

电子电路实验系列教材

丛书主编 周 娅

电路分析基础 dianlu

实验·设计·仿真

主 编 黄品高
副主编 李晓冬 陈震华



电子科技大学出版社

电子电路实验系列教材

电路分析基础实验·设计·仿真

丛书主编 周 娅

主 编 黄品高

副主编 李晓冬 陈震华

ISBN 978-7-81114-968-2	2008年9月第1次印刷	182mm×2	四川经纬印务有限公司	成都	四川经纬印务有限公司	成都	182mm×260mm	2008年9月第1次印刷	18.80元
ISBN 978-7-81114-968-2	2008年9月第1次印刷	182mm×2	四川经纬印务有限公司	成都	四川经纬印务有限公司	成都	182mm×260mm	2008年9月第1次印刷	18.80元
ISBN 978-7-81114-968-2	2008年9月第1次印刷	182mm×2	四川经纬印务有限公司	成都	四川经纬印务有限公司	成都	182mm×260mm	2008年9月第1次印刷	18.80元

电子科技大学出版社

◆ 本教材有部分内容... ◆ 本教材有部分内容... ◆ 本教材有部分内容...

图书在版编目 (CIP) 数据

电路分析基础实验·设计·仿真/黄品高主编. —成都:
电子科技大学出版社, 2008.9

(电子电路实验系列教材/周娅主编)

ISBN 978-7-81114-968-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 137389 号

电子电路实验系列教材
电路分析基础实验·设计·仿真

丛书主编 周 娅

主 编 黄品高

副主编 李晓冬 陈震华

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)
策划编辑: 朱 丹
责任编辑: 汤云辉
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 四川经纬印务有限公司
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 9.75 字数 237 千字
版 次: 2008 年 9 月第一版
印 次: 2008 年 9 月第一次印刷
书 号: ISBN 978-7-81114-968-5
定 价: 18.80 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

前 言

本书是《电路分析基础》课程的实验教材，其主要特点是将基础的电路分析理论与实际应用结合起来进行教学，引入最新的仪器和元件知识，通过综合性、设计性以及研究性实验引导学生实际动手操作。它给学生一个很明确的认识：理论的实际应用就在身边！

本书的内容分为三大部分：预备知识（第1章、第2章、第3章）、实验部分（第4章）和设计仿真部分（第5章）。预备知识部分主要是对实验的基本概念、基本操作方法进行解释，它是参考资料性质的，为学生实验前的预习提供帮助；实验部分是教材的核心，它通过几个系列的实验来验证和巩固学生所学内容，提高学生的动手能力，并通过一些综合性、设计性以及研究性实验引导学生将理论应用于实际；设计仿真部分以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，供学生自己动手练习。

实验内容包括必做和选做部分，实验的层次分为三个：验证性、设计性和综合性、研究性。建议实验开设内容如下：

实 验	实验开设内容
仪器使用	测量 RC 电路的相位差
	直流、交流信号测量
元件实验	基本元件的识别与测量
考核	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	并联 RLC 谐振电路

其中考核部分主要是针对学生仪器使用而设置的，教师可以根据实际情况穿插在实验中，剩余的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。

由于篇幅有限，本书还配有专门的资源网站，许多相关的内容都能在网站上找到，并且网站上提供了更详细的电子版本。资源网站地址：

<http://202.193.64.134/Reslib/>

本书由黄品高任主编，李晓冬、陈震华任副主编，周娅教授、朱名日教授审阅。本书的编写还得到了严俊、秦冬成、李淑明、姜玉亭等老师的大力支持，为本书提出了很多宝贵意见，在这里向他们表示感谢。

由于编者水平有限，对书中的错误和不足之处，恳请读者指正！

目 录

7A	.....	1.1.1	.....	1
7A	.....	1.1.2	.....	2
7A	.....	1.2	.....	4
0A	.....	1.2.1	.....	4
0E	.....	1.2.2	.....	5
1E	.....	1.3	.....	6
1E	.....	1.3.1	.....	6
	.....	1.3.2	.....	6
	.....	1.4	.....	7
	.....	1.4.1	.....	7
	.....	1.4.2	.....	7
	.....	第2章 仪器知识	.....	10
0E	.....	2.1	.....	10
0E	.....	2.1.1	.....	10
0D	.....	2.1.2	.....	14
5D	.....	2.1.3	.....	24
5D	.....	2.2	.....	31
E0	.....	2.2.1	.....	32
4D	.....	2.2.2	.....	33
6D	.....	2.2.3	.....	34
1E	.....	2.2.4	.....	35
1E	.....	2.3	.....	38
1E	.....	2.4	.....	39
0E	.....	2.4.1	.....	40
0E	.....	2.4.2	.....	42
1E	.....	2.5	.....	45
0E	.....	第3章 元器件知识	.....	47
8E	.....	3.1	.....	47

