

电子测量仪器 原理与使用

林占江 编著
林放
张乃国 审

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



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电子测量仪器原理与使用

林占江 林 放 编著
张乃国 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地阐述了各种电子测量仪器的工作原理与使用。内容包括:基础知识、测量用信号发生器、电子电压表、电子示波器、电子计数器、元件参数测试仪、晶体管特性图示仪、数字集成电路测试仪、频谱分析仪、频率特性测试仪(扫频仪)、网络分析仪、逻辑分析仪、虚拟仪器等。

本书在选材上具有先进性、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和计算机类等专业的教材或参考书,也可作为工矿企业、科研单位、国防部门的广大科技工程技术人员的工具书。

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

电子测量仪器原理与使用/林占江,林放编著. —北京:电子工业出版社,2006.4

ISBN 7-121-02388-1

I. 电... II. ①林...②林... III. 电子测量设备—基本知识 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 020812 号

责任编辑:魏永昌

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

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:787×1092 1/16 印张:25.25 字数:647 千字

印 次:2006 年 4 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:38.00 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 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本书详细地阐述了多种电子测量仪器的工作原理、性能、应用和操作等内容。包括测量用信号源、电子电压表、电子示波器、数字频率计、元件参数测试仪、集成电路测试仪、晶体管特性图示仪、频谱分析仪、频率特性测试仪(扫频仪)、网络分析仪、逻辑分析仪和虚拟仪器等。

本书所介绍的电子测量仪器是大专院校、科研单位、工矿企业、国防部门等常用的,也是必备的电子测量仪器。因此,它具有较强的通用性、系统性和实用性。本书所涉及的内容广泛,涵盖了电工基础、电子技术、自动控制和微型计算机原理等知识领域。现代电子测量仪器作为一门学科,在科学技术领域里起着举足轻重的作用。电子测量仪器是一个整机,其本身就构成一个独立的电子线路系统,在电子信息类和计算机类专业教材中能够充分体现现代仪器仪表的设计思想、系统组成、单元电路计算、元器件选择及总体评价等。这对巩固相关课程理论知识,提高对整机的认识和工程估算能力等具有非常重要的实用价值。另外,本书在内容选择上力求体现现代电子技术的最新成果,使本书不但具有教材上的普遍性,还具有理论上的科学性和先进性。

本书与2003年9月出版的“高等院校电子信息科学与工程类专业教材”《电子测量技术》(由林占江主编 电子工业出版社出版)一书均是吉林大学“十五”规划立项教材。

本书第1、2、4、5、6、7、10、12、14章由吉林大学林占江编写,第9、11、13章由广东工业大学林放编写,第8章由广东工业大学舒畅编写,第3章由天津大学孟伶俐编写,最后由林占江统稿。

本书在编写过程中,清华大学张乃国老师给予了大力的支持和帮助,并亲自审阅了全部书稿,提出了许多宝贵意见。对于为本书提供资料的企业(公司)、参考文献的作者及提供资料的作者一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 电子测量的意义及特点	1
1.1.1 电子测量的意义	1
1.1.2 电子测量的特点	1
1.2 电子测量的内容与方法	2
1.2.1 电子测量的内容	2
1.2.2 电子测量方法	3
1.2.3 选择测量方法的原则	4
1.3 电子测量仪器的分类与误差	5
1.3.1 电子测量仪器的分类及发展	5
1.3.2 电子测量仪器的误差	6
1.4 电子测量仪器的选择与使用范围扩展	8
1.4.1 电子测量仪器的选择	9
1.4.2 使用范围扩展	9
1.5 电子测量系统中的干扰及其抑制	12
1.5.1 干扰的主要来源	13
1.5.2 干扰的一般传输途径	13
1.5.3 干扰的抑制方法	15
1.6 电子测量仪器的操作安全要求与检验	16
1.6.1 电子测量仪器的操作安全要求	16
1.6.2 电子测量仪器的检验	16
1.7 电子测量仪器发展趋势	17
1.8 我国电子仪器发展概况	18
第 2 章 测量用信号发生器	19
2.1 信号发生器的功能	19
2.1.1 放大电路性能的测试	19
2.1.2 在检修电子设备中的应用	20
2.2 信号发生器的分类及工作特性	21
2.2.1 信号发生器的分类	21
2.2.2 正弦信号发生器的工作特性	23
2.3 低频信号发生器	24
2.3.1 整机工作原理方框图	24
2.3.2 文氏电桥振荡器	25
2.4 正弦波信号发生器典型电路分析	27
2.4.1 文氏电桥振荡器的放大电路	27
2.4.2 功率放大器	29

