

高等学校规划教材

电子 技术实验

DIANZI JISHU SHIYAN

顾三春 全迪 编



化学工业出版社

高等学校规划教材

电子技术实验

DIANZI JISHU SHIYAN

顾三春 全迪 编



化学工业出版社
· 北京 ·

电子技术是一门应用性、实践性很强的学科,实验是学习和研究电子技术学科的重要手段,既是对理论的验证、实施,同时还是对理论的进一步研究与探索。

本书共分 11 章,主要内容包括:电子技术实验的基础知识,常用电子元器件的特性及使用规则,常用电子仪器使用,模拟电路基础实验,数字电路基础实验,电子电路设计基础知识,模拟电子电路设计实验,电子电路综合设计实验, Multisim 仿真软件简介,模拟电路仿真实验和数字电路仿真实验。

全书包含各类实验项目 35 项,实验项目的设置覆盖了不同层次的教学需求,任课教师可根据需要灵活选用。为满足不同类型实验教学的需求,书中每个实验项目都附有实验原理、参考电路和思考题。

本书可作为高等学校电子信息工程、电子信息科学与技术、电气工程及其自动化、自动化等电气信息类专业电子技术实验和课程设计的教材,高职高专电气信息类专业也可选作教材,还可供电气、电子技术工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验/顾三春,全迪编. —北京:化学工业出版社, 2009. 8
高等学校规划教材
ISBN 978-7-122-06052-5

I. 电… II. ①顾…②全… III. 电子技术-实验-高等学校-教材 IV. TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 112639 号

责任编辑:郝英华 唐旭华 金 杰
责任校对:李 林

文字编辑:吴开亮
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装:北京市兴顺印刷厂
787mm×1092mm 1/16 印张 14 1/2 字数 375 千字 2009 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

电子技术基础是电类专业的重要技术基础课，是一门实践性很强的课程，它的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能，培养学生分析问题和解决问题的能力。实验是学习和研究电子技术学科的重要手段，既是对理论的验证，又是对理论的实施，同时还是对理论的进一步研究与探索。本书是根据高等院校电类专业本科电子技术课程教学大纲要求，并结合教学实践而编写的一本实验课教材。

本书本着由浅入深、由简到繁的原则，将实验教学内容划分为基础验证性实验、设计性实验、综合设计性实验和仿真实验几个不同层次。

全书共4篇。第1篇介绍电子技术实验基本知识，常用元器件特性和常用电子仪器的使用。

第2篇介绍模拟电子技术和数字电子技术基础验证型实验。学生通过学习，掌握电子电路基本原理及基本的实验方法，从而培养学生从实验数据中总结规律、发现问题的能力。

第3篇介绍电子电路设计方法和综合设计型实验。包含电子电路设计基础知识和电子电路综合设计方法。通过模拟电路设计性实验教学，可提高学生对于基础知识、基本实验技能的运用能力，掌握参数及电子电路的内在规律，理解模拟电路参数“量”的差别和工作“状态”的差别。通过综合设计型实验教学，可使学生加深对单元功能电路的理解，掌握各功能电路之间参数的衔接和匹配关系，提高学生综合运用知识的能力。

第4篇介绍计算机仿真设计与分析方法。学生通过学习，掌握 Multisim 仿真软件的应用，初步学会电子电路现代化的设计方法。

通过本书的学习，使学生既具有电子技术基础实验能力，又具有小系统综合设计能力；既能运用传统的设计方法，又能掌握现代电子技术的设计方法。

书中每个实验项目都附有较为详细的实验原理、参考电路、操作步骤、思考题等，便于教师选用实验教学内容以及学生自学。

本书第1~3篇以及附录部分由顾三春编写，第4篇由全迪编写，全迪绘制了全书的电路图。

本书在编写过程中得到了何道清教授、段忠南高级实验师的指导和帮助，胡泽教授审阅了全书，在此向各位同事表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者
2009 年 7 月

目 录

第 1 篇 电子技术实验基础知识	1
1 电子技术实验基本知识	1
1.1 电子技术实验的目的和意义	1
1.2 电子技术实验的基本程序	2
1.3 电子技术实验的操作规程	2
1.4 误差分析与数据处理	4
1.5 实验报告的撰写	7
1.6 电子测量技术	8
1.7 实验调试与故障检测技术	10
2 常用电子元器件的特性及使用规则	15
2.1 电阻器	15
2.2 电位器	19
2.3 电容器	20
2.4 电感器与变压器	23
2.5 半导体二极管和晶体三极管	25
2.6 集成电路	28
3 实验常用测量仪器的使用方法	33
3.1 示波器及其应用	33
3.2 直流稳压电源	35
3.3 信号发生器	36
3.4 交流毫伏表	37
3.5 万用表	38
第 2 篇 电子技术基础实验	41
4 模拟电子技术实验	41
实验一 常用电子仪器的使用	41
实验二 单管交流放大电路的测试	44
实验三 多级放大器及放大器中的负反馈	47
实验四 集成运算放大器的参数测试	51
实验五 集成运算放大器的线性运用	57
实验六 有源滤波器	60
实验七 电压比较器	64
实验八 波形发生及变换电路	67
实验九 功率放大器	70
实验十 直流稳压电源	75

