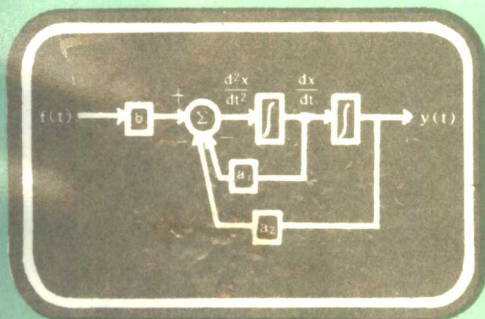


# 电路与系统实验

王洁生 王海 王季祥 编



西南交通大学出版社

# 电路与系统实验

王德生 王华 王德明 编



清华大学出版社

# 电路与系统实验

王洁生 王 海 王季祥 编

西南交通大学出版社

# **电路与系统实验**

**王洁生 王海 王季祥 编**

\*

**西南交通大学出版社出版发行**

**(成都 二环路北一段 610031)**

**新华书店经销**

**郫县印刷厂印刷**

\*

**开本: 787×1092 1/32 印张: 7.5625**

**字数: 156 千字 印数: 1—3000 册**

**1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月第 1 次印刷**

**ISBN 7—81022 —871—4/T · 160**

**定价: 7.00 元**

## 内 容 提 要

本书是根据高等工科院校电子技术类专业《电路分析基础》和《信号与线性系统分析》教学大纲对实验提出的要求而编写的，共九章，二十三个实验。主要章节有：电路与系统实验的基础知识；常用电子仪器的原理与使用方法；电子元器件的识别与测量；暂态和稳态特性的测量；频域特性的测量；系统的模拟；电路的计算机辅助分析以及综合性与设计性实验等。本教材适合于高等工科院校电子技术类专业本科生使用，也可供其他有关教学人员参考。

## 前 言

《电路与系统实验》是一门阐述电路与系统实验理论与实际操作相结合的课程。本教材是根据1980年6月制订的高等工科院校电子技术类专业《电路分析基础》和《信号与线性系统分析》教学大纲对实验提出的要求为依据而编写的,教材内容满足国家教委电工课程指导委员会关于“电路”及“信号与系统”实验的基本要求,并有所加宽和加深。为了照顾电路实验已经独立设课的院校和尚未独立设课院校的不同要求,该教材内容分九章阐述实验理论和相应的二十三个实验。既有验证理论的基本实验,又有一些综合性和设计性实验;既有传统的电路实验内容,又有电路的计算机辅助分析等新内容。所有实验内容有利于对学生实验理论和实际操作能力的培养。该教材适合于高等工科院校电子技术类专业本科生使用,各院校可根据本校现实情况选用不同内容和实验。

通过本教材的学习,要求学生在实验技能方面达到如下要求:

(1) 熟悉常用电子仪器的基本原理,比较熟练地掌握其使用方法,为后续课程打下坚实的基础。

(2) 掌握基本电量(如电压、电流、阻抗、频率等)的测量方法。

(3) 熟练掌握电信号的时域特性和频域特性的测量方法。

(4) 初步了解设计、安装和调试电网络或电子装置的全过程。初步掌握焊接技术。

(5) 学会电路的计算机辅助分析方法。

(6) 学会测量数据的正确处理方法与实验报告的编写方法。

本教材由上海铁道学院王洁生老师任主编并与该校刘秀风老师合作编写了第四章、第五章；北方交通大学王海老师任副主编，整理修改了全书并编写了第一章、第六章、第七章、第九章；兰州铁道学院王季祥老师任副主编并编写了第二章、第三章、第八章。

本书承北方交通大学宋开礪教授、北京理工大学龚绍文教授审阅，并提出了许多宝贵意见，编者在此仅向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

