



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

电路与模拟电子技术 实验指导书

主 编 唐 颖
李大军
李明明

实验知识、测量方法及其技术，构成实验基础
电路实验、模拟电子技术实验，诠释基础实验
Multisim 9.0 仿真软件完美展示各种电路性能

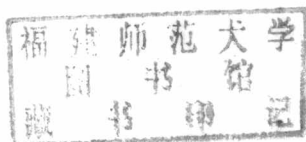


北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

电路与模拟电子技术实验指导书

主 编 唐 颖 李大军 李明明



T1053825

1053825



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书分为 4 个部分:第 1 部分是实验的基本知识,介绍了电路与模拟电子技术实验常用的测量方法和技术;第 2 部分是电路分析基础实验,包括基尔霍夫定律实验、戴维南定律验证实验等;第 3 部分是模拟电子技术实验,包括验证型实验和设计型实验;第 4 部分是 Multisim 电路仿真软件简介,使学生学会并掌握 Multisim9.0 在电路与模拟电子技术仿真中的基本知识。另外,附录介绍了 3 个数字电路的实验,可供电工电子技术专业的学生参考使用。

本书可作为高等院校电气信息类专业及其相关专业本、专科学生的实验教材,也可供相关技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电路与模拟电子技术实验指导书/唐颖,李大军,李明明主编. —北京:北京大学出版社,2012.10
(21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-20351-4

I. ①电… II. ①唐…②李…③李… III. ①电路—实验—高等学校—教学参考资料②模拟电路—电子技术—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM13-33②TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 032130 号

书 名: 电路与模拟电子技术实验指导书

著作责任者: 唐 颖 李大军 李明明 主编

策 划 编 辑: 程志强

责 任 编 辑: 程志强

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-20351-4/TN · 0085

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 252 千字

2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

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

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

随着现代科学技术的飞速发展,实验已成为建立在科学理论与方法基础之上的技术和内容均十分庞大的一个知识体系。电路实验是电路课程教学中不可缺少的实践环节,目的是首先通过实验帮助学生获得必要的感性知识,进一步巩固和掌握所学的理论内容;其次通过实验培养学生的实验技能,提高他们实际动手操作的能力,锻炼他们独立分析问题和解决问题的能力;最后通过实验了解常用电工仪表的测量与使用方法,通过预习与实验操作,掌握数据处理、结果分析、编写实验报告的方法,培养学生严肃认真、实事求是的科学作风。

电路与模拟电子技术实验指导书是为提高学生的电子实验与设计能力而编写的。根据电子类学科发展的规律,面向 21 世纪人才培养的要求,并结合电子实验教学改革的具体实际,改进了原来附属于“电路分析基础”、“模拟电子技术”课程开设的电子技术实验课,将两者进行了一定程度的整合,重点培养学生的基础理论运用能力。

本书的指导思想在于培养学生掌握正确的测试方法和实验技能,主要针对电子及相关专业进行编写,着重研究常用电子测量仪器的使用 and 开发,并贯穿在全部实验中。特别是对常用的电子测量仪器(如示波器、交流毫伏表、万用表)的使用方法进行了介绍,并对测量技术深入浅出地进行了介绍。并且对基本电子电路和基本放大电路的测试技术进行了系统的研究,包括电路分析中的基尔霍夫定理、戴维南定理、叠加定理等和模拟电子技术中的基本电路参数的测量、放大电路的测量与调试、集成运算放大器参数测量等实验内容。本书从思路到内容将各个分离的实验紧密联系在一起,并对各个单元内容实现了模块化,有利于教学内容的不断更新和优化。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者
2012 年 6 月

目 录

第 1 章 电路与模拟电子技术实验概述 ... 1

- 1.1 电路与模拟电子技术实验的目的和意义 2
- 1.2 实验要求 2
- 1.3 误差分析与测量结果的处理 3
 - 1.3.1 测量误差的基本概念 3
 - 1.3.2 误差的分类 4
 - 1.3.3 测量的准确度、精密度及精确度 5
 - 1.3.4 电工仪表的准确度 6
 - 1.3.5 测量结果的处理 6
- 1.4 常用测量仪表仪器使用简介 7
 - 1.4.1 万用表 7
 - 1.4.2 交流毫伏表 9
 - 1.4.3 示波器的基本原理与使用 10

