备	97
3.5.6	实验报告与思考题	97
3.5.7	实验预习	97
3.6	系统频率特性的测试	97
3.6.1	实验目的	97
3.6.2	实验原理	97
3.6.3	实验内容与步骤	99
3.6.4	Multisim 仿真分析	101
3.6.5	实验要求与注意事项	103
3.6.6	实验设备	103
3.6.7	实验报告与思考题	103
3.6.8	实验预习	104
3.7	互感耦合电路的研究	104
3.7.1	实验目的	104
3.7.2	实验原理	104
3.7.3	实验内容与步骤	106
3.7.4	实验设备	107
3.7.5	实验报告与思考题	107
3.7.6	实验预习	107
3.8	RLC 串联、并联谐振电路的研究	108
3.8.1	实验目的	108
3.8.2	实验原理	108
3.8.3	实验内容与步骤	110
3.8.4	实验设备	112
3.8.5	实验要求与注意事项	112
3.8.6	实验报告与思考题	113
3.8.7	实验预习	113

3.9 矩形信号的频谱分析	113
3.9.1 实验目的	113
3.9.2 实验原理	113
3.9.3 实验内容	116
3.9.4 实验步骤与要求	118
3.9.5 Multisim 仿真分析	120
3.9.6 实验设备	121
3.9.7 实验报告与思考题	121
3.9.8 实验预习	122
3.10 正弦波信号与锯齿波信号的频谱	122
3.10.1 实验目的	122
3.10.2 实验原理	122
3.10.3 实验内容与步骤	123
3.10.4 实验要求及注意事项	125
3.10.5 实验设备	125
3.10.6 实验报告与思考题	125
3.10.7 实验预习	126
3.11 矩形脉冲通过一阶电路	126
3.11.1 实验目的	126
3.11.2 实验原理	126
3.11.3 实验内容与步骤	130
3.11.4 实验要求与注意事项	131
3.11.5 Multisim 仿真分析	132
3.11.6 实验设备	133
3.11.7 实验报告与思考题	133
3.11.8 实验预习	133
3.12 二阶电路的瞬态响应	133
3.12.1 实验目的	133
3.12.2 实验原理	133
3.12.3 实验内容与步骤	135
3.12.4 实验要求与注意事项	137
3.12.5 实验设备	137
3.12.6 实验报告与思考题	137
3.12.7 实验预习	137
第4章 电路与信号分析设计性实验	138
4.1 万用表的设计与检测	138
4.1.1 实验目的	138
4.1.2 实验原理	138
4.1.3 实验内容	140



4.1.4	实验要求与注意事项	142
4.1.5	实验设备	142
4.1.6	实验报告	142
4.2	电阻电路的设计	142
4.2.1	实验目的	142
4.2.2	实验原理	142
4.2.3	实验内容	143
4.2.4	实验报告	143
4.3	延时电路的设计	143
4.3.1	实验目的	143
4.3.2	实验原理	143
4.3.3	实验内容	143
4.3.4	实验报告	144
4.4	波形发生器电路的设计	144
4.4.1	实验目的	144
4.4.2	实验原理	144
4.4.3	实验内容	145
4.4.4	实验报告	145
4.5	仪表测试电路的设计	145
4.5.1	实验目的	145
4.5.2	实验原理	145
4.5.3	实验内容	146
4.5.4	实验报告	146

第1章 电路与信号分析实验基础知识

知识有两种，一种是理论知识，一种是实践知识。作为一名信息化条件下联合作战的初级指挥人才，在信息技术方面，不仅要有深厚扎实的理论基础，而且还要有一定的实际动手能力，以及踏踏实实从事科学实验的优良作风。为此，必须通过实验逐步训练，在学习知识、提高技能的同时，培养分析问题和解决问题的能力。

1.1 课程目的与要求

1.1.1 课程目的

实验是一种实践的过程。在这一过程中应逐步树立实事求是的科学态度，严禁弄虚作假或照抄别人的实验结果。要以可靠的测试数据、形象的特性曲线、完善的结果分析等来描述实验的收获。

电路与信号分析实验是一门专业基础实验课程，课程目的如下：

- 1) 学习电路与信号分析实验及电子测量方面的基本知识。
- 2) 掌握电路与信号分析常用仪表的使用、测量技术及实验技能。
- 3) 通过实验，巩固和加深对电路与信号分析课程中重要理论的学习。
- 4) 培养理论联系实际学风、严肃认真的科学态度和良好的机务作风。

