



21st CENTURY  
规划教材

高等院校信息与电子技术类规划教材

Information and Electronic Technology Courses for Undergraduate Education

# 电子技术实验 仿真与实践

Experiment of Electronic Technology: Simulation and Practice

吴正光 郑 颜 主 编



21st CENTURY



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

中国科学院教材建设专家委员会教材建设立项项目

高等院校信息与电子技术类规划教材

---



# 电子技术实验 仿真与实践

吴正光 郑 颜 主 编  
黄 岚 王翠英 舒 华 副主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书介绍了电子技术实验的基础知识和操作技术,并介绍了 Multisim 电路仿真软件及其使用方法。第 2 章至第 4 章按线性与非线性模拟电子技术、数字电子技术、综合应用及综合设计性技术的分类,介绍了 63 个项目的实验指导,其中包含了验证性、设计性和综合性等实验类型。通过对本书的学习,读者能较全面地完成相关专业基础课程的实验训练,巩固理论知识,为后续课程的学习和电子技术实践技能的提高打下良好的基础。

本书既可供高等院校理工类专业学生作为电子技术基础实验的教材,也可作为初、中级工程技术人员提高性学习的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验仿真与实践/吴正光,郑颜主编. —北京:科学出版社, 2008

(高等院校信息与电子技术类规划教材)

ISBN 978-7-03-022307-4

I. 电… II. ①吴…②郑… III. ①电子技术-实验②电子电路-计算机仿真 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 085587 号

责任编辑:赵卫江/责任校对:赵 燕

责任印制:吕春珉/封面设计:北新华文

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 8 月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:1—4 000 字数:463 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62138017

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

# 高等院校信息与电子技术类规划教材

## 编 委 会

主 任 吴黎明（广东工业大学信息工程学院副院长、教授）

副主任 贺前华（华南理工大学电子与信息学院副院长、教授）

委 员 （按姓氏笔画排序）

马文华（广东外语外贸大学信息学院副教授）

汤 庸（中山大学信息科学与技术学院副院长、教授）

杨振野（广东技术师范学院电子系教授）

吴正光（广州大学实验中心副主任、高级工程师）

周美娟（广东海洋大学信息学院院长、教授）

洪添胜（华南农业大学信息学院院长、教授）

徐 杜（广东工业大学信息工程学院院长、教授）

颜国正（上海交通大学电子信息与电气工程学院测控系  
主任、教授）

## 前 言

本书作为高等院校模拟电子技术、数字电子技术和高频电子技术等理论课程的配套实验教材，主要是为高等院校理工科电类专业编写，也可为非电类专业选用。本书把原来属于三门课程的实验内容综合成一门独立的系统性教材，使电子技术实验成为电类专业的一门重要的必修基础实验课。

全书分为4章，第1章阐述了电子技术实验的基础知识、基本技术和操作规范、电子测量仪器的应用，以及Multisim电路仿真软件的使用方法；第2章提供了线性与非线性模拟电子技术方面的实验34项；第3章提供了数字电子技术方面的实验21项；第4章提供了数字、模拟电子技术的综合应用及设计性实验8项。本书涉及的实验内容有电子测量基础、基本放大电路、运算放大器应用、功率和电源电路、波形发生器、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路和高频电路等验证性、综合性和设计性实验，并提供了真实电路实验和计算机仿真实验的指导。

本书提供基础性实验的目的是让读者通过实践加深理解基本电子单元电路和电路模块的工作原理，并在实践中掌握电路的工作过程并提高动手能力（如工作状态的调整 and 测定、电路功能的判断等），介绍综合性、设计性实验的目的是提高读者对电子技术的应用能力、工程能力和创新能力。

随着实验设备不断改进及计算机仿真软件性能的提高和普及，高校电子技术实验教学的实验要素可以增加，其含义可以扩充。因此我们认为，电子技术实验要素应由实验预习、计算机仿真、电路实现、撰写实验报告四部分组成。其中计算机仿真实验部分由指导教师灵活安排，可以作为学生自主学习的内容，在实验预习或在撰写实验报告过程中完成。如果电子实验室中配备了计算机，也可以安排学生在课内对电路的每一部分功能仿真后同步进行相应的真实电路操作，并进行对比、验证，或者反过来修正仿真电路的设计。这就在传统的电子技术实验中引入了现代电子设计技术的元素，也就是本书把计算机仿真实验与真实电路实验融为一体进行编写的原因。然而，课内实验还是应以真实电路实验为主，课内实验中计算机仿真操作的时间建议不超过总课时的30%。

