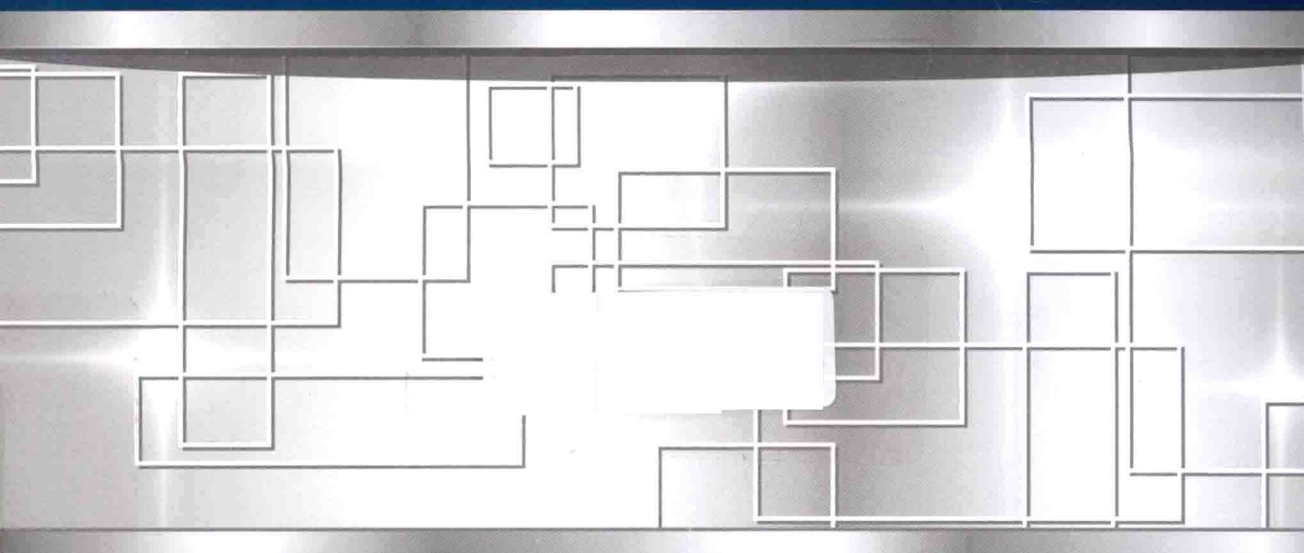




高等学校电子信息系列

模拟电子技术 设计与实践教程

主编 于蕾

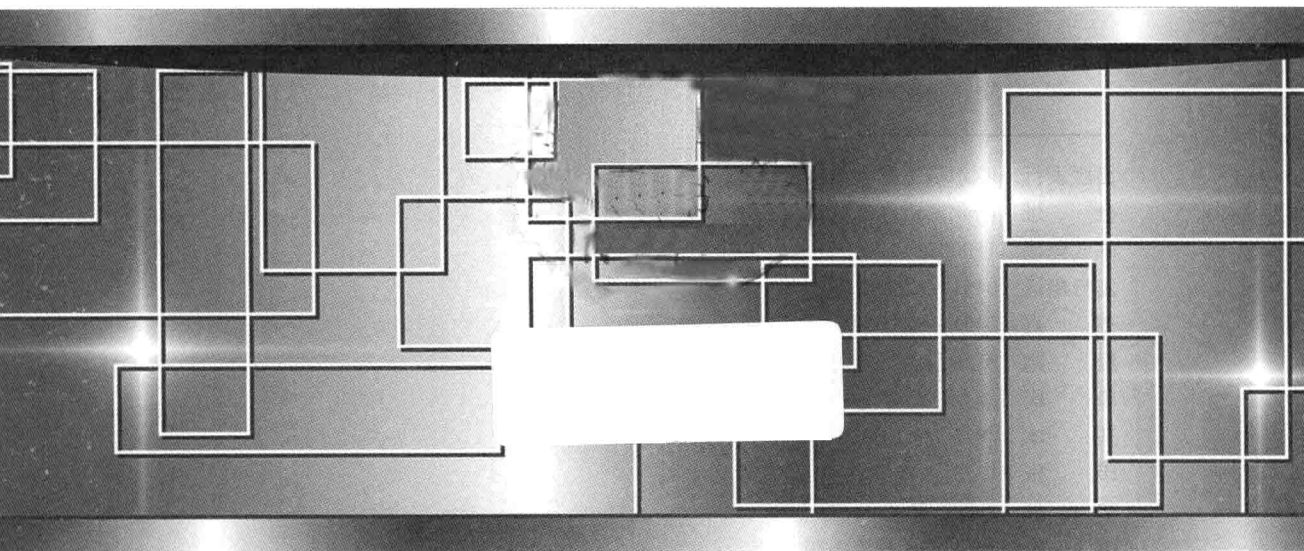


HEUP 哈尔滨工程大学出版社

高等学校电子信息系列

模拟电子技术 设计与实践教程

主 编 于 蕾
副主编 谢 红
参 编 朱海峰 赵 娜
黄湘松 肖易寒
主 审 阳昌汉



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是为了适应模拟电子技术的飞速发展,满足当前教学改革的需要,根据哈尔滨工程大学新版教学大纲的要求,结合多年的教学改革成果和教学经验编写而成的。本书共分4章,包括电子技术实验基础知识,三极管基础设计型实验,集成运算放大器设计型实验和功率模块设计型实验等内容。附录部分包括基础电子元器件参考资料,面包板和实验仪器介绍,供学生在实验过程中参考。

本书与理论教学紧密结合,在介绍了模拟电子技术主要知识的同时,列举了较多的基础设计型实验实例,易于学习掌握,使学生更快地提高设计能力。本书在强调基础实验的同时,更注重培养学生系统设计的总体观念。设计选题分级多样化,适合不同程度的学生学习,拓展了独立思考、自主学习、自主研究和创新的空间。

本书可作为通信工程、电子信息工程等电类专业的本科生、专科生的电子技术和电子线路课程的实验教材以及电子大赛、课程设计的参考书,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术设计与实践教程/于蕾主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2014.3
ISBN 978-7-5661-0776-3

I. ①模… II. ①于… III. 模拟电路-电子技术—
高等学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 049857 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省委党校印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 12.5
字 数 312 千字
版 次 2014 年 3 月第 1 版
印 次 2014 年 3 月第 1 次印刷
定 价 23.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

编审委员会成员名单

主 任:阳昌汉