5 数字电子技术实验	79
实验十一 集成逻辑门电路	79
实验十二 组合逻辑电路	83
实验十三 触发器	89
实验十四 计数器	93
实验十五 寄存器	97
实验十六 555 集成定时器	101
实验十七 数/模转换器	106
实验十八 模/数转换器	110
第 3 篇 电子电路设计	115
6 电子电路设计基础知识	115
6.1 电子电路设计性实验的教学目的	115
6.2 对电子电路设计性实验的要求	115
6.3 电子电路设计性实验的总结报告	115
6.4 电子电路设计的一般方法	116
7 模拟电子电路的设计	123
实验十九 晶体管放大器设计	123
实验二十 信号产生电路设计	127
实验二十一 直流稳压电源设计	131
实验二十二 模拟运算电路设计	137
实验二十三 压控振荡电路设计	144
8 电子电路综合设计性实验	150
实验二十四 数字式音量自动调节电路	150
实验二十五 交通灯控制电路	154
实验二十六 数字定时抢答器	158
实验二十七 晶体管输出特性曲线测试电路	162
实验二十八 峰值检测系统电路	166
第 4 篇 电子线路的计算机仿真测试	172
9 Multisim 9 快速入门	172
9.1 电子电路仿真软件 Multisim 9 简介	172
9.2 Multisim 9 的特点	172
9.3 Multisim 9 的工作界面	173
9.4 绘制基本的电路图	179
9.5 Multisim 9 虚拟仪器介绍	184
10 模拟电路仿真实验	190
实验二十九 单管交流放大电路的仿真测试	190
实验三十 有源滤波器的仿真测试	195
实验三十一 波形发生与变换电路的仿真测试	198
实验三十二 差动放大电路的设计与仿真	200

11 数字电路仿真实验	202
实验三十三 组合逻辑电路仿真测试	202
实验三十四 时序逻辑电路仿真测试	204
实验三十五 多功能电子钟的设计与仿真	206
附录 常用电子仪器的使用说明	207
附录 1 DF1731SB3A 可调式直流稳压、稳流电源	207
附录 2 DF2170A 型交流毫伏表	209
附录 3 SS-7802 型双踪示波器	210
附录 4 DF1641B 函数信号发生器	219
附录 5 THD-1 型数字电路实验箱使用说明	221
参考文献	223

第 1 篇 电子技术实验基础知识

1 电子技术实验基本知识

1.1 电子技术实验的目的和意义

电子技术基础是自动化、电子信息工程、通信工程等专业的一个重要技术基础课，是一门实践性很强的课程，它的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能，培养学生分析问题和解决问题的能力。实验是学习和研究电子技术学科的重要手段，既是对理论的验证，又是对理论的实践，同时还是对理论的进一步研究与探索。

在电子技术飞速发展、广泛应用的今天，实验显得更加重要。在实际工作中，电子技术人员需要分析器件、电路的工作原理；验证器件、电路的功能；对电路进行调试、分析，排除电路故障；测试器件、电路的性能指标；设计、制作各种实用电路的样机。所有这些都离不开实验。此外，通过实验可以培养学生严谨的工作作风，严肃认真、实事求是的科学态度，刻苦钻研、勇于探索和创新的开拓精神，遵守纪律、团结协作的优良品质。

电子技术实验包括模拟电子技术实验和数字电子技术实验，可以分为四个层次：基础验证性实验、设计性实验、综合性实验、仿真实验。

基础验证性实验主要针对电子技术本门学科范围内理论验证和实践技能的培养，着重奠定基础。这类实验除了巩固加深某些重要的基础理论外，主要在于帮助学生认识现象，掌握基本实验知识、基本实验方法和基本实验技能。

设计性实验可提高学生对本门学科基础知识、基本实验技能的运用能力，掌握参数及电子电路的内在规律，真正理解模拟电路参数“量”的差别和工作“状态”的差别。

综合性实验可提高学生对本门学科单元功能电路的理解，了解各功能电路间的相互影响，掌握各功能电路之间参数的衔接和匹配关系，以及模拟电路和数字电路之间的结合，可提高学生综合运用知识的能力。

仿真实验中，学生通过掌握仿真软件的功能、特点，以及应用，学会电子电路现代化的设计方法。在实验中，软件的使用以自学为主，配合具体的题目，培养学生对新知识掌握和应用的能力。

