

国家级实验教学示范中心
“电气工程基础实验中心”系列实验教材

电路分析实验教程

——电路实验·
综合设计与仿真

(第2版)

主 编 王 英

副主编 甘 萍 何朝晖

DIANLU FENXI
SHIYAN JIAOCHENG



西南交通大学出版社

国家级实验教学示范中心
“电气工程基础实验中心”系列实验教材

电路分析实验教程

——电路实验·
综合设计与仿真

(第2版)

主 编 王 英
副主编 甘 萍 何朝晖



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

全书共分五章,其内容包括“电工测量基础实验”、“电路理论基础实验”、“综合设计与仿真实验”、“常用仪器仪表说明书”、“电路仿真软件 MultiSim 使用简介”等。主要阐述电工测量基础知识、测试基本方法、电路基础实验、综合性实验、设计性实验、电路仿真实验、基本测试仪器仪表和电路仿真软件。由电路测量拓展到电子测量,由证明性的实验拓展到专题性问题研究型实验,由硬件仪器拓展到虚拟仪器,教材体系为实验条件、实验方法、实验内容创造了足够大的拓展空间。

本书可作为高等工科学校电子电气各专业技术基础“电路分析”课程的实验教材,可作为非电类各专业“电工技术基础”课程的实验参考教材;也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等同类专业的实验教材,还可作为工程技术人员实践中的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析实验教程:电路实验·综合设计与仿真/
王英主编. —2版. —成都:西南交通大学出版社,
2015.1

国家级实验教学示范中心“电气工程基础实验中心”
系列实验教材

ISBN 978-7-5643-3699-8

I. ①电… II. ①王… III. ①电路分析—实验—高等
学校—教材 IV. ①TM133-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第016915号

国家级实验教学示范中心
“电气工程基础实验中心”系列实验教材

电路分析实验教程

——电路实验·综合设计与仿真

(第2版)

主编 王英

责任编辑 李芳芳
特邀编辑 李娟 秦志慧
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路146号)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 成都蓉军广告印务有限责任公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm

印张 13.25

字数 331千

版次 2015年1月第2版

印次 2015年1月第3次

书号 ISBN 978-7-5643-3699-8

定价 29.80元

课件咨询电话:028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

第二版前言

随着科学技术的飞速发展，新一轮工业时代已经悄然到来，同时，教育教学的理念也在变革之中。工业的变革必然对教育提出更高更全面的要求，高等教育要创新，人才培养模式要创新，教材建设更要创新，这是时代赋予教育工作者的责任和历史使命。

“电路分析实验”是电子电气类专业学生的一门重要的技术基础实验课，课程设置于国家级电气工程基础实验教学示范中心。该中心注重学生工程意识的提高、工程实践能力的培养及理论与实践的结合。

本教材根据电子电气类专业培养目标，根据“电路分析”课程教学大纲要求，根据实验装置的不断改进，吸收多所院校相关的实验教材的精华而改编（即第2版）。

本教材分为3个实验教学模块，第1个模块为辅助实验教学模块，主要包括了“电工测量基础实验”、“常用仪器仪表说明书”、“电路仿真软件 MultiSim 使用简介”，在实验中掌握现代测试工具和技术；第2个模块为电路理论基础实验模块，主要包括了17个电路基础实验内容，在实验实施过程中，引入了电路基础实验装置，直接用电路电气器件进行实验，使电路理论在工程器件实验中得到完善，实验在理论分析中得到提高，实验向工程实际应用迈进；第3个模块为综合设计与仿真实验模块，共设置了9个实验内容，由电路测量拓展到电子测量，由证明性的实验拓展到专题性问题研究型实验，测量工具由硬件仪器拓展到虚拟仪器，实验操作转换为仿真实验平台。教材体系为实验条件、实验方法、实验内容创造了足够大的空间。学生的能力在实验过程中得到充分的培养，学生在实验中发展自我、发现自我、创造自我、认识自我。本教材力求在理论转化为生产力之间架起一座桥梁，培养一批勇于实践、勇于创新、勇于挑战自我的新一代科学研究者。

