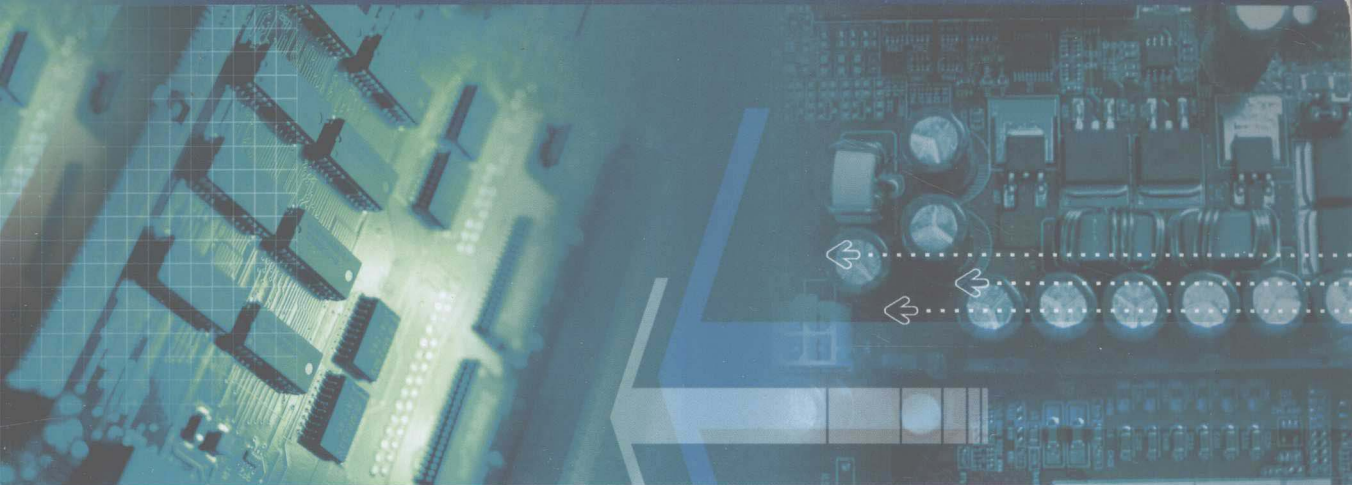




普通高等院校规划教材·电子信息系列

电子技术实验教程

王紫婷 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等院校规划教材·电子信息系列

电子技术实验教程

王紫婷 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书针对高等学校信息类、控制类、微电子学专业编写,其目的是使学生在掌握电子技术应用的基础上,了解电子新技术的应用领域,学会使用新的工具、新的设计方法去设计新型的电子电路和电子产品。

本书适合作为高等院校电工类、电子类电子技术实验课教材或课程设计教材,也可作为高职高专相关实验课程教材和参考书,亦可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验教程/王紫婷主编. —北京:中国
铁道出版社,2010.3

(普通高等院校规划教材·电子信息系列)

ISBN 978-7-113-11271-4

I. ①电… II. ①王… III. ①电子技术—实验—高等
学校—教材 IV. ①TN—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 058737 号

书 名: 电子技术实验教程
作 者: 王紫婷 主编

策划编辑: 李小军

责任编辑: 鲍 闻

编辑部电话: (010)63560056

封面制作: 李 路

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: 北京鑫正大印刷有限公司

版 次: 2010年4月第1版 2010年4月第1次印刷

开 本: 787mm×960mm 1/16 印张: 17

字 数: 360 千

印 数: 2000 册

书 号: ISBN 978 7 113-11271 4

定 价: 29.00 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

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社计算机图书批销部联系调换。

前 言

随着电子与计算机技术、通信技术、微电子技术的飞速发展,电子技术的内容、设计、分析方法发生了重大变革。电子设计自动化技术已成为现代电子技术系统必不可少的工具与手段。本书在传统电子技术实验方法的基础上,引入了 EDA 技术与创新综合性实验,用新的方法、新的工具综合来分析设计典型电子电路。

全书共分为 5 章,第 1 章介绍电子技术中测量的基本概念与常用电子仪器;第 2 章介绍最新仿真软件 EWB 与 Multisim 9 的使用与典型电路分析方法;第 3 章介绍模拟电子技术实验;第 4 章介绍数字电子技术实验;第 5 章介绍三个典型的创新与综合实验。

