



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高频电子线路 实践教程

朱昌平 高远 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高频电子线路实践教程

主 编 朱昌平 高 远

副主编 盛惠兴 殷 明 姚 澄 刘 艳

参 编 黄 波 朱陈松 路龙惠 王瑞华

段红恩



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,最突出的特点是按照“三层次实验”教学体系进行编写。

本书共分为四章。第一章为基础型实验指导,旨在对高频电路基本理论进行验证,并给出帮助学生掌握高频电路基本测试与调整方法的基础型实验。该部分内容以实验目的、原理和方法为主,在具体的操作细节阐述方面,注重在引导的同时给予学生自行设计细化实验方案的创新空间。同时,为确保基础型实验教学质量,书中介绍了基础型实验的五环过程管理办法,为师生把握实验教学环节提供了可借鉴的思路。第二章为提高型实验指导,并介绍了课程设计与专业综合实践的过程管理办法,给出了课题实例供读者参考,从而保证了学生在基础型实验之后,能够受到具备综合、设计与应用三大特点的提高型实验的良好训练。第三章为研究创新型实验指导,介绍了研究型实验的指导内容与教学方法,以及研究创新型实验的过程管理办法,同时给出了相应的课题实例供参考,书中实例源于学生科研实践,有的课题已转化为受国家发明专利保护的产品。本章的目的是能够使毕业设计和学生在校期间的研究创新型实践活动在实效上得到保证。第四章为实践问题分析与解决 100 例,总结了“三层次实验”教学过程中遇到的 100 个常见问题,并对其进行分析,提出了一些有效的解决办法,旨在为读者进行高频电路实践教学提供借鉴。

本书可作为高等学校电气信息类专业的本科生教材,也可供有关专业的研究生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路实践教程/朱昌平、高远主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-29036-0

I. 高… II. ①朱…②高… III. 高频-电子电路-高等学校-教材 IV. TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 012670 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:闫晓宇 责任编辑:闫晓宇 王 琪

封面设计:张 静 责任校对:陈延翔

责任印制:杨 曦

唐山丰电印务有限公司印刷

2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10.25 印张 · 251 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-29036-0

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前言

如何提高学生实践创新能力既是社会关注的焦点,也是高等教育教学改革的主题。近年来,作为实践教学的主要环节,实验教学模式改革及与之配套的实验教材的编写,受到了普遍关注。2002年教育部颁布的《普通高等学校本科教学工作水平评估指标和等级标准》,对实践教学中的综合性、设计性实验提出了一定的要求;2005年由江苏省教育厅制定的《江苏省高等学校基础课实验教学示范中心验收标准》中,又在重要二级指标教学内容中,明确提出“实验内容包括基础型实验、提高型实验、研究创新型实验三个层次”;2007年初教育部颁发的1号和2号文件对如何确保实践教学质量更是作出了明确的指示。为了促进电气信息类专业的实践教学改革,建立“三层次实验”教学培养模式和与该模式配套的实验教学管理体系,使实验室真正成为电气信息实践创新人才的培养基地,适应社会对电气信息专业人才实践创新能力的要求,本书对近年来进行的“三层次实验”实践探索进行了总结,下面从“三层次实验”体系建设及相应的教学指导两个方面给予介绍。

一、“三层次实验”教学体系的介绍

因为每个学校的情况不尽相同,无法用一种统一的模式来对“三层次实验”教学的体系进行定义,所以国家鼓励各高校立足自身实际探索“三层次实验”教学的体系,从而使学生的实践教学质量得到保证。下面简要介绍一下江苏省电子技术实验教学示范中心对“三层次实验”教学体系的实施情况,希望能对读者有所帮助,同时也欢迎读者批评指正。

1. “三层次实验”教学的背景及意义

施行“三层次实验”教学体系是切合当前高等教育迅速发展的背景而提出的务实举措。随着高校在籍学生人数的迅速增加,学生的知识结构和层次更趋于复杂化,各高校在夯实学生理论知识的同时,培养其实践动手能力的任务将变得更加严峻。针对这种现状,在实验教学中开展分层次教学改革势在必行。

“三层次实验”教学体系分为基础型实验、提高型实验和研究创新型实验三个层次,分级进行,循序渐进。该教学体系从基础到综合,再到设计与创新,符合从简单到复杂的普遍认知规律和实验教学规律。在以学生为本,知识传授、能力培养、素质提高协调发展的教育理念(即KAQ模式)下,构建以学生能力培养为核心,旨在加强学生实践、创新能力,促进学生知识、能力、素质综合协调发展的“三层次实验”教学体系,符合当今社会对高校学生实践创新能力的要求。为确保学生在基础实验、课程设计、毕业设计等实践环节中受到良好的训练,从实践中获得真本领,需要对实践的每一环节进行严格管理,管理者需要在每一环节中对老师和学生提出明确要求,使每一环节均有章可循。

2. “三层次实验”教学体系的功能及管理办法

(1) 基础型实验 基础型实验主要指电气信息类专业学生应知应会的原理性实验。基础型实验是学生实践能力发展的基础,也是传统实验教学的主要任务。为确保全体学生均能很好的完成,应明确基础型实验的两个特点:一是应按教学大纲要求面向全体学生开放基础型实验;二是因为在学生中存在一定的个体差异,学有余力的同学往往希望对某些问题进行

