



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

高频电子线路实验 与仿真

胡宴如 吴正平 胡旭峰 胡宴如 主编
胡旭峰 编



高等教育出版社



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

高频电子线路实验 与仿真

胡宴如 吴正平 胡宴如 胡旭峰 主编
胡宴如 吴正平 胡旭峰 编



高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《高频电子线路》(胡宴如、耿苏燕主编)的配套实验教材。全书由高频电子线路实验基础知识、基础实验、综合实验、Multisim 仿真以及实验常用仪器使用方法共五章组成,实验内容和体系符合应用型人才培养目标要求。

本书以能力培养为主线,突出基本技能训练,加强因材施教,充分发挥每个学生的实验积极性和创新精神。实验内容尽量与现代高频电子技术应用相结合,具有实用性;实验任务及要求难易结合,从单元电路调试到系统测试,从基本技能训练到综合能力的培养,符合学生的认知规律;同类型的实验有几种电路和方法,并分为基础、拓宽和提高部分,具有较强的可选性,便于灵活组织实验教学。

本书可作为高等学校应用型本科、高职高专院校通信、电子信息等专业“高频电子线路”、“通信电子线路”等课程的实验教材和参考书,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路实验与仿真/胡宴如主编.

北京:高等教育出版社,2009.6

ISBN 978-7-04-026635-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 059570 号

策划编辑 韩颖 责任编辑 李葛平 封面设计 赵阳 责任绘图 郝林
版式设计 范晓红 责任校对 胡晓琪 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京凌奇印刷有限责任公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 10.75
字 数 260 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009 年 6 月第 1 版
印 次 2009 年 6 月第 1 次印刷
定 价 13.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26635-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在做研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的

任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003年4月

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《高频电子线路》(胡宴如、耿苏燕主编)的配套实验教材,是根据应用型人才培养目标要求,在多年教学改革实践基础上编写而成的。

高频电子线路是电子信息类专业重要的技术基础课,是一门理论性、工程性与实践性很强的课程,因而高频电子线路实验技能是电子信息类工程技术人员必须具备的基本技能,特别是对于应用型人才的培养更应加强和突出工程实践能力的培养。因此,本书以能力培养为主线,突出基本技能训练,加强因材施教,充分发挥每个学生的实验积极性和创新精神。所以本书在内容和体系上有如下一些特点:

1. 通过高频实验基础知识的学习及单元电路的设计、调整与测试等实验,对高频实验的基本技能进行训练,书中将复杂的高频电子技术理论与实验有机结合,强调工程应用,使实验过程成为边做、边思考、边分析的过程,从而有利于学生掌握高频实验基本技能,提高实验分析能力。通过综合实验提高系统实验能力,进一步理解高频电子技术理论在实践中的应用。

2. 实验任务及要求难易结合,循序渐进,由单元电路调试到系统测试,由基本技能训练到综合能力的培养,符合学生的认知规律。同类型的实验有几种电路和方法,分为基础、拓宽和提高部分,教师可根据教学时数和学生实际水平进行选择(有些实验可由学生选择,课外完成),便于灵活组织实验教学,做到因材施教。

3. 实验内容突出基本技能训练,注意综合能力的培养,并尽量与现代高频电子技术应用及 EDA 技术相结合,具有较强的实用性,可激发学生的学习兴趣,充分调动学生的实验积极性及创新精神。

本书编写过程中得到三江学院师生的大力支持和帮助,东南大学冯军教授、南京工程学院耿苏燕副教授等人对实验内容、体系及实验方法的改革给予了大力支持和具体指导,电子信息工程学院许多教师对本书的编写给予了很多帮助,在此谨对他们表示衷心的感谢!

参加本书编写的主要有胡宴如、吴正平、胡旭峰等,胡宴如任主编,负责全书的统稿和定稿。

本书承蒙三江学院电子信息工程学院院长张安康教授仔细审阅,提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本书一定存在不少问题,有待进一步研究、试验和改进,恳请使用本书的广大读者提出宝贵意见,谢谢!