本教材可作为高等工科院校大学本科电子电气类专业基础“电路分析”课程的实验教材；可作为非电类各专业（如：机械类、材料类、工程力学类、测量类、机电一体化类、经贸管理类、运输类、建筑类、土木类等）“电工技术基础”课程的实验参考教材；也可作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等同类专业的实验教材；还可作为工程技术人员实践中的参考资料。

本教材由西南交通大学王英任主编，甘萍、何朝晖任副主编。其中，王英主编写本实验教材；甘萍参编第2、4章；何朝晖参编第2、4章；陈曾川参编第3章；赵舵、曹保江参编第5章。在教材编写过程中，参考了众多优秀教材，受益匪浅。另外，很多“电路分析”课程的前辈和同行也给予了大量的支持，在此编者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者 王英

2015年1月

第一版前言

随着科学技术的飞速发展，国家提出了到 2020 年使我国进入创新型国家行列的发展目标。创新型国家的建设，人才培养是根本，尤其是创新型人才的培养是关键，这无疑给高校提出了新的教育教学改革的目标，高等教育要创新，人才培养要创新，教材建设更要创新，这是时代赋予教育工作者的责任和历史使命。

“电路分析实验”是电子电气类专业学生的一门重要的技术基础实验课，它设置于电气工程基础实验教学中心。该中心于 2001 年建设为四川省高校实验教学示范中心；2003 年首批进入学校“323 实验室工程”建设；2005 年建设为四川省精品课程；2007 年建设为国家级实验教学示范中心。实践能力的提高是创新人才培养的基础，只有注重技术基础实践能力的培养，才能进一步注重人才的创新能力培养。

本教材是根据电子电气类专业“电路分析”课程和人才培养的要求，参考了多所院校相关的实验教材，吸收其精华而成。“电路分析实验教程”分为 3 个实验教学模块，第 1 个模块为辅助实验教学模块，主要包括了“电工测量基础”、“常用仪器仪表说明书”、“电路仿真软件 Multisim 使用简介”，在实验中掌握现代测试工具和技术；第 2 个模块为技术基础实验模块，主要包括了 17 个电路基础实验内容，使电路理论在实验中得到完善，实验在理论分析中得到提高；第 3 个模块为综合、设计、仿真实验模块，共设置了 9 个实验内容，由电路测量拓展到电子测量，由证明性的实验拓展到专题性问题研究型实验，测量工具由硬件仪器拓展到虚拟仪器，教材体系为实验条件、实验方法、实验内容创造了足够大的空间。学生的能力在实验过程中得到充分的提高，学生在实验中发现自我、认识自我、发展自我、创造自我。本教材力求在理论转化为生产力之间架起一座桥梁，培养一批勇于实践、勇于创新、勇于挑战自我的新一代科学研究者。

本教材可作为高等工科院校大学本科电子电气类专业“电路分析”基础课程的实验教材；作为非电类专业（如机械类、材料类、工程力学类、测量类、机电一体化类、经贸管理类、运输类、建筑类、土木类等）“电工技术基础”课程的实验参考教材；作为职业大学、成人教育大学、电视大学和网络教育等同类专业的实验教材，还可以作为工程技术人员实践中的参考资料。

本教材由西南交通大学王英主编，甘萍、何朝晖为副主编。其中，王英编写第一、二章，参编第三、四、五章；甘萍参编第一、五章，第二章实验一至实验八；何朝晖参编第三、四章，第二章实验九至实验十七；陈曾川编写第三章；曾欣荣编写第四章；何圣仲编写第五章。另参加本实验教材编写工作的还有宋小青、谢美俊、洪川、曹保江、张艳丽等。在教材编写过程中，参考了众多优秀教材，受益匪浅。另外，很多“电路分析”课程的前辈和同行也给予了大量的支持，编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2008 年 8 月

