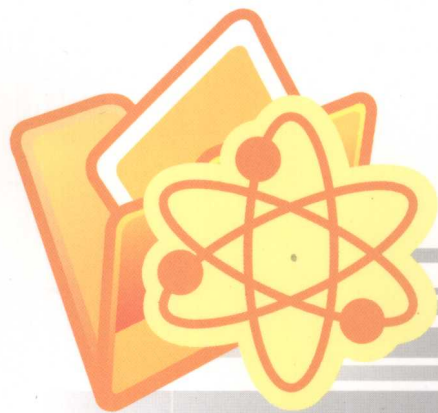




21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科 **电子通信系列** 实用规划教材



模拟电子 技术实验教程

主 编 谭海曙



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TN01-33/24

2008

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

模拟电子技术实验教程

主 编 谭海曙

副主编 于昕梅 谢海鸿 李 萍



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据高等工科大学模拟电子技术课程教学的基本要求, 以及近年来编者的实践教学经验, 并按照当前教学改革的要求编写而成的。其实验内容丰富, 包含验证性实验、综合性实验、设计性实验和应用 Multisim 2001 软件的仿真实验, 突出基础训练和综合应用能力、创新能力以及计算机应用能力的培养。

本书主要内容包括: 模拟电子技术实验基本要求与基础知识、模拟电子技术实验和模拟电子技术仿真实验三部分。

本书既可作为电子信息类、电气类和机电类专业学生的实验教材, 也可作为电子相关专业的教学参考书, 对电子类工程设计人员也有重要参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术实验教程/谭海曙主编. —北京: 北京大学出版社, 2008.1

(21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-13121-3

I. 模… II. 谭… III. 模拟电路—电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 177574 号

书 名: 模拟电子技术实验教程

著作责任者: 谭海曙 主编

责任编辑: 刘 丽

标准书号: ISBN 978-7-301-13121-3/TN·0044

出 版 者: 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> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 268 千字

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 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

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

主 任 殷瑞祥

顾 问 宋铁成

副主任 (按拼音顺序排名)

曹茂永 陈殿仁 李白萍 王霓虹

魏立峰 袁德成 周立求

委 员 (按拼音顺序排名)

曹继华 郭 勇 黄联芬 蒋学华 蒋 中

刘化君 聂 翔 谭海曙 王宝兴 吴舒辞

阎 毅 杨 雷 姚胜兴 张立毅 张雪英

张宗念 赵明富 周开利

丛书总序

随着招生规模迅速扩大，我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”，全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深化改革，以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化，自 20 世纪 90 年代以来，全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校，很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是，作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化，相当长一段时间以来，应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系，出现了人才培养目标与教材体系的不协调，影响着应用型本科院校人才培养的质量，因此，认真研究应用型本科教育教学的特点，建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005 年 4 月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会，会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共 70 余人，研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系，并遴选了各教材的编写组成人员，落实制定教材编写大纲。

2005 年 8 月在北京召开了《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会，广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见，对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改，在会上确定了 32 本教材的编写大纲，为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力，在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下，经过北大出版社编辑们的辛苦工作，我们这套系列教材终于在 2006 年与读者见面了。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程，同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业，知识和技术更新迅速，要求应用型本科院校在人才培养过程中，必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此，教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员，他们都具有多年从事应用型本科教学的经验，非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标，同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才”培养”目标，具有以下特点：

(1) **强调大基础**：针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构，调整理顺了课程之间的关系，避免了内容的重复，将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统

一的大平台上,有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性:**教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把工业企业的实际应用情况反映到教材中,教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题,避免空洞。

(3) **坚持科学发展观:**教材内容组织从可持续发展的观念出发,根据课程特点,力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全:**与纸质教材相配套,同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源,方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006年4月

前 言

随着电子信息技术突飞猛进的更新与发展,电子技术领域的新技术、新器件以前所未有的速度不断涌现,使得电子技术实验、电子技术设计的手段日新月异。为了适应电子技术的发展,培养 21 世纪电子技术人才,深化模拟电子技术基础实验课程的教学改革,本书在编者近几年教学改革实践的基础上,对原开设的模拟电子技术基础实验课程的内容进一步优化,突出实验课程独立的教学体系,并力求在实验课程教学过程中实现对大学生创新意识、创新能力和实际动手能力及书面表达能力的培养。

