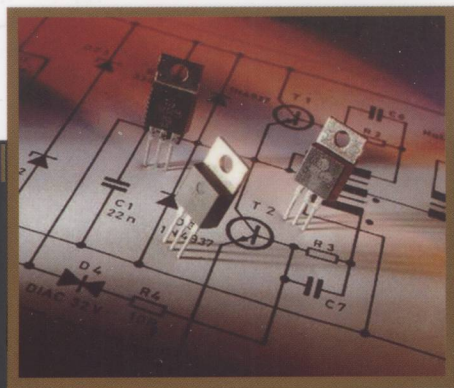


高等院校电气信息类规划教材

电路·信号与系统 实验教程

王硕禾 高静巧 薛强 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等院校电气信息类规划教材

电路·信号与系统实验教程

王硕禾 高静巧 薛 强 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 提 要

本书共分3章:第1章是实验课程基础知识,介绍实验课程的目的、意义、要求和学习方法,以及误差分析和实验结果的处理。第2章是电路实验,内容包括直流电路的基础实验训练、叠加原理与戴维宁定理、特勒根定理与互易定理、一阶电路的方波响应、交流电路的测量与功率因数的提高、RLC串联谐振电路、三相电路的基本测量、无源双口网络、回转器等基础实验、移相器的设计与测试、负阻抗变换器的制作与应用、运算放大器与受控源设计、一端口网络等效参数测量与最大功率传输电路设计等综合设计性实验。此外,本章还给出了基于LabVIEW、MATLAB软件的电路仿真试验,供读者参考使用。第3章是信号与系统实验,内容包括非正弦信号的谐波分析、电信号的分解与合成、周期信号的频谱分析、线性系统的频率特性、无源滤波器与有源滤波器、二阶网络传递函数实现的各种滤波功能、采样定理等。

本书适合作为高等院校电气信息类所属各个学科电路、电路分析、电路基础、信号与系统等专业基础课程实验部分的教材,也可供其他相关专业的学生自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路·信号与系统实验教程/王硕禾,高静巧,薛强
编著. —北京:中国铁道出版社,2009.3
ISBN 978-7-113-09837-7

I. 电... II. ①王...②高...③薛... III. ①电路—实验—
高等学校—教材②信号系统—实验—高等学校—教材
IV. TM13-33 TN911.6-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第038258号

书 名: 电路·信号与系统实验教程

作 者: 王硕禾 高静巧 薛 强 编著

策划编辑: 秦绪好 杨 勇

编辑部电话: (010)63583215

责任编辑: 秦绪好 鲍 闻

封面制作: 李 路

封面设计: 付 巍

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码:100054)

印 刷: 河北省遵化市胶印厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 6.25 字数: 105千

版 次: 2009年4月第1版 2009年4月第1次印刷

印 数: 5000册

书 号: ISBN 978-7-113-09837-7/TN. 171

定 价: 12.00元

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售
凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

电路、信号与系统是电类相关各专业两门重要的专业基础课程,具有理论应用和技术实践相结合的特点。其中,实验是教学实践中进行基本技能训练的重要环节,是培养学生运用理论知识处理实际问题,验证、消化和巩固基本理论,获得实验技能的重要手段。本书是编者在开展面向 21 世纪“电路”、“信号与系统”等课程教学内容和课程体系改革的研究基础上,结合多年的实践教学经验编写而成。本书将“电路”、“信号与系统”两门课程的实验内容相结合,配合计算机辅助计算、设计仿真软件,设计了新颖的实验方法和实验内容,对传统实验课程的教学内容和实验方法进行了较大的改进。

本书的特点是内容新颖而丰富,既有传统的经典实验,又有反映最新技术发展的设计性实验;既有验证性实验,又有综合性实验;既有硬件实验,又有软件仿真实验。在实验的同时注重培养学生的动手能力并使学生掌握主流仿真工具软件。