编 者
2009年1月

目 录

第 1 章 高频电子线路实验基础知识	1
1.1 高频电子线路实验内容及特点	1
1.2 高频电子线路实验方法	2
1.2.1 高频电子线路实验的一般过程	2
1.2.2 高频电子线路实验的基本方法	4
1.2.3 高频电子线路实验注意事项	5
1.3 高频电路中的元器件	7
1.3.1 高频电路中的元件	7
1.3.2 高频电路中的有源器件	9
1.4 高频电子仪器基本原理	11
1.4.1 信号源	11
1.4.2 示波器	12
1.4.3 频率特性测试仪(扫频仪)	17
第 2 章 高频电子线路基础实验	20
2.1 高频电子仪器使用及谐振回路 测试实验	20
2.1.1 实验任务及要求	20
2.1.2 LC 并联谐振回路特性的计算	22
2.2 小信号谐振放大器实验	23
2.2.1 实验任务及要求	23
2.2.2 实验电路的设计计算方法	27
2.3 丙类谐振功率放大器实验	29
2.3.1 实验任务及要求	29
2.3.2 丙类谐振功放设计计算方法	35
2.4 LC 正弦波振荡器与晶体振荡器 实验	37
2.4.1 实验任务及要求	37
2.4.2 LC 振荡电路的设计计算方法	41
2.5 集成模拟相乘器应用实验	43
2.5.1 模拟相乘器调幅电路实验	43
2.5.2 模拟相乘器同步检波电路实验	47
2.5.3 集成模拟相乘器 MC1496/1596 使用方法	50
2.6 基极调幅电路实验	51
2.7 二极管峰值包络检波电路实验	54
2.7.1 实验任务及要求	54
2.7.2 二极管检波电路的设计方法	57
2.8 调频与鉴频电路实验	58
2.8.1 变容二极管直接调频电路实验	58
2.8.2 乘积型相位鉴频器实验	62
2.8.3 斜率鉴频器实验	64
第 3 章 集成锁相环路综合应用实验	68
3.1 锁相环路基本原理	68
3.1.1 锁相环路的工作原理	68
3.1.2 锁相环路组成部件特性	69
3.1.3 锁相环路的捕捉与跟踪	71
3.1.4 锁相环路基本应用电路	72
3.1.5 集成锁相环路 CD4046	73
3.2 锁相调频发射与鉴频接收系统 实验	77
3.2.1 锁相调频电路实验	77
3.2.2 锁相鉴频电路实验	80
3.2.3 发射机与接收机联调实验	82

3.3 锁相频率合成器实验	85	4.5.6 二极管峰值包络检波仿真实验 ...	125
3.3.1 单环锁相频率合成器设计方法	85	第 5 章 高频实验常用仪器使用方法	128
3.3.2 锁相倍频电路实验	89	5.1 EE1641B1 函数信号发生器/计	
3.3.3 锁相频率合成器设计组装调试		数器	128
实验	90	5.1.1 EE1641B1 主要技术指标	128
第 4 章 高频电子线路 Multisim 仿真实验 ...	92	5.1.2 EE1641B1 使用说明	129
4.1 Multisim8 的使用方法	93	5.2 F40 型数字合成函数/任意波	
4.1.1 Multisim8 的主窗口界面	93	信号发生器	131
4.1.2 菜单栏	93	5.2.1 F40 主要技术指标	131
4.1.3 设计工具箱	94	5.2.2 F40 面板说明	133
4.1.4 工具栏	94	5.2.3 F40 使用说明	135
4.2 Multisim8 电路管理	96	5.3 TDS1002 数字存储示波器	141
4.2.1 Multisim8 对元器件的管理	96	5.3.1 TDS1002 数字存储示波器主要	
4.2.2 电路编辑	97	技术规格	141
4.3 Multisim8 的虚拟仪器使用方法 ...	99	5.3.2 TDS1002 数字存储示波器面板	
4.3.1 数字万用表	100	结构说明	142
4.3.2 函数信号发生器	101	5.3.3 TDS1002 数字存储示波器应用	
4.3.3 双通道示波器	101	示例	149
4.3.4 波特图仪	103	5.4 BT3C-B 型频率特性测试仪	153
4.3.5 安捷伦和泰克仪器	105	5.4.1 BT3C-B 型频率特性测试仪主要	
4.4 Multisim8 的分析方法	109	技术指标	153
4.4.1 直流静态工作点分析	109	5.4.2 仪器面板结构及说明	154
4.4.2 交流分析	111	5.4.3 BT3C-B 扫频仪的使用方法	155
4.5 高频电路仿真实验	114	5.5 QBG-3D 型 Q 表	156
4.5.1 LC 并联谐振回路仿真实验	114	5.5.1 Q 表的测量原理	157
4.5.2 小信号谐振放大器仿真实验	117	5.5.2 QBG-3D 型 Q 表面板结构	157
4.5.3 丙类谐振功率放大器仿真实验 ...	119	5.5.3 QBG-3D 型 Q 表的使用方法	158
4.5.4 高电平调幅仿真实验	121	参考文献	161
4.5.5 模拟相乘器 DSB 信号产生及解调			
电路仿真实验	123		