本书主要包括三部分:第一部分主要介绍模拟电子技术实验基本要求与基础知识;第二部分主要介绍模拟电子技术基础实验,包括验证性实验、综合性实验和设计性实验;第三部分为虚拟仿真实验,选用 Multisim 2001 对模拟电子技术比较基础和重要的实验进行仿真。本书列举的实验内容较多,各院校可根据实际学时的多少和专业类别的不同要求,筛选实验内容。

本书建议授课总学时为 18 学时。第 5 章模拟电子技术验证性实验建议每实验 2 学时,第 6 章模拟电子技术综合性实验建议每实验 4 学时,第 7 章设计性实验建议每实验 4~6 学时,各学校可根据自己的实际情况选用相应的实验。

本书第 2、3、4 章由谭海曙执笔,第 1、5 章由于昕梅执笔,第 6、7 章由谢海鸿执笔,第 8、9 章由李萍执笔,谭海曙担任主编,负责全书的统稿和定稿工作。

电子技术发展迅速,教学改革任重道远,由于编者的水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2007 年 10 月

目 录

| | | | |
|--------------------------------|----|-------------------------|----|
| 第 1 章 绪论..... | 1 | 2.7 误差分析与测量数据处理..... | 18 |
| 1.1 模拟电子技术实验分类..... | 1 | 2.7.1 误差来源与分类..... | 18 |
| 1.2 模拟电子技术实验一般要求..... | 1 | 2.7.2 误差表示方法..... | 19 |
| 1.2.1 实验预习报告..... | 2 | 2.7.3 测量数据处理..... | 20 |
| 1.2.2 实验过程..... | 3 | 第 3 章 模拟电子电路设计基础知识..... | 22 |
| 1.2.3 实验报告..... | 3 | 3.1 模拟电子电路设计一般步骤..... | 22 |
| 第 2 章 基本电子测量技术..... | 6 | 3.1.1 确定设计方案..... | 22 |
| 2.1 概述..... | 6 | 3.1.2 设计单元电路..... | 22 |
| 2.1.1 电子测量仪器..... | 6 | 3.1.3 计算电路参数..... | 22 |
| 2.1.2 测量方法..... | 7 | 3.1.4 选择元器件..... | 23 |
| 2.2 电压测量..... | 8 | 3.1.5 绘制电路图..... | 23 |
| 2.2.1 直流电压测量..... | 8 | 3.2 模拟电子电路安装..... | 24 |
| 2.2.2 交流电压测量..... | 10 | 3.2.1 元器件布局..... | 24 |
| 2.2.3 噪声电压测量..... | 11 | 3.2.2 合理布线..... | 24 |
| 2.3 电流测量..... | 11 | 3.3 模拟电子电路调试..... | 25 |
| 2.3.1 直流电流测量..... | 11 | 3.3.1 通电前检查..... | 25 |
| 2.3.2 交流电流测量..... | 13 | 3.3.2 通电检查..... | 25 |
| 2.4 电阻测量..... | 13 | 3.3.3 静态调试..... | 25 |
| 2.4.1 定电阻测量..... | 13 | 3.3.4 动态调试..... | 26 |
| 2.4.2 电位器测量..... | 14 | 3.4 模拟电子电路检查故障..... | 26 |
| 2.4.3 非线性电阻测量..... | 14 | 3.4.1 故障产生原因..... | 26 |
| 2.5 电容测量..... | 14 | 3.4.2 故障诊断方法..... | 26 |
| 2.5.1 谐振法测量电容量..... | 15 | 第 4 章 常用电子元器件..... | 28 |
| 2.5.2 交流电桥法测量电容量和 损耗因数..... | 15 | 4.1 电阻器..... | 28 |
| 2.5.3 万用表估测电容..... | 16 | 4.1.1 电阻器分类..... | 28 |
| 2.6 电感测量..... | 16 | 4.1.2 电阻器性能参数..... | 29 |
| 2.6.1 谐振法测量电感..... | 16 | 4.1.3 电阻器选用..... | 31 |
| 2.6.2 交流电桥法测量电感..... | 17 | 4.2 电容器..... | 31 |
| | | 4.2.1 电容器分类..... | 32 |

