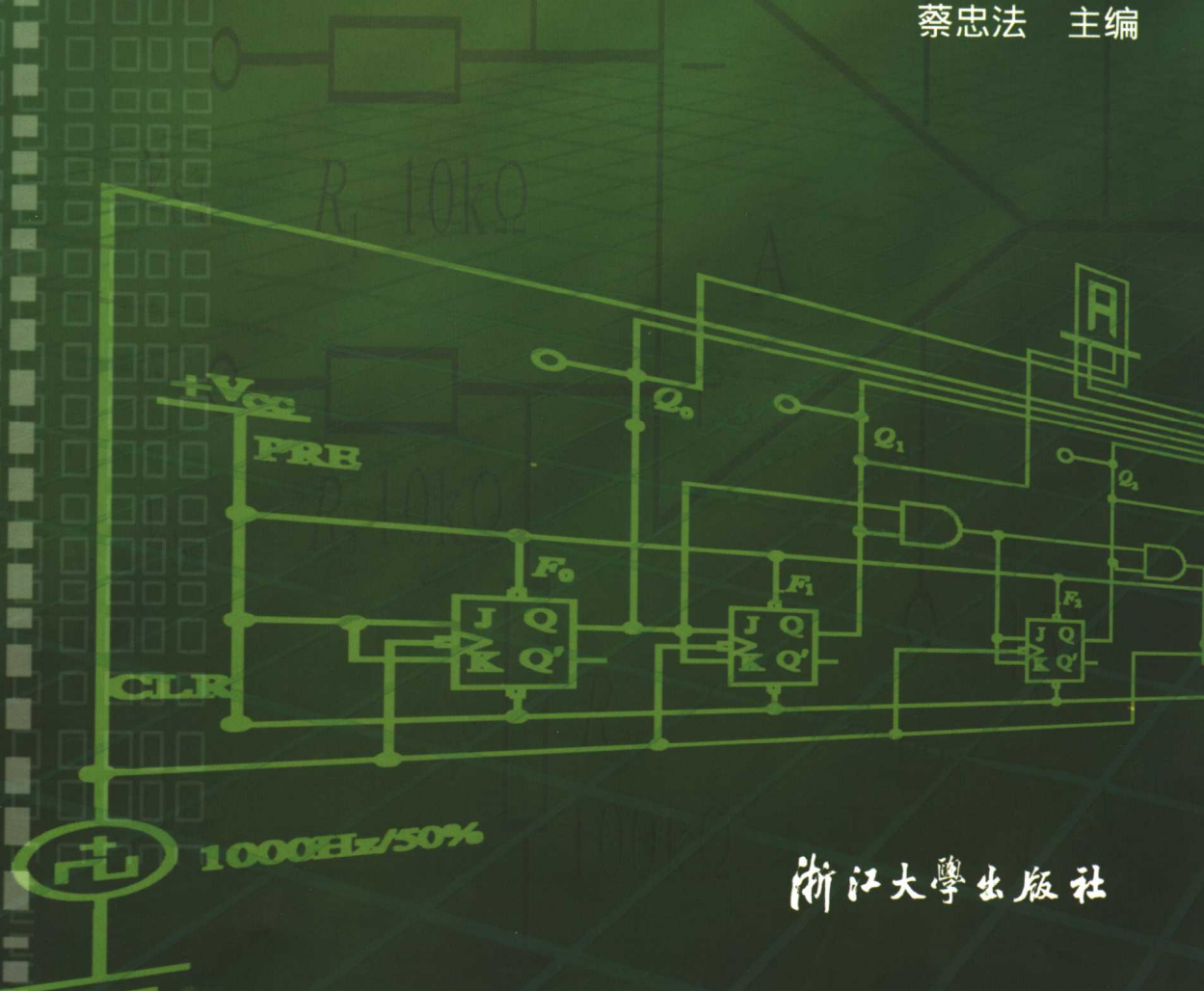
 新世纪高等院校精品教材

电子技术 实验与课程设计

浙江大学电工电子基础教学中心电子学组 编

蔡忠法 主编



浙江大学出版社

新世纪高等院校精品教材

电子技术 实验与课程设计

浙江大学电工电子基础教学中心电子学组 编

蔡忠法 主编

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验与课程设计 / 蔡忠法主编. —杭州:浙江
大学出版社,2003.8
ISBN 7-308-03392-9