目 录

第一章 电工测量基础实验概论	1
第一节 电工、电子测量基础知识概论	1
第二节 电路实验须知	7
第三节 实验规则	8
第四节 实验故障检查与处理	9
第五节 实验报告	10
第六节 实验安全用电规则	11
第七节 电阻电路的基本测量	12
第二章 电路理论基础实验	13
实验一 元器件的伏安特性测试	13
实验二 受控电源模块电路的特性测量	18
实验三 戴维南定理	27
实验四 叠加定理	32
实验五 特勒根定理及互易定理的研究	37
实验六 交流电路参数的测量	40
实验七 功率因数的提高	45
实验八 电路谐振实验	49
实验九 互感元件的研究	54
实验十 变压器特性的研究	57
实验十一 三相交流电路	61
实验十二 周期性非正弦波的谐波分解	65
实验十三 周期性非正弦电流电路	69
实验十四 示波器的使用	72
实验十五 一阶电路的响应及接入角对响应的影响	80
实验十六 二阶电路的响应	84
实验十七 双口网络参数的测量	87
第三章 综合设计与仿真实验	92
实验一 仪器内阻对测量的影响	93
实验二 回转器的特性测试	94
实验三 负阻抗变换器	96
实验四 稳压电路的工作原理研究	98
实验五 直流电路分析	99

实验六	电路的功率因数提高分析	100
实验七	$0^\circ \sim 180^\circ$ 移相器的设计	101
实验八	电路的时域分析	102
实验九	电路的频率特性分析	103
第四章	常用仪器仪表说明书	105
第一节	MF47 型万用电表使用说明书	105
第二节	T23-MA、A、V 毫安表、安培表、伏特表使用说明书	109
第三节	交直流功率表、D39-W 型低功率因数瓦特表使用说明书	111
第四节	DF2170B 交流电压表使用说明书	114
第五节	LPS200 可调式直流稳压、稳流电源使用说明书	116
第六节	DF1647 函数发生器/数字频率计使用说明书	118
第七节	DF4326 型 20 MHz 双踪四迹示波器使用说明书	124
第八节	数字式电参数测量仪使用说明书	135
第九节	EE2040 电路基础实验装置使用说明书	138
第五章	电路仿真软件 Multisim 使用简介	143
第一节	Multisim 仿真软件	143
第二节	Multisim 的基础知识	144
第三节	Multisim 的基本操作	158
第四节	Multisim 的元件库	181
第五节	虚拟仿真仪器	190
参考文献		205

第一章 电工测量基础实验

实验目的：掌握电工测量的基础知识以及测量误差分析；了解实验项目、实验环境和实验相关的装置；掌握实验操作规则、实验故障处理分析方法；了解实验报告撰写的格式、内容及要求；了解实验中安全用电规则；掌握万用表的基本操作方法。

第一节 电工、电子测量基础知识概论

一、电工、电子测量

测量是为确定被测对象的量值进行的实验过程。电工测量是以电工技术理论为依据，借助于电工仪表，测量电路中的电压、电流、电功率及电能等物理量。电子测量则是以电子技术理论为依据，借助电子测量设备，测量有关电子学的量值（如电信号的特性、电子电路性能指标、电子器件的特性曲线及参数）。电工、电子测量内容通常包含以下几个方面：

1. 能量的测量

能量的测量主要有：电压、电流、电功率、电能等。

2. 元件参数的测量

不同的元件，其测量的参数和测量方式有所不同。一般有电阻、电容、电感、阻抗、功率因数、品质因数、电压变比、电子器件的性能指标等。

3. 电信号特性的测量

电信号主要特性有：频率、相位、失真度、幅频特性、相频特性等。

4. 电子电路性能的测量

电子电路主要测量的性能指标有：放大倍数、通频带、灵敏度、衰减度等。

5. 非电量的测量

非电量的测量有很多，常见的测量有温度、压力、速度等。

上述各项测量参数中，电压、频率、阻抗、相位等是基本电参数，它们在其他参数测量的基础。如电功率测量，可通过电压、阻抗的测量实现；如放大器的增益测量，可通过输入、

输出端电压的测量实现；如电子电路的传输特性测量，可通过调节输入电量（电压或电流），测量对应的输出电量（电压或电流），从而得到电子电路的传输特性曲线。

二、测量误差

在测量过程中，由于受到测量设备、测量方法、测量经验等多种因素的影响，使测量的结果与被测量的真实数值之间产生差别，这种差别称为测量误差。

1. 测量标准

不同的测量，对其测量误差的大小要求标准是不同的。目前，测量标准有三种分类：

1) 层级分类

按照标准化层级标准作用和有效的范围，将标准划分为不同层次和级别的标准。一般有：国际标准、区域标准、国家标准、行业标准、地方标准、企业标准等。

(1) 国际标准。由国际标准化或标准组织制定，并公开发布的标准是国际标准。如国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）批准、发布的标准是目前主要的国际标准。