2.4.3	方波与 TTL 电路	31
2.4.4	测频电路	31
2.4.5	表头显示电路	34
2.5	函数信号发生器电路分析	36
2.5.1	电路工作原理	36
2.5.2	单元电路分析	36
2.6	DDS 数字式频率合成信号发生器	45
2.6.1	概述	45
2.6.2	DDS 的基本原理	47
2.6.3	DDS 的特点	50
2.6.4	DDS 芯片的应用	51
第 3 章	电子电压表	58
3.1	概述	58
3.2	直流数字电压表的分类	58
3.3	直流数字电压表与多用表的组成	59
3.4	数字式电压表(DVM)的特点	60
3.5	电压-时间积分型 DVM 工作原理	61
3.6	数字电压表典型电路分析	65
3.6.1	概述	65
3.6.2	典型仪器电路分析	66
3.7	多用型数字电压表的工作原理	73
3.7.1	直流电压的测量	73
3.7.2	交流电压的测量	74
3.7.3	直流电流的测量	76
3.7.4	电阻的测量	77
3.8	6½位自动数字多用表	78
3.8.1	工作原理框图	78
3.8.2	典型电路分析	80
第 4 章	电子示波器	86
4.1	概述	86
4.2	电子示波器分类	86
4.3	模拟示波器	87
4.3.1	模拟示波器的基本构成	87
4.3.2	电子示波器显示波形的工作原理	88
4.3.3	探极	93
4.4	多波形显示	95
4.4.1	多波形显示	95
4.4.2	多波形显示包括以下几种	95
4.5	典型模拟示波器电路分析	95
4.5.1	Y 通道系统	95
4.5.2	触发扫描系统	105

4.5.3 主机系统	117
4.5.4 操作使用	123
4.6 数字存储示波器	131
4.7 数字存储示波器中的关键器件	135
4.8 数字存储示波器中的典型电路	141
第5章 电子计数器	152
5.1 概述	152
5.1.1 基本概念	152
5.1.2 数字频率计的划分	152
5.2 通用计数器的基本工作原理	153
5.2.1 基本工作原理与组成	153
5.2.2 通用计数器的主要测试功能	156
5.3 频率计电路结构的分类	161
5.4 频率计数器典型电路分析	161
5.5 频率/功率计	165
5.6 选型依据与使用要点	167
第6章 元件参数测试仪	169
6.1 电阻的测量	169
6.2 电容的测量	174
6.2.1 直接测量法	174
6.2.2 电容数字化测量的常用方法	176
6.3 电感的测量	179
6.3.1 用交流电桥测电感、电容	179
6.3.2 RLC 测量电桥实例	181
6.3.3 电感数字化测量的一般方法	182
6.4 R、C、L 参数自动测量仪典型电路分析	182
6.4.1 概述	182
6.4.2 工作原理	183
6.4.3 典型电路分析	187
第7章 晶体管特性图示仪	203
7.1 概述	203
7.1.1 仪器的主要特点	203
7.1.2 技术性能	203
7.2 基本组成与工作原理	204
7.3 集电极扫描信号发生器	205
7.4 阶梯波信号发生器	206
7.5 X 轴、Y 轴放大器	210
7.6 示波管及其直流供电系统	211
7.7 低压电源	213
7.8 器件测试举例	214