本书由王紫婷教授主编。第 1、2 章由王紫婷编写,第 3 章与第 5 章部分章节由张华卫编写,第 4 章与第 5 章部分章节由孔洁编写,第 5 章部分章节由张文婷编写,全书由王紫婷统稿、定稿。本书在编写过程中还得到宁平等同学的帮助,在此表示感谢。

本书适合作为高等院校电工、电子类电子技术实验课教材或课程设计教材,也可作为高职高专相关实验课程的教材和参考书,亦可供相关工程技术人员参考。

由于水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2009 年 12 月
于甘肃兰州

目 录

第 1 章 电子技术基础与仪器	1
1.1 测量技术基础	1
1.1.1 测量及其重要意义	1
1.1.2 电子测量的任务与内容	1
1.1.3 电子测量的特点	2
1.1.4 电子测量的方法	3
1.2 电子测量仪器概述	5
1.2.1 电子测量仪器的功能	6
1.2.2 电子测量仪器的分类	6
1.2.3 电子测量仪器的主要技术指标	8
1.3 误差的概念与表示方法	9
1.3.1 测量误差	9
1.3.2 误差的表示方式	10
1.3.3 误差的性质与分类	12
1.3.4 测量结果的评论	13
1.4 测量数据处理	13
1.4.1 有效数字	13
1.4.2 数字修约(舍入)规则	14
1.5 信号发生器	16
1.5.1 信号发生器的概述	16
1.5.2 通用信号发生器	21
1.6 电子示波器	24
1.6.1 电子示波器概述	24
1.6.2 通用示波器	31
1.6.3 VP-5220D 双踪示波器	33
1.6.4 数字存储示波器	34
1.6.5 KENWOOD-DCS-7020 数字存储示波器	35
第 2 章 EDA 设计软件	42
2.1 EWB 软件介绍	42

2.1.1	EWB 的软件界面简介	42
2.1.2	元件库栏	42
2.1.3	实验流程	44
2.1.4	实验举例	45
2.2	Multisim 9 软件介绍	67
2.2.1	主界面	67
2.2.2	文件基本操作	68
2.2.3	元器件基本操作	68
2.2.4	文本编辑操作	68
2.2.5	图纸标题栏编辑	69
2.2.6	子电路创建	69
2.3	Multisim 9 电路创建方法	70
2.3.1	元器件	70
2.3.2	电路图	71
2.4	Multisim 9 操作界面	71
2.4.1	Multisim 9 菜单栏	71
2.4.2	Multisim 9 工具栏	76
2.4.3	Multisim 9 仪器仪表栏	76
2.5	Multisim 9 仪器仪表的使用	76
2.5.1	数字万用表 (Multimeter)	76
2.5.2	函数发生器 (Function Generator)	77
2.5.3	瓦特表 (Wattmeter)	77
2.5.4	双通道示波器 (2 Channel Oscilloscope)	78
2.5.5	四通道示波器 (4 Channel Oscilloscope)	79
2.5.6	伯德图仪 (Bode diagram Plotter)	79
2.5.7	频率计 (Couter)	81
2.5.8	数字信号发生器 (Word Generator)	81
2.5.9	逻辑分析仪 (Logic Analyzer)	81
2.5.10	逻辑转换器 (Logic Converter)	83
2.5.11	IV 分析仪 (IV Analyzer)	83
2.5.12	失真度仪 (Distortion Analyzer)	84
2.5.13	频谱分析仪 (Spectrum Analyzer)	84
2.5.14	网络分析仪 (Network Analyzer)	85
2.5.15	仿真 Agilent 仪器	86

2.6 实验举例	87
第3章 模拟电子技术实验	95
3.1 放大电路实验	95
3.1.1 晶体管单管放大电路的研究	95
3.1.2 利用 EDA 软件设计单管放大电路	102
3.1.3 负反馈放大电路实验	102
3.1.4 射极跟随器	107
3.1.5 差分放大电路实验	111
3.1.6 功率放大电路实验	115
3.1.7 LA4100 集成功率放大器简介	119
3.2 集成运算放大器的基本应用	120
3.2.1 模拟运算电路	120
3.2.2 有源滤波器	125
3.2.3 电压比较器	131
3.2.4 波形发生器	135
3.3 直流稳压电源	140
3.3.1 串联型晶体管稳压电源	140
3.3.2 集成稳压器	145
3.3.3 串联稳压电源的设计与调试	149
3.4 高频电子电路实验	159
3.4.1 小信号调谐放大器	159
3.4.2 模拟乘法器实现调幅与检波实验	162
3.4.3 集成锁相环路的研究	167
第4章 数字电子技术实验	172
4.1 门电路逻辑功能测试及设计	172
4.1.1 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	172
4.1.2 CMOS 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	177
4.1.3 基本门电路逻辑功能测试	180
4.2 组合逻辑电路功能测试及设计	183
4.2.1 组合逻辑电路逻辑功能测试	183
4.2.2 加法器的逻辑功能与参数测试	187
4.2.3 数据选择器的设计 and 应用	192
4.2.4 译码器电路及其应用	195
4.2.5 编码器的设计及应用	201

