



高等学校电子与通信工程类专业“十三五”规划教材  
电子信息实验及创新实践系列教材

# 电路分析基础实验 设计与应用教程

主 编	李晓冬		
副主编	张 明	姜玉亭	李淑明
	严 俊	唐 甜	孟德明



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信工程类专业“十三五”规划教材  
电子信息实验及创新实践系列教材

# 电路分析基础实验设计 与应用教程

主 编 李晓冬  
副主编 张 明 姜玉亭 李淑明  
严 俊 唐 甜 孟德明

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书结合虚拟仿真和工程应用,将仪器设备的使用、仿真技术的应用、实验技能的训练贯穿始终。本书中的每个实验均给出实验原理、仿真分析和工程应用。

本书的内容分5章:第1章为基础知识,主要是对实验的基本要求、电学基础知识、实验操作方法、实验数据处理方法进行介绍,为顺利实施实验做好准备;第2章为仪器知识,着重介绍了数字信号源、数字存储示波器、数字万用表等仪器的使用方法;第3章为元器件知识;第4章为基础实验,该章是全书的核心,包括实物实验、虚拟实验、工程应用举例,通过将理论与实践有机融合来验证和巩固学生所学内容,引导学生建立工程技术思维;第5章为电子设计、仿真和制作,通过实际的例子向学生展示如何进行实际的电子制作,并给出了一些参考题目,供学生自己动手操作。

本书可作为大学电子信息、通信工程、电气控制、自动化类专业本科生电子技术实验的教材,也可作为电子技术专业人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础实验设计与应用教程/李晓冬主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2016.9

高等学校电子与通信工程类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4219-2

I. ①电… II. ①李… III. ①电路分析—高等学校—教材 IV. ①TM133

### 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 233770 号

策 划 邵汉平

责任编辑 邵汉平 王 静

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子信箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 10.75

字 数 248千字

印 数 1~3000册

定 价 22.00元

ISBN 978-7-5606-4219-2/TM

**XDUP 4511001-1**

\*\*\*如有印装问题可调换\*\*\*

# 前 言

“电路分析基础”是工科电类专业的重要基础课程。该课程实践性强，相关理论、定理与工程实践联系紧密。为了真正体现学习的目的——学以致用，本书将基础的电路分析理论及实验与实际应用结合起来，引入最新的仪器和元件知识，通过虚拟实验以及验证性、综合性、设计性和研究性等多层次实验来提高学生的动手能力。

本书的内容分5章：第1章为基础知识，主要是对实验的基本要求、电学基础知识、实验操作方法、实验数据处理方法进行介绍，为顺利实施实验做好准备；第2章为仪器知识，着重介绍数字信号发生器、数字存储示波器、数字万用表等仪器的使用方法；第3章为元器件知识；第4章为基础实验，该章是全书的核心，包括实物实验、虚拟实验、工程应用举例，通过将理论与实践有机融合来验证和巩固学生所学内容，引导学生建立工程技术思维；第5章为电子设计、仿真和制作，通过实际的例子向学生展示如何进行实际的电子制作，并给出了一些参考题目，供学生自己动手操作。

本书实验内容包括必做和选做两部分，实验的层次分为验证性、设计性和综合性、研究性三个层次。建议实验开设内容如下：

实 验	实验开设内容
仪器使用	常用仪器使用(一) 常用仪器使用(二)
元件实验*	基本元件的识别与测量 对仪器使用进行简单考核
直流电路	基尔霍夫定律、叠加定理 戴维南定理和诺顿定理
动态电路	一阶RC电路的阶跃响应
正弦电路	电感、电容的交流阻抗的测量
谐振电路	串联RLC谐振电路 并联RLC谐振电路

