

21 世纪高等职业教育通用教材

电气智能综合实训

主 编 林知秋 丁向荣

上海交通大学出版社

前 言

众所周知,我国正在迅速成为全球最重要的制造业基地之一,制造业迎来了历史上最好的、蓬勃发展的崭新时期。企业的升级、改造与信息化建设如火如荼,急需大量的电气智能应用型人才。为使高职教育适应制造业飞速发展的新形势,进一步深化教学改革,培养电气智能高级应用型人才,服务现代“中国制造”,实训教材的改革势在必行。

本书是高职高专电气类(电子、通信、机电一体化、自动化等)专业的综合性实训教材,它以计算机辅助设计、电子设计自动化为主线,充分利用计算机资源,针对主干课程的专业技能要求和生产一线的需要进行训练,培养学生的实践技能,提高技术应用能力与创新能力,实现教学与生产的良好连接。教材内容包括了电子测量、电子设计自动化、电路仿真、单片机、可编程序控制器、传感器技术、信号与系统、通信原理等相关课程的实验和实训的基本内容,并力求突出重点,内容简洁,体现了高职教育的应用性、针对性、岗位性和专业性的特点。

全书分为三篇共 19 章,具体内容为:

基础篇:介绍了常用电子测量仪器的使用方法、电子工作平台(EWB)、电路设计与制板(Protel 99)、单片机编程与应用、可编程序控制器编程与应用、可编程逻辑器件编程与应用等基本知识。

实验篇:提供了大量的电子、电路仿真实验、电路设计与制板实验、单片机实验、可编程序控制器实验、可编程器件的应用(EDA 技术/电子设计)实验、电子测量与仪器实验、信号与系统实验、通信原理实验、传感器与检测技术实验等实验项目,旨在对所学理论知识进行实验验证及实验技能训练。

实训篇:结合制造业生产实际,精选实训项目,旨在对学生进行系统的实践训练,培养技术应用能力与创新能力。

本书第 2 章及第 8 章中的插图均为 Electronics Workbench 软件所绘制,其中电路元器件等符号采用的是北美(ANSI)标准,而非我国国标。为了便于学习和使用该软件,保留了软件中的符号,特此说明。

本书可与相关课程理论教材配套使用,也可单独使用。在教学过程中,建议将基础篇的内容穿插在相关的实验或实训项目中完成,实验项目可根据教学基本要求和学时数进行安排;在教师的指导下,以学生独立完成实训项目为主。不同专业可根据教学要求、设备条件及学时数选讲、选做或自学。

本书为高职电气类专业教材,也可作为高等专科学校电气类专业及成人教育相关专业使用,并可供有关工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有林知秋(第 1、7、15 章)、丁向荣(第 2、4、5、6、8、10、11、12、17、18、

19 章)、李微波(第 3、9、14、16 章)、黎小桃(第 13 章)等,由江西应用技术职业学院林知秋、丁向荣任主编。本书由北京工业大学孙丽君副教授主审,并提出了许多修改意见,在此向参加审稿的诸位老师表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 2 月 28 日

目 录

知识篇

1 常用电子测量仪器的使用方法	3
1.1 概述	3
1.2 电压表	8
1.3 信号发生器.....	14
1.4 数字式频率计.....	21
1.5 示波器.....	24
1.6 频率特性测试仪.....	28
2 电子工作平台(EWB)	33
2.1 EWB 概述	33
2.2 EWB 的元器件	39
2.3 EWB 的仪器	43
2.4 EWB 的基本操作	54
2.5 EWB 的分析方法	58
3 电路设计与制板(Protel 99)	78
3.1 概述.....	78
3.2 原理图元件库的编辑.....	80
3.3 原理图的设计.....	82
3.4 报表的产生.....	88
3.5 PCB 元件库的编辑	89
3.6 印制电路板(PCB)图的设计	90
4 单片机编程与应用	98
4.1 概述.....	98
4.2 AT89 系列单片机结构	101
4.3 I/O 接口电路	106
4.4 指令系统	111
4.5 单片机编程与应用	115