4.3	时序逻辑电路设计 and 应用	203
4.3.1	触发器的设计 and 应用	203
4.3.2	触发器的扩展 and 应用	210
4.3.3	时序逻辑电路逻辑功能测试	212
4.3.4	计数、显示、译码电路综合应用	215
4.3.5	中规模移位寄存器	223
4.3.6	555 定时器实验	229
4.4	D/A、A/D 转换电路 and 其应用	235
4.4.1	D/A 转换电路 and 其应用	235
4.4.2	A/D 转换电路 and 其应用	241
第5章	创新与综合实验	246
5.1	基于 16 位凌阳单片机的十字路口交通灯系统的设计与调试	246
5.1.1	实验内容与任务要求	246
5.1.2	项目工程背景	247
5.1.3	实验目的	247
5.1.4	实验原理	247
5.1.5	实验报告要求	250
5.1.6	考核方法	251
5.2	电子秒表设计	251
5.2.1	实验内容与任务要求	251
5.2.2	项目工程背景	252
5.2.3	实验目的	253
5.2.4	实验原理	253
5.2.5	实验报告要求	257
5.2.6	考核方法	257
5.3	增益自动切换的低频信号电压放大电路的软件设计与硬件制作	258
5.3.1	实验内容与任务要求	258
5.3.2	项目工程背景	259
5.3.3	实验目的	259
5.3.4	实验原理	259
5.3.5	实验报告要求	261
5.3.6	考核方法	262

第1章 电子技术基础与仪器

1.1 测量技术基础

1.1.1 测量及其重要意义

测量是人类认识和改造世界的一种重要手段。在人们对客观事物的认识过程中,需要进行定性、定量的分析,定量分析就需要进行测量。测量是通过实验方法对客观事物取得定量数据的过程。通过大量观察和测量,人们逐步准确地认识各种客观事物,建立起各种定理和定律。例如,牛顿的三大定律,没有大量测量验证,就不可能得出这样的科学结论。所以,门捷列夫在论述测量的意义时说过一句名言:“没有测量,就没有科学。”

科学的进步,生产的发展,都需要用测量技术进行定量分析,以取得科学的数据。离开测量,人类就不能真正准确地认识世界,也不能生产出合格的产品。尤其是现代化工业大生产,用在测量上的工时和费用占生产总成本的比例越来越大。例如,在大规模集成电路的生产成本中,测量成本已超过50%。因此,提高测量水平,降低测量成本,对国民经济各个领域的发展都是至关重要的。

在各个历史时期,测量水平的高低可以反映出一个国家科学技术发展的状况。因此,努力提高测量水平,实现测量手段和方法的现代化,是实现科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。

在当今信息时代,测量技术(获取信息)、通信技术(传递信息)和计算机技术(处理信息)被称为信息社会三大支柱。

可见,测量技术是一门很重要的科学技术。

1.1.2 电子测量的任务与内容

电子测量是测量领域的主要组成部分,它泛指以电子技术为基本手段的测量技术。电子测量主要是运用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量,同时还可以通过各种传感器把非电量转换成电量来测量。因此,电子测量不仅用于电子领域,而且广泛用于物理学、化学、光学、机械学、材料学、生物学和医学等科学领域,以及生产、国防、交通、商贸、农业、环保乃至日常生活的各个方面。

近几十年来,由于计算机技术和微电子技术的迅猛发展,使电子测量技术发生了质的

飞跃。计算机技术和电子测量仪器相结合,构成了一代崭新的智能仪器和电子测试系统。这不仅改变了传统的测量观念,对整个电子技术和其他科学技术也都产生了巨大的推动作用。

通常,人们把电参数测量分为电磁测量和电子测量两类。电磁测量主要是指交直流电量的指示测量法、比较测量法及磁量的测量等。电子测量是指以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,对电量或非电量进行的测量。其中,电量测量可分为以下几个方面。