其中，标“\*”的实验为考核部分，主要是针对学生的仪器使用设置的，教师可以根据实际情况穿插在实验中；其他实验都属于学生选做部分，教师可以根据专业、学生能力

等灵活调整。

本书由李晓冬任主编，张明、姜玉亭、李淑明、严俊、唐甜、孟德明任副主编。本书的编写得到了蔡春晓、黄品高等老师及有关仪器设备厂家的大力支持，在这里向他们表示感谢。

由于编者水平有限，书中定有不足之处，恳请读者指正。

编者

2016年3月

# 目 录

<b>第 1 章 基础知识</b> .....	1
1.1 实验基本要求 .....	1
1.1.1 本课程的学习方法及要求 .....	1
1.1.2 实验报告的要求 .....	2
1.2 电学基础知识 .....	4
1.3 实验电路的连接及故障处理 .....	5
1.4 实验数据的记录、分析与处理 .....	7
1.4.1 实验数据的记录 .....	7
1.4.2 实验数据的分析与处理 .....	7
<b>第 2 章 仪器知识</b> .....	9
2.1 信号发生器 .....	9
2.1.1 数字合成信号发生器的工作原理 .....	9
2.1.2 数字合成信号发生器的使用方法 .....	10
2.2 毫伏表 .....	19
2.3 数字万用表 .....	20
2.3.1 手持数字万用表 .....	21
2.3.2 台式数字万用表 .....	23
2.4 直流稳定电源 .....	26
2.5 示波器 .....	30
2.5.1 示波器的基础知识 .....	30
2.5.2 数字存储示波器的使用 .....	31
<b>第 3 章 元器件知识</b> .....	41
3.1 电阻器 .....	41
3.1.1 概述 .....	41
3.1.2 电阻器的分类 .....	41
3.1.3 电阻器的参数 .....	41
3.1.4 电阻器阻值的表示方法 .....	43
3.1.5 几种特殊的电阻器简介 .....	44
3.1.6 电阻器的选取 .....	45
3.1.7 电阻器的检测 .....	45
3.2 电容器 .....	46
3.2.1 概述 .....	46
3.2.2 电容器的分类 .....	46
3.2.3 电容器的主要参数 .....	47
3.2.4 电容器容量的表示方法 .....	48
3.2.5 电容器的选取 .....	49

3.2.6	电容器的检测	50
3.3	电感器	51
3.3.1	概述	51
3.3.2	电感的分类	51
3.3.3	电感的主要参数	51
3.3.4	电感值大小的标注方法	52
3.3.5	电感的选用	52
3.3.6	电感的检测	52
3.4	晶体二极管	53
3.4.1	晶体二极管的结构与特性	53
3.4.2	晶体二极管的类型	53
3.4.3	常用二极管的检测方法	54
3.5	晶体三极管	56
3.5.1	晶体三极管的结构与特性	56
3.5.2	晶体三极管的分类	57
3.5.3	三极管的检测方法	58
3.6	贴片元件	60
<b>第4章 基础实验</b>		65
4.1	仪器使用实验	65
	实验一 常用仪器使用(一)	65
	实验二 常用仪器使用(二)	69
	实验三 李萨如(Lissajou)图形法测量相位差	71
4.2	元器件使用实验	73
	实验一 基本元器件的识别与测量	73
	实验二 点电压法测量二极管的特性曲线	75
	实验三 传输特性曲线法测量二极管的特性曲线	77
4.3	直流电路测量实验与应用	79
4.3.1	实验	79
	实验一 基尔霍夫定律、叠加定理	79
	实验二 戴维南定理和诺顿定理	83
	实验三 利用外特性测量法测量信号发生器内阻	88
	实验四 受控源	90
4.3.2	戴维南定理和受控源在工程中的应用	94
4.4	动态电路实验与应用	95
4.4.1	实验	95
	实验一 一阶RC电路的阶跃响应	95
	实验二 RL元件的简单积分、微分电路	106
	实验三 二阶RLC串联电路的阶跃响应	107
	实验四 RC串联电路的电容充电速度的提高(研究性)	111
4.4.2	动态电路在工程中的应用	114
4.5	正弦电路实验与应用	115
4.5.1	实验	115
	实验一 电容、电感的交流阻抗、阻抗角的测量	115

