

电工电子基础课实验系列教材

DIANLU FENXI

SHIYAN

电路分析实验

龚之春 主审
董晓聪 编著



1133
40

浙江大学出版社

电工电子基础课实验系列教材

电路分析实验

龚之春 主审

董晓聪 编著

浙江大学出版社

内容提要

《电路分析实验》教材是为“电路分析基础”、“电路原理”、“电路与电子学”、“电工学”等理论课的实验教学环节而编制的实验教材,目的是验证理论,巩固和加深所学的理论知识,增强感性认识,加强动手能力,培养分析和处理实际问题的能力。本教材共介绍了 10 个常做的基础实验,不同的理论课可根据教学大纲要求选择适当的实验内容。

责任编辑 樊晓燕

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 6

字 数 154 千

版 印 次 2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

印 数 0001—3000

书 号 ISBN 7-900666-13-3/G·99

定 价 9.00 元

序

杭州电子工业学院的电工电子类学科实验室,自上世纪 80 年代创建以来,已经历了多次扩展和改造。尤其是本世纪初迁入下沙新校区后,这些实验室又经大力充实和整合,已提升为电工电子实验中心,并被列入省教育厅认证的首批省高校重点实验教学示范中心之一。这是几代实验工作者努力的结果,也是浙江省教育事业发展的标志之一。

为了真正适应时代的发展,作为省重点实验基地的电工电子实验中心应当具有鲜明的开放性和示范性。为此,该中心在不断改善硬环境的同时,还特别重视实验内容、过程和手段的革新。如在保留经典实验过程的同时,适时增添了计算机辅助分析的内容;在运用传统设计方法之后,及时引入编程开发软件,使电子系统设计(综合)实现得更为快捷有效;在常规实验取得一定经验的基础上,及时掌握虚拟实验技术这一现代工程训练必备的手段;还有实验过程中注重培养故障检测和诊断等实验师应有的基本技能,等等。所有这类实验改革的理念,随着实验课程的进展,都恰如其分地安排在相应的实验过程中。

这套实验指导书,大体上是按电工学、电路基础、模拟电子技术、脉冲与数字电路和通信电路等课程分册编写出版的,它既适用于电工电子信息类等工程专业本科使用,如经适当选择和安排,也完全适用于非电类工科专业使用,如机电一体化、自动化、交通、能源勘探或轻工制造类专业。它还可根据不同层次的学生提供有针对性的实验内容和环境,如可安排单片机至嵌入式系统的综合实验等,以便供研究生或高职生等进行实验学习。

本实验系列教材的各分册的编者都是长期从事相应课程教学和实验的教师,他们有着丰厚的理论基础和专业知识。更可贵的是他们具有熟练的实验技能。他们在编写中都注意到实验内容的由浅入深,逐渐加大实验难度和复杂性;实验目的也逐渐从感性到理性,符合认知规律,进而达到自主开发和创新境界;实验手段也是从传统到智能化的渐进式训练。这些理念无不透出编者多年教学心得和工程经验的运用。学生如能充分利用中心的实验资源,并深刻领会实验教材的编写意图,经过亲身实践,定能使个人的实验技能大有长进,成为当今企业界十分欢迎的工程专业人材。

实验改革是教学改革中的一个重要方面,需要有经验的指导教师的远见卓识,更需要有锐意改革从事实验研究者的亲身体验。相信实践出真知,实验中心在不断改革开放的进程中,将会变得更具有开放性和示范性,将会为杭州电子工业学院,以至全省电工电子类实验教学创造出更多的经验。

龚之春 教授

2003 年冬于杭州翠苑

前 言

“电路分析基础”是涉电专业学生接触到的第一门电学基础课,是进一步学习模拟电子技术、脉冲与数字电路技术、高频电子技术等课程的理论基础。“电路分析实验”正是为了巩固和加深学生对“电路分析基础”知识的认识和理解而开设的实验课。

