



中等职业教育示范专业规划教材（电子信息类）

电子测量与产品检验

（项目教程）

管莉 主编



中等职业教育示范专业规划教材（电子信息类）

电子测量与产品检验

（项目教程）

主 编 管 莉
参 编 李承浩 杨林春
主 审 朱 鸣



机械工业出版社

本书主要介绍了电子测量基本方法及电子产品检验基础知识。通过相关知识点的学习和技能实训,使学生掌握常用电参量测量方法、常用测量仪器组成原理及使用方法;了解质量管理体系的组成,电子产品检验的概况和电子产品检验工艺;帮助学生初步建立质量保证意识,熟悉电子整机产品检验工艺流程和检验测试工作方法,培养其严格按照规章和规范操作的工作作风。

本书由九个项目组成,主要内容包括:电子测量预备知识、信号的产生、信号波形的显示及测量、频率与时间测量、电压测量、频域测量、数据域测试、电子产品检验预备知识及电子产品检验实训。测量部分的实操和实训均包含在每一个项目中,可操作性和实践指导性强。

本书可作为中等职业学校电子与信息类专业教材,也可作为培训教材,用于电子整机产品制造企业调试和检验岗位及产品质量管理部门管理人员培训。

本书配有免费电子教案,凡选用本书作为教材的学校均可来电索取,咨询电话:010-88379195。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量与产品检验:项目教程/管莉主编. —北京:机械工业出版社, 2008.9

中等职业教育示范专业规划教材·电子信息类

ISBN 978-7-111-24458-5

I. 电… II. 管… III. ① 电子测量-专业学校-教材 ② 电子产品-质量检验-专业学校-教材 IV. TM93 TN06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 116160 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:高倩 责任校对:李秋荣

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(北京樱花印刷厂装订)

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·10 印张·243 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-24458-5

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前言

“电子测量与产品检验”是一门综合性、实践性较强的课程。教学内容应突出实用性、新颖性和可操作性,着重培养学生的生产实践能力、综合应用能力和岗位适应能力。为此,本书在内容编排上设置了大量的实操和实训内容,帮助学生完成从理论知识学习到生产工作实践的思想转变,使学生具备电子测量知识的综合应用能力和电子产品检验的基本知识与技能,使其成为能够在电子整机生产、服务、技术和管理第一线工作的高素质劳动者和中初级专门人才。

本书的特色如下:

1. 任务引领,激发兴趣。每个项目分为六个大的环节:任务设置——任务分析——相关知识链接——技能训练指导——实训项目演练——拓展学习。

2. 淡化理论,强调应用。每个项目的理论知识都是围绕实训任务展开,知识讲解中大量采用表格和图例,生动直观,浅显易懂。

3. 针对岗位,设计项目。文中采用了大量的真实企业规范案例。实训环节充分结合当前职业院校现状和电子企业实际岗位培训要求,选择通用电子测量仪器和学生能够理解其原理的电子整机产品作为检验对象。

4. 内容独立,便于裁剪。在检验项目选择上,充分考虑了教学条件下电子产品检验的技术条件和要求,设计检验工艺规程及方法,以便进行实际测试。各学校可根据自己的教学条件选择其中的检验产品和项目,并且可直接把已制定的检验质量审核程序、操作指导书、作业注意书及仪器操作规程等工作类标准直接用于实训检验环境的建设。

本书参考教学时数是75~87学时(3周实训)。推荐教学时数安排如下:

项目 序号	课程教学内容	学时数		
		合计	理论	实训
一	电子测量预备知识	4	4	
二	信号的产生	8	4	4
三	信号波形的显示及测量	14	8	6
四	频率与时间测量	6	4	2
五	电压测量	12	8	4
六	频域测量	10	6	4
七	数据域测试	6	4	2
八	电子产品检验预备知识	6	6	
九	电子产品检验实训	14	4	10
总计		80	48	32

本书由河南信息工程学校的管莉担任主编，项目七和项目九分别由河南省电子产品质量监督检验所的李承浩和杨林春编写，其余内容由管莉编写并统稿。河南省电子产品质量监督检验所高级工程师朱鸣担任全书的审稿工作。

虽然编者多年从事电子测量和产品检验专业实践课程的教学和开发工作，积累了一定的经验，并主编和参编过相关教材，但随着电子技术的飞速发展，电子整机产品和生产工艺不断更新，新的检测仪器、检验方法不断出现，加之编者水平有限、编写时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正，联系邮箱：guanli3319@126.com。