实验二 电感、电容大小的测量(设计性) .....	123
实验三 阻容降压电源电路(综合性) .....	124
4.5.2 正弦电路在工程中的应用 .....	127
4.6 谐振电路实验与应用 .....	128
4.6.1 实验 .....	128
实验一 串联 RLC 谐振电路 .....	128
实验二 并联 RLC 谐振电路(设计性) .....	134
4.6.2 谐振电路在工程中的应用 .....	135
4.7 双口网络实验与应用 .....	136
4.7.1 实验 .....	136
4.7.2 双口网络在工程中的应用 .....	139
<b>第 5 章 电子设计、仿真和制作</b> .....	<b>140</b>
5.1 Multisim 10 的基本操作 .....	140
5.2 Multisim 10 电路仿真实例 .....	146
5.3 电子设计仿真制作实例: LED 手电设计制作 .....	152
5.4 电子设计仿真制作参考题目 .....	158
题目一 简易充电器 .....	158
题目二 2~12 V 连续可调稳压电源 .....	159
题目三 简易无线话筒 .....	159
<b>附录</b> .....	<b>160</b>
附录一 验证性实验报告编写要求 .....	160
附录二 设计性实验报告编写要求 .....	162
<b>参考文献</b> .....	<b>164</b>



# 第1章 基础知识

**本**章主要对电路基础实验中涉及的一些基础知识进行简单介绍,这些知识在实验过程中经常用到。

## 1.1 实验基本要求

电路基础实验是电子电路专业基础课的入门课程之一,该课程以应用理论为基础,专业技术为指导,是一门实践操作性很强的课程。通过该课程的学习,实验者可以熟悉常用仪器、仪表的使用方法;了解电子元器件的参数及其选择方法;掌握实验的基本操作技能以及正确处理实验数据、分析实验结果和误差的方法;了解电子制作和仿真的工作流程,从而提高实验者分析、解决问题的能力,培养实验者实事求是的科学作风以及独立思考、勇于创新的能力。

### 1.1.1 本课程的学习方法及要求

基于本课程在电子电路领域中的特殊性及其重要性,要学好这门实验课程,必须注意以下几点。

#### 1. 端正学习态度,明确实验目的

实验者不仅要理解开设实验课程的意义,而且对每一个实验的目的、意义都要有充分的认识,做到有的放矢。因此在实验课程的学习过程中,实验者应发挥主观能动性,多观察、多思考、多动手,不能敷衍了事、投机取巧。

建议在实验之前问自己这样几个问题,并将其答案列出:

- (1) 本次实验要做什么?
- (2) 本次实验要怎么做?
- (3) 实验完成后的效果是怎样的?

#### 2. 掌握正确的学习方法

电路基础实验一般分为三个环节:课前预习、课堂实验、课后总结。

(1) 课前预习。实验能否顺利进行并收到预期的效果,在很大程度上,取决于预习准备是否充分。因此,在实验课之前必须要弄清实验内容、实验目的、实验方法、实验要求及

注意事项。根据实验要求进一步制订出实验方案、实验步骤、测量数据的记录格式，还应通过理论分析、仿真，对实验过程中的现象及结果做到心中有数。

实验者只有认真做好课前预习并完成实验预习报告，才能进实验室进行实验，预习不合格者，不得进行实验。

(2) 课堂实验。课堂操作就是将预定的实验方案付诸实施的过程。在此过程中，不仅要完成实验任务，而且最重要的是能锻炼实践动手能力，并养成良好的工作习惯，同时积累实践经验，为将来的电路设计奠定基础。因此在该过程中，要做到勤思考、勤动手、勤观察，要善于发现问题、思考问题并解决问题，并对实验中的原始测量数据及出现的问题做详细的记录。

(3) 课后总结。这个环节就是要对实验结果进行理论分析，并通过与理论值进行比较，分析两者的差异，找出原因，得出结论。具体工作是明确实验目的，掌握巩固实验方法，对原始测量数据进行整理，对实验结果进行分析，对实验方法进行归纳改进并找出实验成功或失败的原因，对实验过程中遇到的困难及问题进行思考和总结，最后，把实验总结所得结果用实验报告的形式反馈给教师。