第 2 章 电路分析基础实验 18

- 引言 19
- 2.1 电路元件伏安特性的测量 19
 - 一、实验目的 19
 - 二、实验原理 19
 - 三、实验设备(表 2-1) 20
 - 四、实验内容 20
 - 五、实验注意事项 22
 - 六、思考题 22
 - 七、实验报告 23
- 2.2 直流电路中电位、电压的关系研究 23
 - 一、实验目的 23
 - 二、实验原理 23
 - 三、实验设备(表 2-10) 23
 - 四、实验内容 24
 - 五、实验注意事项 24
 - 六、思考题 24

- 七、实验报告 25
- 2.3 基尔霍夫定律 25
 - 一、实验目的 25
 - 二、实验原理 25
 - 三、实验设备(表 2-12) 25
 - 四、实验内容 25
 - 五、实验注意事项 26
 - 六、思考题 27
 - 七、实验报告 27
- 2.4 叠加定理的验证 27
 - 一、实验目的 27
 - 二、实验原理 27
 - 三、实验设备(表 2-14) 28
 - 四、实验内容 28
 - 五、实验注意事项 29
 - 六、思考题 29
 - 七、实验报告 29
- 2.5 戴维南定理和诺顿定理的验证 29
 - 一、实验目的 29
 - 二、实验原理 29
 - 三、实验设备(表 2-17) 31
 - 四、实验内容 31
 - 五、实验注意事项 32
 - 六、思考题 33
 - 七、实验报告 33
- 2.6 电压源与电流源的等效变换 33
 - 一、实验目的 33
 - 二、实验原理 33
 - 三、实验设备(表 2-22) 34
 - 四、实验内容 34
 - 五、实验注意事项 36
 - 六、思考题 36
 - 七、实验报告 36



2.7 受控源特性测试.....	36	六、思考题.....	49
一、实验目的.....	36	七、实验报告.....	49
二、实验原理.....	36	2.12 双口网络测试.....	49
三、实验设备(表 2-25).....	37	一、实验目的.....	49
四、实验内容.....	37	二、实验原理.....	49
五、实验注意事项.....	40	三、实验设备(表 2-42).....	50
六、思考题.....	40	四、实验内容.....	51
七、实验报告.....	40	五、实验注意事项.....	52
2.8 RC 一阶电路的动态过程研究实验.....	40	六、思考题.....	52
一、实验目的.....	40	七、实验报告.....	52
二、实验原理.....	41	2.13 RC 选频网络特性测量.....	52
三、实验设备(表 2-34).....	41	一、实验目的.....	52
四、实验内容.....	41	二、实验原理.....	52
五、实验注意事项.....	42	三、实验设备(表 2-46).....	54
六、思考题.....	42	四、实验内容.....	54
七、实验报告.....	42	五、实验注意事项.....	55
2.9 二阶动态电路响应的研究.....	43	六、思考题.....	55
一、实验目的.....	43	七、实验报告.....	55
二、实验原理.....	43	本章小结.....	55
三、实验设备(表 2-35).....	43	第 3 章 模拟电路实验.....	56
四、实验内容.....	43	引言.....	57
五、实验注意事项.....	44	3.1 常用电子仪器的使用及用万用表	
六、思考题.....	44	测试二极管、三极管.....	57
七、实验报告.....	44	一、实验目的.....	57
2.10 RLC 元件在正弦电路中的		二、仪器的基本组成及使用方法.....	57
特性实验.....	44	三、实验仪器.....	58
一、实验目的.....	44	四、实验内容.....	58
二、实验原理.....	45	五、实验报告.....	60
三、实验设备(表 2-37).....	45	3.2 晶体管共射极单管放大器.....	60
四、实验内容.....	45	一、实验目的.....	60
五、实验注意事项.....	46	二、预习要求.....	60
六、思考题.....	46	三、实验仪器.....	61
七、实验报告.....	46	四、实验原理.....	61
2.11 RLC 串联谐振电路的研究.....	46	五、实验内容.....	64
一、实验目的.....	46	六、实验报告.....	67
二、实验原理.....	47	七、问题分析.....	67
三、实验设备(表 2-39).....	47	3.3 射极输出器.....	67
四、实验内容.....	48	一、实验目的.....	67
五、实验注意事项.....	48	二、实验仪器.....	67



