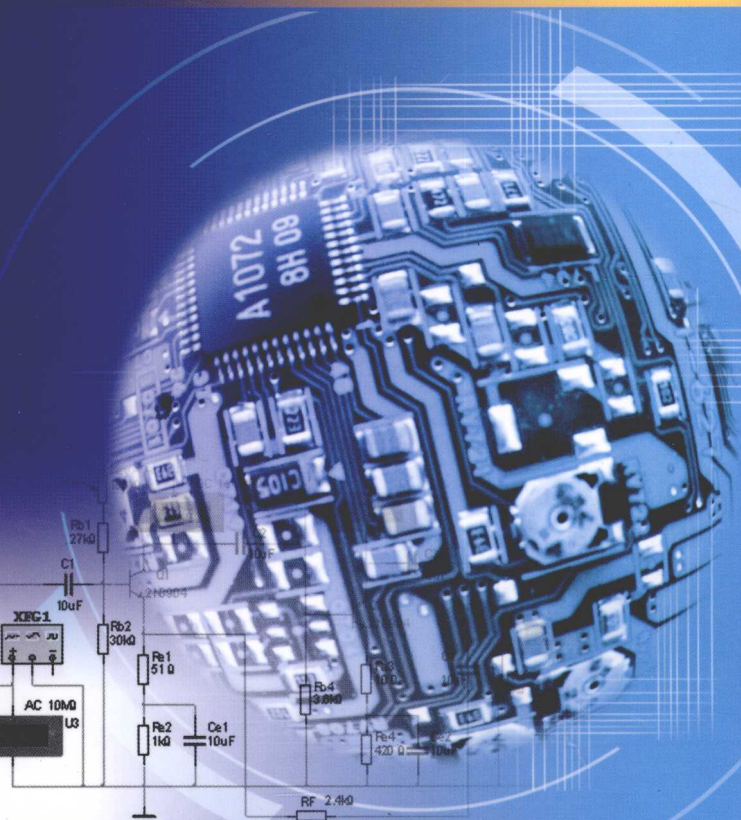




普通高等教育“十一五”电子电气基础课程规划教材

电子技术实验

邓元庆 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”电子电气基础课程规划教材

电子技术实验

邓元庆 主编
龚晶 陈军 参编



机械工业出版社

第1章介绍电子技术实验的基础知识,包括电子测量的基本概念、电子电路调试与故障分析处理的基本方法、常用电子元器件与实验仪器、电子电路仿真与PLD开发软件的使用等内容;第2章和第3章分别为模拟电路和数字电路的基本实验,包括验证型实验、研究型实验和设计型实验三种实验类型与动手实验、仿真实验两种实验方法;第4章和第5章分别为提高性实验和应用设计实验,是有一定难度的拓展性、应用性、综合性实验项目。

本书实验方法新颖,实验手段齐全,难度层次清晰,有助于比较全面地提高学生的电子技术实验技能和综合设计能力,既可作为电子信息类专业“电子技术基础”、“模拟电子电路”、“数字电路与逻辑设计”和“综合电子设计”等课程的配套实验教材,又可作为全国大学生电子设计大赛的培训参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验/邓元庆主编. —北京:机械工业出版社, 2009.9

ISBN 978-7-111-27882-5

I. 电… II. 邓… III. ①电工技术—实验—教材②电子技术—实验—教材 IV. TM-33 TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第129259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:王保家 责任编辑:王保家 关晓飞

版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2009年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12印张·295千字

标准书号:ISBN 978-7-111-27882-5

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

实验是培养学生工程实践能力、优良工作作风和开拓创新精神的重要环节。电子技术属于理论性和实践性非常强、时代特色极其鲜明的一门学科，一本与时俱进的好的实验教材是提高电子技术课程教学效果和学生综合素质的重要保证。本书正是想在这方面做一些力所能及的尝试。

本书共分5章。

第1章介绍电子技术实验的基础知识，包括电子测量的基本概念、电子电路调试与故障分析处理的基本方法、常用电子元器件与实验仪器、电子电路仿真与PLD开发软件的使用等内容，力图为学生打下比较扎实的电子技术实验基础。

第2章和第3章分别介绍模拟电路和数字电路的基本实验，包括验证型实验、研究型实验和设计型实验等三种实验类型与动手实验、仿真实验等两种实验方法，力图使学生掌握电子技术实验的基本技能和传统的、现代的实验方法，架设好理论联系实际的桥梁。

第4章和第5章分别介绍提高性实验和应用设计实验，这些实验都是有一定难度的拓展性、应用性、综合性实验项目，涉及理论教科书中没有介绍的一些实用的新型电子器件的应用，力图培养学生的综合设计能力和开拓创新精神。

本书既可作为电子信息类专业“电子技术基础”、“模拟电子电路”、“数字电路与逻辑设计”和“综合电子设计”等课程的配套实验教材，也可作为全国大学生电子设计大赛的培训参考教材。实施时，教师可以根据学时和培养目标的不同及学生的实际情况，灵活布置各个部分的实验内容。

本书由解放军理工大学理学院邓元庆教授主编，龚晶讲师、陈军副教授参编。解放军理工大学理学院的各级领导及编者的家人为本书的编写提供了大量的支持，机械工业出版社王保家编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动，谨在此一并致谢。