本书共分 3 章:第 1 章是实验课程基础知识,介绍实验课程的目的、意义、要求和学习方法,误差分析和实验结果的处理。第 2 章是电路实验部分,内容包括直流电路的基础实验训练、叠加原理与戴维宁定理、特勒根定理与互易定理、一阶电路的方波响应、交流电路的测量与功率因数的提高、RLC 串联谐振电路、三相电路的基本测量、无源双口网络、回转器等基础实验,注重对学生基本实验技能的训练,旨在通过实验使学生掌握常用仪器的基本原理、使用方法,培养学生严肃认真的科学态度,踏实细致的实验作风。另外,还设置了一些综合性设计实验,包括移相器的设计与测试、负阻抗变换器的制作与应用、运算放大器与受控源设计、一端口网络等效参数测量与最大功率传输电路设计等。这些内容给授课教师和学生提供了很大的选择余地和自我发挥的空间,目的在于提高学生运用基础理论分析问题、解决问题的能力,并培养学生的创新能力。由于计算机虚拟仿真实验仿真的仪器、元器件种类多且功能强大,可充实和完善硬件实验。适当开设一些仿真实验项目,不但可以缓解高校实践经费不足的困难,而且为学生更全面地应用计算机软件进行仿真分析奠定了基础。本书给出了基于 LabVIEW、MATLAB 软件的电路仿真试

验,供读者参考使用。第3章是信号与系统实验,内容包括非正弦信号的谐波分析、电信号的分解与合成、周期信号的频谱分析、线性系统的频率特性、无源滤波器与有源滤波器、二阶网络传递函数实现的各种滤波功能、抽样定理等。信号与系统课程理论性较强,开设相关的实验有助于学生对基本理论和基本概念加深理解,使抽象的概念和理论形象化、具体化,对增强学生兴趣与实现辅助教学有很大好处。本书将提供相关仿真程序,上述程序仅用于教学。

本书由王硕禾编写第1章以及第2章的实验一~实验三、实验五~实验十;高静巧编写第3章;薛强编写第2章的实验四、实验十一~实验十四。王硕禾最终对全书进行了统稿;蔡承才参与了部分仿真程序的开发。本书在编写过程中得到了编者所在教研室、实验室各位老师大力支持和帮助,在此致以深切的谢意。

限于作者学识和水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,欢迎使用本书的师生及其他读者批评指正。

编 者
2009年1月

第 1 章 实验课程基础知识	1
1-1 实验的目的和要求	1
1-2 实验的正确顺序	2
1-3 实验设计的基本知识	4
1-4 数据处理和误差分析	9
第 2 章 电路课程实验内容	13
实验一 直流电路基础实验训练	13
实验二 叠加原理与戴维南定理	17
实验三 特勒根定理与互易定理	20
实验四 基于 LabVIEW 软件的谐波分析电路仿真试验	23
实验五 一阶电路方波响应电路仿真与设计实验	30
实验六 测量交流电路与提高功率因数	34
实验七 三相电路实验	37
实验八 RLC 串联谐振电路	40
实验九 无源双口网络	43
实验十 回转器	46
实验十一 负阻抗变换器的设计与应用	49
实验十二 一端口网络等效参数测量与最大功率传输电路设计	52
实验十三 运算放大器和受控源电路设计实验	53
实验十四 移相器的设计与测试	58
第 3 章 信号与系统实验	61
实验一 非正弦周期信号的谐波分解	61
实验二 电信号的分解与合成	65
实验三 模拟滤波器实验	67
实验四 信号的采样与恢复	71
实验五 信号的产生与时域运算	75
实验六 信号频谱分析	81
实验七 系统时域和频域特性的仿真实验	84

第 1 章 实验课程基础知识

1.1 实验的目的和要求

进入 21 世纪后,随着现代科学技术的高速发展,对于工程技术人员的综合素质要求越来越高,不仅要有扎实的理论知识,更要具备良好的实验技能和综合解决工程实际问题的能力。这些能力的培养都离不开实验课程的基本训练。

对于工程技术人员来说,如果没有一定的理论知识及良好的科学试验能力,不仅不能做出创造性成果,也难以胜任本职工作。实验正是培养工程技术人员综合素质的一个重要环节。

电路、信号与系统是从 19 世纪发展起来的电学相关专业的重要基础理论课程,它的发展和提高离不开实验技术的发展,因此实验是课程学习必不可少的一个重要环节,是理论学习的一个重要组成部分。它是培养电气、电子、信息等专业工程技术人员实验技能的重要一环。