(2) 区域标准。由某一区域标准化或标准组织制定，并公开发布的标准是区域标准。如欧洲标准化委员会（CEN）发布的欧洲标准（EN）就是区域标准。

(3) 国家标准。由国家标准团体制定，并公开发布的标准是国家标准。如 GB，ANSI，BS 是中、美、英等国的国家标准代号。

(4) 行业标准。由行业标准化团体或机构制定，并公开发布的标准是行业标准。这是在行业内统一实施的标准，又称为团体标准。

(5) 地方标准。由一个国家的地方部门制定，并公开发布的标准是地方标准。

(6) 企业标准。由企业事业单位自行制定，并公开发布的标准是企业标准。企业标准，在有的国家又称为公司标准。

2) 对象分类

按照标准对象的名称归属分类，将标准划分为产品标准、工程建设标准、工艺标准、环境保护标准、数据标准等。

3) 性质分类

按照标准的属性分类，将标准划分为基础标准、技术标准、管理标准、工作标准等。

测量标准分类方法较多，如根据标准实施的强制程度，将标准分为强制标准、暂行标准、推荐标准。

2. 测量常用术语

(1) 真值。被测量的参数量本身所具有的真实值称为真值。真值是一个理想的概念，一般是不知道的。

(2) 实际值。通常将精度较高的标准仪器仪表所测量的值作为“真值”，但它并非是真的“真值”，所以把它称为实际值。

(3) 标称值。测量器件、设备上所标出的数值称为标称值。如标准电阻、电容等器件上标出的参数值。

(4) 示值。测量仪器所指示出的测量数据称为示值。示值是指测量结果的数值。

(5) 精度。精度是指测量仪器的读数或测量结果与被测量真值一致的程度。精度高，说明测量误差小；精度低，说明测量误差大。因此，精度是测量仪表的重要性能指标，同时也是评定测量结果的最主要最基本的指标。

精度还可以用精密度、正确度、准确度三个指标来表征。

(1) 精密度。表示仪表在同一测量条件下对同一被测量值进行多次测量时，所得到的测量结果的分散程度。它说明仪表指示值的分散性。

(2) 正确度。说明仪表指示偏离真实值的程度。

(3) 准确度。精密度和正确度的综合反映。当用于测量结果时，表示测量结果与被测量真值之间的一致程度；当用于测量仪器时，则表示测量仪器的示值与真值之间的一致程度。准确度是一种定性的概念。

3. 测量误差的计算

测量误差通常用绝对误差和相对误差来表示。

1) 绝对误差

测量示值 X 与被测量真值 X_0 之间的差值称为绝对误差，用 ΔX 表示，即

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

在实际测量中，常将精度高一级的标准仪器仪表测量的示值作为 X_0 。对同一被测量值而言，测量的绝对误差越小，测量就越准确；对于不同的被测量值，则测量的绝对误差不能反映测量的准确程度。因此，为了弥补绝对误差的不足，提出了相对误差的概念。

2) 相对误差

相对误差能够反映被测量值的测量准确程度。

在实际应用中，相对误差可分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 实际相对误差是测量的绝对误差 ΔX 与被测量的真值 X_0 之比，用符号 γ_0 表示，即

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

(2) 示值相对误差是测量的绝对误差 ΔX 与仪器仪表的示值 X 之比，用符号 γ_x 表示，即

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad (3)$$

(3) 满度相对误差是测量仪器仪表各量程内最大绝对误差 ΔX_m 与测量仪器仪表满度值（量程上限值） X_m 之比，用符号 γ_m 表示，即

$$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X_m} \times 100\% \quad (4)$$