由于时间仓促和编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 电子技术实验基础 1

1.1 电子测量基础 1

1.1.1 概述 1

1.1.2 测量数据的处理 5

1.2 电子电路的组装、调试与故障 分析处理 6

1.2.1 电子电路的组装 6

1.2.2 电子电路的调试 8

1.2.3 电路的故障分析处理 10

1.3 常用电子元件基础知识 11

1.3.1 电阻、电容、电感 11

1.3.2 半导体分立器件 16

1.3.3 半导体集成电路 21

1.4 基本实验仪器与设备 23

1.4.1 万用表 23

1.4.2 直流稳压电源 24

1.4.3 信号发生器 25

1.4.4 示波器 27

1.4.5 交流毫伏表 29

1.4.6 数字频率计 30

1.5 电子电路仿真软件 Multisim 31

1.5.1 电子电路仿真软件概述 31

1.5.2 Multisim 的基本工作界面 32

1.5.3 仿真电路的建立 32

1.5.4 电路仿真与分析 34

1.6 PLD 开发软件 Quartus II 37

1.6.1 PLD 开发软件概述 37

1.6.2 Quartus II 的开发流程及 使用 38

第2章 模拟电路的基本实验 48

2.1 晶体管放大器 48

2.1.1 实验目的 48

2.1.2 实验内容与原理 48

2.1.3 实验器材 52

2.1.4 思考题与实验报告 52

2.2 场效应晶体管放大器 53

2.2.1 实验目的 53

2.2.2 实验内容与原理 53

2.2.3 实验器材 56

2.2.4 思考题与实验报告 56

2.3 差分放大电路 57

2.3.1 实验目的 57

2.3.2 实验内容与原理 57

2.3.3 实验器材 61

2.3.4 思考题与实验报告 62

2.4 集成运算放大器的基本应用 62

2.4.1 实验目的 62

2.4.2 实验内容与原理 62

2.4.3 实验器材 67

2.4.4 思考题与实验报告 67

2.5 阻容耦合多级交流放大器 67

2.5.1 实验目的 67

2.5.2 实验内容与原理 68

2.5.3 实验器材 71

2.5.4 思考题与实验报告 72

2.6 RC 有源滤波电路的仿真 72

2.6.1 实验目的 72

2.6.2 实验内容与原理 72

2.6.3 实验器材 77

2.6.4 思考题与实验报告 77

2.7 反馈电路的仿真 78

2.7.1 实验目的 78

2.7.2 实验内容与原理 78

2.7.3 实验器材 82

2.7.4 思考题与实验报告 82

2.8 函数信号发生器 83

2.8.1 实验目的 83

2.8.2 实验内容与原理 83

2.8.3 实验器材 87

2.8.4 思考题与实验报告 87

2.9 功率放大器 88

2.9.1 实验目的 88

2.9.2 实验内容与原理 88

2.9.3 实验器材	92	3.7.3 实验器材	116
2.9.4 思考题与实验报告	92	3.7.4 思考题与实验报告	116
2.10 直流稳压电源	93	3.8 存储器的功能测试与扩展	116
2.10.1 实验目的	93	3.8.1 实验目的	116
2.10.2 实验内容与原理	93	3.8.2 实验内容与原理	116
2.10.3 实验器材	97	3.8.3 实验器材	117
2.10.4 思考题与实验报告	97	3.8.4 思考题与实验报告	117
第3章 数字电路的基本实验	98	3.9 Quartus II 的使用	118
3.1 TTL 逻辑门的测试与应用	98	3.9.1 实验目的	118
3.1.1 实验目的	98	3.9.2 实验内容与原理	118
3.1.2 实验内容与原理	98	3.9.3 实验器材	118
3.1.3 实验器材	100	3.9.4 思考题与实验报告	118
3.1.4 思考题与实验报告	100	3.10 CPLD 的编程与应用	118
3.2 加法器、比较器的功能测试与 应用	100	3.10.1 实验目的	118
3.2.1 实验目的	100	3.10.2 实验内容与原理	118
3.2.2 实验内容与原理	100	3.10.3 实验器材	119
3.2.3 实验器材	102	3.10.4 思考题与实验报告	119
3.2.4 思考题与实验报告	102	3.11 D/A 转换器的应用	120
3.3 译码器的功能扩展与应用	103	3.11.1 实验目的	120
3.3.1 实验目的	103	3.11.2 实验内容与原理	120
3.3.2 实验内容与原理	103	3.11.3 实验器材	122
3.3.3 实验器材	106	3.11.4 思考题与实验报告	122
3.3.4 思考题与实验报告	106	3.12 555 定时器的应用	122
3.4 数据选择器的应用仿真	106	3.12.1 实验目的	122
3.4.1 实验目的	106	3.12.2 实验内容与原理	122
3.4.2 实验内容与原理	106	3.12.3 实验器材	125
3.4.3 实验器材	108	3.12.4 思考题与实验报告	125
3.4.4 思考题与实验报告	108	第4章 提高性实验	126
3.5 触发器的功能测试及应用仿真	108	4.1 集成锁相环	126
3.5.1 实验目的	108	4.1.1 实验目的	126
3.5.2 实验内容与原理	108	4.1.2 实验内容与原理	126
3.5.3 实验器材	112	4.1.3 实验器材	131
3.5.4 思考题与实验报告	112	4.1.4 思考题与实验报告	132
3.6 MSI 计数器的应用	112	4.2 集成频率/电压转换电路	132
3.6.1 实验目的	112	4.2.1 实验目的	132
3.6.2 实验内容与原理	112	4.2.2 实验内容与原理	132
3.6.3 实验器材	114	4.2.3 实验器材	137
3.6.4 思考题与实验报告	114	4.2.4 思考题与实验报告	137
3.7 MSI 移位寄存器的功能测试与应 用仿真	115	4.3 扩音器电路	137
3.7.1 实验目的	115	4.3.1 实验目的	137
3.7.2 实验内容与原理	115	4.3.2 实验内容与原理	137
		4.3.3 实验器材	143
		4.3.4 思考题与实验报告	144