第 1 章 高频电子线路实验基础知识

1.1 高频电子线路实验内容及特点

一、高频电子线路实验内容

高频电子线路是通信系统,特别是无线通信系统的基础。随着电子技术的迅速发展,高频电子线路已广泛应用于国民经济、军事和人们日常生活的各个领域。

高频电子线路主要内容包括高频小信号放大器和高频功率放大器,高频振荡器、调制器、解调器、混频器与负反馈控制电路等。除了高频小信号放大器外,都属于非线性电子线路。高频电子线路实验主要研究上述各种电路的工作原理,对常用电路进行工程计算、仿真、调整与测试,学习高频仪表的使用方法。由于高频电子线路工作频率一般都比较,电路比较复杂,在理论分析时往往忽略了一些实际问题,进行一定的归纳和抽象,因此高频电子线路还有许多实际问题及理论概念需要通过实践教学环节进行学习和加深理解。另外,实践经验的积累还可以帮助开阔思路,提高创新能力,所以高频电子线路实验是十分重要的。

高频电子线路实验中所要处理的无线电信号主要有基带(消息)、高频载波信号和已调信号。所谓基带信号,就是没有进行调制之前的原始信号,也称调制信号。高频载波信号主要用于调制的高频振荡(载波)信号和用于解调的本地振荡信号,一般为单一频率的正弦(或余弦)信号或脉冲信号。已调信号就是调制信号对载波信号进行了调制以后的信号。通常调制信号为低频信号,载波和已调信号常属于高频的范畴。

所谓调制,就是用待传输的低频基带信号去控制高频载波信号参数(振幅、频率、相位)的过程。若已调信号的振幅按基带信号规律而变化,则称为振幅调制(调幅、AM),若已调信号的频率和相位按基带信号规律变化,则分别称为频率调制(调频、FM)和相位调制(调相、PM)。当调制信号为数字信号时,则称为键控,三种基本键控方式分别为振幅键控(ASK)、频率键控(FSK)和相位键控(PSK)。高频载波为单一的正弦波,对应的调制称为正弦调制;若载波为一脉冲信号,对应的调制称为脉冲调制。

无线通信采用高频的原因是高频信号适于天线辐射和无线传播。只有当天线的尺寸与信号的波长相比拟时,天线才有较高的辐射效率,从而以较小的信号功率传播较远的距离,接收天线也才能有效地接收信号。由于基带信号频率较低,所以需采用调制技术,将低频基带信号调制在高频信号上,才可实现电信号的有效传输。

另外,高频频率越高,可利用的频带就越宽,不仅可以容纳许多互不干扰的信道,从而实现频分复用或频分多址,所以通过调制利用高频可以实现信道的复用,提高信通的利用率,同时高频还可以传播某些宽频带的消息信号,如图像信号,这是无线通信采用高频的另一个原因。

表示一个信号,可以将它表示为电流或电压的时间函数,通常用时域波形或数学表达式来描述,也可用频谱分析法来表示。对于较简单的信号,如正弦波、周期性方波等,用前两种方法表示很方便,对于较复杂的信号,如话音、图像信号等,由于信号的复杂性和随机性,难以用数学表达式或波形直接描述,这时采用频谱分析法比较方便,这是因为任何形式的信号都可以分解为许多不同频率、不同幅度的正弦信号之和,对于周期性信号,可以表示为许多离散的频率分量,各分量间成谐频关系;对于非周期性信号,可以用傅里叶变换的方法分解为连续谱,信号为连续谱的积分。