编 者



目 录

前言	
项目一 电子测量预备知识	1
项目二 信号的产生	9
项目三 信号波形的显示及测量	25
项目四 频率与时间测量	50
项目五 电压测量	64
项目六 频域测量	81
项目七 数据域测试	102
项目八 电子产品检验预备知识	109
项目九 电子产品检验实训	134
参考文献	153



项目一 电子测量预备知识

【任务设置】

任务一：假设有大约重 1kg 的苹果，请你选择几种工具称量出其准确的重量。

任务二：请选择合适的测量仪器或仪表，选用正确的测量方法，测量如图 1-1 所示电阻串联电路中电阻 R_2 两端的电压值。

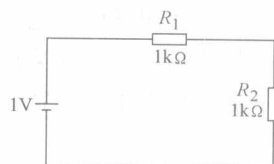


图 1-1 电阻串联电路

【任务分析】

任务一分析：这是一个生活中很常见的例子，我们知道，用来称重的工具很多，如：杆秤、弹簧秤、物体天平、电子秤、电子分析天平等等。在市场中最常见的有杆秤和电子秤。不管采用哪种工具，测量的过程就是将待测量与一个标准量进行比较的过程。测量结果的量值由两部分组成：数值（大小及符号）和相应的单位名称，如苹果的准确重量为 1.1kg。测量是人类认识事物和揭示客观世界规律不可缺少的重要手段，测量在我们的生活中几乎无处不在。

上述例子里，用杆秤和电子秤最大区别是，后者利用了压力传感器，将重量这个物理量转换为电量，再利用电子学方法对其进行测量。这是一种间接利用电子技术进行的测量。

任务二分析：这是电子学中最常见的一个测量任务——直流电压的测量，可以选用直流电压表或万用表的直流电压挡进行测量。测量时将仪表并联在电阻 R_2 的两端，并注意量程的选择。由图中参数可计算出 R_2 两端的电压理论值是 0.5V，因此一般选择电压表的 1V 量程进行测量，为得到较准确的测量结果，往往采用多次测量后求平均值的方法降低测量误差，以得到最精确的测量结果。

通过以上的两个测量任务，我们不难看出电子测量在生活和生产中的广泛性和重要性。一般我们把电子测量分为两类：一类是类似于任务二的，在电子学中测量有关电的量值，如电压、电容或电场强度之类的电量。另一类就是类似任务一中的电子秤称重，即运用电子技术来进行非电量的测量，常见的例子还有在冰箱、空调机的温度自动控制系统中，利用温度传感器实现对温度的测量等，它们都属于电子测量的第二类范畴。

【相关知识链接】

【知识模块一】 电子测量的内容、特点及分类

【知识点一】 电子测量的内容

在电子学领域内电参量的测量主要有下面几个方面：

- (1) 电能量的测量 测量电流、电压、电功率等。
- (2) 元件和电路参数的测量 如电阻、电感、电容、电子器件、集成电路的测量和电

路频率响应、通频带、衰减、增益、品质因数的测量等。

(3) 信号特性的测量 即信号的波形、频率、失真度、相位、调制度、信号频谱、信噪比等的测量。

【知识点二】 电子测量的特点和应用

(1) 测量频率范围宽 除测量直流外, 频率范围为 $10^{-4} \sim 10^{12}$ Hz。但是在不同频率范围内, 即使测量同一电量, 所采用的测量方法和使用的仪器也不同。例如电压的测量在低频和高频范围内, 需要采用不同形式的电压表。现在, 由于新技术、新器件和新工艺的采用, 电子测量技术正在向宽频段以至全频段方向发展, 使电子测量仪器能在很宽的频率范围内工作。

(2) 测量量程很宽 电子测量仪器能做到量程很宽。如一台高灵敏度的数字电压表, 可以测出纳伏级至千伏级的电压, 量程宽达 12 个数量级。电子计数器的量程更宽, 可达 17 个数量级。

(3) 测量准确度高 电子测量的准确度通常比其他测量方法高很多, 特别是对频率和时间的测量, 误差可减小到 10^{-13} 量级, 这是目前人类在测量准确度方面达到的最高标准。因此, 在一些测量过程中往往把其他参数转换成频率再进行测量, 以提高测量的准确程度。