深入钻研,还有部分基础较差的同学在规定的时间内无法达到基本要求,所以应面向部分学生进行“扬优补差”的强化实验。因此,实验室应在结束某个单元实验前专门安排时间对学生开放,满足不同层次学生的需求。本书提出在进行实验的整个过程中须遵循一套完整的规范流程,在基础实验中应严格按照五个环节的过程管理办法进行,每一环节有明确的要求,即“五环过程管理办法”。

(2) 提高型实验 提高型实验与基础型实验的本质区别在于实验内容一定要具备综合性、设计性和应用性三大特征。在实践中对提高型实验提出了两大要求:一是应保证全体同学均能接受具备综合性、设计性和应用性三大特征的课程设计训练,使每位学生均实现由一门课程的基础单元实验训练上升到具备一门课程及相关专业基础的、有应用意义的综合系统设计;二是让希望在课程设计基础上有进一步深入钻研愿望的同学进入实验室,让他们在宽松的实践环境下进行有一定难度设置阈值的专业综合实践,获得跨专业、多门课程的,具备综合性、设计性和应用性的系统设计训练。本书提出在进行课程设计和专业综合实践的整个过程中均须遵循一套完整的规范流程,分别为“六环过程管理办法”与“七环过程管理办法”。

(3) 研究创新型实验 由于大三、大四年级正是开始接触专业课程、深入学习专业综合技术的阶段。如何组织好高年级学生的实践活动,让他们扎扎实实地在实验室学到过硬的专业本领是一个很重要的课题。通过实践发现,加强毕业设计的过程管理和让部分学生参与教师的科研工作、提前接触毕业设计课题,对提高高年级学生实践创新能力有很好的作用。

研究创新型实验教学两大功能在于:一是通过给每位学生均提供必要的实验条件,严格毕业设计过程管理,使百分之百的同学均通过毕业设计,受到具备研究与创新性专业课题的训练,为学生的就业和发展打好专业基础;二是让部分实践创新成绩优秀的同学加入教师的科研工作,借鉴研究生的科研能力培养模式,让本科生参与到教师的科研课题中并承担部分基础性工作,让他们在毕业前通过实践增长见识、开阔视野、提高创新能力,为他们今后继续深造或就业奠定良好的基础。本书提出在进行毕业设计和参加教师科研的整个过程中均须遵循一套完整的规范流程,分别为“十环过程管理办法”与“实践创新梯队导师制管理办法”。

二、本书内容介绍

本书基于“三层次实验”教学体系进行编写,共分为基础型实验指导、提高型实验指导和研究创新型实验指导以及实践问题分析与解决100例四章,并将高频电子线路相关软、硬件的基本知识和如何通过梯队导师制落实对学生实践创新指导的探索体会附录于后,希望能对学生的实践创新指导有所帮助。

1. 基础型实验内容介绍

考虑到当前各高校在开设基础型实验时,大都借助于不同厂家提供的实验箱,而不同的实验箱所涉及的实验电路和实验内容一般是不同的,所以本书在基础实验内容的编写中,不追求多而全,而是秉承为读者在实际操作中提供一种思路和方法的思想,组织编写了这部分内容。

首先,精选高频电子线路课程中的核心性电路,作为基础实验电路。

其次,在每个实验的内容中强化实验所要达到的目的,淡化学生为了做实验而做实验的思想,强调实验所解决的问题。

再次,在实验内容中强化实验电路的原理,包括原理性电路与实际操作的硬件电路之间的差别,体会辅助性元器件的作用,以培养良好的识图习惯。同时,弱化实验步骤,以发挥学生的主观能动性,为其创造性地完成实验创造空间。

最后,实验中配有适当的计算机辅助仿真的内容。它不是对硬件测试内容的简单重复,而是对那些通过硬件电路不易实现或无法实现的实验部分,借助计算机仿真实现;另一方面,对电路的设计和优化进行仿真,以体现计算机仿真在电路设计中的作用。

基础型实验是对理论教学中涉及的一些基本结论,通过实际电路的观测加以验证。对于高频电路来说,更重要的是通过基础实验,使学生接触真实的电路,感受实际电路与理论教学中使用的原理性电路之间的区别,理解辅助性元器件在高频电路中不可或缺的作用,加深对高频电路设计复杂性的认识。要使学生获得这样的感受,需要教师启发和引导,因此,每个基础型实验中都添加了这方面的内容,并对如何加强实验过程管理进行了介绍。

2. 提高型实验内容介绍

提高型实验主要是指导学生利用理论教学及基础型实验操作中学习到的知识,自行动手设计、制作满足基本技术指标要求的高频电路。考虑到学生刚刚接触高频电路,从理论学习到真枪实干会遇到许多问题,所以,本书对高频电路的一般设计方法进行了介绍,并针对典型的无线电收发系统进行了设计举例。通过示例来讲述一种电路设计的思路,以及一些基本电路的设计方法。

然而,最初设计的电路到最后实现的电路之间,往往会有许多不同。尤其对高频电路更是如此,这是电路制作、调试中必然遇到的问题。本书对这部分内容的介绍,重点在电路制作、调试中可能遇到问题及解决上。