本课程实验的内容涉及基本理论与实践中的常见现象,通过实验将理论与实践结合,巩固所学知识,培养有关电路连接、电工测量、信号分析处理及故障排除等实验技巧,掌握常用电工仪器、仪表的基本原理和使用、选择方法,学习数据的采集与处理的相关知识,并掌握观察、分析现象的方法。

总而言之,实验课的主要目的就是对学生进行基本技能的训练,提高学生用基本理论分析及解决实际问题的能力;同时,在实验过程中培养学生严肃认真的科学态度和细致踏实的实验作风,为今后的专业实验、生产实践与科学研究打下坚实的基础,使学生在“基本实践理论、基本实践知识和基本实践技能”三方面得到较为系统的学习和训练,逐步培养他们独立进行科学研究的技能和经验,从而使他们善于观察、发现、思考和解决问题。所有这些都是培养电气信息类技术人员必要的基本训练内容。

1. 课程实验的目的和意义

- ① 增加学生的感性认识,巩固和扩展理论知识,加深对基本理论的理解和掌

握，培养学生的实际动手能力和工作能力。

② 学习并掌握实验的基本知识，进行实验基本技能的训练，掌握常用电工仪器设备的选用方法及测试技术。

③ 养成良好的实验习惯及安全用电的操作习惯，培养严肃的工作态度、严格的工作纪律及严谨的工作作风。

④ 应用所掌握的理论知识对实验结果进行正确的数据处理和图解分析，培养学生动手解决实际问题的能力。

⑤ 培养学生利用现代计算机技术进行仿真分析实际问题的能力。

2. 本课程的基本要求

① 正确使用电压表、电流表、功率表和万用表等常用的一些电工设备；初步会用一些电子仪器、仪表及电子设备，如示波器、直流稳压电源、晶体管毫伏表等。

② 掌握信号波形的观察方法，电阻器、电容器、电感器参数以及元件电压、电流特性的测量及功率的测量。

③ 能正确设计、连接实验电路，认真观察实验现象，正确读取数据，并具有一定的分析判断能力。

④ 能初步分析和排除实验故障，培养学生实事求是的科学态度。

⑤ 能对实验数据进行正确的处理和误差分析，写出符合规格的实验报告，正确绘制实验曲线，做出正确的分析和解释。

⑥ 初步掌握一些常用的计算机辅助分析、仿真软件的使用方法。

1.2 实验的正确顺序

1. 实验前的预习

课前预习是实验课非常重要的一个环节，实验课程效果的好坏与实验预习准备情况密切相关。学生必须事先认真阅读实验指导书，认真思考后，完成预习报告，设计好实验的步骤，做到对实验的每一个步骤心中有数，实验时才能做到有条不紊，主动地观察实验现象，发现并分析问题，取得最佳实验效果。否则，不仅完不成相关的实验任务，达不到实验的目的与要求，甚至发生实验设备和人身伤害的事故，造成国家和个人的人身财产损失。因此，课前预习是实验课一个非常重要的环节。课程的预习重点如下：

① 明确实验目的、任务、方法与要求，估算实验结果。

- ② 复习有关理论，看懂实验原理、方法和步骤。
- ③ 查阅资料，了解所需的实验元器件、仪器设备及使用方法。
- ④ 设计、熟悉实验电路和实验的过程。
- ⑤ 对整个实验过程要总体考虑，预先有一个整体的概念。

2. 实验中的准备与接线

在接线之前应了解使用的仪器、设备、刻度、各旋钮的位置及作用，确定电源开关位置、所用仪表的量程和极性。应根据实验线路合理布置仪表及实验器材，以便接线、查对，便于操作和读数。

首先应按照实验指导书给出的参考电路图一一对应元器件，认真进行设计和布局接线。复杂的电路应先串联后并联，同时考虑元器件、仪器仪表的同名端、极性和公共参考点等应与电路设定的方位一致，最后连接电源。