7.8.1	三极管(例如 3DG4)输出特性测试	214
7.8.2	场效应晶体管(例如 3DJ6H)的测试	220
7.8.3	光电耦合器的测试(例如 GD316)	223
7.8.4	二极管的测试	224
7.8.5	晶体闸流管(SCR 例如 3CT5B 的测试)的测试	228
第 8 章	数字集成电路测试仪	230
8.1	概述	230
8.2	系统构成及主要功能	230
8.2.1	本系统的主要特点	231
8.2.2	测试系统的构成	231
8.2.3	主要功能	231
8.3	测试原理	232
8.3.1	功能测试原理	232
8.3.2	引脚测试原理	232
8.3.3	功能测试的实例	233
8.4	典型电路分析	237
8.4.1	程控电压源	237
8.4.2	程控电流源	239
8.4.3	引脚测试电路	240
8.4.4	数字电压表	242
8.5	操作界面介绍	242
8.5.1	主操作界面	242
8.5.2	文件操作	243
8.5.3	测试设置	246
8.5.4	测试	252
8.5.5	结果显示	253
第 9 章	频谱分析仪	255
9.1	时域和频域的关系	255
9.2	频谱分析仪的分类	257
9.3	频谱仪的基本概念	260
9.4	信号频谱测量	266
9.4.1	调幅信号分析	266
9.4.2	调频信号分析	268
9.4.3	脉冲调制信号分析	270
9.4.4	复合信号频谱分析	271
9.5	典型频谱分析仪	273
9.5.1	工作原理	273
9.5.2	结构特性	275
9.6	操作使用	275
第 10 章	频率特性测试仪(扫频仪)	280
10.1	概述	280

10.2	常用术语	280
10.3	典型扫频仪电路分析	281
10.3.1	主要技术指标	281
10.3.2	整机电路原理框图	281
10.3.3	单元电路工作原理	282
10.4	频标单元	285
10.5	Y通道单元	288
10.6	操作使用	289
10.7	测试实例	291
第11章	网络分析仪	295
11.1	概述	295
11.2	标量网络测量原理	295
11.2.1	标量测量的主要内容	295
11.2.2	标网分析仪工作原理	302
11.3	矢量网络分析仪	306
11.4	网络频谱分析仪	315
第12章	逻辑分析仪	319
12.1	概述	319
12.2	逻辑分析仪的特点	320
12.3	逻辑分析仪的分类	321
12.4	逻辑分析仪的基本工作原理	323
12.5	逻辑分析仪的主要电路	324
12.6	主要工作方式	325
12.7	逻辑分析仪的应用	330
第13章	虚拟仪器	335
13.1	概述	335
13.1.1	传统仪器与虚拟仪器	335
13.1.2	软件的功能	336
13.2	虚拟仪器的组成与分类	337
13.3	虚拟仪器的系统构成	338
13.4	虚拟仪器的特点与应用	338
13.4.1	虚拟仪器的特点	338
13.4.2	虚拟仪器的应用	340
13.5	虚拟仪器总线	340
13.5.1	VXI总线	341
13.5.2	PXI总线	344
13.5.3	IVI技术	347
13.6	虚拟仪器编程环境	349
13.6.1	LabWindows/CVI	349
13.6.2	LabVIEW	354

13.6.3 LabVIEW 的操作初步	359
13.6.4 LabVIEW 的程序结构	361
第 14 章 电子测量仪器的维护	365
14.1 概述	365
14.2 电子测量仪器检修工作的程序	366
14.3 电子测量仪器常用的检修方法	367
14.3.1 常用检修方法	368
14.3.2 仪器校准	372
14.3.3 电子测量仪器的维护	372
14.4 检修实例	374
附录 A 单片机 89C51 简介	377
附录 B PD1641 型函数信号发生器的使用说明	380
附录 C 电子示波器的使用说明	383
附录 D 晶体管特性图示仪的使用说明	388
参考文献	392

第 1 章 概 述

1.1 电子测量的意义及特点

1.1.1 电子测量的意义

测量的定义是:为确定被测对象的量值而进行的实验过程。

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,对任何被研究的对象,若要定量地进行评价,则必须通过测量来实现。在电子技术领域中,中肯的分析只能来源于正确的测量。

测量技术主要研究测量原理、方法和测量仪器等方面的内容。凡是利用电子技术进行的测量都可以称为电子测量。电子测量涉及宽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。

由于在电子技术领域中的新理论、新技术、新器件、新材料和新工艺的不断涌现,使电子测量得到了前所未有的迅速发展。并且使电子测量仪器向小型便携、集多种功能于一机和廉价可靠、操作方便等方向迈进。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。

1.1.2 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]赫兹)。电子测量设备能够工作在这样宽的频率范围内,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要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。由于被测量的值大小相差很大,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

准确度达到 10^{-15} 数量级,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内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把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,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,希望对同一量在相同条件下进行多次测量,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,从而提高精确度。