4.4 简易红外遥控电路	144	5.2.3 实验器材	169
4.4.1 实验目的	144	5.2.4 思考题与实验报告	169
4.4.2 实验内容与原理	144	5.3 变色发光二极管显示电路	169
4.4.3 实验器材	147	5.3.1 实验目的	169
4.4.4 思考题与实验报告	147	5.3.2 实验内容与原理	169
4.5 数字式电平显示器	148	5.3.3 实验器材	171
4.5.1 实验目的	148	5.3.4 思考题与实验报告	171
4.5.2 实验内容与原理	148	5.4 电子生日蜡烛电路	171
4.5.3 实验器材	151	5.4.1 实验目的	171
4.5.4 思考题与实验报告	151	5.4.2 实验内容与原理	171
4.6 彩灯控制器	152	5.4.3 实验器材	173
4.6.1 实验目的	152	5.4.4 思考题与实验报告	173
4.6.2 实验内容与原理	152	5.5 十字路口交通控制系统	173
4.6.3 实验器材	156	5.5.1 实验目的	173
4.6.4 思考题与实验报告	156	5.5.2 实验内容与原理	173
4.7 8路抢答器	156	5.5.3 实验器材	174
4.7.1 实验目的	156	5.5.4 思考题与实验报告	174
4.7.2 实验内容与原理	156	5.6 15位二进制数密码锁	175
4.7.3 实验器材	160	5.6.1 实验目的	175
4.7.4 思考题与实验报告	160	5.6.2 实验内容与原理	175
4.8 电子秒表	160	5.6.3 实验器材	177
4.8.1 实验目的	160	5.6.4 思考题与实验报告	177
4.8.2 实验内容与原理	160	5.7 4位十进制数字频率计	178
4.8.3 实验器材	163	5.7.1 实验目的	178
4.8.4 思考题与实验报告	163	5.7.2 实验内容与原理	178
第5章 应用设计实验	164	5.7.3 实验器材	178
5.1 火灾监测报警器电路	164	5.7.4 思考题与实验报告	179
5.1.1 实验目的	164	5.8 全自动电梯控制器	179
5.1.2 实验内容与原理	164	5.8.1 实验目的	179
5.1.3 实验器材	167	5.8.2 实验内容与原理	179
5.1.4 思考题与实验报告	167	5.8.3 实验器材	180
5.2 防盗语音报警器电路	167	5.8.4 思考题与实验报告	180
5.2.1 实验目的	167	附录 部分常用集成电路的引脚图	181
5.2.2 实验内容与原理	167	参考文献	185

第1章 电子技术实验基础

本章介绍电子技术实验的基础知识,包括电子测量的基本概念、电子电路调试与故障分析、常用电子元器件与实验仪表、电子电路仿真软件与PLD开发软件的使用等内容。作为电子技术实验课的前期准备,它对于学生掌握电子技术的实验方法和技能,养成实事求是、一丝不苟的实验作风,提高动手能力,增强综合素质,具有重要的指导意义。

1.1 电子测量基础

1.1.1 概述

测量是人们对客观事物取得数量概念的认识过程。凡是利用电子技术来进行的测量都可称为电子测量。对于一个电子电路,在经过设计并组装完成后,为了检验电路是否达到设计要求,通常要对一些电路参数进行测量,这包括:电能量的测量,即测量电流、电压和功率等;元件及电路特性的测量,如电阻、电容、电感的大小等,电路的品质因数 Q 、幅频特性、带宽、增益和噪声等;信号特性测量,如波形、频率、相位、调幅度、频谱、非线性失真系数、频率稳定度等。为了检测电路的各种参数,通常必须借助各种电子仪表,由于各参数的性质不同,因此测量方法也不同。

电子测量技术是一门发展迅速的学科,它涉及各种电量及非电量的测量。下面简单介绍基本电量测量技术中的共性问题。

1. 测量方法的分类

(1) 直接测量

用测量仪表对被测量进行测量,直接得到测量结果,如用电压表测量电压、用电流表测量电流、用欧姆表测量电阻等。

直接测量具有操作简便、测量时间短等优点,广泛应用于工程测量中。

(2) 间接测量

对几个与被测量有确定函数关系的物理量进行直接测量,然后通过相互之间的函数关系,求得被测量。例如测量放大器的电压放大倍数 A_v ,一般都是分别测量放大器输出电压 U_o 和输入电压 U_i ,再计算出 A_v ($A_v = U_o/U_i$)。

间接测量常用于以下三种情况:被测量不能直接测量;直接测量较复杂;间接测量能获得更高的精度。

(3) 组合测量

以上两种测量的未知量都只有一个,而当测量的未知量有两个以上时,就需要在以上两种测量方法的基础上,将被测量与另外几个未知量组成联立方程,通过求解联立方程获得被测未知量的大小,这就是组合测量。这种方法用计算机求解更为方便。