接线时，避免在同一插孔的连线过于集中，减少因牵（碰）一线而引起接线松动、接触不良或导线脱落。改接线路时，应力求改动量最小，避免拆光重接。插接导线时要有耐心，避免生拉硬拽，损坏设备。

3. 实验中的通电操作及读数

线路接好后，需要仔细检查后方可接通电源。通电操作时必须集中注意力观察电路的变化（如果有异常，如声响、发臭、冒烟等现象）应立即断开电源，查明原因。接通电源后应将设备简单操作一下，观察实验现象，判断结果是否合理。若不合理，则线路有误，需要立即切断电源重新仔细检查线路并修正；若结果合理，则可正式操作。读数时要姿势正确、思想集中，防止误读。数据要记录在事先设计、准备好的表格中，凌乱和无序的记录常常是造成错误和失败的原因。为获得正确的数据，在填写实验报告时若发现原始数据不合理，不得任意涂改，应当分析问题所在。当需要把数据绘成曲线时，读数的多少和分布情况，应以足够描绘一条光滑而完整的曲线为原则。读数的分布可随曲线的曲率而异，曲率较大处应多读几点。

4. 实验结束后的操作

完成全部实验内容后，不要先急于拆除线路，应先检查实验数据有无遗漏或不合理的情况，经指导教师同意方可拆除线路，整理桌面，摆放好各种实验器材、用具，此时方可离开实验室。相关实验设备应按照实验室要求恢复其正确的挡位设置。

5. 实验报告

实验报告是实验结果的总结和反映，实验价值在很大程度上取决于报告质量的高低。其内容主要包含以下几方面：

- ① 实验目的和内容。

② 实验中所用仪器设备的名称、规格和编号。

③ 实验步骤，简单叙述所设计的实验的步骤和电路设计方法，列出计算公式和计算举例。

④ 将实验最终的数据记入事先设计好的表格中，并记入经计算得到的数据，根据实验测得或计算得到的数据绘制曲线，以便从曲线中能直观地看到各物理量之间的关系或演化趋势。绘制曲线时应注意：要用坐标纸绘制，写明实验和曲线名称；以自变量为横坐标，以函数为纵坐标，并注明单位；实验点的位置在坐标纸上用不同符号表示出来；连接这些实验点时必须保证曲线平滑，不能机械地要求每个实验点都在曲线上。

⑤ 误差分析与讨论。对实验结果的讨论，包括进行误差分析和数据处理，以及就实验结果得出结论并提出自己的见解，其是实验报告的核心部分。通过讨论与总结应明确：本实验是否已达到实验项目中所提出的各项要求；实验结论如何；实验解决了哪些问题，还有哪些问题没有解决；实验中发现了哪些新问题，是如何处理的；实验产生误差的原因有哪些；实验后有何收获和体会，等等。

⑥ 思考题。对照试验过程中所遇到的问题 and 解决方法，以相关理论为指导，认真回答课后思考题。

⑦ 实验体会。结合实验情况，谈一谈个人对实验的体会并对实验的某些方面提出建议。

6. 安全操作问题

实验过程中应随时注意人身与设备的安全，必须特别注意以下几点：

① 当电源接通进行正常实验时，不可用手触及带电部分，改装或拆除电路时必须先切断电源。

② 使用仪器仪表和设备时，必须了解其性能和使用方法。切勿违反操作规程乱拨、乱调旋钮，尤其注意不得超过仪表的量程和设备的额定值。

③ 如果实验中用到调压器、电位器以及可变电阻器等设备，在电源接通前，应将其调节位置放在使电路中的电流最小的地方，然后接通电源，再逐步调节电压、电流，使其缓慢上升，一旦发现异常，应立即切断电源。

④ 在实验过程中，同组同学要互相帮助，互相监护。

1.3 实验设计的基本知识

实验课程的中心目的是尽量由学生自己完成实验的线路设计和调试，培养学生独立分析问题的能力。在实验过程中学生应该依据所学习的理论知识，借助实验箱

所提供的电阻、电容、电感、集成电路、恒流源、恒压源以及电流测试插座、波形测试点和导线等元器件自己设计、连接电路，完成实验要求。因此，学生必须了解并掌握电路实验设计的基本知识。具体内容介绍如下：