本《电路分析实验》教材是根据电路分析实验教学大纲要求,参照杭州电子工业学院历届使用的电路实验指导书的内容及兄弟院校的实验教材,从学院实验室条件和学生的实际情况出发,在总结十来年电路实验教学经验的基础上重新编写的。这次编写的指导思想是基于电路分析实验是电路分析理论课的实践性环节,是课堂理论教学的延续。因此,电路实验的主要目的是验证理论,巩固和加深所学的理论知识,增强感性认识,提高动手能力,培养分析和处理实际问题的能力,培养实事求是、严肃认真的科学态度和良好的实验习惯,为后续课程的学习和为今后从事实际工作打好基础。

为了加强实验教学的理论性和系统性,增强实验基础理论内容,本教材除讲述基础知识外,还包括了误差及数据处理等基本概念、基本测量方法和实验原则性指导等内容。

本教材共有10个基础实验,不同的课程可选择适当的实验内容。针对每个实验本教材提供了较全面的预习思考题,以加强实验前预习这一重要环节;对实验总结报告也提出了较具体、明确的要求。每次实验约需2到3小时。在全部实验结束之后,根据学生的实验情况、总结报告的质量,并结合必要的考试,进行综合考评。

本教材在编写过程中得到了本院龚之春教授、胡建萍教授、王宛革副教授的认真审阅和修改,在此谨致以深切的谢意。由于本教材编写时间比较仓促,难免存在错误,衷心希望使用本教材的广大师生批评指正!

编 者

2004年2月

目 录

第一篇 实验测试基础知识	1
第二篇 实验的原则性指导	9
第三篇 实验内容	13
实验一 元件伏安特性的测试及电压源外特性的研究	15
实验二 叠加原理及基尔霍夫定律的验证	20
实验三 戴维南定理的验证	23
实验四 受控源的研究	27
实验五 典型电信号的观察和测量	35
实验六 动态网络响应的研究	44
实验七 互感电路的观测	50
实验八 正弦稳态交流电路(单相交流电路)	55
实验九 三相交流电路	62
实验十 RLC 串联谐振电路	67
第四篇 附 录	75
附录一 电路实验室规则	77
附录二 仪器设备介绍	78

第一篇

实验测试基础知识

实验测试基础知识

一、测量的基本概念

所谓“测量”，就是利用专用设备把被测物理量同标准量进行比较，判定被测量值是标准量的多少倍，从而确定被测量大小的过程。测量是定量的基础，是实验的重要环节。

进行各种测量所需的全部仪器、设备统称为测量仪器。

电路实验中的被测物理量大致分为如下两类。

一类是表征电信号特征的量，如电流、电压、频率、周期等。它们可直接送入测量设备与同类标准量进行比较，或者在测量设备中经某种变换（如幅度变换、频率变换、波形变换等）后，再与标准量比较，最后由显示部件指示出测量结果。其测量过程如图 1 所示。

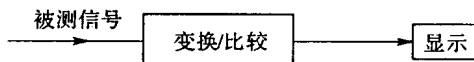


图 1 信号特征的一般测量过程

另一类是表征各种元器件及电路系统电磁特性的量，如电阻、电感、电容、阻抗、传输特性等等，它们只有在一定的信号作用下才显示出其固有的特性。例如，只有在电压或电流激励下，电阻器才表现出其电阻的作用。这类物理量的一般测量过程如图 2 所示。



图 2 系统特性的一般测量过程

把已知电信号加于被测元件或系统的输入端，然后分别测量输入信号与输出信号，就可得到被测件的特性，这实际上是一种间接测量方法。

从上述测量过程可见，测量仪器应该包括电信号特性测试仪（如电压表、电流表、频率计等）、测试信号源（如低频信号发生器、脉冲信号发生器、高频信号发生器、功率函数信号发生器、直流稳压电源等）以及由测试信号源与电信号特性测试仪组成的组合式仪器（如扫频仪、示波器等）。

无论使用何种仪器去测量何种物理量，测量结果总是根据仪器示值确定的。所谓仪器示值，就是由仪器的装置给出的被测量的数值。如果进行单次测量，通常取仪器示值为测量结果。如果相同的测量进行多次，则测量结果就取各次测量所得仪器示值的算术平均值。