在以上三种测量方法中,间接测量和组合测量都与直接测量有关,所以直接测量是测量

的基础，它的测量精度直接影响到其他两种测量的精度。

2. 模拟电子电路基本参数的测量方法

(1) 电压的测量

电压是电子电路测量中最基本的参数，测量比较方便。在测量中，要根据被测电压的性质（直流或交流）、电压范围、频率范围、波形、精度等级和阻抗来选择合适的测量仪表。

1) 直接测量法。用指针式电压表和数字万用表可以直接测量交、直流电压的各主要参数。注意，在测量时，要考虑电压表的输入阻抗、量程和频率范围。

2) 比较测量法——示波器法。比较测量法是用已知电压值（一般为峰-峰值）的信号波形与被测信号的电压波形进行比较，并算出电压值。

示波器测量直流电压：测量时将输入耦合置于直流（DC）档，先把输入端短路，以扫描基线位置作为零电位线，然后输入被测电压，扫描线将上移或下移，根据偏离值就可算出直流电压值。

示波器测量交流电压：测量时应将示波器的 V/div 微调旋钮置于校准位置，一般测量出所测量波形的峰-峰值电压（最高峰与最低峰电压差） U_{PP} 。

(2) 阻抗的测量

阻抗是描述电路系统的传输及变换的一个重要参数，测量条件不一样，阻抗测量值也不一样。

在直流条件下， $R = U/I$ ；在交流条件下， $Z = \tilde{U}/\tilde{I} = R + jX$ 。

下面简单介绍在模拟、线性、低频条件下，有源二端口网络（如放大器）输入电阻和输出电阻的测量方法。

1) 输入电阻的测量方法。放大器的输入电阻定义为输入电压 U_i 和输入电流 I_i 之比，即 $R_i = U_i/I_i$ 。下面介绍测量 R_i 的两种常用方法。

① 串联电阻法：当被测电路的输入电阻不太高时，测量电路如图 1-1 所示，信号源输出与放大电路输入之间串入一个已知阻值的电阻 R ，用毫伏表分别测出 R 两端的电压 U_s 和 U_i ，则输入电阻为 $R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{(U_s - U_i)/R} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$

② 输出半值法：当被测电路为高输入阻抗时，由于毫伏表的内阻与放大电路的输入电阻 R_i 数量级相当，不能直接在输入端测量输入信号 U_i 的大小，而是先用毫伏表测出输出电压 U_o 的大小，再在输入端串联一个电位器 RP ，由于 RP 的接入，使放大器输出端电压 U_o 发生变化，调节 RP ，使 $U'_o = U_o/2$ ，则 $R_i = R_{RP}$ 。测量电路如图 1-2 所示。

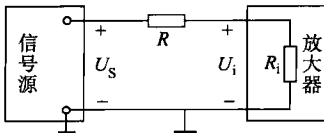


图 1-1 串联电阻法测输入电阻

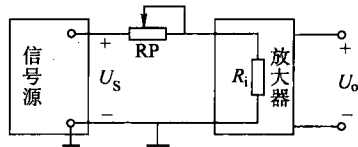


图 1-2 输出半值法测输入电阻

2) 输出电阻的测量方法。

① 外接已知负载法：在放大器的输入端送入一个固定的信号源电压，用毫伏表分别测

量负载 R_L 未接入和接上时的输出电压 U_o 和 U_{oL} , 则输出电阻为 $R_o = \left(\frac{U_o}{U_{oL}} - 1 \right) R_L$ 。测量方法如图 1-3 所示。

② 半值法: 不接负载电阻 R_L , 用毫伏表测量输出电压 U_o ; 然后在输出端接一电位器 RP 作为负载, 由于 RP 的接入, 使放大器输出端电压 U_o 发生变化, 调节 RP , 使输出电压 $U'_o = U_o/2$, 则 $R_o = R_{RP}$ 。测量方法如图 1-4 所示。

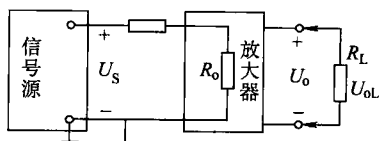


图 1-3 外接已知负载法测输出电阻

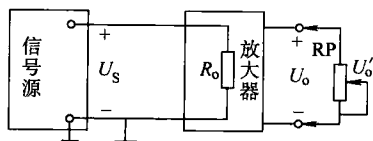


图 1-4 半值法测输出电阻

(3) 周期和频率的测量

周期性的正弦波和矩形波是最常见的电压波形, 其特点是经过一段相同的时间间隔后又出现相同的波形。周期是指一个信号重复的时间间隔, 可以用具有时间测量功能的示波器测量。方法是读出两个相邻周期信号同相点之间在 X 轴上的间隔, 然后乘以扫描速率就可以得到待测信号的周期。为了提高测量准确度, 可用多周期法, 即读出数个周期的时间间隔, 然后除以周期数即可。

