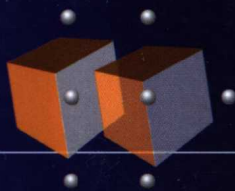


高等学校电子信息科学与工程类专业教材



电子测量技术

林占江 主编
张乃国 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校电子信息科学与工程类专业教材

电子测量技术

林占江 主编

张乃国 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书系统地阐述电子测量的原理与方法,以及近代电子测量仪器的原理与应用。内容包括:测量误差分析与数据处理、模拟测量方法、数字测量方法、时域测量、频域测量、数据域测量及自动测试系统等。每章均附有习题。

本书在选材上具有一定的先进性、系统性和实用性。内容丰富,实用面广。可作为高等院校电子信息类(非仪器制造)专业的教材或参考书,对于从事电子技术工作的科技人员也有较大的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术/林占江主编. —北京:电子工业出版社,2003.9

高等学校电子信息科学与工程类专业教材

ISBN 7-5053-9138-0

I. 电... II. 林... III. 电子测量-高等学校-教材 IV. TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第080176号

责任编辑:韩同平

印刷者:北京市通州大中印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:21 字数:483.8千字

版 次:2003年9月第1版 2003年9月第1次印刷

印 数:5000册 定价:27.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本书是按电子信息类专业的教学要求编写的教材。目的是使学生掌握近代电子测量的基本原理和方法,熟悉新型电子测量仪器的应用技术,在科学实验中具有制订先进、合理的测量和测试方案,正确选用测量仪器,严格处理数据,以获得最佳测试结果的能力。

本书具有较强的理论性和实践性,按照采集、处理传输信号的性质和特征来划分章节。由于测量和仪器的先导作用,所有电子技术的应用热点都会成为测量、测试技术的生长点,这在高速发展的信息产业中体现得最为突出。因此,本书力求内容丰富,叙述精练,尽量反映当代测量技术的新成就,有利于教学使用。基于上述考虑,主要内容由四部分组成:

(1) 测量误差分析与数据处理。重点介绍误差的基本概念、来源、性质、估算方法、减小措施、测量数据的处理及测量方案的设计等。

(2) 模拟量和数字量的测量。包括各种电压、频率、时间、相位、失真度、功率及 Q 值等参数。将模拟量和数字量的测量分别加以阐述,有利于学生领会和应用。

(3) 利用屏幕显示技术实现的测量。详细论述波形测试技术(时域)、扫频技术与频谱分析(频域)、数字系统逻辑量的测试(数据域)等。

(4) 自动测试系统在电子测量中的应用。包括自动测试系统的概述、VXI 总线仪器系统及虚拟仪器等。

本书是在清华大学张乃国老师编著的《电子测量技术》一书的基础上进行改编和补充的。第 1~7 章由林占江编写,第 8 章由郭树旭编写。最后由林占江统稿。张乃国老师提供了大量资料,指导拟订全书的编写大纲,并对书中的内容进行审阅。

对于在编写过程中提供帮助及参考文献的作者等一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,编写时间比较仓促,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 测量与计量的基本概念	(1)
1.2 电子测量的内容与特点	(2)
1.3 电子测量仪器的分类	(4)
1.4 电子测量方法	(5)
1.5 计量的基本内容	(8)
习题	(12)
第 2 章 测量误差分析与数据处理	(13)
2.1 测量误差的基本原理	(13)
2.1.1 研究误差的目的	(13)
2.1.2 测量误差的表示方法	(14)
2.1.3 电子测量仪器误差的表示方法	(17)
2.1.4 一次直接测量时最大误差的估计	(19)
2.2 测量误差的分类	(20)
2.2.1 误差的来源	(20)
2.2.2 测量误差的分类	(21)
2.2.3 测量结果的评定	(23)
2.3 随机误差的统计特性及其估算方法	(24)
2.3.1 测量值的数学期望与标准差	(24)
2.3.2 贝塞尔公式及其应用	(27)
2.3.3 均匀分布情况下的标准差	(30)
2.3.4 非等精密度测量	(31)
2.4 系统误差的特征及其减小的方法	(33)
2.4.1 系统误差的特征	(33)
2.4.2 判断系统误差的方法	(34)
2.4.3 减小系统误差的方法	(35)
2.5 疏失误差及其判断准则	(39)
2.5.1 测量结果的置信问题	(39)
2.5.2 不确定度与坏值的剔除准则	(42)