3.1.1	概述	47
3.1.2	电阻器的分类	47
3.1.3	电阻器的参数	47
3.1.4	电阻器阻值的表示方法	49
3.1.5	几种特殊的电阻器简介	50
3.1.6	电阻器的选取	51
3.1.7	电阻器的检测	51
3.2	电容器	52
3.2.1	概述	52
3.2.2	电容器的分类	52
3.2.3	电容器的主要参数	53
3.2.4	电容器容量的表示方法	54
3.2.5	电容器的选取	55
3.2.6	电容器的检测	56
3.3	电感器	57
3.3.1	概述	57
3.3.2	电感的分类	57
3.3.3	电感的主要参数	57
3.3.4	电感的大小表示方法	58
3.3.5	电感的选用	58
3.3.6	电感器的检测	58
3.4	晶体二极管	59
3.4.1	晶体二极管的结构与特性	59
3.4.2	晶体二极管的类型	59
3.4.3	常用二极管的检测方法	60
3.5	晶体三极管	62
3.5.1	晶体三极管的结构与特性	62
3.5.2	晶体三极管的分类	63
3.5.3	三极管的检测方法	64
3.6	贴片元件	66
第4章	电路分析基础实验	71
4.1	电路仿真实验	71
4.2	仪器使用实验	76
	实验一 测量 RC 电路相位差	76
	实验二 李萨如 (Lissajou) 图形测量相位差	81
	实验三 直流、交流信号测量	83
	实验四 观察信号源内阻对输出信号的影响	86
4.3	元器件使用实验	88

实验一	基本元器件的识别与测量	88
实验二	点电压法测量二极管的特性曲线	90
实验三	传输特性曲线法测量二极管的特性曲线	91
4.4	直流电路测量	93
实验一	基尔霍夫定律、叠加定理	93
实验二	戴维南定理和诺顿定理	96
实验三	受控源	101
4.5	动态电路实验	106
实验一	一阶 RC 电路的阶跃响应	106
实验二	RL 元件的简单积分、微分电路 (设计性)	111
实验三	二阶 RLC 串联电路的阶跃响应	112
实验四	RC 串联电路的电容充电速度的提高 (研究性)	116
4.6	正弦电路实验	118
实验一	电感、电容的交流阻抗的测量	118
实验二	电感、电容大小的测量 (设计性)	124
实验三	阻容降压电源电路 (综合性)	124
4.7	谐振电路实验	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)	131
4.8	双口网络实验	132
第 5 章	电子设计、仿真和制作	136
5.1	电子设计、仿真制作实例: LED 手电设计制作	136
5.2	电子设计仿真制作参考题目	142
附录 1	PCB 图生成步骤	143
附录 2	验证性实验报告编写要求	145
附录 3	设计性实验报告编写要求	147
参考文献		148

第1章 基本知识

本章主要对电路基础实验中涉及的一些基本知识进行简单介绍,这些知识在实验过程中经常遇到。

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。

一、端正学习态度,明确实验目的

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,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?

二、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

课堂实验就是一个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,而且最重要的是要锻炼实际动手能力,并养成严谨的良好工作习惯,同时逐渐积累实践经验,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,掌握并巩固实验方法,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。

三、安全操作规程

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

(1) 在检查电路、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,实验者不准擅自离开实验台;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) 谨防电容器间放电、放炮事件。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,易发生放炮蹦人事件;也不要随便去触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理论知识和经验的基础,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。因此,根据实验的性

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

对于实验预习报告要求必须包括以下几方面内容：

- (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，应保证表格干净、整齐。
- (8) 实验操作注意事项。

这部分内容要求简洁、明了。因为预习是一个对实验准备的过程，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多提的其他要求。
- (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

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。

(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：实验要达到的主要技术参数，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，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手册，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) 测量数据的计算和处理，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) 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 电路基本知识

1.2.1 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。在电路基础实验中，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。指的是对电阻、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。指的是对频率、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。指的是对电流、电压、功率、电场强度等参量的测量。

(4) 电子设备性能的测量。指的是对通频带、放大倍数、衰减量、灵敏度、信噪比等参量的测量。

(5) 特性曲线的测量。指的是对幅频特性、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。

1.2.2 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、直流稳压电源的电压，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，除此之外还有波形系数、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 。在直流分量为0的时候它等于幅度。

(5) 峰-峰值：波峰到波谷的差，Peak-Peak，简称为P-P，用 V_{P-P} 表示。

峰值、幅度与峰-峰值的关系如图 1-1 所示。

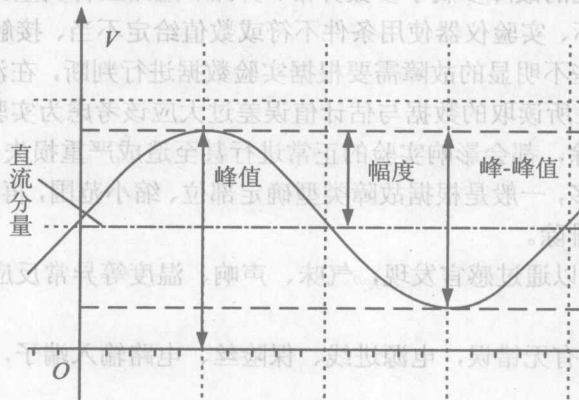


图 1-1 峰值、幅度与峰-峰值的关系

(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流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 表示。比如我们生活中使用的市电电压 220V，也是指供电电压的有效值，对于正弦信号，有： $V_{P-P} = 2\sqrt{2}V$ ， $V_{P-P} = 2V_m$ 。