频率是周期的倒数, 它可以通过示波器测量出周期后, 再计算得到, 但这样得到的数据不方便也不太准确。常采用数字频率计测量频率, 既方便又准确。它是在某个准确的已知时间间隔 T_0 内, 测出电压信号重复出现的次数 N , 然后计算出频率 f , 即

$$f = \frac{N}{T_0}$$

要使频率测量准确, 首先要有一个准确的时间间隔。目前, 一般采用频率稳定度很高的石英晶体振荡器, 经过一定的频率转换电路, 获得所需的标准时间间隔。

(4) 增益及幅频特性的测量

增益是网络传输特性的重要参数。一个有源二端口网络的电流、电压、功率增益 (或放大倍数) 可用下式表示:

$$A_i = I_o / I_i$$

$$A_u = U_o / U_i$$

$$A_p = P_o / P_i$$

在通信系统中, 常用分贝 (dB) 表示增益, 因此, 上述各式可改写为

$$A_i = 20 \lg \frac{I_o}{I_i}$$

$$A_u = 20 \lg \frac{U_o}{U_i}$$

$$A_p = 10 \lg \frac{P_o}{P_i}$$

二端口网络的幅频特性, 是一个与频率有关的量, 所研究的是网络输出电压与输入电压

的比值随频率变化的特性，下面简要介绍两种测量幅频特性的方法。

1) 逐点法。逐点法即逐个改变输入信号的频率，记录相应的结果。测试时，保持输入电压幅度 U_i 不变，改变信号的频率，分别测出不同频率对应的不失真输出电压 U_o ，并计算相应的电压增益。测量后，将所测各点的值连接成曲线，就是被测电路的幅频特性。测量时，用一个频率可调的正弦信号产生器，保持其输出电压的幅度恒定，将其信号作为被测设备或电路的输入信号，每改变一次信号发生器的频率，用毫伏表或示波器测量被测电路的输出电压值。如果频率的变化不影响输出电压的变化，则频率间隔可取得大些。

2) 扫频法。扫频法就是用频率特性测试仪（简称扫频仪）测量二端口网络幅频特性的方法，它是一种动态测量的方法，它很直观，在扫频仪的屏幕上能一次显示出完整的幅频特性曲线。扫频仪的工作原理如图 1-5 所示。扫频仪将一个与扫描电压同步的调频（扫频）信号送入网络输入端口，并将网络输出端口电压检波后送示波管 Y 轴（偏转板），因此在显示屏的 Y 轴方向显示被测网络输出电压的幅度；而示波管的 X 轴方向即为频率轴，加到 X 偏转板上的电压应与扫频信号的频率变化规律一致（注意：扫描电压产生器输出到 X 轴偏转板的电压正符合这一要求），这样示波管屏幕上就能显示出清晰的幅频特性曲线。

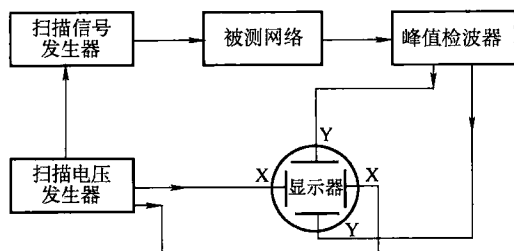


图 1-5 扫频仪的工作原理

3. 数字电路中常用的测试方法

(1) 数字集成电路器件的功能测试

在安装电路之前，对所用的数字集成电路器件，应检查芯片的引脚有无折断，在外观完好情况下，应检查芯片的逻辑功能，避免因器件功能不正常而增加调试的困难。检测器件功能的方法多种多样，常用的有如下几种：

- 1) 仪器检测法：用专门的数字集成电路测试仪进行检测。
- 2) 功能实践检测法：可以用已有的实验电路进行逻辑功能检测。
- 3) 替代法：用被测器件替代正常工作的数字电路中的相同器件，以判断是否正常。

(2) 数字电路中几种基本电路的测试方法

1) 集成逻辑门电路。

静态测试：在各输入端分别接入不同的电平值，即逻辑“1”接高电平，逻辑“0”接低电平，用逻辑笔分别测试各个逻辑门的输出电压，判断是否符合逻辑关系，以此判断逻辑门电路的好坏。

动态测试：在各输入端分别接入规定的脉冲信号，用示波器或逻辑分析仪观测各输入端与输出端的信号波形，并画出这些脉冲信号的时序波形图，分析它们之间是否符合逻辑门电路的逻辑关系。

2) 集成触发器电路。

静态测试：在输入端分别接入不同的电平，并给以不同的触发条件，测试触发器的逻辑功能以及复位、置位和翻转功能是否符合规定。

动态测试：在时钟脉冲的作用下，测试触发器的翻转功能，用示波器观测电路各处波形的变化情况，检测触发器的逻辑功能，以及不同触发器对触发脉冲与数据输入信号之间不同

的配合要求。

3) 计数器电路。

静态测试：主要测试电路的复位、置位功能。

动态测试：在时钟脉冲的作用下，测试计数器各输出端的状态是否满足计数功能表的要求，可用示波器观测各输出端的波形，检测这些波形与时钟脉冲之间的关系。

4) 译码显示电路。

静态测试：测试数码管各段是否工作正常，如共阴极的发光二极管显示器，可以将阴极接地，再将各显示段通过 $1\text{k}\Omega$ 电阻接电源正极（+5V），各显示段全亮才正常。再将译码器的数据输入端依次输入 0000 ~ 1001，则显示器对应显示出 0 ~ 9 十个数字。

1.1.2 测量数据的处理

1. 测量数据的读取

在实验中，通过各种仪器观测得到的各种数据和波形，是分析总结实验结果的重要依据。直接观察仪器显示得到的数据称为原始数据，经过分析、计算、综合后，用来反映实验结果的数据称为结论数据。