2.6	测量数据的处理	(43)
2.6.1	数据舍入规则	(43)
2.6.2	等精密度测量结果的处理步骤	(45)
2.6.3	曲线修匀	(48)
2.6.4	最小二乘法原理	(50)
2.6.5	测量不确定度	(51)
2.7	误差的合成与分配	(53)
2.7.1	误差传递公式	(54)
2.7.2	常用函数的合成误差	(55)
2.7.3	系统误差的合成	(59)
2.7.4	按系统误差相同的原則分配误差	(61)
2.7.5	按对总误差影响相同的原則分配误差	(62)
2.7.6	微小误差准则	(63)
2.8	最佳测量条件的确定与测量方案的设计	(64)
2.8.1	最佳测量条件的确定	(64)
2.8.2	测量方案设计	(66)
	习题	(68)
第3章	模拟测量方法	(71)
3.1	电压测量概述	(71)
3.2	交流电压的测量	(73)
3.2.1	交流电压的表征	(73)
3.2.2	交流电压的测量方法	(74)
3.2.3	平均值电压的测量	(75)
3.2.4	有效值电压的测量	(81)
3.2.5	峰值电压的测量	(88)
3.2.6	脉冲电压的测量	(92)
3.3	噪声电压的测量	(99)
3.3.1	噪声的基本特性	(99)
3.3.2	用平均值表测量噪声电压	(99)
3.3.3	器件和放大器噪声的测量	(100)
3.4	分贝的测量	(109)
3.4.1	数学定义	(109)
3.4.2	分贝值的测量	(111)
3.5	失真度的测量	(112)
3.5.1	非线性失真的定义	(112)

3.5.2 失真度测量仪原理	(113)
3.5.3 有源陷波电路	(114)
3.5.4 失真度测量仪举例	(118)
3.6 功率的测量	(121)
3.6.1 音频与较高频信号功率的测量	(121)
3.6.2 误差分析	(123)
3.6.3 功率表实例——射频功率表	(124)
3.7 Q值的测量	(125)
3.7.1 Q表的工作原理	(125)
3.7.2 用虚、实部分分离法测量阻抗	(126)
习题	(130)
第4章 数字测量方法	(132)
4.1 电压测量的数字化方法	(132)
4.1.1 DVM的特点	(133)
4.1.2 DVM的主要类型	(136)
4.1.3 DVM的测量误差	(144)
4.2 直流数字电压表	(146)
4.3 多用型数字电压表	(150)
4.4 频率的测量	(156)
4.4.1 标准频率源	(157)
4.4.2 电子计数式频率计的原理	(158)
4.4.3 频率计数器的组成	(159)
4.4.4 高精度 10 MHz 频率计	(160)
4.4.5 脉冲累计的测量	(162)
4.4.6 用计数式频率计测量频率比	(163)
4.4.7 误差分析	(163)
4.5 时间的测量	(166)
4.6 相位的测量	(169)
4.6.1 脉冲计数法测相位	(169)
4.6.2 数字相位计举例	(171)
习题	(172)
第5章 时域测量	(175)
5.1 示波器分类	(175)
5.2 模拟示波器	(178)