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,例如深海、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广泛应用,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。这就是电子测量技术引人注目的原因所在。

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,电子测量仪器正向着小型化、数字化、宽带化、智能化、综合化和网络化的方向发展。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装入一个机箱内组成自动测试系统,使之更为紧凑。目前,出现了智能仪器、模块仪器、卡式仪器及虚拟仪器等电子测量仪器。

1.2 电子测量的内容与方法

随着电子技术的不断发展,测量的内容越来越多。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,以及电磁量的测量方法等。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。

1.2.1 电子测量的内容

- (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、噪声以及逻辑状态等);
- (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);

(6) 元器件参数的测量,例如电阻、电感、电容、电子器件(二极管、晶体管、场效应晶体管及集成电路等)。

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、矿物探测及生产过程检测中的温度、压力、流量、液位、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。例如对一个轧钢的电气传动系统通过模拟,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。

当然,其他科学技术领域例如微电子技术、光电技术、计算技术、近代物理学等的发展也对电子测量技术起着巨大的推动作用。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、互相促进的情况表明,掌握电子测量技术对理工科大学生及科技人员是十分重要的。

1.2.2 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. 按测量方法划分

(1) 直接测量

直接测量是指无须通过被测量与其他实际测得量之间的函数关系进行计算,而是直接得出被测量值的一种测量方法。

注:① 即使需要借助图表,才能将测量仪器的标度值转换成测量值,该测得量也认为是直接测得的;

② 即使为了进行校正,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的。例如:用电压表测量晶体管各极的工作电压等。

(2) 间接测量

间接测量是指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。例如测量电阻的消耗功率 $P = UI = I^2R = U^2/R$,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。例如测量晶体管集电极电流,较多采用直接测量集电极电阻(R_c)上的电压,再通过公式 $I_c = U_c/R_c$ 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 $A = U_o/U_i$ 。

(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,通过直接测量这几个量最后求解联立方程,从而得出被测量的大小。用计算机来求解,是比较方便的。

2. 按获取测量结果方式划分

(1) 直读测量法

它是直接从仪器仪表的刻度线上读出测量结果或从显示器上直接显示出来的方法。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,因而被广泛应用。

(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。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,是为了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,可是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. 按测量性质划分

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。大致有五种情况:

(1) 时域测量

例如电压、电流测量等,它们有稳态量和瞬态量。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

例如增益、相移测量等,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,可以显示时序波形,也可以用“1”、“0”显示其逻辑状态。

(4) 调制域测量

例如调幅波、调频波等,有时在信号的测量中,调制域比频域、时域的描述更为准确。也有专门在调制域测量的调制域分析仪。

(5) 随机量测量

例如各类噪声、干扰信号等,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、检波、斩波及电压-频率($U-F$)、电压-时间($U-T$)、模数、数模转换等,它对提高测量精度是非常有用的。

1.2.3 选择测量方法的原则

在选择测量方法时,应首先研究被测量的特性,所需要的测量精确程度、环境条件,以及所具有的测量设备等因素,经综合考虑后,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:得出的测量数据是错误的,

不可信赖的;损坏测量仪器、仪表;损坏被测设备或元器件等。

例如,用万用表的 $R \times 1$ 挡测试晶体管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。

再如,用 PS-10 型数字式频率计测量一个振荡电路(见图 1-1)的谐振频率。

此仪器的测量范围为 10 Hz~200 MHz。当被测频率约为 1 MHz、取样时间为 1 s 时,其测量准确度可达 $\pm 10^{-6}$ 量级。可见,测得结果相当准确。

由于此频率计的输入阻抗很低(50 Ω),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、仪器设备及编制合理的测试程序是十分重要的。

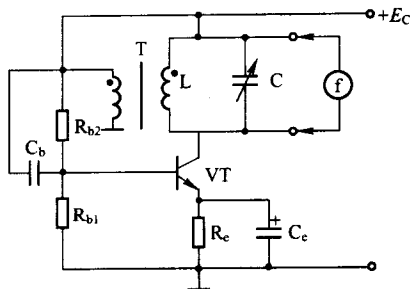


图 1-1 用数字频率计直接测量振荡频率的电路

1.3 电子测量仪器的分类与误差

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,一般分为专用电子测量仪器和通用电子测量仪器两大类,前者指为某一个或几个专门目的而设计的,例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,例如电子示波器等。