通过实验，学生在实际技能方面应能达到：

- 1) 基本掌握万用表、双踪示波器、选频电平表的使用方法，正确使用信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表等常用仪器。
- 2) 按电路图正确连接实际电路、合理布线。
- 3) 正确读取实验数据、书写实验报告和分析实验结果。

1.1.2 课程要求

为了达到教学目的，学生必须按照一定的程序及要求完成每一个实验的各个过程。教学实验共分三个阶段：

1. 课前预习

预习是顺利进行实验的重要保证，每一个学生在实验前必须做到：

- 1) 弄清本次实验目的、实验原理、实验内容以及所涉及的知识点。
- 2) 了解有关实验仪器的基本使用方法和注意事项。
- 3) 根据实验任务预先完成理论数据的计算，定性画出有关曲线，阅读“实验预习”以对实验预习思考题进行准备。

2. 进行实验

- 1) 实验按指定编组进行。

2) 实验开始前, 首先按教材中的实验设备清单清点仪器、设备及元器件。如有短缺或损坏, 应及时报告教员, 不得擅自处理。

3) 实验过程中, 要正确放置仪器设备, 合理布局, 连接实验电路, 以便观察、调试、读取实验数据。

4) 正确读取数据。测试时, 对仪表指针介于两刻度之间的数值, 应根据位置进行估读, 通常测量数据应尽量保留三位有效数字。实验数据应如实记录在事先准备好的表格中, 零乱、无序的记录常会造成错误, 原始数据不经再次测试, 不应任意修改。

5) 测试完毕, 应认真检查实验数据, 确认数据基本合理和无遗漏时, 交教师审阅后方可拆除电路。

6) 实验完毕, 应按仪器、仪表操作规程的要求, 将有关旋钮放置在规定的位置, 整理好器材、连接导线等, 经教师允许方可离开实验室。

7) 注意实验安全。

- 实验操作者应养成不徒手触及任何带电部分, 不带电改接线路的习惯。
- 实验操作过程中, 无论发生任何断路、短路、异味、火险, 均应果断切断电源, 及时排除故障和险情, 以保证人身及设备的安全。
- 应事先了解各种仪表的使用范围、环境条件、测量范围, 以及各种元器件的额定值。

3. 完成实验报告

实验报告应是在整理实验数据的基础上, 结合理论进行总结、分析后写出。实验报告内容应包括:

- 1) 实验人姓名、队别、桌号、学号和实验日期。
- 2) 实验名称、实验目的和基本内容。
- 3) 实验主要仪器和器材。
- 4) 主要实验电路图及参数。
- 5) 经过整理的实验数据及表格、必要的设计计算、实验曲线、图形、理论分析及结论。
- 6) 思考题解答。
- 7) 心得体会。

1.1.3 实验课成绩评定

实验课成绩由平时成绩和考查成绩综合评定。

平时成绩由每次实验预习、进行实验和实验报告的情况综合评定。由故缺课的学员应主动与教师联系补课。

实验课程结束时组织实验理论和实际操作情况的考查, 评定实验考查成绩。

1.2 测量误差与数据处理

1.2.1 测量及误差的基本概念

实验离不开测量。测量又称检测。测量是人对客观世界的一种能动过程, 是进行科学研究的

一种重要手段。通过测量,我们可以获取到所研究对象的有关信息,形成定性或定量的认识,从而总结出客观规律,得出正确的结论,以便于在建立科学的理论或是应用中提供可靠的依据。

为获取各种有关信息在测量中采用的一系列方法及手段统称为测量技术。

在测量中我们获取的信息通常为两种。一种是必需的或者是本就期望得到的;一种是隐含在当前获取到的信息中,尚需进一步处理及提取的。

测量的原理在于比较,即将被测量与相同性质的标准量进行比较,以获取两者之间的数量关系。

1. 单位制

目前,我国均采用国际单位制。表1-1列出了电路分析中常用的国际制单位。

在实际应用中,有时感到这些单位太小或太大,便在这些单位上加上表1-2所示词头,用于表示这些单位被一个以10为底的正次幂或负次幂相乘后所得的词头。

表1-1 电路分析中常用的国际制单位

物理量名称	单位名称	代 号	
		单位简称	单位符号
电流	安培	安	A
电压	伏特	伏	V
功率	瓦特	瓦	W
频率	赫兹	赫	Hz
电阻	欧姆	欧	Ω
电感	亨利	亨	H
电容	法拉	法	F
时间	秒	秒	s