本书收集验证性、设计性实验项目47个、综合性实验项目16个，共63个实验项目。建议每个验证性、设计性实验项目的课内实验时间为2~3学时，每个综合性实验项目的课内实验时间为4~6学时。不同专业按需要在本教材中选取实验项目，电类专业可选用54~72学时内容，两个学期完成，非电类专业可选用18~54学时内容，一至两个学期完成。

本书由广州大学实验中心、物理与电子工程学院、机械与电气工程学院相关专业的老师共同编写，其中，第1章“电子技术实验基础”由吴正光、郑颜、黄岚、舒华编写；第2章“线性与非线性模拟电子技术实验”由吴正光、郑颜、王翠英编写；第3章“数字电子技术实验”由郑颜编写，该部分的计算机仿真实验内容由黄岚、舒华编写；

第4章“综合应用、综合设计性实验”由郑颜、吴正光编写。伍冯洁、何最红、何唐梅、吴羽、袁聿海参与了实验验证、画图、排版等工作。全书由吴正光统稿，郑颜担任主审。本书的出版受到广州大学教材出版基金的资助。

衷心感谢广州大学机械与电气工程学院舒怀林教授和广东工业大学信息工程学院吴黎明教授对本书编写的指导。

书中如有错误和不足之处，恳请广大读者批评指正。

# 目 录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第 1 章 电子技术实验基础                 | 1  |
| 1.1 电子技术实验概论                   | 1  |
| 1.1.1 电子技术实验的性质与任务             | 1  |
| 1.1.2 电子技术实验的基本程序              | 1  |
| 1.1.3 电子技术实验的操作规程              | 2  |
| 1.1.4 电子技术实验报告的编写              | 2  |
| 1.2 电子技术实验操作技术                 | 2  |
| 1.2.1 基本测量技术                   | 3  |
| 1.2.2 实验现场处理技术                 | 5  |
| 1.2.3 测量误差及数据的处理               | 7  |
| 1.2.4 电路组装基础                   | 9  |
| 1.2.5 实验安全操作规范                 | 12 |
| 1.3 电子技术实验常用测量仪器简介             | 14 |
| 1.3.1 双踪示波器                    | 14 |
| 1.3.2 信号发生器                    | 17 |
| 1.3.3 电子电压表                    | 18 |
| 1.3.4 频率特性测试仪                  | 20 |
| 1.3.5 QBG3 型高频 Q 表             | 22 |
| 1.3.6 电子技术实验箱                  | 23 |
| 1.4 Multisim 电路仿真软件简介          | 24 |
| 1.4.1 Multisim 的安装及用户界面        | 25 |
| 1.4.2 创建电路及虚拟仪器简介              | 27 |
| 1.4.3 基本分析方法                   | 30 |
| 1.4.4 Multisim 7 其他相关功能        | 32 |
| 第 2 章 线性与非线性模拟电子技术实验           | 33 |
| 2.1 常用电子仪器的使用                  | 33 |
| 实验 1 常用电子仪器的使用                 | 33 |
| 2.2 晶体管放大电路                    | 36 |
| 实验 2 验证性实验——晶体管共射极单管放大器        | 36 |
| 实验 3 验证性实验——晶体管共集电极放大电路（射极跟随器） | 44 |
| 实验 4 综合性实验——负反馈放大器             | 48 |
| 实验 5 验证性实验——差动放大电路             | 53 |
| 实验 6 验证性实验——高频小信号单调谐放大器        | 57 |