电子仪器显示测量结果，有指针指示、波形显示和数字显示三种类型。使用不同类型的仪器进行测量时，要应用正确的测量方法，以减小读数误差。

(1) 指针指示式仪器数据的读取

读数时要确定表盘刻度线上各分度线所表示的刻度值，然后根据指针所处的位置进行读数。当指针停在刻度上两分度线之间时，需要估读一个近似的读数，这个数即为欠准数字。

使用指针指示式仪器时，为减小读数误差需注意以下问题：

1) 对一些可测试不同量程的多种电量的仪器（如万用表），读数时要正确地选用刻度线并确定其上各分度线所表示的刻度值，防止读错而造成较大的过失误差。

2) 测量时，选择量程应尽量使指针指示停在刻度线的 $2/3$ 以上部分，这样测量结果相对误差较小。

3) 读数时，要掌握适当的视觉角度，即要求眼睛的视线垂直正对指针所在处的刻度盘表面，否则会引起视觉误差。

(2) 波形显示式仪器的读数

波形显示式仪器即为各类示波器和图示仪。波形显示式仪器可将被测电量的波形直观地显示在显示屏上，据此可读出被测电量的有关参数。

波形显示式仪器的读数方法是：先确定 X 轴、Y 轴方向每一坐标格所表示的电量数值，然后根据波形在 X 轴、Y 轴方向占有的格数进行读数（读数 = 每一格电量数值 × 总格数）。

使用波形显示式仪器时要注意以下问题：

1) 要调整好仪器的“亮度”和“聚焦”，使显示出的波形细而清晰，波形大小要合适，以便准确读数。

2) 读取数据时，应适当调整波形在 X 轴、Y 轴方向的位置，使读数点位于 X 轴（Y 轴）线上。因为 X 轴（Y 轴）线有小坐标，读取的数据较准确。

3) 使用示波器测量电压幅度时，一般先测电压的峰-峰值然后再换算成最大值、有效值。因为测量峰-峰值电压时，电压的最大值和最小值所在的位置最为明显，容易读数，误

差较小。

(3) 数字显示式仪器的读数

数字显示式仪器靠数码管显示屏或液晶显示屏直接显示测试结果。使用数字显示式仪器, 可根据仪器显示的数字直接进行读数, 有的仪器还可以显示被测电量的单位, 因而读数更加方便、准确。

使用数字显示式仪器读数时应注意以下问题:

- 1) 合理选用量程, 尽可能多地显示几位有效数字, 提高测试精度。
- 2) 当测量较小电量时, 因为仪器灵敏度较高, 会使显示数字中最后一位数字不停地跳动, 这位数字应作为欠准数字, 读取数据时, 可根据其跳动范围进行估读。例如, 最后一位数在 3~7 之间跳动, 可取最后这位欠准数字为 5。

2. 测量数据的记录

实验中正确地记录数据很重要。实验前应准备好记录数据的图表和记录波形的坐标纸; 记录数据要认真, 不应随意涂改; 所有数字都应注明单位, 必要时要记下测量条件。

实验过程中测得的结果都是近似值, 这些近似值通常用有效数字的形式来表示。对有效数字的正确表示, 应注意以下几点:

1) 有效数字是指从数据左边第一个非零数字开始, 直到右边最后一个数字为止所包含的数字。右边最后一位数字通常是在测试时估读出来的, 称它为欠准数字, 其左边的各位有效数字都是准确数字。

2) 如已知误差, 则有效数字的位数应与误差相一致。例如, 设仪器误差为 $\pm 0.01\text{V}$, 测得电压为 22.572V , 其结果应写作 22.57V 。

3. 电子电路实验误差分析与数据处理注意事项

- 1) 实验前应尽量做到“心中有数”, 以便及时分析测量结果的可靠性。
- 2) 在时间允许时, 每个参量应多测几次, 以便搞清实验过程中引入系统误差的因素, 尽可能提高测量的准确度。
- 3) 应注意测量仪器、元器件的误差范围对测量的影响, 通常所读得的示值与测量值之间满足以下关系:

$$\text{测量值} = \text{示值} + \text{误差}$$

因此, 测量前应对测量仪器的误差及检定、校准和维护情况有所了解, 在记录测量值时要注明有关误差, 或决定测量值的有效位数。

1.2 电子电路的组装、调试与故障分析处理

电子技术实验, 需通过电路设计 (或给定电路)、组装、调试、排除故障、达到指标要求, 才能完成实验。

1.2.1 电子电路的组装

从实践中得知, 一个理论设计十分合理的电子电路, 由于电路组装不当, 将会严重影响电路的性能, 甚至使电路无法正常工作。因此, 在进行电子电路组装时, 要考虑电子电路的结构布局、元器件的位置、线路的走向及连接点的可靠性等因素。

1. 整体结构布局和元器件的安置

在电子电路的整体布局和元器件的安置问题上,首先要考虑电气性能上的合理性,其次要尽可能整齐美观。

1) 整体结构布局要合理。要根据电路板的面积,合理布置元器件的密度,应疏密均匀,且元器件之间不能交叉重叠。

2) 元器件的安置要便于调试、测量和更换。电路原理图中相邻的元器件,在安装时原则上应就近安置。不同级的元器件不要混在一起,输入级和输出级应尽量远离,以免引起级与级之间的寄生耦合,使干扰和噪声增大。

3) 元器件的标志(如型号和参数)在安装时应一律向外,并尽量方向一致,以便检查。元器件在电路板上安装方向原则上应横平竖直,所有集成电路插入方向应保持一致。

4) 对于有磁场且会产生相互影响和干扰的元器件,应尽可能分开或采取自身屏蔽。

5) 发热元器件(如三端集成稳压片)的安置应尽可能靠电路板边缘,有利于散热,必要时需加装散热片。为保证电路稳定工作,晶体管、热敏元器件等对温度敏感的元器件应尽量远离发热元器件。