1. 电能量测量

电能量测量包括各种频率、波形下的电压、电流和功率等的测量。

2. 电信号特性测量

电信号特性测量包括波形、频率、周期、相位、失真度、调幅度、调频指数及数字信号的逻辑状态等的测量。

3. 电路元件参数测量

电路元件参数测量包括电阻、电感、电容、阻抗、品质因数及电子器件的参数等的测量。

4. 电子设备的性能测量

电子设备的性能测量包括增益、衰减、灵敏度、频率特性和噪声指数等的测量。

在上述各项测量内容中,尤以频率、时间、电压、相位、阻抗等基本电参数的测量更为重要,它们往往是其他参数测量的基础。例如,放大器的增益测量实际上就是其输入/输出电压的测量,脉冲信号波形参数的测量可归结为电压和时间的测量。在很多情况下,电流测量是不方便的,就以电压测量来代替。同时,由于时间和频率测量具有其他测量所不可比拟的精确性,因此人们越来越关注把其他待测量转换成时间或频率进行测量的方法和技术。

在科学研究和生产实践中,常常需要对许多非电量进行测量。非电量是指各种非电物理量,如压力、位移、温度、湿度、亮度、颜色、物质成分等。非电量测量可以通过各种对应的敏感元件(通常称为传感器),将被测物理量转换成与之相关的电压、电流等,而后通过对电压、电流的测量,得到被测物理量的大小。传感技术的发展为这类测量提供了新的方法和途径。

1.1.3 电子测量的特点

与其他测量方法和测量仪器相比,电子测量和电子测量仪器具有以下特点。

1. 测量频率范围宽

电子测量中所遇到的测量对象,其频率覆盖范围很宽,低至 10^{-9} Hz 以下,高至 10^{12} Hz 以上。当然,不能要求同一台仪器在这样宽的频率范围内工作。通常是根据不同的工作频段,采用不同的测量原理和使用不同的测量仪器。例如,超低频信号发生器、音频信号发生

器、高频信号发生器等。当然,随着测量技术的发展,能在相当宽的频率范围内正常工作的仪器不断被研制出来,例如,现在一台较为先进的频率计,频率测量范围为 $10^{-6} \sim 10^{11}$ Hz。

2. 测量量程宽

量程是指测量范围的上下限值之差或上下限值之比。电子测量的另一个特点是被测对象量值大小相差悬殊。例如,地面上接收到的宇宙飞船自外太空发来的信号功率,低到 10^{-14} W 数量级;而远程雷达发射的脉冲功率,可高达 10^8 W 以上,两者之比为 $1:10^{22}$ 。在一般情况下,使用同一台仪器,同一种测量方法,是难以覆盖如此宽广的量程。如前所述,随着电子测量技术的不断发展,单台测量仪器的量程也可以达到很宽。例如,高档的数字万用表可直接测量的电阻的范围为 $3 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^8 \Omega$,量程为 $1:10^{13}$ 。

3. 测量方便灵活

在电子测量中,各种电量之间的转换很容易实现,如电压、电流、功率、频率等。对于非电量,如温度、湿度、压力、位移等物理量,可通过各种类型的传感器将其转换为电量来测量并根据不同的对象、不同的要求,以不同的方式方法很好地完成测量的任务。

在电子测量中,可以方便地利用各种转换技术,如分频、倍频、调制、斩波、V/T 转换、V/F 转换、A/D 转换、D/A 转换等,还可以采用先进的信号处理技术,使测量数据更为可靠。电子测量的显示方式也比较清晰、直观,例如,可以采用发光二极管(LED)、液晶显示屏(LCD)和荧光屏显示。测量结果便于打印、绘图、传输、指示或报警。

4. 测量速度快

由于电子测量是基于电子运动和电磁波传播的,加之现代测试系统中高速电子计算机的应用,使电子测量无论在测量速度方面,还是在测量结果的处理和传输方面,都可以以极高的速度进行。这也是电子测量技术广泛用于现代科技各个领域的重要原因。例如,卫星、飞船等各种航天器的发射与运行。如果没有快速、自动的测量与控制,是无法想象的。