满度相对误差也叫满度误差、引用误差。

我国电工仪表的准确度等级 S 就是按满度误差 γ_m 分级的，按 γ_m 大小依次划分成 0.1, 0.2,

0.5, 1.0, 1.5, 2.5 及 5.0 七级。例如, 某电压表为 0.2 级, 即表明它的准确度等级为 0.2 级, 它的满度相对误差不超过 0.2%, 即 $|\gamma_m| \leq 0.2\%$ (或 $\gamma_m = \pm 0.2\%$)。

当已知仪表的准确度等级 γ_m 和量程 X_m 时, 可得出仪表量程内绝对误差的最大值为

$$\Delta X_m = \gamma_m \cdot X_m \quad (5)$$

当已知仪表的准确度等级 γ_m 、量程 X_m 和被测量值 X 时, 可计算出被测量的最大相对误差为

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% \quad (6)$$

例 1 用量限为 100 V, 准确度为 0.5 级的电压表, 分别测量出 80 V, 50 V, 20 V 电压值, 试问测量结果的最大相对误差是否相同?

解 仪表量程内绝对误差的最大值为

$$\Delta X_m = \gamma_m \cdot X_m = \pm 0.5\% \times 100 \text{ V} = \pm 0.5 \text{ V}$$

测量 80 V 值的最大相对误差为

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.5 \text{ V}}{80 \text{ V}} \times 100\% = \pm 0.625\%$$

测量 50 V 值的最大相对误差为

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.5 \text{ V}}{50 \text{ V}} \times 100\% = \pm 1\%$$

测量 20 V 值的最大相对误差为

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.5 \text{ V}}{20 \text{ V}} \times 100\% = \pm 2.5\%$$

由上例可知, 测量结果的准确度不仅与仪表的准确度等级有关, 而且还与被测量值的大小有关。当仪表的准确度等级给定时, 所选仪表的量限越接近被测量值, 则测量结果的误差越小。但有些电路, 尤其是电子线路, 其等效电阻有时比万用表低电压量程挡的总电阻大得多, 测量时选择较高的电压量程反而比较准确。

在万用表的面板上都标明了交、直流电压和电流以及欧姆等各测量挡的准确度等级。如 MF47 型万用表直流电流挡的准确度等级为 2.5。

例 2 现有两块电压表, 一块电压表量程为 50 V、1.5 级, 另一块电压表量程为 15 V、2.5 级, 若要测量一个约为 12 V 的电压, 试问选用哪一块电压表测量合适?

解 (1) 用量程为 50 V、1.5 级电压表测量。

仪表量程内绝对误差的最大值为

$$\Delta X_m = \gamma_m \cdot X_m = \pm 1.5\% \times 50 \text{ V} = \pm 0.75 \text{ V}$$

测量 12 V 值的最大相对误差为

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.75 \text{ V}}{12 \text{ V}} \times 100\% = \pm 6.25\%$$

(2) 用量程为 15 V、2.5 级电压表测量。

仪表量程内绝对误差的最大值为

$$\Delta X_m = \gamma_m \cdot X_m = \pm 2.5\% \times 15 \text{ V} = \pm 0.375 \text{ V}$$

测量 12 V 值的最大相对误差为

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.375 \text{ V}}{12 \text{ V}} \times 100\% = \pm 3.125\%$$

所以应选用量程为 15 V、2.5 级的电压表。

4. 产生测量误差的原因

测量误差原因是多方面的，测量数据的误差是一个综合反映。一般主要由以下几方面引起误差。

(1) 仪器仪表误差。即由测量仪器仪表准确度引起的误差。

(2) 人员误差。即由测量者的分辨能力、实验操作习惯等原因引起的误差。例如，测量者在对模拟仪器的标尺进行读数据时，由于观测数据的角度不正确，会出现视差；测量者在仪器仪表到达稳定测量值之前，就进行测量数据的读取，会产生动态误差。

