

山东省高等学校精品课程实验教材

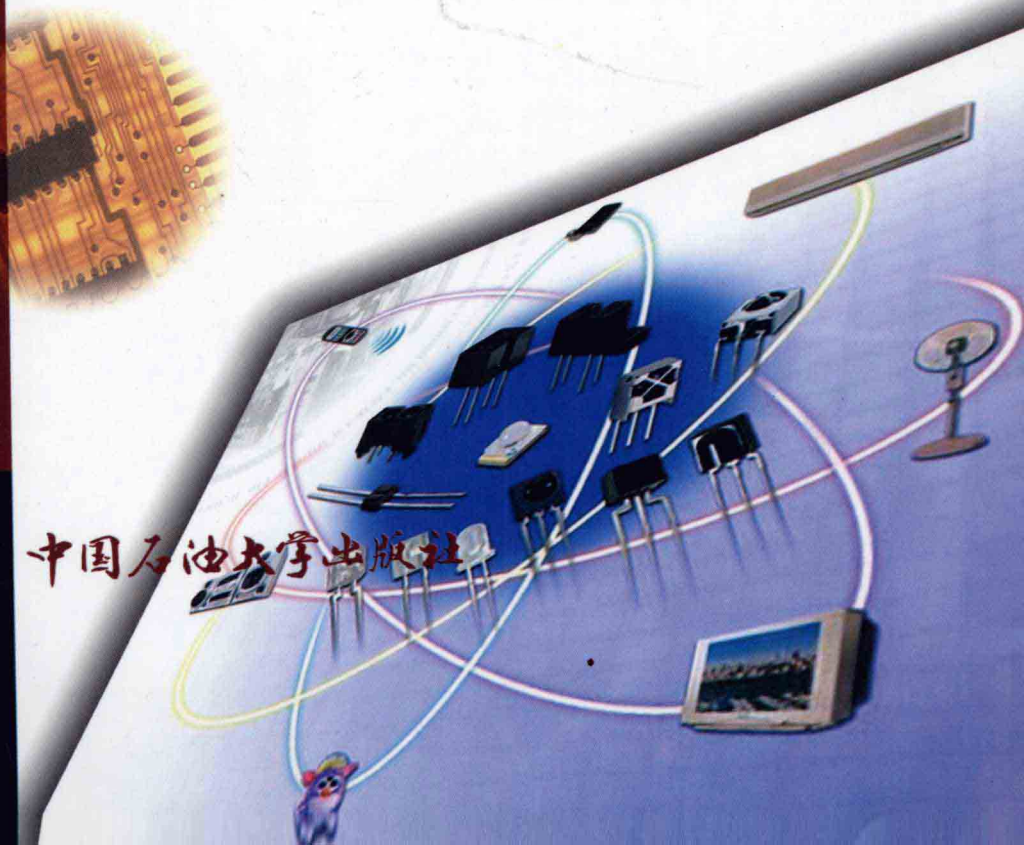
电工电子一体化 实验教程 2

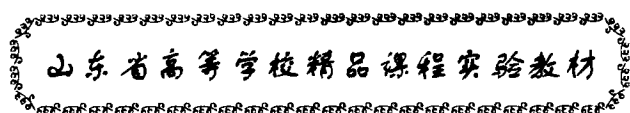
(电类专业适用)

王前虹 孙兆兴 翟殿棠 主编

成谢锋 主审

中国石油大学出版社





电工电子一体化实验教程 II

(电类专业适用)

王前虹 孙兆兴 翟殿棠 主编

成谢锋 主审

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子一体化实验教程 II(电类专业适用)/王前虹等主编. —东营:中国
石油大学出版社, 2006. 2

ISBN 7-5636-2153-9

I. 电... II. 王... III. ①电工技术—实验—教材
②电子技术—实验—教材 IV. ①TM-33②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 007828 号

书 名: 电工电子一体化实验教程 II(电类专业适用)
作 者: 王前虹 孙兆兴 翟殿棠

责任编辑: 宋秀勇(电话 0546—8392139)

封面设计: 傅荣治

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东·东营 邮编 257061)

网 址: <http://sunctr.hdpu.edu.cn>

电子信箱: yibian@mail.hdpu.edu.cn

印 刷 者: 山东农业大学印刷厂印刷

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392139)

开 本: 185×260 印张: 12.875 字数: 330 千字

版 次: 2006 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 全套定价 38.60 元, 本册定价 19.80 元

前 言

本书是根据教育部《关于加强高等学校本科教育工作提高教学质量的若干意见》文件精神 and 《高等学校国家级实验教学示范中心建设标准》，并考虑到精品课程建设要求编写的一套适应 21 世纪教学改革要求的实验教材。

电工电子实验是配合相关理论课程教学的一个非常重要的环节，通过实验能够巩固电工电子基础理论知识，培养学生的实践技能、动手能力和分析问题及解决问题的能力，启发学生的创新意识并发挥创新思维潜力。

《电工电子一体化实验教程》共分两册。第一册适用于非电类专业，主要内容包括电工电子实验基础知识、电工电子技术基础实验、电工电子技术设计实验、EWB 仿真实验和常用电工仪表及电子仪器使用简介等。第二册适用于电类专业，主要内容包括电路基础实验、电路综合实验、模拟电子技术基础实验、数字电子技术基础实验、模拟电子技术综合实验、数字电子技术综合实验、电子电路设计性实验、电子实习、EDA 技术、常用电子元器件使用简介等内容。

