

中国电子教育学会中专教育委员会
全国中专电子类教材协会

推荐教材



中等专业学校教材

电子测量仪器 与应用

● 李明生 刘伟 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

中等专业学校教材

电子测量仪器与应用

李明生 刘 伟 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据中专电子技术应用类专业教材编委会所制定的电子技术应用类专业教学计划编写。内容由电子测量仪器和测量技术两部分组成,在介绍常用电子仪器(示波器、电子计数器、信号源、电子电压表等)的基本工作原理后,着重讨论相关仪器的正确使用方法和典型应用。本书取材力求反映国内电子测量仪器的先进水平,并且强调实用性,与目前中专学校的教学需要相适应。

本书也可供从事电子技术类工作的工程技术人员参考和作为技术工人的培训教材。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器与应用/李明生,刘伟编著.-北京:电子工业出版社,2000.3

(中等专业学校教材)

ISBN 7-5053-5410-8

I.电… II.①李… ②刘… III.电工仪表-专业学校-教材 IV.TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 69067 号

从 书 名:中等专业学校教材

书 名:电子测量仪器与应用

编 著 者:李明生 刘 伟

策划编辑:胡毓坚

责任编辑:陈晓明

特约编辑:高文勇

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者:北京四季青印刷厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<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:787×1092 1/16 印张:10.75 字数:275 千字

版 次:2000 年 3 月第 1 版 2000 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5053-5410-8
G·470

印 数:5000 册 定价:15.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换。
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话:68279077

出版说明

随着中等专业学校电子类专业教学改革的不深入,尽快组织出版一批适应中专学校教学实际、体现职业技术教育特点的教材,已成为各中专校的迫切要求。有鉴于此,中国电子教育学会中专教育专业委员会、全国中专电子类教材协会决定联合成立全国中专电子类教材工作领导小组,组织出版一套中专电子类教材,以满足中专学校的教学需要。经过一段时期的准备,领导小组会同全国二十余所电子类中等专业学校,成立了“计算机及应用”、“电子技术应用”、“机电技术应用”3个专业教材编委会,共同组织协调这套教材的编审出版工作。

领导小组和各编委会确立了“根据中专生的培养目标,贯彻中专教育适应社会经济发展的需要,强化应用为教学重点的思想,反映现代职业教育思想、教育方法和教学手段和综合化、直接化、形象化特点,突出工程实践能力培养”的编写原则,以“新、简、实”作为这套教材的编写特色。所谓“新”,是根据电子技术日新月异、发展迅速的特点,在教材中尽可能反映当前电子信息产业的新技术、新知识、新工艺,缩短教材编审出版周期;所谓“简”,是针对现行教学内容与中专学生的文化基础不相适应,以及中专毕业生越来越直接面向生产第一线这一现实,适当降低教学内容的深度和难度,简化理论知识的讲授;所谓“实”,就是突出教学内容的实用性,强调对学生实践能力和技术应用能力的培养。

各编委员会的编审程序大致是,针对中专计算机及应用、电子技术应用、机电技术应用(机电一体化)的教学现状和现行教材存在的问题,尤其是针对目前中专教学改革的新情况,拟定各专业方向的课程设置计划和教材选题计划。在充分酝酿、广泛征集的基础上,由编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员。编委会通过责任编委联系制度对编写实行质量控制。

这套教材的编写,都是来自各中专学校教学第一线的经验丰富的教师。由于他们辛勤的工作,这套教材基本反映了近年来各中专学校教学与教材改革的成果。相信这套教材会受到中等专业学校和其他中等职业学校电子类专业广大师生的欢迎。