(3) 测量方法误差。即由测量方式、测量仪器仪表选择、测量接线粗细长短等引起的误差。

(4) 环境误差。即由实验所处的环境引起的误差。如温度、湿度、电磁场、噪声等引起的误差；仪器仪表长时间使用，其性能偏离标准而未校准所引起的误差。

三、测量仪器

测量仪器是将被测量转换成可以直接显示或读取数据信息的设备，它包括各类指示仪器、比较式仪器、记录仪器、信号源和传感器等。一般，利用电子技术测量各种待测量的测量仪器称为电子测量仪器，而利用电工技术测量各种待测量的测量仪器称为电工测量仪器。

1. 电工测量仪器

电工测量仪器的基本结构是电磁机械式的，借助指针来显示测量结果。通常分为两类：电测量指示仪表类和比较仪器类。

1) 电测量指示仪表

电测量指示仪表，如果按仪表的工作原理可分为：电磁系、磁电系、电动系、感应系和整流系；如果按仪表测量对象可分为：电压表、电流表、功率表、功率因数表、兆欧表、电度表等。

2) 电测量比较表

电测量比较表主要有交直流电桥测量仪、交直流补偿式测量仪等。

2. 电子测量仪器

通常将电子测量仪器的发展分为四个阶段：模拟仪器（测量数据采取指针式显示，如万

用表、晶体管电压表等)、数字化仪器(测量数据采取数字式输出显示,如数字万用表、数字频率计、数字式相位计等)、智能仪器(能对测量数据进行一定的数据处理,内置有微处理器)和虚拟仪器(是检测技术与计算机技术和通信技术有机结合的产物)。

随着电子技术的飞速发展,电子测量仪器的种类及性能与日俱增。目前,通用电子测量仪器若按其功能可分为以下几类:

- (1) 电平测量仪器。如电压表、电流表、功率表等。
- (2) 元件参数测量仪器。如 R 、 L 、 C 参数测试仪,晶体管或集成电路参数测试仪等。
- (3) 信号发生器。如函数信号发生器、音频信号发生器、低频和低频信号发生器等。
- (4) 信号分析仪器。如频谱分析仪、谐波分析仪和动态信号分析仪等。
- (5) 频率、时间、相位测量仪器。如频率计、相位计和波长计等。
- (6) 波形特性测量仪器。如各类示波器。
- (7) 模拟电路特性测试仪器。如网络特性分析仪、频率特性测试仪、噪声系数测试仪等。
- (8) 数字电路特性测试仪器。如逻辑分析仪。

四、测量方法

1. 按测量手段分类

按测量手段可分为直接测量、间接测量和组合测量三种。

1) 直接测量

直接用测量仪器仪表测量被测量的数据,这种直接测试数据的方法称为直接测量。如用电流表测量电流、用电压表测量电压等。直接测量方法在工程测量中被广泛地应用。

2) 间接测量

被测量的数据是通过测量其他数据后换算得到的,不是直接测量所得,这种间接测试数据的方法称为间接测量。如电阻的测量,通过测量电压、电流的量值,根据欧姆定律计算出电阻的大小。间接测量在科研、实验研究室及工程测量中被广泛地应用。

3) 组合测量

被测量的数据需通过多个测量参数及函数方程组联立求解得到,这种测量方法称为组合测量。组合测量与间接测量不同的是,组合测量是在不同的测量条件下,进行多次测量得到的测量参数。这种测量方法比较复杂,一般应用于科学实验。

2. 按测量方式分类

按测量方式可分为直读法和比较法两种。

3. 按测量性质分类

按测量性质可分为时域测量、频域测量、数字域测量和随机测量四种。

- (1) 时域测量即测量与时间有函数关系的量。如用示波器观测随时间变化的量。

(2) 频域测量即测量与频率有函数关系的量。如用频谱分析仪分析信号的频谱。

(3) 数字域测量即测量数字电路的逻辑状态。如用逻辑分析仪等测量数字电路的逻辑状态。

(4) 随机测量即主要测量各种噪声、干扰信号等随机量。

第二节 电路实验须知

一、实验目的和要求

实验是电路分析课程重要的实践性教学环节。实验的目的不仅要巩固和加深理解所学的知识,更重要的是通过实验,了解电子仪器仪表及测量操作方式方法,掌握电压、电流、功率和功率因数等电量技术指标参数的基本测量操作技能,学会运用所学的电路理论知识分析和判断实验电路故障产生的原因,用最有效的方式方法排除实验故障,或采用更好的测量方法减少实验故障发生率,减小实验中的测量误差,树立工程实践理念和严谨的科学作风。

