

第1章 电路、电子实验与实训基础知识

1.1 电工、电子测量基础知识简述

1.1.1 电工、电子测量的基本概念

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。电工测量是以电工技术理论为依据,借助电工仪表,测量电路中的电压、电流、电功率及电能等物理量的实验过程。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、电子测量的内容通常包含以下几个方面:

1. 能量的测量

如电压、电流、电功率、电能等。

2. 元件参数的测量

如电阻、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

如电信号的频率、相位、失真度、幅频特性、相频特性等。

4. 电子电路性能的测量

如放大倍数、通频带、灵敏度、衰减度等。

5. 非电量的测量

如温度、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,它们是其他参数测量的基础。如电功率的测量,可通过电压、阻抗的测量实现;放大器增益的测量,可通过输入、输出端电压的测量实现。

1.1.2 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, 可能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

不同的测量项目, 对其测量误差大小要求的标准是不同的。目前, 测量标准的分类方式有三种。

1) 按层级分类

按照标准化层级标准作用和有效范围的不同, 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。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。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。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。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。

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

2) 按对象分类

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) 按性质分类

按照标准的性质分类, 将标准划分为基础标准、技术标准、管理标准、工作标准等。

测量标准的分类方法较多, 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, 一般是不可知的。

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”，但它并非是真正的“真值”，所以将其称为实际值。

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：它是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. 测量误差常用术语

测量误差通常用绝对误差和相对误差来表示。

1) 绝对误差

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

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1.1)$$

在实际测量中，精度越高的仪器测量值的绝对误差越小。

2) 相对误差

相对误差能够反映被测量的测量准确程度。

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：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。

$$\gamma_0 = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\% \quad (1.2)$$

(2) 示值相对误差: 测量的绝对误差 ΔX 与仪器、仪表示值 X 之比, 用符号 γ_x 表示。

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad (1.3)$$

(3) 满度相对误差: 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。

$$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X_m} \times 100\% \quad (1.4)$$

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共七级。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 $\gamma_m = \pm 0.2\%$)。

【例1】 用量限为100V、准确度为0.5级的电压表, 分别测量出80V、50V、20V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:

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

测量80V值的最大相对误差:

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

测量50V值的最大相对误差:

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

测量20V值的最大相对误差:

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

由例1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, 测量结果的误差就越小。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挡等各测量挡的准确度等级。

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

【解】

(1) 用量程为50V、准确度为1.5级的电压表测量, 则仪表量程内绝对误差的最大值:

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

测量 12 V 值的最大相对误差:

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

(2) 用量程为 15 V、准确度为 2.5 级的电压表测量, 则仪表量程内绝对误差的最大值:

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

测量 12 V 值的最大相对误差:

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

所以, 应选用量程为 15 V、准确度为 2.5 级的电压表。

4. 测量误差来源

产生测量误差的原因是多方面的, 测量数据的误差是一个综合反映, 主要由以下几方面引起误差:

(1) 仪器仪表误差: 由测量仪器、仪表准确度引起的误差。

(2) 人员误差: 由于测量者的分辨能力、实验实训操作习惯等原因引起的误差。如测量者在读取模拟仪器的标尺数据时, 会出现视差; 测量者在仪器仪表到达稳定值之前读数据, 会产生动态误差。

(3) 测量方法误差: 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: 由实验实训所处的环境引起的误差。如温度、湿度、电磁场、噪声等均会引起误差; 又如, 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。

1.1.3 测量仪器

测量仪器是将被测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, 将利用电子技术测量各种待测量的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: 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; 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) 电测量比较仪器: 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（测量数据采集指针式显示，如万用表、晶体管电压表等）、数字化仪器（测量数据采集数字式输出显示，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，内置微处理器）和虚拟仪器（检测技术、计算机技术和通信技术有机结合的产物）。

1.2 测量方法简介

1.2.1 电工技术的测量方法

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的方法称为直接测量。如用电流表测量电流、电压表测量电压等。直接测量方法在工程测量中被广泛应用。

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的不同之处是，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。组合测量方法比较复杂，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：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：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：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：主要测量各种噪声、干扰信号等随机量。