2. 布线设计

电子电路布线是否合理,不仅影响其外观,而且也会影响电子电路的性能。电路中(特别是较高频率的电路)常见的自激振荡,往往就是由于布线不合理所致。因此,为了保证电路工作的稳定性和可靠性,电路组装时的布线应注意以下几点:

1) 所有布线应直线排列,并做到横平竖直,以减小分布参数对电路的影响。走线要尽可能短,信号线不可迂回,尽量不要形成闭合回路。信号线之间、信号线与电源线之间不要平行,以防由于寄生耦合引起电路自激振荡。

2) 布线一般先布置电源线和地线(公共线),再布置信号线。布线时要根据电路原理图或装配图,从输入级到输出级逐级布线,这样不容易遗失或错误布线。

3) 地线是所有信号共同使用的通路,一般较长。为了减小信号通过公共阻抗时的耦合,地线一般应选用较粗的导线。

3. 组装连接

电子技术实验中,通常采用电路板焊接和在实验箱的面包板上插接两种方式组装电路。焊接组装电路性能更可靠,更符合真实情况,但耗时长,元器件可重复利用率低。在面包板上插接组装,元器件便于连接,电路便于调式,耗时少,且元器件可重复利用率高。下面分别讨论这两种情况应注意的问题。

(1) 焊接组装

在电路板上焊接电子元器件,是组装电路的常用方法。焊接质量主要取决于焊接者的焊接工艺,也取决于焊接工具和焊料。

焊接工艺将直接影响焊接质量,从而影响电子电路的整体性能。对初学者来说,首先要求焊接牢固,不能有虚焊,因为虚焊将会给电路造成严重的隐患,给调试和检修工作带来很大的麻烦。其次作为一个高质量的焊点,必须光亮、圆滑、大小适中。焊接前要注意净化焊件表面,镀上一层焊锡,再进行焊接;焊接时要掌握正确的焊接方法,根据不同的焊接对象,控制焊接时间和温度,掌握焊锡用量,防止虚焊。焊接完毕后应仔细检查焊点,以确保焊接质量。

(2) 插接组装

面包板组装电路要注意使用场合，它不太适用于频率很高的电路，因为面包板的引线电感和分布电容都比较大，对高频电路性能影响很大。面包板一般适用于集成电路，特别适用于数字集成电路，因为数字集成电路通常工作频率不高而且功率较小，所用阻容元件也较少。

1) 集成电路的插装。对于多次使用的集成电路的引脚，必须修理整齐，引脚不能弯曲，并确保引脚与面包板插孔接触良好。为了能够正确布线且便于查找，所有集成电路的插入方向要保持一致。

2) 导线的选用和连接。导线的直径应和面包板的插孔直径相一致，过粗会损坏插孔，过细则与插孔接触不良。为了检查电路的方便，连线应该使用不同颜色。一般习惯于正电源用红线，负电源用蓝线，地线用黑线，信号线用黄线，也可根据条件选用其他颜色的导线。

连接用的导线应紧贴在面包板上，不应悬空，更不要跨接在元器件上，一般从集成电路周围通过，尽量做到横平竖直；走线之间应避免相互重叠，这样便于查线和更换元器件。

面包板多次使用后，面包板中的弹簧片会变松，弹性会变差，容易造成接触不良，而接触不良极易造成电路故障。因此，要经常检查面包板的可靠性，避免不必要的麻烦。

1.2.2 电子电路的调试

电路组装完成后，即使是严格按照设计的电路参数进行安装，往往也难于达到预期的效果。这是由于人们在设计时，不可能周密地考虑各种复杂的客观因素（如元件值的误差、器件参数的离散性、分布参数的影响等），必须通过安装后的测试与调整，来发现和纠正设计方案的不足，然后采取措施加以改进，使电子电路达到预定的技术指标。

电子电路调试中常用的仪器有万用表、稳压电源、示波器和信号发生器。

1. 调试前的直观检查

在连接完实验电路后，通常不要急于加电，要认真检查电路，以便发现并纠正电路在安装过程中的疏漏和错误，避免在电路通电后发生不必要的故障，甚至损坏元器件。检查的内容包括：

(1) 元器件安装情况

检查元器件引脚之间有无短路，连接处有无接触不良，二极管、晶体管、集成电路和电解电容极性是否连接有误。

(2) 连线是否正确

检查电路连线是否正确，这其中包括有没有接错的导线，有没有多连或少连的导线。查线过程中还要注意各连线的接触点是否良好，在有焊接的地方应检查焊点是否牢固。

(3) 电源供电（包括极性）是否正确

先检查电源线的正、负极性是否接对。再用万用表的“ $\times 1$ ”欧姆档检查电源正、负极之间有无短路现象，以及电源端对地（ $\perp$ ）是否存在短路；用万用表的“ $\times 10K$ ”欧姆档检查正、负极间有无开路现象。

若电路经过上述检查，并确认无误后，就可转入调试。

2. 调试方法

调试包括测试和调整两个方面。所谓电子电路的调试，是以达到电路设计指标为目的而

进行的一系列的“测量→判断→调整→再测量”反复进行的过程。

调试通常采用先分调再联调的方法。由于电子电路一般都由一些基本单元电路组成,因此,把一个复杂的电路按原理图上的功能分成若干个单元电路,分别进行调试,使其参数基本满足设计指标,并在此基础上逐步扩大调试范围,最后完成整个电路的调试。