|                                         |            |
|-----------------------------------------|------------|
| 实验 7 验证性实验——高频小信号双调谐放大器 .....           | 64         |
| 2.3 场效应管放大电路 .....                      | 70         |
| 实验 8 验证性实验——场效应管放大电路 .....              | 70         |
| 2.4 运算放大电路 .....                        | 73         |
| 实验 9 验证性实验——集成运算放大器的指标测试 .....          | 73         |
| 实验 10 验证性实验——利用集成运算放大器组成的模拟运算电路 .....   | 78         |
| 实验 11 验证性实验——有源滤波器 .....                | 84         |
| 实验 12 验证性实验——由集成运算放大器组成的电压比较器 .....     | 90         |
| 2.5 波形发生电路 .....                        | 94         |
| 实验 13 验证性实验——分立元件组成的桥式 RC 正弦波振荡器 .....  | 94         |
| 实验 14 综合性实验——由集成运算放大器组成的波形发生器 .....     | 97         |
| 实验 15 设计性实验——波形发生器的设计 .....             | 102        |
| 实验 16 综合性实验——压控振荡器 .....                | 103        |
| 实验 17 综合性实验——利用 ICL8038 组装函数信号发生器 ..... | 106        |
| 实验 18 验证性实验——变压器反馈式 LC 正弦波振荡器 .....     | 109        |
| 实验 19 验证性实验——电容三点式 LC 振荡器 .....         | 111        |
| 实验 20 验证性实验——石英晶体振荡器 .....              | 117        |
| 2.6 调制与解调 .....                         | 119        |
| 实验 21 验证性实验——振幅调制器 .....                | 119        |
| 实验 22 验证性实验——振幅解调器 .....                | 124        |
| 实验 23 验证性实验——变容二极管调频器 .....             | 128        |
| 实验 24 验证性实验——电容耦合回路相位鉴频器 .....          | 132        |
| 实验 25 验证性实验——LM566 组成的频率调制器 .....       | 136        |
| 实验 26 验证性实验——集成电路(锁相环)构成的频率解调器 .....    | 139        |
| 2.7 功率输出电路 .....                        | 142        |
| 实验 27 验证性实验——分立元件组成的 OTL 低频功率放大电路 ..... | 142        |
| 实验 28 综合性实验——低频集成功率放大器 .....            | 147        |
| 实验 29 设计性实验——利用 LM386 设计功率放大电路 .....    | 150        |
| 实验 30 验证性实验——分立元件组成的串联型晶体管直流稳压电源 .....  | 151        |
| 实验 31 综合性实验——集成直流稳压电源 .....             | 156        |
| 实验 32 设计性实验——利用 78 系列稳压集成块设计直流电源 .....  | 160        |
| 实验 33 验证性实验——单结晶体管和晶闸管的测试和应用 .....      | 161        |
| 实验 34 验证性实验——丙类高频功率放大器 .....            | 165        |
| <b>第 3 章 数字电子技术实验 .....</b>             | <b>172</b> |
| 3.1 逻辑门电路的逻辑功能、应用和参数测试 .....            | 172        |
| 实验 35 验证性实验——晶体管开关特性、限幅器与钳位器 .....      | 172        |
| 实验 36 验证性实验——TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试 .....  | 176        |
| 实验 37 验证性实验——CMOS 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试 ..... | 182        |

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| 实验 38 验证性实验——集成逻辑电路的连接和驱动 .....           | 187        |
| 实验 39 设计性实验——组合逻辑电路的设计 .....              | 192        |
| 3.2 MSI 组合逻辑电路功能、参数的测试和应用设计基础 .....       | 199        |
| 实验 40 验证性实验——MSI 译码器逻辑功能测试 .....          | 199        |
| 实验 41 设计性实验——MSI 译码器应用设计 .....            | 206        |
| 实验 42 验证性实验——MSI 数据选择器逻辑功能测试 .....        | 208        |
| 实验 43 设计性实验——MSI 数据选择器应用设计 .....          | 211        |
| 3.3 MSI 时序逻辑电路功能、参数的测试和应用设计基础 .....       | 214        |
| 实验 44 验证性实验——触发器功能测试及其应用 .....            | 214        |
| 实验 45 验证性实验——计数器逻辑功能测试 .....              | 222        |
| 实验 46 设计性实验——任意进制计数器的设计 .....             | 227        |
| 实验 47 验证性实验——移位寄存器逻辑功能测试和应用 .....         | 231        |
| 实验 48 综合性实验——脉冲分配器及其应用 .....              | 237        |
| 3.4 脉冲整形和产生电路 .....                       | 245        |
| 实验 49 验证性实验——自激多谐振荡器 .....                | 245        |
| 实验 50 验证性实验——单稳态触发器 .....                 | 248        |
| 实验 51 验证性实验——施密特触发器 .....                 | 252        |
| 实验 52 综合性实验——555 时基电路及其应用 .....           | 255        |
| 3.5 D/A 和 A/D 转换器 .....                   | 262        |
| 实验 53 验证性实验——D/A 转换器功能测试 .....            | 262        |
| 实验 54 验证性实验——A/D 转换器功能测试 .....            | 265        |
| 3.6 随机存取存储器 .....                         | 268        |
| 实验 55 验证性实验——随机存取存储器及其应用 .....            | 268        |
| <b>第 4 章 综合应用、综合设计性实验</b> .....           | <b>276</b> |
| 实验 56 综合应用性实验——无线发送与接收系统 .....            | 276        |
| 实验 57 综合应用性实验——恒温控制电路 .....               | 280        |
| 实验 58 综合设计性实验——可编程控制低频函数发生器 .....         | 286        |
| 实验 59 综合应用性实验——三角波-正弦波变换器 .....           | 287        |
| 实验 60 综合应用性实验——智力竞赛抢答装置 .....             | 292        |
| 实验 61 综合应用性实验——直流数字电压表的制作 .....           | 295        |
| 实验 62 综合设计性实验——数字频率计的原理与制作 .....          | 300        |
| 实验 63 综合应用性实验——电子秒表的原理与制作 .....           | 307        |
| <b>附录 本书中数字电路实验使用的集成块资料所在实验项目检索</b> ..... | <b>312</b> |
| <b>参考文献</b> .....                         | <b>313</b> |