频谱特性包含幅频特性和相频特性两部分,它们分别反映信号中各频率分量的振幅和相位的分布情况。

任何信号都会占据一定的带宽,从频谱特性上看,带宽就是信号能量主要部分(一般为90%以上)所占据的频率范围或频带宽度;不同信号的带宽是不相同的。例如,话音信号是非周期性的时间信号,它的频率为0.1~6 kHz,其主要能量集中在0.3~3.4 kHz范围内,通常只需要传递此频率范围的信号,就能保证通话所需要的可懂度及自然度。由于话音信号包括的频率成分是连续变化的,谱线可画成一体。

二、高频电子线路实验特点

高频电子线路实验技能是电子信息类工程技术人员必须具备的基本技能,实验课是培养学生实验技能最直接、最有效的方法。

高频电路实验与低频电路实验类似,但由于高频电路工作频率高,且多工作在非线性状态,所以高频电子线路实验与低频电路实验相比较有如下特点:

- (1) 由于实验电路工作频率高,电路寄生参数以及测试仪表将会严重影响电路的调整和测量结果的准确性。
- (2) 由于高频电路大部分属于非线性电子线路,电路的计算、调试过程比较复杂,故障处理难度较大。
- (3) 高频仪器具有功能多、结构复杂的特点,操作步骤较多。

1.2 高频电子线路实验方法

1.2.1 高频电子线路实验的一般过程

高频电子线路实验的内容广泛,每个实验的目的、步骤也有所不同,但基本过程却是类似的。为了达到每个实验的预期效果,要求参加实验者做到:实验前认真预习,实验中遵守实验操作规则,实验结束后认真撰写实验报告进行总结。

一、实验前的预习

为了避免盲目性,使实验过程有条不紊地进行,在每个实验前都要仔细阅读实验指导书,复习有关理论,理解实验原理,明确实验目的、内容和要求,写出实验预习报告。预习报告内容包括:

- (1) 实验题目、目的、要求。
- (2) 实验的基本原理。
- (3) 实验元器件、仪器设备。
- (4) 电路设计过程、实验步骤及测试方法、数据记录表格。
- (5) 其他。

二、实验操作规则

上好实验课并严格遵守实验操作规则,是提高实验效果、保证实验质量的重要前提。因此实验者必须做到以下几点:

- (1) 实验课必须认真听讲,做好记录,明确本次实验中的有关问题。
- (2) 进入指定实验位置后,首先检查 220 V 交流电源插座及有关开关位置,检查实验所需的元器件、仪器仪表、测试线等是否齐全。
- (3) 实验电路的组装和实验仪器的连接线,必须按预设计报告或实验指导书要求进行。
- (4) 实验电路调整测试前,必须先调整好直流电源,使其极性、电压大小符合要求,然后按实验步骤逐步完成各项调整测试内容。
- (5) 实验过程中应及时分析所测数据和观察到的各种波形是否合理,如有问题及时找出原因。实验过程注意理论联系实际,耐心细致,注意思考,认真分析,不断提高独立工作能力。
- (6) 实验结束后先切断电源,然后将实验结果交指导教师审查同意后才可拆除实验电路,整理好元器件、仪器设备及实验现场,经指导教师同意方可离开实验室。

三、实验报告的撰写

实验报告是对实验工作的总结,也是实验课的继续和提高,通过撰写实验报告,可以培养学生解决综合问题的能力。实验报告的内容及要求如下:

- (1) 实验报告的主要内容有:实验名称、目的和要求、实验电路及工作原理、实验用仪器仪表的型号和名称、实验内容及测试电路、测试数据及有关波形曲线、电路设计过程及计算数据、实验结果分析等。
- (2) 实验报告应采取科学态度,对实验数据和结果进行必要的理论分析,未经重复实验不得随意修改原始数据,更不能伪造实验数据。
- (3) 要详细记录实验调试过程中发生的故障、原因及排除的方法。
- (4) 实验报告应在实验结束后及时完成,要求整齐规范、文理通顺、内容精练、分析合理、客观科学、计算过程清楚、测试数据齐全、图与曲线正确美观。