三、预习要求	68	六、实验报告	90
四、实验原理	68	3.9 集成运算放大器的基本应用(I)	
五、实验内容	69	——模拟运算电路	90
六、实验报告	71	一、实验目的	90
3.4 场效应管放大器	71	二、实验仪器	90
一、实验目的	71	三、预习要求	91
二、实验原理	71	四、实验原理	91
三、实验仪器	73	五、实验内容	92
四、预习要求	73	六、实验报告	93
五、实验内容	73	3.10 集成运算放大器的基本应用(II)	
六、实验报告	74	——积分与微分电路	94
3.5 两级放大电路	74	一、实验目的	94
一、实验目的	74	二、实验仪器	94
二、实验仪器	75	三、预习要求	94
三、预习要求	75	四、实验原理	94
四、实验原理	75	五、实验内容	96
五、实验内容	75	六、实验报告	96
六、实验报告	77	3.11 OTL 低频功率放大器	96
3.6 差动放大电路	77	一、实验目的	96
一、实验目的	77	二、实验仪器	96
二、实验仪器	77	三、预习要求	96
三、预习要求	77	四、实验原理	97
四、实验原理	77	五、实验内容	98
五、实验内容	79	六、实验报告	99
六、实验报告	80	3.12 集成功率放大器	100
3.7 负反馈放大电路	80	一、实验目的	100
一、实验目的	80	二、实验仪器	100
二、实验仪器	81	三、预习要求	100
三、预习要求	81	四、实验原理	100
四、实验原理	81	五、实验内容	102
五、实验内容	82	六、实验报告	103
六、实验报告	83	3.13 有源滤波器	103
3.8 集成运算放大器指标测试	83	一、实验目的	103
一、实验目的	83	二、实验仪器	103
二、实验仪器	84	三、预习要求	103
三、预习要求	84	四、实验原理	104
四、实验原理	84	五、实验内容	107
五、实验内容	89	六、实验报告	107