本书按照模块化、学分制这一新的教学理念和教学体系而编写。具有如下特点：

1. 实验内容模块化，实验教学学分制

实验内容分为基础实验、综合实验、设计实验三个模块。每个模块的实验项目根据学分制的要求分为必选学分实验和自选学分实验，当完成了规定实验学分后，才能进入下一阶段学习和参加考试。

2. 引进新技术，教学灵活多样

紧密配合课程体系改革和实验教学改革的需要，引入计算机虚拟实验和网络化管理技术，将计算机虚拟实验与传统的实际工程实验有机地结合，提供给学生先进的实验技术和发挥想象力、创造力的空间。在教材编写中体现出：将过去的单纯验证性实验转变为基础强化实验；将过去的小规模综合性实验，转变为中规模设计性实验；将过去在实验室进行的单一化实验，转变为不受时间、地点、内容限制的多元化实验。

3. 内容充实，实验项目层次化

本书针对课程特点，根据教学大纲要求，对每个实验的实验目的、实验原理、实验内容及步骤、设计方法、注意事项等部分进行了详细阐述，每个实验单元都安排了必做、选做和提高等不同层次的实验项目，以适应不同专业学生的实验要求。

4. 通用性强

能与大多数高等学校电工电子实验中心的实验设备配套使用，满足教学大纲

要求,通用性强。

本书可以作为高等学校工科本科专业电工电子技术基础课程的实验教材,也可以作为参加全国大学生电子设计竞赛的培训教材。

本书由济南大学控制科学与工程学院电工电子教研中心编写。

参加第一册编写的有:孟祥霓(第2章实验五、六、八至二十和第3、6章),白霄丽(第2章实验一、二、四、七、二十一至二十六和第4章),翟殿棠(第1章和第2章实验三),曲朝霞(第5章)。

参加第二册编写的有:王前虹(第3、4章),孙兆兴(第1、7章),翟殿棠(第2章7个实验),孟祥霓(第2章5个实验),白霄丽(第2章8个实验),张恩平(第5章),成谢锋、姜梅香(第6章)。

本书由成谢锋教授负责策划和组织,并主审全书。杨雪岩、薛必翠、历广伟、孙秀丽、方敏等老师参加了本书的编写工作。济南大学自动化、电子信息等教研中心的老师和中国石油大学的刘润华教授也提出了不少宝贵的意见和建议,中国石油大学出版社给予了大力的支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在许多不足,敬请读者提出批评和改进意见。

编 者

2006年1月

目 录

第 1 章 电路与电子实验的基础知识	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 实验室的安全操作规程	(5)
1.3 电子测量中的误差分析	(6)
1.4 基本的实验方法	(6)
第 2 章 电路实验	(12)
实验一 基尔霍尔定律	(12)
实验二 电路元件的伏安特性	(15)
实验三 电源的等效变换	(18)
实验四 叠加定理与替代定理	(20)
实验五 等效电源定理	(23)
实验六 受控源的研究	(25)
实验七 一阶电路的响应	(28)
实验八 二阶电路的响应	(30)
实验九 交流电路参数的测量	(34)
实验十 功率因数的提高	(37)
实验十一 串联谐振电路的研究	(40)
实验十二 互感电路的测量	(42)
实验十三 三相电路中的电压和电流	(45)
实验十四 三相电路中功率的测量	(48)
实验十五 RC 电路的频率特性	(52)
实验十六 线性无源二端口网络的研究	(56)
实验十七 有源滤波器的研究	(59)
实验十八 负阻抗变换器的研究	(61)
实验十九 线性有源二端网络的研究	(65)
实验二十 电路时域测量及波形转换电路的研究	(66)
实验二十一 交流电路的仿真研究	(68)
第 3 章 电子技术基础实验	(70)
实验一 单管交流放大电路	(70)
实验二 两级交流放大电路	(74)
实验三 负反馈放大电路	(77)
实验四 直流差动放大电路	(80)
实验五 集成运算放大电路的应用	(83)
实验六 RC 正弦波振荡电路	(89)
实验七 有源滤波电路	(91)
实验八 整流滤波与并联稳压电路	(93)
实验九 互补对称功率放大电路	(96)

实验十 门电路逻辑功能及测试	(97)
实验十一 组合逻辑电路(半加器、全加器及逻辑运算).....	(99)
实验十二 触发器.....	(102)
实验十三 三态输出触发器及锁存器.....	(104)
实验十四 时序电路测试及研究.....	(107)
实验十五 集成计数器及寄存器.....	(108)
实验十六 译码器和数据选择器.....	(111)
实验十七 波形产生及单稳态触发器.....	(112)
实验十八 555 时基电路	(114)
第 4 章 电子电路的综合性实验	(118)
实验一 基本放大电路的综合分析.....	(118)
实验二 直流稳压电源的研究.....	(122)
实验三 编码、译码及显示电路	(124)
实验四 信号发生器的安装调试.....	(128)
第 5 章 电子电路设计实验	(131)
5.1 模拟电子电路的一般设计过程	(131)
5.2 数字电子电路设计实验的一般设计方法	(144)
5.3 设计性实验参考资料	(146)
第 6 章 电子电路的仿真实验	(151)
实验一 电压比较器.....	(151)
实验二 传感器信号变换电路.....	(154)
实验三 精密整流与仪器放大电路.....	(156)
实验四 RC 正弦波振荡器	(159)
实验五 MSI 同步计数器功能测试及应用	(161)
实验六 TTL 门电路的主要参数测试	(162)
实验七 数/模转换电路及其应用	(165)
实验八 模/数转换电路及其应用	(167)
第 7 章 电子技术课程设计	(170)
7.1 概述	(170)
7.2 印刷电路板的设计与制作	(171)
7.3 多功能数字钟设计举例	(179)
7.4 OCL 功率放大器的设计举例	(185)
7.5 电子技术课程设计课题	(193)
附 录.....	(194)
附录 1 选择和使用电子仪器应注意的问题	(194)
附录 2 元器件介绍	(196)
附录 3 TPE-D 型数字电路实验学习机常用集成电路引脚图	(198)
参考文献	(200)