学生应在实验过程中积极思考,从实际的操作与测量中得到启发,提高自身的创新能力和综合素质。

二、实验操作守则

(1) 正确使用常用的电工仪表、电工设备及电子仪器。

① 了解设备的名称、用途、铭牌规格、额定值等的使用说明。

② 重点掌握设备使用的极限值。

使用仪器仪表等设备前,一定要了解并注意设备最大允许的输出值,避免设备损坏。例如,调压器、稳压电源等,有最大输出电流技术指标限制;信号源有最大输出功率和最大信号电流技术指标限制。

在测量实验数据前,一定要了解并注意测量仪器仪表的最大允许输入量,避免仪表损坏。例如,电流表、电压表、功率表等,要注意最大允许测量的电流值、电压值;万用表、示波器、数字频率计等,要注意输入端所规定的最大允许输入值,不得超过,否则会损坏设备。

多量程仪表要正确使用量程,千万不能用不同的量程测量数据,因为仪表的不同测量量程的测量原理不同。例如,万用表的欧姆挡不能测量电压参数,电流挡不能测量电压参数。

③ 了解设备面板上各功能旋钮、输入和输出端的作用。使用前调节到正确位置,禁止无意识地乱拨动旋钮。

④ 在使用仪器仪表前,利用所掌握的测量知识和相关的仪器仪表性能技术指标,判断和检验实验设备是否正常。有自校功能的设备,可先通过自校信号对设备进行检查。例如,示波器有自校正弦波和方波;频率计有自校标准频率。

(2) 按实验电路图正确接线。

① 合理安排仪器、仪表、元件等实验设备的位置；合理选择接线的长短和粗细。做到实验线路清楚，容易检查和处理故障，操作方便，测量数据易于读取。

② 接线要牢固可靠，减少测量接线误差。

③ 实验电路接线技巧：一般实验电路接线时，先连接测量回路，再连接测量并联支路。对于测量电路主回路电流大的实验，用较粗导线连接主回路；测量电路电流小的则用较细导线连接。

(3) 正确读取实验数据，观察实验现象，测绘波形曲线。

① 合理读取数据点。应通过预操作，掌握被测曲线的变化趋势和找出特殊点；凡是变化急剧的地方测量数据的采集点较多，变化缓慢处测量数据的采集点较少。在实验中，测量数据的采集点要合适，能真实反映客观情况即可。

② 准确读取电表示值。为了减少测量误差，首先是合理选择测量仪器仪表的量程。实验前估算（或用最高量程进行估测）被测量数据，选择被测量数据大于仪器仪表 $2/3$ 满量程的测量设备。在同一量程中，指针偏转越大越准确，即测量误差越小。

(4) 实验数据。实验测量完成后，进行实验数据的整理、分析及误差计算，独立写出实验数据充分、论点成立、条理清楚、文字整洁的实验报告。

(5) 资料查询。学习查阅电工手册、电子元器件性能指标、实验电路设计的相关资料。查阅常用的仪器仪表、实验装置等的具体特性及操作基本常识。

三、实验前的准备工作

(1) 阅读实验指导书，了解实验内容，明确实验目的，理解相关的实验原理。

(2) 必须写出实验预习报告。

(3) 查阅资料，掌握实验中使用的仪器仪表的操作过程及测量方法。

(4) 对实验数据进行分析和估算，确定测量仪器仪表的量程。

(5) 画出实验测试中所需要的测量数据记录表格等。

第三节 实验规则

为了在实验中培养学生严谨的科学作风，确保人身和设备的安全，顺利完成实验任务，特制定以下实验规则：

1. 接拆线路

严禁在实验进行中带电接线、拆线或改接线路。

2. 教师检查

测量线路接好后，要认真复查，确信无误后，经指导老师检查同意，方可接通电源进行实验。

3. 操作专注

通电操作时，必须全神贯注观察电路、仪器仪表的变化，如有异常，应立即断电，检查故障原因。如实验过程中发生事故，立即关断电源，保持现场，报告指导老师。

4. 数据测量

测量中应注意正确读出测量数据。实验完毕，先由本人检查实验数据，分析判断测量数据是否正确，若有问题，分析问题的原因并解决。如测量数据无误，则将实验测量数据提交实验指导老师检查，经老师认可后方可拆实验线路，并将实验器材、仪器仪表、实验导线等实验器件整理好。