再好的仪器，再精确的测量，仪器示值和测量结果与被测量的真实值之间总会存在一些误差。我们把测量仪器的示值与被测量真实值之间的误差叫做仪器误差，把测量结果与被测量的真实值之间的误差叫做测量误差。当测量结果等于仪器示值时，测量误差就是仪器误差。

1. 测量误差的定义

人们进行测量时,总希望能取得被测量的真实数值。真实数值是客观存在的,通常称之为“真值”,记为 A_0 。

要完成测量任务,必须要有测量仪器、测量方法和进行测量的人员三个条件。但即使这三个条件具备,测量结果也可能不是绝对完善和准确无误的,加上外界环境造成的影响,这就导致测量所得数值并非是真值的真值,而只能是它的近似值,两者之间存在一定的误差,记为 ΔX ,它可表示为

$$\Delta X = \text{测量所得数值 } X - \text{真值 } A_0 \approx X - \text{实际值 } A$$

用这种方法表示的误差 ΔX 称为“绝对误差”。测量值大于真值时,绝对误差为正,测量值小于真值时,绝对误差为负。由于真值是无法测得的,通常将更高一级的标准仪器所测得的值 A 称为“实际值”,用它来替代真值。应用绝对误差来表征测量的准确度是不完善的。例如对于两个电压值,其实际值和绝对误差如下:

$$U_1 = 1000\text{V} \quad \Delta U_1 = 1\text{V}$$

$$U_2 = 10\text{V} \quad \Delta U_2 = 0.1\text{V}$$

从绝对误差来看, ΔU_2 比 ΔU_1 小,似乎对 U_2 的测量准确度要高于 U_1 ,其实不然。为了客观地反映测量的准确度,常采用“相对误差”的表示方法,它是绝对误差 ΔX 与实际值 A 的百分比值,即

$$\text{相对误差} = \text{绝对误差 } \Delta X / \text{实际值 } A \times 100\%$$

由此可计算出对 U_1 测量的相对误差为

$$\frac{1}{1000} \times 100\% = 0.1\%$$

而对 U_2 测量的相对误差为

$$\frac{0.1}{10} \times 100\% = 1\%$$

计算结果说明,虽然 ΔU_1 比 ΔU_2 大,但是对 U_1 测量的相对误差比对 U_2 测量的相对误差要小,也就是说,对 U_1 的测量准确度要高,这与事实是相符合的。因此常用相对误差来表示测量的准确度。

2. 误差的种类和来源

系统误差 特点为在一定条件下,误差的数值保持恒定或按某一确知的规律变化。前者称为恒值系统误差,后者称为变值系统误差。

系统误差的来源有:

(1) 测量仪器本身不准确,引起基本误差(仪器本身固有的)和附加误差(工作条件如温度、湿度、外界电磁场变化所引起的)。

(2) 测量方法不当。

(3) 操作人员的习惯和偏向以及人们感觉器官不完善而造成的误差。

(4) 测量环境变化引起的误差。

系统误差的大小反映了测量结果偏离真值的程度,系统误差越小,测量结果越准确。由于系统误差是具有一定规律的,总可以通过实验和研究来发现它的规律,从而设法加以消除或减小。

偶然误差 特点是进行重复测量时,误差的大小和正负完全是随机的。这种误差服从统计规律,满足正态分布,如图 3 所示。

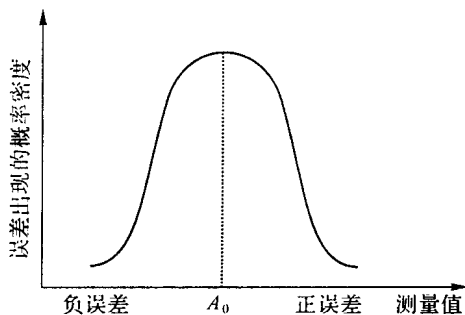


图3 测量分布规律

偶然误差的来源包括供电的突然起伏、环境温度突然变化、室外车辆通过造成的振动等,它们是无法预测的。但是当测量次数为无穷多次时,其绝对误差的平均值趋于零。若真值为 A_0 ,各次测量值为 $X_1, X_2, X_3, \dots$,每次测量的绝对误差为 $\Delta X_1, \Delta X_2, \Delta X_3, \dots$,则绝对误差的平均值为 $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i$ 。当测量次数 n 趋于无穷大时有 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i = 0$ 。