提高型实验包含课程设计与专业综合实践两部分,书中对其教学过程的管理办法分别进行了阐述。

3. 研究创新型实验内容介绍

研究创新型实验对培养创新型人才是最为重要的环节,为了使全体学生都能通过毕业设计受到创新设计的工程实践训练,本书对如何管理毕业设计的10个教学过程进行了介绍。一篇优秀的毕业设计报告不是靠十几周时间就能完成的,许多学生从大一就参加了实践创新梯队,四年中一直参加实践创新活动,甚至节假日也坚持奋战在实验室。实践创新研究使学生的潜力得到发挥,人生的价值得到升华。实践活动的指导如何通过“梯队导师制”来落到实处,附录中给出了介绍,并对毕业设计与研究创新型实验课题进行了举例。

4. 实践问题分析与解决100例内容介绍

在“三层次实验”教学过程中一定会遇到不少问题,本书针对其中较典型的100个实例进行分析,提出了有效的解决方法,可帮助读者在教学过程中少走弯路。

100例中,除列举了高频基础型实验教学中遇到的一些问题外,还有学生参加提高型实验(主要包括课程设计和专业综合实践),以及研究创新型实验(主要包括毕业设计和学生课外科研活动)中的问题,所有问题全部源于学生实践,分析采用由表及里、从现象到本质、步步深入的方法进行。解决问题时一般选用多种办法进行比较,然后择优选出相对有效易行的办法。愿这些实例对学生从事高频电路的实践活动有一定的参考价值,对教师指导学生分析和解决高频电路实践中遇到的实际问题有所帮助。

本书由朱昌平、高远、盛惠兴、殷明、姚澄、刘艳、黄波、朱陈松、路龙惠、王瑞华、

段红恩几位作者联合编写。朱昌平和高远担任主编负责全书统稿。盛惠兴、殷明、姚澄和刘艳担任副主编协助主编工作。

本书的基础型实验参考了杭州天科技术实业有限公司，杭州天煌电器设备厂出品的高频电子线路综合实验箱内的部分实验。在本书的编写过程中，参阅了杨翠娥老师主编的《高频电子线路实验与课程设计》、谢自美老师主编的《电子线路设计·实验·测试》、于洪珍老师主编的《通信电子线路》、孙肖子老师等主编的《电子设计指南》，上述老师的编写思路与部分内容给了作者很大的启发和帮助，在此向他们表示特别感谢！向所有为本书编写提供参阅的参考文献作者们，一并致以衷心的感谢！

本书由西安电子科技大学电路与系统国家级重点学科实验室负责人刘笃仁教授和杭州电子科技大学电子电工国家实验示范中心主任王光义教授担任主审，两位主审为本书提出了不少宝贵的意见和建议；河海大学电子信息技术江苏省基础实验教学示范中心和通信电子电路与声学技术研究室（A315室）的师生给予了作者多方面的帮助，谨在此一并致以衷心的感谢。

本书在实验教材的基本教学内容和实验教学方法的改革、学生实验教学中遇到的实际问题分析与解决两个方面的密切结合上进行了大胆尝试，是否合适尚需在实践中进一步检验。书中漏误之处，敬请广大读者批评指正、不吝赐教。

编 者

2009年12月

于河海大学（常州）

目 录

前言

第一章 基础型实验指导 1

第一节 基础型实验的“五环”过程管理 办法 1

第二节 基础型实验课题 4

实验一 高频振荡器 4

实验二 高功率放大器 8

实验三 集成乘法器调幅 12

实验四 频率调制与解调 15

实验五 晶体管混频器 20

第三节 基础型实验的仿真课题 23

实验一 LC 西勒振荡器 23

实验二 小信号调谐放大器 26

实验三 二极管包络检波器 29

第二章 提高型实验指导 33

第一节 课程设计的“六环”过程管理 办法 33

第二节 课程设计指导 35

要点一 高频电路的一般设计方法 35

要点二 高频电路设计举例及参考课题 35

要点三 高频电路的安装与调试 52

第三节 专业综合实践的“七环”过程管理 办法 56

第四节 专业综合实践课题 59

课题一 基于变模锁相频率合成技术的 高频信号源设计 59

课题二 自适应无线数据传输系统 64

课题三 水下超声定位信号的发射与 接收 69

第三章 研究创新型实验指导 73

第一节 毕业设计“十环”过程管理 办法 73

第二节 研究创新型课题举例 76

课题一 宽带多普勒流量计的设计 76

课题二 基于超声及 CPLD 技术的 SF₆ 气体 浓度智能监控 80

课题三 基于集成锁相环频率合成器的 射频信号源 89

第四章 实践问题分析与解决 100 例 95

第一节 基础型实验问题分析与解决实例 95

第二节 提高型实验问题分析与解决 实例 110

第三节 研究创新型实验问题分析与 解决实例 125

附录 141

附录 A OrCAD、PSpice 仿真软件的使用 141

附录 B 电子技术实用知识 146

附录 C “梯队导师制”的实施办法 151

参考文献 154

第一章 基础型实验指导

第一节 基础型实验的“五环”过程管理办法[⊖]