副主任:刁 鸣 王淑娟 赵旦峰

编 委:(以姓氏笔画为序)

叶树江 白雪冰 付永庆

付家才 杨 方 杨春玲

张朝柱 席志红 谢 红

童子权 谭 峰

再版说明

《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》明确提出“提高质量是高等教育发展的核心任务”。要认真贯彻落实教育发展规划纲要,高等学校应根据自身的定位,在培养高素质人才和提高质量上进行教学研究与改革。目前,高等学校的课程改革和建设的总体目标是以适应人才培养的需要,培养专业基础扎实、知识面宽、工程实践能力强、具有创新意识和创新能力的综合型科技人才,实现人才培养过程的总体优化。

哈尔滨工程大学电工电子教学团队将紧紧围绕国家中长期教育改革和发展规划纲要以及我校办高水平研究型大学的中远期目标,依托“信息与通信工程”国家一级学科博士点、“国家电工电子教学基地”、“国家电工电子实验教学示范中心”以及“NC网络与通信实践平台”,通过国家级教学团队的建设,明确了电子电气信息类专业的基础课程的改革和建设的总体目标是培养专业基础扎实、知识面宽、工程实践能力强、具有创新意识和创新能力的综合型科技人才。在课程教学体系和内容上保持自己特色的同时,逐步强调学生的主体性地位、注重工程应用背景、面向未来,紧跟最新技术的发展。通过不断深化教学内容和教学方法的改革,充分开发教学资源,促进教学研讨和经验交流,形成了理论教学、实验教学和课外科技创新实践相融合的教学模式。同时完成了课程的配套教材和实验装置的创新研制。

本系列教材包括电工基础、模拟电子技术、数字电子技术和高频电子线路等课程的理论教材和实验教材。本系列教材的特点是:

(1)本系列教材是根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会在2010年最新制定的“电子电气基础课程教学基本要求”,并考虑到科学技术的飞速发展及新器件、新技术、新方法不断更新的实际情况,结合多年的教学实践,并参考了国内外有关教材,在原有自编教材的基础上改编而成。既注重科学性、学术性,也重视可读性,力求深入浅出,便于学生自学。

(2)实验教材的内容是经过教师多年的教学改革研究形成的,强调设计型、研究型 and 综合应用型,并增加了SPICE分析设计电子电路以及EDA工具软件使用的内容。

(3)与实验教材配套的实验装置是由教师综合十多年的实验实践的利弊,经过反复研究与实践而研制完成。实验装置既含基础内容,也含系统内容;既有基础实验,也有设计性和综合性实验;既有动手自制能力培训,也有测试方法设计与技术指标测试实践。能使学生的实践、思维与创新得到充分发挥。