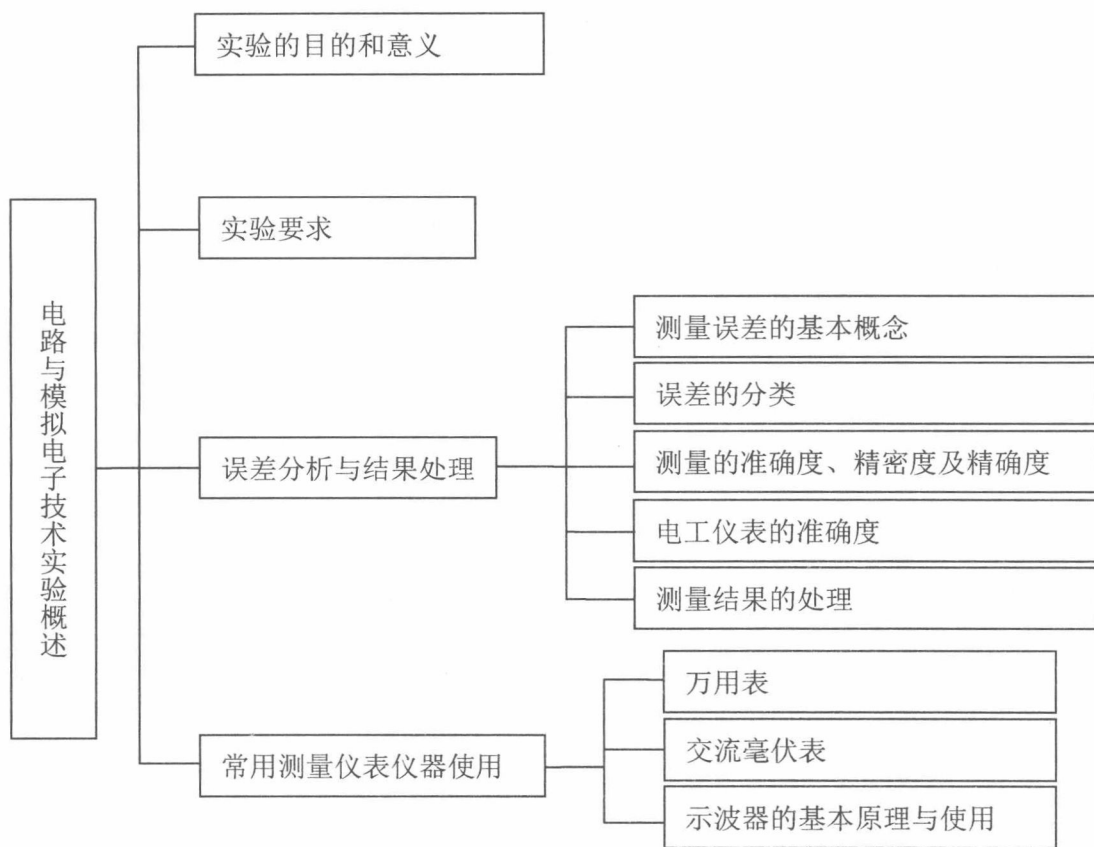
3.14 RC 正弦波振荡器	108	二、实验仪器	123
一、实验目的	108	三、实验原理	123
二、实验设备与器件	108	四、实验电路	125
三、预习要求	108	五、实验内容	127
四、实验原理	108	六、实验报告	127
五、实验内容	110		
六、实验报告	110	3.20 应用实验三：光电耦合线性	
		放大器	127
3.15 整流滤波与并联稳压电路	110	一、实验目的	127
一、实验目的	110	二、实验仪器	127
二、实验仪器	110	三、实验原理	127
三、预习要求	110	四、实验内容	129
四、实验原理	111	五、预习要求	130
五、实验内容	112	六、注意事项	130
六、实验报告	113	七、思考题	130
3.16 串联稳压电路	113	3.21 应用实验四：运算放大器组成	
一、实验目的	113	万用表的设计与调试	130
二、实验仪器	114	一、实验目的	130
三、预习要求	114	二、实验元器件选择	130
四、实验原理	114	三、设备要求	130
五、实验内容	115	四、万用表工作原理及参考电路	130
六、实验报告	116	五、电路设计	134
3.17 集成稳压器	116	六、注意事项	134
一、实验目的	116	七、报告要求	134
二、实验仪器	117	本章小结	134
三、预习要求	117		
四、实验原理	117	第 4 章 Multisim 电路仿真软件简介	136
五、实验内容	119	4.1 Multisim 基本操作	136
六、实验报告	120	4.1.1 基本界面	136
3.18 应用实验一：控温电路	120	4.1.2 文件基本操作	137
一、实验目的	120	4.1.3 元器件基本操作	137
二、实验仪器	120	4.1.4 文本基本编辑	137
三、预习要求	120	4.1.5 图纸标题栏编辑	137
四、实验原理	121	4.1.6 Multisim 电路创建	137
五、实验内容	122	4.1.7 Multisim 操作界面	139
六、实验报告	123	4.2 Multisim 元件库	143
3.19 应用实验二：函数信号发生器的		4.3 虚拟仪表介绍	146
组装与调试	123	附录	156
一、实验目的	123	参考文献	167

第1章

电路与模拟电子技术实验概述



知识框架





1.1 电路与模拟电子技术实验的目的和意义

如今电子技术日新月异,已渗透到人们生产、生活的方方面面,作为电子技术重要专业基础课程之一的电路与模拟电子技术实验,更是日益突显其重要性。电路与模拟电子技术实验课在培养学生理论联系实际的能力、动手实践的能力、创新思维的能力,以及培养学生有关电子技术测量的基本技能与知识、激发学生对电子技术的学习兴趣等方面发挥着至关重要的作用。而作为电路与模拟电子技术实验课程的指导性教材,其内容编写的合理性、科学性、内容的更新性、新颖性等将在一定程度上影响到实验课的教学效果。

本书是在对有关专业人才培养方案和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,以及在充分总结实践教学经验与教学成果的基础上编写而成的。本书立足于 21 世纪高等教育人才的培养目标与要求,主动适应社会发展对人才培养提出的新需要,突出应用性和创新性,可选性强。实验内容的编排从传统的多为验证性的实验改为多为设计性、应用性的实验,并特别选编了一些电路新颖、实用性强的综合性实验,旨在培养学生的实践能力、综合应用能力、创新性思维能力,以适应时代对人才素质的新要求。

1.2 实验要求

(1) 实验前,要求认真预习,完成指定预习任务。每次实验前必须认真预习实验指导书,准备预习报告,了解实验内容、所需实验仪器设备及实验数据的测试方法,并做好必要的记录表格,以备实验时做原始记录。实验时,教师要检查学生的预习情况,未预习者不得进行实验。