5. 可以进行遥测

如前所述,电子测量依据的是电子的运动和电磁波传输,因此可以将现场各待测量转换成易于传输的电信号,用有线或无线的方式传送到测试控制台(中心),从而实现遥测和遥控,这使得对那些远距离、高速运动的,或者人类难以接近的地方的信号测量成为可能。

6. 易于实现测试智能化和测试自动化

电子测量本身是电子科学一个活跃的分支。电子科学的每一项进步,都非常迅速地在电子测量领域得到体现。随着电子计算机,尤其是功耗低、体积小、处理速度快、可靠性高的微型计算机的出现,给电子测量理论、技术和设备带来了新的革命。

1.1.4 电子测量的方法

一个物理量的测量,可以通过不同的方法实现。测量方法选择的正确与否,直接关系到测量结果的可信度,也关系到测量工作的经济性和可行性。

测量方法的分类形式有很多种,下面介绍几种常见的方法。

1. 按测量手段分类

(1) 直接测量

在测量过程中,能够直接将被测量与同类标准量进行比较,或者能够直接用事先刻度好的测量仪器对被测量进行测量,直接获得数值,这种测量方式称为直接测量。例如,用电压表测量电压、用直流电桥测量电阻等都是直接测量。直接测量方式简单迅速,广泛应用于工程测量中。

(2) 间接测量

当被测量由于某种原因不能直接测量时,可以通过直接测量与被测量有一定函数关系的物理量,然后按函数关系计算出被测量的数值,这种间接获得测量结果的方式称为间接测量。例如,用伏安法测量电阻,就是利用电压表和电流表分别测量出电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后根据欧姆定律计算出被测电阻的大小。间接测量方式广泛应用于科研、实验室及工程测量中。

(3) 组合测量

当某项测量结果需要用多个未知参数表达时,可通过改变测量条件进行多次测量,根据函数关系列出方程组求解,从而得到未知量的值,这种测量方式称为组合测量。这种测量方式比较复杂,测量时间长,但精度较高,一般适用于科学实验。

2. 按测量方式分类

(1) 直接法

用直接指示被测量大小的指示仪表进行测量,能够直接从仪表刻度盘上或者显示器上读取被测量数值的测量方法,称为直接法。例如,用欧姆表测量电阻时,从指示的数值可以直接读出被测电阻的数值。这一读数被认为是可信的,因为欧姆表的数值事先用标准电阻进行了校验,标准电阻已将它的量值和单位传递给欧姆表,间接参与了测量。直接法测量的过程简单,操作容易,读数迅速,但其测量的准确度不高。

(2) 比较法

将被测量与标准量在比较仪器中直接比较,从而获得被测量数值的方法,称为比较法。例如,用电桥测量电阻时,标准电阻直接参与了测量过程。在电子测量中,比较法具有很高的测量准确度,有的相对误差可以达到 0.001% 以下,但测量时操作比较麻烦,相应的测量设备价格也比较昂贵。

比较法又分为零值法、微差法和替代法三种:

① 零值法又称平衡法,它是利用被测量和标准量对仪器的相互抵消作用,由指零仪表做出判断的方法,即当指零仪表指示为零时,表示两者的作用相等,仪器达到平衡状态,此时按一定的关系可计算出被测量的数值。

② 微差法是通过测量被测量与标准量的差值或正比于该差值的量,根据标准量来确

定被测量数值的方法。

③ 替代法是分别把被测量和标准量接入同一测量系统,在用标准量替代被测量时,调节标准量,使系统的工作状态在替代前后保持一致,然后根据标准量来确定被测量的数值的方法。用替代法测量时,由于替代前后测量系统的工作状态是一样的,因此仪器本身的性能和外界因素对替代前后的影响几乎是相同的,有效地消除了外界因素对测量结果的影响。

3. 按被测物理量时间特性分类

自然界中,微观地看各物理量都是处于运动之中的,但宏观地看各种物理量随时间变化的情况是不同的,可将它们分成静态、稳态及动态三种状况。

(1) 静态(直流)测试技术

被测对象属于直流(或缓变)性质的静态或准静态信号,测量过程不受时间限制,测量原理、方法较简单。传统的测试大多是在这种最简单的静态或准静态下进行的,典型方法是量值比较法。