高等学校的实验课程是帮助学生理论联系实际、巩固理论知识，培养学生实际动手能力的重要环节。实验教学条件的好坏已成为评价学校实力和内涵的重要标志，而优化实验教学方法，提高实验教学质量也越来越受到高校的重视。为规范实验教学过程，使有限的实验教学资源很好地发挥作用，确保开放实验室的实验教学质量的提高和教学秩序的稳定，使学生在实验室顺利地完成基本教学内容的验证性实验与创新实践的探索性实验，河海大学通信电子线路实验室自2003年起开始实行如图1-1所示的实验课程教学五环过程管理办法，该办法对实验的5个教学环节都提出了明确的要求，可操作性较强。

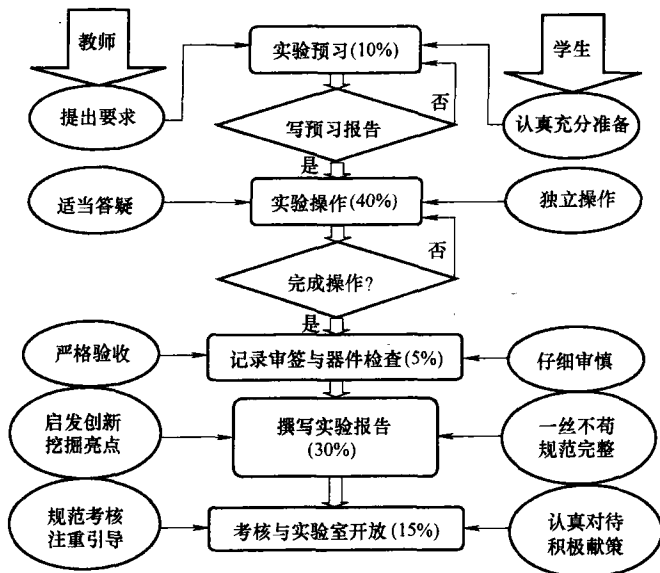


图 1-1 通信电子线路实验课程教学的五环过程管理办法

一、实验预习（占项目成绩 10%）

实验预习是保证实验顺利进行，并能取得满意结果的重要步骤。实验预习可避免学生在实验操作过程中的盲目与错乱，又能指引学生在实验的同时带着问题进行思考，促使学生对实验的操作不断规范和深入。

实验指导老师会提前一周给学生布置实验预习内容。课程的第一次实验开课前，由教师带学生到实验室熟悉自己的实验座位及该组的实验仪器，讲解实验注意事项，强调实验室的 7 项实验制度，提出预习报告、实验记录表格、实验报告撰写与绘制的明确要求。学生获悉

⊖ 本章内容曾被报道：见《实验室研究与探索》2005，24（8）：7-9。

实验预习通知后,必须按教师要求认真阅读实验指导书及有关参考文献,充分了解实验的原理、方法、实验条件及实验重点,要注意实验中所采用的实验方法,特别是基本的测量方法,还要注意抓住每次实验的学习重点。预习要求中的基本内容包括撰写实验名称、实验目的、实验原理(要求简明扼要)、实验电路图(原理图,交流等效图等)、实验设备,解答预习思考题,分析预期实验结果,拟出实验内容(只要求列出实验项目及记录数据的空白表格),以及教师临时补充的需要完成的内容。这些内容可以为有目的地独立进行实验打好基础。学生进实验室上实验课前,应按教师要求将预习报告上交到指定地点,待老师批阅、签字、登记后再领回。

二、实验操作(占项目成绩40%)

实验操作是整个实验过程中最重要的环节。在实验操作过程中,学生应严格遵守实验操作规程,独立操作,积极思考,自主分析问题、解决问题,确保实验课程的教学效果。

(1) **核对器材** 学生进实验室后必须保持肃静,严格对号入座,严禁学生私自交换座位。学生入座后首先熟悉要使用的仪器、设备等的性能及正常的操作规程,按实验台上实验器材清单一一核对实验器材是否齐全,并检查实验中要用到的实验仪器是否能正常工作,有关指标是否与实验仪器上的标注相符,切勿盲目操作。例如,对于示波器好坏的检查,学生如能将示波器自身的校正信号同时双线正常示出,且校正信号的频率和幅度均能正确用示波器测出,那么这台示波器即为正常。若发现异常,应及时申请更换。其次要全面地想一想实验操作程序,不要急于动手,因为误操作一步,可能会使整个实验前功尽弃。

(2) **独立操作** 由于通信电子线路本身具有电路复杂、易受干扰、需细微调节等特点。所以学生在实验开始前一定要认真听教师讲解实验注意事项,并适当作记录。教师讲解的内容往往是实验操作中的关键部分和较易出现的问题,因此认真听讲、理清思路相当重要。实验过程中,学生要发挥主观能动性,根据所学知识独立分析和解决实验中遇到的问题,积极地将理论知识应用于实践,自主分析和解决实验中遇到的问题;要注意对现象的细心观察,正确读数,实事求是地记录客观现象和数据(切不可用铅笔记记录客观现象和数据),实验数据不能涂改,如实验数据记录有错,应在错误数据上轻轻划上一道,在旁边记上正确值。

(3) **疑难解决** 当实验过程中观察到反常现象或实验失败时,应从通信电路理论入手分析产生问题的原因或从仪器构成原理审视操作程序是否不当,以及实验方法有无错误,力求能够独力解决问题。