(2) 使用仪器和设备前,必须了解其性能、操作方法及注意事项,使用时应严格遵守。

(3) 实验时要认真接线、仔细检查,确定无误后才能接通电源。初次操作或没有把握时,应经指导教师审查同意后再接通电源。

(4) 实验注意事项。

① 学生在实验中不得随意交换或搬动其他实验桌上的器材。

② 实验仪器的使用必须严格按实验指导书中说明的方法进行操作,特别是直流电源和函数发生器的输出端切不可短路或过载。如因操作不认真或玩弄仪器设备造成仪器设备损坏,必须酌情做出赔偿。

③ 实验中若出现故障,应尽量自己检查诊断,找出故障原因,然后排除。如果由于设备原因无法自行排除故障,可以向指导教师或实验室管理人员进行汇报。

④ 实验时必须如实记录实验数据,积极思考,注意实验数据是否符合理论分析,随时纠正接线或操作错误。

⑤ 实验结束后,必须先将实验数据记录提交指导教师查阅,经教师签字后才能拆线。拆线前必须确认电源已切断。离开实验室前,必须将实验桌整理规范。



⑥ 在进行小信号放大实验时,由于所用信号发生器及连接电缆的缘故,往往在进入放大器前就出现噪声或不稳定现象,有些信号源调不到毫伏以下,实验时可采用在放大器输入端加衰减器的方法。一般可用实验箱中的电阻组成衰减器,这样使连接在电缆上的信号电平较高,不易受干扰。

⑦ 做放大器实验时,若发现波形削顶失真甚至变成方波,应检查静态工作点设置是否合适,或检查输入信号的幅值是否过大。

⑧ 实验时应注意观察,若发现有破坏性异常现象,例如,有元件冒烟、发烫或存在异味时,应立即关断电源,保护现场,报告指导教师。找出原因,排除故障,经指导教师同意后再继续实验。

⑨ 实验报告在课后完成,并在下次实验时上交。报告内容包括以下几项内容。

- a. 预习报告内容。
- b. 实验中观测和记录的数据和现象,根据数据得出的实验结果。
- c. 实验内容要求的理论分析或图表、曲线。
- d. 讨论实验结果、心得体会和意见、建议。
- e. 完成思考题。

每份实验报告上还要写明实验日期并附有原始数据记录。实验报告要求书写工整、文字通顺,图表和曲线整洁。

1.3 误差分析与测量结果的处理

1.3.1 测量误差的基本概念

1. 测量与比较

测量的方式主要有以下两种。

- (1) 直接测量:如用米尺量桌子可直接知道桌子的长度。
- (2) 间接测量:根据直接测量的数据,通过一定的函数关系,计算求得结果的测量方法。

静态测量与动态测量:按照被测量信号在测量过程中的状态是否随时间变化,判断是静态还是动态,是稳态过程还是瞬态过程。

2. 误差与测量的质量

真值:在一定时空条件下,某物理量的理想值,表达为 A 。真值仅为理想概念,可以用修正过后测量值的算术平均值代替。

误差的表达方法主要包括以下3种。

- (1) 绝对误差:测量值与被测量物理量真值的差。
- (2) 显示值相对误差:绝对误差与真值的百分比。
- (3) 测量值相对误差:绝对误差与测量值的百分比。



1.3.2 误差的分类

系统误差：系统误差又称为可测误差或规律误差，它是指偏离测量规定的条件或测量方法所导致的、按某些确定规律变化的误差。这类误差的特征是：在所处测量条件下，误差的绝对值和符号保持恒定，或遵循一定的规律变化(大小和符号都按一定规律变化)。根据误差出现的规律性，系统误差可分为误差值和符号不变的恒定误差与误差值大小和符号变化的变值误差。系统误差主要来源于测量仪器本身精度、操作流程、操作方式、环境条件。