1.2.2 模拟电子技术的测量方法简介

1. 电压的测量方法

下面介绍两种测量电压的方法，即直接测量法和示波器测量法（又称比较测量法）。

1) 直接测量法

直接测量法是一种直接用电压表测量电压的方法。

在测量电压时，注意考虑电表的输入阻抗（或电阻）、仪表的量程、频率范围等。在仪表量程的选择上，尽量使被测电压的指示值（即电压值的大小）大于仪表满刻度量程的 $2/3$ ，减少仪表所产生的测量误差。

2) 示波器测量法

示波器测量法是用示波器同时测量并显示被测电压与已知电压，通过对被测电压信号与已知电压信号的比较，计算出被测电压值。所以，示波器测量法又称为比较测量法。

2. 阻抗的测量方法

在模拟电子电路中，阻抗参数值是描述系统的传输及变换的一个重要技术指标。特别是低频条件下模拟线性放大电路的输入电阻和输出电阻，是反映放大电路特性的重要参数。

根据电路理论中的欧姆定律，可得：

直流电路中电阻为

$$R = \frac{U}{I}$$

正弦交流电路中阻抗为

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + jX$$

即欧姆定律是测量阻抗的理论基础。

1.2.3 数字电子技术的测量方法简介

数字电子电路的实验过程是对基本逻辑器件功能特性了解掌握的过程，是检验、修正设计方案的实践过程，是理论知识应用的过程，是电子工程师们必须掌握的基本技能，而实验中的测试方法、分析技能则是数字电子电路正常工作的基本保证。

数字电路技术测量方法主要分为集成电路器件功能测试和数字逻辑电路的逻辑功能测试。

1. 数字集成电路器件的功能测试方法

在实验之前, 应对所选用的数字集成器件进行器件的逻辑功能检测, 避免在实验过程中因器件原因发生电路故障, 增加故障分析判断的难度。常用的有如下三种检测器件功能的方法:

1) 仪器测试法

仪器测试法是通过一些数字集成电路测试仪, 对数字集成电路器件功能进行检测的方法。

2) 实验法

根据已知数字集成电路器件的功能, 设计一个能直接反映其功能的测试电路, 通过实验电路是否能完成其器件的逻辑功能, 判断器件的功能是否正常。

3) 替代法

先用一个已知功能正常的同型号器件连接一个数字应用电路, 再用被测器件去替代这个正常工作的相同型号器件, 从而判断器件的功能是否正常。

2. 数字电路的分析测试方法

数字电路的测试方法有多种, 用不同的仪器仪表, 其测试方法略有不同。但基本上都是对测试数字电路的逻辑结果加以分析, 从而得出数字电路的逻辑关系和时序波形图。在实验中, 常用的测试仪器主要是示波器、逻辑分析仪等。

1.3 电工、电子技术实验与实训须知

实验与实训是电工、电子技术基础课程重要的实践性教学环节。其目的不仅是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、仪表及测量操作的方式方法, 掌握电工电子基本测量的操作技能, 学会运用所学知识分析和判断故障产生的原因, 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小故障发生率和测量误差, 树立工程实践理念和严谨的科学作风。在实验中提高创新能力和培养综合素质。

1.3.1 实验与实训的基本要求

电工、电子实验与实训一般可分为三个阶段, 如图 1.3.1 所示。

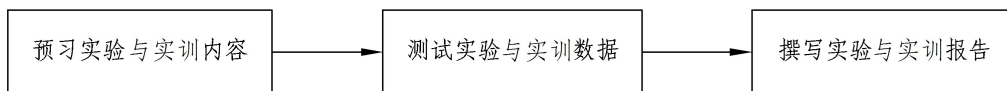


图 1.3.1 实验与实训流程图

预习阶段：预习实验与实训相关内容，写出预习报告。预习报告是顺利完成实验与实训的保障。

实验操作与数据测试阶段：在做好实验实训前的预习基础上，进入实训室，摆放实训仪器、仪表和设备装置，按要求接线，调节参数，测试操作，记录数据等。实验实训过程和实验结果关系到实验报告的深度和正确性。

实验报告的撰写阶段：实验报告的好坏，直接反映出实验实训的操作技能、测试能力、数据分析与理论研究等科学实践的水平。

1. 预习报告

“预习报告”是实验实训前对每一个学生提出的要求。实验实训前每一位学生应反复向自己提出以下几个问题。即

- (1) 我进实验实训室做什么项目？
- (2) 我做实验实训的目的是什么？
- (3) 实验实训项目的基本原理、基本电路图和基本内容要求是什么？
- (4) 怎么才能准确无误地实施操作完成实验实训项目？
- (5) 实验实训数据怎么测试？怎样判断测试数据的正确性？
- (6) 实验实训实施过程中要用到哪些电子仪器、仪表？如何操作使用这些仪器、仪表？
- (7) 实验实训中有哪些安全注意事项？