1.3.1 电子测量仪器的分类及发展

1. 按功能划分

(1) 信号发生器

用于提供测量用的各种波形信号,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、相位测量仪器

这类仪器有各种频率计(常用电子计数器)、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,主要用于测量电路的频率特性、阻抗特性、噪声特性等。

(5) 电子元件测试仪

用于测量各种电子元件的电参数、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、干扰强度等,例如场强计、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、记录器及各种交直流稳压电源等。

按显示方式分,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,例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,例如各种数字电压表、数字频率计等。

可以看出电子测量仪器品种繁多、用途各异,在工作中应合理地选择使用。

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

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

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。

1.3.2 电子测量仪器的误差

电子测量仪器的误差,可用工作误差、固有误差、影响误差、稳定误差等来表示。根据我国部颁标准规定,凡是成批生产的电子测量仪器都应该给出工作误差极限。此误差极限在额定工作条件以内,影响量与影响特性为任何可能组合的情况下工作时都应有效。这个原则对仪器制造厂提出了更高的要求,有利于产品质量的提高。对使用者来说则十分方便,免去了根据单项误差估算总误差的困难。

术语及定义

真值:表征在所处条件下,一个完全确定的量的值。应该指出,一个量的真值只是一个理

想的概念,通常不能精确地知道。

约定真值:一个量的真值的近似值,使用该近似值时,它与真值之间的差别可以忽略不计。应该指出,① 一个量的约定真值的确定,通常借助于某些方法的使用,准确度应适合每一种特定情况下的仪器;② 由于真值不能精确地知道,为简单起见,在不致混淆的地方,可用“真值”这一术语来代替“约定真值”。

准值:一个明确规定的值,以它为准定义准值误差。例如:该值可以是被测值、测量范围的上限、刻度范围、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。

额定值:由制造者为设备或仪器在规定工作条件下所指定的量值。

性能:仪器完成预期功能的程度。

性能特性:为定义仪器的性能而规定的量之一(用数值、公差和范围来描述)。其一是根据不同的应用,在本标准中,同一个量可能被称作性能特性和测量的供给量,也可以作为影响量;此外,“性能特性”这一术语还包括量的商,例如每单位长度的电压等。

影响量:虽非测量对象,但会影响被测量的值或测量设备指标值的量。即影响量可能在设备外部,也可能在设备内部;当一个性能特性的值在其测量范围内变化时,它可能影响另一个性能特性的误差;一个被测量或它的参数可起影响量的作用。例如,一个电压表所测量的电压值由于非线性可能产生附加的误差,它的频率变化也可能引起附加的误差。

基准值:基准条件之一的规定值(基准值带有公差)。

基准范围:基准条件之一的规定值的范围。

额定工作条件:性能特性的指定测量范围和影响量的指定工作范围的集合,在此集合内,规定和测定仪器的变动量或工作误差。

测量范围:被测量的一组数值,在此范围内,测量仪器的误差应在规定的极限之内,即一个仪器可以有几个规定测量范围;规定测量范围可以小于数值指示范围;这一术语以前称做“有效范围”。

极限条件:工作状态下的测量仪器可承受的极端条件。在此条件下,仪器不致损坏;且当仪器恢复到额定工作条件时,其性能不降低。

绝对误差:测量仪器的指示值减去被测量的(约定)真值(对于一个供给量来说,指示值就是它的标称值或刻度值)。

相对误差:绝对误差(以被测量或供给量的单位表示)与约定真值之比的百分数。

固有误差:仪器用于基准条件下的误差(由摩擦引起的误差是固有误差的一部分)。

变动量:当单个影响量相继取两个不同的值时,对于被测量的同一数值,指示仪器或记录仪器的示值差,或供给量仪器的(约定)真值的示值差。

工作误差:在额定工作条件内,任一点上测得的性能特性的误差。但当各种影响量的值在其工作范围内取某种组合时,工作误差会出现极值(不考虑符号)。

误差极限:制造厂对工作在规定条件下的仪器所规定的误差的正、负两个极值。

基准工作条件:误差试验的基准工作条件。在制造厂不特别指明时,外部影响量应按表 1-1 规定,内部影响量为其额定值(在产品标准中统一规定)。