三、实验记录审签与器材检查(占项目成绩5%)

(1) **实验记录审签** 实验记录是以后计算分析、总结讨论的依据,是宝贵的原始资料。对实验数据要严肃对待,被验收的实验数据应为测量得到的原始数据(即不必计算数据最终结果)。不要将实验数据草记在另外的纸上,因为如果原始记录零乱,在整理数据时就容易出错。实验结束时,各实验仪器要保持实验状态,学生在实验位置示意教师,将数据交给教师签字,待验收合格后,方可切断电源及连接线。

(2) 实验器材检查 学生在教师审签实验记录后, 应对照实验台上实验器材清单向教师汇报实验器材是否齐全、实验仪器是否完好如初。若发现实验仪器损坏, 应登记在册, 若属正常损坏, 课后由实验室教师修复。若为学生违背操作规程所致, 则应由该组同学负责赔偿。

四、实验报告 (占项目成绩 30%)

撰写实验报告的目的是培养和锻炼学生以书面的形式总结工作或报告实验成果的能力。实验报告是一个实验的系统总结, 这个过程既是学生知识构建的过程, 又是在认识问题、分析问题、解决问题的基础上进行创新的过程, 更是直接知识和间接知识熔于一炉的过程。因此, 撰写实验报告要实事求是、严格规范、一丝不苟。

实验报告由实验目的、原理、器材、方法、步骤、结果及讨论 6 部分组成。每个单元实验中实验指导书上列出的“实验报告”一项的内容, 以及教师临时补充的需要完成的内容学生均需完整写入实验报告。讨论是培养分析问题能力的重要环节, 讨论的内容可以是多方面的, 其重点是存在问题的解决方法或设想, 如:

- 1) 实验的原理、方法、仪器给你留下什么印象, 实验完成得如何?
- 2) 实验的系统误差表现在哪些地方, 怎样改进测量方法或装置, 可以减少误差? 对实验的改进有何设想?
- 3) 实验步骤怎样安排更好?
- 4) 观察到什么反常现象, 遇到过什么困难, 能否提出可供他人借鉴的想法?
- 5) 测量结果是否满意, 如果未达到预期结果是何缘故?

五、实验考核与实验室开放 (占项目成绩 15%)

(1) 实验考核 实验成绩的考核既是对优秀学生认真完成实验的肯定, 也是对实验操作不太好的学生的督促。为了做到对学生的全面评价, 实验成绩一般应标准化、定量化。通信电子线路实验课程的最后一项实验课程内容为实验考核, 实验考核内容以考查学生完成综合性和设计性实验的实际能力为主旨。

(2) 实验室开放 实验室在完成基本的实验教学任务后, 应尽力面向学生开放。河海大学电子信息技术实验室在补差、扬优和提高三个层面上进行了开放尝试。实验室设置了学生勤工俭学岗位或义务岗来弥补实验师资的不足, 从同年级学有余力的同学中挑选部分同学, 利用课余时间协助老师帮助上手较慢的同学跟上教学进度; 从已确定保送研究生的大四同学中选出少数同学, 利用节假日帮学有余力的学生完成超出大纲的设计与探索性实验内容; 从研究生中挑出部分学有余力的同学利用长假协助教师指导学生在实验室完成创新课题, 从而形成以教师主导、学生自主、完全开放的模式, 使不同层面的学生均得到了较好的实践机会。

多年来, 河海大学信息学院在实验课程教学中采用五环过程管理办法, 使学生的自学能力、动手实践能力、思维判断能力、表达书写能力、实验设计能力和创新意识等方面都取得了很大的进步。同时, 也进一步地培养和提高了学生从事工程实践的基本素质, 理论联系实际和实事求是的科学作风, 严肃认真、一丝不苟的科学态度和不怕困难、主动进取的探索精神。

第二节 基础型实验课题

实验一 高频振荡器

一、实验目的

1) 初步认识实际硬件振荡电路的组成, 重点为实际电路与原理性电路的对比研究; 分析实际电路中较之原理图增加的辅助性元器件的作用以培养良好的识图习惯, 增强识图能力。

2) 掌握交流等效电路的绘制方法。

3) 通过对振荡电路的静态工作点、反馈系数对振荡的建立、输出波形等振荡特性的影响进行观测, 为设计振荡电路时, 正确选择静态工作点和反馈系数提供依据和方法。

4) 通过对 LC 与晶体两种振荡器的频率稳定度进行比较研究, 掌握频率稳定度的分析与测量方法。

二、实验原理

1. 西勒振荡器

本实验以在短波、超短波通信机、电视接收机等高频设备中得到非常广泛应用的西勒振荡器 (即并联改进型电容反馈三点式振荡器) 为例, 其原理电路如图 1-2 所示。

西勒振荡器是在串联改进型电容反馈三点式振荡电路 (克拉泼振荡器) 的基础上, 在 L_1 两端并联一个电容 C_4 构成的, 且 $C_4 > C_3$, 振荡频率主要由 L_1 和 C_4 决定, 调节 C_4 可改变振荡频率。西勒振荡器的优点是进一步提高了振荡频率的稳定性, 振荡频率可以做得较高。