表1-2 常用词头

词头名称	代 号		因数
	词头简称	词头符号	
吉咖 (giga)	吉	G	10^9
兆 (mega)	兆	M	10^6
千 (kilo)	千	k	10^3
毫 (milli)	毫	m	10^{-3}
微 (micro)	微	μ	10^{-6}
纳诺 (nano)	纳	n	10^{-9}
皮可 (pico)	皮	p	10^{-12}

2. 电子测量的基本内容

电路与信号分析实验所要测量的基本量包括:

- 1) 与电能有关的电量,如电压、电流、电功率。
- 2) 电路参数,如电阻、电感、电容、品质因数等。
- 3) 电信号的特性,如信号的波形、周期、频率、相位、频谱等。
- 4) 电路的特性,如电路的频率特性、暂态特性等。

3. 测量误差

被测量的真实数值叫真值。测量结果和被测量真值的差别叫测量误差。

测量误差按表示方法分为绝对误差和相对误差。按误差的性质特点分为系统误差、随机误差和粗大误差。

(1) 绝对误差

定义式

$$\Delta X = X - A_0$$

式中 ΔX ——绝对误差;

X ——被测量的仪表指示值;

A_0 ——真值。

真值：被测量的真值虽然是客观存在的，但是一般无法确切地给出。为了解决实际中的计算问题，下述一些值可以近似是真值。

1) 理论真值。如等边三角形中的一个角是 60° 就是真值。

2) 指定真值（约定真值）。指定真值常指计量学方面的“基准”或“标准”。它代表了当代国家技术的标准值。

3) 实际值。它是指在一般性测量中，由更高一级标准仪表所测量的值，称为实际值，用字母 A 表示并代替真值 A_0 ，则绝对误差可表示为

$$\Delta X = X - A$$

式中， $A \neq A_0$

但一般更高一级的仪表的误差与当前使用测量仪表的误差之比，若小于 $1/3 \sim 1/20$ ，就可认为其为真值。

绝对误差有数值大小、符号、单位，它不能正确反映测量的精确度。

(2) 相对误差

1) 实际相对误差 γ_α

$$\gamma_\alpha = (\Delta X / A) \times 100\%$$

2) 示值相对误差 γ_x ，即绝对误差与仪器测量的指示值之比，用百分数表示为

$$\gamma_x = (\Delta X / X) \times 100\%$$

3) 满度相对误差 γ_m ，即绝对误差 ΔX 和仪表满度值 X_m 之比，用百分数表示为

$$\gamma_m = (\Delta X / X_m) \times 100\%$$

常用电工仪表的等级就是按 γ_m 分级的。应该指出的是，使用电工仪表测量电流、电压时，应使指针尽可能接近于满偏转（满刻度的 $2/3$ 以上）。而使用万用表欧姆挡测试电阻时，则应使指针尽可能接近于该挡中心刻度线，以使测量误差尽可能小。

(3) 系统误差

系统误差是按误差的特点分类的一种误差。它是指在测量过程中，误差的数值恒定不变或遵循一定的规律而变化的误差。

1) 恒定系差。如 $1\ \Omega$ 标准电阻实际值为 $0.99\ \Omega$ ，这 $0.01\ \Omega$ 差值为恒差。

2) 变值系差。它主要分累进性系统误差（即表现为误差为逐次递增或递减）、周期性系统误差和其他按复杂规律变化的误差。

(4) 随机误差

随机误差也称偶然误差，也是按误差特点分类的一种误差。它是指在单次测量中，误差可大、可小，可正、可负，但多次测量，其平均值趋于零的误差。

随机误差的特征是：

1) 有界性：多次测量，随机误差的绝对值不会超过一定的界限。

2) 单峰性：绝对值小的误差出现的机会比绝对值大的误差出现的机会多。

3) 对称性：它表现为绝对值相等的正负误差出现的机会是均等的。

4) 抵偿性：随机误差就个体来说是无规律的，但从整体来说服从统计规律。它的算术平均值随着测量次数的无限增多而趋近于零。

(5) 粗大误差

粗大误差也是按误差特点分类的一种误差。它是指明显歪曲测量结果的误差，是应当尽

量避免的。

1.2.2 测量数据的处理

1. 测试技术中常用的两个术语

- 1) 准确度。指测量结果与被测量真值的接近程度。反映了系统误差的影响程度。
- 2) 精密度。指在重复测量同一系统中所得结果相互一致的程度。它反映了随机误差的影响程度。

2. 测量数据的读数

测量数据的读数应注意以下几点:

- 1) 仪表应先进行预热和调零。
- 2) 选择合适的仪表,同时合理选择仪表的量程。
- 3) 注意读取数据的正确姿势。
- 4) 当仪表指针与刻度线不重合时,应凭目测估读一位欠准数字。