I.电... II.蔡... 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(2003)第 062121 号

内容提要

本书参照高等学校电气信息类专业电子技术实验和课程设计的教学要求编写,全书分为四篇和五个附录。

第一篇为电子技术实验基础知识,包括实验预备知识、电子测量技术、实验调试与故障检测技术等内容。第二篇为模拟电子技术和数字电子技术基础实验。第三篇为 EDA 实验,包括 PSPICE、EWB、PLD 实验。第四篇为综合性实验与课程设计。全书总计 47 个实验,其中模电硬件实验 11 个,数电硬件实验 11 个,PSPICE 实验 8 个,Electronics Workbench 实验 6 个,PLD 实验 8 个,综合性实验与课程设计 3 个。附录包括 PSPICE 软件使用、Electronics Workbench 软件使用、数字系统 EDA 软件介绍、常用电子仪器介绍、常用电子元器件资料等内容。

本书可作为高等学校本科和工程专科电气信息类专业电子技术实验和课程设计的教材,也可供成人教育和职业教育相关专业学生或电气电子技术工程人员使用。

责任编辑 杜希武

封面设计 张作梅

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail:zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址:http://www.zjupress.com)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 19.5

字 数 499 千字

版 印 次 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数 0001—4000

书 号 ISBN 7-308-03392-9 /TN·071

定 价 30.00 元

符号说明

电子电路中的电压和电流往往不是单一的直流或交流,而是二者兼有;有时需要强调其中的直流分量,有时则需强调交流分量或动态变化量。为此需要用大、小写符号加上大、小写下标来表示,甚至再加上辅助符号才能说明清楚,否则可能造成概念上的混淆。现以电路的输入电压(电流)为例加以说明。

1. 大写字母、大写下标,如 $V_I(I_I)$ 表示直流输入电压(电流)或输入电压(电流)中的直流分量;而直流电源电压常用大写双下标表示,如 V_{CC} 、 V_{BB} 、 V_{EE} 等,其中 C、B、E 为所施加的电极符号。
2. 大写字母、小写下标,如 $V_i(I_i)$ 表示交流输入电压(电流)有效值;而 $\dot{V}_i(\dot{I}_i)$ 为交流相量值(复数);交流输入电压(或电流)的幅值常用 $V_{im}(I_{im})$ 表示。
3. 小写字母、小写下标,如 $v_i(i_i)$ 表示交流输入电压(电流)或输入电压(电流)中的交流分量。
4. 小写字母、大写下标,如 $v_1(i_1)$ 一般用来表示非正弦输入电压(电流)的瞬时总量。其中如含有直流分量和交流分量,则它们又可表示为 $v_1 = V_I + v_i$ (或 $i_1 = I_I + i_i$)。
5. Δ + 小写字母、大写下标,如 $\Delta v_1(\Delta i_1)$ 一般用来表示非正弦输入电压(电流)的瞬时变化量。如输入电压(电流)中仅含交流量,则 Δv_1 与 v_i (或 Δi_1 与 i_i) 是等价的。
6. Δ + 大写字母、大写下标,如 $\Delta V_I(\Delta I_I)$ 表示直流输入电压(电流)的变化量。

前 言

电子技术基础课程是工科电气信息类专业的一门重要技术基础课,其工程性和实践性都很强,并且自 20 世纪 90 年代以来,电子技术飞速发展,特别是 EDA 技术更是突飞猛进,因此,加强实验技能和 EDA 技术的训练,对于提高学生分析解决实际问题的能力和培养工程素质具有十分重要的作用。

本书是参照高等学校电气信息类专业电子技术实验和课程设计的教学要求编写的,全书分为四篇和五个附录。本书的编写思路是:

(1) 兼顾电子技术理论教学与实验教学之间的关系。电子技术实验课程通常是与理论教学同步安排或滞后于理论教学,本书是参照理论教学的顺序来编排实验内容,同时为适应实验单独设课的要求,教材中每个实验都附有实验说明、参考电路等,并且在第三篇附录中安排了实验所用 EDA 软件的使用说明。

(2) 兼顾电子技术实验基础知识与实验技能之间的关系。在第一篇中介绍了电子技术实验的任务、实验误差与数据处理、电子测量技术、实验调试技术和故障检测技术等基础知识,在附录中介绍了常用电子仪器和常用电子元器件知识。掌握这些基础知识和常用电子仪器的正确使用是电子技术实验的基本要求,在每个实验中都应该注意加以应用,做到融会贯通。

(3) 兼顾硬件实验与 EDA 实验之间的关系。在第二篇中选编了 11 个模电实验和 11 个数电实验,在第三篇中选编了 8 个 PSPICE 实验、6 个 EWB 实验和 8 个 PLD 实验。在教学安排时应根据各自的教学条件和实际情况有选择地安排教学内容。在学时充足时,对于同一内容可通过硬件实验与 EDA 实验相互对比,以加深对实验原理的理解、提高实验技能;在学时较少时,则应有选择地安排硬件实验和 EDA 实验内容,使两者能相互配合、相互补充。

(4) 兼顾验证性实验与设计性实验之间的关系。验证性实验在电子技术实验中具有一定作用,但不宜过于强调。本教材实验内容以设计性实验为主,验证性实验为辅。在使用时应重视实验的设计步骤,以培养学生的电子设计能力为主线来组织实验教学。

参加本书编写工作的教师分工如下:第一篇,樊伟敏;第二篇,傅晓程、沈连丰;第三篇,蔡忠法、章安元、祁才君;第四篇,陈隆道、阮秉涛;附录,樊伟敏。全书由蔡忠法负责协调和统稿。在编写原则、大纲、结构和内容等诸方面,王小海教授都给予了大力支持和指导,并最后认真细致地审阅了全部书稿。郑家龙教授多次参加了大纲的讨论,并提出了许多建设性意见。在本书的编写过程中,还得到了董静、沈红、林平、张德华、周箭等教师的大力支持,在此一并鸣谢。

尽管编者对全书的体系和内容作了很多努力,但由于时间和水平所限,本书肯定存在很多不足,恳请使用本书的读者给予指正,以便今后不断改进。

编者
2003 年 7 月

目 录

第一篇 电子技术实验基础知识

第一章 电子技术实验预备知识	(3)
1.1.1 电子技术实验的基本任务	(3)
1.1.2 电子技术实验的操作规程	(3)
1.1.3 误差分析与数据处理	(7)
1.1.4 实验要求与实验报告的编写	(12)
第二章 电子测量技术	(14)
1.2.1 电子测量的基本特点及分类	(14)
1.2.2 电子测量的基本程序	(15)
1.2.3 电子电路主要特性参数测量	(16)
第三章 实验调试与故障检测技术	(19)
1.3.1 实验调试技术	(19)
1.3.2 常见故障和检查排除方法	(21)

第二篇 基础实验

第一章 模拟电子技术基础实验	(27)
实验 2.1.1 常用电子仪器的使用练习	(27)
实验 2.1.2 三极管共射放大电路	(33)
实验 2.1.3 场效应管源极输出器	(39)
实验 2.1.4 差分放大电路	(41)
实验 2.1.5 集成运算放大器的指标测试	(44)
实验 2.1.6 集成运放组成的基本运算电路	(48)
实验 2.1.7 低频功率放大电路	(51)
实验 2.1.8 直流稳压电源	(54)
实验 2.1.9 桥式正弦波振荡器	(57)
实验 2.1.10 非正弦波发生器	(59)
实验 2.1.11 有源滤波器	(62)
第二章 数字电子技术基础实验	(65)
实验 2.2.1 数字电子技术的认识实验——数字钟	(65)
实验 2.2.2 传输门	(71)
实验 2.2.3 全加器电路和数码奇偶位判断电路	(72)
实验 2.2.4 译码器和编码器的应用	(75)
实验 2.2.5 集成触发器的应用	(77)
实验 2.2.6 时序逻辑电路实验(一)	(80)