(4) 测量速度快 由于电子测量是通过电子运动和电磁波的传播来进行工作的, 因而可实现测量过程的高速度, 这是其他测量方法无法比拟的。

(5) 易于实现遥测 对于遥远距离、人类难于到达或不便长期停留的地方, 可通过传感器把待测物理量变成电信号, 再利用电子技术进行测量。

(6) 易于实现测量过程自动化和测量仪器智能化 电子测量的测量结果和它所需的控制信号都是电信号, 易于直接或通过 A/D、D/A 转换与计算机连接。电子测量和计算机的紧密结合, 使电子测量仪器向数字化的方向发展, 为实现测量过程自动化创造了非常有利的条件, 并且使功能单一的传统仪器变成先进的智能仪器和有计算机控制的模块式测试系统。如数字频率计、数字存储示波器、自动网络分析仪等。

计算机技术和微电子技术的高速发展对电子测量仪器及自动测试领域产生了巨大的影响。智能仪器、GPIB 接口总线、个人仪器和 VXI 总线系统等技术的采用, 使电子测量仪器及自动测试领域朝着智能化、自动化、模块化和开放式系统的方向发展。

总之, 电子测量的一系列优点, 使其应用的领域极其广泛。大到天文观测, 小到物质结构分析, 从复杂奥秘的生命、细胞和遗传问题到日常的工农业生产、医学、商业各个部门, 都越来越多地采用了电子测量技术和设备。从某种意义讲, 现代科学技术的水平是由电子测量的水平来保证和体现的; 电子测量的水平, 是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。

【知识点三】 电子测量的分类

1. 按测量方式分类

(1) 直接测量 直接测量是指用已标定的仪器, 直接地测量出某一待测未知量的量值的方法, 例如用电压表直接测量电压。

(2) 间接测量 测量某未知量 y , 必须先对与未知待测量 y 有确切函数关系的其他变量 x (或 n 个变量) 进行直接测量, 然后再通过函数计算出待测量 y , 这种方法称为间接测量。

(3) 组合测量 如有若干个待求量, 把这些待求量用不同方式组合 (或改变测量条件

来获得这种不同的组合)进行测量(直接或间接),并把测量值与待求量之间的函数关系列成方程组,只要方程式的数量大于待求量的个数,就可以求出各待求量的数值,这种方法叫组合测量或联立测量。

2. 按被测信号性质分类

(1) 时域测量 随时间变化的函数称为时域函数,如正弦信号、方波信号等。对其进行的分析称为时域分析。如利用示波器对正弦信号的各项参数进行分析。

(2) 频域测量 测量与频率有函数关系的量称为频域测量。如利用频谱分析仪对信号进行频谱分析。

(3) 数据域测量 即对数字系统逻辑特性的测量。如具有多个输入通道的逻辑分析仪可以观测并行数据的时序波形,同时可用“1”和“0”显示其逻辑状态。

(4) 随机测量 随机测量技术是认识含有不确定性的事物的重要手段。最普遍存在、最有用的随机信号是各类噪声。所以随机测量技术又称为噪声测试技术。

【知识点四】 常用电子测量仪器及应用

常用电子测量仪器与测量内容如表 1-1 所示,后续项目将详细分析表中主要的测量方法、测量对象的特点,并分析相对应的测量仪器的结构、原理、特性及应用。

表 1-1 常用电子测量仪器及应用

测量方法	测量仪器	主要应用范围
时域测量	测量用信号源	提供测试用信号,如正弦、脉冲、函数、噪声信号等
	电子示波器	实时测量信号的电压值、周期、相位、频率、脉冲信号的上升沿、下降沿等参数
	电子计数器	测量周期性信号的频率、周期,测量频率比、时间间隔,累加计数等
	电子电压表	测量正弦电压或周期性非正弦电压的峰值、有效值、平均值
频域测量	频率特性测试仪	测量电子线路的幅频特性、带宽、回路的 Q 值等
	频谱分析仪	测量电信号的电平、频率响应、谐波失真、频谱纯度及频率稳定度,测量电路的幅频传输特性和相移特性等
	网络分析仪	测量网络特性
数据域测量	数字信号发生器	提供串行、并行数据及任意数据流信号
	逻辑分析仪	监测数字系统的软、硬件工作程序
	数据通信分析仪	测量数据通信网和传输设备的误码、延时、告警和频率
随机测量	噪声系数分析仪	测量噪声信号
	电磁干扰测试仪	测量电磁干扰信号