# 第1章 电子技术实验基础

本书介绍的电子技术实验包括模拟电子技术实验、高频电子技术实验和脉冲与数字电子技术实验三大部分，其中模拟电子技术实验与高频电子技术实验结合起来作为一个实验体系，目的是力图通过这样的实验，帮助学生掌握这两门课程的区别与联系，以及它们相互间的渗透，自然地从事线性电路过渡到非线性电路。在一些综合设计性实验中也把模拟电子技术和数字电子技术结合在一起，以加深学生对现代电子学的理解。

## 1.1 电子技术实验概论

### 1.1.1 电子技术实验的性质与任务

电子技术实验是学习现代电子学基础不可或缺的学习环节，学生在实践过程中，通过对实验的观察、分析、研究和应用，使理论与实践紧密结合起来，达到加深理解、巩固所学理论知识的目的，并使学生对本课程及其应用方向有更全面的理解。实验教学是提高学生的综合素质、培养学生的创新思维、实践能力和工程能力的一个非常重要的环节，也是提高学生自学能力的一个重要途径。

电子技术实验按实验性质分为三大类，即验证性和训练性实验、综合性实验及设计性实验。本书按此思路进行编写，验证性和训练性实验的主要目的是使学生在实践层面上掌握基本电子单元电路和电路模块的工作原理和过程（如工作状态的调整和测定、电路参数和功能的判断等），通过综合性实验提高学生的应用能力和工程能力，通过设计性实验探索如何培养学生的创新思维能力。

### 1.1.2 电子技术实验的基本程序

虽然电子技术各实验项目的目的和内容要求有所不同，但是实验的基本程序是一样的，主要由三个环节组成。

#### 1. 实验前预习

实验前预习的作用是明确实验目的和要求，避免实验中的盲目性，提高实验效率。实验前预习一般要复习实验电路的工作原理，理解实验原理，拟出实验步骤，列出相应表格，仿真并得出模拟实验结果以便与真实实验结果相比较，这可以确定真实实验是否正确，最后做出预习报告。

#### 2. 实践过程

实践过程就是学生亲自动手对电路进行组装、调试、测试、筛选和记录数据。这是学生感受理论联系实际的过程，起到培养动手能力、实践能力和掌握基本技能的作用。

其中综合性、设计性实验过程是知识综合应用的过程,是提高学生工程能力和创新能力必不可少的环节,这类具有探索性的实验对于提高学生的素质、发展其思维非常有益。

### 3. 撰写实验报告

撰写实验报告就是对实践过程的思考、分析、总结和得出结论的过程,通过撰写实验报告可以起到培养和提高学生分析问题能力、思维能力和创新能力的作

#### 1.1.3 电子技术实验的操作规程

①实验者应熟悉和遵守实验室规则,养成良好的科学的实验操守。

②实验前应先熟悉实验设备,并能熟练使用。

③按实验方案独立进行实验,疑难问题也可与别人讨论,培养团队精神。但切忌抄袭别人的数据,讨论后还应再独立研究,完成实验。

④要特别注意:连接或断开线路时,必须先断开电源,然后再进行操作。

⑤采用正确的测量方法才能得到真实、准确的实验数据。要全面记录实验条件和所得数据、波形(如有条件,可使用数码相机、手机等工具进行拍摄,以提高实验效率,缩短实验时间)。实验中若出现问题甚至发生电路故障,(在非紧急情况下)应尽量独立思考,耐心排除故障,并记下排除故障的过程和方法。