1. 正确进行实验仪器的选用

(1) 仪器设备的选用

首先，指根据测量的性质及被测对象的数值特点选择仪表设备。例如，根据测量是直流还是交流选择直流或交流的仪表、设备。测量交流时，应区分是正弦交流还是非正弦交流。如果是正弦交流，采用任何一种交流仪表（电流表或电压表）均可测量。如果是非正弦交流电流（电压），则须区别有效值、均绝值（平均绝对值）或最大值。有效值可用电磁系或电动系电流表（电压表）测量；均绝值用整流系仪表测量；最大值用峰值表测量。测量交流时，还应考虑被测量的频率要求。一般常见的交流仪表（电磁系、电动系和感应系）频率范围较窄，当被测量的频率较高时应选择频率范围与其相适应的仪表。

其次，选择仪表设备的准确度等级。仪表准确度等级分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 共 7 级。其中，0.1 ~ 0.2 级常用做标准表或做精确测量；0.5 ~ 1.5 级用于实验室一般测量；1.5 ~ 5.0 级仪表用做安装仪表或用于工业测量。

再次，选择仪表的量程及设备的额定值。对于仪表应合理选择量程再进行测量。量程选择过小易“打表”造成设备损坏，量程选择过大会加大测量的误差。一般工程测量中量程选择应为估计被测量最大值的 1.2 ~ 1.5 倍，仪表表针指示值尽可能不低于满偏读数的 1/3。对于功率表特别注意被测电压和电流都不允许超过表的量程。对于示波器应注意衰减器的挡位，最大信号电压不能超过测试端的最大允许值。如果不知道被测量大小，则按先大（粗测）后小（细测）的原则选择仪表的挡位。最后，必须注意选择仪表的内阻。实验中应根据被测对象的阻抗大小选择合适的仪表内阻。在电阻串联电路中，当须测量电阻 R 两端电压时，如果电压表内阻 R_V 与被测对象的阻值相差不大，则电压表的接入将严重改变被测电路原有的工作状态，造成测量结果误差很大，甚至使测量结果失去意义。

例如：假设电源电压 $U_s = 180\text{V}$ ，负载 R 和内阻 R_0 等值均为 $20\text{k}\Omega$ ，电压表量程为 100V ，在电压表未接入前

$$U_R = \frac{U_s \cdot R}{R_0 + R} = 90\text{V}$$

接入电压表后，相当于在 R 两端并联上一个电阻 R_V ，并联后的等效电阻为

$$\frac{R_V \cdot R}{R_V + R} = 10\text{k}\Omega$$

这时,不论电压表的准确度有多高,电阻 R 两端的电压总是 $U_s/3$,即60V与原电路中 R 两端实际电压90V相差很大。显然,这样的测量没有意义。如果改用内阻 $R_v = 2\ 000\ \text{k}\Omega$,量程仍为100V的电压表进行测量,测得电阻两端电压为89.55V,此值与电阻两端的实际电压已非常接近。由此可见,电压表的内阻越大对测量结果影响越小。一般工程测量中,当电压表内阻 $R_v \geq 100R$ 时(R 为与电压表并联的被测对象的总的等效电阻),就可以忽略电压表内阻的影响。

电流表在测量时与被测电路串联,因此要求电流表内阻 R_A 越小越好。在一般工程测量中,当电流表内阻 $R_A \leq \frac{1}{100} \cdot R$ 时(R 为与电流表串联的总等效电阻),就可以忽略电流表内阻的影响。

对于直流稳压电源、稳流电源等设备一般认为前者内阻等于零,后者内阻趋向无穷大(断路),即作为理想电源看待。但对信号发生器等其他电源设备必须考虑其内阻的影响。在使用有内阻的电源设备时,负载如须获得最大功率,必须考虑阻抗匹配。