(4)本系列教材体现了理论与实践相结合的教学理念,强调工程应用能力的培养,加强学生的设计能力和系统论证能力的培养。

本书自出版及修订再版以后,受到了广大读者的欢迎,许多兄弟院校选用本书作教材,有些读者和同仁来信,提出了一些宝贵的意见和建议。为了适应教学改革与发展的需要,经与作者商量,并结合近年的科研教学的经验和成果,以及电子技术的最新发展,决定第三次修订再版,以谢广大读者的信任。

哈尔滨工程大学出版社

2013年1月

前 言

本书是为了适应模拟电子技术的飞速发展,满足当前教学改革的需要,根据哈尔滨工程大学新版教学大纲的要求,结合多年的教学改革成果和教学经验编写而成的。本书共分4章,包括电子技术实验基础知识、三极管基础设计型实验、集成运算放大器设计型实验和功率模块设计型实验等内容。附录部分包括基础电子元器件参考资料,面包板和实验仪器介绍,供学生在实验过程中参考。本书可作为通信工程、电子信息工程等电类专业的本科生、专科生的电子技术和电子线路课程的实验教材以及电子大赛、课程设计的参考书,也可供工程技术人员参考。

在多年的教学过程中,模拟电子技术实验教材也经过了各种演变。最开始的实验讲义提供给学生详细的实验步骤,学生不需要多动脑子,便可完成实验,在一定程度上遏制了广大学生的创造性和个性的发展。因此本书与理论教学紧密结合,定位在基础实验教学,培养学生基础的实验操作技能,强调测试手段、方法,锻炼解决故障的能力,强化对学生的动手能力的培养,培养学生基本的科研素养。

同时,更注重培养学生系统设计的总体观念。完整系统的电子电路实验步骤按照下面顺序开展:项目分析,设计实验方案,选择器件,电路设计仿真,搭建电路,调试系统,测量数据,故障排查,撰写实验报告。本书正是按照这样的顺序来编写的。在每个实验模块中,先给学生一个通常的范例,论证设计方案的合理性,详细地阐述了这类范例的设计过程、器件的选择方法和相关注意事项,然后对所设计的电路进行仿真,证明设计的合理性和正确性。这样才能提供给学生一个正确系统的设计思路,学生在以后的设计中也要按照这个思路进行科学的学习和实践。在实验中,Multisim 软件由于其应用的广泛性和使用的便利性,被作为主要的仿真工具用在电路的设计中,每一个实验范例都经过了最终的仿真调试。

本书在编写的过程中,对于每个实验模块都提供了不同难易程度的多个设计选题,书中分为基本实验和扩展实验,实验选题由浅入深,难度逐渐增加,学生可以根据自己的实际情况进行选择,拓展了学生独立思考、自主学习、自主研究和创新的空间。

本书在编写时,强调了实验预习的作用,也就是要求学生把更多的精力放在实验准备上面。实验准备是保证实验能否顺利进行的必要步骤。每次实验前都应先进行预习,从而提高实验质量和效率,避免在实验时不知如何下手,浪费时间,完不成实验,甚至损坏实验装置。本书将一些实验中可能出现的现象和问题作为预习思考题放在实验操作之前,要求学生熟悉实验仪器,完成设计任务和仿真过程,认真思考实验中可能出现的各种故障或者现象的原因,最后完成预习报告,特别强调结合理论知识,解决实验中出现的各种问题和故障。

本书注重工程应用,并没有泛泛介绍一些理论知识,而是将工程中常用到的一些基本概念和器件的基本特性引入实验,将其全方位地融合在实验内容中。例如,宽带放大、低噪声放大、如何兼顾带宽与增益、多级放大器电源退耦滤波电路、典型芯片及应用等。结合历年全国电子大赛和各省电子大赛的题目,设计了许多新颖的实验项目,例如,前置放大器、

宽带放大器、音频多级滤波器和 D 类功放等内容,大大丰富了实验教学,同时为学生创新能力的培养提供了有力的帮助。

本书共分 4 章,4 个附录。其中第 1 章由于蕾编写,第 2 章由朱海峰编写,第 3 章由肖易寒和赵娜编写,第 4 章由黄湘松编写,附录由谢红编写。于蕾负责教材的总体框架结构和实验内容的审定和统稿。本书在编写过程中,参考了部分本校和兄弟院校的教材内容,在基础知识和概述的编写及整理时参考了部分网络上的说明,在此表示衷心的感谢。

本书由阳昌汉教授担任主审,在编写过程中阳昌汉教授给予了极大的关心和支持,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示诚挚的谢意。