| | | | |
|--------------------------------|-----------|------------------------------------|------------|
| 4.2.2 电容器性能指标 | 32 | 实验 5-17 晶闸管可控整流电路..... | 103 |
| 4.2.3 电容器选用 | 33 | 第 6 章 模拟电子技术综合性实验 | 107 |
| 4.3 电感器 | 34 | 实验 6-1 函数信号发生器..... | 107 |
| 4.3.1 电感器分类 | 34 | 实验 6-2 用集成运算放大器组成万用 | |
| 4.3.2 电感器主要性能指标 | 34 | 电表 | 109 |
| 4.3.3 电感器选用 | 35 | 实验 6-3 温度控制电路..... | 114 |
| 4.3.4 变压器和继电器 | 35 | 实验 6-4 音频放大电路..... | 118 |
| 4.4 半导体分立器件..... | 35 | 实验 6-5 语音滤波器 | 121 |
| 4.4.1 二极管 | 35 | 第 7 章 模拟电子技术设计性实验 | 124 |
| 4.4.2 三极管 | 37 | 实验 7-1 单级阻容耦合晶体管放大电路 | |
| 4.5 模拟集成电路..... | 39 | 的设计 | 124 |
| 4.5.1 集成电路分类 | 39 | 实验 7-2 多级负反馈放大电路的设计.... | 127 |
| 4.5.2 集成电路识别 | 39 | 实验 7-3 模拟运算电路设计..... | 131 |
| 4.5.3 集成电路故障检测 | 40 | 实验 7-4 有源滤波器设计..... | 135 |
| 4.5.4 集成运放电路 | 40 | 实验 7-5 直流稳压电源设计..... | 138 |
| 4.5.5 集成稳压电源 | 42 | 第 8 章 Multisim 2001 简介..... | 142 |
| 第 5 章 模拟电子技术验证性实验 | 43 | 8.1 Multisim 2001 用户界面 | 142 |
| 实验 5-1 常用电子仪器的使用 | 43 | 8.1.1 菜单栏 | 142 |
| 实验 5-2 二极管、三极管检测与参数 | | 8.1.2 标准工具栏 | 146 |
| 估计 | 47 | 8.1.3 在用元器件列表..... | 146 |
| 实验 5-3 单级放大电路 | 50 | 8.1.4 元器件工具栏..... | 146 |
| 实验 5-4 结型场效应管共源放大电路..... | 54 | 8.1.5 仪器工具栏 | 147 |
| 实验 5-5 负反馈放大电路 | 58 | 8.1.6 电路工作区 | 147 |
| 实验 5-6 射极跟随器 | 62 | 8.1.7 仿真开关 | 147 |
| 实验 5-7 差动放大电路 | 66 | 8.1.8 状态栏 | 147 |
| 实验 5-8 比例求和电路 | 69 | 8.2. Multisim 2001 基本操作 | 147 |
| 实验 5-9 电压比较器 | 75 | 8.2.1 建立新原理图文件..... | 147 |
| 实验 5-10 积分与微分电路 | 78 | 8.2.2 元器件操作和参数设置..... | 148 |
| 实验 5-11 RC 正弦波振荡器 | 81 | 8.2.3 导线操作和使用..... | 151 |
| 实验 5-12 LC 正弦波振荡器..... | 85 | 8.2.4 节点操作和使用..... | 153 |
| 实验 5-13 OTL 功率放大器..... | 87 | 8.2.5 测试仪器使用..... | 154 |
| 实验 5-14 集成功率放大器 | 91 | 8.2.6 仿真电路激活..... | 154 |
| 实验 5-15 串联型晶体管稳压电源..... | 94 | | |
| 实验 5-16 集成直流稳压电源 | 99 | | |