5.2.1	模拟示波器的基本构成	(178)
5.2.2	示波器显示波形的原理	(180)
5.2.3	示波管及直流供电系统	(189)
5.2.4	垂直系统	(190)
5.2.5	水平放大系统	(200)
5.3	多波形显示	(211)
5.3.1	多线显示和多踪显示	(212)
5.3.2	双扫描显示	(215)
5.4	取样示波器	(220)
5.5	记忆示波器	(222)
5.6	数字存储示波器	(228)
5.7	示波器功能扩展举例	(233)
5.8	示波器的应用与选择	(235)
	习题	(241)
第 6 章	频域测量	(244)
6.1	扫频仪常用基本概念及分类	(244)
6.2	扫频分析仪	(245)
6.2.1	扫频法的原理	(245)
6.2.2	获得扫频信号的方法	(246)
6.2.3	频率标记	(249)
6.2.4	频率特性测试仪	(249)
6.2.5	扫频仪的应用举例	(250)
6.3	信号的频谱分析方法	(252)
6.3.1	时域和频域的关系	(252)
6.3.2	谐波分析仪的原理	(254)
6.3.3	频谱分析仪的原理与应用	(255)
	习题	(259)
第 7 章	逻辑分析仪	(261)
7.1	概述	(261)
7.2	逻辑分析仪与模拟示波器比较	(264)
7.3	逻辑分析仪的组成与技术指标	(266)
7.3.1	逻辑分析仪的基本组成	(266)
7.3.2	逻辑分析仪的主要技术指标	(271)
7.3.3	逻辑分析仪的发展	(274)

7.4 逻辑状态分析仪	(276)
7.4.1 逻辑状态分析仪的组成与流程图	(276)
7.4.2 主要单元电路的原理	(280)
7.5 逻辑分析仪的应用	(290)
习题	(295)
第8章 自动测试系统	(296)
8.1 概述	(296)
8.1.1 自动测试系统的组成	(296)
8.1.2 自动测试系统的发展	(297)
8.1.3 自动测试系统的总线	(297)
8.2 个人仪器系统	(300)
8.2.1 DVM个人仪器	(300)
8.2.2 HP-PC 仪器系统	(303)
8.3 VXI 总线仪器系统	(306)
8.3.1 VXI 总线仪器系统概述	(306)
8.3.2 VXI 总线仪器系统软件	(309)
8.3.3 VXI 总线仪器系统的组建	(314)
8.4 自动测试系统软件设计	(316)
8.5 虚拟仪器及实现	(320)
参考文献	(326)

第 1 章 绪 论

内 容 摘 要

本章重点介绍测量与计量的基本概念、常用术语,电子测量的内容、特点与分类,并对电子测量的方法做详细论述。简介计量基准的划分,计量器具的特征,以及自动化测试系统等电子测量方面的基础知识。

1.1 测量与计量的基本概念

测量是人类对客观事物取得数量概念的认识过程,是人们认识和改造自然的一种不可缺少的手段。在自然界中,对于任何被研究的对象,若要定量地进行评价,必须通过测量来实现。在电子技术领域中,中肯的分析只能来自正确的测量。

测量技术主要研究测量原理、方法和仪器等方面内容。凡是利用电子技术进行的测量都可以称为电子测量。电子测量涉及到在宽广频率范围内的所有电量、磁量以及各种非电量的测量。电子测量广泛应用于科学研究、实验测试、工农业生产、通信、医疗及军事等领域。如今电子测量已经成为一门发展迅速、应用广泛、精确度愈来愈高、对现代科学技术发展起着巨大推动作用的独立学科。

测量的定义是:为确定被测对象的量值而进行的实验过程。

通常,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。当然测量的结果也可以用一组数据、曲线或图形等方式表示出来,但它们同样包含着具体的数值与单位。没有单位,量值是没有物理意义的。

在测量过程中,不可避免地存在着误差。在表示测量结果时应将测量结果与误差同时标注出来,说明测量结果可信赖的程度。

量值:由数值与计量单位的乘积表示量的大小。例如,5 mV,3 A 等。

被测量:被测量的量。它可以是待测量的量,也可以是已测量的量。

影响量:不是被测量,但却影响被测量的量值或计量器具示值的量。例如,环境温度、被测交流电压的频率等。

量的真值:某量在所处的条件下被完美地确定或严格定义的量值。或者可以理解为没有误差的量值。量的真值是一个理想的概念,实际上不可能确切得知,只能随着科技的发展及认识的提高去逐渐接近它。然而,也可以说,保存在国际(国家)的基准,按定义规定,在特定条件下的值可视为是真值。