【知识模块二】 测量误差理论和测量结果处理

测量的目的是为确定被测对象的量值,准确地获取被测参数的值。一个量在被观测时,其本身所具有的真实大小称为真值。在一定的时间和空间条件下,被测量的真值是一个客观存在的确定数值。其实真值是一个理想的概念,实际是无法准确得到的。因此在实际应用中,通常用实际值来代替真值。所谓实际值就是满足规定准确度要求,用来代替真值使用的量值。在实际测量中,常用高一等级或数级的计量标准所测得的量值作为实际值。

测量误差就是测量结果与真值之间的差别。在测量工作中,测量方法、测量仪器、测量

条件和人为的疏忽或错误等都会使测量结果与真值不同,带来测量误差。其实,测量的价值完全取决于测量结果的准确程度。当测量误差超过一定限度,测量结果不但变得毫无意义,甚至会给工作带来危害。研究误差的目的,就是要了解产生误差的原因及其发生规律,在一定的测量条件下减小误差,使测量结果更加准确可靠。

【知识点一】 测量误差的表示方法

测量误差通常表示为绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差 被测量值 x 与其真值 A_0 之差,称为绝对误差,用 Δx 表示,即

$$\Delta x = x - A_0$$

需要说明的是:

- 1) 这里的被测量值通常是指仪器的示值或读数。
- 2) 绝对误差是有大小、正负和量纲的量。
- 3) 在实际应用中常用实际值 A 代替真值,即绝对误差表示为

$$\Delta x = x - A$$

4) 修正值是与绝对误差的绝对值大小相等、符号相反的量值,用 C 表示。

$$C = -\Delta x = A - x$$

通常在校准仪器时,以表格、曲线或公式的形式给出修正值。当测量时得到测量值 x 及修正值 C 以后,就可以求出被测量的实际值,即

$$A = x + C$$

(2) 相对误差 绝对误差虽然可以表示测量结果偏离实际值的程度和方向,但不能确切地反映测量的准确程度,不便于看出对整个测量结果的影响。因此,为了弥补绝对误差的不足,又提出了相对误差的概念。所谓相对误差又称相对真误差,它是绝对误差与真值的比值,用 γ 表示:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\%$$

相对误差是一个没有量纲,只有大小和符号的量。由于真值难以确切得到,通常用实际值 A 代替真值 A_0 来表示相对误差,即实际相对误差。在误差较小,要求不太严格的场合,作为一种近似计算,也可以用测量值 x 来代替实际值 A ,即是示值相对误差。

(3) 仪表准确度等级 在有连续刻度的仪表中,为了计算和划分仪表准确程度等级的方便,计算相对误差时,改为取电表量程,即满度值 x_m 作为分母,这就是引用相对误差,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\%$$

常用电工仪表分为 ± 0.1 、 ± 0.2 、 ± 0.5 、 ± 1.0 、 ± 1.5 、 ± 2.5 、 ± 5.0 七级,分别表示它们的引用相对误差不超过的百分比,常用符号 s 表示。

若某仪表的等级是 s 级,它的满度值为 x_m ,被测量的真值为 A_0 ,那么测量的绝对误差为

$$\Delta x \leq x_m s\%$$

测量的相对误差:

$$\gamma \leq \frac{x_m s\%}{A_0}$$

从上式可看出,当仪表等级 s 选定后,被测量的真值越接近满度值,测量中的相对误差的最大值越小,测量越准确。因此,在使用这类仪表测量时,在一般情况下应该使被测量的数值尽可能在仪表满刻度的三分之二以上。

【知识点二】 测量误差的分类

根据测量误差的性质和特点,可将它们分为系统误差、随机误差和粗大误差三大类。

(1) 系统误差 在相同条件下多次测量同一量时,误差的绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时按某种确定规律而变化的误差称为系统误差。

造成系统误差的常见原因有:测量设备的缺陷、测量仪器不准、测量仪表的安装、放置和使用不当、测量时使用的方法不完善、所依据的理论不严密或采用了某些近似公式等。系统误差具有一定的规律性,因此可以根据系统误差产生的原因,采取一定的措施消除或减弱它。

(2) 随机误差 在实际相同条件下多次测量同一量时,误差的绝对值和符号以不可预定的方式变化着的误差称为随机误差。

随机误差主要是由那些对测量值影响较微小,又互不相关的多种因素共同造成的。例如热骚动、噪声干扰、电磁场的微变等各种无规律的微小变化。通常可以通过多次测量取平均值的办法来减小随机误差对测量结果的影响。

(3) 粗大误差 超出在规定条件下预期的误差称为粗大误差,即在一定的测量条件下,测量结果明显地偏离了真值。它主要由读数错误、测量方法错误和测量仪器有缺陷等原因造成的。