| | | | |
|--------------------------------------|-----|-------------------------------|------------|
| 8.3 Multisim 2001 元器件库 | 155 | 8.5 基本仿真分析方法 | 163 |
| 8.3.1 元件库管理 | 155 | 8.5.1 直流工作点分析 | 163 |
| 8.3.2 Multisim 2001 元器件库 简介 | 156 | 8.5.2 交流分析 | 165 |
| 8.4 模拟电路常用仿真仪器 | 159 | 8.5.3 瞬态分析 | 166 |
| 8.4.1 数字万用表 | 159 | 8.5.4 傅里叶分析 | 167 |
| 8.4.2 电压表和电流表 | 160 | 第 9 章 模拟电子技术仿真实验 | 168 |
| 8.4.3 函数信号发生器 | 161 | 实验 9-1 单级放大电路 | 168 |
| 8.4.4 瓦特表 | 161 | 实验 9-2 负反馈放大电路 | 171 |
| 8.4.5 双通道示波器 | 161 | 实验 9-3 集成运算放大电路 | 174 |
| 8.4.6 波特图仪 | 162 | 实验 9-4 直流稳压电源 | 178 |
| 8.4.7 失真分析仪 | 162 | 参考文献 | 181 |

第 1 章 绪 论

模拟电子技术实验是模拟电子技术课程教学中的重要环节。在实验过程中,通过分析、验证元器件和电路的工作原理及功能,对电路进行分析、调试、故障排除和性能指标的测量,通过自行设计、制作各种功能的实际电路等多方面的系统训练,可以使学生的各种实验技能得到锻炼和提高。本书提供了验证性、综合性、设计性和仿真四类实验,希望能进一步提高学生的创造性思维能力、观测能力、表达能力、动手能力和查阅文献资料的能力等综合素质。

1.1 模拟电子技术实验分类

模拟电子技术实验,按性质可分为验证性实验、综合性实验、设计性实验三大类。

验证性实验是针对模拟电子技术基础理论而设置的,这类实验除了巩固加深某些重要的基础理论外,主要在于帮助学生认识现象,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。通过实验不仅可以获得感性认识,验证和巩固重要的基础理论,同时还能使学生掌握测量仪器的工作原理和使用规范,熟悉常用元器件的原理和性能,掌握其参数的测量方法和元器件的使用方法,掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。另外,这种实验能帮助学生掌握安装、调试、分析电路和排除电路故障等技能。

综合性实验属于应用性实验,它侧重于对一些理论知识的综合应用和实验的综合分析,其目的是培养学生综合应用理论知识的能力和解决较复杂的实际问题的能力,包括实验理论的系统性、实验方案的完整性、可行性、元器件及测量仪器的综合应用等。

设计性实验对学生来说,既有综合性又有探索性。它主要侧重于某些理论知识的灵活应用。要求学生在教师的指导下独立查阅资料、设计方案和安装与调试电路,并写出实验报告。同时,学生也可借助于计算机仿真,使实验方案更加完善、合理。

开设综合性实验、设计性实验,是实验教学改革的重要措施,是提高学生动手的能力、分析解决问题的能力以及实施素质教育的有效方式。因此,本教材实验部分内容包含了验证性、综合性和设计性实验三部分,重点突出了基础技能、设计性综合应用能力、创新能力和计算机应用能力的培养,以适应社会培养面向 21 世纪人才的需求。

1.2 模拟电子技术实验一般要求

尽管模拟电子技术各个实验的目的和内容不同,但为了培养良好的学风,充分发挥学生的主观能动作用,促使其独立思考、独立完成实验并能有所创新,在进行实验时要严格要求学生遵循实验过程。

1.2.1 实验预习报告

为避免盲目性，参加实验前应对实验内容进行预习。通过预习，使学生明确实验目的和要求，掌握实验的基本原理，看懂实验电路图，查阅有关资料，拟出实验方法和步骤，设计实验表格，对思考题做出解答，初步估算(或分析)实验结果，最后做出预习报告。

实验预习及原始数据记录报告的书写格式可参照以下模板。

| | |
|------------------------------------|-------------------|
| _____ (学校名称) | |
| 实验预习及原始数据记录报告 | |
| 实验项目名称 _____ | |
| 专业班级 _____ | 姓名 _____ 学号 _____ |
| 一、实验目的 | |
| 二、实验要求 | |
| 三、仪器与设备 | |
| 四、实验原理 / (实验依据的原理、主要公式以及实验电路图。) | |
| 五、实验步骤 | |
| 1. | |
| 2. | |
| 3. | |
| ⋮ | |
| (以上为实验预习报告内容) | |