5	可编程序控制器的编程与应用	122
5.1	概述	122
5.2	FPI 系列 PLC 规格与系统组成	127
5.3	指令系统	131
5.4	PLC 编程方法	138
5.5	编程软件 FPWIN GR	143
6	可编程逻辑器件的编程与应用	154
6.1	概述	154
6.2	FPGA/CPLD 开发流程	157
6.3	MAX+plus II 开发集成环境	165
6.4	原理图输入设计方法	166
6.5	VHDL 文本输入设计方法	176

实验篇

7	电子测量与仪器实验	183
7.1	常用电子测量仪器的使用练习	183
7.2	直流稳压电源的输出指示准确度和纹波系数的测量	185
7.3	示波器的应用	187
7.4	典型电压波形的观测与分析	188
7.5	放大器的增益、幅频特性曲线的测量	191
7.6	Q 表的使用	193
7.7	频率特性测试仪的使用	196
8	电子、电路仿真实验	200
8.1	基本电路仿真	200
8.2	模拟电路仿真	210
8.3	数字电路仿真	222
9	电路设计与制板实验	241
9.1	各种编辑器的启动及使用	241
9.2	原理图(SCH)设计系统	241
9.3	原理图库元件的创建及管理	242
9.4	绘制电路原理图	243
9.5	绘制层次电路原理图	244
9.6	常用工具的使用	246

9.7	各种报表的产生及电气法则测试	249
9.8	印制电路板(PCB)设计系统	250
9.9	PCB库元件的创建	250
9.10	单面板的设计	251
9.11	双面板的设计	252
10	单片机基础实验	253
10.1	单片机开发实验系统及其仿真软件的使用	253
10.2	数据传送	254
10.3	多精度加法	255
10.4	数组排序	257
10.5	多分支程序	259
10.6	脉冲计数(定时/计数器实验)	261
10.7	脉冲计数/秒(定时/计数器综合实验)	265
10.8	I/O 接口实验	269
10.9	A/D 与 D/A 转换	272
10.10	程序固化	278
11	可编程序控制器实验	280
11.1	PLC 实验系统与编程软件的使用	280
11.2	逻辑指令	281
11.3	自保、互锁、联锁控制	282
11.4	定时控制	284
11.5	计数控制	285
11.6	数值运算	287
11.7	抢答器	288
11.8	多地点控制	290
11.9	闪烁控制	292
11.10	星/三角启动与电机正反转	294
12	EDA 技术/电子设计实验	296
12.1	GAL 器件的应用	296
12.2	GW48 EDA 教学实验系统及 MAX+plus II 软件的使用	297
12.3	1 位全加器原理图输入设计	298
12.4	1 位全加器 VHDL 文本输入设计	299
12.5	含异步清零和同步使能的 4 位加法计数器	301
12.6	7 段数码显示译码器设计	302
12.7	数控分频器设计	304
12.8	用状态机实现序列检测器的设计	306

13	信号与系统实验	309
13.1	认识实验.....	309
13.2	一阶系统的时域响应及参数测定.....	311
13.3	二阶系统的阶跃响应.....	312
13.4	信号的采样与恢复.....	314
13.5	非正弦周期信号的分解与合成.....	316
13.6	无源和有源滤波器的特性.....	318
13.7	典型环节频率特性的测试.....	321
13.8	线性系统频率特性的测试.....	324
13.9	二阶网络状态轨迹的显示.....	327
14	通信原理实验	330
14.1	通信原理多种信号的产生.....	331
14.2	中央集中控制器系统单元实验.....	333
14.3	通信话路终端语音信号传输实验.....	335
14.4	脉冲幅度调制(PAM)及系统实验	337
14.5	脉冲编码调制(PCM)及系统实验	339
14.6	增量调制 CVSD(ΔM)编码系统实验	341
14.7	增量调制 CVSC(ΔM)译码系统实验	343
14.8	基本锁相环、锁相式数字频率合成器系统实验	346
14.9	二相 BPSK(DPSK)调制实验	348
14.10	二相(PSK,DPSK)调制器(含载波提取)实验	351
14.11	数字同步技术	352
14.12	FSK 调制解调实验	354
14.13	AMI/HDB ₃ 编译码过程实验	356
14.14	通信系统综合实验	357
15	传感与检测技术实验	362
15.1	电桥变换电路.....	364
15.2	移相器实验.....	366
15.3	相敏检波器实验.....	366
15.4	温度传感器实验.....	368
15.5	差动变压器传感器实验.....	370
15.6	差动变面积式电容传感器实验.....	372
15.7	压阻式压力传感器实验.....	373
15.8	磁电式传感器实验.....	375
15.9	电涡流传感器实验.....	376
15.10	霍尔式传感器实验	377