粗大误差明显地歪曲了测量结果,因此对应的测量结果(称为坏值)应剔除不用。

【知识点三】 测量结果的评价

对测量结果可采用正确度、精密度和准确度来评价。

(1) 正确度 表示测量结果与真值的符合程度,是衡量测量结果是否正确的尺度。

含有粗大误差的测量结果剔除不用。因此,任何一次测量误差都是由系统误差和随机误差组成。在测量次数足够多时,对测量结果取算术平均值,可以消除随机误差的影响,那么基本上可以认为是系统误差使测量结果偏离被测量的真值。因此系统误差越小,就有可能使测量结果越正确。正确度表示测量结果中系统误差大小的程度。

(2) 精密度 表示在进行重复测量时所得结果彼此之间一致的程度。

测量结果的优劣,不能单纯用正确度来衡量,即测量的正确度相同,但是测量数据的分散程度是不同的。随机误差决定测量值的分散程度,测量值越集中,测量值的精密度越高。可见,精密度是用来表示测量结果中随机误差大小的程度。

(3) 准确度 表示测量结果与真值的一致程度。

在一定的测量条件下,总是力求测量结果尽量接近真值。如果测量的正确度和精密度都高,则测量的准确度高。准确度是表示测量结果中系统误差与随机误差综合的大小程度。

测量结果的准确度的含义,可用图1-2表示。图中空心点为测量值的真值,实心点为多次测量值。图1-2a中测量值的平均值与真值相差不大,但数据比较分散,说明测量的正确度较高而精密度低;图1-2b中测量值的平均值与真值相差较大,但数据集中,即测量的重复性好,说明测量的正确度较低而精密度高;图1-2c中测量值的平均值与真值相差小,而

且数据比较集中,说明测量的正确度和精密度都高,即准确度高。在测量中,只有准确度才是对测量结果进行的最确切的评价。

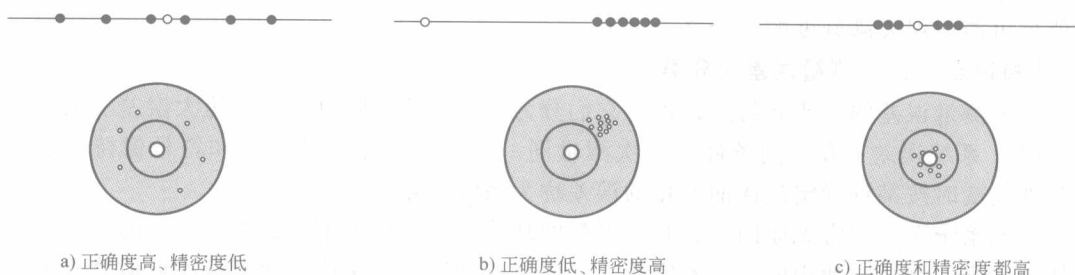


图 1-2 测量结果的图形描述

【知识模块三】 测量结果的处理

测量结果既可能表现为一定的数字,也可能表现为一条曲线或某种图形。以数字表示的测量结果包含数值(大小和符号)以及相应的单位两部分,例如 8.18V 、 23.46Ω 等。

由于各种因素的影响,测量结果中不可避免地存在着误差。有时为了说明测量结果的可信度,在表示测量结果时,还必须同时注明其测量误差数值或范围,例如 $(4.27 \pm 0.01)\text{V}$ 、 $(27.6 \pm 0.1)\Omega$ 。

【知识点一】 有效数字

由于在测量中不可避免地存在误差,并且仪器的分辨能力有一定的限制,测量数据就不可能完全准确。同时,在对测量数据进行计算时,遇到如 π 、 $\sqrt{3}$ 等无理数,实际计算时也只能取近似值,因此得到的数据通常只是一个近似数。当用这个数表示一个量时,为了表示得确切,通常规定误差不得超过末位单位数字的一半。对于这种误差不大于末位单位数字一半的数,从它左边第一个不为零的数字起,直到右边最后一个数字止,都叫作有效数字。

在测量过程中,正确地得出测量结果的有效数字,合理地确定测量数据位数是非常重要的。对有效数字位数的确定说明如下:

1) 有效数字中除末位外,前面各位数字都应该是准确的,只有末位欠准,其包含的误差不应大于末位单位数字的一半。例如 3.18V ,则测量误差范围为 $\pm 0.005\text{V}$ 。