特别应该感谢电子工业出版社高质量、高效率的工作,为这套教材的出版提供了极大的便利,使之能及早与读者见面。

电子技术发展迅速,中专学校的教学内容也日新月异。我们衷心地希望广大师生对本套教材提出意见和建议,以便再版时予以修正。

全国中专电子类教材工作领导小组
电 子 工 业 出 版 社

全国中专电子类教材工作领导小组成员名单

| | | |
|------|-----|--------------|
| 顾问 | 赵家鹏 | 电子工业出版社 |
| 组长 | 李绍庭 | 山东省电子工业学校 |
| 副组长 | 陈炳声 | 南京无线电工业学校 |
| | 孟宪洲 | 山东省信息工程学校 |
| | 穆天保 | 辽宁电子工业学校 |
| | 卢小平 | 北京无线电工业学校 |
| | 安志鹏 | 武汉无线电工业学校 |
| 成员 | 吴家礼 | 天津无线电机机械学校 |
| | 曹建林 | 无锡无线电工业学校 |
| | 陈建忠 | 福建省电子工业学校 |
| | 周智文 | 上海电子技术学校 |
| | 王献中 | 淮阴电子工业学校 |
| | 武马群 | 北京市计算机工业学校 |
| | 张福强 | 天津市仪表无线电工业学校 |
| | 王祥生 | 珠海市工业学校 |
| 秘书长 | 胡毓坚 | 电子工业出版社 |
| 副秘书长 | 王协瑞 | 山东省电子工业学校 |

计算机及应用编委会成员名单

| | | |
|-------|-----|--------------|
| 主任委员 | 郑 三 | 山东省电子工业学校 |
| 副主任委员 | 武马群 | 北京市计算机工业学校 |
| | 吴顺发 | 辽宁电子计算机学校 |
| | 肖鹏旭 | 山东省信息工程学校 |
| | 周智文 | 上海电子技术学校 |
| 委员 | 张黎明 | 河南电子工业学校 |
| | 王书增 | 天津无线电机机械学校 |
| | 王德年 | 辽宁电子工业学校 |
| | 李 玲 | 南京无线电工业学校 |
| | 裴有柱 | 天津市仪表无线电工业学校 |
| | 王 敏 | 广州轻工业学校 |
| | 陶 洪 | 常州无线电工业学校 |
| | 刘瑞新 | 河南开封黄河水利学校 |
| | 李丛江 | 无锡无线电工业学校 |
| | 丁 勤 | 淮阴电子工业学校 |
| | 黄甘洲 | 福建省电子工业学校 |
| | 王 泰 | 珠海市工业学校 |
| | 孙心义 | 辽宁电子计算机学校 |
| | 陈丽敏 | 上海电子技术学校 |
| | 梁 军 | 山东省电子工业学校 |
| | 朱连庆 | 山东省信息工程学校 |
| 秘书 | 王新新 | 山东省电子工业学校 |

电子技术应用编委会成员名单

| | | |
|-------|-----|--------------|
| 主任委员 | 王钧铭 | 南京无线电工业学校 |
| 副主任委员 | 梁德厚 | 北京无线电工业学校 |
| | 马 彪 | 辽宁电子工业学校 |
| | 王丹民 | 淮阴电子工业学校 |
| | 张福强 | 天津仪表无线电工业学校 |
| 委员 | 邓 红 | 无锡无线电工业学校 |
| | 冯满顺 | 上海第一仪表电子工业学校 |
| | 崔金辉 | 辽宁省本溪市电子工业学校 |
| | 孙亚维 | 内蒙古电子学校 |
| | 任德齐 | 重庆电子工业学校 |
| | 彭利标 | 天津无线电机械学校 |
| | 杨元挺 | 福建省电子工业学校 |
| | 李晓荃 | 河南电子工业学校 |
| | 魏立东 | 河北省电子工业学校 |
| | 刘 勇 | 山东省电子工业学校 |
| | 吴立新 | 常州无线电工业学校 |
| 秘书 | 陈 松 | 南京无线电工业学校 |