实验 2.2.7 时序逻辑电路实验(二)	(81)
实验 2.2.8 单稳态触发器和多谐振荡器	(83)
实验 2.2.9 集成定时器的应用	(86)
实验 2.2.10 D/A、A/D 转换电路	(87)
实验 2.2.11 存储器和字符发生器	(90)

第三篇 EDA 实验

第一章 PSPICE 实验	(97)
实验 3.1.1 半导体器件特性仿真	(97)
实验 3.1.2 共射放大电路辅助设计	(99)
实验 3.1.3 差分放大电路仿真分析	(101)
实验 3.1.4 负反馈放大电路仿真分析	(105)
实验 3.1.5 集成运放组成的运算电路	(107)
实验 3.1.6 功率放大电路仿真分析	(109)
实验 3.1.7 波形发生电路仿真分析	(112)
实验 3.1.8 数字电路仿真分析	(116)
第二章 EWB 实验	(119)
实验 3.2.1 单管共射极放大电路	(119)
实验 3.2.2 集成运放应用——信号运算电路	(121)
实验 3.2.3 集成运放应用——波形发生电路	(125)
实验 3.2.4 编码译码与显示电路	(127)
实验 3.2.5 时序逻辑电路	(129)
实验 3.2.6 555 定时器组成的波形发生器及应用	(137)
第三章 PLD 实验	(140)
实验 3.3.1 一位二进制加法器的设计	(140)
实验 3.3.2 译码器的设计	(141)
实验 3.3.3 一位二进制数值比较器的设计	(143)
实验 3.3.4 四位二进制串行进位加法器的设计	(144)
实验 3.3.5 简单十进制计数器的设计	(147)
实验 3.3.6 中规模四位计数器的设计	(148)
实验 3.3.7 设计一个 8421BCD 编码的 10 * 10 进制加法计数器	(149)
实验 3.3.8 交通灯控制器的设计	(151)
附录 3.A PSPICE 软件使用	(155)
3.A.1 PSPICE 概述	(155)
3.A.2 电路图编辑	(159)
3.A.3 设置分析方式	(170)
3.A.4 执行仿真分析	(174)
3.A.5 查看分析结果	(177)
附录 3.B Electronics Workbench 软件使用	(184)

3. B. 1 概述	(184)
3. B. 2 EWB 的基本界面	(184)
3. B. 3 EWB 的操作使用方法	(193)
附录 3. C 数字系统 EDA 软件介绍	(205)
3. C. 1 ABEL-HDL 语言简介	(205)
3. C. 2 ISP Synario System 开发软件	(211)
第四篇 综合性实验与课程设计	
第一章 低频函数信号发生器	(227)
4. 1. 1 设计任务	(227)
4. 1. 2 方案讨论	(228)
4. 1. 3 单元电路分析	(229)
第二章 低频数字频率计	(240)
4. 2. 1 设计任务	(240)
4. 2. 2 方案讨论	(240)
4. 2. 3 单元电路分析	(244)
第三章 数控直流稳压电源	(248)
4. 3. 1 设计任务与要求	(248)
4. 3. 2 总体方案确定	(249)
4. 3. 3 单元电路设计	(249)
4. 3. 4 参考资料	(254)
附录 A 常用电子仪器	(255)
A. 1 示波器	(255)
A. 1. 1 XJ4318A 型二踪示波器	(255)
A. 1. 2 TDS1002 型二踪数字存储示波器	(261)
A. 2 Tektronix 572 型晶体管特性图示仪	(273)
A. 3 DF2172B 型交流电压表	(278)
A. 4 XJ1631 数字函数信号发生器	(279)
A. 5 HY3003D-3 型可调式直流稳压电源	(282)
A. 6 MS8200G 数字多用表	(284)
A. 7 电子技术实验箱	(286)
A. 7. 1 MDZ-2 模拟电子技术实验箱	(286)
A. 1. 2 SDZ-2 模拟电子技术实验箱	(287)
附录 B 常用电子元器件资料	(290)
B. 1 常用电阻器、电位器和电容器	(290)
B. 2 常用集成电路型号介绍	(292)
B. 3 部分常用集成电路性能参数	(295)
B. 4 常用实验器件引脚排列图	(297)
参考文献	(300)