2) 在数字左边的零不是有效数字,如 0.031V ,左边的两个零就不是有效数字。而数字中间和右边的零都是有效数字,不能在数据的右边随意加减零,否则会改变测量的准确程度。例如 2.10V ,表明测量误差范围为 $\pm 0.005\text{V}$,若改为 2.1V 或 2.100V ,则表明测量误差范围为 $\pm 0.05\text{V}$ 或 $\pm 0.0005\text{V}$ 。

3) 有效数字不能因选用的单位变化而改变。例如测量结果为 2.0V ,它的有效数字为两位,如改用 mV 做单位,写为 2000mV ,则有效数字变为四位,这显然是错误的,应改写为 $2.0 \times 10^3\text{mV}$,此时它的有效数字仍是两位。

【知识点二】 数字的舍入规则

当需要 n 位有效数字时,对超过 n 位的数字就要根据舍入规则进行处理。目前广泛采用的“四舍五入”规则内容如下:

1) 当保留 n 位有效数字,若后面的数字小于第 n 位单位数字的一半就舍掉。

2) 当保留 n 位有效数字, 若后面的数字大于第 n 位单位数字的一半, 则第 n 位数字进 1。

3) 当保留 n 位有效数字, 若后面的数字恰为第 n 位单位数字的一半, 则第 n 位数字为偶数或零时就舍掉后面的数字; 若第 n 位数字为奇数, 则第 n 位数字加 1。例如, 若第 $n+1$ 位为 5, 后面为零, 则看第 n 位的奇偶性, 奇则入, 偶则舍。

以上的舍入规则可简单地概括为: 小于 5 舍, 大于 5 入, 等于 5 时取偶数。

【知识点三】 有效数字的运算原则

在测量中, 经常需要测量几个数据, 经过加、减、乘、除、乘方和开方等运算后, 才得到欲求的结果。为保证运算过程中的简便和准确, 参与运算数据的有效数字位数的保留, 原则上取决于参加运算的各数据中准确度最差的那一项。

1. 加、减运算

根据准确度最差的一项, 即以小数位数最少的为准, 其余数据多取一位, 最后结果小数位数保留仍以小数位数最少的为准。不过, 当两数相减时, 若两数相差不多, 有效数字的位数对结果的影响可能十分严重, 就应该尽量多取几位有效数字。

2. 乘、除、乘方、开方运算

有效数字的取舍取决于其中有效数字最少的一项, 而与小数点无关。最后结果的有效数字, 应不超过参加运算的数据中最少的有效数字。需要注意的是乘方运算中, 当底数远大于 1 或远小于 1 时, 指数很小的变化都会使结果相差很多, 对于这种情况, 指数应尽可能多保留几位有效数字。

3. 对数运算

对数运算时, 原数为几位有效数字, 取对数后仍取几位有效数字。

【实训项目演练】 电阻串联电路直流电压的测量

一、实训目的

掌握电阻串联电路中电阻 R_2 两端直流电压的测量方法, 练习对测量数据的处理方法和简单的误差分析。

二、实训器材

面包板一块, $1\text{k}\Omega$ 电阻两个, 稳压电源一台, 电压表 (或万用表) 一块。

三、实验内容

1. 按图 1-3 所示连接电路。

2. 电路通电。

3. 将电压表选择在较大量程, 并联在 R_2 的两端测量电压值, 测量三次, 并将结果填入表 1-2 中。

4. 将电压表选择在合适的量程 (参考理论计算值) 上, 并联在 R_2 的两端测量电压值, 测量三次, 并将结果填入表 1-2 中。

四、误差分析

1. 按图中参数计算出待测电压的实际值 (即理论值)。

2. 分别计算出当电压表选择在较大量程和合适量程两种情况下的测量相对误差, 并进

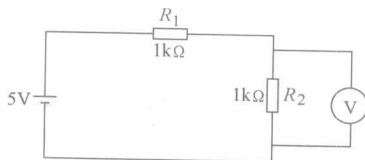


图 1-3 电阻串联电路电压测量示意图

行比较，说明原因。

3. 对实验中的测量误差进行分析。

表 1-2 直流电压的测量

结果 量程	第 1 次	第 2 次	第 3 次	平均值
较大量程/V				
合适量程/V				

五、实训报告

认真填写和分析实验数据，并结合本项目的理论知识，回答以下思考题。

1. 电压表选择在较大量程和合适量程时，读得的数据的有效位有什么不同？说明了什么？
2. 测量三次求平均值对测量结果有什么作用？
3. 在这次测量中，产生测量误差的原因有哪些？总结一下，并思考采用哪些测量方法能有效地减小测量误差。