同时，阅读理论教材和实验实训教材，完成预习报告，即实验实训目的、原理、仪器仪表、操作步骤、电路图表、注意事项等，掌握实验实训项目操作技能和参数的测试方法。

2. 实验与实训过程

“实训室”不仅仅是一个实验与实训课程学习的平台，它还是科学与研究的发源地。从简单的“证明”“验证”性项目开始，告诉大家，实验实训是怎样进行的，参数是如何测量出来的，仪器、仪表的作用是什么，看似简单的理论是如何在实验中得以证明。而实验证明的过程又教会我们更多的科学研究方式方法，所以，实训室是所有学生提高实践能力、展现科学研究水平的地方。

电气电子类实验实训涉及人身安全和国家财产的安全，因此实验实训进行中必须保证安全第一，遵守实验实训操作守则是做实验实训者必备的素质。在实验实训过程中，要求必须做到：

(1) 准时进入实验实训室，在规定的时间内完成任务；遵守实验实训室的规章制度；实验实训项目完成后整理好器件和仪器、仪表等。

(2) 掌握仪器、仪表、装置等技术指标、参数和使用方法。

① 了解设备的名称、用途、铭牌规格、额定值及面板旋钮情况。

② 重点关注设备使用的极限值。

注意测量仪表、仪器最大允许输入量。例如：电流表、电压表和功率表要注意最大电流值或电压值；万用表、示波器、数字频率计等的输入端都规定有允许的最大输入值，不得超过，否则会损坏设备。多量程仪表要正确使用量程，千万不能用欧姆挡测量电压，或用电流挡测量电压。

③ 掌握设备面板上各旋钮的作用，操作中禁止无意识地乱拨动旋钮。

④ 使用设备前，首先判断设备是否正常或完好。有自校功能的可通过自校信号对设备进行检查。例如：示波器有自校的正弦波或方波；频率计有自校标准频率。

(3) 严格按照科学的操作方法进行实验实训，按实验实训电路图进行正确接线和布线。

① 合理安排仪表元件的位置，接线该长则长，该短则短，达到接线清楚，容易检查，操作方便的目的。

② 接线规律：先接电路图中的回路，再接并联支路。电流大的用粗导线，电流小的用细导线。

(4) 实验实训中出现故障时，首先应用理论知识，根据故障现象，耐心分析原因，并能通过自己的努力或在老师的指导下独立排除故障。

(5) 用正确的方法读取实验实训数据，细心观察实验实训现象，准确测绘波形曲线参数，做到原始数据记录完整和准确。

3. 实验实训报告

撰写实验实训报告是整个项目中的一个重要学习环节，是每一个工程技术人员必须经历的一项基本训练，一份优秀的报告能反映出实验者的科学实践水平，是项目成功的最好答卷。因此，下面分别对验证性和设计综合性两类实验实训报告的撰写提出不同的要求。

1) 验证性实验实训报告的撰写要求

(1) 报告必须用规定的报告纸撰写。

(2) 验证报告中所有图形都用同一颜色的笔绘制，绘制电路图的线条要笔直工整，曲线图必须画在坐标纸上。

(3) 报告字迹清楚、工整、整洁，整个报告版面布局合理。

(4) 报告内容齐全。即包括实验实训目的、原理、仪器仪表和器件、操作步骤、原始测量数据的整理分析、故障分析、项目实施结果分析、项目内容的讨论及心得体会等。

2) 设计综合性实验与实训报告的撰写要求

(1) 报告必须用规定的报告纸撰写。

(2) 设计任务、要求和技术指标；实验实训条件应包括仪器、仪表、软件、实验装置和元器件的型号规格。

(3) 实验实训电路的设计原理、方案中应包含：设计原理的论述，设计流程图、原理图、电路图等的阐述说明，可以以单元模块电路的形式展开讨论各功能电路。

(4) 写出实验实训步骤，数据分析、波形和现象，论述操作中的故障原因及解决的办法或方案。