1.2.2 高频电子线路实验的基本方法

做高频电子线路实验有一定的方法可循,如果盲目地进行实验,不但浪费时间,而且还可能损坏实验器材。

高频电子线路实验一般可按以下步骤进行。

一、合理布线

首先应正确合理布线。具体应考虑以下几点:

(1) 布线时应首先考虑电气性能上的合理性,然后再考虑布线的整齐与美观,做到走线有规律,便于检查。例如,电源的正极、负极和地可以用不同颜色的导线加以区分,一般电源正极用红色,负极用蓝色,地线用黑色。

(2) 走线尽可能要短,信号线不要迂回,信号线之间、信号线与电源线之间不要平行布线,输入线与输出线之间要离得远一些,防止电路产生自激振荡。

(3) 频率较高的实验,最好焊接在通用板上,如果用面包板,元器件插脚和连线要尽量短而直,以免分布参数影响电路性能。

二、检查实验线路

在连接完实验电路后,不要急于接通电源,要认真检查。检查的内容包括:

(1) 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。检查的方法是对照电路图,按照一定的顺序逐一进行检查,比如从输入开始,一级一级地排查,一直检查到输出。

(2) 连接的导线是否导通。这需要用万用表的电阻挡,对照电路图,一个点一个点地检查,在电路图中应该连接的点,是否都是通的,有电阻的两点之间的电阻是否存在等。

(3) 检查电源的正、负极连线,地线是否正确,电源到地之间是否存在短路,信号源连线是否正确。

三、通电调试

检查完实验线路后,进入调试阶段。调试包括静态调试与动态调试。在调试前,应先观察电路有无异常现象,包括有无冒烟,是否有异常气味,用手摸摸元器件是否发烫,电源是否有短路现象等。如果出现异常情况,应该立即切断电源,排除故障后再加电。

(1) 静态调试。静态调试是指在不加入输入信号的条件所进行的直流测量和调整,例如,测量和调整放大电路的直流工作点。

(2) 动态调试。动态调试是以静态调试为基础的。静态调试完成后,给电路输入端加入一定频率和幅度的信号,用示波器观察输出端信号,再用仪器测试电路的各项指标是否符合实验要求。如果出现异常,还要查找出现故障的原因,予以排除后继续调试。

在进行比较复杂的系统性实验的调试时,应该接一级电路,调试一级,这其中包括静态调试和动态调试,正确后,再将上一级电路的输出加至下一级电路的输入,接着调试下一级电路,这样直到最后一级,如果每一级的结果都正确,最后应该能够得到正确的结果。这样做,可以解决电

路一次连接起来由于导线过多,调试起来比较困难的问题,不但节省时间,还可以减少许多麻烦。

四、故障查找与排除

实验中,出现这样或那样的故障应该是常事,但必须认真对待。实验中出现故障不一定是坏事,通过故障的查找与排除,可以提高查找故障和排除故障的能力,使实验技能得到进一步提高。如果实验一帆风顺,反而得不到锻炼和提高。

很多人在实验中一遇到故障就束手无策,无以应对,也有人一遇到故障就拆掉线路重新安装,这些都不是对待故障的正确态度,而且既浪费时间,又学不到真正的实验技能。因此实验中遇到故障正确的作法是,树立信心,认真检查电路,查找故障,运用所学的知识分析故障原因,然后加以解决。

对于一个比较复杂的系统,要在连接了很多元器件的电路中,分析、查找与排除故障,不是一件很容易的事情,关键是要透过现象,分析故障产生的原因,对照电路原理图,采取一定的方法逐步找出故障。

检查故障的方法很多,一般按下列步骤进行:

(1) 不通电检查线路。首先对照电路原理图,用万用表电阻挡检查电路中应该连接的点是否连通,是否有漏线和错线,有无接触不良,元器件有无用错、极性有没有接反,引脚有没有接错位等。

(2) 通电检查。用万用表电压挡将电源电压测量准确后,加至电路中,测量电源到地的电压是否正确。如果是集成电路,直接测量引脚上的正、负电源是否正确。然后,测量电路的静态工作点。当测量值与正确值相差较大时,可以经过分析找到故障。这一步在实际操作时很重要,因为很多故障都可以通过直流测量而发现。