总之，电子技术实验应当突出对学生基本技能、设计性综合应用能力、创新能力和计算机应用能力的培养，以适应电子类学科人才培养的要求。

1.2 电子技术实验的基本程序

电子技术实验的内容广泛，每个实验的目的、步骤也有所不同，但基本过程却是类似的。为了达到实验的预期效果，要求实验者做到以下几点。

1.2.1 实验前的预习

为了避免盲目性，使实验过程有条不紊地进行，每个实验者实验前都要做好以下几个方面的准备。

- ① 阅读实验教材，明确实验目的、任务，了解实验内容。
- ② 复习有关理论知识，认真完成所要求的电路设计任务。
- ③ 根据实验内容拟好实验步骤，选择测试方案，掌握实验仪器的使用方法。
- ④ 对实验中应记录的原始数据和待观察的波形应先列表待用。

1.2.2 电子实验线路的安装与接线

上好实验课并严格遵守实验操作规程是增强实验效果、保证实验质量的重要前提。实验者需按照电子技术实验的操作规程进行电子实验线路的安装与接线。

1.2.3 电子技术实验的测试

应做好测试前的准备工作并按照电子测量的基本程序和方法进行测试。

① 首先检查 220V 交流电源和实验所用的元器件、仪器仪表等是否齐全且符合要求，检查各种仪器面板上的旋钮，使之处于所需的待用位置。例如，直流稳压电源应置于所需的挡位，并将其输出电压调整到所要求的数值。切勿在调整电压前随意与实验电路板接通。

② 对照实验电路图，对实验电路板上的元器件和接线仔细进行寻迹检查，检查各引线有无接错，特别是电源与电解电容的极性是否接反，注意防止碰线短路等问题。经过认真仔细检查，确认安装无差错后，方可将实验电路板与电源和测试仪器接通。

③ 按照电子测量的基本程序和方法进行测试，记录下实验数据并能分析实验数据是否合理。

1.2.4 电子技术实验的故障检测与排除

在电子电路安装与调试过程中，不可避免地会出现各种各样的故障现象，因此在电子技术实验中检查和排除故障也是实验的重要环节。实验者应掌握常见故障的检查和排除的基本方法。

1.3 电子技术实验的操作规程

与其他许多实践环节一样，电子技术实验也有它的基本操作规程。工程、科研人员经常要对电子设备进行安装、调试和测量，因此，就要求同学们一开始就应注意培养正确、良好的操作习惯，并逐步积累实践经验，不断提高实验水平。

1.3.1 实验仪器的合理布局

实验时，各仪器、仪表和实验对象（如实验板或实验装置）之间应按信号流向，并根据连线简捷、调节顺手、观察与读数方便的原则进行合理布局。

输入信号源置于实验板的左侧，测试用的示波器与电压表置于实验板的右侧，实验用的直流电源放在中间位置。还要认真检查各实验仪器、仪表是否能正常工作。

1.3.2 电子实验箱上的接插、安装与布线

目前,在实验室中常用的各类电子技术实验箱上通常有数块多孔插座板(或称面包板),利用这些多孔插座板可以直接插接、安装和连接实验电路而无需焊接。正确和整齐的布线在这里显得极其重要,这不仅是为了检查、测量的方便,更重要的是可以确保线路稳定可靠地工作,因而是顺利进行实验的基础。实践证明,草率和杂乱无章的接线往往会使线路出现难以排查的故障,以至最后不得不重新接插和安装全部实验电路,浪费了很多时间。为此,在多孔插座板上接插安装时应注意做到以下几点。

① 首先要搞清楚多孔插座板和实验箱的结构,然后根据实验箱的结构特点来安排元器件的位置和电路的布线。一般应以集成电路或三极管为中心,并根据输入输出分离的原则,以适当的间距来安排其他元件。最好先画出实物布置图和布线图,以免发生差错。

② 接插元器件和导线时要非常细心。接插前,必须保持待插元器件和导线的插脚平直。接插时,应小心地用力插入,以保证插脚与插座间接触良好。实验结束时,应轻轻拔下元器件和导线,切不可用力太猛。

③ 布线的顺序一般是先布电源线与地线,然后按布线图从输入到输出依次连接好各元器件和接线。应尽量做到接线短、接点少,但同时又要考虑到测量的方便。

④ 在接通电源之前,要仔细检查所有的连接线。特别要注意检查各电源的连线和公共地线是否接得正确。查线时仍以集成电路或三极管的端子为出发点,逐一检查与之相连的元器件和连线,在确认正确无误后方可接通电源。

1.3.3 接线规则

① 仪器和实验板间的接线要用颜色加以区别,以便于检查,如电源线(正极)常用红色,公共地线(负极)常用黑色。接线头要拧紧或夹牢,以防接触不良或因脱落而引起短路。

② 电路的公共接地端和各种仪表的接地端应连接在一起,既作为电路的参考零点(即零电位点),同时又可避免引起干扰。在某些特殊场合,还需将一些仪器的外壳与大地接通,这样可避免外壳带电从而确保人身和设备安全,同时又能起到良好的屏蔽作用。如在焊接和测试 MOS 器件时,电烙铁和测试仪器均要接大地,以防漏电而造成 MOS 器件的击穿。