3. 有效数字

(1) 简单概念

如用 100 mA 量程的电流表测量某支路中的电流,读数为 78.4 mA,则前面两个数“78”是准确的、可靠的读数,称“可靠数字”;而最后一个数字“4”是估读的,称“欠准数字”,两者合起来称“有效数字”。它的有效数字为三位,如果对其运算,其结果也只应保留三位有效数字。

(2) 有效数字的正确表示

当按照测试要求确定了有效数字的位数后,每一测量数据只应有一位欠准数字,即最后一位是欠准数字,而它前面的各位数字必须是准确的“可靠数字”。

只与计量单位有关的“0”不计入有效数字。如 184 mA 可写成 0.184 A,两种写法的有效数字都是三位。

小数点后的“0”不能随意省略。例如某电阻值 15.00 Ω 和 15 Ω 两种写法差别极大。前者 15.00 Ω 中,表示小数点后第二位“0”是欠准数字,而后者 15 Ω 中,其个位“5”就是欠准数字,它可能是 14 Ω 或 16 Ω 。

当数字很大时,“0”也不能随意取舍。

(3) 四舍五入化整规则

测量技术中,当将有效数字修约时,应遵守规定“小于5舍,大于5入,等于5取偶。”

例如对下列数字取三位有效数字:

- 18.23 \rightarrow 18.2 (第四位数字小于5,舍去。)
- 18.28 \rightarrow 18.3 (第四位数字大于5,入。)
- 18.25 \rightarrow 18.2 (第四位数字等于5,舍去,因第三位数字为偶。)
- 18.15 \rightarrow 18.2 (第四位数字等于5,入,因第三位数字为奇,应取偶。)

(4) 有效数字的运算法则

相加减的数字中,如有小数,则以小数点后面位数最少的那个数为标准,将其他数进行

修约,使其他数的小数点后的位数仅比它多保留一位,计算结果也以它为标准相修约。

如三数相加: $222.1 + 0.777 + 2.34 = ?$

修约后应为: $222.1 + 0.78 + 2.34 = (225.22) = 225.2$

有效数字相乘应注意到乘积的误差总是大于任何一个乘数的误差。当几个数相乘时,应以其中有效数字最小的那个数为标准,对其他数进行修约,修约到比该数多一位有效数字,然后再进行运算。计算结果的有效数字的位数应与作为标准的那个数的位数相一致。

如: $8.5 \times 10.3 \times 102.4 = ?$

这时以 8.5 为标准对其余两数进行修约后为: $8.5 \times 10.3 \times 102$

计算结果为 8930.10,则根据上述法则,其结果应为 8900。

4. 曲线修匀

所谓曲线修匀就是对测量过程中所获取的数据点进行的一种图解处理方法。在许多测量中,测量的目的不单单是为获得一个或几个量值,而是要在测量数据的基础上得到某些量之间的关系曲线。由于实际测量中存在着误差,且有限次的测量所得到的数据只是关系曲线上的一些离散点,简单地将这些离散点连成一条折线是不行的,必须对此进行一定的处理即对曲线进行修匀。修匀中应注意以下事项:

1) 以被测量及相关量为坐标变量,选取合适的坐标系,常用的为直角坐标系。当变量变化范围很宽时,常采用对数坐标。

2) 测量的数据点必须足够。曲线的线性段数据可适当少,但非线性段测量数据点又应足够多。

3) 纵、横坐标分度比例可以不同,但比例分度要适当,一般应与测量的精确度相适应。

4) 绘制曲线应是靠近数据点的一条光滑而无斜率突变的曲线。有时可采用数据分组的办法,取各组几何重心连接成的平滑曲线。

1.2.3 测量方法及测量仪器简述

1. 测量方法

一个物理量的测量可以通过不同的方法来实现。在测试方案确定之后,选择合理的测量方法就是至关重要的了。我们可以选择直接测量法,也可采用间接测量法或是两者的组合。我们可以根据读取数据的方式不同选择直读测量或比较测量,也可根据条件选择自动或非自动测量。另外也可根据被测量的性质选择时域、频域、数字域的测量。

下面就本课程实验涉及一些方法做简单介绍。

(1) 直接测量

它是指使用预先按已知标准定度的电工仪表或电子仪器对被测量直接进行的测量。如电压表测某元件两端的电压,电流表测某支路的电流。

(2) 间接测量

它是指利用当前直接测试的量与被测量之间的已知函数关系或某种约定关系所进行的测量。如测量电阻元件消耗的功率,可通过测量其端电压及其流过它的电流来测定元件消耗的功率。