(3) 动态检查。电路接入规定的输入信号,然后借助于示波器等观察电路的输入、输出信号波形,以判断电路工作是否正确。这种方法,可以由前级到后级,逐级观察信号的波形及幅值的变化情况,如果哪一级出现异常,则故障就出现在这一级。也可以由后级到前级,逐级检查。

有时也可断开后一级电路,观察该级输出信号波形和幅值的变化来查找故障,可以起到缩小故障范围的作用。

有时故障比较隐蔽,难以很快排除,这时可以利用更换元器件的方法,将怀疑已经损坏了的元器件加以更换,再去调试,如果故障排除,说明是元器件损坏了,反之,就是其他原因引起的故障。

在进行故障检查时,需注意测量仪器所引起的故障。例如,测量仪器本身故障或测量仪器使用方法不当可造成仪器设备不能正常工作或造成测量数据错误;仪器连接方法不当可造成仪器之间的故障。此外,测试线故障(如测试线断线、接触不良等)、测试点接错等,都可造成故障。

1.2.3 高频电子线路实验注意事项

由于高频电子线路实验工作频率比较高,使用的仪器比较多,而且操作步骤多,为了顺利完成实验、得到理想的实验结果,不断提高实验技能,实验过程中应注意以下几点。

一、连线尽量短

电路中各元器件之间的连线应尽量短,并尽量减小相互之间的寄生耦合。因导线本身具有一定的分布电感和电容,导线越长,分布参数影响越严重。当工作频率到上百兆赫时,引起的作用就十分明显,还可能由于构成正反馈使电路工作不稳定,甚至不能工作。因此,电路安装时,最好是焊接在通用板上,如果用面包板,元器件插脚和连线应尽量短而直。

为了消除电源内阻引起的寄生振荡,可在电源线上加接 RC 或 LC 去耦合电路,电阻一般选 $100\ \Omega$ 左右。

二、正确使用测量仪器

选用仪器时一定要考虑对被测电路的影响尽可能小。因被测电路本身工作频率高,若所用的仪器具有很大的输入电容或很小的输入电阻,则会导致电路不能正常工作,或能工作也会造成极大的测量误差。如示波器的输入电容会影响谐振回路的调谐等。此时仪器测试线应采用带有衰减探头的屏蔽线并将衰减置于 $\times 10$ 挡。其次,为了减小仪器对被测电路的影响,减小测量误差,选择合适的测量点也很重要,测量点应取在电路的低阻抗点,或采用隔离措施。

选用测量仪器还需注意仪器的带宽必须大于被测电路的带宽,否则也会造成较大的测量误差。

仪器测试线应使用屏蔽线,屏蔽线的外层连线应接至电路的公共地端。示波器带有衰减探头的屏蔽线可以减小分布电容的影响,提高测量精度。

三、注意共地问题

实验中一定要注意被测电路仪表的共地问题。测量仪器本身有一个接地线,一般与机壳连接,用黑色导线。测试连线或输入、输出连线一般为红色或黄色,称为正端或芯线。正确连线应该是地线与地线相连,芯线与芯线(或说正端与正端)相连,否则高频感应十分严重,干扰信号可以进入到检测仪表输入端,造成很大的测量误差,这时若用示波器观测波形,可以看到许多干扰信号加了进去,波形十分不干净,无法精确测量。

四、及时分析测试结果

实验过程中应及时对测试结果进行分析,以便纠正测试过程中因干扰影响及其他原因而得到不准确的结果。

五、注意实验安全

实验过程应遵守实验安全规则,以免发生人身伤害事故,防止实验设备的损坏。

1. 人身安全

为了保障人身安全,实验者必须遵守下列安全规则:

(1) 实验前应搞清楚电源开关、插座的位置,了解其正确操作方法;更换熔断器必须断开电源进行。

(2) 检查仪器设备的电源线、实验电路中有强电通过的连接线等有无良好的绝缘外套,其芯线不得裸露。

(3) 实验过程中要养成实验前先接实验电路后接通电源,实验结束,先切断电源后拆实验电

路的操作习惯,同时实验结束应把所有仪器电源开关切断,特别是电烙铁必须拔出电源插头。

(4) 实验时万一发生触电事故或其他异常现象,不要惊慌,应立即切断电源,并保护现场,报告指导教师检查事故原因。

2. 仪器设备安全

为防止仪器设备和实验装置损坏,实验时应遵守下列安全规则:

(1) 使用仪器设备前,应先了解其性能和操作方法,按操作程序正确使用,切不可不懂而盲目操作。

(2) 要树立爱护公物的良好习惯,不得随意扳动、按入、旋转仪器面板上的旋钮、开关和按键,不能乱动与本次实验无关的仪器和设备。

(3) 仪器设备使用完毕后,应关断电源开关,同时将面板上各旋钮、开关、按键置于合适的位置。

1.3 高频电路中的元器件

高频电路中使用的元器件与低频电路中使用的元器件基本相同,但要注意它们在高频使用时的高频特性。

1.3.1 高频电路中的元件

高频电路中的元件主要是电阻器、电容器和电感器,它们都属于无源的线性元性。

一、高频电阻

一个实际的电阻器,在低频时主要表现为电阻特性,但在高频使用时不仅表现有电阻特性,而且还表现有电抗特性。电阻器的高频等效电路如图 1.3.1 所示,其中 C_R 为分布电容, L_R 为引线电感, R 为电阻。分布电容和引线电感越小,电阻的高频特性越好。电阻器的高频特性与制作电阻的材料、电阻的封装形式和尺寸大小有密切的关系。就高频特性,一般来说,金属膜电阻比碳膜电阻好,碳膜电阻比线绕电阻好。薄膜电阻中,若电阻体上刻有螺旋槽,则工作频率在 10 MHz 左右,若没有螺旋槽,则工作频率很高;表面贴装(SMD)电阻比引线电阻的好,小尺寸的电阻比大尺寸的电阻好。频率越高,电阻器的高频特性表现越明显。在实际使用时,要尽量减小电阻器高频特性的影响,使之表现为纯电阻。

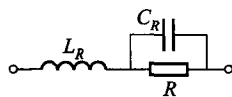


图 1.3.1 电阻器的高频等效电路

二、高频电容

电容器在高频的阻抗可用图 1.3.2(a) 所示等效电路表示,其中,电阻 R_c 为极间绝缘电阻,它是由于两导体间介质的非理想(非完全绝缘)所致,通常用损耗角 δ 或品质因数 Q_c 来表示;电感 L_c 为分布电感或(和)极间电感,小容量电容器的引线电感也是其重要组成部分。

电容器的品质因数 Q_c 及损耗角 δ 的定义为

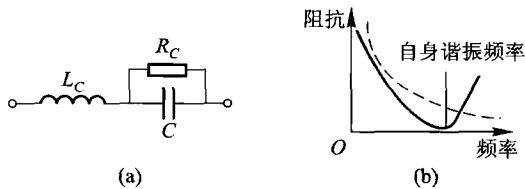


图 1.3.2 电容器的高频等效电路

(a) 电容器的等效电路 (b) 电容器的阻抗特性

$$\left. \begin{aligned} Q_c &= \omega C R_c \\ \tan \delta &= \frac{1}{Q_c} \end{aligned} \right\} \quad (1.3.1)$$

Q_c 及 δ 的大小主要由介质材料决定,常用的云母电容器、陶瓷电容器等 Q_c 值在几千到几万数量级,所以损耗角 δ 很小, δ 角越小,元件的损耗就越小,损耗角大的电容器不适用于高频工作。高频电路中电容的损耗可以忽略不计,但到了微波波段,电容中的损耗就必须加以考虑。

理想电容器的阻抗为 $1/(j\omega C)$,如图 1.3.2(b)中虚线所示,其中 ω 为工作频率。但实际的电容器在高频运用时的阻抗频率特性如图 1.3.2(b)中实线所示,呈 V 形特性,而且其具体形状与电容器的种类和电容量的不同有关。由此可知,每个电容器都有一个自身谐振频率,当工作频率小于自身谐振频率时,电容器呈现正常的电容特性,但当工作频率大于自身谐振频率时,电容器将等效为一个电感。