随机误差：随机误差又称未定误差，它是指在实际测量条件下，多次测量同一值时，绝对值和符号以不可预知方式变化的误差。这种误差出现的规律性很复杂，只能用统计的方法找出误差的大小和出现次数之间的数字关系，即找出误差的分布规律。当测量次数不断增加时，其误差的算术平均值趋向于零。从概率论和数理统计学的观点可以认为这类误差是在测量条件下的随机事件。从概率观点来看，它是围绕测量结果的算术平均值(数学期望)周围随机变化的部分。要分析这类误差，必须了解它的概率分布规律，经典的误差理论认为，随机误差出现的概率分布为正态分布，并在这一前提下建立了随机误差的统计分析方法。随机误差主要来源于测量中的随机因素，如实验装置操作上的变动性、观测者的判断和估计读数上的变动性等。

过失误差：过失误差又称粗大误差或操作误差，它是指不能正确测量而导致严重歪曲测量结果的误差，其误差值超过规定条件下预期值的误差大小。过失误差是由于测量中出现的过失所致的，主要原因有3个：测量者主观疏忽或因客观条件突变而测量者未能及时加以纠正，导致读数、记录或计算出错；使用的测量仪器本身有缺陷而测量者未能发现；测量者操作测量仪器的方法有误。过失误差可以根据误差理论判断出来，含有过失误差的测量数据应在数据处理时予以剔除，否则测量结果将不真实，即与真值有较大的偏差。

1. 线性函数误差传递的一般法则

直接测量值： $z_1, \dots, z_m$

直接测量值的误差： $\Delta z_1, \dots, \Delta z_m$ ，其中 $\Delta z_i = z_i - z_0$ 。

间接测量值 y 为 z 的线性函数：

$$y = \sum_{i=1}^m a_i z_i \quad (1-1)$$

$$\Delta y = \sum_{i=1}^m a_i \Delta z_i \quad (1-2)$$

y 的绝对误差：

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2 \Delta z_i^2} \quad (1-3)$$

相对误差：

$$\frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2 \left(\frac{\Delta z_i}{y}\right)^2} \quad (1-4)$$





标准误差:

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2 \sigma_i^2} \quad (1-5)$$

2. 非线性函数的误差传递函数

$$y = f(z_1, \dots, z_m) \quad (1-6)$$

将 y 在 Δy 附近做 Taylor 展开, 且取一次近似:

$$y + \Delta y = y + \sum_{i=1}^N \frac{\partial f}{\partial z_i} \Delta z_i \quad (1-7)$$

则绝对误差:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^m \frac{\partial f}{\partial z_i} \Delta z_i \quad (1-8)$$

或

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} \Delta z_i \right)^2} \quad (1-9)$$

相对误差:

$$\frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} \right)^2 \left(\frac{\Delta z_i}{y} \right)^2} \quad (1-10)$$

标准误差:

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} v_i \right)^2} \quad (1-11)$$

其中, $\frac{\partial f}{\partial z_i}$ 是直接测量误差的传递函数。

1.3.3 测量的准确度、精密度及精确度

1. 准确度

指被测量的测量值与真值接近的相对程度可表示为

$$\beta = \Delta/A \times 100\% \quad (1-12)$$

式中: Δ 为绝对误差; A 为被测量的真值; β 为准确度(相对误差)。

影响准确度的因素是系统误差。如在电路测量中, 电路的连接方式、仪表等级、依据的理论都影响测量的准确度。若想提高测量的准确度, 必须在克服系统误差上下功夫。

2. 精密度

精密度指多次测量结果之间的差异程度。精密度高表示测量系统抗干扰能力强, 精密度用来表示随机误差的大小。

例：用两块电表分 3 次测量真值为 10V 的电压。

第一块电表测量值为：8.95V、8.951V、8.949V。

第二块电表测量值为：9.90V、9.85V、9.95V。

从测量数值上看，第一块电表的结果与真值的差异均比第二块电表大，但 3 次结果之间的差异小，所以第一块电表的精密度比第二块高。

3. 精确度

精密度和准确度总称为精确度。通常说某台仪器精确度高，就是指它既精密又准确。但精密度和准确度是两个不同的概念，精密度高不等于准确度高。

1.3.4 电工仪表的准确度

1. 仪表的满度相对误差

以仪表的满度相对误差 β_m 表示仪表的准确度。仪表的满度相对误差是仪表各指示值中最大绝对误差 Δ_m 与仪表满度值 A_m 之比的百分数。

$$\beta_m = \Delta_m / A_m \times 100\% \quad (1-13)$$

国际规定仪表的准确度等级共分为七级，分别是：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。如： $\beta_m = \pm 1.0\%$ 的仪表为 1.0 级表。