(续)

六、原始数据记录

(记录各实验步骤操作中取得的实验数据，填入相应表格中或绘制波形和曲线。)

| | | | | | |
|------------------------|--------------------|------|--|-------------|--|
| 注意：以下内容由指导教师填写。 | | | | | |
| 预习成绩 | A、B、C、D、 E(需重做) | 操作情况 | | 指导教师 签 名 | |
| 纪 律 | | 卫 生 | | 日 期 | |

注：“实验原始记录”不能代替实验报告中的“实验数据及处理”，只作为实验报告的补充资料，反映学生实验预习、操作情况。

1.2.2 实验过程

- (1) 参加实验时应自觉遵守实验室规章。
- (2) 按实验方案连接实验电路和测试电路。
- (3) 认真地记录实验条件和所得数据、波形。
- (4) 调试过程中应独立思考，耐心排除故障，并记下排除故障的过程和方法。
- (5) 发现仪器设备异常时应立即切断电源，并报告指导教师和实验室工作人员，等待处理。
- (6) 实验结束时，将记录交给指导教师签字，经教师同意后方可拆除线路，清理现场。

1.2.3 实验报告

实验报告是对实验工作的全面总结。实验后要求学生认真写好实验报告，用简明的形式将实验结果和实验情况完整地、真实地表达出来。

1. 实验报告内容

实验报告应包括以下几个部分。

- (1) 实验目的和要求。
- (2) 实验电路、测试电路和实验的工作原理。
- (3) 实验用的仪器、主要工具。

(4) 实验的具体步骤。实验原始数据及实验过程的详细情况记录，整理和处理测试的数据和用坐标纸描绘出波形，列出表格或用坐标纸画出曲线。

(5) 实验结果和分析。对测试结果进行理论分析，做出简明扼要的结论。找出产生误差原因，必要时，应对实验结果进行误差分析。

(6) 实验小结。实验小结即是总结实验过程的完成情况，对实验方案和实验结果进行讨论；记录产生故障情况，说明排除故障的过程和方法；对实验中遇到的问题进行分析，简单叙述实验的收获和体会。

2. 实验报告基本要求

撰写实验报告要遵守一定的规范和要求。实验报告应结论正确、分析合理、讨论深入、文理通顺、简明扼要、符号标准、字迹端正、图表清晰。在实验报告上还应注明课题、实验者、实验日期、使用仪器编号等内容。

实验报告的书写格式可参照以下模板。

| | |
|--------------------|----------|
| (学校名称) | |
| 实验及原始数据记录报告 | |
| 实验项目名称 | 实验日期 |
| 专业班级 | 姓名 |
| 成绩 | 学号 |
| | 指导教师(签名) |
| 一、实验目的和要求 | |
| | |
| 二、实验原理 | |
| | |
| 三、实验所用仪器、设备及其编号 | |

(续)

四、实验步骤

五、实验结果及误差分析

六、实验小结

七、思考题解答

八、实验改进建议

第2章 基本电子测量技术

2.1 概 述

测量是通过实验方法对客观事物取得定量信息即数量概念的过程。在这个过程中，人们借助专门的设备，把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较得到用数值和单位共同表示的测量结果。电子测量是测量学的一个重要分支，20世纪30年代，测量科学与电子科学的结合产生了电子测量技术。从广义上说，凡是利用电子技术进行的测量都可以称为电子测量；从狭义上说，电子测量是指在电子学中测量有关电的量值。

与其他测量相比，电子测量具有以下几个明显的特点。

(1) 测量频率范围宽。被测信号的频率范围除直流信号外，还包括交流信号，其频率范围低至 10^{-6} Hz以下，高至THz($1\text{THz}=10^{12}\text{Hz}$)级。

(2) 量程范围宽。如数字万用表对电压的测量范围由纳伏(nV)级至千伏(kV)级，量程达12个数量级。

(3) 测量准确度高。例如，用电子测量方法对频率和时间进行测量时，由于采用原子频标和原子秒作为基准，使时间的测量误差减小到 $10^{-14}\sim 10^{-13}$ 量级。用标准电池作为基准可使电压的测量误差减小到 10^{-6} 量级。正是由于电子测量能够准确地测量频率和电压，因此，人们往往把其他参数转换成频率或电压后再进行测量。