### 3. 严格遵守安全操作规程

在实验过程中，为了杜绝人身事故的发生，防止仪器设备的损坏，应严格按照以下规程进行操作：

(1) 应检查电路、仪器连接正确无误后，方可开启电源通电；在电路通电的情况下，实验者不准擅离实验台；线路连接好后，多余或暂时不用的导线都要拿开，以避免造成不必要的短路。

(2) 要清楚仪器设备的型号、规格，特别要注意它们的量程或额定值，并熟悉其接线和使用的方法；不可随意搬动仪器。

(3) 实验时，若发现电子元器件有异常现象，例如过热、异味、冒烟等，应立即断开电源。

(4) 严禁带电改、接线路或带电更换仪器量程；线路通电时，身体不可触及线路中带电的裸露部位。

(5) 谨防电容器极间放电放炮事件发生。电容通电时，人与电容最好保持一定距离，尤其对容值较大的电容，因电容极性接反或耐压等级不够被击穿时，易发生放炮伤人事件；也不要随便去摸没有与电源接通和空放着的高电压大电容的两端，防止带电电容通过人体放电。

## 1.1.2 实验报告的要求

电路基础实验可以分为验证性实验和设计性实验。验证性实验是指实验者已具有与实验相关的理论知识和经验，在实验过程中通过观察和操作，验证并巩固习得知识，同时培养实验技能的实验方式；设计性实验则是指给定实验目的要求和实验条件，由实验者自行设计实验方案并加以实现的实验，其目的在于激发实验者学习的主动性和创新意识，培养实验者独立思考、综合运用知识和文献、提出问题和解决复杂问题的能力。实验的性质不同，对实验报告的要求也不尽相同。

## 一、验证性实验

### 1. 实验预习报告内容

实验预习报告必须有以下内容：

(1) 实验名称。

(2) 实验目的。明确通过该实验要达到什么目的，要验证什么理论，需要通过测量什么参数来验证该理论。

(3) 实验原理。仔细阅读实验教材及相关理论文献，清楚实验所要验证的理论和实验中测量方法所依据的基本原理。

(4) 实验仪器设备。使用实验仪器设备之前，要仔细阅读有关的仪器使用说明，掌握其使用方法。

(5) 实验内容、步骤与电路图。认真分析实验电路，并根据实验内容、步骤，进行必要的计算，仔细考虑测量中有什么要求，并估算各参数的理论值，以便在实验过程中，做到“心中有数”。

(6) 一些思考题的问答。对于实验中提出的思考题，应尽量通过仿真或搭建电路来进行求证，或查找资料进行求解。

(7) 原始数据记录表格。这部分内容是指导老师考证实验效果的依据之一，应保证表格填写整洁。

(8) 实验操作注意事项。

这部分内容要求简洁、明了。因为预习是对实验准备的过程，不需要实验者把实验教材原封不动地抄写一遍。实验者应结合自己的理解，用自己的语言简要地完成实验预习报告。

### 2. 实验总结报告内容

实验总结报告是对实验过程的全面总结，是评定实验成绩的重要依据，必须认真书写，其内容应包括：

(1) 实验数据的处理、误差的计算和误差分析。

(2) 曲线图或波形图的绘制，应使用坐标纸绘制。

(3) 实验教材中思考题的回答。

(4) 实验结果的总结，包括实验结论(用具体数据和观察到的现象说明所验证的理论)；实验现象的解释和分析；实验过程中遇到的困难及其解决方法；对实验的认识、收获以及改进意见等。