③ 信号的传输应采用具有金属外套的屏蔽线,而不能用普通导线,而且屏蔽线外壳一定要接地,否则有可能引进干扰而使测量结果和波形异常。

1.3.4 注意人身和仪器设备的安全

(1) 注意安全操作规程,确保人身安全

① 为了确保人身安全,在调换仪器时必须切断实验台的电源。另外,为防止仪器和器件损坏,通常切断实验电路板上的电源后才能改接线路。

② 仪器设备的外壳应良好接地,防止机壳带电,以保证人身安全。在调试时,要逐步养成用右手进行单手操作的习惯,并注意人体与大地之间有良好的绝缘。

(2) 爱护仪器设备,确保实验仪器和设备的安全

① 在仪器使用过程中,不必经常开关电源,因为多次开关电源往往会引起冲击,使仪器的使用寿命缩短。

② 切忌无目的地随意搬弄仪器面板上的开关和旋钮。实验结束后,通常只要关断仪器电源和实验台的电源,而不必将仪器的电源线拔掉。

③ 为了确保仪器设备的安全,在实验室配电柜、实验台及各仪器中通常都安装有电源熔断器。仪器常用的熔断器有 0.5A、1A、2A、3A、5A 等几种规格,应注意按规定的容量调换熔断器,切勿随意代用。

④ 要注意仪表允许的安全电压或电流，切勿超过。当测量大小无法估计时，应从仪表的最大量程开始测试，然后逐渐减小量程。

1.4 误差分析与数据处理

1.4.1 数据的读取与波形的观察

为获得正确的实验数据和波形，应做到以下两点。

① 必须根据不同的测试对象正确选用合适的仪表和量程。若在不同场合下测量不同频率范围和不同电压量级的信号电压，应注意选用灵敏度和内阻不同，以及不同频率响应的电压表。观察不同频率范围的信号波形同样要选用不同规格的示波器。另外，所选用的量程要适合，否则将造成较大的测量误差。

② 所记录的数据必须是原始数据，而不是经过换算后的数值，对原始数据应标明名称及单位。需绘制曲线时，要注意在曲线变化显著的部位多读一些数据。对测得的原始数据还需预先做出估计，做到心中有数，以便及时发现、解决问题。另外，还应记录所使用仪表的型号、精度等级，必要时还应记下环境条件（如温度），以供实验后分析、核对。

1.4.2 误差的来源、分类与表示

在科学实验与生产实践的过程中，为了获取被研究对象特征的定量信息，必须准确地进行测量。而为了准确地测量某个参数大小，首先要选用合适的仪器设备，并借助一定的实验方法，以获取必要的实验数据；其次，要对这些实验数据进行误差分析与数据处理。但人们往往重视前者而忽视后者。

众所周知，在测量过程中，由于各种原因，实测结果和被测真值之间总存在一定差别，即测量误差。因此，分析误差产生的原因，采取措施减少误差，使测量结果更加准确对实验人员及科技工作者来说是应该了解和掌握的。

（1）测量误差的来源 测量误差的来源主要有以下几方面。

① 仪器误差 由于仪器的电气或机械性能不完善所产生的误差，如校准误差、刻度误差等。

② 使用误差 又称操作误差，它是指在使用仪器过程中因安装、调节、使用不当引起的误差。

③ 人身误差 由于人的感觉器官和运动器官的限制所造成的误差。

④ 环境误差 由于受到温度、湿度、大气压、电磁场、机械振动、声音、光照、放射性等影响所造成的附加误差。

⑤ 方法误差 又称理论误差，它是由于使用的测量方法不完善，理论依据不严密，对某些经典测量方法做了不适当的修改、简化所产生的，即在测量结果的表达式中没有得到反映的因素而实际上这些因素又起作用所引起的误差。例如，用伏安法测电阻时，若直接以电压表示值和电流表示值之比作为测量结果，而不计电表本身内阻的影响，就会引起误差。

（2）测量误差的分类 根据误差的性质及产生原因，测量误差可分为系统误差、随机误差和过失误差三大类。

① 系统误差 在规定的测量条件下对同一个量进行多次测量时，如果误差的数值保持恒定或按某种确定的规律变化，则称这种误差为系统误差。例如，电表的零点不准，温度、湿度、电源电压等变化造成误差都属于系统误差。系统误差有一定的规律性，一般可通过实验和分析找出并设法减弱和消除。

② 随机误差 随机误差又称偶然误差，在规定的条件下对同一量进行多次测量时，如果误差的数值发生不规则变化，则称这种误差为随机误差。例如，热运动、外界干扰和测量人员感觉器官微小的变化所引起的误差都属于随机误差。尽管在每次测量某一量时随机误差是不规则的，但是实践证明，如果测量次数足够多，随机误差的平均值的极限就会趋于零。所以，通过多次测量某一量并求出平均值可以消除随机误差。

③ 过失误差 过失误差是指在一定测量条件下，测量值明显地偏离真实值的误差。它是由于测量者对仪器不了解或粗心读数导致的不正确而引起的误差。通过分析确认是过失误差的测量数据应该予以剔除。