15.11	压电传感器实验	379
15.12	热电偶实验	380

实训篇

16	电路设计与制版	385
16.1	智能编码遥控照明控制系统	385
16.2	智能抢答、表决、计时电路	385
17	单片机编程与应用实训	389
17.1	电脑时钟程序的分析与应用	389
17.2	智能编码遥控照明系统控制程序的编制、调试与运行	392
17.3	智能抢答、表决、计时电路的编制、调试与运行	394
17.4	汽车转弯信号灯控制系统的开发	396
18	可编程序控制器应用实训	406
18.1	传统电气控制系统的改造	406
18.2	交通信号灯控制	407
18.3	电梯控制	409
18.4	C620 车床仿真	411
18.5	机械手控制程序	414
19	EDA 技术/电子设计实践	417
19.1	波形发生与扫频信号发生器电路设计	417
19.2	等精度频率计设计	421
附录 1	XK-2001 型电气智能实验教学系统	428
附录 2	DICE-5103S 单片机开发实验系统	434
附录 3	GW48 教学实验系统	446

知 识 篇

1 常用电子测量仪器的使用方法

1.1 概述

1.1.1 电子测量的基本知识

1.1.1.1 电子测量

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。在这个过程中,人们借助专门的设备,把被测对象直接或间接地与同类已知单位进行比较,取得用数值和单位共同表示的测量结果。

电子测量是测量学的一个重要分支。从广义上讲,凡是利用电子技术进行的测量都可以说是电子测量;从狭义上讲,电子测量是指在电子学中测量有关电的量值。由此可见电子测量的内容是相当广泛的,即使是在狭义电子测量的范围内,它所涉及的内容通常也应包含以下几个方面:

- (1) 电能量的测量。如电压、电流、电功率等的测量。
- (2) 元件和电路参数的测量。如电阻、电容、电感、阻抗、品质因数、电子器件的参数等的测量。
- (3) 电信号的特性的测量。如信号的波形和失真度、频率、相位、调制度等的测量。
- (4) 电子电路性能的测量。如放大倍数、衰减量、灵敏度、噪声指数等的测量。
- (5) 特性曲线显示。如幅频特性、器件特性曲线的测量显示等。

在上述各种参数中,电压、频率、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。

与其他测量相比,电子测量具有以下几个明显的特点:

(1) 测量频率范围极宽。低频除测直流外可低至 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ Hz,高频可至 10^{12} Hz。在不同的频率范围内,电子测量所依据的原理、使用的测量仪器、采用的测量方法也各不相同。例如,供测量用的信号源就分为低频、音频、高频、超高频等多种信号发生器。

(2) 电子测量仪器的量程很广。量程是仪器所能测试各种参数的范围。由于被测对象的大小相差极大,因而要求测量仪器的量程也极宽。例如,一块数字电压表可以测出纳伏级至千伏级的电压,量程达 11 个数量级。

(3) 电子测量的准确度高。电子仪器的准确度比其他测量仪器高很多,尤其是对频率、时

间和电压的测量。由于采用原子频标和原子秒作为基准,使时间的测量误差减小到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 量级,这是人类在测量准确度方面所能达到的最高标准。用标准电池作基准可使电压的测量误差减小到 10^{-6} 量级。正是由于电子测量能够准确地测量频率和电压,因此人们往往把其他参数转换成频率或电压后再进行测量。

(4) 测量速度快。电子测量由于是通过电子运动和电磁波的传播来进行工作的,因此它具有其他测量方法通常无法类比的速度。

(5) 易于实现遥测和长期不间断的测量。通过各种类型的传感器,可以实现对人体不便于接触或无法到达的区域进行遥测,而且也可以在被测对象正常工作的情况下进行长期不间断的测量。