第1章 电路与电子实验的基础知识

本章介绍电路与电子实验课程的基本特点、学习方法、基本要求,以及在实验过程中遇到的常识性问题和常用的实验工具,以此作为实验课的前期准备,为顺利地完实验课程的内容,达到应有的实验目的奠定良好的基础。

1.1 概 述

1.1.1 电路与电子实验课的意义

电路与电子技术是电类专业的一门重要的技术基础课,课程的显著特征之一是它的实践性。要想很好地掌握电路与电子技术,除了掌握基本器件的原理、电路与电子的基本组成及分析方法外,还要掌握电子及基本电路的应用技术,因而实验课已成为电路与电子技术教学中的重要环节。通过实验可使学生掌握器件的性能、参数及电路与电子的内在规律、各功能电路间的相互影响,从而验证理论并发现理论知识的局限性。通过实践教学,可使学生进一步掌握基础知识、基本实验方法及基本实验技能:

(1) 电路与电子实验技术,包括电路参数测量、调整技术和电路与电子系统结构实验分析技术。

(2) 电路参数测量与调整技术,包括测量方法与仪器设备选择技术(测量系统设计技术)、仿真研究技术、误差分析技术等。

(3) 电路与电子系统结构实验分析技术,包括传递函数综合分析技术、频率特性实验分析技术等。

由于科学技术的飞速发展,社会对人才的要求越来越高,不仅要求具有丰富的知识,还要具有更强的知识运用能力及创造能力,以适应新形势的要求。以往的实验教学中,主要偏重验证性的内容,这种教学模式很难满足现代社会的要求。为适应面向21世纪教育的基本要求,提高学生对知识的综合运用能力及创新能力,实验课内容有了相应的改变。在本课程体系中,将传统的实验教学内容划分为基础验证性实验、设计性实验、综合性实验、仿真实验这样几个层次。

通过基础实验教学,可使学生掌握器件的性能、电路与电子基本原理及基本的实验方法,从而验证理论并发现理论知识在实际应用中的局限性,培养学生从枯燥的实验数据中总结规律、发现问题的能力。另外,实验内容分成必做和选做两部分,同时还配备大量的思考题,可使学习优秀的学生有发挥的余地。

通过设计性实验教学,可提高学生对基础知识、基本实验技能的运用能力,掌握参数及电路与电子的内在规律,真正理解模拟电路参数“量”的差别和工作“状态”的差别。

通过综合性实验教学,可提高学生对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。

通过仿真实验教学,使学生掌握各种仿真软件的使用,以及它们的功能、特点,学会电路与电子现代化的设计方法,在实验中软件的使用以自学为主,配合具体的题目,培养学生掌握新知识和应用新技术的能力。

1.1.2 电路与电子实验课的特点及学习方法

1. 电路与电子实验的特点

电路与电子实验课程具有以下一些特点:

(1) 电子器件(如半导体管、集成电路等)品种繁多,特性各异。在进行实验时,首先就面临如何正确、合理地选择电子器件的问题。如果选用不当,则将难以获得满意的实验结果,甚至造成电子器件的损坏。因此,必须对所用电子器件的性能有所了解。

(2) 电子器件(特别是模拟电子器件)的特性参数分散性大,电子元件(如电阻、电容等)的元件值也有较大的偏差。这就使得实际电路性能与设计要求的有一定的差异,实验时就需要进行调试。调试电路所花费的精力有时甚至会超过制作电路所花费的精力。对于已调试好的电路,若更换了某个元器件,要重新调试。因此,掌握调试方法和积累调试经验非常重要。

(3) 模拟电子器件的特性大多数都是非线性的。因此,在使用模拟电子器件时,就有一个如何合理地选择与调整工作点以及如何使工作点稳定的问题。而工作点是由偏置电路确定的,因此偏置电路的设计与调整在模拟电路中占有极其重要的地位。另一方面,模拟电子器件的非线性特性使得电路与电子电路的设计难以精确,因此通过实验进行调试是必不可少的。

(4) 电路与电子的输入输出关系具有连续性、多样性与复杂性。这就决定了模拟电子电路测试手段的多样性与复杂性。针对不同的问题采用不同的测试方法,是模拟电路与电子实验的特点之一。而数字电路与电子的输出输入关系比较简单,但各测试点电平之间的逻辑关系或时序关系则应非常清楚。

(5) 测试仪器的非理想特性(如信号源具有一定的内阻、示波器和毫伏表输入阻抗不够高等),会对被测电路的工作状态有影响。了解这种影响,选择合适的测试仪器和分析由此引起的测试误差,是模拟电路与电子实验中一个不可忽视的问题。