1995 年 6 月

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第一章 电路与系统实验的基础知识</b> ..... | 1  |
| 第一节 实验的重要性及任务 .....           | 1  |
| 第二节 测量误差 .....                | 3  |
| 一、实验和测量的概念 .....              | 3  |
| 二、测量误差 .....                  | 6  |
| 第三节 数据处理与实验报告编写 .....         | 13 |
| 一、实验数据的处理 .....               | 13 |
| 二、实验报告的编写 .....               | 23 |
| 第四节 供电与电路接线知识 .....           | 24 |
| 一、供电系统 .....                  | 24 |
| 二、接地的概念 .....                 | 27 |
| 三、仪器设备的布局与接线规则 .....          | 28 |
| 四、关于人身和设备安全 .....             | 29 |
| 第五节 电工仪表 .....                | 31 |
| <b>第二章 电工仪器与仪表</b> .....      | 35 |
| 第一节 概 述 .....                 | 35 |
| 第二节 万用表 .....                 | 36 |
| 一、万用表的使用方法 .....              | 36 |
| 二、使用万用表的注意事项 .....            | 39 |

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 第三节 低频信号发生器 .....                   | 39        |
| 一、基本原理 .....                        | 39        |
| 二、使用方法 .....                        | 41        |
| 第四节 低频毫伏表 .....                     | 42        |
| 第五节 示波器 .....                       | 43        |
| 一、示波器的组成 .....                      | 43        |
| 二、示波器显示信号波形的原理 .....                | 44        |
| 三、通用示波器的使用方法 .....                  | 46        |
| 第六节 交流电桥 .....                      | 52        |
| 实验 2—1 低频信号发生器、毫伏表和示波器<br>的使用 ..... | 57        |
| <b>第三章 电路元件及其测量 .....</b>           | <b>61</b> |
| 第一节 电路元件的类型和规格 .....                | 61        |
| 一、电阻器 .....                         | 61        |
| 二、电容器 .....                         | 65        |
| 三、电感器 .....                         | 67        |
| 第二节 电路元器件的检测 .....                  | 68        |
| 实验 3—1 电路基本器件的识别与测量 .....           | 68        |
| 实验 3—2 元件的伏安特性 .....                | 71        |
| 实验 3—3 电感、电容的频率特性 .....             | 75        |
| <b>第四章 暂态特性的测量 .....</b>            | <b>78</b> |
| 第一节 动态元件 .....                      | 78        |
| 一、电容元件的 $v \sim i$ 关系 .....         | 78        |
| 二、电感元件的 $v \sim i$ 关系 .....         | 79        |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 第二节 动态系统的响应 .....             | 79        |
| 一、零输入响应 .....                 | 79        |
| 二、零状态响应 .....                 | 80        |
| 三、完全响应 .....                  | 81        |
| 第三节 一阶 $RC$ 电路的响应 .....       | 81        |
| 一、一阶 $RC$ 电路时间常数的测量 .....     | 81        |
| 二、一阶 $RC$ 积分电路 .....          | 82        |
| 三、一阶 $RC$ 微分电路 .....          | 83        |
| 第四节 二阶 $RLC$ 电路的响应与状态轨迹 ..... | 84        |
| 一、二阶 $RLC$ 串联电路的阶跃响应 .....    | 84        |
| 二、二阶 $RLC$ 串联电路的状态轨迹 .....    | 86        |
| 实验 4—1 一阶 $RC$ 电路的响应 .....    | 89        |
| 实验 4—2 二阶电路的响应与状态轨迹 .....     | 91        |
| <b>第五章 正弦稳态电路的测量 .....</b>    | <b>93</b> |
| 第一节 正弦交流电路的基本概念 .....         | 93        |
| 一、正弦交流电的三要素 .....             | 93        |
| 二、相位与相位差 .....                | 93        |
| 三、正弦交流电的有效值 .....             | 93        |
| 四、阻抗的概念 .....                 | 94        |
| 五、互感 .....                    | 94        |
| 第二节 正弦交流电路各物理量的测量 .....       | 95        |
| 一、瞬时值和有效值的测量 .....            | 95        |
| 二、相位差的测量 .....                | 95        |
| 三、阻抗和互感的测量 .....              | 96        |
| 实验 5—1 正弦交流电的相量测量 .....       | 96        |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 实验 5—2 阻抗的测量 .....                   | 98  |
| 实验 5—3 互感的测量 .....                   | 100 |
| <b>第六章 信号与系统的频域测量</b> .....          | 104 |
| 第一节 信号与系统的频域分析 .....                 | 104 |
| 一、系统的频率特性 .....                      | 104 |
| 二、信号的频域分析 .....                      | 105 |
| 第二节 频域测量方法 .....                     | 108 |
| 一、频率特性的测量 .....                      | 108 |
| 二、信号频谱的测量 .....                      | 111 |
| 实验 6—1 一阶低通与高通滤波器的频率特性 .....         | 112 |
| 实验 6—2 二阶谐振电路 .....                  | 115 |
| 实验 6—3 信号频谱的测量 .....                 | 118 |
| 实验 6—4 用有源带通滤波器实现周期信号频谱<br>的测量 ..... | 120 |
| 实验 6—5 信号的取样与恢复 .....                | 125 |
| <b>第七章 系统的模拟</b> .....               | 128 |
| 第一节 基本运算单元 .....                     | 128 |
| 一、运算放大器 .....                        | 128 |
| 二、基本运算单元 .....                       | 129 |
| 第二节 连续时间系统的模拟 .....                  | 131 |
| 第三节 离散时间系统的模拟 .....                  | 134 |
| 第四节 微分方程的模拟求解 .....                  | 135 |
| 实验 7—1 基本运算单元实验 .....                | 140 |
| 实验 7—2 一阶连续时间系统模拟 (1) .....          | 142 |
| 实验 7—3 一阶连续时间系统模拟 (2) .....          | 144 |