2. 测量时如何选择仪表

测量的结果是否准确不仅取决于仪表的等级，还与其量程有关。不同等级的仪表由于量程不同，可以得到同样的效果。选用仪表的原则：①满足测量准确度的要求；②出于经济效益的考虑，能用低级仪表做的实验，就不用高级仪表。在同等级仪表中，量程小的仪表的测量结果比较准确。选用指针式仪表时，测量值应大于仪表量程的 1/2 以上。

注：(1) 信号接入电路时，应先接地，再接信号端；撤离时反之。

(2) 小信号大衰减，大信号不衰减。

(3) 信号源可先接入电路中，再调输出信号。

(4) 稳压电源先不接入电路，等调好电压后，再接入电路中。

1.3.5 测量结果的处理

1. 有效数字

定义：有效数字是指实际上能测量到的数值，在该数值中只有最后一位是可疑数字，其余的均为可靠数字。有效数字的实际意义在于它能反映出测量时的准确程度。

在确定有效数字位数时，特别需要指出的是，用数字“0”来表示实际测量结果时，它便是有效数字。

当测量误差已知时，测量结果的有效数字位数应与该误差位数一致。若仪器误差为 $\pm 0.1\text{Pa}$ ，则测量结果可表达为 $57.5 \pm 0.1\text{Pa}$ ，小数点后的 5 是估计值。

有效数字的表示方法有如下两种。



普通计数法: 6371

科学计数法: $6.371 \times 10E^3$ 或 6.371×10^3

2. 实验结果的数据处理

按实验先后顺序排列数据, 求算术平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1-14)$$

计算残差:

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad (1-15)$$

理论上,

$$\sum_{i=1}^N v_i = 0$$

计算标准误差(用贝塞尔公式):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (1-16)$$

实验不确定度:

$$\Delta = \sigma + \Delta B \quad (1-17)$$

实验结果的最后表达式:

$$x = \bar{x} \pm \Delta \quad (1-18)$$

1.4 常用测量仪表仪器使用简介

1.4.1 万用表

DT890B+具有全量程、全功能自动调零、自动极性指示、过量程指示、电源欠压指示和保护功能。它可以用来测量直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、电阻、电容、二极管、晶体管 hFE 等。

1. 主要技术指标

1) 测量范围

- (1) 直流电压: $100\mu\text{V} \sim 1000\text{V}$ 。
- (2) 交流电压: $100\mu\text{V} \sim 700\text{V}$ 。
- (3) 直流电流: $1\mu\text{A} \sim 10\text{A}$ 。
- (4) 交流电流: $1\mu\text{A} \sim 10\text{A}$ 。
- (5) 电阻: $0.1\Omega \sim 200\text{M}\Omega$ 。
- (6) 电容: $1\text{pF} \sim 20\mu\text{F}$ 。
- (7) 晶体管 hFE: $0 \sim 1000$ 。

2) 准确度

- (1) 直流电压: $\pm 0.5\% \sim \pm 0.8\%$, 读数 $\pm 1 \sim \pm 2$ 字。
- (2) 交流电压: $\pm 0.5\% \sim \pm 1\%$, 读数 ± 3 字。
- (3) 直流电流: $\pm 0.8\% \sim \pm 2\%$, 读数 $\pm 1 \sim \pm 5$ 字。
- (4) 交流电流: $\pm 1.0\% \sim \pm 3\%$, 读数 $\pm 3 \sim \pm 7$ 字。
- (5) 电阻: $\pm 0.8\% \sim \pm 5\%$, 读数 $\pm 1 \sim \pm 10$ 字。
- (6) 电容: $\pm 2.5\%$, 读数 ± 3 字。

3) 工作条件

- (1) 环境温度: $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 相对湿度: $< 75\%$ 。
- (3) 工作频率: $40 \sim 400\text{Hz}$ 。