(5) 实验教材中对总结报告所提的其他要求。

(6) 把实验原始数据作为附录页，附在总结报告后面。

## 二、设计性实验

### 1. 实验预习报告内容

在做设计性实验前，实验者必须要明确实验的目的和任务，并在预习阶段设计出实验方案，所以，预习在设计性实验中显得尤为重要。报告包括下列内容：

(1) 实验名称。

(2) 已知条件。设计性实验可给出的条件，例如：提供的电子元器件、测量仪器等。

(3) 主要技术指标。实现实验所需的主要技术参数,例如:频带大小、增益大小、信噪比等。

(4) 实验所需仪器。

(5) 电路工作原理和电路设计。根据实验的已知条件及主要技术指标给出实验实施方案,包括实验步骤、内容及实验电路图。在此过程中,实验者应仔细查阅并消化相关文献,方可提出可行的实验方案。

(6) 列出实验需测试的技术指标,以便实验时对其进行测量。

## 2. 实验总结报告内容

设计性实验总结报告主要包括以下内容:

(1) 电路组装、调试及测量。电路组装所使用的方法,包括组装的布线图等;调试电路的方法和技巧;调试时所使用的主要仪器;测量的数据和波形的记录;列出调试、测量成功后的各元件参数。

(2) 故障分析及解决的方法。在电路组装、调试、测试时出现的故障,及其原因和排除方法。

(3) 计算和处理测量数据,并对其结果进行讨论与误差分析。

(4) 思考题的回答。

(5) 总结设计电路的特点和方案的优、缺点,指出课题的核心及实用价值,提出改进意见和展望。

(6) 列出参考文献。

(7) 写出实验的收获和体会。

总之,书写实验报告时,要求思路清晰、文字简洁;图表正规,清楚;尊重实验原始数据,即不可随意涂改实验原始数据;计算准确,结论合理,并进行必要的分析与研究。

实验报告一律采用学校统一印制的实验报告纸,并于下一次实验时交给指导老师。要求每位实验者用自己的理解来完成,切忌抄袭(验证性、设计性实验报告样本见附录)。

## 1.2 电学基础知识

### 一、电路基础实验的测量内容

电路基础实验过程实际上是一个电子测量过程。所谓电子测量,是指以电子技术理论为依据、以电子测量仪器和设备为手段、以电量和非电量为测量对象的测量过程。电路基础实验主要是对电子技术中各种电参量所进行的测量,包括以下几方面的内容:

(1) 电路参数的测量。这是指对电阻、电感、电容、阻抗、品质因数、损耗率等参量的测量。

(2) 信号特性的测量。这是指对频率、周期、时间、相位、调制系数、失真度等参量的测量。

(3) 能量的测量。这是指对电流、电压、功率、电场强度等参量的测量。

(4) 电子设备性能的测量。这是指对通频带、放大倍数、衰减量、灵敏度、信噪比等的测量。

(5) 特性曲线的测量。这是指对幅频特性、相频特性、器件特性等特性的测量。

上述各种参量中,频率、时间、电压、相位、阻抗等是基本参量,其他的为派生参量。电压测量则是最基本、最重要的测量内容。

## 二、几种基本电参量的意义以及表示

(1) 直流电压(或电流)。直流电压(或电流)是指其大小不随时间变化的信号,用符号“DC”或“—”表示。典型的直流电压有干电池的电压、直流稳定电源的电压,如果用这些电压加在纯电阻电路中,得到的电流就是直流电流。

(2) 交流电压(或电流)。交流电压(或电流)的大小是随时间周期变化的,用符号“AC”或“~”表示。市电就是典型的交流电压,除此之外,函数信号发生器产生的方波、三角波也是交流电压。交流电压一般用幅度、峰峰值、有效值来表示,此外,还有波形系数、波峰系数等表示法。