(3) 误差的几种表示方法 误差常用绝对误差、相对误差和允许误差来表示。

① 绝对误差 如果 x_0 表示被测量值的真值， x 表示测量仪器的指示值（测量值），于是绝对误差 Δx 为

$$\Delta x = x - x_0$$

若用高一级标准的测量仪器测得的值作为被测量的真值，则在测量前，实际使用的测量仪器应该由高一级标准的仪器进行校正，校正量常用修正值表示。对于某个测量值，高一级标准仪器的指示值减去实际测量仪器的指示值，就得到修正值。实际上，修正值就是绝对误差，只是符号相反而已。例如，用某电流表测量电流，指示值为 20mA，修正值是 +0.05mA，则被测电流的真实值为 20.05mA。

② 相对误差 相对误差 δ_x 是绝对误差与被测量值的真值之比，用百分数表示，即

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

当 $\Delta x \ll x$ 时， $\delta_x \approx \Delta x / x \times 100\%$ 。例如，用频率计测量频率，仪器的指示值为 500MHz，修正值为 -500Hz，则

$$\delta_x \approx \frac{500}{500 \times 10^6} \times 100\% = 0.0001\%$$

又如，用修正值为 -0.5Hz 的频率计测得频率为 500Hz，则

$$\delta_x \approx \frac{0.5}{500} \times 100\% = 0.1\%$$

从以上两例可以看出，尽管后者的绝对误差远小于前者，但后者的相对误差却远大于前者。因此，前者的测量准确度实际上比后者要高。

③ 允许误差 一般测量仪器的准确度用允许误差表示，它是根据技术条件的要求，规定某一类仪器的误差不应超过的最大范围。因此，允许误差又称为最大误差。通常仪器技术说明书所标明的误差都是指允许误差。在指针式仪表中，允许误差就是对应于满刻度时的相对误差，定义为

$$\delta_m \approx \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\%$$

式中， x_m 是仪表的满刻度读数。指针式仪表的误差主要取决于它本身的结构和制造精度，与被测值的大小无关。因此，用上式表示的满刻度相对误差实际上是绝对误差与一个常数的比值。我国的电工仪表按 δ_m 值分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5 共七个级别。

例如，用一只满刻度为 150V 的 1.5 级电压表测量电压，其最大绝对误差为 $150V \times (\pm 1.5\%) = \pm 2.25V$ 。若电压表的指示值为 100V，则被测电压的真值在 $100V \pm 2.25V$ 即 97.75~102.25V 范围内；若指示值为 10V，则被测电压的真值在 $10V \pm 2.25V$ 即 7.75~12.25V 范围内。

在电子测量仪器中，允许误差又分为基本误差和附加误差。基本误差是指在仪器规定的

测量条件下所出现的最大误差。规定测量条件又称为标定条件，一般包括环境条件、电源条件、预热时间等。附加误差是指标定条件中的一项或几项发生变化时产生的误差。附加误差又分为两类：一类为使用条件（如温度、电源等）发生变化时产生的误差；另一类为被测对象参数（如频率、负载等）发生变化时产生的误差。

1.4.3 测量结果的数据处理

测量结果的数据处理通常包括测量结果有效数字的处理和图形处理。

(1) 测量结果有效数字的处理 在记录和计算测量数据时，必须掌握有效数字的正确取舍。不能认为一个数据中小数点后面位数越多这个数据越准确，也不能认为计算测量结果时保留的位数越多准确度就越高。因为测量结果都是近似值，这些近似值通常都是用有效数字的形式来表示的。所谓有效数字，是指左边第一个非零的数字开始直到右边最后一位数字为止所包含的数字。例如，所测的频率为 0.0234MHz，它是由 2、3、4 三个有效数字表示的频率值。在其左边的两个“0”不是有效数字，因为它可以通过单位换算写成 23.4kHz。其中末位数字“4”通常是在测量读数时估计出来的，因此称它为欠准数字，其左边的各位有效数字均是准确数字。

有效数字的正确表示方法如下。

① 有效数字中，只应保留一位欠准数字。

在记录测量数据时，测量数据中只有最后一位有效数字是欠准数字。这样的数据记录表明，被测量可能在最后一位数字上变化 ± 1 的单位。例如，用一只刻度为 50 分度、量程为 50V 的电压表测得的电压为 45.6V，则该电压是由三位有效数字表示的，4 和 5 两个数字是准确的，而 6 是欠准的，因为它是根据最小刻度估计出来的，它可能被估读为 5，也可能被估读为 7，所以测量结果也可以表示为 $(45.6 \pm 0.1)V$ 。

② 欠准数字中，要特别注意 0 的情况。

例如，测量某电阻的数值为 13.600k Ω ，这表明前面 4 位数 1、3、6、0 是准确数字，最后一位数 0 是欠准数字。如果改写成 13.6k Ω ，则表明前面两位数 1、3 是准确数字，最后一位数 6 是欠准数字。这两种写法尽管表示同一个数值，但实际上却反映了不同的测量精度。如果用 10 的幂来表示一个数据，10 的幂前面的数字都是有效数字。例如， $13.60 \times 10^3 \Omega$ 表明该电阻的有效数字为 4 位。