近年来,在测量不确定度的表述中,鉴于量的真值是一个理想的概念,已不再使用它,而代

之以“量的值”或“被测量的值”。

约定真值:为约定目的而取的可以代替真值的量值。一般来说,约定真值与真值的差值可以忽略不计。故在实际应用中,约定真值可以代替真值。

准值:一个明确规定的值,以它为基准定义准值误差。例如,该值可以是被测值、测量范围上限、刻度盘范围、某一预调值,或其他明确规定的值。

示值:对于测量仪器,是指示值或记录值;对于标准器具是标称值或名义值;对于供给量仪器是设置值或标称值。

额定值:由制造者为设备或仪器在规定工作条件下指定的量值。

读数:是仪器刻度盘,或显示器上直接读到的数字。例如,以 100 分度表示 50 mA 的电流表,当指针指在 50 处时,读数是 50,而示值为 25 mA。有时为了避免差错和便于查对,在记录测量的示值时应同时记下读数。

实际值:满足规定精确度的用来代替真值的量值。实际值可以理解为由实验获得的,在一定程度上接近真值的量值。在计量检定中,通常将上级计量标准所复现的量值称为下级计量器具的实际值。

测得值(测量值):由测量得出的量值。它可能是从计量器具直接得出的量值,也可能是通过必要的换算查表等(如系数换算、借助于相应的图表或曲线等)所得出的量值。

1.2 电子测量的内容与特点

1. 电子测量的内容

随着电子技术的不断发展,测量的内容愈来愈多。对于电参数的测量,分为电磁测量与电子测量两类。前者注重研究交直流电量的指示测量法与比较测量法,以及磁量的测量方法等;后者是以电子技术理论为依据,以电子测量仪器和设备为手段,以电量和非电量为测量对象的测量过程。

电子测量的内容包括:

- ① 电能量的测量(各种频率和波形的电压、电流、电功率等);
- ② 电信号特性的测量(信号波形、频率、相位、噪声及逻辑状态等);
- ③ 电路参数的测量(阻抗、品质因数、电子器件的参数等);
- ④ 导出量的测量(增益、失真度、调幅度等);
- ⑤ 特性曲线的显示(幅频特性、相频特性及器件特性等)。

随着电子技术的发展,人们力图通过传感器将许多非电量转换成电信号,再利用电子技术进行测量。例如,天文观测、宇宙航行、地震预报、矿物探测,生产过程检测中的温度、压力、流量、液面、速度、位移,以及成分分析等,都可以转换成电信号进行测量。

电子测量除了对电参量进行稳态测量以外,还可以对自动控制系统的过渡过程及频率特性等进行动态测量。例如,通过对一个轧钢的电气传动系统的模拟,计算机可以自动描绘出动

态过程曲线;对于化工系统的生产过程进行自动检测与分析,等等。

当然,其他科学技术领域的发展也对电子测量技术起着巨大的推动作用。例如,半导体技术、计算技术、近代物理学等,均为电子测量的发展提供了新理论、新材料、新器件及新技术。同时由微型计算机、单片机、数字信号处理器等组成的自动化、智能化仪器不断涌现。各学科和领域这种相辅相成、互相促进的局面表明,掌握电子测量技术是对理工科大学学生及科技人员提出的一个基本要求。

2. 电子测量的特点

与其他测量相比,电子测量具有以下几个明显的特点:

(1) 频率范围宽

除测量直流电量外,还可以测量交流电量,其频率范围低至 10^{-4} Hz,高至数 THz($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$,读做太[拉]赫)。电子测量设备能够工作在这样宽的频率范围,使它的应用范围大为扩展。如果利用各种传感器,则几乎可以测量全部电磁频谱的物理量。当然对于不同频段的测量需采用不同的测量方法与测量仪器。

(2) 量程范围广

量程是仪器测量范围上限值与下限值之差。由于被测量的大小相差很大,因而要求测量仪器具有足够的量程。对一台电子仪器,往往要求最高量程与最低量程要相差几个甚至十几个数量级。例如,一台数字电压表,要求能测出从纳伏(nV)级至千伏级的电压;用于测量频率的电子计数式频率计,其高低量程相差近 17 个数量级。量程范围广正是电子测量的突出优点。