⑥实验中若发生异常情况(如发现异味、元器件过热、异常声音、电源跳闸保护等),要立即切断电源,并报告指导教师和实验室工作人员等待处理。

⑦学生实验结束时,可将实验原始记录送指导教师审阅签字,无误后才可拆卸实验装置和电路,整理现场。

#### 1.1.4 电子技术实验报告的编写

实验报告的编写必须文理通顺,书写整洁;符号标准,图表齐全;讨论深入,结论简明。其中,要说明实验原理、使用的实验设备和器件、测量数据的原始记录和处理结果(如数据、表格、波形、图形等)分类列出,如果预习时曾经进行电路仿真,可将理论值、仿真值和实际测量值进行比较。分析数据时要去粗取精、由表及里,结合理论知识进行研究讨论,还要进行误差分析。最后得出有理有据的结论。

## 1.2 电子技术实验操作技术

在电子技术实验中,不管是真实电路实验还是计算机仿真实验,都要求掌握电路组装、电子测量、电路调试、误差分析及数据处理等技术,甚至还要具备排除故障及避免或抑制噪声干扰的能力。实验能否达到目的,首先要能收集足够的、合理的、真实的原始数据,因此电子测量技术是实验技术的核心。电路组装、调试、排障、抗扰能力是正确测量的保证,误差分析及数据处理是测量结果的应用。

### 1.2.1 基本测量技术

本节主要介绍涉及本书实验内容的测量技术。

#### 1. 电压的测量

电压是时域测量的重要参数,分直流电压和交流电压。电压的变化规律可以用波形图来反映,在模拟电子技术实验中常用正弦波电压进行研究,而在数字电路实验中常用的是脉冲波电压。另外,还有三角波、方波、锯齿波等。交流电压的大小可用峰值(或峰-峰值)、平均值、有效值来表征。以一个不含直流成分的正弦波为例,如图1-1所示,峰值 $U_p=A$ ,峰-峰值 $U_{pp}=2A$ ,平均值(如无特别说明,指全波整流后的平均值) $\bar{U}=2A/\pi$ ,有效值 $U=A/\sqrt{2}$ 。如果信号含有直流成分,就要根据实验的需要考虑在内。

测量直流电压的仪器有直流电压表、万用表的直流电压挡、电子多用表、在DC输入状态下的示波器。使用模拟仪表测量直流电压时要注意其“+”端接电路的高电位点,“-”端接电路的低电位点,数字仪表则正反接都可以,但反接时测量结果的极性与实际电压的极性相反。使用万用表测试时,可以测量电路任意一点对地的电压,也可测量任意两点之间的电压,但电子多用表或示波器只能测量任意一点对地的电压。

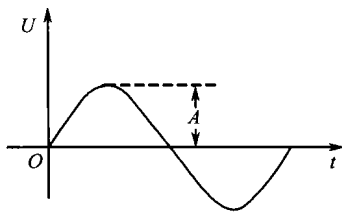


图1-1 不含直流成分的正弦波

测量交流电压可以使用交流电压表或电子电压表,要根据被测信号的频率、幅度、波形、电压表征值、测量精度要求来选择电压表的类型。每一种交流电压表只能使用有限的频率范围,如DA-16型晶体管毫伏表为20Hz~1MHz,常用的指针式万用表为45Hz~1kHz,数字万用表为20Hz~3kHz。如无特别说明,实验常用的仪表均以测量正弦波有效值标称,如果被测信号为纯正弦波,读数可以通过公式换算成峰值或平均值;如果被测信号为非正弦波,直接采用读取的数据会有较大误差。有些非正弦波数据可以根据仪表说明书提供的换算系数进行换算得到。

需要指出的是,一般的万用表交流电压挡按市电频率设计,适用于测量50Hz左右的正弦交流电参数,频率高时,读数误差非常大,不能代替电子电压表使用。

不管测量交流电压还是直流电压,都要注意不可超越仪表的量程使用,否则会造成仪表损坏。

利用示波器可以测量交流、直流电压,而且具有频率范围宽、不受波形和电压表征值要求限制、输入阻抗高的优点。早期的示波器需要人工根据屏幕上的波形读取数据,精确度不高,现代的数字示波器可以自动测量、字符显示多种参数,十分方便。对于含有直流成分的交流信号,利用示波器AC/DC输入状态的设置,可以把直流、交流电压参数分别测量出来。