由于水平和时间有限,书中必有不妥之处,望广大读者批评指正。

编 者

2013 年 12 月

目 录

第 1 章 模拟电子技术实验方法及基础知识	1
1.1 概述	1
1.2 模拟电子技术实验的主要内容与基本要求	1
1.3 模拟电子技术实验的一般步骤	2
1.4 模拟电子技术实验方法和相关注意事项	3
第 2 章 晶体管基本设计型实验	11
2.1 基础仪器使用练习实验	11
2.2 晶体管单级放大电路设计与调试	15
2.3 差动放大电路设计与调试	42
2.4 反馈放大器的设计实验	52
第 3 章 集成运算放大器的基本设计型实验	62
3.1 运放的线性应用(1)——比例放大电路的设计和调试	62
3.2 运放的线性应用(2)——加减运算放大电路的设计和调试	80
3.3 运放的线性应用(3)——积分与微分电路的设计和调试	85
3.4 运放的线性应用(4)——有源低通滤波电路的设计和调试	96
3.5 运放的线性应用(5)——其他有源滤波电路的设计和调试	104
3.6 运放的非线性应用——比较器电路的设计和调试	113
3.7 RC 正弦波信号发生电路的设计和调试	121
3.8 非正弦信号发生器的设计和调试实验	128
第 4 章 功率模块的基本设计型实验	135
4.1 分立元件构成的 OCL 乙类功率放大器实验	135
4.2 集成功率放大器 LM386 的应用实验	144
4.3 集成功率放大器 TDA2030 的应用实验	150
4.4 三端线性集成稳压器的设计与应用实验	157
附录 A 常用元器件的识别与测试	162
A.1 电阻、电容、电感的识别与简单测试	162
A.2 半导体二极管、三极管的识别与简单测试	166
A.3 集成电路的识别	169
附录 B 常用器件资料选编	171

附录 C 面包板的结构	175
附录 D 仪器使用	177
D.1 Rigol DS1000E 型数字示波器	177
D.2 TFC3000L 系列 DDS 函数信号发生器简介	182
D.3 SM2030 数字交流毫伏表	184
D.4 模拟万用表	185
参考文献	188

第 1 章

模拟电子技术实验方法及基础知识

1.1 概 述

在电子技术日益迅猛发展的今天,对当代大学生在电子线路实验创新精神和创新能力方面提出了更高的要求。实验作为一种更好地掌握理论知识,进一步将理论应用于实际的手段,占据着极为重要的地位。开设模拟电子技术实验课程的目的,就是培养学生的实验技能。

在实验过程中,既能验证理论的正确性和实用性,又能从中发现理论的近似性和局限性,还可以发现新问题,产生新设想。电子线路实验既促使模拟电子技术和应用技术的进一步发展,又培养了学生的创新意识和创新能力。

通过模拟电子技术实验可以巩固和加深电子技术的基础理论和基本概念,学生会接受必要的基本实验技能的训练,学会识别和选择所需的元器件,设计、安装和调试实验电路,分析实验结果,从而提高实际动手能力以及分析问题和解决问题的能力。

1.2 模拟电子技术实验的主要内容与基本要求

1.2.1 电子技术实验的主要内容

一般来说,电子技术实验按照其性质和教学目的可分为基础型实验、设计型实验和研究型实验三大类。这三类实验各有不同的教学目的和侧重点。

基础型实验的重点是培养学生观察和分析实验现象,掌握基本实验方法,培养基本实验技能,为以后进行更复杂的实验打下基础。这类实验往往具有训练和验证的性质,所以实验题目一般比较简单,内容多是基础型和单元型的。

设计型实验是在基础型实验的基础上进行的综合性实验训练,其重点是电路设计。实验内容侧重综合应用所学知识,设计制作较为复杂的功能电路。设计型实验一般是给出实验任务和设计要求,学生通过电路设计、电路安装调试和指标测试、撰写报告等过程,提高电路设计水平和实验技能,培养学生综合运用所学知识解决实际问题的能力。

研究型实验是具有研究性和探索性的大型实验,重点是培养学生的探索创新精神和研究能力。因此,研究型实验不但要重视研究的结果,还要重视研究的过程、研究的方法和探索精神的培养。这种实验强调系统性、交融性及研究性,强调学生的自主研究与创新,培养学生的研究性思维和习惯。

随着电子设计自动化程度的迅速提高和集成电路技术与工艺的迅速进步,电子系统已进入片上系统的阶段。使用计算机辅助分析和设计工具来分析与设计电路,已经成为电类本科生必须掌握的知识和必备的基本能力。所以培养学生使用工具的习惯和能力是模拟电子技术实验课程的另一项重要任务。

1.2.2 模拟电子技术实验的基本要求

通过模拟电子技术实验教学,学生应该达到如下基本要求:

- ①掌握模拟电路的基本测量技术与方法;
- ②了解常用电子仪器的基本原理,正确选择与使用常用电子仪器完成测试任务;
- ③能够正确识别、选择和应用常用电子元器件;
- ④熟悉一般模拟电路的设计、安装、调试的过程与方法;
- ⑤掌握几种常用的计算机辅助分析与设计工具,培养使用工具进行模拟电路分析与审题的习惯和能力;
- ⑥能够设计、制作小型模拟电路系统;
- ⑦能够撰写内容翔实、文理通顺、表达正确的实验总结报告。

1.3 模拟电子技术实验一般步骤

1.3.1 模拟电子技术实验的主要步骤

模拟电子技术实验一般包括以下几个步骤。

第一步,拿到实验任务以后,首先要进行理论准备、理论设计。先画出整个系统的框图,这就要求查阅相关的资料,选出实现任务要求的最佳设计方案,然后把系统划分为若干个单元电路,将技术指标和功能分配给各个单元电路。有了各个单元电路,就可以进行各个单元电路的设计,然后再把各单元电路联系起来,组成一个系统。

在理论准备阶段,可以利用仿真软件进行系统仿真。现在常用的系统仿真软件有 Multisim、OrCAD 等。对于比较简单的电路,在电路仿真的基础上,反复调整参数直至达到任务要求为止。但对于一个复杂的系统,电路设计就不是一个简单的、一次就能完成的过程,而是一个逐步试探的过程。所以,仿真软件能够缩短电路设计的进程,但决不能代替硬件实验,它只是理论设计的一种延伸。

第二步,正确选择元器件。首先应该对元器件的功能、性能、特性参数等有所了解,所选元器件的精度、速度必须满足设计要求。

例如,做一个运算放大器(简称运放)实验,要求电路闭环带宽达到 8 MHz。如果选择单运放 $\mu A741$,就达不到指标要求,因为它的闭环带宽只能达到 1 MHz。改为选用单运放

LM318,它的闭环带宽可以达到 15 MHz 左右,符合题目要求。

在前两步完成后按要求写出预习报告。

第三步,在理论准备充分的前提下,进行硬件实验。

应正确搭接实验线路。可以用面包板插接实验线路,也可以将元器件焊接在万能板上进行调试。比较简单的电路可以使用面包板;复杂电路可以采用制作 PCB,然后在 PCB 上进行焊接、调试的方法。面包板的结构可以参考附录 C 的介绍。

进行电路调试和测量。模拟电子线路实验中静态测试是必需的,在静态满足的情况下开展动态测试。根据具体的实验任务要求完成不同技术指标的测试。在测量的同时,记录真实数据。

第四步,撰写实验报告。在系统调试测量结束后,应撰写一份实验报告,这是一名合格的电子工程师应该具备的基本的文字表述能力。

1.3.2 实验报告格式

一份标准的实验报告应包括以下主要内容。

①实验名称。

②实验选题。

③设计过程:包括设计方案的论证,电路的选定,器件的选择,元件数值的计算选定,指标的校验。

④电路仿真:包括仿真的电路图,得到的仿真数据、波形图等。

⑤硬件电路实验内容和主要步骤。

⑥实验数据处理。

⑦实验总结:包括误差产生的主要原因,实验过程的故障分析和故障排除过程,本次实验的心得体会和意见。

1.4 模拟电子技术实验方法和相关注意事项

1.4.1 基本实验方法

在做模拟电子技术实验时,有一定的实验方法、实验规则可循,如果盲目地进行实验,不但会浪费时间,而且还可能损坏实验器材。请遵守以下实验规则。

1. 合理布线

首先应正确合理布线。布线的原则以直观、便于检查为宜。例如,电源的正极、负极和地可以采用不同颜色的导线加以区分。一般来说,在实验中电源正极用红色,负极用蓝色,地用黑色,这样便于分清,避免接错线,造成电源正负极短路的严重后果。低频接地时,尽量用短的导线,防止电路产生高频自激振荡。

2. 认真检查实验线路

在连接完实验线路后,不急于加电,要认真检查,检查的内容主要包括以下几项。

(1) 连线是否正确

检查有没有接错的导线,有没有多接导线,或者少接导线。检查的方法是对照电路图,按照一定的顺序逐一进行检查。

(2) 连接的导线是否接通

使用万用表,对照电路图,一个一个点地检查,例如,应该连接的点是否都是通的,电阻或文件是否被无意间短路等人为故障。

(3) 检查电源及信号源

检查电源的正、负极连线和地线是否正确,电源到地之间是否存在短路,信号源的信号输入端和公共接地线是否正确等。如果电源和信号源存在由接线引起的短路,若不能认真检查,及时更正,而急于通电,常常会造成电源、信号源、其他测试设备和元件的损坏,一定要重点对待。