(6) 电路与电子中的寄生参数(如分布电容、寄生电感等)和外界的电磁干扰,在一定条件下可能对电路的特性有重大影响,甚至因产生自激而使电路不能工作。这种情况在工作频率高时尤易发生。因此,元件的合理布局和合理连接方式,接地点的合理选择和地线的合理安排,必要的去耦和屏蔽措施等在模拟电路与电子实验中是相当重要的。

(7) 电路与电子(特别是模拟电路与电子)各单元电路相互连接时,经常会遇一个匹配问题。尽管各单元电路都能正常工作,若未能做到很好的匹配,则相互连接后的总体电路也可能不能正常工作。为了做到匹配,除了在设计时就要考虑到这一问题,选择合适的元件参数或采取某些特殊的措施外,在实验时也要注意这一问题。

电路与电子实验的上述特点决定了电路与电子实验的复杂性,也决定了实验能力和实际经验的重要性。了解这些特点,对掌握电路与电子的实验技术,分析实验中出现的问题和提高实验技能是很有益的。

2. 电路与电子实验的学习方法

为了学好电路与电子实验课,在学习时应注意以下几点:

(1) 掌握实验课的学习规律。实验课是以实验为主的课程,每个实验都要经历预习、实验和总结三个阶段,每个阶段都有明确的任务与要求。

预习的任务是弄清实验的目的、内容、要求、方法及实验中应注意的问题,并拟定出实验步骤,画出记录表格。此外还要对实验结果作出估计,以便在实验时可以及时检验实验结果的正确性。预习的是否充分,将决定实验能否顺利完成。

实验的任务是按照预定的方案进行实验。实验的过程既是完成实验任务的过程,又是锻炼实验能力和培养实验作风的过程。在实验过程中,既要动手,又要动脑,要养成良好的实验作风,要做好原始数据的记录,要分析与解决实验中遇到的各中问题。

总结的任务是在实验完成后,整理实验数据,分析实验结果,总结实验收获和写出实验报告。这一阶段是培养总结归纳能力和编写实验报告能力的主要手段。一次实验收获的大小,除决定于预习和实验外,总结也具有重要的作用。

(2) 应用已学理论知识指导实验。首先要从理论上研究实验电路的工作原理与特性,然后再制订实验方案。在调试电路时,也要用理论来分析实验现象,从而确定调试措施。盲目调试是错误的。

(3) 注意实际知识与经验的积累。实际知识和经验需要靠长期积累才能丰富起来。在实验过程中,对所用的仪器与元器件,要记住它们的型号、规格和使用方法。对实验中出现的各种现象与故障,要记住它们的特征。对实验中的经验教训,要进行总结。

(4) 增强自觉提高实际工作能力的意识。要将实际工作能力的培养从被动变为主动。在学习过程中,有意识地、主动地培养自己的实际工作能力。不应依赖教师的指导,而应力求自己解决实验中的各种问题。要不怕困难与失败,从一定意义上来说,困难与失败正是提高自己实际工作能力的良机。

3. 电路与电子实验课的目的

电路与电子实验课的目的是加强学生对电子技术基础知识的掌握,使学生通过实验过程掌握电路与电子基本的实验技能。要求学生达到的目标可概括为以下几个方面:

(1) 使学生学习一定的元器件使用技术。学会识别元器件的类型、型号、规格,并能根据设计的具体要求选择元器件。

(2) 使学生得到一定的基本技能训练,如焊接、组装等基本技能。

(3) 使学生学到一定的仪器使用技术。电路与电子实验的一个重要内容就是各种类型的电子仪器(如万用表、示波器、信号源、稳压电源等)的使用和操作技术。

(4) 使学生学到一定的测量系统设计技术。在进行电路与电子设计和调试时,需要使用各种不同的仪器设备对电路进行测量,以便确定电路的状态,判断电路是否按设计要求工作并达到了设计指标。

(5) 使学生学到一定的仿真分析技术。仿真分析是一项以计算机和电子技术理论为基础的电路与电子实验技术。

(6) 使学生学到一定的测量结果的分析技术。

(7) 使学生能够利用实验的方法完成具体的任务,如根据具体的实验任务拟定实验方案(测试电路、仪器、测试方法等),独立的完成实验,对实验现象进行理论分析,并通过实验数据的分析得到相应的实验结果,撰写规范的实验报告等。

(8) 培养学生独立解决问题的能力,如独立的完成某一设计任务(查阅资料、方案确定、器件选择、安装调试),从而使学生具备一定的科学研究能力。

(9) 培养学生实事求是的科学态度和踏实细致的工作作风。

1.1.3 电路与电子实验的一般要求

为了使实验能够达到预期的效果,确保实验的顺利完成,为了培养学生良好的工作作风,充分发挥学生的主观能动作用,对学生提出如下基本要求。

1. 实验前的要求

(1) 实验前要充分预习,包括认真阅读理论教材及实验教材,深入了解本次实验的目的,弄清实验电路的基本原理,掌握主要参数的测试方法。

(2) 阅读实验教材中关于仪器使用的章节,熟悉所用仪器的主要性能和使用方法。

(3) 估算测试数据和实验结果,并写出预习报告。

2. 实验中的要求

(1) 按时进入实验室并在规定的时间内完成实验任务。遵守实验室的规章制度,实验后整理好实验台。

(2) 严格按照科学的操作方法进行实验,要求接线正确,布线整齐、合理。

(3) 按照仪器的操作规程正确的使用仪器,不得野蛮操作。

(4) 实验中出现故障时,应利用所学知识冷静分析原因,并能在教师的指导下独立解决。对实验中的现象和实验结果要能进行正确的解释。

(5) 测试参数时要做到心中有数,细心观测,做到原始记录完整、清楚,实验结果正确。

3. 实验后的要求

撰写实验报告是整个实验教学中的重要环节,是对工程技术人员的一项基本训练,一份完美的实验报告是一项成功实验的最好答卷,因此实验报告的撰写要按照以下要求进行。

1) 对于普通的验证性实验报告的要求:

(1) 实验报告用规定的实验报告纸书写,上交时应装订整齐。

(2) 实验报告中所有的图都用同一颜色的笔书写,画在坐标纸上。

(3) 实验报告要书写工整,布局合理、美观,不应有涂改。

(4) 实验报告内容要齐全,应包括实验任务、实验原理、实验电路、元器件型号与规格、测试条件、测试数据、实验结果、结论分析及教师签字的原始记录等。

2) 对于设计性实验报告的要求:

设计性实验是实验内容比验证性实验高一层次的实验,因此对实验报告的撰写也要有特殊的要求和步骤。

(1) 标题。包括实验名称,实验者的班级、姓名、实验日期等。

(2) 已知条件。包括主要技术指标、实验仪器(名称、型号、数量)。

(3) 电路原理。如果所设计的电路由几个单元电路组成,则阐述电路原理时,最好先用总体框图说明,然后结合框图逐一介绍各单元电路的工作原理。

(4) 单元电路的设计与调试步骤:

① 选择电路形式;

② 电路设计(对所选电路中的各元件值进行计算或工程估算);

③ 电路的装调。

(5) 整机联合调试与测试。当各单元电路调试正确后,按以下步骤进行整机联调:

① 测量主要技术指标。报告中要说明各项技术指标的测量方法,画出测试原理图,记录并整理实验数据,正确选取有效数字的位数。根据实验数据,进行必要的计算,列出表格,在方格

纸上绘制出光滑的波形或曲线。

② 故障分析及说明。说明在单元电路和整机调试中出现的主要故障及解决办法,若有波形失真,要分析波形失真的原因。

③ 绘制出完整的电路原理图,并标明调试后的各元件参数。

(6) 测量结果的误差分析。用理论计算值代替真值,求得测量结果的相对误差,并分析误差产生的原因。

(7) 思考题解答与其他实验研究。

(8) 电路改进意见及本次实验中的收获、体会。

实验电路的设计方案,元器件参数及测试方法等都不可能尽善尽美,实验结束后,感到某些方面如果作适当修改,可进一步改善电路性能,或降低成本,或需要修改实验方案,增删实验内容,改进步骤等,都可写出改进建议。

同学们每完成一项实验都有不少收获、体会,既有成功的经验,也有失败的教训,应及时总结,不断提高。

每份实验报告除了上述内容外,还应做到文理通顺,字迹端正,图形美观,页面整洁。

1.2 实验室的安全操作规程

为了人身与仪器设备安全,保证实验顺利进行,进入实验室后要遵守实验室的规章制度和实验室安全规则。

1.2.1 人身安全

实验室中常见的危及人身安全的事故是触电,它是人体有电流通过时产生的强烈的生理反映。轻者使身体局部产生不适,严重的将产生永久性伤害,直至危及生命。为避免事故的发生,进入实验室后应遵循以下规则:

(1) 实验时不允许赤脚,各种仪器设备应有良好的接地线。

(2) 仪器设备、实验装置中通过强电的连接导线应有良好的绝缘外套,芯线不得外露。

(3) 在进行强电或具有一定危险性的实验时,应有两人以上合作;测量高压时,通常采用单手操作并站在绝缘垫上,或穿上厚底胶鞋。在接通交流 220 V 电源前,应通知实验合作者。

(4) 万一发生触电事故时,应迅速切断电源,如距电源开关较远,可用绝缘器具将电源线切断,使触电者立即脱离电源并采取必要的急救措施。

1.2.2 仪器及器件安全

(1) 使用仪器前,应认真阅读使用说明书,掌握仪器的使用方法和注意事项。

(2) 使用仪器时,应按照要求正确接线。

(3) 实验中要有针对性的操作仪器面板上的开关(或旋钮),切忌用力过猛。

(4) 实验过程中,精神必须集中。当嗅到焦臭味,见到冒烟和火花,听到“劈啪”响声,感到设备过热及出现保险丝熔断等异常现象时,应立即切断电源,在故障未排除前不得再次开机。

(5) 搬动仪器设备时,必须轻拿轻放;未经允许不得随意调换仪器,更不准擅自拆卸仪器设备。

(6) 仪器使用完毕,应将面板上各旋钮、开关置于合适的位置,如将万用表的开关旋至

“OFF”位置等。

(7) 为保证器件及仪器的安全,在连接实验电路时,应该在电路连接完成并检查完毕后,再接电源及信号源。

1.3 电子测量中的误差分析

在电路与电子实验中,被测量有一个真实值,简称为真值,它由理论计算求得。在实际测量该量时,由于受到测量仪器精度、测量方法、环境条件或测量者能力等因素的限制,测量值与真值之间不可避免的存在着差异。这种差异称为测量误差。学习有关测量误差和测量数据处理知识,便于在实验中合理的选用测量仪器和测量方法,并对实验数据进行正确的分析、处理,获得符合误差要求的测量结果。