此类振荡电路多采用共基极组态, 主要是由于它的输出特性平坦, 适宜于要求电路稳定性好的高频振荡电路。

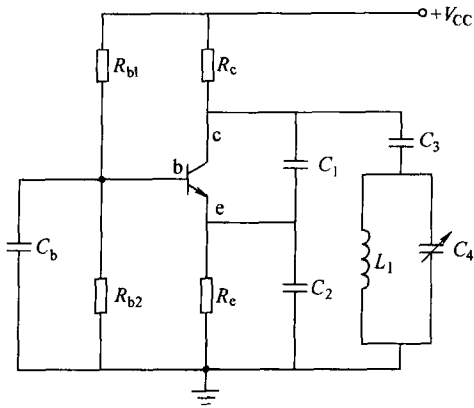


图 1-2 西勒振荡器

2. 交流等效电路分析

交流等效电路分析法, 是把电路的交流系统从电路中分离出来, 进行单独分析的一种方法, 因此其关键在于正确地绘制交流等效电路。下面给出绘制交流等效电路的一般原则:

1) 直流电源看做短路。

2) 交流旁路电容看做短路。

3) 隔直耦合电容看做短路。

4) 为简化交流等效电路, 一些技术性元器件可以删除, 而原理性元器件则不能随便删除和变更位置。

技术性元器件和原理性元器件是按电路中各元器件与信号的放大、处理有无直接关系来

区分的,原理性元器件指那些与信号的放大、处理有直接关系的元器件;技术性元器件指辅助电路完成原理性工作,以及为了使电路达到某些技术指标而加入的元器件,它们并不影响电路的基本工作。判别的方法是看该元器件是不是实现电路基本功能(如放大或振荡功能)必不可少的。如果将它去掉后,电路仍具有基本功能,则说明该元器件是技术性元器件;否则,该元器件是原理性元器件。

判别时应考虑电路的信号频率和元器件在电路中的位置。如果元器件是与其他元器件并联的,应采用开路的方法来判别;如果元器件是串联在某回路中的,则采用短路的方法来判别。

交流旁路电容和隔直耦合电容,一般可根据电容所在位置及其容值的大小来判别。与电感并联的大多不是旁路电容;对交流来说,容抗很小的是旁路电容,而容抗不能忽略的则不是旁路电容。隔直耦合电容常用来连接电路的前后级,它对被传输的交流信号呈现较小的容抗。

根据以上4点,画出图1-2西勒振荡电路的交流等效电路如图1-3所示。首先,明确电路的功能是LC振荡器,构成LC振荡回路的元件 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 L_1 应属于原理性元件,不能删除和变更位置;其次,把直流电源 V_{CC} ,旁路电容 C_b 看作短路后,电阻 R_{b1} 、 R_{b2} 也因此被短路;最后,对电阻 R_c 、 R_e 的处理,就可以根据它们电路中的作用,确定其为技术性元件。因为 R_c 、 R_e 是与LC回路并联的,可采用开路的方法处理。

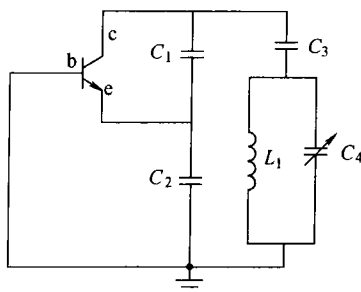


图1-3 西勒振荡器交流等效电路

从交流等效图中,可以获得以下分析结果,这些结果也就是分析电路所要达到的目的:

- 1) 电路为共基极组态。
- 2) 电路为西勒振荡器(并联改进型电容反馈三点式振荡器)。
- 3) 反馈电压取自电容 C_2 。
- 4) 电路的振荡电容值为 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 的合成值。

三、实验电路分析

本实验的实际参考电路如图1-4所示。

1. 原理电路与实验电路的比较

与图1-2的原理电路相比,实际的电路图1-4增添了以下元件:

- 1) +12V直流电源到地之间,添加了一个大电容 C_{104} ,它的作用是去除直流电源线路中的各种交流谐波,以保证电源的稳定性。这是高频实际硬件电路中普遍使用的方法。
- 2) 添加了一个小阻值的 R_{105} 作为射极的偏置电阻。与电阻 R_{106} 相比,它除了也有直流负反馈作用外,对交流信号也起负反馈作用,这可以改善振荡器的稳定性,但会损失一些增益。

- 3) R_{113} 为阻尼电阻,用于降低电感 L_{102} 的 Q 值,以改善振荡波形。

- 4) 振荡信号通过电容 C_{112} 输出,所以, C_{112} 的作用就是隔直耦合电容。

2. 交流等效电路分析

根据绘制交流等效电路的一般原则,可以判断:

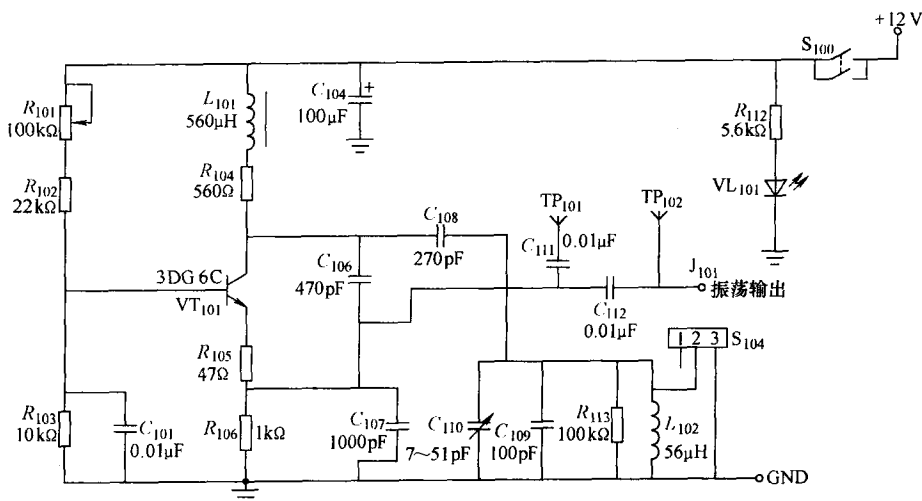


图 1-4 西勒振荡器实验电路

1) C_{101} 为交流旁路电容。

2) C_{112} 为隔直耦合电容。

3) 电阻 $R_{101} \sim R_{106}$ 为晶体管 VT_{101} 提供直流偏置工作点，电感 L_{101} 既为集电极提供直流通路，又可防止交流输出对地短路。所以，将 $R_{101} \sim R_{106}$ 和 L_{101} 看做技术性元件， R_{105} 与 R_{106} 串联，所以可以把 R_{105} 看做短路。

依此可画出图 1-4 的交流等效电路如图 1-5 所示。

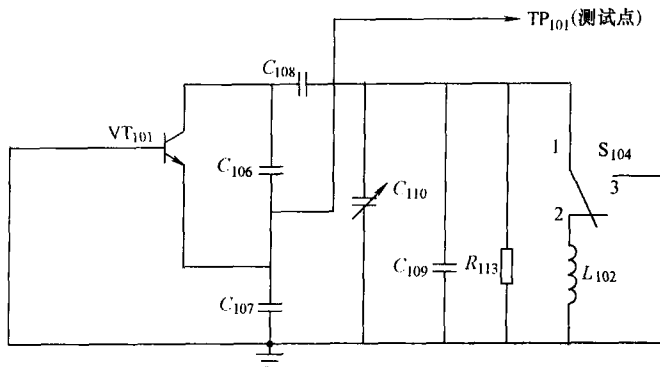


图 1-5 西勒振荡器实验电路的交流等效电路

3. 晶体振荡器

根据晶体在电路中的作用，晶体振荡器分为并联晶体振荡器和串联晶体振荡器。本实验提供的电路为并联晶体振荡 b-c 型电路，又称皮尔斯电路，其交流等效电路如图 1-6 所示。

晶体振荡器的实验电路如图 1-7 所示。 R_{111} 为阻尼电阻，用于降低晶体等效电感的 Q 值，以改善振荡波形。

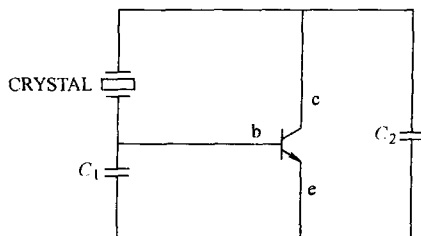


图 1-6 皮尔斯振荡器交流等效电路

(记录表格要求自己设计), 并绘制 $U_L = f(C)$ 曲线。

4. 计算振荡器波段覆盖系数 $f_{\max}/f_{\min}$

改变 C_{110} 的值, 观察 U_L 随频率 f 变化的规律, 找出振荡器的最高频率 $f_{\max}$ 和最低频率 $f_{\min}$, 记录之, 并计算 $f_{\max}/f_{\min}$ 。

5. 比较两类振荡器的频率稳定度

(1) **LC 振荡器** 保持 $C_{107} = 1000\text{pF}$, $U_{\text{EQ}} = 0.5\text{V}$ 不变, 在 TP_{102} 处观测输出振荡波频率 f , 计算其频率稳定度 (LC 振荡器的标称频率为 1.5MHz)。

(2) **晶体振荡器** 在 TP_{102} 处观测振荡波形, 记录电压峰峰值 U_L 和频率 f 的值; 在 TP_{102} 处, 观测输出振荡波的频率 f , 计算它的频率稳定度。

七、实验报告

- 1) 整理实验数据, 画出相应的曲线。
- 2) 根据实验内容, 总结影响振荡频率及输出电压幅度的主要因素。

实验二 高频功率放大器

一、实验目的

- 1) 了解实际的硬件高频功率放大电路的组成, 进一步训练良好的识图习惯和识图能力。
- 2) 掌握丙类功率放大器的调谐特性、负载变化时的动态特性。
- 3) 熟悉丙类调谐功率放大电路的调试方法。
- 4) 比较甲类小信号调谐放大器与丙类调谐功率放大器的电路组成、静态工作点、输出功率及效率的不同, 加深对两类放大电路应用的认识。