因此,对同一物理量进行多次重复测量并非多余的事,对多次测量所得数据进行适当处理,可减少偶然误差对测量结果的影响。

过失误差 特点是误差的数值很大,且又完全没有规律,是与实际情况显然不相符合的。它主要是由于实验操作者在操作、读数和记录中发生差错所引起的,相应于这种误差的测量数据是没有意义的,在作数据处理时应该舍去。只要测试人员能仔细认真地操作,就能避免出现这类误差。

3. 测量数据的处理

(1)读取测量数据的基本原则是最后一位有效数字是估计值,其余各高位均为确知的数字。测量结果中出现多余的有效数字时,应按如下舍入原则处理:当多余的有效数字大于5时则入,小于5时则舍;当此数字等于5时,若其前一位为奇数则入,为偶数则舍。例如,将下列箭头左端的数按照上述舍入原则各删掉一位有效数字,则应得右端的数。

$$3.281 \rightarrow 3.28 \quad 5.376 \rightarrow 5.38 \quad 0.875 \rightarrow 0.88 \quad 0.825 \rightarrow 0.82$$

(2)对直接测量的数据进行加减乘除运算时,运算结果小数点后有效数字位数只能保留到参加运算的几个数据中小数点后位数最少的数据位数。例如:

$$13.65 + 0.0082 + 1.632 = 15.2902 \rightarrow \text{结果为 } 15.29$$

$$3.54 \times 4.8 \times 0.5421 = 9.2114 \rightarrow \text{结果为 } 9.2$$

(3)单次测量数据的处理:在很多情况下,只需对被测物理量进行一次测量。在进行直接测量时,仪表误差就是测量误差的最大值;若采用间接测量,误差可由直接测量的误差计算出来。设有两个测量数据 A, B 的绝对误差为 ΔA 和 ΔB , C 为 A 和 B 的运算结果,其绝对误差为 ΔC ,则有

$$C = A \pm B \rightarrow \Delta C = \Delta A + \Delta B$$

$$C = A \cdot B \rightarrow \Delta C = A \times \Delta B + B \times \Delta A$$

$$C = A/B \rightarrow \Delta C = (B \times \Delta A + A \times \Delta B)/B^2$$

(4)重复多次测量数据的处理:多次测量,取算术平均值可以减少偶然误差对测量的影响。若测得 n 个数据 $X_1, X_2, \dots, X_n$,则其算术平均值 $\bar{X}$ 为

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + \dots + X_n)/n$$

由偶然误差的特点可知,当测量次数 n 增加时,算术平均值越接近于真值,但事实上测量次数总是有限的,所以算术平均值和真值之间也总存在一定的差异。

二、基本测量方法

电路分析中的基本变量是电压、电流和功率等,它们也是表征电信号能量的三个物理量,其中最基本的测量任务是测量电压,多数有关的测量仪表是为此而设计的。对电流和功率的测量除可使用电流表和功率表外,也可用间接测量方法,通过测量电压后计算而得;或通过观测电阻器两端电压波形而得知其电流波形。

1. 电表法

(1) 电压的测量

电压表应并联在被测电路的两端,如图 4(a) 所示。

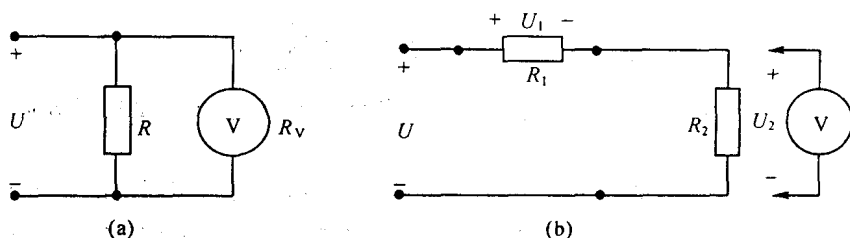


图 4 电压的测量

为了减少对被测电路原工作状态的影响,电压表的内阻 R_v 要远大于被测负载的电阻 R 。为了测量电路中的多处电压,一般电压表不接死在电路中,而用活动的测试棒进行测量,如图 4(b) 所示。