(2) 稳态(交流)测试技术

对于一个波形(幅度、频率和相位)恒定不变的周期性(正弦或非正弦)交流信号,可以看成是一个处于稳定状态的一种测量信号,这种周期性的交流信号是电子测量的一个基本对象,通常称为交流测量。大多数仪器,如交流电压表、通用示波器、频率计等电子测量仪器,均只适用于测量这类处于平稳状态的周期性交流信号,而不适用于测量非周期性或瞬变信号。因此,稳态测量是电子测量中最常见、使用最多的测量技术。

(3) 动态(脉冲)测试技术

自然界还存在大量瞬变冲击的物理现象,如力学中的爆炸、冲击、碰撞等,电学中的充放电、闪电、雷击等,对这类随时瞬变的对象进行测量,称为动态测量或瞬态测量。动态测量有两种方法:一种是测量有源量,测量幅值随时间呈非周期性变化(突变、瞬变)的电信号;另一种是测量无源量,要用最典型的脉冲或阶跃信号作为被测系统的激励,观测系统的输出响应(随时间的变化关系),即研究被测系统的瞬态特性。无论测量有源量还是无源量,激励与响应均是脉冲型的,故动态测量又称脉冲测量。此外,它是以时间为变量对线性系统进行测试的,也就是说,在时域内研究被测信号和系统的瞬态响应情况,即非周期的瞬态测试技术常采用时域测试技术。

1.2 电子测量仪器概述

利用电子技术实现测量的仪表设备,统称为电子的测量仪器。本节简单介绍电子测量仪器的功能、分类和主要技术指标。

1.2.1 电子测量仪器的功能

电子测量仪器通常都具备物理量转换、信号处理与传输,以及测量结果的显示等基本功能。

1. 转换功能

对于电压、电流等电学量的测量,是通过测量各种电效应来达到目的的。例如,作为模拟式仪表最基本组成单元的动圈式检流计(或电流表),就是将流过线圈的电流强度转化成与之成正比的扭矩而使仪表指针相对于初始位置偏转一个角度的,根据角度偏转大小(可通过刻度盘上的刻度获得)得到被测电流的大小,这就是一种很基本的转换功能。对非电量测量,必须将各种非电物理量,如电压、位移、温度、湿度、亮度、颜色、物质成分等,通过各种对应的传感器转换成与之相关的电压、电流等,而后再通过对电压、电流的测量,得到被测物理量的大小。随着测量技术的发展和需要,现在往往将传感器、放大器及其他相关部分构成独立的单元电路,将被测量转换成模拟的或数字的标准电信号,送往测量和处理装置,这样的单元电路常称为变送器,它是现代测量系统中极为重要的组成部分。

2. 信号处理与传输功能

对进入测量电路的电信号,通常要进行信号处理,例如,对弱信号要放大,强信号要衰减,有的要加滤波等防干扰措施,有的要将模拟信号转换为数字信号,有的要用微处理器对信号进行处理等。

在遥遥遥控等系统中,现场测量结果经变送器处理后,需经较长距离的传输才能送到测试终端和控制台。不管采用有线的还是无线的方式,传输过程中造成的信号失真和外界干扰等问题都会存在。因此,现代测量技术和测量仪器都必须认真对待测量信号的传输问题。

3. 显示功能

测量结果必须以某种方式显示出来才有意义。因此,任何测量仪器都必须具备显示功能。例如,模拟式仪表通过指针在仪表盘上的位置显示测量结果,数字式仪表通过数码管、液晶或阴极射线管显示测量结果。

此外,一些先进的仪器,如智能仪器等,还具有数据记录、处理及自检、自校、报警提示等功能。

1.2.2 电子测量仪器的分类

电子测量仪器有多种分类方法,总的可分为通用和专用两大类。通用电子仪器有较广泛的应用范围,如示波器、多用表及通用计数器等。专用电子仪器有特定的用途,例如,光纤测试仪器用于测试光纤的特性,通信测试仪器用于测试通信线路及通信设备。另外,电子仪器按工作频段可分为超低频、音频、视频、高频及微波等,按电路原理可分为模拟式和