机电类专业教材编委会委员一览表

| | | |
|-------|-----|------------|
| 主任委员 | 吴家礼 | 天津无线电机械学校 |
| 副主任委员 | 毛海兴 | 无锡无线电工业学校 |
| | 黄诚驹 | 武汉无线电工业学校 |
| | 张 华 | 福电子工业学校 |
| 委员 | 梁 栋 | 本溪市电子工业学校 |
| | 王 丽 | 黑龙江省电子工业学校 |
| | 张 铮 | 无锡无线电工业学校 |
| | 董 智 | 南昌无线电工业学校 |
| | 甄占双 | 河北省电子工业学校 |
| | 高 燕 | 天津无线电机械学校 |
| | 徐耀生 | 江苏淮阴电子工业学校 |
| | 韩满林 | 南京无线电工业学校 |
| | 刘婧岩 | 辽宁电子工业学校 |
| | 张吴祥 | 北京无线电工业学校 |
| | 何彦延 | 贵州无线电工业学校 |
| | 李新平 | 山东省电子工业学校 |
| | 黄礼东 | 贵州省电子工业学校 |
| 秘书 | 郝秀凯 | 天津无线电机械学校 |

参加全国中专电子类教材编审工作的学校

| | |
|-------------|-------------|
| 山东省电子工业学校 | 山东省信息工程学校 |
| 山东省机械工业学校 | 山东省邮电学校 |
| 山东广播电视学校 | 济南信息学校 |
| 辽宁省电子工业学校 | 辽宁省电子计算机学校 |
| 辽宁省本溪电子工业学校 | 武汉无线电工业学校 |
| 武汉市电子工业学校 | 天津无线电机械学校 |
| 天津仪表无线电工业学校 | 上海电子技术学校 |
| 上海化学工业学校 | 江苏省淮阴电子工业学校 |
| 无锡无线电工业学校 | 常州无线电工业学校 |
| 山西省电子工业学校 | 南京无线电工业学校 |
| 大连电子学校 | 河北省电子工业学校 |
| 福建省电子工业学校 | 北京无线电工业学校 |
| 北京市计算机工业学校 | 北京市电子工业学校 |
| 黄河水利学校 | 河南省电子工业学校 |
| 贵州省电子工业学校 | 珠海市工业学校 |
| 内蒙古电子学校 | 南昌无线电工业学校 |
| 安徽省电子工业学校 | 黑龙江省电子工业学校 |
| 重庆电子工业学校 | |

前 言

本教材系全国电子技术应用类专业教材编委会第一轮规划教材,并由编委会征稿、推荐出版。责任编辑王丹民。

基于目前中专学生的文化基础以及中专毕业生就业岗位的现实情况,需要对原有教材内容的难度作适当调整,突出理论知识的实用性与适度性,教学注重培养学生的技术应用能力及创新意识。“电子测量仪器与应用”课程的目的在于使学生更好地使用与维护电子仪器,教学内容的重点是介绍各种通用仪器的基本组成、工作原理和工作特性等方面的知识,对仪器的具体电路不作过多的讨论和分析,只重点介绍那些与仪器功能、正确使用仪器有关的特殊电路。

本课程的参考学时为 60 学时,全书共分 9 章。第 1 章扼要地介绍了电子测量和仪器的基本知识。第 2~8 章讨论了信号源、电子示波器、电子计数器、电子电压表、特性曲线测试仪器、信号分析仪器以及集总参数阻抗测量仪器的基本组成和工作原理,以及它们在电压、频率、时间等基本参数的测量和在波形时域分析、信号频域分析以及元、器件参数和特性、网络幅频特性等测量中的应用。在讨论各类仪器的基本组成及工作原理后,相应地介绍部分最新国产电子仪器的典型实例。第 9 章介绍了某些较复杂电路及典型整机的综合测试实例。

本课程是一门实践性相当强的课程,它比其他课程更强调理论联系实际。学生在学好基础理论知识的同时,必须经过实践性环节的严格训练才有可能牢固掌握本课程的基本内容。

本书由淮阴电子工业学校李明生、本溪电子工业学校刘伟编写。李明生编写第 1、2、3、4、6、9 章,刘伟编写第 5、7、8 章。李明生担任统编。辽宁电子工业学校姚群担任主审。

在编写过程中,得到有关方面的大力帮助,不少电子仪器厂家也给予积极支持,在这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在某些缺点错误,殷切希望读者批评指正。