根据误差的性质及其产生的原因,测量误差分为三类。

1. 系统误差

在规定的测量条件下,对同一量进行多次测量时,如果误差的数值保持恒定或按某种确定规律变化,则称这种误差为系统误差。例如,电表零点不准,温度、湿度、电源电压等变化造成的误差,都属于系统误差。

2. 偶然误差

在规定的测量条件下对统一量进行多次测量时,如果误差的数值发生不规则的变化,则称这种误差为偶然误差(又称随机误差)。例如,热骚动、外界干扰和测量人员感觉器官无规律的微小变化等引起的误差,都属于偶然误差。

尽管每次测量某个量时,其偶然误差的变化是不规则的,但是实践证明,如果测量的次数足够多,则偶然误差平均值的极限就会趋近于零。所以,多次测量某个量的结果,它的算术平均值则接近于其真值。

3. 过失误差

过失误差(又称粗大误差)是指在一定的测量条件下,测量值明显的偏离真值时的误差。从性质上来看,可能属于系统误差,也可能属于偶然误差。但是它的误差值一般都明显的超过相同条件下的系统误差和偶然误差,例如读错刻度、记错数字、计算错误及测量方法不对等引起的误差。通过分析,确认是过失误差的测量数据,应该予以删除。

1.4 基本的实验方法

为了帮助初学者做好实验,下面介绍一些基本的实验方法。这些方法主要与实验 6.2 有关,不代表一般性的基本实验方法。

1.4.1 如何正确测量静态工作点

在测量时,先去掉信号源,再将放大器的输入端短路(注意切勿将信号源短路),对于放大倍数不高的阻容耦合式放大电路也可将其开路,然后用万用表的直流电压挡测量所求量。

在本实验指导书中,测量 Q 点指测量各三极管的 U_{BE} 和 U_{CE} ,对于 I_B 和 I_C 可以通过测量电阻上的电压而间接求得。

请注意万用表,直流电压挡测量的是电压平均值,如果在 Q 点之上叠加着一个平均值为

零的交流分量,则对测量 Q 点的值无影响,如果这个交流分量的平均值不为零(比如是一个失真的正弦波),则对测量 Q 点有影响。

还应注意的是,在测量和调整 Q 点时, U_{CE} 是一个比较重要的指标。 U_{CE} 等于饱和压降时,说明三极管已进入饱和区; U_{CE} 等于电源电压时,说明三极管已经截止。此外,由于 β 随管子而变也随 Q 点而变,因此一般不是按照计算出来的 R_B 调整 Q 点,而是调节 R_B 使 U_{CE} 达到给定值。

1.4.2 如何正确测量交流电压值

(1) 测量交流电压首先要注意仪器的共地。有的人认为交流电压不分正负,因此不必共地,这种看法是不正确的。我们说的“地”是指仪器或线路的公共端。当两个或多个电子仪器是通过交流电源(例如 220 V)供电时,就需要将这些仪器各自的公共端接在一起,使干扰最小。

在测量交流电压时我们始终是测量电位,而不是直接测量两点的电压。比如对于图 1.4.1 所示的电路,应该分别测量 U_a 和 U_b ,然后通过计算 $U_a - U_b$ 得到 U_{ab} 。若直接测量 U_{ab} ,毫伏表就不与信号源和示波器共地了。

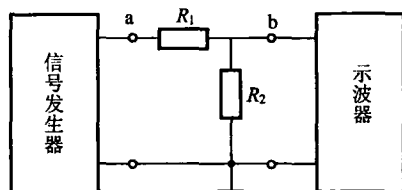


图 1.4.1 仪器的共地

(2) 在测量交流电压时应始终用示波器监视波形。如果在测量时电路存在着自激振荡或外来信号的干扰,就应该先消除振荡和干扰再测量。测量时还要注意波形是否失真,由于 DA-16 型毫伏表测量的是交流电压的整流平均值(先取绝对值再取平均值)而在表盘上是按正弦波电压有效值刻度的,所以必须知道信号的波形测量才有意义。一般我们用毫伏表测量正弦波电压,对于非正弦量就只好求助于示波器了。

1.4.3 测量 A_u 、 R_i 和 R_o 的方法

(1) 测量 A_u 时,首先应该选择一个合适的输入信号 U_i (最好为整数值),然后用示波器观察输出信号的波形。在信号不失真的条件下测量输出电压 U_o ,通过计算 U_o/U_i 即得。

(2) 测量 r_i 的电路如图 1.4.2 所示。在测量时应选取 R_s 与 r_i 的数大约相同,然后给定一个合适的 U_s ,测得 U_i ,通过计算就可得到 r_i 的值。

(3) 测量 r_o 的电路如图 1.4.3 所示。在测量时应选取 R_L 使其与被测 r_o 的数量级相同,然后给定一个合适的输入信号 U_i ,测得 R_L 开路时的输出电压 U_{∞} (注: $U_{\infty} = KU_i$, K 是开路电压放大倍数)和带负载 R_L 时的输出电压 U_o ,通过计算就可得到 r_o 的值。