(3) 测量准确度高

电子测量的准确度比其他测量方法高得多。例如,长度测量的准确度最高为 10^{-8} ,而用电子测量方法对频率和时间进行的测量,由于采用原子频标和原子秒作为基准,可以使测量准确度达到 10^{-13} 的量级,这是目前人类在测量准确度方面达到的最高指标。电子测量的准确度高,正是它在现代科学技术领域得到广泛应用的重要原因之一。由于目前频率测量的准确度最高,所以人们往往尽可能地其他参数变换成频率信号再进行测量。

(4) 测量速度快

由于电子测量是通过电子技术实现的,因而测量速度很快。这也是电子测量在现代科学技术领域内得到广泛应用的一个重要原因。例如,洲际导弹的发射和运行过程中就需要快速测出它的工作参数,通过计算机运算,再对它的运行发出控制信号,以使它达到预期的目标,这个过程如果测量速度较慢,就不能进行及时调整,自动控制系统就会失去作用。

同样道理,工业自动控制系统中,在生产线上进行“在线测量”,及时对机械运转状态或物质成分的比例进行调节,这对于提高生产效率和产品质量都具有重大意义。在某些场合,要求对测量结果迅速进行数据处理,再发出控制信号。这样,对测量速度就提出了更高的要求。

在有些测量过程中,希望在相同条件下对同一量进行多次测量,再用求平均值的方法以减小误差。但是测量条件容易随时间变化,这时可以采用提高测量速度的方法,在短时间内完成多次测量,从而提高精密度。

(5) 易于实现遥测和测量过程的自动化

对于人体不便于接触和无法达到的区域,如深海、地下、高温炉、核反应堆等,可以将传感器埋入其内部,或者通过电磁波、光、辐射等方式进行测量,这就是一般所说的遥测。

电子测量同电子计算机相结合,使测量仪器智能化,并在自动化系统中占据重要的地位。尤其是大规模集成电路和微处理器的应用,使电子测量呈现了崭新的局面。例如,自动转换量程,自动调节,自动校准,自动记录,自动地进行数据处理,自动修正等。

电子测量技术的新水平往往是科学技术最新成果的反映。因此,一个国家电子测量技术的水平,往往可以标志这个国家科学技术的水平,这就使得电子测量技术引人注目地在迅速发展。

(6) 易于实现仪器小型化

随着微电子器件集成度的不断提高,可编程器件和微处理器及 ASIC 电路的采用,使电子仪器正向着小型化发展。特别是随着模块式仪器系统的采用,把多个仪器模块连同计算机一起装入一个机箱内,组成自动测试系统,使之更为紧凑。

1.3 电子测量仪器的分类

测量仪器是指用于检测或测量一个量,或为达到测量目的而提供的测量器具,包括各种指示式仪器、比较式仪器、记录式仪器、信号源、稳压电源及传感器等。利用电子技术构成的测量仪器,称为电子测量仪器。

电子测量仪器的种类很多,一般分为专用仪器和通用仪器两大类。前者指为某一个或几个专门目的而设计的,如电视彩色信号发生器;后者是为了测量某一个或几个电参数而设计的,它能用于多种电子测量,如电子示波器等。

通用电子仪器按其功能可分为以下几类:

(1) 信号发生器

用于提供测量的各种波形信号。例如,低频、高频、脉冲、函数、扫频及噪声信号发生器等。

(2) 信号分析仪

用于观测、分析和记录各种电量的变化,包括时域、频域和数据域分析仪。例如,各种示波器、波形分析仪、频谱分析仪和逻辑分析仪等。

(3) 频率、时间及相位测量仪器

这类仪器包括各种频率计(常用电子计数器式)、相位计,以及各种时间、频率标准等。

(4) 网络特性测量仪

这类仪器有频率特性测试仪(扫频仪)、阻抗测量仪及网络分析仪等,主要用于测量频率特性、阻抗特性及噪声特性等。

(5) 电子元器件测试仪

用于测量各种电子元件的电参数及显示特性曲线等。例如,RLC 测试仪、晶体管参数测试仪、晶体管特性图示仪、模拟或数字集成电路测试仪等。

(6) 电波特性测试仪

用于测量电波传播、电磁场强度及干扰强度等。例如,场强仪、测试接收机、干扰测量仪等。

(7) 辅助仪器

与上述各种仪器配合使用的仪器。例如,各种放大器、衰减器、检波器、滤波器、记录器,以及各种交直流稳压电源等。

按显示方式分,电子测量仪器有模拟式和数字式两大类。前者主要是用指针方式直接将测量的电参数转换为机械位移,在标度尺上指示出测量数值,如各种电子电压表等。后者是将被测的连续变化的模拟量转换为数字量,并以数字方式显示其测量数据,达到直观、准确、快速的效果,如各种数字电压表、数字频率计等。

可以看出,电子测量仪器品种繁多,用途各异,在工作中应合理选择使用。

近年来,电子测量仪器的发展十分迅速。从20世纪50年代起,晶体管仪器相继出现,并逐步取代了大部分电子管仪器。从20世纪60年代开始,集成电路问世,数字仪器不断涌现,使仪器的体积、重量、功耗大幅度减小,准确度明显提高,在工业、科技及军事上的应用越来越多。从20世纪70年代起,随着微处理器研制成功,微机化仪器迅速发展,多功能、高性能的智能仪器达到上千种,已部分取代了传统仪器。

从总的发展趋势来看,我国常规的以晶体管和集成电路为主体的仪器,正在进行由模拟到数字化的转变,带微处理器的仪器已有不少品种,以个人计算机为基础构成的个人仪器及自动测试系统正处在大力研制和试生产阶段。目前,各研制单位为提高仪器的质量、稳定性及可靠性,实现仪器的集成化、数字化、微机化和机电一体化(含传感器等)正进行着不懈的努力。

1.4 电子测量方法

为实现测量目的,正确选择测量方法是极其重要的。它直接关系到测量工作能否正常进行和测量结果的有效性。测量方法的分类大致有以下几种。

1. 电子测量方法的分类

(1) 按测量方法分类

① 直接测量

无需通过被测量与其他实际测得的量之间的函数关系进行计算,而直接得出被测量值的一种测量方法。

注:④即使需要借助图表才能将测量仪器的标度值转换成测量的值,该测得量也认为是直接测得的;⑤即使为了进行校正而需要做一些补充测量,以确定影响量的值,也仍认为是直接测量法。例如,用电压表测量晶体管各极的工作电压等。

② 间接测量

利用直接测量的量与被测的量之间已知的函数关系,得到该被测量值的测量方法叫间接测量。例如,测量电阻的消耗功率 $P = UI = I^2 R = U^2 / R$,可以通过直接测量电压、电流或测

量电流、电阻等方法求出。

当被测量不便于直接测量,或者间接测量的结果比直接测量更为准确时,多采用间接测量方法。例如,测量晶体管的集电极电流,较多采用直接测量集电极电阻(R)上的电压,再通过公式 $I_c = U_R/R$ 算出,而不用断开电路串入电流表的方法。测量放大器的电压放大倍数 A ,一般是分别测量输出电压 U_o 与输入电压 U_i 后,再算出 $A_u = U_o/U_i$ 。

③ 组合测量

它是兼用直接测量与间接测量的方法。将被测量和另外几个量组成联立方程,通过测量这几个量来最后求解联立方程,从而得出被测量的大小。用计算机来求解,是比较方便的。

(2) 直读测量法与比较测量法

① 直读测量法

直接从仪器仪表的刻度线上读出测量结果的方法叫直读测量法。例如,一般用电压表测量电压,利用温度计测量温度等都是直读测量法。这种方法是根据仪器仪表的读数来判断被测量的大小的,作为计量标准的实物并不直接参与测量。