二、实验原理

丙类放大器利用选频网络作为集电极负载, 电流导通角小于 90° , 效率高于甲类和乙类放大器, 通常作为发射机末级功率放大以获得较大的功率和较高的效率。但为获得足够大的激励信号推动丙类功率放大器正常工作, 一般要在其前级增加放大电路。本实验单元的电路就采用了包括激励级在内的两级放大器, 如图 1-8 所示。

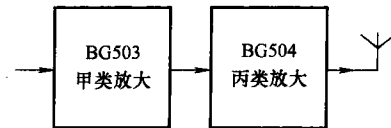


图 1-8 高频功率放大器组成框图

1. 三种基极偏置电路

丙类调谐功率放大器的原理图如图 1-9 所示。常用的三种基极偏置电路如图 1-10 所示。其中, 图 1-10a 的偏置电压是利用基极电流在基区体电阻上的压降得到的。它的优点是电路简单, 广泛应用于大功率丙类功率放大器中; 缺点是偏压小, 并随基区体电阻的变化而变化, 因此偏压不能稳定保持。图 1-10b 的偏置电压是利用基极电流的直流分量在 R_b 上的压降得到的, C_b 是旁路电容。它的偏置电压可以随输入信号电压值的变化自动调节。图 1-10c 的偏压是利用发射极电流的直流分量在 R_e 上的压降得到的, C_e 是旁路电容。它的优点是利

用 R_e 上产生的直流负反馈作用, 自动维持放大器的稳定工作。但是, 由于 R_e 上建立了直流偏压, 减小了电源电压的利用率, 所以 R_e 不宜取得过大, 以免影响放大器的输出功率^[3]。

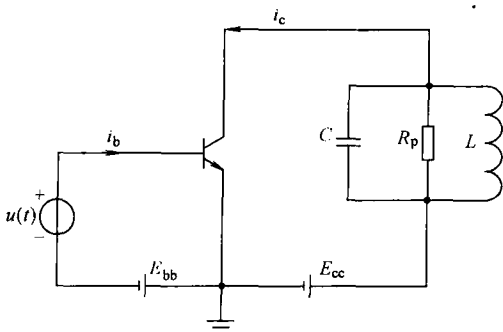


图 1-9 丙类调谐功率放大器的原理图

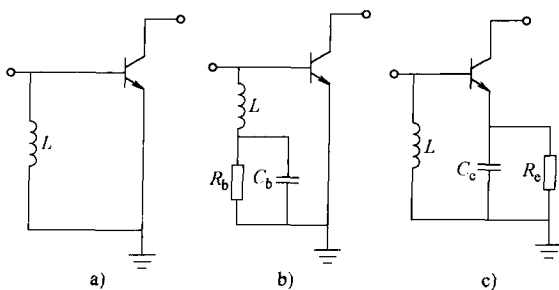


图 1-10 三种基极偏置电路

a) 形式一 b) 形式二 c) 形式三

2. 丙类高频功放的调试

功率放大器能否工作在所设计的状态, 输出较大的功率, 在设计合理的基础上, 还需要正确的调试。在设计阶段, 计算高频调谐功率放大器的各项参数时, 都是假设谐振回路处于谐振状态的, 即集电极负载为纯电阻。但在实际电路的调试时, 谐振回路的初始状态或者在回路调谐过程中, 回路会出现失谐状态, 即集电极回路的阻抗呈感性或容性, 使回路的等效阻抗下降。根据高频调谐功率放大器的负载特性可知, 这时输出功率减小, 集电极耗散功率增加, 严重时可能损坏晶体管。

回路调谐时, 为保证晶体管安全工作, 可以先将直流电源电压降低到规定值的 $1/2 \sim 1/3$, 找到谐振点后, 再把电压恢复到规定值。回路谐振状态的标准, 一般是放大器输出功率最大, 集电极电流直流分量 I_{C0} 最小。但是, 当晶体管在高频区工作时, 由于集电极电流滞后于激励电压, 以及晶体管内部反馈的作用, 使得在谐振时, I_{C0} 最小与输出功率最大不能同时发生。这时, 回路谐振状态的判断, 可以通过观察负载电阻上基波电压幅度来实现, 如果谐振, 输出信号幅度为最大^[3]。

三、实验电路分析

本实验的实际电路如图 1-11 所示, 全部电路由 +12V 电源供电。

1. 实验电路的构成

VT₅₀₃ 为甲类调谐放大器, 作为末级功率放大器的激励级, 其集电极负载为 LC 选频谐振回路, 谐振频率为 10MHz, R_{509} 和 R_{511} 可调节甲类放大器的偏置电压, 以获得较宽的动态范围。

VT₅₀₄ 是典型的丙类高频功率放大器, 只有载波的正半周且幅度足够大才能使功率管导通, 其集电极负载为 LC 选频谐振回路, 谐振在 10MHz 频率以选出基波, 因此可获得较大的功率输出。 R_{513} 可调节丙类放大器的功率增益, S_{501} 可选择丙类放大器的输出负载。

2. 原理电路与实验电路的比较

与图 1-9 的原理电路相比, VT₅₀₄ 组成的丙类功率放大器, 提供偏置电压 E_{bb} 的偏置电路采用了图 1-10b 的形式, 即电感 L_{502} 、电阻 R_{512} 、电容 C_{510} 共同组成基极偏置电路; 谐振回