③ 注意有无限位数的数值取值情况。

在对 π 、 $\sqrt{2}$ 等有无限位数的常数取有效数字，在运算时可根据需要取适当的位数。

对于测定的或通过计算获得的数据，在所规定的精度以外的那些数字采取四舍五入的原则进行处理。

如果只取 n 位有效数字，那么第 $n+1$ 位及其以后的各位数字都应舍去。如采用四舍五入的原则，对 $n+1$ 位为 5 的数字则都是只入不舍的，这样会产生较大的累积误差。目前广泛采用的四舍五入法则对 5 的处理方法是：当被舍的数字等于 5 而 5 之后有数字时，则舍 5 进 1。若 5 之后无数字或为 0 时，这时若 5 之前那位数字为奇数则舍 5 进 1，若为偶数则舍 5 不进位。

有效数字的计算方法如下。

① 加、减运算 如对同一物理量的测量数据进行运算，首先应对这些数据进行处理，使小数 0 后的有效数字的位数保留到这些数据中最少的位数，然后再进行运算。

② 乘、除运算 运算前对数据的处理应以有效数字位数最少的为标准，所得的积或商的有效数字的位数应与此相同。

(2) 测量结果的图形处理 测量结果除直接用数据表示之外，还可以用各种曲线表示。

特别是在表示两个或两个以上物理量之间的关系时，用曲线更能一目了然。例如，三极管的输入特性表示基极电流 i_B 与基-射之间电压 v_{BE} 之间的关系，输出特性则表示在不同的基极电流下集电极电流 i_C 与集-射之间电压 v_{CE} 之间的关系。用曲线来表示这些量之间的关系不但直观明了，而且通过画图可解决三极管电路中的各种问题，这样给分析和设计三极管电路带来了极大的方便。因此，根据测量数据画出曲线也是应当掌握的重要内容。

作图之前，为了避免差错，应将一组测量数据（或经过整理换算的数据）列表备查。

在作图时，根据需要可采用直角坐标、极坐标或其他形式的坐标，坐标轴可采用线性刻度或对数刻度等。

对于函数 $y=f(x)$ ，一般自变量 x 的测量误差忽略不计（或把误差小的作为自变量），并以横坐标表示。根据具体情况，坐标不一定从零点开始。数据点可用空心圆、实心圆、三角形、十字形、正方形等做标记，标记的中心与测量数据点相重合，标记的大小一般在 1mm 左右。

粗略作图时，可以使数据点大体沿所作曲线两侧均匀分布。测量数据点疏密程度的选择应根据曲线的具体形状而定，使各点沿曲线均匀分布，而沿横坐标轴 x （或沿纵坐标轴 y ）的分布则不一定是均匀的。在曲线急剧变化的地方，测量点应适当选得密一些。

当自变量取值范围很宽，如变化几个数量级时，一般可以用对数坐标作图。如放大电路的幅频特性，其频率坐标就取对数坐标。如果在很宽的范围内放大电路的幅频特性都非常平滑，还可以采用断裂线进一步缩小图幅。

还可以利用数学的方法对曲线进行拟合，对直线进行修匀。

1.5 实验报告的撰写

实验报告是实验结果的总结和反映，也是实验课的继续和提高。通过撰写实验报告，使知识条理化，可以培养学生综合分析问题的能力。一个实验的价值在很大程度上取决于报告质量的高低，因此对实验报告的撰写必须予以充分的重视。撰写一份高质量的实验报告必须做到以下几点。

① 以实事求是的科学态度认真做好各次实验。在实验过程中，对读测的各种实验原始数据应按实际情况记录下来，不应擅自修改，更不能弄虚作假。

② 对测量结果和所记录的实验现象，要会正确分析与判断，不能对测量结果的正确与否一无所知，以致出现因数据错而重做实验的情况。如果发现数据有问题，要认真查找线路并分析原因。数据经初步整理后，请指导老师审阅，然后才可拆线。

③ 实验报告的主要内容包括以下几个方面。

- 实验目的。
- 实验设备。
- 实验电路。
- 实验步骤和测试方法。
- 实验数据、波形和现象以及对它们的处理结果。
- 实验数据分析。
- 实验结论。
- 实验中问题的处理、讨论和建议，收获和体会。
- 附实验的原始数据记录。

- 实验报告封面。

在撰写实验报告时，常常要对实验数据进行科学的处理，才能找出其中的规律，并得出有用的结论。常用的数据处理方法是列表和制图。实验所得的数据可分类记录在表格中，这样便于对数据分析和比较。实验结果也可绘成曲线直观地表示出来。在作图时，应合理选择坐标刻度和起点位置（坐标起点并不一定要从零开始），并要采用方格纸绘图。当标尺范围很宽时，应采用对数坐标纸。另外，在波形图上通常还应标明幅值、周期等参数。