(2) 仪器设备的使用程序

在使用或操作仪器设备之前,首先了解仪器设备的表面标记、铭牌参数及各端钮的功能。再查看连线、仪器设备的状态是否满足实验要求。然后,扳动仪器设备的开关、旋钮至实验要求的状态,如选好实验仪表的量程,把电源设备的可调旋钮或手柄调至安全位置等。而后,对仪器设备进行测试、试用。电压表接万用表的两个表笔进行电压的试测。所谓试测指先将一支表笔接触在一个待测点上,另一支表笔瞬间触碰另一个待测点,看表针指示是否正常。如表针反偏,说明极性不对;如表针变化急剧,说明量程选择不当。对于电流的测量,通常为了一表多用而利用插座代替电流表的位置,当用接有电流表的插头插入插座进行电流测量时,仍可利用插座内弹簧片的弹力,通过插头的“试插”来判断极性 & 量程的正确性。

接好的实验线路,实验前先在电路中加上微小的实验电压(或电流),观察整个电路中各仪器设备的工作是否正常,发现异常要及时做出处理。

按照上述程序使用仪器设备,既能避免误用仪器设备,又能防止误操作。即使在操作中出现了预想不到的问题,也能使仪器设备不被损坏。

如果发现实验设备和仪器有问题,要及时通知实验室的指导老师,不要私自对设备进行拆装处理。

2. 合理布局与正确接线

(1) 合理布局

根据实验任务和仪器设备条件,合理安排各仪器设备和实验装置的位置,布线时避免不必要的交叉和设备跨越,防止出现影响操作、读数及产生不安全因素的情

况。电源设备靠近电源开关，仪表严禁放置歪斜或重叠。总之，力求做到安全方便、整齐清晰，既使实验操作顺手，又易于观察和读数。

(2) 正确接线

接线时根据电路的特点，选择合理的接线顺序。正确接线的程序是：按图摆台，先串后并；先分后合，先主后从。首先，根据设计的原理图，找出所需要的仪器、仪表与设备，将其放在实验台的相应位置。而后，按照设计电路，先连接串联回路中各个元器件，然后连接并联支路的元器件。注意：复杂的电路要根据其特点分成几个部分进行连接，通常是先主回路后辅助回路。

连接电路还应注意，导线长短要适中，实验箱提供几种不同规格长度的连接线，要合理选择应用。连接线太长则缠绕不清，不便检查和操作；连接线太短就会牵扯仪器，易脱线或接触不良造成事故。

3. 正确操作和读测数据

(1) 正确的操作方法

正确操作的方法应该是先连线，后合电源开关，再观察整个线路上的所有设备、仪器。如发现有不正常现象（光、热、声、味、烟及表针指示异常等）应立即断开电源，查找原因。若电路正常，先粗略确定一些关键数据，做到心中有数，再进行正式测量，读取实验结果。

(2) 正确读测数据的方法

正确读测数据要求做到只读取实测的实际偏转格数，而不直接读取含有单位的读数值。为了减小视值误差，读数时用单眼；为了符合有效数字要求，读数时要根据仪表最小刻度单位或准确等级确定有效数字位数。即当仪表指示器指示在两条刻度（分度）线之间时，必须估读一位数字（欠准数字）。

4. 实验故障的分析和处理

排除实验故障是培养电气技术人员实际工作能力的的一个重要方面，它不但需要一定的理论基础，而且需要较熟练的实验技能，应在实验中不断总结经验，努力提高个人素质。

(1) 电路实验中产生故障的常见原因

- ① 电路连接点接触不良，导线内部断线。
- ② 元器件、导线裸露部分相碰造成短路。
- ③ 电路连线错误，测试条件不对。
- ④ 元器件参数不合适，实验装置、元器件使用条件不符。
- ⑤ 仪器设备或元器件损坏。

(2) 故障处理的一般步骤

① 出现故障立即切断电源，避免故障扩大。

② 检查电路元器件的外观，查找有无外观异常的元器件。

③ 根据故障现象，判断故障性质。故障可分为两大类：一类属破坏性故障，可使仪器设备、元器件等造成损坏，其现象是烟、味、声、热等。另一类属非破坏性故障，其现象是无电压、无电流，电压或电流值不正常及波形异常等。