(3) 幅度。一个周期性交流电压  $U(t)$  在一个周期内相对于直流分量所出现的最大瞬时值称为该交流电压的幅度  $V_m$ 。

(4) 峰值。一个周期中信号的最大值  $V_p$  即为峰值。在直流分量为 0 时它等于幅度。

(5) 峰峰值。波峰到波谷的差即为峰峰值,用  $V_{pp}$  表示。峰值、幅度与峰峰值关系图如图 1-1 所示。

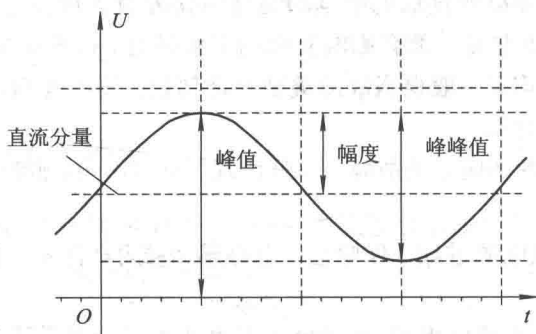


图 1-1 峰值、幅度与峰峰值的关系

(6) 有效值。如果一个交流电通过一个电阻在一个周期时间内所产生的热量和某一直流电通过同一电阻在相同的时间内产生的热量相等,那么这个直流电的量值,就称为交流电的有效值,用  $V_{rms}$  表示。比如我们生活中使用的市电电压 220 V,也是指供电电压的有效值,对于正弦信号,有  $V_{pp} = 2\sqrt{2}V_{rms}$ ,  $V_{pp} = 2$  倍幅度。

**注意** 一般没有特殊说明时,交流电压的测量值都是指有效值,用  $V_{rms}$  表示。

(7) 交流信号的表征。一个信号通常用电压或电流或功率来表示。

## 1.3 实验电路的连接及故障处理

### 一、实验电路连接的注意事项

(1) 用万用表检测所有连接导线是否有断路,断路的导线应分拣出来。

(2) 用不同颜色的导线连线, 最好按照习惯使用, 比如黑色接地用, 红色接电源等。

(3) 对于较复杂的电路, 应先连接串联部分, 后连接并联部分, 在检查接线无误后才能连接电源端。

(4) 接线时, 线应尽量短(特别对高频电路), 并尽量减少连线数量。

(5) 避免在同一个端子上连接三根以上的连线(应分散接线), 以减少因牵动(碰)一线而引起端子松动、接触不良或导线脱落, 导致较大的接触电阻, 甚至引发事故。

对连接好的电路, 一定要认真细致地检查, 这是保证实验顺利进行、防止事故发生的重要环节。检查的方法: 一般是从电路的某一点开始(例如, 信号的输入端), 依次按连接导线和连接点或信号传递方向检查各实验装置接入电路的情况, 巡遍整个电路, 直至“终点”, 要将原理图和实物进行对照, 以原理图校对实物。

## 二、实验电路的故障处理

实验电路出现各种故障是难免的, 通过对电路简单故障的分析、具体诊断和排除, 实验者可以提高分析问题和解决问题的能力。

在实验电路中, 常见的故障多属参数异常、开路、短路等类型。这些故障通常是由于电路接错、元器件损坏、实验仪器使用条件不符或数值给定不当、接触不良或导线内部断路等因素造成的。还有些不明显的故障需要根据实验数据进行判断, 在没有错测、错读、错记和漏测的前提下, 如果所读取的数据与估计值误差过大应该考虑为实验故障。不论何类故障, 如不及早发现并排除, 都会影响实验的正常进行, 甚至造成严重损失。

故障检测的方法很多, 一般根据故障类型确定部位, 缩小范围, 再在范围内逐点检查, 最后找出故障点并予以排除。

(1) 通过感官可以发现明显的故障, 一旦出现气味、声响、温度等异常反应, 应立即切断电源并找出故障点。

(2) 检查电路接线(电源进线、保险丝、电路输入端子)有无错误, 依次检查各部分有无电压, 是否符合要求。

(3) 用万用表(电压挡或电阻挡)在通电或断电状态下检查电路故障。

① 通电检测法: 用万用表电压挡(或电压表)在接通电源情况下进行故障检测。根据实验原理, 电路中某两点间应该有电压而万用表测不出电压; 或某两点间不应该有电压而万用表测出了电压, 那么故障就在此两点间。