(4) 检查元件

重点检查二极管、晶体管、集成器件、电解电容等元件的外引线与极性是否接错,元件的外引线和元件之间是否有短路。

3. 通电调试

检查完实验线路后,才能通电,进入调试阶段。在调试前,应先观察电路是否有异常现象,例如:有无冒烟,有无异常气味,有无声响,电源指示是否正常,用手摸元器件表面是否发烫,电路有无短路现象等。如有任何异常现象,立即切断电源,与指导教师联系,排除故障后,重新通电。

调试时可以采用先分调后总调的方式。任何复杂电路都是由一些单元电路组成的,分调是按信号流程或者功能模块,逐级调整各单元电路,使其满足实验要求或设计要求。而总调是在分步完成各单元电路调试的基础上,逐步扩大调试范围,最终实现对总体电路进行调试。

调试时应注意先静态调试后动态调试。静态调试是指在输入信号为零的情况下,进行直流调试或调整,例如测试三极管放大电路的直流工作点。静态调试完成后,可进行动态调试。动态调试时,在电路中输入适当频率和幅度的信号,按信号的流向逐级检测各有关点的参数、波形、性能指标是否满足实验要求或设计要求。

在比较复杂的系统性实验调试中,应该接一级电路,调一级电路,正确后,再将上一级电路的输出接入下一级电路的输入,接着调试下一级电路,直到总电路全部完成。

电路的调试是以达到电路实验目的为目标而进行的一系列测量、调整、再测量、再调整的反复实验过程。

1.4.2 电路调试中应注意的问题

测量结果的正确与否直接受测量方法和测量精度的影响,因此,要得到正确的测量结果,应该选择正确的测量方法,提高测量精度,为此,在电路调试中应该注意以下几点。

1. 正确使用仪器的接地端

如果接地端连接不正确,或者接触不良,直接影响测量精度,甚至会影响到测量结果的正确与否。在实验中,直流稳压电源的地即是电路的地端,所以直流稳压电源的“地”一般要与实验板的“地”接起来。

稳压电源的“地”与机壳连接起来,这样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”。示波器的“地”应该和电路的“地”连在一起,否则看到的信号是“虚地”的,是不稳定的。函数信号发生器的“地”也应该和电路的“地”连接在一起,否则会导致输出的信号不正确。特别是毫伏表的“地”,如果悬空,就得不到正确的结果。如果地端接触不良,就会影响测量精度。

正确的接法是,毫伏表的“地”应尽量直接接在电路的地端,而不要用导线连至电路接地端,以减少测量误差。高频实验中的一些仪器,例如扫频仪,也应该和电路“共地”。另外,在模拟、数字混合的电路中,数字“地”与模拟“地”应该分开连接,220 V 电路部分的公共地使用隔离变压器,以免引起互相干扰。

2. 电源去耦电路

在模拟电子技术实验中,往往会由于引线电阻、电源和信号源的内阻,使电路产生自激振荡,也称为寄生振荡。消除引线电阻的方法是改变布线方式,尽量使用比较短的导线。对于电源内阻引起的寄生振荡,消除的方法是采用 RC 去耦电路,如图 1-1(a)所示, R_1 一般应选 $100\ \Omega$ 左右的电阻,不能过大,以免电阻分压引起电路电源电压下降过多,或形成超低频振荡。在数字电路中,在电源端常常加电容器滤波,用以消除纹波干扰和外界信号的干扰。