编者

目 录

| | |
|---------------------------------|------|
| 第 1 章 电子测量和仪器的基本知识 | (1) |
| 1.1 电子测量的意义和特点 | (1) |
| 1.1.1 电子测量的意义 | (1) |
| 1.1.2 电子测量的内容 | (1) |
| 1.1.3 电子测量的特点 | (1) |
| 1.2 电子测量分类 | (2) |
| 1.2.1 直接测量与间接测量 | (3) |
| 1.2.2 按被测信号特性分类 | (3) |
| 1.3 测量误差的基本概念 | (4) |
| 1.3.1 测量误差的表示方法 | (4) |
| 1.3.2 测量误差的来源与分类 | (6) |
| 1.4 测量结果的表示及有效数字 | (7) |
| 1.4.1 测量结果的表示 | (7) |
| 1.4.2 有效数字 | (7) |
| 1.4.3 数字的舍入规则 | (7) |
| 1.5 电子测量仪器的基本知识 | (8) |
| 1.5.1 电子测量仪器的分类 | (8) |
| 1.5.2 电子测量仪器的误差 | (9) |
| 本章小结 | (10) |
| 习题一 | (10) |
| 第 2 章 信号源 | (12) |
| 2.1 正弦信号源 | (12) |
| 2.1.1 正弦信号源的主要技术特性 | (12) |
| 2.1.2 低频信号发生器 | (13) |
| 2.1.3 高频信号发生器和超高频信号发生器 | (14) |
| 2.1.4 合成信号发生器 | (17) |
| 2.2 函数信号发生器 | (20) |
| 2.2.1 由方波产生三角波、正弦波的电路 | (20) |
| 2.2.2 由正弦波产生方波、三角波的电路 | (22) |
| 2.2.3 由三角波产生方波、正弦波的电路 | (22) |
| 2.2.4 SG1640B 调频调幅函数信号发生器 | (23) |
| 本章小结 | (26) |
| 习题二 | (27) |
| 第 3 章 电子示波器 | (28) |
| 3.1 概述 | (28) |
| 3.2 示波器显示波形的基本原理 | (28) |
| 3.2.1 示波管 | (28) |
| 3.2.2 波形显示原理 | (30) |

| | |
|-----------------------------|-------------|
| 3.3 通用示波器 | (33) |
| 3.3.1 通用示波器的基本组成 | (33) |
| 3.3.2 示波器的垂直系统(Y通道) | (35) |
| 3.3.3 示波器的水平系统(X通道) | (38) |
| 3.4 XJ4362A型双踪双扫描示波器 | (44) |
| 3.4.1 主要技术性能 | (44) |
| 3.4.2 工作原理 | (45) |
| 3.5 示波器的选择和使用 | (47) |
| 3.5.1 示波器选择的一般原则 | (47) |
| 3.5.2 示波器的正确使用 | (48) |
| 3.6 示波器的基本测量方法 | (50) |
| 3.6.1 测量电压 | (50) |
| 3.6.2 测量时间和频率 | (52) |
| 3.6.3 测量调幅系数 | (56) |
| * 3.6.4 双扫描示波器的测量方法介绍 | (58) |
| 本章小结 | (59) |
| 习题三 | (60) |
| 第4章 电子计数器 | (63) |
| 4.1 概述 | (63) |
| 4.1.1 电子计数器的分类 | (63) |
| 4.1.2 电子计数器的主要技术性能 | (63) |
| 4.2 通用电子计数器的基本组成 | (64) |
| 4.2.1 A、B输入通道 | (64) |
| 4.2.2 主门 | (66) |
| 4.2.3 时基信号产生与变换单元 | (66) |
| 4.2.4 控制单元 | (67) |
| 4.2.5 计数及显示电路 | (68) |
| 4.3 通用电子计数器的测量原理 | (68) |
| 4.3.1 测量频率 | (68) |
| 4.3.2 测量周期 | (69) |
| 4.3.3 测量频率比 | (70) |
| 4.3.4 测量时间间隔 | (70) |
| 4.3.5 累加计数 | (71) |
| 4.3.6 自校(自检) | (72) |
| 4.4 电子计数器的测量误差 | (72) |
| 4.4.1 误差来源 | (72) |
| 4.4.2 频率测量误差分析 | (73) |
| 4.4.3 周期测量误差分析 | (74) |
| 4.4.4 时间测量误差分析 | (75) |
| 4.5 E312A型通用电子计数器 | (75) |
| 4.5.1 主要技术性能 | (75) |
| 4.5.2 基本工作原理 | (76) |
| 4.6 数字相位计 | (77) |
| 4.6.1 瞬时值数字相位计 | (78) |