## 2. 电流的测量

### (1) 直接测量法

电流表串联在被测支路中, 直接读取结果。电流表的内阻越低, 数据的精度就越高。直流电流测量时, 仪表的“+”端接电路的高电位点, “-”端接电路的低电位点。不管测量交流电流还是直流电流, 都要注意不可超越仪表的量程, 否则会造成仪表损坏。

### (2) 间接测量法

利用欧姆定律, 通过测量已知阻值电阻两端的电压来换算电流。此法无需断开电路, 实验中常常使用, 但精确度稍逊于直接测量法。

## 3. 周期和频率的测量

用数字频率计可以直接测量周期信号的周期和频率。不同型号的频率计都有一定的频率测量范围和电压测量范围, 通常被测信号的幅度在  $0.1 \sim 3\text{V}$  之间较好, 信号太弱则测量不稳定。当信号的信噪比较差时, 不能保证测量的准确性。

实验室里常用示波器测量信号的周期和频率, 测量方法见 1.3 节。

## 4. 失真系数的测量

周期信号的失真系数(失真度)定义为: 若信号的基波及各次谐波的有效值分别为  $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, \dots, U_n$ , 其失真系数

$$\gamma = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{U_1} \times 100\%$$

单一频率的正弦波没有高次谐波, 所以其理论失真系数应为零。实际信号可能存在高次谐波, 但是各次谐波的幅值测量比较困难, 实际上常用的失真度测量仪采用近似的失真系数测量法, 叫做抑制基波法。用一个带阻滤波器滤除被测信号的基波分量, 用毫

伏表在滤波输出端测得的总谐波分量  $\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}$  与原信号  $\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2}$  之比作为失真系数:

$$\gamma' = \left[ \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2}} \right] \times 100\%$$

当失真系数不大时, 可以认为  $\gamma \approx \gamma'$ 。但失真系数较大时, 测量误差就太大, 可用下式修正

$$\gamma = \frac{\gamma'}{\sqrt{1 - (\gamma')^2}}$$

非正弦波周期信号的失真系数可以这样估计: 先将标准信号波形的傅里叶展开式各项的系数代入  $\gamma$  的计算公式, 得到信号的理论失真系数(至少取到 15 次谐波), 再测量实际信号的实测失真系数, 两者之差即为该信号的失真系数。实测失真系数的方法有两

种：一是用频谱仪或数字示波器的 FFT 功能测取信号的基波及谐波的幅值（谐波次数取值与理论计算相同），代入  $\gamma$  的计算公式进行计算；二是用失真度测量仪直接测量。

## 1.2.2 实验现场处理技术

### 1. 实验电路的正确连接

每个电子电路都有特定的功能，这个功能是在设计工作中制定的，电路的结构和对元器件的要求也是设计中规定的。具体来说，在验证性实验中，设计要求体现在实验指导书中；在设计性实验中，还要按设计任务的要求先做出设计方案，才能付诸实践。体现设计要求最直观的文件是电路框图和电路原理图，是实验现场进行电路安装的重要依据。因此，进行实验前务必把这些文件读懂、理解透彻，实验中严格按照要求进行元器件选取，检查元器件的质量并进行电路安装。

实验电路还要与其他电子仪器连接才能组成实验系统，连接方法可按照信号流向，以连线简洁、调节顺手、观察与读数方便等原则合理布局，仪器与被测电路之间的布局和连接如图 1-2 所示。为防止外界干扰，各仪器连接电缆的地线应与实验电路公共地连接在一起，称共地。信号源和交流毫伏表的

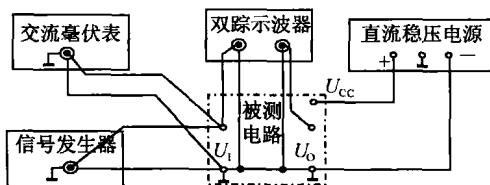


图 1-2 电子技术实验常用电子仪器布局方式

连接通常使用屏蔽线或专用电缆线，示波器的连接使用专用探头，直流电源的接线可用普通导线。

### 2. 实验电路的静态检查

电路安装好以后，应按设计要求检查元器件选取及连接无误，并确认电源电压及连接极性正确后才能通电。

首次通电主要检查电路的静态特性是否正常。所谓“静态”指这样的电路状态：直流工作电源提供以后（整流电路除外），未向电路提供交流或直流工作信号，或对本身是信号产生电路的先不提供电路起振条件。