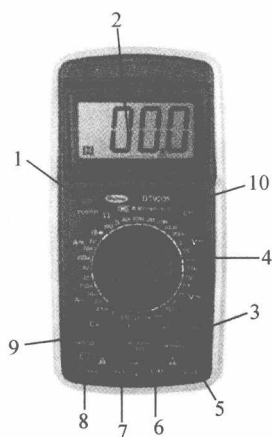


图 1.1 DT890B+数字万用表面板示意图

2. 面板图

DT890B+数字万用表的面板如图 1.1 所示, 各部件名称如下所示。

- ① 电源开关。
- ② 显示屏。
- ③ hFE 测试座。
- ④ 功能及量程转换开关。
- ⑤ 电压与电阻测试插口。
- ⑥ 公共插口。
- ⑦ 电流测试插口。
- ⑧ 10A 电流测试插口。
- ⑨ 电容测试插口。
- ⑩ 数据保持。

3. 使用方法

1) 直流(DC)和交流(AC)电压测量

- (1) 将红色测试笔插入“V/ Ω ”插口中, 黑色笔插入“COM”插口中。
- (2) 将功能量程选择开关置于 DCV(直流电压)或 ACV(交流电压)相应的位置上, 如果被测电压超过所设定的量程, 显示屏会出现最高位“1”, 此时应将量程调高一档, 直至得到合适的读数。

注意: 当输入端开路时, 显示器可能有数字出现, 尤其在 200mV 和 2V 档上, 这是正常的。但如果将两个测试笔相互短路, 显示器应显示零。

2) 直流(DC)电流和交流(AC)电流测量

- (1) 将红色测试笔插入“A”插口(最大电流 200mA)或“10A”插口(最大 10A, 测量时间最长 10s)。
- (2) 将量程功能选择开关转到 DCA(直流电流)或 ACA(交流电流)相应位置上, 并将测试笔串入被测电路中。



3) 电阻测量

(1) 将红色测试笔插入“V/ Ω ”插口中, 黑色笔插入“COM”插口中。

(2) 将功能量程选择开关置于 OHM(欧姆)相应的位置上, 将两个测试笔跨接在被测电阻的两端, 即可得到电阻值。

用 200M Ω 量程进行测量时须注意:

① 在此量程测量时, 两个测试笔短路时的读数为 1.0, 是正常的, 此读数是一个固定的偏移值, 如被测电阻为 100M Ω 时读数为 101.0、被测电阻为 10M Ω 时读数为 11.0, 正确的阻值是显示读数减去 1.0。

② 测量高阻值电阻时应尽可能将电阻直接插入“V/ Ω ”和“COM”中, 长线在高阻抗测量时容易感应干扰信号使读数不稳。

4) 电容测量

将被测电容插入电容插座中, 将量程功能选择开关置于 CAP(电容)相应量程上, 就可测出电容值。

注意: 未插入被测电容时, 尤其是量程功能开关由其他功能转入电容量程时, 显示器读数可能不为零, 须经过一段时间才能回零, 但不必理会是否已经回零, 插入被测电容后, 不会影响精度。

5) 晶体管测量

将量程功能开关转到 hFE 位置, 将被测晶体管 PNP 型或 NPN 型的发射极、基极和集电极的脚插放到相应的 E、B、C 插座中, 即得 hFE 参数。测试条件为 $V_{CE} \approx 3V$, $I_b \approx 10\mu A$ 。

6) 二极管及其通断测量

(1) 将红色测试笔插入“V/ Ω ”插口中, 黑色笔插入“COM”插口中。

(2) 将量程功能开关转到 ∇ 位置上, 将红笔接在二极管正极上, 黑笔接在二极管负极上, 显示器就显示出二极管的正向导通压降, 单位为 mV, 电流为 1mA。如测试笔反接, 显示器显示“1”, 则表示超过量程, 否则表明此二极管反向漏电流大。用来测量通断状态时, 如被测量点间的电阻低于 30 Ω 时, 蜂鸣器会发出声音表示导通状态。

7) 注意事项

(1) 当测量电流时, 若显示器没有显示数字, 则应检查保险丝。在打开电池盖更换保险丝前, 应先将测试笔脱离被测电路, 以免触电。

(2) 当显示器出现“LOW BAT”时, 表明电池电压不足, 应予以更换。

(3) 用完仪表后, 应关断电源。

1.4.2 交流毫伏表

晶体管毫伏表具有输入阻抗高、输入电容小、工作频带宽、测量电压范围广、灵敏度高和刻度线性等优点, 主要用于测量不同频率的正弦波交流电压并以正弦交流有效值表示。

1. 主要技术指标

(1) 测量电压范围: 100 $\mu V \sim 300V$ 。