这种方法具有简单方便等优点,被广泛应用。

② 比较测量法

在测量过程中,被测量与标准量直接进行比较而获得测量结果的方法叫比较测量法。电桥就是典型的例子,利用标准电阻(电容,电感)对被测量进行测量。

由上述可见,直读法与直接测量、比较法与间接测量并不相同,二者互有交叉。例如,用电桥测电阻,是比较法,属于直接测量;用电压、电流表法测量功率,是直读法,但属于间接测量。

测量方法还可以根据测量的方式分为自动测量和非自动测量,原位测量和远距离测量等。

根据测量精确度来分,有精密测量与工程测量两类。前者多在计量室或实验室进行,要深入研究测量误差问题。后者也要研究测量误差,但不是很严格,所选用的仪器仪表的准确度等级必须满足实际使用的需要。

(3) 按测量性质分类

尽管被测量的种类繁多,但它们总要在一定的电路中反映出自己的特点。大致有四种情况:

① 时域测量

例如,测量电压、电流等,它们有稳态量和瞬时量。前者多用仪表直接指示,后者可以通过示波器显示其波形,观察其变化规律。

② 频域测量

例如,测量增益、相移等,可通过分析电路的幅频特性或频谱特性等进行测量。

③ 数据域测量

这是用逻辑分析仪对数字量进行测量的方法,它具有多个输入通道,可以同时观测许多单次并行的数据。例如,微处理器地址线、数据线上的信号,可以显示其时序波形,也可以用“1”、“0”显示其逻辑状态。

④ 随机量测量

例如,各类噪声、干扰信号等,可利用噪声信号源等进行动态测量,这是一种比较新的测量

技术。

在电子测量中,经常要用到各种变换技术。例如,变频、分频、检频、斩波,以及电压-频率($U-F$)、电压-时间($U-T$)、模/数(A/D)、数/模(D/A)变换等,这些将在后续内容中讨论。

2. 电子测量仪器的发展

电子测量仪器的发展大体经历了如下四个阶段:

- ① 模拟仪器:它的基本结构是电磁机械式的,借助指针来显示测量结果。
- ② 数字仪器:它将模拟信号的测量转换为数字信号的测量,并以数字方式输出测量结果。
- ③ 智能仪器:它内置微处理器和 GPIB 接口,既能进行自动测量又具有一定的数据处理能力。它的功能模块全部以硬件或固化的软件形式存在,但在开发或应用上缺乏灵活性。
- ④ 虚拟仪器:它是一种功能意义上的仪器,在微计算机上添加强大的测试应用软件和—些硬件模块,具有虚拟仪器面板和测量信息处理系统,使用户操作微机就像操作真实仪器—样。虚拟仪器强调软件的作用,提出软件就是仪器的概念。

3. 选择测量方法的原则

在选择测量方法时,应首先研究被测量本身的特性,所需要的精确程度、环境条件,以及所具有的测量设备等因素,综合考虑后,再确定采用哪种测量方法和选择哪些测量设备。

正确的测量方法,可以得到精确的测量结果。否则就会出现:①得出的测量数据是错误的,不可信赖;②损坏测量仪器、仪表;③损坏被测设备或元器件等。

【例1】用万用表的 $R \times 1$ 挡测试晶体三极管的发射结电阻或用图示仪显示输入特性曲线时,由于限流电阻较小而使基极注入电流过大,结果使晶体管尚未工作就在测试过程中被损坏了。

【例2】用 PS—10 型数字式频率计测量—振荡电路(图 1.4-1)的谐振频率。

此仪器的测量范围为 $10 \text{ Hz} \sim 200 \text{ MHz}$,当被测频率约为 1 MHz ,取样时间为 1 s 时,其准确度可达 $\pm 10^{-6}$ 量级。可见,可以测得相当准确。

由于此频率计的输入电阻很低(50Ω),与谐振回路并联后,将严重影响振荡频率,甚至会使其停振而无法测量。这时用准确度较低的示波器(先进行校准)进行测量,其效果会更好些。可见,欲使测量结果准确,必须使测量方法与测量仪器相配合。所以,正确地选择测量方法、仪器设备及编制测试程序是十分重要的。