静态通电后立即检查电路有无发热、冒烟、异常声光等现象，继而检查总电流、电压有无异常，再检查各关键节点的电压是否在合理范围内，必要时还可检查某些支路电流有无异常等。有些电路已经设计了可调元器件，这时应进行调试，比如工作点调试等，要求达到理想状态；否则要调整、更换元器件，或检查电路连接的正确性。对于设计性实验，如果仍不满足要求，可考虑设计的合理性，进行设计方案的调整。

### 3. 实验电路的动态检查

静态检查通过后，就可进行动态调试。“动态”指向电路提供设计要求的交流或直流信号，或对于本身是信号产生电路的提供电路起振条件，使电路“工作”起来。动态调试如果不能达到设计要求，可分三大类情况进行分析检查。

### (1) 设计指标不能达到

例如电路增益不够、波形失真、逻辑电路结果不合理等。这时首先应再次确定静态条件是否真正达标，静态工作点和谐振、耦合回路的调节是否正确；如果通过再次调节仍未达到要求，可继续检查元器件的参数指标是否合理，有无元器件损坏（有些元件在直流工作点上虽然正常，但叠加交流电压后会损坏，有些元件在高频状态下才出现故障现象等）；最后检查电路是否存在自激或干扰现象。

### (2) 自激

直流工作电源提供以后，还未向电路提供交流或直流工作信号，就在电路某些节点上出现异常的电压或振荡波形、脉冲等，这是电路的自激现象。有些自激现象是在受到某些外部激励之后才发生的。自激产生的振荡频率往往远离电路的设计频率。自激的原因来自电路内部，如元件性能不良、电路布局或设计不合理、信号辐射、电路间的感应等，使电路内部产生不良正反馈造成。自激现象使电路不能正常工作，甚至产生过高的电压而导致元件损坏。

防止和消除自激现象主要有以下措施。

①选取性能好的元器件。

②电路安装要注意元器件布置不要过密，电路布局要考虑信号的流向，除设计要求的反馈电路外，尽量不使后级信号回流到靠近前级的位置。

③尽量减少不必要的电磁耦合，尤其是工作频率较高的电路，信号连接线要尽量短，必要时使用屏蔽线传输（即使是屏蔽线也不能过长），振荡较强、频率较高的电路部分加以金属屏蔽。

④减少信号通过电源产生不良耦合，注意供电回路去耦电路的使用。

⑤正确接地。

电路“地”就是与各电路相连接并确定为零电位的导体，电路地可以与机器外壳甚至与大地相连，也可以不连。电路设计时认为地线是优良的导体，无论地线有多长，处处都是零电位。实际上地线也有电阻，因而电路不同部分接地点的电位会有差异，出现地电流。当接地不良或接地点安排不当时，就会引起信号的不良耦合，从而产生自激和干扰。

一般来说，工作于低频（ $<1\text{MHz}$ ）或公共接地面积小的电路，宜选用单点接地方式，即同一系统各单元电路的地线统一在一点接公共地（图 1-3）；工作于高频（ $>10\text{MHz}$ ）或公共接地面积大的电路，宜选用多点接地方式，即同一系统各单元电路分别就近连接公共地（图 1-4）；工作频率在  $1\sim 10\text{MHz}$  之间的电路，或同一系统中既有高频又有低频电路，可采用混合接地方式（图 1-5）。无论采用何种方式，都要求作为公共地线的导体电阻值足够小，与地线的连接或焊接足够可靠。

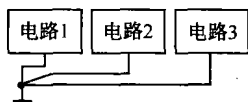


图 1-3 单点接地等效电路



图 1-4 多点接地等效电路

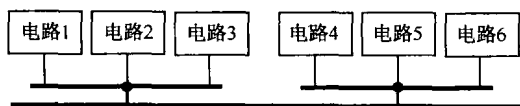


图 1-5 混合接地等效电路

### (3) 干扰

对电子电路的干扰主要是指电磁干扰，干扰会使电路工作失常。干扰来源可能来自电路内部，也可能来自电路外部。

1) 内部干扰源。电路如果存在自激，就是一种内部干扰源，可用上述消除自激的方法来处理。

此外，接插件接触不良、引线断裂、焊接点虚焊、高压电路存在放电现象、元器件安装不牢固引起电参数变化、元器件通电受热后出现性能改变和漏电、数字脉冲电路中脉冲电流引起的电磁辐射等原因都可能引起干扰。这些情况可以根据干扰的现象分析电路查找故障点，有时故障现象随机出现，不容易查到故障点，在保证人身安全和尽可能不损坏元件的条件下，可用触摸、敲打法或元件替换法寻找故障点。