项目小结

本项目简要介绍了电子测量的基本知识。

1. 测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。测量的目的是为了准确地获取被测参数的量值。
2. 电子测量的内容、特点及分类。
3. 测量误差就是测量结果与被测量真值的差别，测量误差存在于一切测量的科学研究过程中。测量误差的表示方法通常为绝对误差和相对误差。绝对误差表明测量结果偏离实际值的情况，是有大小、正负和量纲的量。相对误差能确切地反映测量的准确程度，只有大小和符号，没有量纲。引用相对误差用来计算和划分连续刻度电子测量仪表的准确程度等级。
4. 根据性质，可将测量误差分为系统误差、随机误差和粗大误差。系统误差决定测量的正确度，随即误差决定测量的精密度，系统误差和随机误差共同决定测量的准确度。
5. 用数字方式表示测量结果时，需要根据要求确定有效数字位，不可随意更改测量结果的有效数字位。对多余数字位进行处理时，必须遵循数字的舍入规则——小于 5 舍，大于 5 入，等于 5 时取偶数。

练 习 题

1. 将下列数字进行舍入处理，要求保留两位有效数字。
37.694, 86.372, 3.175, 21000, 0.0003215, 58350, 500.028, 33.6501
2. 常用电子测量仪器有哪些？
3. 被测电压的实际值在 10V 左右，现有 150V、0.5 级和 15V、1.5 级的两块电压表，选择哪块表测量更合适？
4. 你如何理解测量的正确度、精密度和准确度？
5. 电子测量的主要内容有哪些？电子测量有什么特点？

项目二 信号的产生

【任务设置】

图 2-1 所示是几种典型信号的时域波形，学会用信号源产生这些信号波形。

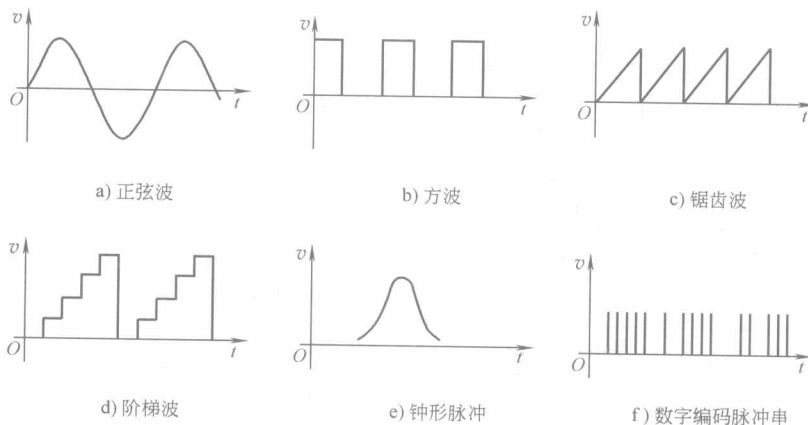


图 2-1 几种典型的信号波形

【任务分析】

以上各种信号波形广泛应用在电子测量中。例如，要了解一个被测电路或系统的特性，我们一般都需要一个已知其特性的电信号。通过观测这个电信号在被测电路中“走”一遭后发生的变化等情况来测试该电路的特性。图 2-2 所示即为一低频放大器特性测试电路示意图，显然，没有图中所示的正弦信号源提供激励信号，测试将无从谈起。



图 2-2 低频放大器特性测试电路示意图

能产生电信号的仪器或设备称为信号源，信号源又叫信号发生器，一般分为三大类：正弦信号发生器、函数（波形）信号发生器和脉冲信号发生器。信号发生器是现代测试领域内应用最为广泛的通用仪器之一。它可以产生如图 2-1 所示的正弦波、方波、锯齿波、钟形脉冲、阶梯波、数字编码脉冲串等各种波形信号，其输出信号的幅值和频率等参数可按需要进行调节，因而广泛应用于通信、雷达、导航、宇航等领域。正弦信号是我们在电子测量中经常用到的一个典型的电信号，正弦信号发生器是电子测量中用途最广的一种仪器。