|                                                     |            |
|-----------------------------------------------------|------------|
| 实验 7—4 离散时间系统的模拟 .....                              | 145        |
| 实验 7—5 微分方程模拟求解 .....                               | 151        |
| <b>第八章 电路的计算机辅助分析</b> .....                         | <b>156</b> |
| 第一节 什么是计算机辅助电路分析 .....                              | 156        |
| 第二节 节点分析法 .....                                     | 157        |
| 一、标准支路 .....                                        | 158        |
| 二、电路的拓扑矩阵 .....                                     | 158        |
| 三、基尔霍夫电流定律的矩阵形式 .....                               | 159        |
| 四、支路电压向量 $V_b$ 与节点电位向量 $V_n$<br>的关系矩阵 .....         | 160        |
| 五、节点分析法的矩阵形式 .....                                  | 160        |
| 六、特殊支路及受控源的处理 .....                                 | 161        |
| 第三节 直流分析程序 .....                                    | 162        |
| 一、直流分析程序流程图 .....                                   | 162        |
| 二、数据的输入与矩阵 $A$ 、 $G_b$ 、 $E_s$ 、 $I_s$<br>的建立 ..... | 163        |
| 三、受控源的处理 .....                                      | 163        |
| 四、分析程序 .....                                        | 164        |
| 五、True BASIC 语言的操作 .....                            | 167        |
| 第四节 动态电路的数值分析 .....                                 | 168        |
| 一、一阶动态电路 .....                                      | 168        |
| 二、高阶动态电路 .....                                      | 169        |
| 第五节 直流梯形网络分析 .....                                  | 173        |
| 第六节 用列主消元法解线性方程组——<br>高斯(Gauss)消去法 .....            | 178        |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 实验 8—1 直流电路的分析 .....       | 182 |
| <b>第九章 综合性与设计性实验</b> ..... | 184 |
| 实验 9—1 万用表的设计、组装与调试 .....  | 184 |
| 实验 9—2 用单板机产生各种波形的信号 ..... | 203 |
| 实验 9—3 电路与系统实验故障及其排除 ..... | 228 |

# 第一章 电路与系统实验的基础知识

本章内容是学好后续各章节的基础知识，通过本章的学习应达到以下目的：

- (一) 掌握测量误差理论与测量误差的计算方法。
- (二) 学会实验数据的处理方法与实验报告的编写方法。
- (三) 通过安全用电知识的学习，掌握安全用电方法。
- (四) 熟悉电工仪表的分类方法。

## 第一节 实验的重要性及任务

知识有两种，一种是理论知识，一种是实践知识。理论知识是重要的，它能指导实践，为社会创造出巨大财富。然而，理论一旦离开实践，那将是空洞的理论，没有丝毫的实际价值。只有经过实践才能丰富理论知识，发展理论知识。因而二者是相辅相成的，缺一不可。我们的教育方针历来是教育与生产劳动相结合，理论联系实际的原则。工科院校肩负着培养工程技术人员的重要任务，学生毕业后要从事各项科学研究和各种技术工作，这就要求他们应具有深入实际，有较强的动手能力，有踏踏实实从事科学实验的作风。为达此目