| | |
|-------------------------------|--------------|
| 4.6.2 平均值数字相位计 | (79) |
| 本章小结 | (80) |
| 习题四 | (81) |
| 第5章 电子电压表 | (83) |
| 5.1 概述 | (83) |
| 5.1.1 对电子电压表的基本要求 | (83) |
| 5.1.2 电子电压表的分类 | (84) |
| 5.1.3 交流电压的基本参数 | (86) |
| 5.2 模拟式交流电压表 | (87) |
| 5.2.1 均值型电压表 | (87) |
| 5.2.2 有效值电压表 | (89) |
| 5.2.3 峰值电压表 | (92) |
| 5.3 数字电压表 | (95) |
| 5.3.1 DVM 的主要技术性能 | (95) |
| 5.3.2 A/D 转换器原理 | (96) |
| 5.4 数字多用表 | (103) |
| 5.4.1 电路的基本组成 | (103) |
| 5.4.2 测量电路 | (103) |
| 5.4.3 数字多用表的特点 | (105) |
| 本章小结 | (105) |
| 习题五 | (106) |
| 第6章 特性曲线测试仪 | (108) |
| 6.1 频率特性测试仪 | (108) |
| 6.1.1 扫频测量法 | (108) |
| 6.1.2 扫频仪工作原理 | (109) |
| 6.1.3 AH1254B 型宽带扫频仪 | (114) |
| 6.1.4 扫频仪的应用 | (115) |
| 6.2 晶体管特性图示仪 | (119) |
| 6.2.1 晶体管特性曲线的测试方法 | (119) |
| 6.2.2 晶体管特性图示仪 | (122) |
| 6.2.3 XJ4810 型半导体管特性图示仪 | (126) |
| 本章小结 | (127) |
| 习题六 | (127) |
| 第7章 信号频域分析仪器 | (129) |
| 7.1 频谱分析仪 | (129) |
| 7.1.1 引言 | (129) |
| 7.1.2 频谱分析仪 | (129) |
| 7.1.3 QF-4031 型频谱分析仪简介 | (131) |
| 7.2 失真度测量仪 | (132) |
| 7.2.1 谐波失真度的定义 | (133) |
| 7.2.2 基波抑制法的测量原理 | (133) |
| 7.2.3 失真度测量仪的误差 | (134) |
| 7.2.4 BSI 型失真度测量仪 | (134) |
| 本章小结 | (137) |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| 习题七 | (137) |
| 第8章 集总参数元件测量仪器 | (139) |
| 8.1 集总参数元件简介 | (139) |
| 8.1.1 电阻器 | (139) |
| 8.1.2 电容器 | (139) |
| 8.1.3 电感器 | (140) |
| 8.2 万用电桥 | (140) |
| 8.2.1 电桥的平衡条件 | (140) |
| 8.2.2 实际测量电路及电桥平衡条件 | (141) |
| 8.2.3 电桥法测量集总参数元件的误差 | (143) |
| 8.2.4 ZL-6型LCR自动测量仪 | (144) |
| 8.3 Q表 | (145) |
| 8.3.1 Q表的组成和测量原理 | (145) |
| 8.3.2 Q表的应用 | (146) |
| 8.3.3 GQ-70型高频Q表简介 | (149) |
| 本章小结 | (150) |
| 习题八 | (150) |
| 第9章 综合测试实例 | (153) |
| 9.1 OCL功率放大器的测试 | (153) |
| 9.1.1 静态测量 | (153) |
| 9.1.2 音频响应的测试 | (153) |
| 9.1.3 谐波失真度的测量 | (154) |
| 9.1.4 最大不失真输出功率的测量 | (154) |
| 9.2 AM中波段收音机某些指标的测试 | (154) |
| 9.2.1 调整中频频率 | (155) |
| 9.2.2 调整频率覆盖 | (155) |
| 9.2.3 测量谐波失真度 | (155) |
| 9.3 电视机行扫描电路部分参数的测量 | (156) |
| 9.3.1 行同步保持范围的测量 | (156) |
| 9.3.2 行振荡脉冲宽度的测量 | (157) |
| 参考文献 | (158) |