数字式,按仪器结构可分为便携式、台式、架式、模块式及插件式等,按使用条件又可分为Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组仪器。Ⅰ组仪器为高精度度仪器,要求工作环境温度为 $10^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$,湿度为 $(20\%\sim 75\%) \text{RH}(30^{\circ}\text{C})$,只允许有轻微的震动;Ⅱ组仪器要求环境温度为 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$,湿度为 $(2\%\sim 90\%) \text{RH}(40^{\circ}\text{C})$,仪器在使用中允许有一般的震动和冲击,通用仪器应符合该组要求;Ⅲ组仪器可工作在室外环境,要求温度为 $10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$,湿度为 $(5\%\sim 90\%) \text{RH}(50^{\circ}\text{C})$,在运输过程中允许受到震动和冲击。

1. 按照被测量的特性和分类

(1) 时域测试仪器

该类仪器用于测试电信号在时域的各种特性,例如,观察和测试信号的时基波形(示波器),测量电信号的电压、电流及功率(电压表、电流表及功率计),测量电信号的频率、周期、相位及时间间隔(通用计数器、频率计、相位计及时间计数器等),测量脉冲占空比、上升沿、下降沿,测量失真度及调制度等。

(2) 频域测试仪器

该类仪器用于测量信号的频谱、功率谱、相位噪声功率谱等,典型仪器有频谱分析仪、信号分析仪等。

(3) 调制域测试仪器

调制域描述了信号的频率、周期、时间间隔及相位随时间变化的关系,如图 1-1 所示。美国 HP 公司于 1987 年首先推出了调制域分析仪。使用调制域分析仪可测量诸如压控振荡器(VCO)的暂态过程和频率漂移,调频和调相的线性及失真,数据和时钟信号的相位抖动,脉宽调制信号,扫描范围、周期及线性,旋转机械的启动及运转状况,锁相环路的捕捉及跟踪范围,捷变频信号等。当然,也可无间隔地测量稳态信号的频率、周期及相位等。

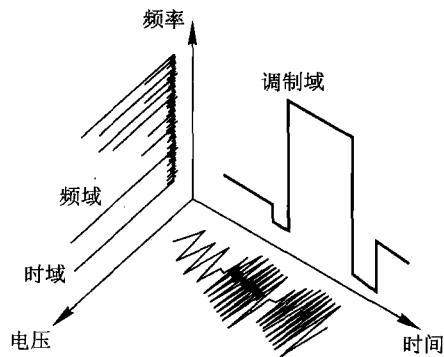


图 1-1-1 时域、频域和调制域

2. 测量电子元器件及电路网络参数的仪器

这类仪器包括:

- ① 测量电阻、电容、电感、阻抗、导纳及 Q 值等电子元件参数的仪器。
- ② 测量半导体分立器件、模拟集成电路及数字集成电路等电子器件特性的仪器。
- ③ 测量各类无源和有源电路网络特性的仪器,包括测量电路的传输系数、频率特性、冲激响应、灵敏度、驻波比及耦合度等特性的仪器。

3. 数据域测试仪器

这类仪器所测试的不是电信号的特性,而是各种数据,主要是二进制数据流。它们所关心的不是信号波形、幅度及相位等信息,而是信号在特定时刻的状态“0”和“1”,这些特定

时刻包括时钟、读/写、输入/输出、选通及芯片选择等信号的有效沿。因此,用数据域测试仪器测试数字系统的数据时,除了输入被测数据流外,还应输入选通信号,以正确选通输入数据流。数据域测试的另一个特点是多通道输入,例如,当测试微型计算机的地址或数据总线时可多达 32 路或 64 路。该类仪器还有丰富的显示、触发及跟踪等功能。

4. 随机域测量仪器

这类仪器主要对各种噪声、干扰信号等随机量进行测量。

1.2.3 电子测量仪器的主要技术指标

从获得的测量结果角度评价测量仪表的性能,主要包括以下几个方面。

1. 精度

精度是指测量仪器的读数或测量结果与被测量真值相一致的程度。对精度目前还没有一个公认的定量的数学表达式,因此常作为一个笼统的概念来使用,其含义是:精度高,表明误差小;精度低,表明误差大。因此,精度不仅用来评价测量仪器的性能,也是评定测量结果最主要、最基本的指标。