的，理工科院校必须重视加强实践教学。

实践教学有两个目的，一是配合讲课巩固和验证理论知识；二是使学生受到基本实践技能的训练，培养学生的科学实验能力，这里包括知识、方法、态度和作风的培养。

根据实验教学的功能，其类型分为以下三种：

(一) 验证型实验。即以验证理论为目的，在实验教学仪器和实验板的帮助下，通过教师的演示或学生的直接操作，测出一系列数据或图形，达到验证理论的目的，从而巩固和加深理论教学的内容。同时，使学生获得基本实验技能的训练，并掌握一些基本电子仪器的使用方法。

(二) 综合型实验。即以综合运用电路理论，实验技术理论为目的所进行的实验，从而比较全面地掌握理论知识和实验技术。

(三) 设计型实验。学生在掌握了一定的专业知识之后，便可独立地设计实验电路，搭接实验电路，分析实验结果，进行数据处理。

《电路与系统实验》主要侧重于前两种类型的实验，以便使学生打下扎实的基础。

通过《电路与系统实验》的学习，学生应完成以下几项学习任务：

(一) 掌握信号源、低频毫伏表、示波器、数字频率计、稳压电源、万用表等常用电子仪器的简单原理与使用方法。

(二) 掌握电压、电流、频率等电量的测量方法，以及电阻、电感、电容、品质因数等电路参数的检测方法。

(三) 掌握波形、相位差、频谱等电信号特性的观测方法。

(四) 掌握频率特性(包括幅频特性与相频特性)、输入(输出)阻抗、放大(衰减)量、通频带等电路特性的测量方法。

(五) 掌握电路与系统的模拟方法。

(六) 掌握电路的接线规则, 以及查找电路故障的基本方法。

(七) 掌握整理实验数据, 处理实验、实验数据, 绘制曲线和撰写实验报告的方法。

## 第二节 测量误差

### 一、实验和测量的概念

实验是人类认识客观事物的重要手段, 很多科学成果都是通过大量实验而取得的。很多科学理论是通过实验而证实或修正的。实验又是培养科学研究能力的重要手段, 很多优秀的人材是通过长期的实验工作而产生的。实验在科研、生产及人材培养等方面的重要地位早已为人们所认识。现代科学技术不仅为实验提供了更为有利的条件, 而且对实验提出了更高的要求。实验也是高等学校教学中的一个重要环节, 实验这一教学实践环节不仅有助于学生理论联系实际, 验证和巩固所学理论知识, 而且通过对学生实验操作技能的训练, 有利于培养学生的实际工作能力。因此, 我们说实验课在大学教学中占有重要地位。

实验离不开测量。可以说, 没有测量就没有实验。所谓测量就是将被测的量直接或间接地与另一作为单位的同类量相比较, 测量的结果用比较的数值(单位量的若干倍或若干

分之一)和单位名称来表示。例如,我们测得市电的电压为220伏,这就是说,市电的电压等于以伏为电压单位的220倍。

目前多数国家(包括我国)均采用国际单位制。表1—1给出了电路与系统实验中常用的国际制单位。

表 1—1

| 量   | 名 称 | 代 号 |          |
|-----|-----|-----|----------|
|     |     | 中 文 | 国际单位     |
| 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   | $\Omega$ |
| 电 感 | 亨利  | 亨   | H        |
| 电 容 | 法拉  | 法   | F        |
| 时 间 | 秒   | 秒   | s        |

但在实际应用中有时感到这些单位太大或太小,使用不便,我们便在这些单位前加上表1—2所示的词冠,用以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辅助单位。

由于客观存在的事物和现象是多种多样的,测量仪器种类繁多,因此所采取的测量方法也不一样,例如测量一个电阻器的电阻值,可以用伏安法测,也可以用电桥法测,又可以用万用表测量。归纳起来,测量方法可分为直接测量法、间接测量法和组合测量法三种。