第1章 电子测量和仪器的基本知识

1.1 电子测量的意义和特点

测量是人类对客观事物取得数量概念的认识过程。在这种认识过程中,人们借助于专门的设备,依据一定的理论,通过实验的方法,求出以所用测量单位来表示的被测量的量值。

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。没有单位的量值是没有物理意义的。

1.1.1 电子测量的意义

随着测量学的发展和无线电电子学的应用,诞生了以电子技术为手段的测量,即电子测量。

电子测量涉及到极宽频率范围内所有电量、磁量以及各种非电量的测量。目前,电子测量不仅因为其应用广泛而成为现代科学技术中不可缺少的手段,同时也是一门发展迅速、对现代科学技术的发展起着重大推动作用的独立学科。从某种意义上说,近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。

1.1.2 电子测量的内容

本课程中电子测量的内容是指对电子学领域内电参量的测量,主要有:

- (1) 电能量的测量:如电流、电压、功率、电场强度等的测量。
- (2) 电路、元器件参数的测量:如电阻、电感、电容、阻抗的品质因数、电子器件参数等的测量。
- (3) 电信号特性的测量:如频率、波形、周期、时间、相位、谐波失真度、调幅度及逻辑状态等的测量。
- (4) 电路性能的测量:如放大倍数、衰减量、灵敏度、通频带、噪声系数等的测量。
- (5) 特性曲线的显示:如幅频特性、器件特性等的显示。

上述各种待测参数中,频率、电压、时间、阻抗等是基本电参数,对它们的测量是其他许多派生参数测量的基础。

另外,通过传感器,可将很多非电量如温度、压力、流量、位移等转换成电信号后进行测量,但这不属于本书讨论的范围。

1.1.3 电子测量的特点

同其他的测量相比,电子测量具有以下几个突出的优点:

1. 测量频率范围宽

电子测量除测量直流电量外,还可以测量交流电量,其频率范围可低至 10^{-4}Hz , 高至 10^{12}

Hz 左右。但应注意,在不同的频率范围内,即使测量同一种电量,所需要采用的测量方法和测量仪器也往往不同。

2. 仪器测量范围广

量程是仪器所能测量各种参数的范围。电子测量仪器具有相当宽广的量程。例如,一台数字电压表,可以测出从纳伏(nV)级至千伏(kV)级的电压,其量程达 12 个数量级;一台用于测量频率的电子计数器,其量程可达 17 个数量级。

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,特别是对频率和时间的测量,误差可减小到 10^{-13} 量级,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,是它在现代科学技术领域得到广泛应用的重要原因之一。

4. 测量速度快

由于电子测量是通过电磁波的传播和电子运动来进行的,因而可以实现测量过程的高速度,这是其他测量所不能比拟的。只有测量的高速度,才能测出快速变化的物理量。这对于现代科学技术的发展,具有特别重要的意义。例如,原子核的裂变过程、导弹的发射速度、人造卫星的运行参数等的测量,都需要高速度的电子测量。

5. 易于实现遥测

电子测量的一个突出优点是可以通过各种类型的传感器实现遥测。例如,对于遥远距离或环境恶劣的、人体不便于接触或无法达到的区域(如深海、地下、核反应堆内、人造卫星等),可通过传感器或通过电磁波、光、幅射等方式进行测量。

6. 易于实现测量自动化和测量仪器微机化

由于大规模集成电路和微型计算机的应用,使电子测量出现了崭新的局面,例如在测量中能实现程控、自动量程转换、自动校准、自动诊断故障和自动修复,对于测量结果可以自动记录、自动进行数据运算、分析和处理。目前已出现了许多类型带微处理器的自动化示波器、数字频率计、数字电压表以及受计算机控制的自动化集成电路测试仪、自动网络分析仪和其他自动测试系统。