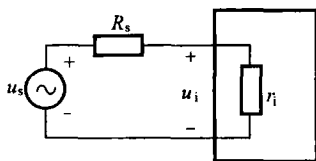


图 1.4.2 测量输入电阻的电路

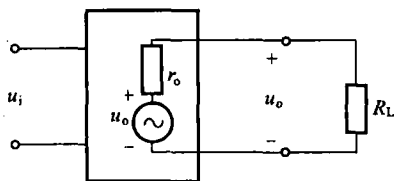


图 1.4.3 测量输出电阻的电路

测量 A_u 、 r_i 和 r_o 都是通过测量交流电压进行的。因此,凡是测量交流电压应该注意的问

题这时均应注意。另外,测量 A_u 、 r_i 和 r_o 时的一个很重要的问题就是合理的选择输入信号的幅度,输入信号过小则不宜观察,且容易串入干扰。输入信号过大,会造成失真,失真的信号和不失真的信号是两个不同性质的信号,将它们相减或者相除都是没有意义的。

在测量输入电阻时,由于增加了 R_s ,原来不振荡的电路有可能产生振荡,因此不要因为测量输入端的信号就不监视输出信号的波形。在测量输出电阻时,负载的变化也有可能使信号失真。因此,切忌盲目地用毫伏表读数而不管信号的波形是否失真。

1.4.4 如何测量最大不失真输出幅度

最大不失真输出幅度是指在 Q 点可调的情况下电路所能达到的最大不失真输出幅度。

对于某电路,若要测得该电路的最大不失真输出幅度,首先应增加输入信号使 U_o 出现失真,然后调节 R_{B1} 使 U_o 的波形对称失真,再共同调节输入信号幅度和 R_{B1} 使对称失真同时消失,此时的 U_o 即为最大不失真输出幅度。

在测量最大不失真输出幅度时,由于信号的幅度较大,因此要考虑信号源内阻 R_s 对输出波形非线性失真的影响。如果输入信号是一个正向电流源($R_s = \infty$)且三极管的 β 值到某一值使 U_o 最大,并把这个频率定为中频(中频的范围一般比较宽,此时调旋钮使荧光屏上的 U_o (峰-峰值)恰为几个格(例如 8 个)),然后调节函数发生器的频率使 U_o 分别下降到中频时的 0.9、0.8、0.7、0.6、0.5 倍,记录下相应的频率。

当整理实验数据的时候,最好画出对数幅频特性,即横坐标为 $\lg f$,纵坐标为 $20\lg|A_u|$ 。

请注意,测量电路的频率特性时要选用频带比较宽的测量仪器,DA-16 型晶体管毫伏表的频带宽度是 20 Hz~1 MHz,而 CS-1830 型双踪示波器 DC 挡的频带宽度是 DC10 Hz~30 MHz,因此在测量时应选用后者。

在测量高频特性时还要注意测量仪器的输入电容。输入电容过大会使电路的高频负载变大(电抗值变小),因而给测量高频特性带来误差。CS-1830 型双踪示波器的探头上的开关放在(衰减)“10×”位置时输入电容约为 10 pF,放在“1×”位置输入电容约为 100 pF。DA-16 型毫伏表的输入电容约为 50 pF。因此测量高频特性时应使示波器探头的开关放在“10×”位置,并且不要将示波器和毫伏表同时接到电路的输出端。

1.4.5 如何观察和分析非线性失真现象

三极管产生的非线性失真有三种:输入特性的非线性失真、截止失真和饱和失真。

下面以 NPN 管的共射电路为例,具体地讨论一下失真的原因、现象和消除方法。

1. 输入特性非线性失真

在电路的输入端加一个正弦波电压源,当其幅度较小时,输出不会产生较大幅度失真时, i_b 产生失真,因此引起 u_o 失真。此时 u_o 波形的特性是一半胖,一半瘦。

消除输入特性非线性失真的方法是:增加三极管 be 端向外看的等效动态电阻。这样,一方面可以近似电流源输入,一方面可以减少 r_{be} 上的压降。

2. 截止失真

在电路的输入端加一个正弦波电流源,若 i_b 的幅度大于 I_{BQ} ,则当 $i_B \leq 0$ 时三极管截止,出现截止失真。

通常,输入信号即不是理想的电流源,也不是理想的电压源。因此,输入特性非线性失真和截止失真常常是同时出现的。

消除截止失真的方法:提高 I_{BQ} 。

3. 饱和失真

在电路的输入端加一信号,在输入回路就会产生一个 i_c ,若集电极电流瞬时总量比较大或 R_E 较大,则 u_{CE} 在某些时间可能会小于 U_{CES} ,造成 bc 结导通,因此引起 u_o 饱和失真。

消除饱和失真的方法是:减小三极管 ce 端向外看的等效电阻或者降低 I_{CQ} 。那么,如何用实验方法来判断饱和失真和截止失真呢?以 NPN 管电路为例,用示波器的 ADD 方式观察某一三极管 u_{CE} 的波形,若失真出现在波形顶部,则可能是该三极管产生的截止失真;若失真出现在波形底部,则可能该三极管产生的饱和失真。但是,在多数放大电路中我们还要考虑输入信号是否已经失真。如果测得某一级电路输入信号已经失真,不应马上断定这一定是前级电路的三极管产生的失真,因为本级电路的三极管的失真不仅会影响输出特性,也会影响输入特性。例如,如果三极管截止,则 be 结的输入电阻很高。而当三极管饱和时,由于 bc 结的导通, be 结的输入电阻又会突然变的很小。因此,当信号源的内阻不可忽略时,三极管失真时输入特性的变化就会引起输入信号的失真。