1.6 电子测量技术

1.6.1 电子测量的基本特点及分类

电子测量是以电子技术的理论为依据，以电子测量仪器和设备为手段，以电量或非电量（可转化为电量）为对象的一种测量技术。

（1）电子测量的基本特点 电子测量与电工测量相比，有以下几个特点。

① 频率范围宽。电子测量可完成对直流量及快速变化电量的测量任务，被测量的频率范围可从零到几百兆赫。如 DF2170A 型晶体管交流毫伏表可对频率为 5Hz~2MHz 的信号进行测量，而万用表一般只能测量 1kHz 以下的信号。

② 量程范围大。电子测量的量值范围很宽，例如，普通万用表的测量范围为几伏至几百伏，约两个数量级，而晶体管交流毫伏表的测量范围可从几毫伏至几百伏，达到 5 个数量级，数字电压表可达 7 个数量级。

③ 精度高。电子测量的精度与测量方法、测量技术以及所选用的仪器等因素有关。但就电子仪器的精度而言，目前已达到相当高的水平。由于采用了更为精确的电压、频率基准，电子仪器的测量精度有了飞跃的提高，显示 6~8 位数字的电压表和频率计被大量应用在电子测量中，而电工仪表能达到 0.1 级精度（即误差为 0.1% 以下）已是很少见的了。

除了以上三个特点以外，电子测量还具有速度快、功能多、使用灵活方便等优点。随着微型计算机的发展，电子测量仪器将朝着智能化的方向发展，它不仅可以进行自动测试和自动记录，而且可以实现数据分析和处理。例如，可以自动消除某些测量误差，使电子测量技术更臻完善。

（2）电子测量方法的分类 电子测量的方法很多，大致可以分为以下三类。

① 直接测量法。这是一种对被测对象直接进行测量并获得其数据的方法。例如，对各点电压量的测量就是直接测量。

② 间接测量法。不对被测量进行直接测量，而是对一个或几个与被测量值有确切函数关系的物理量进行测量，然后通过计算或推测得出被测量，这种测量方法称为间接测量法。

③ 组合测量法。这是一种将直接测量法和间接测量法联合使用的测量方法。

1.6.2 电子测量的基本程序

电子电路的基本测量项目通常有静态测量和动态测量。测试程序一般是先静态，后动态。在完成基本测试项目的基础上，根据实际需要，有时可进行某些专项测试，如在电源波动的情况下，进行电路稳定性的检查、抗干扰能力的测定等。

（1）静态测量 所谓静态，是指电路在不加输入信号或仅加固定电压信号时所处的稳定状态（对自激振荡电路来说是指停振状态）。静态测量的对象主要是各节点的直流电位。当测量精度要求不高时，一般可采用普通万用表；而对于一些精度要求较高的电路（如 A/D 转换电路、电压比较电路等），可采用内阻大、精度高的数字电压表。

(2) 动态测量 所谓动态,一般是指电路在外加输入信号下的工作状态(对自激振荡电路来说是指振荡状态)。例如,对放大电路来说,动态测量的主要对象通常有以下几个。

- 信号的幅度和周期(或频率)。
- 电压放大倍数和最大不失真输出电压。
- 输入电阻和输出电阻。
- 频率响应。
- 瞬态响应。
- 共模抑制比。

动态测量通常用示波器进行,如通过观察和测量电路的输入、输出波形,利用直读法和比较法等读被测信号的幅度(峰值或峰-峰值)、周期(或频率),以及正弦信号的相位、脉冲信号的脉宽、上升时间、下降时间等参数,并通过计算求得其他一些性能指标。对于正弦信号的幅度,也可以用交流毫伏表读测其有效值。

动态测量时应选择合适的信号发生器和示波器,以减少测量误差。

1.6.3 电子电路主要特征参数的测量

(1) 电压测量 电压是电子电路中最重要特征参数之一。为了准确测量电压,必须充分了解被测对象的特点,并掌握仪器的基本原理、性能和正确的使用方法。在选择仪器和进行测量时,应注意以下几点。

- ① 考虑频率范围。必须使被测电压的频率处于所选电压表的工作范围之内。
- ② 考虑量程范围。可以根据被测电压的大约数值选择合适的量程挡级。
- ③ 考虑电压表输入阻抗。因为电压表并联在被测对象两端,就相当于将表的输入阻抗并联到被测对象的两端,因此,必须选择输入阻抗远大于被测端电阻值的电压表。否则,由于输入阻抗的影响,改变了被测电阻的工作状态,从而引起较大的测量误差。