电子测量的一系列优点,使它获得极其广泛的应用。今天,几乎找不到哪一个科学技术领域没有应用电子测量技术。大到天文观测、宇宙航天,小到物质结构、基本粒子,从复杂的生命、遗传问题到日常的工农业生产、商业部门,都越来越多地采用了电子测量技术与设备。

1.2 电子测量分类

根据测量方法的不同,电子测量有不同的分类方法。这里仅就最常用的分类方法作简要介绍。

1.2.1 直接测量与间接测量

1. 直接测量法

用预先按已知标准量定度好的测量仪器,对某一未知量直接进行测量,从而得到被测量值的测量方法称为直接测量。例如,用通用电子计数器测频率,用电压表测量电路中的电压,都属于直接测量。

2. 间接测量

对一个与被测量有确切函数关系的物理量进行直接测量,然后通过代表该函数关系的公式、曲线或表格,求出被测量值的方法,称为间接测量。例如,要测量已知电阻 R 上消耗的功率,先测量加在 R 两端的电压 U ,然后再根据公式 $P=U^2/R$ 求出功率 P 之值。

3. 组合测量法

在某些测量中,被测量与几个未知量有关,测量一次无法得出完整的结果,则可改变测量条件进行多次测量,然后按被测量与未知量之间的函数关系组成联立方程,求解,得出有关未知量。此种测量方法称为组合测量,它是一种兼用直接测量与间接测量的方法。

上面介绍的三种方法中,直接测量的优点是测量过程简单迅速,在工程技术中采用得比较广泛。间接测量法多用于科学实验,在生产及工程技术中应用较少,只有当被测量不便于直接测量时才采用。至于组合测量,是一种特殊的精密测量方法,适用于科学实验及一些特殊的场合。

1.2.2 按被测信号特性分类

1. 时域测量

时域测量是测量被测对象在不同时间的特性。这时把被测信号看成是一个时间函数,使用示波器能显示其瞬时波形,测量它的幅度、宽度、上升和下降沿等参数。时域测量还包括一些周期性信号的稳态参量的测量,如正弦交流电压,虽然它的瞬时值会随时间变化,但是交流电压的振幅值和有效值是稳态值,可用指针式仪器测量。

2. 频域测量

频域测量是测量被测对象在不同频率时的特性。这时把被测对象看成是一个频率的函数。信号通过非线性电路会产生新的频率分量,能用频谱仪进行分析。放大器的幅频特性在高频端和低频端会下降,可用频率特性图示仪予以显示。放大器对不同频率的信号会产生不同的相移,可使用相位计测量放大器的相频特性。

3. 数据域测量

对数字系统逻辑特性进行的测量。利用逻辑分析仪能够分析离散信号组成的数据流,可以观察多个输入通道的并行数据,也可以观察一个通道的串行数据。

电子测量技术还有许多分类方法,如动态与静态测量技术、模拟和数字测量技术、实时与非实时测量技术、有源与无源测量技术、直接比较与非直接比较测量技术、点频和扫频与广频测量技术等。本书将结合测量仪器的应用对它们作出说明。

1.3 测量误差的基本概念

测量的目的是希望获得被测量的实际大小即真值。所谓真值,就是在一定的时间和环境条件下,被测量本身所具有的真实数值。实际上,由于测量设备、测量方法、测量环境和测量人员的素质等条件的限制,测量所得到的结果与被测量的真值之间会有差异,这个差异就称为测量误差。测量误差过大,可能会使测量结果变得毫无意义,甚至会带来害处。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,寻求减小测量误差的方法,使测量结果精确可靠。

1.3.1 测量误差的表示方法

测量误差有两种表示方法:绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

(1)定义:由测量所得到的被测量值 x 与其真值 A_0 之差,称为绝对误差,用 Δx 表示,即

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

由于测量结果 x 总含有误差, x 可能比 A_0 大,亦可能比 A_0 小,因此 Δx 既有大小,又有正负符号。其量纲和测量值相同。

要注意,这里说的被测量值,是指仪器的示值。一般情况下,示值和仪器的读数有区别。读数是指从仪器刻度盘、显示器等读数装置上直接读到的数字,示值是该读数表示的被测量的量值,常常需要加以换算。