④ 根据故障现象性质，确定故障的检查方法。对破坏性故障只能采用断电检查的方法，可用欧姆表检查线路的通断、短路或元器件阻值等。对非破坏性故障，既可采用断电检查的方法，也可采用通电检查或两者结合的方法。通电检查主要是用电压表检查电路有关部分的电压是否正常。欧姆表法与电压表法是检查故障的两种常用方法，实验中通常将两者配合使用。

5. 实验设计的基本方法

实验设计是指给定某个实验题目和要求，确定实验方案，正确选择所需的实验仪器和设备，自拟实验线路进行实验，并解决实验中遇到的各种问题。实验设计的内容包括以下几个方面：

(1) 实验方案的确定

根据实验课题、任务、要求等选择可行的实验方案，既要考虑可靠的理论依据，又要考虑有无实现的可能。实验方案拟定是否正确是实验成败的关键。如果忽视正确的测量方法，一味追求高精度仪表、仪器，反而得不到预期的实验目的。因此，需要将理论知识和实际经验两者融合在一起，才有可能做出好的实验方案。

(2) 确定实验的步骤

实验步骤的确定应分以下几个顺序进行：

① 实验原理的研究。包括了解与实验题目有关的理论知识，选择实验电路、实验方法及实验方式等。

② 仪器设备与元器件的选择。包括电路参数的计算，仪器设备和元器件的型号、规格、数量的选择等。

③ 实验条件的确定。包括电源电压，信号频率的选择，测试范围的确定等。

(3) 实验进行中常见问题及处理方法

① 得不到预期的实验结果。先检查电路、仪器设备、实验方法、实验条件等，再检查实验方案，然后修订实验方案。

② 实验结果与理论不一致。仔细观察现象，分析数据并找出原因。

③ 误差偏大。分析产生误差的原因，找出减小误差的方法。

(4) 实验结果的分析

实验结果分析应紧扣实验题目和要求。它包括实验结果的理论解释、实验误差分析、实验方案的评价与改进意见、解决实验问题的体会等。

实验设计不但能巩固和扩展理论知识，而且能提高实验技能，丰富实践经验。它是实验能力和独立工作的综合锻炼。

1.4 数据处理和误差分析

电工测量的基本任务就是借助各种仪器仪表，对电压、电流、电功率等各种物理量进行测量，以便掌握电器设备的运行状态。利用电工仪表进行测量，具有快速、连续、自动检测和远距离测量等一系列优点。在工农业生产中，产品质量的检测、生产过程的监视与自动化等方面都与电工仪表与测量技术紧密相关。

通常，将指示仪表简称为仪表，将校量仪器简称为仪器，而把整个用于电工测量的仪器、仪表统称为电工仪表。在利用电工仪表进行电路参数的测量过程中，测量方法的正确与否直接关系到测量结果的精度和正确性。

1. 测量方法

测量是指通过实验的方法，把被测量与同类单位进行比较的过程。测量是实验进行过程中非常重要的一个环节，测量方法的正确与否直接关系到测量数据的准确性。

(1) 测量方法的分类

① 直接测量。用测量仪器仪表直接测得被测量的数值。例如，用电流表测电流，用电桥测电阻等。

② 间接测量。先测出与被测量有关的几个中间量，然后通过计算求得被测量，如用伏安法测量电阻。

③ 组合测量。在直接测量和间接测量所得到的实验数据基础上，通过联立求解各函数关系方程得到被测量。例如，电阻温度系数 α 和 β 的测量。电阻值 (R_t) 与温度 (t) 之间的关系为

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2]$$

式中 t 为电阻的温度， R_{20} 即 20°C 时的电阻值， α 、 β 是待求的电阻温度系数。若分别测量 20°C 和 t_1 、 t_2 时的电阻值为 R_{20} 和 R_{t_1} 、 R_{t_2} ，联立求解下列方程

$$R_{t_1} = R_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2]$$

$$R_{t_2} = R_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2]$$

即可得到电阻的温度系数 α 和 β 。

(2) 测量的选择

在实验中选择测量方法通常考虑以下要求：

①足够的灵敏度；②适当的准确度；③对被测电路的状态的影响要尽量小；④测量简单可靠；⑤测量前的准备工作和测量后的数据处理尽可能简便；⑥对被测量性质作深入了解（如参数是否线性、数量级如何、对波形和频率有无要求、对测量过程的稳定性有无要求等）。