(2) 电流的测量

测电流时,电流表应串联在被测电路中,如图 5(a) 所示。

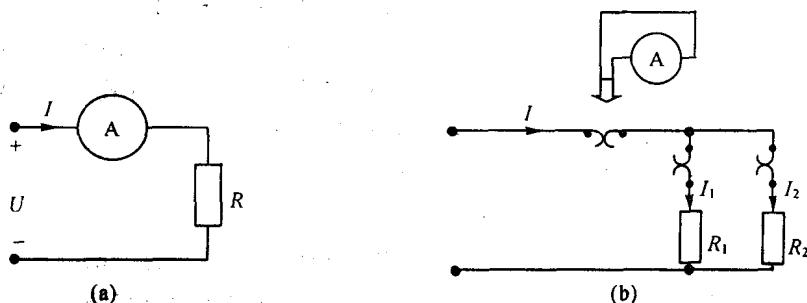


图 5 电流的测量

为了减少对被测电路原工作状态的影响,电流表的内阻一般做得很小,可忽略不计。

为了测量电路中多处的电流,可在需要的各支路中串接电流插孔,并在电流插孔两端跨接短路桥。当需测量该支路电流时,只需将电流表的测试棒插入该支路电流插孔两端,并将原插孔两端的短路桥拆去;当该支路电流测试完毕后,只需将短路桥插回原电流插孔两端,拆去电流表的测试棒即可。这样就可用一只电流表很方便地进行多支路电流的测量。如图 5(b) 所示。

无论是测量电压还是测量电流,量程的大小应在实验前进行估算,并根据估算值进行选择。量程的选择要恰当,量程选大了,读数偏小,引起的误差较大;量程选小了,仪器易过载而引

起“打针”，使仪器损坏。一般情况，指针式仪表的指针偏转角度大于 $1/2$ 满偏值时测量最准确，而数字式仪表测量值应尽可能靠近量程。对直流仪表，在使用时还应注意它的“+”“-”极性，切不可将指针式仪表的测试表棒极性接反，否则指针反偏，易造成仪表指针或游丝损坏。

(3) 功率的测量

首先要注意的是量程的选择。选择不同的电压和电流量限，功率表的读数要乘以不同的倍率 C ，即 $P = C \times$ 指示的刻度值，倍率 C 代表了每格刻度的瓦数值。对于 D-26W 型功率表，其倍率如表 1 所示。

表 1 D-26W 型功率表倍率值

倍率 C 电压量限 (V)	电流量限 (A)		
	75	150	300
0.5	0.25	0.5	1
1	0.5	1	2

在数值上，倍率 $C = \text{电压量限} \times \text{电流量限} / \text{满度格数}$ 。

其次，要注意功率表的正确接法：功率表的电流线圈接法与电流表相同，应与负载串联；电压线圈接法与电压表相同，应与负载并联。电流线圈标有 (*) 的端子，必须与电压线圈标有 (*) 的端子接于电路中的同一点，否则仪表指针将反偏。