(6) 易于实现测量过程的自动化和测量仪器的微机化。由于电子测量的测量结果和它所需要的控制信号都是电信号,非常有利于直接或通过 A/D 变换与计算机相连接,实现自动记录、数据运算和分析处理,做成各种自动化仪器或自动测试系统。

电子测量已成为一项与现代科学技术紧密相关、发展迅速、应用广泛、对现代科学技术的发展起着重大推动作用的技术。

1.1.1.2 电子测量仪器

用于检测或测量一个量或为测量目的供给一个量的器具称为测量仪器,包括各种指示仪器、比较式仪器、记录式仪器、信号源、稳定电源和传感器等。利用电子技术测量电或非电量的测量仪器称为电子测量仪器。

电子测量仪器种类繁多,一般可分为专用仪器和通用仪器两大类。前者是指为某一个或几个专门目的而设计的电子测量仪器,如电视彩色信号发生器。后者是指为测量某一个或几个电参数而设计的电子测量仪器,它们能用于多种电子测量,如电子示波器。

(1) 分类。通用电子测量仪器按其功能可分为以下几类:

① 信号发生器。用于提供测量所示的各种波形的信号,如低频、高频信号源,函数信号发生器及噪声信号发生器等。

② 信号分析仪器。用来观测、分析和记录各种电量的变化,包括时域、频域和数字域分析仪,如示波器、波形分析仪、频谱仪和逻辑分析仪等。

③ 频率、时间和相位测量仪器。用来测量电信号的频率、时间间隔和相位,如频率计、波长表、相位计等。

④ 网络特性测量仪器。用来测量电气网络的各种特性,如频率特性测试仪(扫频仪)、阻抗测试仪和网络特性分析仪等。

⑤ 电子元器件测试仪器。用来测量各种电子元器件的各种电参数或显示特性曲线等,如电路元器件测试仪(RLC 测试仪)、晶体管特性图示仪、集成电路测试仪等。

⑥ 电波特性测试仪器。用来对电波传播、电磁场强度、干扰强度等参量进行测量,如测试接收机等。

⑦ 辅助仪器。用于配合上述各种仪器对信号进行放大、检波、隔离、衰减等以便使上述仪器更充分地发挥作用,如放大器、衰减器、检波器、滤波器和各种交直流电源等。

通用仪器按显示方式分,又可分为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结果在标度尺上指示出来,如各种模拟式万用表和电子电压表等。后者是将被测的连

续变化的模拟量转换成数字量之后,以数字方式显示测量结果,以达到直观、准确、快速的效果,如各种数字电压表、数字频率计等。

电子测量仪器的种类繁多,用途也各不相同,在测量中应合理选择使用。

(2) 使用前的注意事项:

① 使用前应仔细阅读技术说明书或仪器使用说明,在了解仪器的基本性能、使用方法基础上才可开机使用。

② 接通电源前,检查测量装置的接线是否正确;仪器的量程、频段、衰减、输出等旋钮是否有松脱、错位等现象。

③ 仪器使用前的充分预热。

④ 对于表针指示的仪器,应在接通电源前进行机械调零。观察指针是否指零或规定值,如有差异,可用旋具轻轻旋转机械调零旋钮,使表针正确指示。机械调零以后可进行电气调零,在仪器通电并充分预热后,将仪器的输入端短路,调节仪器使其读数指示零或规定值。

⑤ 对于具有内部校准装置的仪器,使用前要正确校准。

⑥ 电子仪器要求注意防尘、防潮、防腐和防振动等方面的日常维护。

1.1.1.3 电子测量方法

一个电量的测量可以通过不同的方法来实现,测量方法的分类形式有多种。下面介绍几种常见的分类方法。

(1) 按测量手段分类:

① 直接测量。可直接获取被测量值的测量方法,例如用电压表测量电压,用电桥法测量电阻的阻值,用电子计数器测量频率等。

② 间接测量。凡是利用直接测量的量与被测量之间的函数关系(公式、曲线或表格等),通过计算而得到被测量值的测量方法。例如要测量电阻 R 上消耗的直流功率 P ,可以通过直接测量 R 两端电压 U 、电路中电流 I ,再根据函数关系 $P=UI$,间接获得功率 P 。

③ 组合测量。当某被测量与几个未知量有关,通过改变测量条件进行多次测量,根据被测量与未知量的函数关系列方程组并求解,从而得到未知量的测量方法。它是一种兼用直接测量和间接测量的方法。

(2) 按测量性质分类:

① 时域测量。时域测量是指以时间为函数的量(例如随时间变化的电压、电流等)的测量。这些量的稳态值、有效值大多用仪器仪表直接测量;它们的瞬态值可通过示波器等仪器显示其波形,以便观测其随时间变化的规律。

② 频域测量。频域测量是指以频率为函数的量(例如随频率变化的电路的增益、相位移等)的测量。这些量可通过分析电路的频率特性或频谱特性等方法进行测量。

③ 数据域测量。数据域测量是指对数字量进行的测量。例如,用具有多个输入通道的逻辑分析仪,可以同时观测许多单次并行的数据;对于微处理器地址线、数据线上的信号,既可显示时序波形,也可用“1”、“0”显示其逻辑状态。

④ 随机测量。这是目前较新的测量技术,例如对各类噪声、干扰信号等的测量均属于随机测量。

除了上述几种常见分类方法外,电子测量技术还有许多其他的分类方法,比如动态与静态

测量技术、模拟与数字测量技术、实时与非实时测量技术、有源与无源测量技术、点频和扫频与多频测量技术等。

1.1.2 测量误差的基本知识

1.1.2.1 几个术语

(1) 真值。指被测量本身所具有的真实大小。在不同的时间、空间下真值往往是不同的,但在一定的时空条件下,真值是客观存在的,但又是难以准确测量出来的。

(2) 约定真值。指足够接近一个被测量的真值的量,从使用它的目的来考虑,它与真值的差可以忽略不计,经常用理论值作为约定真值,简称真值。

(3) 测量误差。测量结果与真值的差别称为测量误差。

1.1.2.2 误差的表示方法

(1) 绝对误差 ΔX 。测量结果 X 与被测量的真值 A 之差称为绝对误差:

$$\Delta X = X - A$$

ΔX 是一个具有大小、符号和单位的值,反映的是测量结果与真值的偏差程度,但不能反映测量的准确程度。

(2) 相对误差 β 。绝对误差 ΔX 与真值 A 之比的百分数称为相对误差:

$$\beta = \frac{\Delta X}{A} \times 100\%$$

相对误差反映了测量的准确度。

1.1.2.3 误差的分类

误差按其性质可分为三类:

(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遵循一定规律变化的误差称为系统误差。产生系统误差的主要原因有仪器误差、使用误差、影响误差、方法和理论误差,消除系统误差主要应从消除产生误差的来源着手,多用零示法、替代法等,用修正值是减小系统误差的一种好方法。

(2) 随机误差。在相同条件下进行多次测量,每次测量结果出现无规则的随机性变化的误差称为随机误差。随机误差主要由外界干扰等原因引起,可以采用多次测量取算术平均值的方法来消除随机误差。

(3) 粗大误差。在一定条件下,测量结果明显偏离真值时所对应的误差,称为粗大误差。产生粗大误差的原因有读错数、测量方法错误、测量仪器有缺陷等等,其中人身误差是主要的,这可通过提高测量者的责任心和加强对测量者的培训等方法来解决。

1.1.2.4 误差的来源

(1) 仪表误差。由于仪器本身及附件的电气和机械性能不完善而引入的误差称为仪表误差。如仪器零件位置安装不正确,刻度不完善等,这是仪器固有的误差。

(2) 使用误差。由于仪器的安装、布置、调节和使用不当等所造成的误差称为使用误差。如把要求水平放置的仪器垂直放置、接线太长、未按阻抗匹配连接、接地不当等都会产生使用误差。减小这种误差的方法是严格按照技术规程操作,提高实验技巧和对各种现象的分析能力。

(3) 影响误差。由于受外界温度、湿度、电磁场、机械振动、光照、放射性等影响而造成的误差称为影响误差。

(4) 人身误差。指由于测量者的分辨能力、工作习惯等原因引起的误差称为人身误差。对于某些借助人耳、人眼来判断结果的测量以及需要进行人工调谐等的测量工作,均会产生人身误差。

(5) 方法和理论误差。由于测量方法或仪器仪表选择不当所造成的误差称为方法误差。测量时,依据的理论不严格或用近似公式、近似值计算等造成的误差称为理论误差。

1.1.3 测量数据的处理

测量数据的处理就是对测量数据进行计算、分析、整理和归纳,去粗取精,去伪存真,以引出正确的科学结论,并用一定的形式加以表达,必要时,将测量数据绘制成曲线或归纳成经验公式。

1.1.3.1 有效数字的处理

(1) 数字舍入规则:在对测量数据进行各种运算前,须对测量值进行舍入处理。当保留 n 位有效数字时,舍入规则为:

① 若后面的数字大于第 n 位单位数字的 0.5,则第 n 位数字加 1。

② 若后面的数字小于第 n 位单位数字的 0.5,则舍去。

③ 若后面的数字恰为第 n 位单位数字的 0.5,则第 n 位数字为偶数或零时就舍掉后面的数字,第 n 位数字为奇数,则第 n 位数字加 1。

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

例 1.1 对以下数据进行舍入处理,要求小数点后只保留 2 位。

解: 16.3720, 32.4550, 4.5452, 3.8546, 1.995, 1.985。

16.3720——16.37 32.4550——32.46 4.5452——4.55

3.8546——3.85 1.995——2.00 1.985——1.98

数据经舍入后,末位是欠准数字,末位以前的数字是准确数字。由舍入规则可知,舍入误差不大于末位单位的一半,称为“0.5 误差原则”。

(2) 有效数字:指它的绝对误差不超过末位数字的单位的一半时,在它的左边数字列中从第一个不为零的数字算起,直到末位为止(末位可以是 0)的全部数字。由于测量结果含有误差,在数据处理中测量值需经舍入处理。在数字修约过程中要注意以下几点:

① “0”的意义。前面的 0 不算有效数字,末位的“0”较为重要。例如 0.03 表示 1 位有效数字,该数可能在 0.025~0.035 之间。而 0.030 表示 2 位有效数字,该数可能在 0.0295~0.0305 之间。

② 有单位的数字需注意记录的方法。例如 1000mV 可写为 1.000V,表示它有 4 位有效数字,如果缩写成 1V 则变成 1 位有效数字。

③ 有效数字位数与测量误差的关系:在写带有绝对误差的数字时,有效数字的末位应和绝对误差取齐,例如 0.13 ± 0.01 , 4.32 ± 0.05 。带有单位的测量值,有效数字也应和绝对误差取齐,例如 $6500\text{kHz} \pm 1\text{kHz}$, 或 $6.500\text{MHz} \pm 1\text{kHz}$, 但不能写为 $6.5\text{MHz} \pm 1\text{kHz}$, 也不能写成 $6500\text{kHz} \pm 1000\text{Hz}$ 。

例 1.2 用一台 0.5 级 100V 量程的电压表测量电压,指示值为 85.35V,试确定有效数字位数。

解:该表在 100V 档最大绝对误差为:

$$\Delta U_m = \pm 0.5\% U_m = \pm 0.5\% \times 100\text{V} = \pm 0.5\text{V}$$

可见被测量实际值在 84.85~85.85V 之间,绝对误差为 $\pm 0.5\text{V}$ 。根据“0.5 误差原则”,测量结果的末位应是个位,即只应保留两位有效数字。因而不标注误差时的测量报告值应为 85V。一般将测量记录值的末位与绝对误差取齐。本例中误差为 0.5V,所以测量记录值为 85.4V,这不同于测量报告值。

(3) 近似运算法则:

① 近似值相加减时,要把小数位数较多的数进行取舍,使其比小数位数最少的数多 1 位小数;计算结果保留小数位数要与原近似值中小数位数最小者相同。例如 $13.435 + 20.382 + 5.63 + 4.6 = 13.44 + 20.38 + 5.63 + 4.6 = 44.05 \approx 44.0$ 。

② 近似值相乘除时,各因子保留的位数应比有效数字位数最少者的位数多 1 位,所得的积(或商)的有效数字的位数与原近似值中有效数字位数最少者的位数相等,而与小数点位置无关。

③ 近似值乘方或开方时,原近似值有几位有效数字,计算结果就可以保留几位有效数字。

④ 所取对数的位数与其真数有效数字的位数相同。

1.1.3.2 测量结果的表示

因为一组测量数据中,可能同时包含系统误差、随机误差和粗大误差,为得到合理的测量结果,必须对所测量数据进行分析处理,具体内容请查阅有关参考文献。

1.2 电压表

1.2.1 模拟式电压表的使用方法

1.2.1.1 分类

(1) 按电压表工作频段分:超低频(10Hz 以下)、低频(1MHz 以下)、视频(30MHz 以下)、高频(射频)(300MHz 以下)和超高频(300MHz 以上)电压表。

(2) 按测量电压的量级分:电压表(基本量程为伏特量级)和毫伏表(基本量程为毫伏量级)。

1.2.1.2 模拟式电压表的结构原理

模拟式电压表是指针式的,用磁电式电流表作为指示器,并且在电流表表盘上以电压(或dB)刻度。

交流电压测量的核心是交流—直流变换。目前在模拟式电压表中,常用各种形式的检波器,首先将被测交流电压变换成直流电流,然后驱动直流电流表偏转,给出有效值读数。

模拟式交流电压表的电路组成主要有3种,如图1.1所示。

(1) 放大—检波式。因为放大—检波式电压表的检波器为均值型,所以又称为均值电压表。框图如图1.1(a)所示,这种电压表对输入的被测信号先进行放大再进行检波。被测电压的频率范围受放大器频带的限制,一般为 $20 \sim 1.0 \times 10^7$ Hz。灵敏度受放大器内部噪声的限制可做到mV级,因此可作为“低频毫伏表”、“视频毫伏表”。

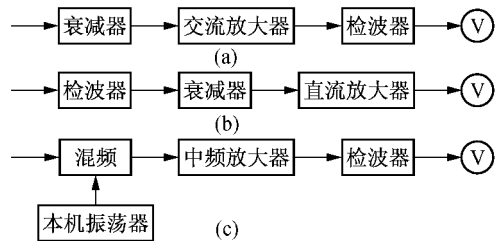


图 1.1 模拟式电压表的基本框图

(a) 放大—检波式电压表 (b) 检波—放大式电压表

(c) 外差式电压表

(2) 检波—放大式。由于这种电压表的检波器为峰值型,亦可称为峰值电压表。框图如图1.1(b)所示,其特点是“先检波后放大”,待测电压首先被转换为直流电流(电压),然后再用直流放大器放大。其测量频率范围取决于检波器的频率响应。通常所称“高频电压表”或“超高频电压表”都属于这一类。

(3) 外差式。因为外差式电压表的检波器为有效值型,所以又称为有效值电压表。框图如图1.1(c)所示。首先将输入的被测信号变换为固定的中频信号,再进行选频放大、检波。选频放大器可做到较高的增益、较窄的通带,大大削弱了内部噪声。因此,外差式电压表既有较高的上限工作频率,又有很高的灵敏度,它常用作高频微伏表,其上限频率可达几百兆赫,最小量程达微伏级。

1.2.1.3 放大—检波式毫伏表的使用方法

下面以 EM2171 型和 DA-16 型晶体管毫伏表为例介绍放大—检波式毫伏表的使用方法。

(1) 技术指标:

- ① 频率测量范围:EM2171 型为 10Hz~1MHz;DA-16 型为 20Hz~1MHz;
- ② 电压测量范围:二者均为 $100\mu\text{V} \sim 300\text{V}$;
- ③ 电平测量范围:二者均为 $-60\text{dB} \sim +50\text{dB}$;
- ④ 输入阻抗:EM2171 型:1~300mV 档, $R_i \geq 2\text{M}\Omega$, $C_i \leq 50\text{pF}$; 1~300V 档, $R_i \geq 8\text{M}\Omega$, $C_i \leq 20\text{pF}$;
DA-16 型:1kHz 时, $R_i \approx 2\text{M}\Omega$; 1~300mV 档, $C_i \approx 70\text{pF}$; 1~300V 档, $C_i \approx 50\text{pF}$ 。