注意，没有特殊说明时，交流电压的测量值都是指有效值，用 V 表示。

(7) 交流信号的表征：表示一个信号，通常用电压、电流或功率表示。

1.3 实验电路的连接及故障处理

1.3.1 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、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，应尽量使用短的线（特别对高频电路），并尽量减少连线。

(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）其中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”，要将原理图和实物对照，以原理图校对实物。

1.3.2 实验电路的故障处理

实验中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，可以提高操作者分析问题和解决问题的能力。

在实验电路中，常见的故障多属于参数异常、开路、短路三种类型。这些故障通常是由于接错电路、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，一般是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) 明显的故障可以通过感官发现，气味、声响、温度等异常反应一旦出现应立即切断电源找出故障点。

(2) 检查电路接线有无错误，电源进线、保险丝、电路输入端子，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去检查电路故障。

(a) 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，电路中某两点应该有电压而万用表测不出电压；或某两点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。

(b) 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去检查电路故障。用示波器从信号源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。

在选择检测方法时, 要针对故障类型和实验线路结构情况选用, 如短路故障或电路工作电压较高(200V 以上), 不宜用通电法检测。因为这两种情况存在时, 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、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

实验数据的单位包括两大类: 有量纲和无量纲。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 1.02V, 直流电流是 0.32A 等; 少数测量结果没有单位, 我们称为无量纲, 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的定量分析, 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。我们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 ΔX

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 γ_0

相对误差 γ_0 指绝对误差 ΔX 与被测量实际值 (或真值) X_0 的百分比。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。

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

为减小相对误差,应选择合适的仪表量程,对指针式仪表测量时要使表头指针偏转超过二分之一量程。

二、实验结果的图表化

所谓图表化就是把实验结果用函数图形的方式表示出来,它有明显的直观性,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。

图解法主要问题是曲线拟合,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,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拟合。一般可分六步来进行:

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能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。

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,应注意下面两个原则。

(a) 格值的大小应当与测量的值所表达的精确度相适应。

(b) 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、实验结果判定

在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。这些将有利于以后进行正确的实验。如果实验误差较小，基本与理论数据吻合，可以判定实验达到了预期实验效果。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。

器 形 示 1.5

只 成 脚 基 器 形 示 1.1.5

器 形 示 一

器形示一：器形示一为单管放大器，其电路如图 1-5 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器 形 示 二

器形示二：器形示二为双管放大器，其电路如图 1-6 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器 形 示 三

器形示三：器形示三为三管放大器，其电路如图 1-7 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器形示四：器形示四为四管放大器，其电路如图 1-8 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器形示五：器形示五为五管放大器，其电路如图 1-9 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器 形 示 六

器形示六：器形示六为六管放大器，其电路如图 1-10 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器形示七：器形示七为七管放大器，其电路如图 1-11 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器形示八：器形示八为八管放大器，其电路如图 1-12 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器形示九：器形示九为九管放大器，其电路如图 1-13 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器形示十：器形示十为十管放大器，其电路如图 1-14 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器形示十一：器形示十一为十一管放大器，其电路如图 1-15 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器 形 示 十二

器形示十二：器形示十二为十二管放大器，其电路如图 1-16 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

器 形 示 十三

器形示十三：器形示十三为十三管放大器，其电路如图 1-17 所示。图中各元件符号均按国家标准表示。图中各元件符号均按国家标准表示。

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 示波器

2.1.1 示波器基础知识

一、示波器的功能

我们可以把示波器简单地看成是具有图形显示的电压表,普通的电压表是在其表盘上移动指针或者数字显示来给出信号电压的测量值,而示波器则能在屏幕上以图形的方式显示信号电压随时间的变化,即波形。而且示波器能够同时显示两个或两个以上信号。

二、示波器的分类

示波器按性能特性一般可分为两大类,即模拟示波器和数字存储示波器。

1. 模拟示波器

模拟示波器有如下特点:

- (1) 操作直接——全部操作都在面板上,波形反应及时。
- (2) 垂直分辨率高——连续而且无限级。
- (3) 数据更新快——每秒捕捉几十万次波形。

2. 数字存储示波器

对于频率很低的信号(如几赫兹)和非周期信号,模拟示波器很难直接观测其波形,而数字存储示波器则能很好地弥补这一缺陷,并具有以下特点:

- (1) 带有与计算机通信的接口,可直接与计算机连机组建成测量系统。
- (2) 可进行手动或全自动的测量。
- (3) 可以长期储存波形。
- (4) 可以在打印机或绘图仪上制作硬拷贝以供编制文件用。
- (5) 波形信息可用数学方式进行处理。

三、示波器的结构与基本工作原理

下面主要以模拟示波器为例,介绍示波器的结构与基本工作原理。

1. 示波器的结构

示波器的显示器件是阴极射线管(CRT),如图 2-1 所示。阴极射线管的基础是一个能