第一篇

电子技术实验基础知识



第一章 电子技术实验预备知识

1.1.1 电子技术实验的基本任务

实验的基本任务是使学生在“基本实践知识、基本实验理论和基本实验技能”三个方面受到较为系统的教学与训练,以逐步培养他们“爱实验、敢实验、会实验”,成为善于把理论与实践相统一的专门人才。

电子技术实验内容极其丰富,涉及的知识面也很广,并且正在不断充实、更新。在整个实验过程中,对于示波器、信号源等常用电子仪器的使用方法;频率、相位、时间、脉冲波形参数和电压、电流的平均值、有效值、峰值以及各种电子电路主要技术指标的测试技术;常用元器件的规格与型号,手册的查阅和参数的测量;小系统的设计、组装与调试技术;实验数据的分析、处理能力;EDA软件的使用都是我们要着重掌握的。

为确保实验教学质量,我们将采取下列基本教学方法和措施:

(1)强调以实验操作为主,实验理论教学为辅。围绕和配合各阶段实验的教学内容和要点,进行必要的和基本的实验理论教学。

(2)采用“多媒体教学”、“虚拟实验”等多种手段,以提高实验教学效果,扩大知识面。

(3)按照基本要求,分阶段进行实验。

前阶段进行基本实验,每个基本实验着重解决两至三个基本问题。注意让某些重要的实验内容出现适当的重复,以加深印象和熟练操作。

后阶段着重安排一些中型或大型实验,主要用于培养综合运用实验理论和加强实践技能的训练,特别应注意在理论指导下提高分析问题和解决问题的能力,例如:对实验中出现的现象能做出正确的解释,并在此基础上有能力解决一些实际问题。

(4)贯彻因材施教的原则,对不同程度的学生提出不同的要求。在完成规定的基本实验内容后,允许程度较好的学生选做加做某些实验内容。

(5)以严格的实验制度,确保实验教学质量。

要求做到实验前有“预习”,实验后有“报告”,阶段有“总结”,期末有“考核”。(考核内容包括实验理论、实验技能和基本实践知识三个方面,以口试、笔试和实际操作相结合的方式在期末进行。)

1.1.2 电子技术实验的操作规程

和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。电子技术工作者经常要对电子设备进行安装、调试和测量,因此,要求我们一开始就注意培养正确、良好的操作习惯,并逐步积累经验,不断提高实验水平。

一、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等)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。

图 1.1.1 为实验仪器的一种布局形式。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。

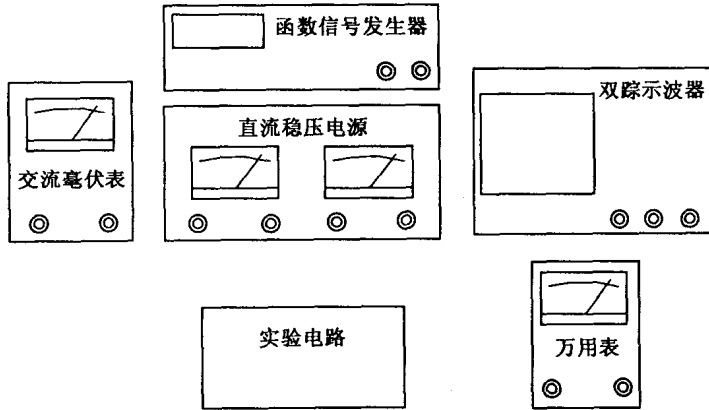


图 1.1.1 实验仪器的布局

二、电子线路的安装与焊接

电子线路的安装与焊接质量是使电子设备得以达到预期性能指标的基础。在安装实验电路板时,应注意以下几点:

1. 安装前的准备

(1) 装配前应通过仪器,认真检查各元器件的标称值与性能参数是否符合电路要求,确认无误后再进行装配,切勿急于求成。

(2) 装配时应妥善安排元器件的位置,合理布局。既要使布局紧凑,引线短捷,又要避免引线间相互交叉而造成的短路故障。一般来说,应先按原理电路图画出实物安装图,然后才能进行安装焊接。

(3) 元器件本身的引线长度要适当,不要齐根弯曲,以免折断。对于印有标称字样的元器件,应考虑将数字朝外,以便于识别与检查。

2. 焊接与安装

要理解和掌握焊接要领,确保焊接质量,杜绝虚焊、假焊、漏焊。

(1) 选择合适的焊锡,焊剂和烙铁。

在电子线路的焊接中,常采用管状商用焊锡丝,并使用中性助焊剂(如松香等),一般选用 20~45W 电烙铁。

(2) 焊接前应对元件的引线认真地进行清洁处理(一般用刀刮清),并预先上锡,这是防止假焊的有效措施。因为金属表面的氧化物对锡的吸附力很小,如果没有预先进行清洁和上锡处理,往往会出现焊锡虽然包住接点,而实际上并未焊牢的所谓“假焊”。假焊点将会带来严重的隐患,因此必须在焊接一开始就引起足够的重视。

(3) 焊接时应使烙铁头与焊接物之间的接触面尽可能大,并严格控制焊接时间。

烙铁温度过低或焊接时间过短,不但易造成假焊,而且焊点不光亮。烙铁温度过高或焊

接时间太长又会引起焊锡流脓,甚至烫坏元器件、导线和印刷电路板。因此,初学者应注意掌握好烙铁温度和焊接时间。一般应使焊剂完全挥发,让焊锡均匀地扩散到焊点周围时即可提起烙铁。冷却时要注意防止焊件松动。

(4)焊点上锡量要适中,焊点应光亮、圆滑,大小合适,周围清洁。

图 1.1.2 给出了一个正确的元器件排列和安装示意图。

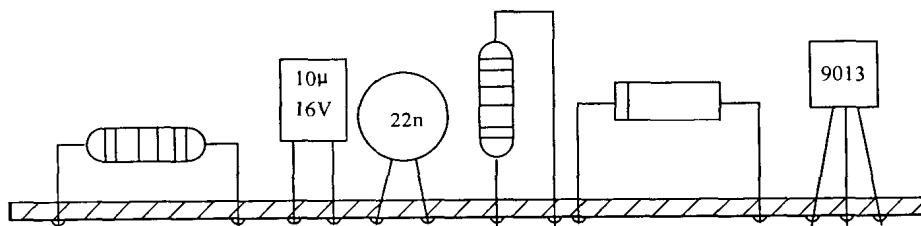


图 1.1.2 正确的元器件排列示意图

三、电子实验器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一块或数块多孔插座板(或称面包板)。利用这些多孔插座板可以直接接插、安装和连接实验电路而无需焊接。然而,正确和整齐的布线在这里显得极为重要。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,因而是实验顺利进行的基础。实践证明,草率的和杂乱无章的接线往往会使线路中出现难以排除的故障,以致最后不得不重新接插和安装全部实验电路,浪费很多时间。为此,在多孔插座板上接插安装时应注意做到以下几点:

(1)首先要弄清楚多孔插座板和实验箱的结构(可参见附录 A.7),然后根据实验箱的结构特点来安排元器件位置和电路的布线。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,必须先用钳子或镊子把待插元器件和导线的插脚弄平直。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,应一一轻轻拨下元器件和导线,切不可用力太猛。注意接插用的元器件插脚和连接导线均不能太粗或太细,一般以线径 0.5mm 左右为宜,导线的剥线头长度约 10mm。