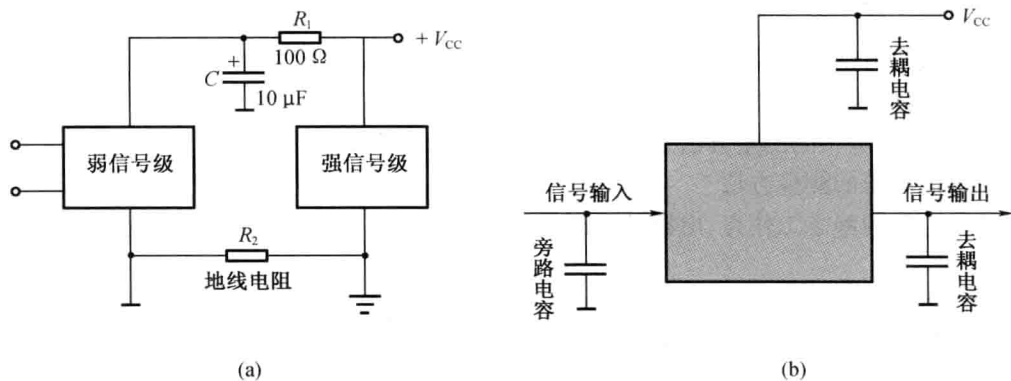


图 1-1 去耦电路图

(a) RC 去耦电路; (b) 常用去耦电路

3. 测量仪器的正确使用

在测量过程中,测量电压所用仪器的输入阻抗必须大于被测处的等效阻抗。这是因为,如果测量仪器的输入阻抗小,在测量时会引起分流,从而引起很大的测量误差。例如,在如图 1-2 所示的场效应管放大器实验中,就不能直接用万用表测量场效应管的 U_{GSQ} 。因为场效应管输入阻抗很高,用一个内阻与它接近的万用表去测 U_{GSQ} ,势必会造成很大的测量误差。正确的测量方法是,分别测出 G 端与 S 端到地的电压 U_G 和 U_S ,然后两者相减,即 $U_{GSQ} = U_G - U_S$ 。

测量仪器的带宽必须大于被测电路的带宽。例如 MF-500 型万用表的工作频率为 $20 \sim 2\,000\ \text{Hz}$,如果放大器的 $f_H = 100\ \text{kHz}$,就不能用万用表测放大器的幅频特性,而要用毫伏表测电路的输入、输出信号电压,继而得到幅频特性曲线。

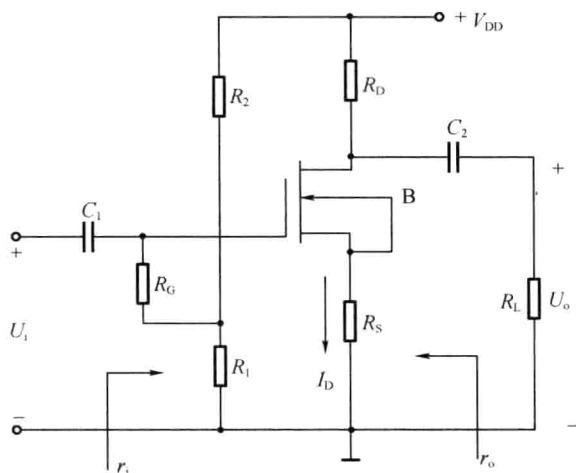


图 1-2 场效应管放大电路图

1.4.3 基本测量方法

说到测量方法就必须强调测量不同的电量需要采用不同的测量仪器,测量仪器使用错误会直接导致测试数据完全错误,测量失败。

1.4.3.1 电压的测量方法

1. 直流电压的测量方法

放大电路的静态工作点、电路的电源电压等都是直流电压。直流电压的测量方法比较简单。

万用表的直流电压挡测量是最简单最直接的测量方法,但是测量时需要注意电压表的选择。一般以电压表的使用频率、测量电压范围和输入阻抗的高低作为选择电压表的依据。对电压表的基本要求如下。

(1) 输入阻抗高

测量电压时,电压表并联在被测电路两端,故对被测电路有影响。为了减小测量仪表对被测电路的影响,要求电压表的输入阻抗尽可能高些。

(2) 电压表的带宽

各种测量电压的仪器、仪表都有确定的频率限制(频带),超过限制会引起很大的误差,因此要根据被测电压的频率(范围)选择测量仪器、仪表。例如,测量放大电路的直流工作点时可以选用万用表,但是测量放大电路的频率响应时,就不能采用一般的万用表,因为万用表的频率不够宽。