5. 实验设备

室内仪器设备不准任意搬动调换，非本次实验所用的仪器设备，未经教师允许不得动用。不会使用的仪器仪表、设备等，不得贸然使用。若损坏仪器设备，必须立即报告指导老师，并作书面检查，责任事故要酌情赔偿。

6. 实验环境

实验操作中要严肃认真，保持安静、整洁的实验学习环境。

第四节 实验故障检查与处理

在实验过程中，往往会出现这样那样的问题，发生各种类型的故障是在所难免的。从另一个角度看，发生实验故障并非是件坏事。相反，正因为这些实验故障的存在，使我们看似简单的实验更具有思考性和挑战性；或者说实验故障的发生，使技术基础实验更有意义，更具有它的生命力。所以，如果在实验学习中没有发生任何问题，自始至终实验进行得非常顺利，则实验只起到了对理论知识和操作技能的验证。实验中的问题引起对理论的反思，同时又拓展我们对理论的理解，从理论到实际，又由实际回到理论中。因此对待实验过程，应辩证地去看。

一、故障原因

电路实验中故障的诊断与排除，比电子实验中所发生的故障要容易处理。但不论何种实验故障，如不及时排除，都会直接影响实验测量数据的正确性，甚至会对实验仪器、仪表造成损坏。

电路实验中发生故障的原因大致有以下几种：

1) 仪器设备

- (1) 测量数据超出了仪器的正常工作范围，或操作出错。
- (2) 测试线损坏或接触不良。

(3) 仪器仪表、实验装置、器件等发生故障。

2) 操作出错

(1) 实验线路连接有错, 造成实验电路开路或短路故障, 或连接成错误的测试实验系统。

(2) 未严格按照操作规程使用仪器仪表, 在使用仪器仪表测量时的方式方法或数据读取换算发生错误。

(3) 实验线路接触松动, 产生很大的接触误差或测量数据不稳定, 影响测量数据的准确性。

(4) 实验线路接触不良或导线损坏, 造成实验电路开路。

(5) 在同一个实验电路中有多点接地, 或随意改变、增加接地位置。

虽然说在实验中出现错误是常有的, 但如果粗心大意、操作不规范、测量无目的等, 则有可能引发实验事故, 造成严重后果, 如损坏仪器仪表、烧毁器件或整个实验装置。因此, 在实验过程中, 除了要学习掌握实验技能、测量方法, 不断积累经验, 提高判断问题、解决问题的能力外, 培养良好的科学实验习惯, 提高实验素质也是非常重要的。

二、故障处理

电路实验中一般采用断电检查处理故障, 操作顺序如下:

(1) 切断电源, 检查仪器仪表、实验装置、器件是否发生故障或使用的测量方式方法等是否正确。

(2) 检查线路连接是否正确, 线路接触是否松动。

(3) 用万用表的欧姆挡测量实验导线是否损坏。

(4) 根据故障现象, 用所学的理论知识, 判断故障发生的原因, 确定故障发生处。

(5) 通电后, 从电源始端开始依次测量电压(或用示波器观测), 综合分析判断故障发生处, 缩小故障发生范围。

第五节 实验报告

一律用电路分析课程规定的实验报告纸认真书写实验报告。实验报告的内容一般为:

1) 实验目的

说明通过实验需要掌握的操作技能、测量方法、仪器仪表使用原理和方法、安全用电知识及相关的理论知识等。

2) 实验器件

实验中所使用的主要仪器、仪表、设备的型号规格及相关的实验装置和器件。

3) 实验电路原理

分析实验电路的工作原理, 画出实验电路图, 写出估算测量值的表达式, 写出实验步骤。