2.1.1 电子测量仪器

用于检测或测量一个量或为测量目的供给一个量的器具称为测量仪器，包括各种指示仪器、比较式仪器、记录式仪器、信号源和传感器等。利用电子技术测量电或非电量的测量仪器称为电子测量仪器。电子测量仪器种类繁多，一般可分为专用仪器和通用仪器两大类。前者是指为某一个或几个专门目的而设计的电子测量仪器，如电视彩色信号发生器。后者是指为测量某一个或几个电参数而设计的电子测量仪器，它们能用于多种电子测量，如电子示波器。

通用电子测量仪器按其功能可分为以下几类。

(1) 信号发生器。用于产生测试用的信号，如低频、高频信号源，函数信号发生器及射频模拟与数字信号发生器等。

(2) 信号分析仪器。用来观测、分析和记录各种电量的变化，包括时域、频域和数字域分析仪，如示波器、动态信号分析仪、频谱分析仪、逻辑分析仪等。

(3) 频率计、相位计。用来测量电信号的频率、时间间隔和相位，如电子计数式频率计、波长计、数字式相位计等。

(4) 网络特性测量仪器。用来测量电气网络的各种特性，如频率特性测试仪(扫频仪)、阻抗测试仪、网络分析仪等。

(5) 电子元器件测试仪器。用来测量各种电子元器件参数，检测元器件工作状态(或功能)，如电桥、Q表、晶体管特性图示仪等。

通用仪器按显示方式,又可分为模拟式和数字式两大类。前者主要是用指针方式直接将测量结果在标度尺上指示出来,如各种模拟式万用表和电子电压表。后者是将被测的连续变化的模拟量转换成数字量之后,以数字方式显示测量结果,以达到直观、准确、快速的效果,如各种数字万用表、数字频率计等。电子测量仪器的种类繁多,用途也各不相同,在测量中应根据实际情况合理选择使用。

2.1.2 测量方法

为实现测量目的,正确选择测量方法是极其重要的,它直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。测量方法按照不同的分类方法大致包括以下几种。

1. 按测量性质分类

按测量性质分类,有时域测量法、频域测量法、数据域测量法和随机量测量法四种。

1) 时域测量法

时域测量法用于测量与时间有函数关系的量,如电压、电流等。它们的稳态值和有效值多用仪表直接测量,而它们的瞬时值可通过示波器显示其波形,以便观察其随时间变化的规律。

2) 频域测量法

频域测量法用于测量与频率有函数关系的量,如电路增益、相移等。可以通过分析电路的幅频特性和相频特性等进行测量。

3) 数字域测量法

数字域测量法是对数字逻辑量进行测量。如用逻辑分析仪可以同时观测许多单次并行的数据。对于计算机的地址线、数据线上的信号,既可显示其时序波形,也可用1、0显示其逻辑状态。

4) 随机量测量法

随机量测量法主要是指对各种噪声、干扰信号等随机量的测量。

2. 按测量手段分类

按测量手段分类,有直接测量法、非直接式测量法、组合测量法和调零测试法四种。

1) 直接测量法

直接测量法用于保证测量结果与校验标准一致。在直接测量方法中,测量者直接测到的量值就是它最终所需要的被测量的值。测量过程主要是一个直接的比较过程。

2) 非直接式测量法

非直接式测量法是指直接测量的并不是实验者最终想要得到的量值,而是以这些量值作为后续计算的基础。即利用直接测的量与被测量之间的函数关系(可以是公式、曲线或表格等),间接得到被测量量值的测量方法。间接测量的方法比较麻烦,常在直接测量法不方便或间接测量法的结果较直接测量法更为准确等情况下使用。

3) 组合测量法

组合测量法是兼用直接测量与间接测量的方法。在某些测量中,被测量与几个未知量有关,需要通过改变测量条件进行多次测量,根据测量与未知参数间的函数关系联立求解。

4) 调零测试法

调零测试法的基本过程是:将一个校对好的基准源与未知的被测量进行比较,并调节