② 断电检查法: 用万用表电阻挡在断开电源情况下进行故障检测。根据实验原理, 电路中某两点间应该导通(或电阻极小), 万用表测出开路(或电阻很大); 或两点间应该开路(或电阻很大), 但测得的结果为短路(或电阻很小), 则故障在此两点间。

(4) 用示波器在通电状态下检查电路故障。用示波器从信号发生器输入端到信号输出端逐级检查波形, 哪级的波形与正常波形不同, 故障就在此级。

实验者应根据故障类型和实验线路结构情况来选用检测方法, 如短路故障或电路工作电压较高(200 V 以上), 不宜用通电法检测。因为在这两种情况下, 有损坏仪表、元件和触电的可能; 而当被测电路中含有微安表、场效应管、集成电路、大电容等元件时, 不宜用断电法(电阻挡)检测。

## 1.4 实验数据的记录、分析与处理

### 1.4.1 实验数据的记录

实验数据的测量一般分为多次测量(如物理实验)和单次测量(即每个量只测量一次)。多次测量的测量误差较小,可排除实验过程中的偶然性。在本书中,对于电路实验数据的测量只要求单次测量。在记录数据时,要注意数据有效数字的位数和数据的单位。

#### 一、有效数字的组成

实验数据通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。可靠数字可以直接读取,欠准数字通过估读得到。对于数字式仪表,可以直接读取数据(默认最后一位数字为欠准数字),但要选取合适的量程。

至于有效数字的取舍及运算规则可以参见大学物理实验的处理方式。

#### 二、实验数据的单位

实验数据包括两大类:有量纲和无量纲数据。有量纲的数据包含数值及其相应的单位,没有注明单位的有量纲测量结果是毫无价值的,例如直流电压是 1.02 V,直流电流是 0.32 A 等;少数测量结果没有单位,我们称其为无量纲数据,它实际是两个或多个有单位的参数之比,例如放大器增益  $A=112$ ,其实是输入电压与输出电压的比值。

### 1.4.2 实验数据的分析与处理

一般实验数据的分析与处理包括两个方面:一是对实验数据误差的分析,二是实验数据的图表化。误差的分析是为了对实验结果进行定量分析,图表化则是使实验结果更直观。

#### 一、误差分析

测量误差就是测量结果与被测量的真值之间的差别,误差有绝对误差、相对误差和满度相对误差三种不同的表示方法。通常使用绝对误差和相对误差来分析电路基础实验的数据。

##### 1. 绝对误差 $\Delta X$

测量所得值  $X$  和被测量真值  $X_0$  之间的差,称为绝对误差。被测真值  $X_0$  可以根据电路理论计算得到。

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1-1)$$

##### 2. 相对误差 $\gamma_0$

绝对误差  $\Delta X$  与被测量实际值(或真值)  $X_0$  的百分比,称为相对误差。在进行严格的误差分析时,经常采用相对误差作为测量指标。

$$\gamma_0 = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

为减小相对误差,应选择合适的仪表量程,对于指针式仪表,测量时要使表头指针偏转超过 1/2 量程。

## 二、实验结果的图表化

图表化就是把实验结果用函数图形表示出来,它具有直观性,能清楚地反映出实验过程中变量之间的变化关系和连续变化的趋势。精确地描制图线,在具体数学关系式为未知的情况下还可进行图解,并可借助图形来推测出经验公式的数学模型。

图解法主要是进行曲线拟合。所谓曲线拟合,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获得一个或几个数值,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,而且有限次的测量所得到的数据只是关系曲线的一些离散点,不能简单地将这些离散点连成一条折线,必须对这些离散点进行一定的处理,即对曲线进行拟合。曲线拟合一般可分6步来进行:

(1) 整理数据。首先,测量的数据点必须足够多,曲线的线性段数据可适当少些,但非线性段测量数据点必须足够多;其次,取合理的有效数字表示测得值,剔除可疑数据,给出相应的测量误差。