(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。在可能条件下应尽量做到接线短、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。特别应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引脚为出发点,逐一检查与之相连接的元件和连线,在确认正确无误后方可接通电源。

四、正确的接线规则

(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,以防因接触不良或脱落而引起短路。

(2)电路的公共接地端和各种仪表的接地端通常应连接在一起,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,如图 1.1.3 所示。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 元件时,电烙铁和测试仪器均要接大地,以防它们漏电而造成

MOS 元件的击穿。

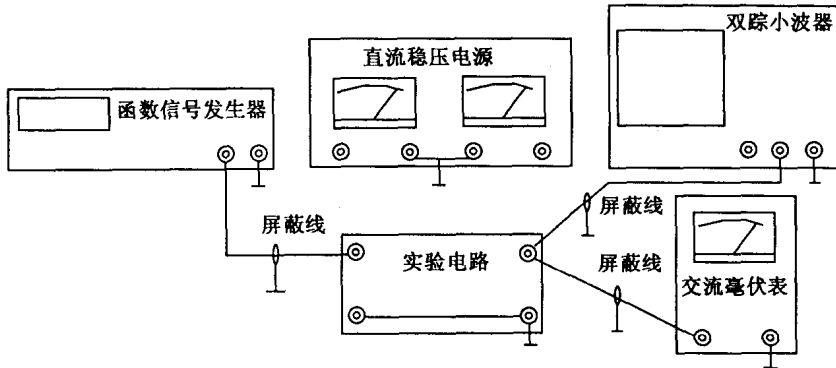


图 1.1.3 仪器与实验电路板的连接

(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。并且屏蔽线外壳要选择一点接地,否则又可能引进干扰,而使测量结果和波形异常,如图 1.1.4 所示。

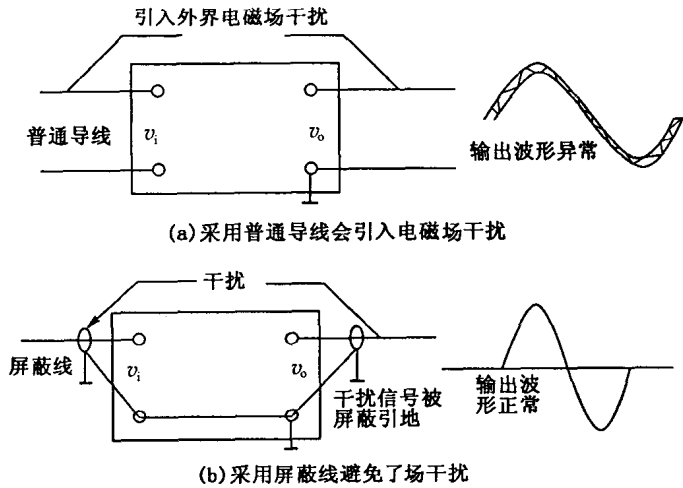


图 1.1.4 外界电磁场干扰与屏蔽

五、测试前的准备

在线路按要求安装完毕后即将通电测试前,应做好以下准备工作:

(1)先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档级,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,对实验电路板中的元件和接线进行仔细的寻迹检查,检查各引线有无接错,特别是电源与电解电容的极性有否接反,各元件及接点有无漏焊、假焊,并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,方可按前述的接线原则,将实验电路板与电源和测试仪器接通。

六、数据的读取与波形的观察

为获得正确的实验数据和波形,应做到以下几点:

(1)必须根据不同的测试对象正确选用合适的仪表和量程。如在不同场合下,测量不同

频率范围和不同电压量级的信号电压,应注意选用不同灵敏度内阻、频响的电压表。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,所选的量程要合适,否则将造成较大的测量误差。

(2)所记录的数据必须是原始读数,而不是经换算后的数值。并应标明名称、单位。需绘制曲线时,注意在曲线变化显著的部位要多读取一些数据。对测得的原始数据还需预先作出估计,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(如温度等),以供实验后分析、核对。