2. 稳定性

稳定性通常用稳定度和影响量两个参数来表征。

稳定度也称稳定误差,是指在规定的时间内,其他外界条件恒定不变的情况下,仪器示值变化的大小。造成这种示值变化的原因主要是仪器内部各元器件的特性不同,参数不稳定和老化等。稳定度可用示值绝对变化量与时间一起表示。例如,某数字电压表的稳定度为 $(0.008\%U_m + 0.003\%U_x)/8h$,其含义是:在 8h 内,测量同一电压,在外界条件维持不变的情况下,电压表的示值可能发生 $0.008\%U_m + 0.003\%U_x$ 的上下波动,其中 U_m 为该量程满度值, U_x 为示值。稳定度也可用示值的相对变化率与时间一起表示。例如,国产 XFC-6 标准信号发生器,在 220V 电源电压和 20℃ 环境温度下,频率稳定度小于或等于 $2 \times 10^{-1}/10 \text{ min}$;XD6B 超低频信号发生器,正弦波幅度稳定度小于或等于 0.3%/1h 等。

由于电源电压、频率、环境温度、湿度、气压、震动等外界条件变化而造成表示值的变化量,称为影响量或影响误差,一般用示值偏差和引起该偏差的影响量一起表示。例如,EEI 610 晶体振荡器在环境温度从 10℃ 变化到 35℃ 时,频率漂移小于或等于 1×10^{-9} 等。

3. 灵敏度

灵敏度表示测量仪器对被测量变化的敏感程度,一般定义为测量仪表指示值(指针的偏转角度、数码的变化、位移的大小等)增量 Δy 与被测量增量 Δx 之比。例如,示波器在单位输入电压的作用下,示波管荧光屏上光点偏移的距离就定义为它的偏转灵敏度,单位为 V/cm, mV/cm 或 mV/div(毫伏每格)等。

灵敏度的另一种表述方式叫做分辨力或分辨率,定义为测量仪表所能区分的被测量的最小变化量。它在数字式仪表中经常使用。例如, SX1842 型数字电压表的分辨率为 1μV,

表示该电压表显示器上最末位跳变一个字时,对应的输入电压变化量为 $1\mu\text{V}$,即表示这种电压表能区分出最小为 $1\mu\text{V}$ 的电压变化。可见,分辨率的值越小,其灵敏度越高。由于存在各种干扰和人的感觉器官的分辨能力不同等因素,不必也不应该苛求仪器有过高的灵敏度,否则,将导致测量仪器过高的成本和实际测量操作的困难。通常,规定分辨率为允许绝对误差的 $1/3$ 即可。

4. 线性度

线性度表示仪器的输出量(示值)随输入量(被测量)变化的规律。若仪表的输出为 y ,输入为 x ,两者关系用函数 $y=f(x)$ 表示。如果 $y=f(x)$ 为 xOy 平面上过原点的直线,则称为线性刻度特性,否则称为非线性刻度特性。由于各类仪器原理不同,可能呈现不同的刻度特性,例如,常用的模拟万用表的电阻挡,具有上凸的非线性刻度特性;而数字电压表具有线性刻度特性。仪器的线性度可用线性误差表示。

5. 动态特性

电子测量仪器的动态特性表示仪器的输出响应随输入变化的能力。例如,模拟电压表由于动圈式表头指针惯性、轴承摩擦、空气阻尼等因素的作用,使得仪表的指针不能瞬间稳定在固定值上;而数字电压表则响应较快。

应当指出,上述各特性是就一般情况而论的,并非所有仪器都要用上述特性来考核。有些测量仪器还可能有其他的技术要求,将在后面有关章节中进行具体介绍。

1.3 误差的概念与表示方法

1.3.1 测量误差

测量是为确定被测定对象的量值而进行的实验过程。一个量在被观测时,该量本身所具有的真实大小称为真值。但是在测量中,人们通过实验的方法来求被测量的真值时,由于对客观规律认识的局限性,测量器具不准确,测量手段不完善,测量条件发生变化及测量工作中的疏忽或错误等原因,都会使测量结果与真值不同,这个差别就是测量误差。

因此,误差就是测量值(或称测值)与真值之差,可用下式表示:

$$\text{误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

例如,在电压测量中,真实电压为 5V ,测得的电压为 5.3V ,则

$$\text{误差} = (5.3 - 5)\text{V} = 0.3\text{V}$$

误差在测量中是难以避免的。因为被测量的真值虽然是客观存在的,但却又难以获得,所以实际上人们允许有一定误差的存在。例如,现在看看自己的表,时间是多少?不可能与“真值”完全一样,会存在一定的误差,只要误差不超出 1min ,一般是可以接受的。片面追求误差小会造成人力和物力的浪费。