2. 交流电压的测量方法

放大器的输入输出信号一般是交流信号,放大器的一些动态指标如电压增益、输入电阻、输出电阻等也经常用加入正弦电压信号的方法进行间接测量。

(1) 用交流毫伏表测量

这是最简单和方便的一种测量交流电压的方法。这类电压表的输入阻抗高,量程范围

广,使用频率范围宽。使用模拟交流毫伏表测量时,应根据被测量的大小选择合适的量程,尽量使表头上的指示值超过三分之二,以减小测量误差。

大多数毫伏表测出的是交流电压的有效值。

(2) 用示波器测量

用示波器法测量交流电压与交流毫伏表测量相比有如下优点。

①测量各种波形的电压。电压表一般只能测量失真很小的正弦电压,而示波器不但能测量失真很大的正弦电压,还能测量脉冲电压、调幅电压等。

②能测量瞬时电压。电压表一般只能测出周期信号的有效值电压。

③能同时测量直流电压和交流电压。

但是,用示波器测量电压的主要缺点是误差较大,一般达5%~10%。交流信号的频率不得超过示波器频带宽度的上限。

1.4.3.2 电流的测量方法

测量直流电流通常都采用万用表的电流挡。测量时,电流表串联接入在被测电路中,为了减小对被测电路工作状态的影响,要求电流表的内阻越小越好,否则将产生较大的测量误差。

测量交流电流通常采用电磁式电流表,通常使用电流互感器来扩大交流电流表的量程。

用示波器也可以测量电流的波形。这是在被测电流支路中串入一个小电阻即电流采样电阻,被测电流在该电阻上产生电压,用示波器测量这个电压,便可得到电流的波形。

1.4.3.3 放大电路的输入电阻和输出电阻测量方法

输入电阻是用来衡量放大器对信号源影响的一个性能指标。输入电阻越大,表明放大器从信号源取的电流越小,放大器输入端得到的信号电压也越大,即信号源电压衰减得少。作为测量信号电压的示波器、电压表等仪器的放大电路应当具有较大的输入电阻。对于一般的放大电路来说,输入电阻当然是越大越好。如果想从信号源取得较大的电流,则应该使放大器具有较小的输入电阻。

输出电阻用来衡量放大器在不同负载条件下维持输出信号电压(或电流)恒定能力的强弱,称其为带负载能力。一般来说,输出电阻小带负载能力强,输出电阻大带负载能力差。

1. 输入电阻的测量

当被测电路的输入电阻不太高时,可以采用如图1-3所示的方法进行测量。在信号发生器与放大器的输入端之间接入已知电阻 R_s ,在放大电路正常工作的情况下,用交流毫伏表测出 U_s 和 U_i 。可以通过下式计算得到输入电阻

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_s - U_i}{R_s}} R_s \quad (1-1)$$

当被测电路的输入电阻比较高时,如场效应管放大器的输入电阻,由于毫伏表的内阻与放大器的内阻相当,所以用上面的方法测量误差太大。这时可以换一种方式,在 R_s 两端并联一个开关,用毫伏表分别测出开关合上和断开时的输出电压 U_{o1} 和 U_{o2} ,可由下式计算出输入电阻 R_i 的值。

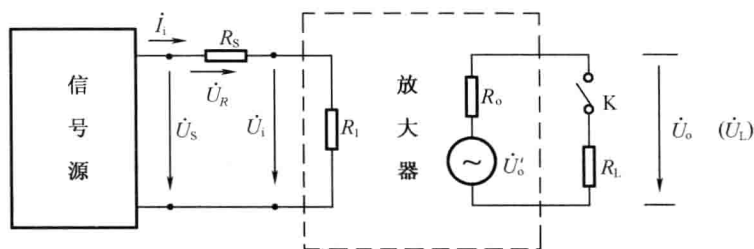


图 1-3 放大电路等效电路图

$$R_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} R_s \quad (1-2)$$

2. 输出电阻的测量

测量输出电阻的电路原理图如图 1-3 所示。将负载电阻开路,测量电路的开路输出电压 U'_o 。然后接入合适的负载电阻 R_L ,测量有载输出电压 U_o ,即可得到输出电阻,即

$$R_o = \left(\frac{U'_o}{U_o} - 1 \right) R_L \quad (1-3)$$

类似地,负载电阻 R_L 最好选择与输出电阻 R_o 接近,以减小误差。但是,需要注意,当被测电路的输出电阻 R_o 很小时(如稳压电源、由集成运放组成的运算电路等),就不能采用此方法,负载电阻 R_L 不能选择欧姆级的电阻,否则会使输出电流过大,烧毁元器件。

1.4.3.4 电压增益及频率特性

1. 电压增益的测量

增益是放大电路的重要指标,也称为放大倍数。其定义为输出电压 U_o 与输入电压 U_i 的比值,即 $A_u = \frac{U_o}{U_i}$ 。

分别测量出输出电压和输入电压的大小,两个电源的比值即为放大倍数。有的时候电压增益也用分贝来表示。

必须注意的是,在测量电压增益时,必须要用示波器监测波形,保证波形不失真。

2. 幅频特性的测量

影响放大器幅频特性的主要因素是电路中存在的各种电容特性。

增大或降低信号的频率电压增益均会下降。当电压增益降低到中频电压增益的 0.707 倍,对应的频率分别为上限截止频率和下限截止频率。

测量幅频特性的常用方法有逐点法和扫频法。由于扫频法需要用到专用的扫频仪,在模拟电子电路实验中用的很少,所以本书中只介绍逐点法。

将信号源加至被测电路的输入端,保持输入电压幅度不变,改变信号的频率。用示波器或毫伏表等一起测量电路的输出电压。将所测各频率点的电压增益绘制成曲线,即为被测电路电压增益的幅频特性曲线。注意,将测试结果画于半对数坐标纸上。

测试中,在中频区,曲线平滑的地方可以少测几点,而在曲线变化较大的地方应多测几点。