通常一个正弦交流电压的大小可以用峰值、有效值及平均值来表示。

① 峰值:任意一个周期性交变电压 $v(t)$,在所观察的一个周期内,其电压所能达到的最大值称为该交流电压的峰值。当不存在直流分量时,峰值就是振幅值 V_m 。

② 有效值:当交流电压在一个周期内通过某纯电阻负载所产生的热量与一个直流电压在同一时间内、同一负载上产生的热量相等时,该直流电压数值称为交流电压的有效值。在数学上,有效值与方均根值是同义的,且有

$$V = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

有效值的应用很普遍,各类交流电压表的指示值几乎都是按正弦波有效值来标定的。

③ 平均值:具有周期性的变化电压,其平均值定义为

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

式中, T 是变化电压的周期。当 $v(t)$ 中含有直流分量时,其平均值 $\bar{V}$ 等于直流分量,而当 $v(t)$ 中不含直流分量时,则 $\bar{V}=0$ 。

以上三个参数也适用于其他周期性的电压。但是在不同的场合,对不同的波形来说,强调的参数有所侧重。例如,对正弦交流电压来说,着重强调有效值;而对于脉冲波形电压来说,强调的是幅值,也就是峰值;在整流、滤波电路中,输出电压强调的是平均值(即输出直流电压)及峰-峰值(即输出的纹波电压)。

通常用于测量电压大小的电压表分为两种类型,一种是交流电压表,另一种是直流电压表。前者只能测量单一频率的正弦交流电压的有效值,后者可以测量具有周期性的任意波形

电压的平均值。

最后,还有一个值得注意的问题,用电压表测量直流电压时,应注意“+”、“-”极性;测量交流电压时,应注意共地,以避免外界引入的干扰和意外过负荷的危害。

(2) 放大电路电压放大倍数的测量 通过交流毫伏表测出输入电压和输出电压的有效值,即 V_i 和 V_o ,从而可求得放大电路的电压放大倍数 $A_v = V_o/V_i$ 。

若测量仪器为示波器,则可分别测得输入、输出电压的幅值,即 V_{im} 和 V_{om} ,然后同样可求得放大电路的电压放大倍数 $A_v = V_{om}/V_{im}$ 。

若同时要观察输入电压与输出电压之间的相位关系,则可使用双踪示波器。测量过程中,要注意输入信号的大小应适当,以免输出电压波形出现失真。

(3) 放大电路频率特性的测量 频率特性的测量一般采用逐点测量法。通过改变输入信号的频率(保持电压大小不变),并用示波器监视放大电路的输出电压,在输出波形无明显失真的情况下,选择一定数目的频率点,测出相应的输入电压 V_i 和输出电压 V_o ,由此可算出对应各频率点的 $|A_v| = |V_o/V_i|$ 或以 dB 为单位,取 $20\lg|A_v|$,然后就可画出对数幅频特性曲线。曲线上相对中频段下降 3dB 所对应的频率分别为上限频率 f_H 和下限频率 f_L 。频带宽度 $f_{BW} = f_H - f_L$ 。

另一种简单的测量方法是,在任何频率下都保持输入电压大小不变,首先测出中频区的输出电压 V_o ,然后分别降低或升高输入信号频率,直至输出电压降至 V_o 的 0.707 倍,此时对应的频率分别为下限频率 f_L 和上限频率 f_H ,频带宽度 $f_{BW} = f_H - f_L$ 。然后再在频带内、外分别测出几个频率点上的输出电压和输入电压,计算出 $|A_v| = |V_o/V_i|$,并取 $20\lg|A_v|$,由此即可画出幅频特性曲线。

1.7 实验调试与故障检测技术

1.7.1 电子实验调试技术

对于一个电子电路,即使完全按照所设计的电路参数进行安装,往往也难以立即实现预期的电路功能,这是因为在设计时对各种客观因素的影响往往难以完全预测。如元器件性能的分散性、电路寄生参数的影响、交流电网的干扰以及在组装电路时由于不慎所带来的错误等,均可能造成预想不到的后果。因此,必须经过实验测试和调试,发现和纠正设计和组装中的不足,才能达到预期的设计要求。所以,掌握电子线路的调试技术,对一名将要从事电子技术工作的学生来讲就显得尤为重要。

下面就如何进行电子实验调试及有关注意事项作简单介绍。

1.7.1.1 测试前的直观检查

实验电路安装完毕之后,不要急于通电测试,首先必须做好以下检查工作。

(1) 检查连线情况 对于安装在印制板上的实验电路,即使连线数量不是很多,也难免有接错线的时候。经常发生的错误有错接(即连线的一端正确而另一端误接)、少接(指安装时漏接线)及多接(指在电路上完全是多余的线)等。检查连线一般可直接对照电路安装图进行,但若电路中布线较多,则应以元器件(如运算放大器、三极管)为中心,依次检查其引脚的有关连线,这样不仅可以查出错接或少接的线,而且也较易发现多余的连线。

(2) 检查元器件的安装情况 应重点检查集成运算放大器、三极管、二极管、电解电容等引脚和极性是否接错,以及引脚间有无短路,同时还需要检查元器件焊接处是否可靠。

(3) 检查电源输入端与公共地端之间有无短路 通电前,还需用万用表检查电源输入端