能够产生正弦信号的仪器我们称之为正弦信号发生器，又叫正弦信号源。作为一个正弦信号源，首先要能产生一个不失真的正弦信号波形；其次，为满足各种测量的需要，这个正

弦信号的频率和幅度大小要已知、要能够进行调节,并且能够产生调幅及调频信号。

由于在实际测量中,正弦信号发生器应用最为广泛,所以本项目重点讨论正弦信号发生器是产生信号的方法及其应用。

【相关知识链接】

【知识模块一】 正弦信号源

【知识点一】 正弦信号源的分类和组成

1. 分类

电子测量中通用的正弦信号发生器种类很多,有各种不同的分类方法。按输出频率划分的各类信号发生器如表 2-1 所示。

表 2-1 正弦信号源分类

分 类	频 率 范 围	分 类	频 率 范 围
超低频信号发生器	0.0001 Hz ~ 1 kHz	高频信号发生器	30 kHz ~ 30 MHz
低频信号发生器	1 Hz ~ 20 kHz	甚高频信号发生器	30 ~ 300 MHz
视频信号发生器	20 Hz ~ 10 MHz	超高频信号发生器	> 300 MHz

2. 信号发生器的组成

低频正弦信号发生器和高频正弦信号发生器是一般测量中常用的两种正弦信号发生器。它们都输出正弦波,但由于频率不同,其结构原理是不同的。主振级决定输出频率,低于视频频段的主振器一般采用 RC 振荡器,而高频段的主振器都采用 LC 振荡器。通常,低频和视频正弦信号源产生正弦信号,而高频和超高频信号源,除了有纯正弦波(载波)的输出之外,还有调制波形的输出(AM)。而甚高频信号发生器还可输出调频波(FM)。

由主振级输出的正弦信号经调制级(缓冲级)、输出级后,再经输出电路输出。输出电路的作用是对电压或电平进行选择并完成输出阻抗变换。



小知识: 什么是“标准信号发生器”?

标准信号发生器指其输出信号的频率、幅度、调制系数等在一定范围内连续可调,并且读数准确、稳定,屏蔽良好的中、高档信号发生器。与之对应的“一般信号发生器”,通常指输出信号的频率、幅度的准确度和稳定度以及波形失真等要求不高的一类发生器。

【知识点二】 正弦信号发生器的性能指标

1. 频率特性

(1) 频率范围 指信号发生器所能产生的信号频率范围。

(2) 频率准确度 指信号发生器度盘(或数字显示)数值与实际输出信号频率间的偏差,通常用相对误差表示。

(3) 频率稳定度 指其他外界条件恒定不变的情况下,在规定时间内,信号发生器输

出频率相对于预调值变化的大小。

2. 输出特性

- (1) 输出电平范围 指的是输出信号幅度的有效范围。
- (2) 输出电平的频响 指的是输出电平随着频率变化的变化情况。
- (3) 输出电平准确度。
- (4) 输出阻抗 低频信号发生器输出阻抗一般为 600Ω 或 $1k\Omega$ ；高频信号发生器输出阻抗一般有 50Ω 或 75Ω 两种。
- (5) 输出信号的频谱纯度 常用信号频谱纯度来说明输出信号波形接近正弦波的程度，并用非线性失真系数表示。

3. 调制特性

输出调幅、调频等信号的能力。

 小知识：什么叫“电平”？

在通信系统测试中，除了用电压、功率外，还常用电平，即电压或功率与某一电压或功率基准量之比的对数来表征所测信号大小。常用电平有两类，即电压电平和功率电平。每类电平又分为绝对电平和相对电平两种。

功率之比的对数定义为电平度量单位 dB。对两个功率之比取对数，得到

$$\lg \frac{P_1}{P_2}$$

若 $P_1 = 10P_2$ ，则有

$$\lg \frac{P_1}{P_2} = \lg 10 = 1$$

这个无量纲的数 1，叫做 1 贝尔 (Bel)。在实际应用中，贝尔太大，常用分贝 (dB) 来度量， $1\text{Bel} = 10\text{dB}$ 。

因为

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$$

可得

$$10\lg \frac{P_1}{P_2} = 20\lg \frac{V_1}{V_2}$$

若 P_2 和 V_2 为基准量 P_0 和 V_0 ，定义为绝对电平。

当信号源的输出阻抗等于外接负载阻抗时（阻抗匹配），定义功率电平为

$$P_w = 10\lg \frac{P_x}{P_0}$$

而定义电压电平为

$$P_v = 20\lg \frac{V_x}{V_0}$$

式中， P_x 、 V_x 为负载吸取的功率和负载两端的电压（正弦有效值）； P_0 、 V_0 为基准量。

基准量 P_0 和 V_0 分别取 1mW 和 0.775V ，定义为零功率电平和零电压电平。大多数信号源尤其是电平振荡器中都是这样定度的。