关于功率表的接法请参阅实验八。

2. 示波器法

(1) 信号电压幅值的测量

用示波器观察和测量信号电压的优点是能直接显示被测信号的波形，因而不仅仅限于直流信号和正弦信号，对其他各种电信号都能方便地测出瞬时值。一般示波器可将被测信号的直流成分隔离出来，单独测量交流部分；频率特性从 DC 开始的示波器可同时显示直、交流成分混合的波形。用示波器测量电压的缺点是精度较低，误差一般约在 $5\% \sim 10\%$ 的范围。示波器测量信号电压幅值是采用比较法。在示波器荧光屏前都有一坐标刻度，其 X 轴表示时间，Y 轴表示信号的幅度，可先观察一已知幅度的直流或方波信号，如峰—峰值为 $5V$ 的方波，若它恰好在荧光屏刻度上占有 5 格位置，那么 Y 轴刻度的每一格就表示 $1V$ ，则此时示波器的偏转因数 V/DIV 旋钮的位置应打在“ $1V$ ”档。再对被测信号进行观察，(应保持 Y 轴放大和衰减不变)，即可由被测信号幅度所占刻度的格数得出。

(2) 频率(或周期)的测量

将被测信号波形显示在示波器荧光屏上，根据 X 轴刻度读出被测信号波形的周期所占格数，即可计算出该信号的频率 f 。例如：若 X 轴扫描因数 T/DIV 旋钮置于 $0.1\mu s$ (即 X 轴每格代表 $0.1\mu s$)，如果此时观察到一波形的周期在 X 轴上占有 6 格，则信号的周期为 $T = 0.1\mu s / \text{格} \times 6 \text{ 格} = 0.6\mu s$ ，则 $f = 1 / 0.6\mu s \approx 1.667\text{MHz}$ 。

(3) 相位差的测量

将同频率的信号电压 U_1, U_2 分别加到双踪示波器的 CH1, CH2 端，调节示波器相应通道的有关旋钮开关，并置垂直方式开关为“ALT”或“CHOP”状态，使在荧光屏上显示出稳定清晰的波形，并使两波形的基线与荧光屏的坐标横轴重合。然后读取信号波形一个周期在 X 轴上所占的格数 a 和两个波形经过零点的间隔在 X 轴上占有的格数 b ，用下式就可算出两波形的

相位差。

$$\phi = 2\pi \times \text{两信号零值间相位差的格数 } b / \text{信号一个周期的格数 } a$$

这种方法使用方便,但测量精度不高,一般误差达 $\pm 5^\circ$ 左右。

第二篇

实验的原则性指导

1000

1000

实验的原则性指导

一、电路分析实验的意义和任务

“电路分析基础”是应用电子技术、通信技术、计算机及自动化等涉电专业学生接触到的第一门电专业基础课,它与后继诸课程有着极其密切的联系,实为大学阶段学习和日后工作所需掌握的重要基础知识。实验课教学是一个必不可少的重要实践环节,它有其独立的教学体系,对培养学生的实际工作能力有着无法替代的作用。“电路分析实验”既作为“电路分析基础”课的补充,又可作为整个实验体系的先导,自然有其重要作用,所以我们把它作为一门独立开设的课程,并单独计算学分。

电路分析实验课的任务不只是一是要验证和巩固所学的理论知识,而且要在实验中进一步学习和提高,进行实验操作技能的训练,从而培养学生的实际工作能力。在实验课中还强调电路的基本测量方法,要求掌握基本仪器仪表的使用,并进行实验的规范化基础训练。要求学生充分重视实验课教学,以严肃、严格、严密的科学态度和工作作风做好每一次实验。为此,对实验的各个环节,如预习、操作和实验总结报告的书写等提出一些具体要求。

二、实验的要求

1. 实验预习

(1)细读实验指导书,弄懂实验所依据的基本原理。

(2)明确实验目的,了解实验方法与步骤。弄清要观察哪些现象、记录哪些数据、注意哪些问题。

(3)对实验指导书中给出的实验电路图,要仔细考虑测量中有什么要求,并估算各处电压、电流的数值,以便选择合适的仪器设备及合理的量程。

(4)使用实验仪器设备之前,要仔细阅读有关的附录说明,大致掌握其使用方法。

(5)写出预习报告。

2. 实验预习报告内容

实验预习报告应有以下内容:

(1)实验名称;

(2)实验目的;

(3)实验原理;

(4)实验仪器设备;

(5)必要的计算和一些预习思考题的回答;

(6)实验内容、步骤与线路;