2) 外部干扰源。与电路正常工作无关的外部电磁波侵入电路后都会形成干扰。外部干扰源主要如下。

① 供电电路滤波、稳压性能不良形成工频干扰，应改善供电电路。

② 如果工作环境存在大功率用电设备，或供电环境线路复杂，或存在其他高频产生设备，就会在空间形成强的工频电场或高频电场，容易侵入电路。应注意做好系统的接地、电路连接线的合理使用、天线或感应线圈的位置或形状调整，也可进行屏蔽和加强滤波。

③ 外部大功率用电设备的频繁启停，使设施不完善的供电电路出现浪涌现象；电焊、发动机点火启动等放电操作产生的宽频电磁波等。这些无规律出现的干扰极难排除，应尽量避免在此环境进行电子电路实验。

④ 环境温度超过设计要求，或温度变化急剧，会引起元器件性能改变。应满足实验对环境的要求。

## 1.2.3 测量误差及数据的处理

### 1. 测量误差

实验测量中不可避免地存在误差，测量误差产生的原因主要如下。

1) 仪器误差：仪器本身电气或机械等性能不完善产生的误差，又分为：

① 读数误差：包括仪器制造时校准过程产生的误差；仪器批量刻度与性能的分散性出现的刻度误差；读数分辨率有限产生的误差；读数调节机构不完善产生的误差；数字式仪器固有的量化误差（0/1 误差）。

② 仪器内部噪声产生的误差，限制了测量灵敏度。

③ 仪器电气性能不稳定产生的误差，如零点漂移、接触不良、调节机构松动等。

④仪器本身的测量速度不能适应快速测量的需要出现的动态误差。

2) 操作误差: 使用仪器时由于安装、调试、操作不当产生的误差, 如仪器放置不平稳、探头未妥善安装、接地不良、阻抗匹配不良、仪器预热不足、调节及测量不规范、信号引线过长等。

3) 人身误差: 人的感觉器官和运动器官的能力限制或缺陷产生的误差。

4) 环境误差: 环境温度、湿度、气压、电磁场、机械震动等因素引起的误差。

5) 方法误差: 测量方法不完善、所依据的理论不严密或被测量定义不明确产生的误差。

测量误差按误差性质分类, 可分为如下几类。

①系统误差: 指在一定条件下误差的数值保持恒定或按某种已知的函数规律变化的误差。系统误差越大, 测量准确度就越低。系统误差可利用其固有规律来消除。

②随机误差: 随机出现, 在一定条件下遵循统计规律。在“等精度测量”的条件下, 可利用多次测量取结果的算术平均值的方法来减少随机误差的影响。

③粗大误差: 测量结果明显偏离实际值的误差, 可由操作过失或异常情况产生。实验中如果做好预习, 有利于识别粗大误差。粗大误差产生的结果(坏值)应该剔除。

## 2. 测量数据的处理

实验现场测量的原始数据必须如实记录, 无需做修饰和增删。但测量工作完成后必须进行数据处理, 继而结合理论分析, 才能推导出实验结果(结论)。

### (1) 有效数字的读取

定义第一个不等于零的数字位及其后所有位数为有效数字的位数。测量时, 读取仪器准确度范围内的可靠数字再加上一位估计数值(欠准数字), 合成有效数字, 它的位数反映了读取数据的准确度, 不能随意增减。

### (2) 有效数字的修约规则

对数据进行运算处理前, 需要进行有效数位的取舍, 保留有用的位数, 舍弃多余位数。舍弃原则是: 采用四舍五入原则删除多余数字, 但当舍弃值最左一位为5且后一位无数字或为0时, 要看保留值最后一位, 如为奇数则舍5进1, 为偶数则舍5不再进位。

### (3) 参加中间运算的有效数字处理

多个数据进行运算处理时, 有效数字位数过多不但无意义, 而且增加复杂性, 容易出错, 位数过少又影响数据精度。保留位数的原则如下。

①加法运算: 整数加法不用舍弃数位。小数运算时, 以小数点后位数最少的数为标准数, 其他数按修约规则化成小数点后有效数字相同的数再相加。但对运算项目较多或较重要的测量, 可酌情多保留1~2位有效数字。

②减法运算: 相减两数的值相差较大时, 按加法原则处理。如两数的值很接近, 要多保留有效数字。

③乘、除法运算: 以有效位数最少的数作为标准数, 其他数以及积或商按修约规则化成比标准数多一位, 而与小数点位置无关。