调试顺序是按信号的流向进行,这样可以把前级调试过的输出信号,作为后一级的输入信号,为最后的联调创造条件。

3. 调试步骤

(1) 通电观察

电源接通之后不要急于测量数据和观察结果,首先要观察有无异常现象,包括有无冒烟,是否闻到异常气味,手摸元器件是否感觉发烫,电源是否有短路现象等。如果出现异常,应立即关断电源,待排除故障后方可重新通电。

(2) 静态调试

这是在电路接通电源而没有接入外加信号的情况下,对电路直流工作状态进行的测量和调整。例如,模拟电子电路实验中,测试交流放大器的直流工作点;数字电路实验中,各输入端加入固定的高、低电平值,测试输出端的高、低电平及逻辑关系。

(3) 动态调试

动态调试是在静态调试的基础上进行的。调试的方法是在电路的输入端接入一定频率和幅度的信号,并循着信号的流向逐级检测各有关点的波形、参数和性能指标,检查其是否满足设计要求。如果出现异常,还要查出故障的原因,排除故障后继续调试。

模拟电路的动态调试比较复杂,因为其性能指标要求较多,如信号幅度、波形形状、相位关系、频率、放大倍数、幅频特性等。而对于数字电路来说,由于其集成度较高,一般调试工作量不太大,只要器件选择合适,直流工作状态正常,逻辑关系就不会有太大问题,因此一般是测试数字电路的转换和工作速度。

4. 调试中的注意事项

(1) 测量仪器的正确使用

调试前要熟悉有关测试仪器的使用方法和注意事项,检查仪器的性能是否良好。有的仪器在使用前需进行必要的校正,避免在测量过程中由于仪器使用不当,或仪器的性能达不到要求而造成测量结果的误差,甚至得出错误的结果。

(2) 正确使用仪器的接地端

直流稳压电源的“地”一般应与实验电路的“地”端连接起来。稳压电源的“地”与机壳连接起来,就形成了一个完整的屏蔽系统,减少了外界信号的干扰,这就是常说的“共地”。信号发生器的“地”应该与电路的“地”连接在一起,否则会导致输入的信号不正确。示波器和毫伏表的“地”应该和实验电路的“地”连在一起,否则测量的信号是处于“虚地”状态,不稳定,得不到正确的测量结果。

(3) 保持良好的心理状态

在电路调试过程中,要保持良好的心理状态,切不可一遇到解决不了的故障,就拆掉线路重新安装。因为重新安装的线路仍可能存在各种问题,如果是原理上的问题,即使重新安装也解决不了,不仅浪费时间,还学不到真正的实验技能。正确的方法是,认真检查电路,分析原因,确定是电路原理上的问题还是安装中的问题,把查找故障并分析、排除故障看成

一次好的学习机会，通过它来不断提高自己分析问题和解决问题的能力。

1.2.3 电路的故障分析处理

电子电路调试过程中常常会遇到各种各样的故障，分析、处理故障可以提高分析问题和解决问题的能力。分析、处理故障的过程，就是从故障现象出发，通过反复测试，作出分析判断，逐步找出问题的过程。首先要通过对原理图的分析，把系统分成不同功能的电路模块，通过逐一测量找出故障模块，然后对故障模块内部加以测量并找出故障，即从一个系统或模块的预期功能出发，通过实际测量，确定其功能是否正常，来判断它是否存在故障，然后逐层深入，进而找出故障的原因并加以排除。

1. 故障产生的原因

故障产生的原因很多，情况也很复杂，有的是一种原因引起的简单故障，有的是多种原因相互作用引起的复杂故障。因此，引起故障的原因很难简单分类，下面仅列出一些可能的原因：

- 1) 实际电路与设计的原理图不符。
- 2) 元器件使用不当或损坏。
- 3) 实验电路板或面包板损坏。
- 4) 误操作。
- 5) 各种干扰引起的故障。

2. 电子元器件的损坏特点

损坏的元器件常常造成电路故障，而元器件的损坏，在许多情况下，必须借助仪器才能检测判断，比较麻烦。因此，了解各种元器件失效的特点，对于判断故障是非常重要的。

- 1) 电阻：一般是引脚松脱，烧毁，阻值变大或变小，或阻值随温度变化极不稳定。
- 2) 电容：电解电容一般是击穿短路、漏电增大、容量减小或断路，无极性电容一般是击穿短路或断路、漏电严重等。
- 3) 电位器：一般是接触不良、严重磨损、扭力过大而损坏。
- 4) 二极管：一般是击穿、开路、反向电阻变小、正向电阻变大等。
- 5) 晶体管：一般是击穿、开路、漏电严重、参数变坏等，是故障率最高的一种器件。
- 6) 集成电路：一般是局部损坏（击穿、开路）或性能变坏。

3. 故障的一般诊断方法

查找故障的顺序可以从输入到输出，也可以从输出到输入。检查故障的一般方法有以下几种：

(1) 直接观察法

直接观察法是指不用任何仪器，用目视、耳听、鼻嗅、手摸等方法直接发现问题，寻找并分析故障。首先不加电检查元器件的使用是否正确，布线是否合理，电源电压的大小和极性是否符合要求，元器件引脚有无错接、漏接、互碰等情况，电阻、电容有无烧焦和炸裂等；加电后观察元器件有无发烫、冒烟，变压器有无焦味等。

(2) 信号寻迹法

对于各种较复杂的电路，可在输入端接入一个一定幅值、适当频率的信号（例如，对于多级放大器，可在其输入端接入 $f=1\text{kHz}$ ，幅度为几十毫伏的正弦信号），用示波器由前