在高频电路中常使用片状电容和表面贴装电容。

三、高频电感

高频电感主要用作谐振元件、滤波元件和阻隔元件(称为高频扼流圈)。高频电感一般由导线绕制而成,也称电感线圈。可以是空心的或是有骨架(如有机玻璃或聚四氟乙烯等塑料、锰锌或镍锌铁氧体等磁芯或者其他软磁材料等)的,也可以是单层的或多层的。绕制高频电感的导线都有一定的直流电阻,这也成为整个高频电感的直流电阻 R ,骨架也会引起额外的损耗。

在高频电路中,电感线圈的损耗是不能忽略的。工作频率越高,集肤效应越强,再加上涡流损失、磁芯电感在磁介质内的磁滞损失以及由电磁辐射引起的能量损失等,都会使高频电感的损耗(等效电阻)大大增加。一般地,交流电阻远大于直流电阻,因此,高频电感的损耗电阻主要指交流电阻。所谓集肤效应是指随着工作频率的增高,流过导体的交流电流向导线表面(皮肤)集中这一现象,如图 1.3.3 所示。当频率很高时,导线中心部位几乎完全没有电流流通,这相当于把导线的横截面积减小为导线外圈的圆环面积,如图 1.3.3(b)所示,导电的有效面积较直流时大为减小,电阻 r 增大,工作频率越高,圆环的有效厚度越薄,导线电阻 r 就越大。为了减小集肤效应的影响,在短波和超短波波段,常把导线表面镀银,以减小导线表面电阻。

在高频电子技术中,并不直接用交流电阻来表示高频电感的损耗性能,而是引入一个易于测量、使用方便的参数——品质因数 Q 来表征。品质因数 Q 定义为高频电感的感抗与其串联损耗

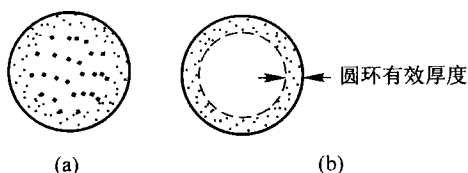


图 1.3.3 集肤效应示意图

(a) 导线横截面电流分部 (b) 集肤效应形成圆环电流分布

电阻之比。 Q 值越高,表明该电感的储能作用越强,损耗越小。因此,在中短波段和米波波带,高频电感可等效为电感和电阻的串联或并联,如图 1.3.4(a)、(b)所示。由此可得高频电感的品质因数为

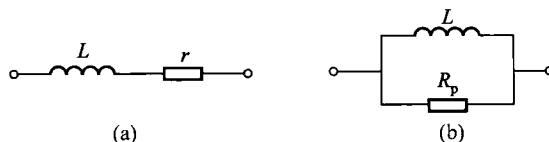


图 1.3.4 高频电感的串、并联等效电路

(a) 串联等效电路 (b) 并联等效电路

$$Q = \frac{\omega L}{r} = \frac{R_p}{\omega L} \quad (1.3.2)$$

式中, ω 为工作角频率。对于一个电感在一定的频率范围的损耗电阻 r 随频率 ω 增高而加大,与此同时,感抗 ωL 也随 ω 而增加,因而一个电感在适当的工作频段内,可以认为其 Q 值近似为常数,不随频率而改变。

若工作频率更高,电感内线圈匝与匝之间及各匝与地之间的分布电容的作用就十分明显,等效电路应考虑电感两端总的分布电容,它应与电感并联。为了使电路小型化,减少连线和由此引入的电磁干扰,避免寄生参数的影响,高频电感可采用表面贴装(SMD)形式,也可将电感集成在电路板上,制成集成电感。

与电容器类似,高频电感器也具有自身谐振频率。在自身谐振频率上,高频电感的阻抗的幅值最大,而相角为零,当工作频率超过自身谐振频率时,该电感就不再是一个储能元件了。

1.3.2 高频电路中的有源器件

高频电路中的有源器件主要是二极管、晶体管和集成电路,完成信号的放大、非线性变换等功能。从原理上看,用于高频电路的各种有源器件与用于低频或其他电子线路的器件没有什么根本不同,它们是各种半导体二极管、晶体管以及半导体集成电路,这些器件的物理机制和工作原理在有关课程中已详细讨论过。只是由于工作在高频范围,对器件的某些性能要求更高。随着半导体和集成电路技术的高速发展,能满足高频应用要求的器件越来越多,也出现了一些专门