(2) 面板装置。EM2171 和 DA-16 的面板如图 1.2 和图 1.3 所示。

① 量程选择开关:EM2171 型有 12 档量程,各档量程并列有附加分贝(dB)数,可用于电平测量。DA-16 型有 11 档量程。

② 输入接线柱 INPUT:输入被测信号电压用。

③ 零点调整旋钮:EM2171 型为机械调零,即毫伏表未接通电源时,调节该旋钮使表盘指针指示为零。DA-16 型为电气调零,即在毫伏表接通电源后,将输入线的两个端子(接地端和非接地端)短路,调节该旋钮使表盘指针指示为零。

④ 表头及刻度:DA-16 型表头有三条刻度线,供测量时读数调换。第一条是 0~1(10 刻度线,分别为 1mV,10mV,100mV,1V,10V,100V 六档量程的读数刻度)。第二条是 0~3 刻度线(分别为 3mV,30mV,300mV,3V,30V,300V 六档量程的读数刻度)。第三条为分贝(dB)刻度线,用于电平测量。

⑤ 电源开关与指示灯。接通电源指示灯亮。

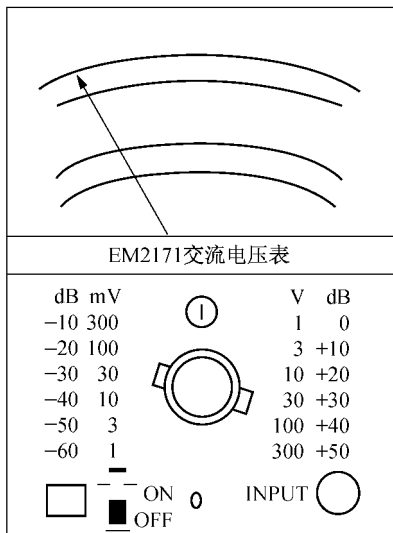
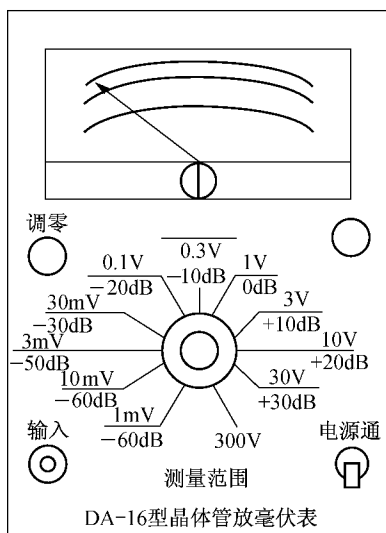


图 1.2 EM2171 型晶体管毫伏表面板图



1.3 DA-16 型晶体管毫伏表面板图

(3) 使用方法及注意事项:

① 准备工作。将毫伏表垂直放置在水平工作台上,在未接通电源的情况下,检查一下指示电表的指针是否在零位,若有偏差,则调节机械调零旋钮使指针指示为零。

② 接通电源,进行电气调零。将输入线的两个接线端短接,并使量程开关处于合适档位上,再调节电气调零旋钮使表头指针指示为零,然后断开两接线端进行测量。在使用中,每改变一次量程都应重新进行电气调零。DA-16 型毫伏表,当选用小量程档时,由于噪声的影响,表针稍有抖动,这是正确现象。EM2171 型毫伏表具有自校零功能,因此可以不进行电气调零。

③ 根据被测信号的大小选择合适的量程,当无法预知被测量的大小时先用大量程档,逐渐减小量程至合适档位。

④ 凡量程为 10×10^n 的,读数时读从上往下数的第一根刻度线,凡量程为 3×10^n 的读第二根刻度线。

⑤ 毫伏表是不平衡式表,测试端的两个夹子是不同的,黑夹子必须接被测电路的公共地,红夹子接测试点。接拆电路时注意顺序,测量时先接黑夹子,后接红夹子,测量完毕,先拆红夹子,后拆黑夹子。

⑥ 由于毫伏表的灵敏度很高,输入端感应的信号就能使表针满偏,因此不用时应将量程