(2) 选择坐标。坐标的选择应以便于作图或更方便地反映变量之间的相互关系为原则,以被测量及相关量为坐标变量,选择合适的坐标系,常用的是直角坐标系,当变量范围很宽时,则采用对数坐标系。

(3) 坐标分度。在坐标纸选定以后,就要合理地确定图纸上每一小格的距离所代表的数值(简称格值),应注意下面两个原则:

① 格值的大小应当与测量的值所表达的精确度相适应。

② 为便于制图和利用图形查找数据每个格值代表的有效数字,尽量采用1、2、4、5,避免使用3、6、7、9等数字。

(4) 作散点图。根据确定的坐标分度值将数据作为点的坐标在坐标纸中标出,考虑到数据的分类及测量的数据组先后顺序等,应采用不同符号标出点的坐标。常用的符号有“×”、“○”、“●”、“△”、“■”等,规定标记的中心为数据的坐标。

(5) 绘制曲线。绘制时,转折点应尽量少,更不能出现人为折曲,应是靠近数据点(而不是通过所有点)的一条光滑而无斜率突变的曲线,有时,可采取数据分组的办法,取各组几何中心连接成的平滑曲线,除曲线通过的点以外,处于曲线两侧的点应当相近。

(6) 注解说明。在每一图形下面将曲线经过的意义清楚明确地写出,使阅读者一目了然。

## 三、实验结果的判定

实验数据处理完以后,必须根据数据处理的结果,给出实验最后结论:是否达到预期效果,实验是否成功。判定的方法一般是按照实验电路计算出实验的理论数据,将理论数据与实验测量数据相比较。如果两者结果相差很大(如相差5%或者10%以上),可以判定实验失败,此时需要对整个实验过程进行分析,找出产生错误(或者大误差)的原因,并将其写入实验报告中。这将有利于后面进行正确的实验。如果实验误差较小,基本和理论数据吻合,可以判定实验达到了预期效果。此时同样应当对这些较小的实验误差进行进一步分析,看是否能够减小实验误差,提高实验精度。



## 第2章 仪器知识

**本**章主要介绍各仪器的工作原理、内部结构、参数和使用方法。

### 2.1 信号发生器

信号发生器在电子实验中主要作为信号产生源,用来产生所需要的信号,因此,信号发生器也称为信号源。信号发生器可产生不同波形、频率和幅度的信号,是电路实验中常用的仪器。一台性能良好的通用信号发生器应具备以下基本要求:

- (1) 具有较宽的频率范围,且频率连续可调。
- (2) 在整个频率范围内具有良好的输出波形,即波形失真要小。
- (3) 输出电压幅度连续可调,且基本不随频率的改变而改变。
- (4) 具有输出指示(电压幅度、频率、波形)。

目前的信号发生器一般可输出多种波形,如正弦波、方波、三角波、TTL电平和直流电平。在方波和三角波的基础上,还可以调出各种矩形波和三角波。因此现在的信号发生器又称为函数信号发生器,有的信号发生器还具有调制和扫频的功能。信号发生器输出信号的波形、频率、幅度都可以通过仪器面板上的旋钮、按键方便地调节、设定。随着电子技术的发展,出现了数字合成信号发生器(DDS),其一改传统的模拟方法,采用了全数字概念和大规模集成电路。因其原理与晶振信号分频非常相似,故能轻松得到与晶振相同的频率稳定度,即使在极低频时依然如此;频率变换速度快(可达纳秒量级),变频时相位连续;频率分辨率极高,且只受制于所用集成电路的规模,由于电路中只有很少的模拟器件,仪器稳定性和可靠性都得到了显著的提高。

#### 2.1.1 数字合成信号发生器的工作原理

数字合成信号发生器没有振荡元件,是用数字合成方法产生一连串数据流,再经过数/模转换产生预先设定的模拟信号,即利用程序软件产生所需的信号。其原理框图如图2-1所示。

波形合成原理:例如要产生一个正弦波,首先将函数  $y = \sin x$  进行数字量化,再以  $x$  为地址,  $y$  为量化数据,依次存入波形存储器。