应该指出,在有些场合下,可以采用比较简捷的方法来判断失真。例如:如果怀疑是某个三极管产生了饱和失真,可以用示波器的 DC 挡分别观察其 u_c 和 u_E 的波形,如果两波形失真点的距离接近于 U_{CES} (典型值为 $0.1 \sim 0.5 V$),则说明的确是该三极管产生饱和失真。

又如,如果怀疑某个共射或共基接法的三极管产生截止失真,可以断开后级负载。如果输入信号不失真且断开后级负载 u_{CE} 仍然顶部失真,则可断定是该三极管产生的截止失真。

1.4.6 如何消除干扰和自激振荡

在测量多级放大电路中,常常会出现干扰和自激振荡。这是因为多级放大电路的放大倍数比较高,因此对弱小的干扰信号反应比较灵敏。例如,空间电磁场对输入信号经历的感应可能会在放大器的输入端产生毫伏级的干扰信号。若放大器正常输入信号为 $1 mV$,则信号的影响是不能忽略的。又如,实验导线间的分布电容和电子仪器的交叉耦合有可能将输出端的信号引回到输入端,造成自激振荡。此外,导线的电感在高频时是不可忽略的,它可能将后级的信号通过回路耦合到前级,造成自激振荡。

消除干扰和振荡的措施:

(1) 输入信号时使用屏蔽线以屏蔽空间干扰信号。但是,电源线不要使用屏蔽线,因为电源提供的电流较大。两条导线靠的过近会引起电磁耦合。

(2) 合理安排仪器的位置,使电源线、输入屏蔽线和仪器测量线之间不产生交叉耦合。例如使用毫伏表测量输入信号时,不要将它放在输入端一侧,测试线在输入和输出之间容易引起振荡。

(3) 注意仪器的共地,各个仪器的外壳避免相互接触。

(4) 注意使实验线路的接地良好。例如在图 1.4.4 所示的电路中,A、B 和 C、D 都应接起来。

(5) 在线路上的电源两端加去耦电容,例如可以在图 1.4.4 所示电路的 K、D 端加一个 $0.22 \mu F$ 的涤纶电容。如果因为又增加了一级射极输出器而引起高频自激振荡,此方法比较有效。

注意:去耦电容使用电解电容也是可以的,不过应该知道电解电容适合于低频去耦,当频率很高时,电解电容的电抗由容性变为感性。在电源两端接电解电容器时要特别注意电容极

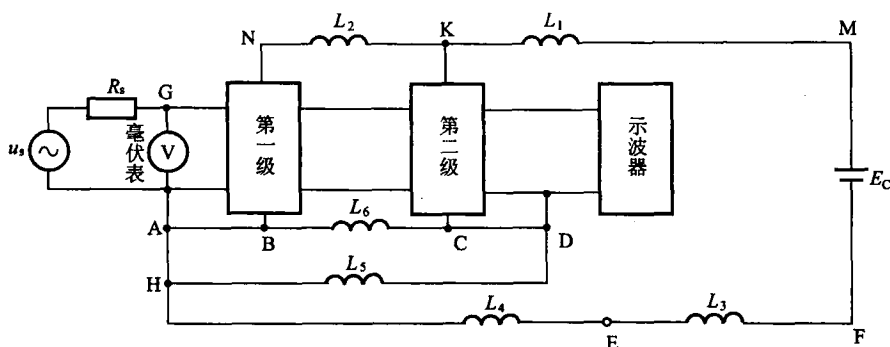


图 1.4.4 防干扰的接法

性,以免因极性接反造成电源短路。

若以上操作无效,可在第二级的输入端或三极管的 bc 结上加一个小电容(几十至几百 pF),使电路的高频放大倍数下降,从而避免调频产生自激振荡。这种方法只有在高频特性指标要求不高的场合下才能使用。

1.4.7 写实验报告(预习实验报告和总结报告)

实验报告包括两个部分:一是预习报告;二是总结报告。前者要在实验前写好,是对实验准备工作的总结,后者是做完实验后的结论、收获和提高了的总结,它们的具体要求和内容分述如下:

1. 预习报告

预习报告是指导自己进行实验的书面计划、说明和安排,只有在充分准备、深思熟虑后写出预习报告,才能使实验顺利进行,取得成效,有收获。否则,心中无数,花了时间却毫无收益,甚至还会造成事故,损坏仪器、设备,发生人身触电的危险。

要做到心中有数,除明白实验原理外,还要写好包括以下内容的预习报告:

- (1) 写明实验任务。
- (2) 列出使用的仪器设备、仪表和元器件。
- (3) 画出完整的实验电路图。
- (4) 拟定主要实验步骤。
- (5) 列出测量数据表格和要观测的现象,并对它们做出计算或预见,计算结果在小数点后保留三位有效数字,若计算有重复性,只举一个计算过程的示例即可。
- (6) 注意事项:在使用设备、仪表和进行操作的过程中,为保证人身、设备安全,写出务必注意的事项。

2. 总结报告

“电子电路实验”课时少,内容却很多,为了提高每次课的效率,需要认真总结以提高认识,巩固收获。总结的内容比较广泛,概括起来,有以下几个主要方面:

- (1) 由实验原始记录整理的数据表格、曲线、波形和观察的现象,以及有它们所说明的实质和结论。
- (2) 设计和拟定实验方案的方法。
- (3) 测试方法和操作方法。