式 1-1 中, A_0 表示真值。真值是一个理想的概念,一般来说,是无法精确得到的。因此,实际应用中通常用实际值 A 来代替真值 A_0 。

实际值又称为约定真值,它是根据测量误差的要求,用高一级或数级的标准仪器或计量器具测量所得之值,这时绝对误差可按下式计算:

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

(2)修正值:与绝对误差的绝对值大小相等,但符号相反的量值,称为修正值,用 c 表示。

$$c = -\Delta x = A - x \quad (1-3)$$

对测量仪器进行定期检定时,用标准仪器与受检仪器相比对,以表格、曲线或公式的形式给出受检仪器的修正值。在日常测量中,使用该受检仪器测量所得到的结果应加上修正值,以求得被测量的实际值,即:

$$A = x + c \quad (1-4)$$

2. 相对误差

绝对误差虽然可以说明测量结果偏离实际值的情况,但不能确切反映测量的准确程度,不便于看出对整个测量结果的影响。例如,对分别为 10 Hz 和 1 MHz 的两个频率进行测量,绝对误差都为 +1Hz,但两次测量结果的准确程度显然不同。因此,除绝对误差外,再给出相对误差的定义。

绝对误差与被测量的真值之比,称为相对误差(或称相对真误差),用 γ 表示:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

相对误差没有量纲,只有大小及符号。由于真值是难以确切得到的,通常用实际值 A 代替真值 A_0 来表示相对误差,称为实际相对误差,用 γ_A 来表示:

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-6)$$

在误差较小、要求不大严格的场合,也可用测量值 x 代替实际值 A ,由此得出示值相对误差,用 γ_x 来表示:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-7)$$

上式中的 Δx 由所用仪器的准确度等级定出,由于 x 中含有误差,所以 γ_x 只适用于近似测量。当 Δx 很小时, $x \approx A$,有 $\gamma_x \approx \gamma_A$ 。

也常用绝对误差与仪器满刻度值 x_m 之比来表示相对误差,称为引用相对误差(或称满度相对误差),用 γ_m 表示:

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

测量仪器使用最大引用相对误差来表示它的准确度,这时有

$$\gamma_m = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1-9)$$

式中, Δx_m 表示仪器在该量程范围内出现的最大绝对误差;

x_m 为满刻度值;

γ_m 是仪器在工作条件下不应超过的最大相对误差,它反映了该仪表的综合误差的大小。

电工测量仪表按 γ_m 值分0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0七级。1.0级表示该仪表的最大引用相对误差不会超过 $\pm 1.0\%$,但超过 $\pm 0.5\%$,也称准确度等级为1.0级。准确度等级常用符号 S 表示。

[例 1-1] 两个电压的实际值分别为 $U_{1A}=100\text{V}$, $U_{2A}=10\text{V}$;测量值分别为 $U_{1x}=98\text{V}$, $U_{2x}=9\text{V}$ 。求两次测量的绝对误差和相对误差。

解:

$$\Delta U_1 = U_{1x} - U_{1A} = 98 - 100 = -2\text{V}$$

$$\Delta U_2 = U_{2x} - U_{2A} = 9 - 10 = -1\text{V}$$

$|\Delta U_1| > |\Delta U_2|$,两者的相对误差分别为

$$\gamma_{A1} = \frac{\Delta U_1}{U_{1A}} = -\frac{2}{100} \times 100\% = -2\%$$

$$\gamma_{A2} = \frac{\Delta U_2}{U_{2A}} = -\frac{1}{10} \times 100\% = -10\%$$

$|\gamma_{A1}| < |\gamma_{A2}|$,说明 U_2 的测量准确度低于 U_1 。

[例 1-2] 已知某被测电压为 80V ,用1.0级、 100V 量程的电压表测量。若只做一次测量就把该测量值作为测量结果,可能产生的最大绝对误差是多少?

仪表的准确度等级表示该仪表的最大引用相对误差,该仪表可能出现的最大绝对误差为:

解: