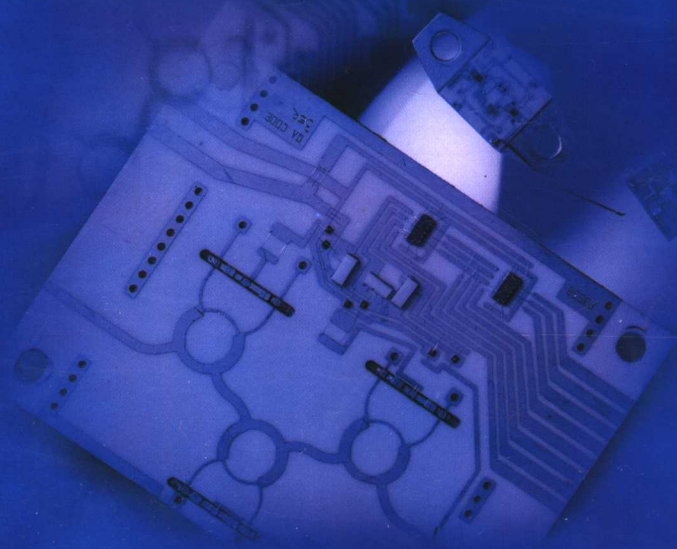


电子技术基础实验

dianzi jishu jichu shiyan

主编 陈先荣



国防工业出版社

National Defense Industry Press

电子技术基础实验

主编 陈先荣

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

全书共分九章,内容包括:电子实验的基础知识和基本测量技术;基本电子仪器原理、使用和常用电子元器件的相关知识;电路分析和模拟电路基础的相关理论及测试方法;电路的计算机仿真及应用等。本书除系统介绍了电路及电子技术基础的基本理论和实验方法外,还针对课堂教学要求配置了相关实验内容,供教学时参考。

本书可作为高等院校电子类专业基础电子技术的实验教材,也可供其他专业师生和相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验/陈先荣主编. —北京:国防工业出版社,2006.9

ISBN 7-118-04716-3

I. 电... II. 陈... III. 电子技术 - 实验
IV. TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 093980 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15¼ 字数 344 千字

2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

《电子技术基础实验》 编写人员名单

主 编 陈先荣

参加编写人员

李朝海 崔红玲 郭 迅 付 炜

陈骏莲 杨德俊 张晓霞 刘光友

前 言

21 世纪,不同学科领域的技术相互融合,并不断开拓出新的学科领域。因此,面对新世纪的挑战,电路与电子技术课程必须不断地进行深入改革。而基础的电子实验是电工和电子技术基础课程中重要的实践环节,对培养学生理论联系实际的能力有着非常重要的作用。通过基本仪器的正确使用,电路元器件参数和电路性能的测试,电路的安装、调试及故障排除,电路的设计与估算,实验数据的记录、处理、分析、综合和实验报告的撰写等环节,培养学生进行科学实验的动手能力及严谨求实的科学研究作风,提高学生的基本实验技能和整体综合素质。

电子科技大学“国家工科电工电子基础课程教学基地”的电子实验中心,作为“国家级实验教学示范中心”承担了电子技术实验课程的建设 and 教学,创建了“基础型、应用型、综合型、设计型、创新型”五个层次的实验教学构架,《现代电子技术实验》课程的创建,将五个层次的内容以模块化方式对各门课程细分,以不同的教学方法和目的、按照不同知识点和侧重点的思路、采取基础应用和创新能力相结合的手段进行教学。

经过多年的实验教学实践,我们深深体会到基础实验教学的重要性。从教学思路、教学方法和教学手段等各方面都注重基础知识和基本技能的培养。本书适用于电子类各专业教学,其指导思想是培养学生掌握基本的电子测试技术和实验技能,是电子技术实验的入门教材。本书整合了电路分析和模拟电路的基础内容,以基本定理为理论依据的基础,以测试方法为能力培养的手段,以基础实验为技能提高的内容,循序渐进、深入浅出地阐述测量的基础知识、实验的测试技术、电路的设计综合、仿真的基本应用等。

全书分为九章,一共有三个板块的内容,系统介绍了电子电路测量的基本原理、实验方法;交、直流测试技术及典型电路的测试;电路课程设计型实验基本技术;现代电子电路虚拟实验技术等。

第一板块为第 1 章至第 4 章。基本内容包括:从电子实验的基础知识入手,阐述测量的误差分析、数据处理和实验室安全用电常识;系统介绍基础电子实验的方法和基本测量技术;结合相应的实践内容,介绍常用电子测量仪器的分类、原理以及使用的技术要点和注意事项;介绍典型电路元器件参数特性、功能、用途及识别方法。

第二板块为第 5 章至第 8 章。它通过实验方法和实验内容,介绍基本电路及网络定理的测量、电路的时域测量和频域测量,验证电路分析中的一些重要定律和定理。介绍时域测量和频域测量的基本技术,以及元件参数、电路结构对系统的影响。

简要介绍电子电路的测量基础,包括模拟电子电路的特点、基本放大电路的实验分析、放大电路中的负反馈技术以及差动放大器的工作性能。本书从总体方案的选择、单元电路的设计及元器件选择等方面入手,从电路设计的方法,到实验电路的搭建及调试,系统地介绍了基础电路设计的综合技术。

第三板块为第9章。主要介绍适合于教学并兼有计算机辅助分析与设计功能的MultiSim8软件的使用方法和仿真实验内容。计算机的辅助分析和电路实验的仿真在现代电子实验中应用广泛,特别是对于电子技术基础实验,学生在进行电路的设计、安装之前,运用虚拟技术对所选电路进行计算机仿真运行和分析,有利于帮助学生分析问题、发现问题、解决问题。使学生将现代教学手段运用到实际实验当中,对掌握电子技术基础实验的内容,为《电子技术应用实验》、《电子技术综合实验》等课程的学习打下坚实的基础。

由于实验内容的模块化,有利于内容的不断更新,也使本课程从讲授到学习更具有系统性和更强的实践性。

电子技术基础是一门具有工程特点和实践性很强的课程,加强工程训练,特别是技能的培养,对于培养工程人员的素质和能力具有十分重要的作用。电子技术基础实验课程融合了电路分析、模拟电路基础、电子测量技术等相关课程的理论,实验项目引入内容先进、综合性强、实验性突出的主动型教学模式,具有系统性、独立性、实用性,为电子技术本门学科范围的理论论证和实际技能的培养奠定基础,使学生更好地掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

本书由陈先荣担任主编并统稿。第7章和实验5.4、实验8.1由李朝海编写;第6章6.1节和实验6.2、实验6.5由崔红玲编写;实验4.1、实验5.5由郭迅编写;实验4.3由付炜编写;实验6.4由陈骏莲编写;实验5.1、实验5.2由杨德俊编写;实验5.3、实验6.1由张晓霞编写;实验7.3由刘光友编写;其余章节均由陈先荣编写。

毛瑞明老师对实验装置的设计和研制做了大量的工作,钟洪声教授和习友宝教授对该书提出了许多建设性意见,在此谨向他们和其他关心、帮助本书编写工作的同志们表示衷心感谢。本书在编写过程中,编者结合多年实验教学经验,还借鉴和参阅了大量的参考文献,并参考了兄弟院校的教材和实验指导书,使本书具有较强的实用性和指导性。在此一并向这些作者表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,缺点和错误在所难免,希望读者,特别是使用本书的师生提出宝贵意见。

编者
2006年6月于成都

目 录

第 1 章 电子实验基础知识	1
1.1 电子基础实验课程要求	1
1.1.1 实验前的准备	1
1.1.2 实验中的要求	1
1.1.3 实验后的作业	1
1.2 测量误差的基本知识	2
1.2.1 系统误差	2
1.2.2 影响误差	5
1.2.3 方法误差	5
1.2.4 允许误差	6
1.3 测量数据的处理	6
1.3.1 测量结果的记录和运算	6
1.3.2 测量结果误差的估计	8
1.4 实验故障的检查与处理方法.....	10
1.4.1 故障产生的原因.....	10
1.4.2 常见实验故障.....	10
1.4.3 故障处理的一般步骤.....	11
1.5 实验室安全用电知识.....	12
1.5.1 触电的有关知识.....	12
1.5.2 保护接地与保护接零.....	14
1.5.3 实验室供电配置.....	15
思考与练习	16
第 2 章 基础电子实验方法及测量技术	17
2.1 电子测量的基本要求.....	17
2.1.1 电子测量.....	17
2.1.2 测量的基本要求.....	17
2.2 基本测量的分类.....	18
2.2.1 按测量方法分类.....	18
2.2.2 按被测量性质分类.....	18
2.3 电压测量.....	19
2.3.1 直流电压的测量.....	19
2.3.2 交流电压的测量.....	20

2.4 电流测量	21
2.4.1 直接测量	21
2.4.2 间接测量	21
2.5 阻抗测量	21
2.5.1 输入电阻的测量	22
2.5.2 输出电阻的测量	23
2.6 幅频特性测量	23
2.6.1 点频测试法	23
2.6.2 扫频测试法	24
2.7 相位测量	24
2.7.1 双踪示波法(截距法)	24
2.7.2 李沙育图形法	25
思考与练习	26
第3章 基本测量仪器及应用	27
3.1 基本电子仪器分类	27
3.1.1 电子仪器概述	27
3.1.2 信号源和电源	27
3.1.3 基本测量仪器	28
3.2 信号发生器	28
3.2.1 信号发生器的分类	28
3.2.2 函数发生器的工作原理	29
3.2.3 常用函数发生器介绍	29
3.2.4 函数发生器使用的技术要点及注意事项	34
3.3 直流稳压电源	34
3.3.1 直流稳压电源的工作原理	35
3.3.2 直流稳压电源的主要技术指标	35
3.3.3 常用直流稳压电源介绍	36
3.3.4 直流稳压电源使用的技术要点及注意事项	38
3.4 示波器	38
3.4.1 示波器的波形显示原理	39
3.4.2 通用示波器的基本原理结构	42
3.4.3 示波器的双踪显示	45
3.4.4 常用双踪示波器介绍	46
3.4.5 示波器使用的技术要点和注意事项	49
3.5 晶体管毫伏表	50
3.5.1 毫伏表的分类及特点	50
3.5.2 毫伏表的工作原理	50
3.5.3 常用晶体管毫伏表介绍	51
3.5.4 晶体管毫伏表使用的技术要点及注意事项	53

3.6 万用表	53
3.6.1 模拟万用表	53
3.6.2 数字万用表	56
3.6.3 万用表使用的技术要点及注意事项	57
3.7 半导体管特性图示仪	58
3.7.1 晶体管特性曲线的测试方法	58
3.7.2 半导体管特性图示仪	61
3.7.3 常用半导体管特性图示仪介绍	62
3.7.4 半导体管特性图示仪使用的技术要点及注意事项	65
3.8 功率表	66
3.8.1 电动系功率表的结构和工作原理	67
3.8.2 功率表使用的技术要点及注意事项	68
3.9 电子测量仪器的正确选择与使用	69
3.9.1 正确选用电子测量仪器	69
3.9.2 正确选择测量方法	69
思考与练习	70
实验 3.1 常用电子测量仪器的使用	70
实验 3.2 万用表的正确使用	72
第 4 章 电路元器件参数特性及识别	75
4.1 电阻器	75
4.1.1 电阻器的分类	75
4.1.2 电阻器与电位器的型号命名	76
4.1.3 电阻器和电位器的主要性能参数	78
4.1.4 电阻器的实验测试	79
4.1.5 电阻器(电位器)的正确选用	80
4.2 电容器	81
4.2.1 电容器的分类	81
4.2.2 电容器的型号命名	83
4.2.3 电容器的主要性能参数	84
4.2.4 电容器的实验测试	85
4.2.5 电容器的正确选用	86
4.3 电感器	86
4.3.1 电感器的分类	86
4.3.2 电感器的主要性能参数	87
4.3.3 电感器的实验测试	88
4.3.4 电感器的正确选用	88
4.4 半导体器件	89
4.4.1 半导体二极管	89
4.4.2 双极型三极管	93

4.4.3 场效应管·····	96
4.4.4 晶闸管·····	97
4.5 集成电路器件·····	99
4.5.1 集成电路器件的分类·····	99
4.5.2 集成电路器件的型号命名·····	100
4.5.3 集成电路引脚的判别·····	101
思考与练习·····	101
实验 4.1 电路元件伏安特性的研究·····	101
实验 4.2 半导体器件的图测方法·····	105
实验 4.3 互感的研究·····	107
第 5 章 基本电路及网络定理的测量 ·····	111
5.1 电路基本定律的分析与测量·····	111
5.1.1 基尔霍夫定律·····	111
5.1.2 定律的验证与测试·····	111
5.2 网络定理及测试·····	112
5.2.1 叠加定理·····	112
5.2.2 戴维南定理·····	113
5.2.3 诺顿定理·····	113
5.2.4 戴维南—诺顿定理在电路调试中的应用·····	114
思考与练习·····	115
实验 5.1 网络定理的测试·····	115
实验 5.2 双口网络测试·····	118
实验 5.3 RLC 元件性能及 KVL 方程的相量形式·····	122
实验 5.4 受控源特性研究·····	125
实验 5.5 负阻抗变换器的研究·····	128
第 6 章 电路的时域测量及频域测量 ·····	132
6.1 电路的时域分析与测量·····	132
6.1.1 一阶 RC 电路的时域响应·····	132
6.1.2 电路响应及其波形的实验观测·····	134
6.1.3 二阶电路的时域特性测试·····	134
6.2 电路的频域测量·····	136
6.2.1 网络函数·····	136
6.2.2 频率特性曲线的测绘·····	138
6.2.3 谐振电路的测量·····	140
思考与练习·····	141
实验 6.1 一阶电路时域响应的研究·····	141
实验 6.2 二阶电路的阶跃响应·····	144
实验 6.3 RC 电路频率特性的研究·····	145
实验 6.4 RLC 串联谐振电路的特性·····	148

实验 6.5 选频网络的研究	150
第 7 章 电子电路测量基础	155
7.1 模拟电子电路的特点	155
7.1.1 电子电路实验的特点	155
7.1.2 基本放大电路	156
7.1.3 放大电路的干扰	156
7.1.4 寄生振荡	157
7.2 双极型晶体管放大电路实验分析	157
7.2.1 放大电路的性能指标及测试	157
7.2.2 共射放大电路的特点及工作状态分析	159
7.2.3 多级放大电路	161
7.3 放大电路中的负反馈技术	162
7.3.1 四种基本的负反馈类型	163
7.3.2 负反馈对放大器性能的影响	163
7.4 场效应管放大电路	164
7.4.1 自给偏压电路	164
7.4.2 混合偏压电路	164
7.4.3 FET 与 BJT 的比较	165
7.5 差动放大器	165
7.5.1 差模放大	165
7.5.2 共模抑制	166
7.5.3 恒流源差动放大器	167
思考与练习	167
实验 7.1 单管放大器的研究与测试	167
实验 7.2 两级放大器的测试	170
实验 7.3 差动放大器的研究	172
实验 7.4 负反馈放大器的研究	175
第 8 章 基础电路设计综合	179
8.1 基础电路的设计方法	179
8.2 总体方案的选择	179
8.2.1 方案选择的一般步骤	179
8.2.2 方案选择应注意的问题	180
8.3 电路的设计	180
8.3.1 单元电路设计	180
8.3.2 参数计算	180
8.3.3 总体电路的绘制	181
8.4 元器件的选择	181
8.4.1 集成电路的选择	182
8.4.2 阻容元件的选择	182

8.4.3 分立元件的选择	182
8.5 电路的安装与调试	183
8.5.1 安装前的准备	183
8.5.2 电路的仿真	183
8.5.3 电路的安装	183
8.5.4 电路的调试	185
思考与练习	188
实验 8.1 低频电压放大电路的设计	188
实验 8.2 测量放大器的设计	192
实验 8.3 直流稳压电源的设计	195
第 9 章 电路的计算机仿真	200
9.1 MultiSim 功能概述	200
9.2 MultiSim8 简介	200
9.2.1 MultiSim8 的操作界面	201
9.2.2 主要工具	202
9.3 MultiSim8 的基本操作	203
9.3.1 输入并编辑电路	203
9.3.2 元器件参数的设置	204
9.3.3 仪器仪表的使用	208
9.3.4 仿真仪器	210
9.4 电路的仿真与分析	213
9.4.1 直流工作点分析	213
9.4.2 交流分析	214
9.4.3 瞬态分析	215
9.4.4 参数扫描分析	216
9.4.5 传输函数分析	218
思考与练习	219
实验 9.1 指示器电路的仿真	219
实验 9.2 二阶电路时域响应的研究	220
实验 9.3 共基极放大电路性能测试	222
实验 9.4 OTL 功率放大器的研究	223
实验 9.5 场效应管放大电路的研究测试	224
附录一 电路实验面板图	229
附录二 单管及差动放大器实验面板图	230
附录三 两级放大及负反馈放大器实验面板图	231
参考文献	232

第1章 电子实验基础知识

1.1 电子基础实验课程要求

电子基础实验是电子技术基础课程学习阶段的重要实验课,它以理论知识为基础、专业技术为指导,侧重于理论指导下的实践、技能的培训和综合能力的提高。其主要目的是将所学理论过渡到应用方面,为后续的实验课、技术基础课、专业课的学习及今后的工作打下良好的基础。

为培养良好的学风,充分发挥学生的主观能动作用,促使其独立思考、独立完成课堂内容并有所创造,应该使学生在实验前、实验中和实验后,按照课程的基本要求,根据教师的课堂指导完成相关内容。

1.1.1 实验前的准备

电子基础实验课程整合了“电路分析”和“模拟电路基础”中各基础部分的电路,其中各个实验的目的和内容是不同的,学生每次实验课前必须进行预习。要明确实验的目的和要求,掌握有关电路的基本原理;拟订实验方案和步骤,弄清相关操作过程及记录参数,准备好实验表格;了解实验设备及所用仪器的技术性能,初步估算、分析实验结果,写出预习报告。

1.1.2 实验中的要求

- (1) 认真听课,注意指导教师的讲解及提出的应注意的问题,自觉遵守实验室规则。
- (2) 实验开始前应检查所用仪器设备是否齐全和完好,确定好实验电路所需电源的性质、极性、大小及测试仪表的量程等。
- (3) 根据实验内容合理布置实验现场,按实验方案连接实验电路和测试电路。
- (4) 实验中坚持严肃认真的科学态度,切实按照拟订的步骤进行,认真记录所得数据和相关波形。
- (5) 实验过程中出现故障应该独立思考、分析排除,不能解决时请指导教师指导,并应记下故障现象和排除故障的过程、方法。
- (6) 如果实验中出现事故,应立即切断电源并报告指导教师,等待处理。
- (7) 实验结束时,数据和结果要送交指导教师审阅签字,确认正确无误后方可拆除线路,清理现场,整理好实验台。

1.1.3 实验后的作业

实验课后,每个学生必须按要求独立、认真编写实验报告。实验报告要求书写清楚、

文字简洁、符号标准、图表工整、讨论深入、结论简明。报告应附原始记录,按时交指导教师评阅。

(1) 实验报告应列出实验名称、目的、原理与方案,合作完成实验人、实验时间,使用仪器的名称和型号。

(2) 根据实验记录整理成数据表格,用坐标纸绘制曲线和波形。

(3) 对测试结果进行理论分析,作出简明扼要结论;计算误差并找出产生误差的原因,提出减少实验误差的措施。

(4) 记录产生故障的情况,说明排除故障的过程和方法,总结实验收获。

(5) 完成相关思考题,写出实验的心得体会以及实验的改进及建议。

1.2 测量误差的基本知识

测量误差是指用测量仪器进行测量时,所得到的指示值与被测量的真值(一般用理论值作为约定真值,简称真值)之间的差异程度。它是测量仪器本身的误差以及辅助设备、测量方法、外界环境、操作技术等误差因素共同作用的结果。

1.2.1 系统误差

系统误差是由于仪器本身电气或机械性能的不完善、使用不当或测量方法采用了近似公式以及外界因素(如温度、电场、磁场)等原因而产生的,它主要包括以下两种误差。

1. 基本误差

基本误差是指根据技术条件要求,规定某一类仪器误差不应超过的最大范围。通常技术说明书所指的误差都是基本误差,并不是指一部确定仪器的实际误差。例如,有几台合格的示波器,技术条件规定,扫描范围为 $0.2\mu\text{s}/\text{div} \sim 0.5\text{s}/\text{div}$,按 1-2-5 步进共分 21 个挡级,当校准后,各挡级误差均 $\leq \pm 5\%$ 。我们只能说这几台示波器的扫描速度的误差不超过 $\pm 5\%$,至于每一台的误差为多少,一般并不知道。

基本误差的表示形式,既可以是绝对误差形式,也可以是各种相对误差形式,或者是两者结合起来表示。例如:用 WQ-5 万用电桥测量 $1\text{H} \sim 122.1\text{H}$ 电感量时,其精度为 $\pm 2\%$,是用相对误差表示;而测量 $1\mu\text{H} \sim 1000\mu\text{H}$ 电感时,其精度为 $\pm (2\% + 1\mu\text{H})$,是用相对误差与绝对误差结合表示的。

测量值 A_x 和被测量的实际值 A_0 之间的差值叫做绝对误差,用 Δ 表示,即

$$\Delta = A_x - A_0$$

相对误差就是绝对误差与被测量的真值之比,通常用百分数来表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

在计算时,可用标准表的指示值作为被测量的真值。

电测量指示仪表的准确度(基本误差)等级,按国家标准规定有七个等级,如表 1-1 所列。各级仪表在规定工作条件下,其基本误差在标度尺工作部分的所有分度线上,不应超过表中规定之值,现举例说明仪表误差等级与测试结果的关系。

表 1-1 准确度等级与基本误差的关系

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差/%	± 0.1	± 0.2	± 0.5	± 1.0	± 1.5	± 2.5	± 5.0

例 用 0.5 级、10V 量程的电压表和 0.2 级、100V 量程的电压表测量 8V 电压,问哪一块表测量的准确度高?

解 用 0.5 级、10V 电压表测量,可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm K \cdot A_m = \pm 0.5\% \times 10 = \pm 0.05(\text{V})$$

可能出现的最大相对误差

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_0} \times 100\% = \frac{\pm 0.05}{8} \times 100\% = \pm 0.625\%$$

用 0.2 级、100V 电压表测量,可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta_m = \pm K \cdot A_m = \pm 0.2\% \times 100 = \pm 0.2(\text{V})$$

可能出现的最大相对误差为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_0} \times 100\% = \frac{\pm 0.2}{8} \times 100\% = \pm 2.5\%$$

从计算结果可以看出,用 0.5 级、10V 量程的电压表测量的准确度高。

由此看出,测量的准确度既取决于仪表的准确度,又取决于仪表的量程。被测量的值越接近满量程,测量准确度就越高。因而在测量时,除正确选择仪表的准确度等级外,还应正确选择仪表的量程。通常被测量值为满量程的 $\frac{2}{3}$ 以上较为合适。

2. 附加误差

附加误差由以下几种原因产生:

(1) 校准误差。通常指仪器出厂时或在使用过程中,用标准仪器对其指定的某些点校准时所产生的误差,它包括了标准仪器的误差和校准点的校准误差。

(2) 刻度误差。为了适应仪器批量生产的特点,一般电子测量仪器都采用统一的刻度盘,由于每一台仪器的特性不完全相同,故在非校准点,就可能引起不同程度的误差。例如校准某台仪器的频率度盘,在一个量程上有两个校准点 α_1 和 α_2 ,其对应的频率分别为 f_1 及 f_2 ,如图 1-1 所示。在非校准点 α ,可以根据理论分析或抽测某台仪器而确定相应函数关系(如直线①),于是得其频率为 f_0 。但对另外两台仪器,可能函数关系分别为曲线②及③,即对应的频率分别为 f'_0 及 f''_0 ,于是产生了刻度误差。最常见的是刻度的非线性所致的误差,为了减小此项误差,可给出每台仪器的校准曲线,或必要时对每台仪器分别进行刻度。

(3) 读数分辨力不高所致的误差。仪器的读数分辨力是指仪器能读出被测量的最小变化量,分辨力的高低应与仪器的容许误差相适应。如果仪器读数机构的分辨力不高,则将带来误差。例如一只 0.5 级、10mA 的电流表,其刻度如图 1-2(a)所示。可能读出电表的示值约为 9.47mA,其中小数点后第二位“7”是估计出来的,如果把刻度改为图 1-2(b)所示,则只能读出 9.3mA,其中小数点后面第一位“3”是靠估计的。显然图 1-2(b)将

因读数分辨力太低而使测量误差增大。但是,不适当地提高仪器读数机构的分辨力也是毫无意义的。因为这时仪器本身的不稳定性将使读数不可信赖。

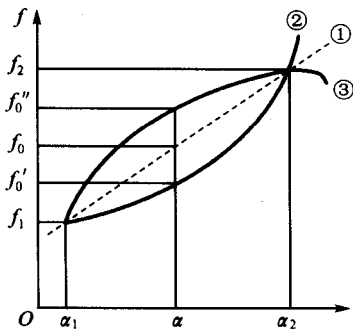


图 1-1 刻度误差

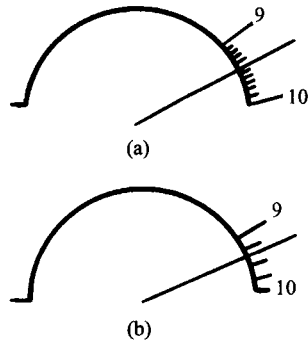


图 1-2 读数分辨力引起的误差

(4) 读数调节机构不完善所致的误差。对某些齿轮转动的调节装置,这项装置特别明显。由于调节机构的不完善,在顺时针转动和逆时针转动时,齿轮的啮合不在同一位置,即所谓回差,引起误差。

(5) 量化误差。又称 ± 1 误差,这是数字式仪表的固有误差。用电子计数器计数频率,实质上是一个量化过程,量化的最小单位就是数码的一个字。无论是电子计数器进行怎样的测量,计数脉冲都是通过闸门再进入计数器的。计数的多少除了和被测频率以及闸门启闭的时间有关外,还和闸门时间的起点和第一个计数脉冲的起点有关,即和两者的时间关系有关,如图 1-3 所示。在某个门控时间 T 内,设被测信号有 7.4 个脉冲。但是测量结果的表达是量化的,其值是用整数计算的。而像 0.4 这样的尾数,要么被抹去,要么约为整数 1 被计入测量之中,因此,同一个被测量,有两个不同的结果,取决于门控信号和第一个计数脉冲起点的随机关系。对于图 1-3(a) 的情况,读数为 8,它相当于真值 7.4 有 $+0.6$ 个量化单位的误差,即读数大了 0.6 个量化单位;对于图 1-3(b) 的情况,读数为 7,它相当于真值 7.4 有 -0.4 个量化单位的误差,这种情况不仅可以发生在 7.5 个脉冲的时候,也可能发生在 7.1, 7.2, 7.3, 7.01 等个脉冲的时候。

一般情况下,如果门控时间 T 恰好等于 N 个被测信号的周期 NT_x ,那么,由于量化结果,应该有 N 个读数。这相当于图 1-4(a) 的情况,这时 $0 < \Delta t < T_x$;对于图 1-4(b),

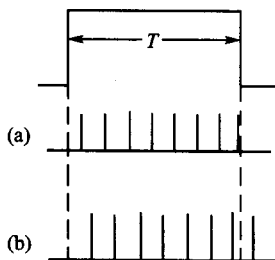


图 1-3 量化误差说明之一

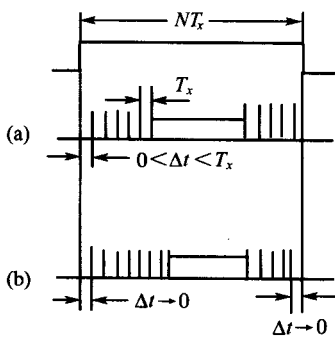


图 1-4 量化误差说明之二

若 $\Delta t \rightarrow 0$, 那么可以有两种情况, 即极端情况下, 第一个脉冲和第末个脉冲都可能进入计数器, 这时读数为 $(N+1)$ 个; 也可能第一个脉冲和第末个脉冲都同时进不了计数器, 读数就是 $(N-1)$ 。

因此研究量化而引起的读数误差时, 有理由认为 $\Delta N \leq \pm 1$ 。

当计数过程的这个时间关系在每次计数时都相同的情况下, 如自校时的情形, ± 1 的误差基本不会发生。而在一般情况下, 计数过程的这个时间关系不确定, 所以产生 ± 1 的误差就是不可克服的固有误差, 称为量化误差。量化误差的特点是: 不管 N 是多少, 它的最大值都是 ± 1 个量化单位。为了减少量化误差对测量精度的影响, 通常是减小量化单位以及增加计数时间。

1.2.2 影响误差

影响误差或称环境误差是指由于仪器受到外界温度、湿度、气压、电磁场, 机械振动、声音、光照、放射性等的影响所产生的误差。

根据《电子测量仪器环境要求及其试验方法》的规定, 所有电子仪器按环境条件分为三组, 每组规定有相应的“额定使用范围”。电子测量仪器必须在规定的额定使用范围内工作, 才能保证各项技术指标的正确。例如, 就温度的使用范围而言, 第 I 组、第 II 组、第 III 组仪器分别规定为 $+10^\circ\text{C} \sim +35^\circ\text{C}$, $-10^\circ\text{C} \sim +40^\circ\text{C}$, $-40^\circ\text{C} \sim +55^\circ\text{C}$ 。

1.2.3 方法误差

方法误差是由于测量时使用的方法不完善, 所依据的理论不严密, 对某些理论并未掌握清楚, 以及对被测量定义不明确所产生的误差。例如用电流表、电压表测量电阻可采用图 1-5(a), (b) 两种测量电路。根据 $R = U/I$ 求得被测电阻值。由于测量结果忽略了电压表和电流表内阻的分流和分压作用的影响, 因而产生了方法误差。又如, 利用并联谐振现象测量频率时, 常用公式为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

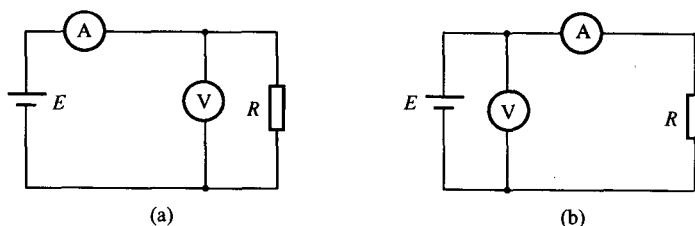


图 1-5 电压表、电流表内阻引起误差

实际上, 如考虑回路中电感 L 及电容 C 之损耗 γ_L 及 γ_C 时, 谐振频率应为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{1 - \frac{\gamma_L^2}{L}}{1 - \frac{\gamma_C^2}{C}}}$$