2. 误差的简单分析

测量时，无论采用什么方法、何种方式，都会不可避免地受到测量工具、方法、环境等因素的影响，产生测量误差。所谓测量误差，是指测量结果与被测量的真值（或实际值）之间的差异。

(1) 误差分析

按误差来源分：工具误差、使用误差、人为误差、环境误差及方法误差。

按误差性质分：系统误差、随机误差、疏失误差。

按表示方法分：绝对误差、相对误差、引用误差。

(2) 误差的表示方法

①绝对误差：被测量的给定值 A_x 与真值 A_0 （或实际值）之间的差值称为绝对误差用 Δ 表示。

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

式中 A_x 指测量时被测量对象的读测值。在检定仪表时，它为被检刻度线指示值；在检定度量器（如标准电阻）时，它为被检度量器的标称值，即铭牌上的标明值；在近似计算中，它为所取的近似值。式中真值 A_0 是指在规定的条件下，被测量所具有的真实值大小。实际测量中，通常用更高一级的标准仪表所测的值来代替。

②相对误差：绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 比值的百分数称为相对误差。用 γ 表示为：

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中被测量的真值 A_0 较难求得，但被测量的给出值 A_x 与真值 A_0 相差不大，常用 A_x 代替 A_0 ，相对误差近似可表示为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-3)$$

式(1-3)说明：仪表指示值越大，其测量相对误差越小。

【例】A表在测量实际值为100V的电压时，示值为99V，B表在测量实际值为

1 000V的电压时,示值为1 002V,求两表的测量误差。

【解】设A、B两表的测量绝对误差分别为 Δ_A 、 Δ_B ,相对误差分别为 γ_A 、 γ_B ,则

$$\Delta_A = (99 - 100) \text{V} = -1 \text{V}$$

$$\Delta_B = (1002 - 100) \text{V} = 2 \text{V}$$

$$\gamma_A = \frac{-1}{100} \times 100\% = -1\% \quad \gamma_B = \frac{2}{1000} \times 100\% = 0.2\%$$

相对误差表明误差对测量结果的相对影响,反映了实际情况。

③ 引用误差:绝对误差 Δ 与仪表上量程 A_m 比值的百分数称为引用误差 γ_n ,表示为

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

由于仪表标尺各处的绝对误差不同,因此标尺各处的引用误差也不同,若用全标尺上绝对误差最大值 Δ_m 与仪表量限 A_m 比值的百分数表示最大引用误差,则有

$$\gamma_{n,m} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-5)$$

最大引用误差是仪表在正常工作条件下不应超过的最大相对误差。仪表在正常工作条件下,在标尺工作部分的所有刻度上,允许的最大引用误差称为仪表的准确度,用符号K表示为

$$\pm K\% = \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

国家标准 GB 776—1976《电测指示仪表通用技术条件》规定,仪表准确度分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5和5.0级。

3. 工程测量中最大误差的估算

由于测量过程中,测量误差是不可避免的。因此,在测量工作结束之后,不仅要确定被测量的数值,而且还要确定测量结果中所包含的误差大小,以评估测量结果的可信度。

在工程测量中,随机误差与系统误差相比往往很小,除精密测量之外,可以略去不计。通常只考虑系统误差的影响。

(1) 直接测量中误差的估算

系统误差主要来源是工具误差和方法误差。工具误差又分为基本误差和附加误差。

① 基本误差的估算:仪表在正常条件(规定温度、压力、放置方式等)下使用,由于结构和工艺等原因产生的误差称为基本误差。它是仪表本身固有的。当用真值仪表测量时,已知仪表准确度等级K,最大量限为 A_m ,可能出现的最大绝对误差为