七、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,在调换仪器时须切断实验台的电源。另外为防止器件损坏,通常要求在切断实验电路板上的电源后才能改接线路。

(2)仪器设备的外壳如能良好接地,可防止机壳带电,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,确保仪器和实验设备的使用安全

(1)在使用仪器过程中,不必经常开关电源。因为每次开关电源都会引起电冲击,结果反而使仪器的使用寿命缩短。

(2)切忌无目的地随意摆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,在实验室配电屏、实验台及各仪器中通常都安装有电源保险丝。仪器使用的保险丝,常用的有 0.5A、1A、2A、3A 和 5A 等几种规格,应注意按规定的容量调换保险丝,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!

当被测量的大小无法估计时,应从仪表的最大量程开始测试,然后逐渐减小量程。

1.1.3 误差分析与数据处理

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,必须准确地测量。而为了准确地测量某个参数的大小,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;其次是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。

一、误差的来源分类与表示

众所周知,在测量过程中,由于各种原因,测量结果(测量值)和待测量的客观真值之间总存在一定差别,即测量误差。因此,分析误差产生原因,如何采取措施减少误差,使测量结果更加准确等,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种。

(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、布置、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):由于使用的测量方法不完善、理论依据不严密、对某些测量方法作了不适当的修改简化所产生的,即凡是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与电流表示值之比作测量结果,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,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的误差,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原因,设法减弱和消除。

(2)随机误差(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(偶然误差)。例如,热噪声、外界干扰和测量人员感觉器官微小的变化所引起的误差等都属于随机误差。

尽管在每次测量某一量时其偶然误差是不规则的,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值就会趋近于零。所以,通过多次测量某一量并求出其算术平均值,可以清除随机误差。

(3)过失误差:在一定的测量条件下,测量值出现明显偏离真值的误差。这是由于测量者对仪器不了解或粗心,导致读数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. 误差的几种表示法

误差常用绝对误差、相对误差和容许误差来表示。

(1)绝对误差:如果用 x_0 表示被测量的真值, x 表示测量仪器的指示值(测量值),于是绝对误差为

$$\Delta x = x - x_0$$

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,实际的测量仪器应由高一级标准的仪器进行校正,校正量常用修正值表示。对于某个被测量,高一级标准的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,只不过符号相反而已。例如,用某电流表测量电流,指示值为 20mA,修正值是 +0.05mA,则被测电流的真值为 20.05mA。

(2)相对误差

相对误差 δ_x 是绝对误差与被测量的真值之比,用百分数表示,即

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

当 $\Delta x \ll x$ 时, $\delta_x \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$ 。

例如,用频率计测量频率,仪器的指示值为 500MHz,修正值为 -500Hz,则

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

又如,用修正值为 -0.5Hz 的频率计测得频率为 500Hz,则

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

从以上两例看出,尽管后者的绝对误差远小于前者,但是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的高。

(3) 容许误差

一般测量仪器的准确度常用容许误差表示,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。所以,容许误差又称最大误差。通常仪器技术说明书所标明的误差,都是指容许误差。

在指针式仪表中,容许误差就是对应于满刻度的相对误差,定义为

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

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 和 5 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 110V,则被测电压的真值在 $100 \pm 2.25 = 97.75 \sim 102.25(V)$ 范围内;若指示值为 10V,则被测电压的真值在 $10 \pm 2.25 = 7.75 \sim 12.25(V)$ 范围内。

在电子测量仪器中,容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,仪器附加产生的误差。附加误差又分为两类:一为使用条件(如温度、电源等)发生变化时产生的误差;另一为被测对象参数(如频率、负载等)发生变化时产生的误差。

二、测量结果的数据处理

测量结果的数据处理通常包括测量数据有效数字的处理和图形处理。

1. 测量结果有效数字处理

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就越准确;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,所测得的频率为 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。

(1) 有效数字的正确表示法

①有效数字中,应只保留一位欠准数字。因此在记录测量数据中,只有最后一位有效数字是“欠准”数字。这样的数据记录表明:被测量值可能在最后一位数字上变化 ± 1 个单位。