

21世纪
高职高专电子信息类规划教材



电子技术实验

——低频、高频、数字、集成

王慧玲 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专电子信息类规划教材

电子技术实验

——低频、高频、数字、集成

主 编 王慧玲

副主编 鲍秋凤

参 编 路 昭 陈 强 高建平

主 审 刘连青



机械工业出版社

本书是为高职高专电子信息类专业编写的电子技术实验教材,也可供从事电子与信息技术工作的工程技术人员学习与参考。全书由两个部分组成:第一部分是电子技术实践初步,内容包括电子测量的基本知识、常用电子仪器仪表、常用电子元件和电子技术实践综述;第二部分是电子技术实验,内容包括低频电子技术实验、高频电子技术实验、数字电子技术实验和集成电路应用实验。

本书较全面地涉及了电子技术实验理论及实验技术,提供了科学的实验方案,并且所有实验方案均已调通。为方便各院校的实验教学,本书的实验设备选型通用、灵活,实验内容安排适众,实验方案设计新颖。尤其是集成电路实验项目填补了目前实验教材的空白,为电子技术课程教学和课程改革提供了很好的教学素材。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验:低频、高频、数字、集成/王慧玲主编. —北京:机械工业出版社, 2004.

21世纪高职高专电子信息类规划教材

ISBN 7-111-13643-8

I. 电... II. 王... III. 电子技术—实验—高等学校:技术学校—教材
IV. TN—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 115925 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周娟 王玉鑫

责任编辑:周娟 版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:姚毅 责任印制:施红

北京忠信诚胶印厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·9.125 印张·353 千字

0 001—4 000 册

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了适应现代电子技术飞速发展的需要,更好地培养 21 世纪应用型电子技术人才,培养学生的工程技术素质和较强的动手能力,在结合多年教学实践经验和体会的基础上编写了本教材。

电子技术实验是培养电子技术人才必不可少的教学环节,其重要性不亚于电子技术理论的学习。通过电子技术实验,对培养学生的工程技术素质和实际动手能力有着非常重要的意义。正是因为这个缘由,希望大家都能够重视实验教学,规范实验过程,使每一个实验都能达到预期的目的,最终实现培养高素质电子技术人员的目标。

本书的特点是既有电子技术实验的理论支撑,又有科学的适众性、新颖性实验方案,全书的构架完整,选用灵活,符合电子技术实验基础、低频电子技术实验、高频电子技术实验、数字电子技术实验、集成电路应用实验任一课程的实际教学需求。实验设备选取通用型;实验项目丰富,既有测试性、验证性实验,又有综合性、提高性实验。实验方案可根据教学需要或学生水平选择,如低频电子技术实验中打*的内容便可由教学的实施者选择。对水平较高和教学条件允许的院校,选做打*的内容可达到更好的实际效果。

本书由王慧玲担任主编,鲍秋凤担任副主编。路昭、陈强、高建平老师参编。其中王慧玲编写了第一部分电子技术实践初步;陈强编写了低频电子技术实验;鲍秋凤编写了高频电子技术实验和集成电路应用实验;路昭编写了数字电子技术实验;高建平参加了部分集成电路实验的调试;全书由王慧玲统稿。

本教材由刘连青主审,她为本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。同时感谢魏玉敏老师对集成电路应用实验部分提出了许多建设性的意见,感谢尹立俊、李学华等老师给予的支持。

由于编著者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一部分 电子技术实践初步

第一章 电子测量的基本知识	4
---------------------	---

第一节 基本测量技术	4
第二节 测量误差	6
第三节 测量结果的处理	8
思考题一	10

第二章 常用电子仪器仪表	12
--------------------	----

第一节 仪器仪表的使用与维护	12
第二节 常用电源与信号源	13
第三节 万用表	20
第四节 毫伏表	21
第五节 示波器	22
第六节 晶体管特性图示仪	25
第七节 频率特性测试仪	28
第八节 数字频率计	30
思考题二	34

第三章 常用电子元器件	35
-------------------	----

第一节 电阻器	35
第二节 电容器	39
第三节 电感器	42
第四节 半导体器件	43
第五节 集成电路	49
思考题三	51

第四章 电子技术实践	52
------------------	----

第一节 电子技术实验电路的实现	52
第二节 电子技术实验电路的调试	56
第三节 电路故障排查的基本方法	58

思考题四	61
------------	----

第二部分 电子技术实验

第五章 低频电子技术实验	62
第一节 二极管、三极管特性的测试	62
第二节 单级放大电路	65
第三节 射极跟随器	69
第四节 负反馈放大电路	70
第五节 差动放大电路	74
第六节 运算放大器基本运算电路	77
第七节 RC 正弦波振荡电路	81
第八节 波形产生电路	83
第九节 低频功率放大电路	85
第十节 直流稳压电源	88
第十一节 有源滤波电路	92
第六章 高频电子技术实验	95
第一节 高频电子仪器使用练习	95
第二节 小信号调谐放大器	101
第三节 集中选频放大器	106
第四节 LC 正弦振荡器	111
第五节 石英晶体振荡器	114
第六节 调幅电路	117
第七节 解调电路	122
第八节 大信号包络检波器	125
第九节 混频电路	130
第十节 比例鉴频电路	134
第十一节 锁相环频率合成器	137
第七章 数字电子技术实验	143
第一节 基本门电路的逻辑功能测试	143
第二节 集成门电路的功能测试和使用	149
第三节 TTL74 系列与非门器件参数测试	152
第四节 组合逻辑电路实验 (一) ——加法器	157
第五节 组合逻辑电路实验 (二) ——编码器	161
第六节 组合逻辑电路实验 (三) ——译码器	164
第七节 组合逻辑电路实验 (四) ——数据选择器	168

第八节 触发器实验	172
第九节 时序逻辑电路实验(一)——移位寄存器	175
第十节 时序逻辑电路实验(二)——计数器	180
第十一节 时序逻辑电路实验(三)——顺序脉冲发生器	183
第十二节 555 通用集成定时器的原理及应用	186
第十三节 D/A 转换器	190
第十四节 A/D 转换器	193
第十五节 数字电子钟——综合实验	196
第八章 集成电路应用实验	205
模块一 集成运算放大器及其应用	205
第一节 双集成运算放大器 LM358 及构成音调控制电路	206
第二节 双集成运算放大器 LM358 及构成有源滤波电路	210
第三节 双集成运算放大器 $\mu A741$ 及构成信号产生电路	215
第四节 专用集成电压比较器 LM393	222
模块二 ICL8038 及其应用	226
第五节 ICL8038 函数信号发生器	226
第六节 ICL8038 构成调频电路	231
模块三 集成锁相环及其应用	235
第七节 集成锁相环 LM565 及构成 FM 信号解调器	235
第八节 集成锁相环 LM567 及构成红外反射式光电开关	240
模块四 不同功能集成芯片实现脉宽可调电路	244
第九节 集成脉冲延时器 NE555 及构成占空比可调振荡电路	245
第十节 集成脉宽调制组件 TL494 及构成脉宽调制电路	249
模块五 不同类型集成芯片实现功率放大电路	254
第十一节 LM386 及构成 OTL 功率放大电路	254
第十二节 TDA2822M 及构成 BTL 功率放大电路	258
模块六 其他集成电路应用实例	261
第十三节 555 时基电路及构成短时间延迟器	261
第十四节 集成模拟乘法器 MC1496 及构成倍频电路	262
第十五节 集成 A/D、D/A 转换电路	266
附录	272
附录 A 常用符号说明	272
附录 B 电阻器阻值标称值系列	275
附录 C 电阻器的额定功率系列	276
附录 D 电阻器的型号命名法	276

附录 E 常用电容器电容量的标称值系列	276
附录 F 电容器的型号命名法	277
附录 G 半导体分立器件的型号命名法	277
附录 H 三种逻辑电路的参数比较	279
附录 I 集成电路的型号命名法	279
附录 J 常用集成电路芯片引脚图	280
参考文献	283

绪 论

实验是对学生进行专业技能训练,提高学生的工程实践能力的一个重要的教学环节。电子技术实验是一门以实践为主的重要的技术基础课。

在实验课程的进行中,教师应注重对学生的工程技术能力的培养,如:①使用常见电子测量仪器仪表的技能;②熟悉常用元器件的性能并正确选用的能力;③实施实验并观察分析电路现象的能力;④应用电子测量技术的能力;⑤调试实验或排查简单故障的能力等;⑥焊接组装实验电路的能力,并注重全面素质和创新精神的培养。

一、电子技术课程的基本要求

1. 能够正确熟练使用信号发生器、毫伏表、示波器等常用电子测量仪器。
2. 熟悉电子技术中常用元器件的性能和使用方法。
3. 能够根据实验需要,正确选择电路元器件,正确连接实验线路,观察实验现象,调试实验电路,排除简单电路故障。
4. 了解误差理论,学会正确处理数据,绘制实验曲线,分析实验结果,撰写实验报告。
5. 认真研究实验现象,积极思考和讨论实验问题,培养创新精神;同时要有严肃的科学态度、团结协作的团队精神和爱护实验设备的良好习惯。注意实验操作规范,安全用电。

二、课程的进行方式

本教材中的电子测量基本知识,仪器仪表的功能、指标和使用方法,可以讲授或自学。实验部分可按下列顺序进行:

1. 课前预习

实验前要认真预习实验所涉及的有关知识,明确实验的目的和要求,了解实验原理、仪器仪表设备的使用方法和注意事项等。

2. 课程进行

(1) 检查仪器仪表 首先检查本次实验所需的仪器仪表及部件是否齐全,仪表的类型和量限是否合适,仪表指针的起始位置是否正确,指针摆动是否灵活等。同时记录仪器仪表的型号、规格及标号,以便在分析实验结果时,对数据的准确性和可靠性有所依据。

(2) 连接线路 实验前,仪器仪表的摆放和布局要合理,操作要安全。断电状态时进行连线,应按电路顺序相连。连线要可靠,线路要清楚有序,各分支、

节点易辨别（可以利用导线的色彩特征等）。

(3) 检查线路 线路接好后，同学之间应先互查线路是否正确。除了检查电路的连接是否正确外，还要检查滑线变阻器的动触点位置是否合适，调压器手柄指针位置是否接近零位，仪表量限和极性是否符合要求。对初次实验或较复杂的实验线路，须经老师核查线路后才可通电。

(4) 接通电源 通电前，首先通知全组成员做好准备，以免发生人身事故或设备损毁，有异常现象时，应及时断电。

(5) 读取和审查数据 正确读取仪表数据，并准确记录，判断其合理性，由教师审定后再拆线。

(6) 拆除线路 数据经审查合格后，要先切断电源，再拆除线路，整理仪器仪表设备，清理导线。经老师允许后，方可离开实验室。

三、实验报告的撰写

实验结束后，必须认真及时地撰写实验报告。实验报告是实验结果的总结和反映。一个实验的价值，很大程度上取决于实验报告质量的高低。

1. 撰写实验报告的要求

(1) 实事求是的科学态度 实验数据与实验结果是对电路进行分析研究的依据。因此，实验取得的资料，如数据、图形等应真实地反映到实验报告中去，不允许更改、抄袭，或主观臆断。若因操作错误使数据违背规律，应当重做实验，重新取得数据。

(2) 符合要求的具体内容 实验报告应以实验目的和实验要求为中心内容。

(3) 不断积累、深入探索的钻研精神 实验过程是培养实验技能，提高动手能力，增加实践经验的过程。学生应善于总结实验中的经验与不足，将其整理记录在实验报告中，对后面做好实验提供帮助。

(4) 实验报告形式规范 实验报告应作到：文字流畅，语言准确，书写清楚，整齐，数据完整，图表规范，分析合理，结论有据。

2. 实验报告的主要内容

(1) 实验名称 包括实验日期，实验者班级、姓名及学号，实验组别，同组人姓名。

(2) 实验目的 实验目的是实验的宗旨，要有明确的目的，才能做好实验。在本栏中，学生应简明地概述本实验通过何种方法，训练哪些技能，达到怎样的要求等。

(3) 实验仪器与设备 列出完成实验所需的仪器和设备。

(4) 实验电路 画出实验电路图与测试电路图，标明元器件和参量以及仪器仪表的名称等。

(5) 实验记录 应记录实验过程中的数据、图形及绘制的曲线、图表。

(6) 实验结论和心得 总结实验结果并将发现的问题及学习心得记录下来。

四、实验室的安全操作规则

在实验中，为了防止仪表仪器等设备的损坏，保证人身安全，实验者必须严格遵守如下安全操作规则：

1. 熟悉实验室的直流与交流电源，了解其电压、电流额定值和控制方式，区分直流电源的正负极和交流电源的相线与中性线。
2. 要知道仪器仪表的规格、型号和使用方法，特别要注意额定值和量限。
3. 通电前，应通知全组人员有准备后再接通电源。
4. 实验中不得用手触摸线路中带电的裸露导体。改、拆接线路时，应断开电源，电容应用导线短接放电（安全电压 36V 以下，安全电流 100mA 以下）。
5. 发现异常现象，如仪表指针猛打，有焦臭、冒烟、闪弧、有人触电等，应立即切断电源，报告指导老师，查找原因，排除故障。
6. 实验要规范有序，不要忙乱，应按操作步骤实施实验。不要乱动与本次实验无关的仪器设备。实验完毕后，应将仪器设备恢复到常位，并切断电源。

第一部分 电子技术实践初步

第一章 电子测量的基本知识

为了使读者在实验之前能够初步掌握测量的基本知识，本章主要介绍电量的基本测量技术、测量误差和测量结果的处理等知识。

第一节 基本测量技术

电子技术实践活动中，经常要对电量进行测量，一个电量的测量可以通过不同的方法来实现。这里简要介绍电量测量的基本方法等问题。

一、测量方法的分类

电子测量方法有多种分类形式，如：

1. 按数据得到的过程分类

(1) 直接测量法 它是可以直接测量得到欲测量值的测量方法。例如，用电压表测量稳压电源的工作电压。

(2) 间接测量法 它是利用欲测量值与测量量之间的已知关系，得到欲测量值的测量方法。例如，欲测量放大器的电压放大倍数 A_u ，先测量输出电压 U_o 和输入电压 U_i ，然后由 $A_u = U_o/U_i$ 算出 A_u 。

(3) 组合测量法 它是一种兼用直接测量和间接测量的方法，将欲测量值和另外几个测量量组成联立方程，解方程求出欲测量值的大小。

2. 按读取数据的方法分类

(1) 直读测量法 它是直接从仪器仪表的刻度线（或显示）上读出被测量结果的方法。例如，用电流表测量电流就是直读测量法。

(2) 比较测量法 它是将被测量量与标准量直接进行比较而获得测量结果的方法。例如，利用电桥测量电阻。

应当指出，直读测量法与直接测量法，比较测量法与间接测量法并不相同，两者互有交叉。例如，用电桥测电阻是比较测量法，属于直接测量法；用电压、电流表法测量功率，是直读测量法，但属于间接测量法等等。

3. 按被测量量的性质分类

(1) 频域测量 即正弦测量。测量参数多为频域的函数, 而与时间因素无关。由于测量时电路处于稳定工作状态, 因此, 又称为稳定测量。

这种测量技术用的信号是正弦信号, 线性电路在正弦信号的作用下, 所有的电压和电流量都有相同的频率, 仅幅度和相位有差别。利用这个特点可以实现各种电量的测量, 如放大器增益、相位差、输入阻抗和输出阻抗等。此外, 还可以观察非线性失真。其缺点是, 不宜用于研究电路的瞬态特性。

(2) 时域测量 用于观察电路的瞬变过程及瞬态特性, 如上升时间 t_r 、下降时间 t_f 、周期 T 和脉宽 t_w 等。时域测量技术采用的主要仪器是脉冲信号发生器和示波器。

(3) 数据域测量 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) 噪声测量 属于随机测量。在电子电路中, 噪声与信号是相对存在的, 噪声大小应相对于信号而言。因此工程技术中, 常用噪声系数 F_N 来表示电路噪声的大小。一般情况下, $F_N \geq 1$, F_N 越接近于 1, 电路产生的噪声越小, 放大微弱信号的能力就越强。当 $F_N = 1$ 时, 电路本身无噪声。

测量方法还可以根据测量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。

二、选择测量方法的原则

在选择测量方法时, 应首先研究被测量量本身的特性及所需要的精确程度、环境条件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。

一个正确的测量方法, 可以得到较好的测量结果, 提高测量准确度。否则, 不仅测量结果不可信, 还有可能损坏测量仪器、仪表和被测元器件或设备。

尽管实验中难免存在测量误差, 但采取某些措施可减少或消除误差, 如:

1. 经常对仪表进行校正

(1) 用标准表校正测量仪表, 必要时对被校正表的读数引入校正值。

(2) 仪表使用前要作零点调整。例如, 大部分仪表在未通电时, 指针应指在零点, 当偏离零点时, 可用机械调零装置进行调整。而用欧姆表测量电阻时, 则应先用零欧姆调节旋钮调零后再进行测量。

2. 仪器仪表的安置要正确

放置仪器仪表的环境应不受外界电磁场的干扰。仪器仪表要按要求摆放, 垂直摆放的仪表不能水平摆放, 否则仪表的读数误差将加大。

3. 避免用大量限仪表测量小量限的被测量量

实际上,在仪表的同一量程中,指针偏转越大,相对误差越小,测量准确度越高。所以在选择仪表量限时,既要考虑仪表的准确度等级,又要合理选择仪表量程,才能保证有足够的测量准确度(一般应使指针偏转在仪表量程的 $2/3$ 以上为佳)。

第二节 测量误差

一、误差的来源

1. 仪器仪表误差

仪表是用来量度的。但无论仪器仪表的制造工艺如何完善,质量如何好,仪表指示的数值和被测的实际值之间总有一些差异,这种差异就叫做仪表的误差。

按仪表产生误差原因的不同可分为:

(1) 基本误差 它是仪表在正常工作条件下本身所固有的,是由于仪表本身结构或制造工艺上的不完善而产生的误差。例如,由于轴尖与轴承之间的摩擦、标尺刻度不准、弹簧变形、装配得不好等引起的误差。

(2) 附加误差 它是仪表受外界条件影响所引起的误差。例如,由于环境温度、湿度、外界电磁场、频率、电压或电流等的变化,使仪表偏离了正常工作条件,产生了附加误差。

2. 人为误差

除仪表的基本误差和附加误差外,在进行测量时,还会有由于测量方法及读数方法不正确或读数不精细等原因引起的人为误差。人为误差可分为:

(1) 方法误差 它是由于使用的测量方法不完善,理论依据不严密,或对某些测量方法作了不适当的简化而产生的误差。

(2) 操作误差 它是在使用仪器仪表过程中,因安装、调节、布置、使用不当而引起的误差。

(3) 人身误差 它是由于人的感觉器官和运动器官的限制所造成的误差。

因此,应认真地考虑测量方法,仔细地读数,以获得尽可能准确的测量数据。

二、误差的类别

1. 系统误差

这种误差是指在相同条件下重复测量同一个量时,误差的大小和符号保持不变,或按照一定规律变化的误差。系统误差一般可以通过分析查明产生误差的原因。因此,这种误差是可以减少和消除的。

2. 随机误差(偶然误差)

与系统误差不同,这种误差是指在相同条件下多次重复测量同一个量时,误

差的大小和符号无规律变化的误差。随机误差不能用实验方法消除。此时，可以通过多次测量，采用统计的方法进行估算，如取算术平均值等。

3. 疏失误差（粗差）

这是一种过失误差。这种误差通常是由于测量者对仪器不了解、粗心，导致读数不正确而引起的，或测量条件突然变化引起异常而操作者并没有在意。针对不良的测量结果，必须根据统计检验方法和某些准则来判断哪个测量值不好，然后加以排除。

三、误差的表示法

仪器仪表误差的量一般可用绝对误差、相对误差和引用误差来表示。

1. 绝对误差 Δ

仪器仪表的绝对误差是指仪表的指示值 A_x 与被测量量的真值 A_0 之差值，即

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

被测量量的真值可由标准表指示。绝对误差的单位与被测量量的单位相同。

例如，真值为 100mA 的电流，用电流表 1 测量时指示为 101mA，用电流表 2 测量时指示为 99.8mA，则它们在测量 100mA 电流时的绝对误差为

$$\Delta_1 = (101 - 100)\text{mA} = 1\text{mA}$$

$$\Delta_2 = (99.8 - 100)\text{mA} = -0.2\text{mA}$$

由此可见， Δ 为正时，测量的值偏大； Δ 为负时，测量的值偏小。测量同一个量时， Δ 的绝对值越小，测量的结果越准确。

2. 相对误差 γ

测量不同大小的参数时，用绝对误差难以比较测量结果的准确程度，为此引入相对误差。

相对误差是绝对误差 Δ 与被测量量的真值 A_0 之间的比值，通常用百分数表示，即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2a)$$

在实际测量中，常常用仪表的指示值 A_x 代替真值 A_0 进行相对误差的近似估算，即

$$\gamma \approx \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-2b)$$

相对误差给出了测量误差的明确概念，用它对不同的测量误差进行比较很方便，所以它是一种较为常用的测量误差表示形式。

例如，用电压表测真值为 100V 电压时指示 101V，绝对误差为 1V，测 20V 电压时指示 19.2V，绝对误差为 0.8V，从绝对误差看，前者大于后者，但算得相对误差分别为

$$\gamma_1 = \frac{101\text{V} - 100\text{V}}{100\text{V}} \times 100\% = +1\%$$

$$\gamma_2 = \frac{19.2\text{V} - 20\text{V}}{20\text{V}} \times 100\% = -4\%$$

前者对测量值的相对误差是1%，而后者是4%，从测量的准确度看，显然前者的误差要比后者小，准确度高。因此，在工程上，凡要求计算测量结果的误差时，一般都用相对误差。

3. 引用误差

相对误差虽然能说明测量不同数值时的准确程度，但还不能完全说明仪表本身的准确性如何。因为同一个仪表的基本误差，在刻度范围内变化不大，但由于标度尺不同位置的读数变化很大，相对误差的变化就很大。为了较好地反映仪表的基本误差，用绝对误差作分子，仪表的测量量限 A_m 作分母，取其比值的百分数，即为引用误差

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

例如，上例中所用的电压表的量限为150V，用电压表测真值为100V电压时指示101V，测20V电压时指示19.2V，则引用误差为

$$\gamma_{n1} = \frac{101\text{V} - 100\text{V}}{150\text{V}} \times 100\% = +0.67\%$$

$$\gamma_{n2} = \frac{19.2\text{V} - 20\text{V}}{150\text{V}} \times 100\% = -0.53\%$$

由于仪表不同刻度点的绝对误差略有不同，如取可能出现的最大绝对误差与仪表的测量量限 A_m 比值的百分比为仪表的最大引用误差，即

$$\gamma_{nm} = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

第三节 测量结果的处理

测量结果通常用数字或图形表示，下面分别讨论。

一、测量结果的数字处理

1. 有效数字

在测量中，常常需要从仪表指针估计出最后一位数字，所以测量的数据总是近似值，它通常由可靠数字和欠准数字两部分组成。例如，由电压表测得电压为24.8V，这是个近似数，24是可靠数字，而末尾8为欠准数字，即24.8为三位有效数字。

对于有效值的正确表示,应注意如下几点:

(1) 有效数字是指从左边第一个非零的数字开始,直到右边最后一个数字为止的所有数字,如 123V 和 0.123kV 都是三位有效数字。

(2) 有效数字的位数与小数点无关。5.40A 和 5.4A 有效数字的位数是不相同的。

(3) 遇到大数字或小数字时,有效数字的记法如 8.20×10^3 和 8.2×10^{-1} , 分别表示三位有效数字和两位有效数字。

例如,测得的频率为 0.0146MHz,它是由 1、4、6 三个有效数字组成的频率值,而左边的两个零不是有效数字,它可以写成 1.46×10^{-2} MHz,也可写成 14.6kHz,而不能写成 14600Hz。

2. 运算规则

对有效数字进行运算时,为了保证运算结果的准确度,有效数字位数的记法规则如下:

(1) 运算结果只保留一位欠准数字。舍去多余的欠准数字时,近似地可采用四舍五入法。

(2) 运算中的常数,如 π 、 $\sqrt{2}$ 、e 或仪表的量限等,可根据需要任意取用有效数字的位数,不加限制。

3. 基本运算

当几个数相加或相减时,其得数在小数点后的位数,应取与运算数中小数点后位数最少的一个位数相同。例如: $12.5 + 5.21 = 17.7$

当几个数相乘或相除时,其得数的位数,应取与运算数中位数最少的一个位数相同,有时也可根据需要多保留一位。例如: $1.243 \times 4.2 = 5.2$, $3.2 \times 6.22 = 19.9$

人们往往错误地认为:保留数字更多的位数会使实验结果更准确。实际情况并不是这样,只有科学地按有效数字处理数据,才能使实验结果更准确。

二、曲线的处理

在分析两个或多个物理量之间的关系时,通常用曲线表示比用数字和公式表示更形象、更直观。因此,测量结果经常要用曲线来表示。

1. 曲线的修正

在实际测量过程中,由于各种误差的影响,测量数据将出现离散现象,如将测量点直接连接起来,曲线不光滑,呈波动的折线状,如图 1-3-1 所示。但我们利用有关的误差理论,可以把各种随机因素引起的曲线波动抹平,使其成为一条光滑均匀的曲线,这个过程称为曲线的修正。

2. 分组平均法修匀的曲线

在要求不太高的测量中,常采用一种简便、可行的工程方法——分组平均法