【例3】测量如图 1.4-2(a)所示的恒流式差动放大电路中 VT_1 管的集电极电位。在集电极与地之间用—台内阻为 $10 \text{ M}\Omega$ 的数字电压表来测量,示值为 5 V ;而用电压灵敏度为 $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$ 的万用表直流电压 6 V 挡来测量,示值只有 3 V (仪表的准确度影响不计)。这可以用如图

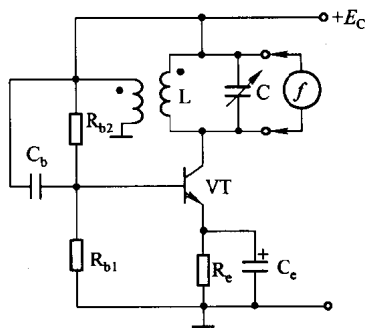


图 1.4-1 用数字频率计直接测量振荡频率的电路

1.4-2(b)所示的等效电路来说明。

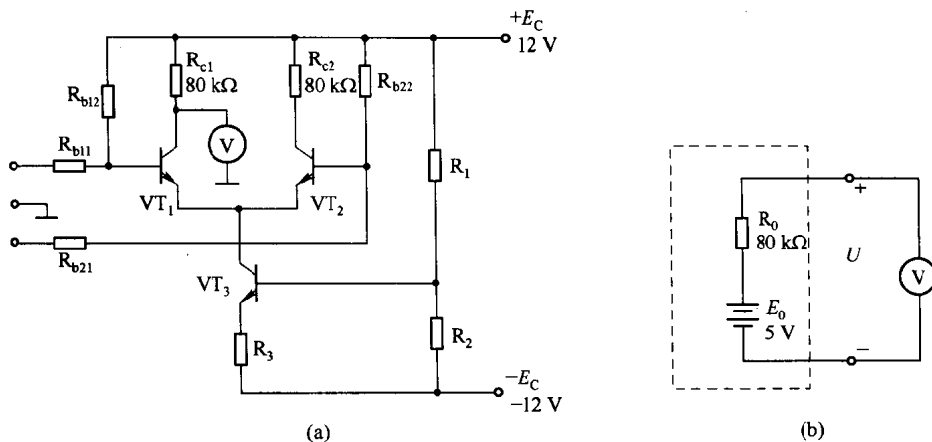


图 1.4-2 用万用表测高内阻回路电压的电路

电压表的内阻 $R_V = 20 \text{ k}\Omega/\text{V} \times 6 \text{ V} = 120 \text{ k}\Omega$, R_V 与等效电阻 R_0 的分压就是电压表的示值

$$U = \frac{R_V}{R_0 + R_V} E_0 = \frac{120}{80 + 120} \times 5 = 3 \text{ V}$$

由此可以算出其相对误差

$$\gamma_V = \frac{U - E_0}{E_0} \times 100\% = \frac{3 - 5}{5} \times 100\% = -40\%$$

可见,由于万用表内阻较小,在测量高内阻回路的电压时将会造成较大的方法误差,这时应当选用较高内阻的仪表来测量。

1.5 计量的基本内容

计量是为了保证量值的统一和准确一致的一种测量。它的三个主要特征是统一性、准确性和法制性。

计量学是研究测量、保证测量统一和准确的科学。计量学研究计量单位及其基准、标准的建立、保存和使用;测量方法和计量器具;测量的准确度及计量法制和管理等。计量学也包括研究物理常数、标准物质及材料特性的准确测定等。

计量是国民经济的一项重要的技术基础。计量工作在国民经济建设中占有十分重要的地位,对于改善企业管理、提高产品质量、节约能源,为实现标准化、自动化提供科学数据等方面都起着重要的作用。同样道理,计量科学技术的水平一般也可以标志着一个国家科学技术发展的水平。

计量工作对电子产品的质量管理的尤为重要。产品出厂前要经过严格的计量检定,仪器仪表在使用过程中要定期进行检验和校准,以确保测量的准确性。