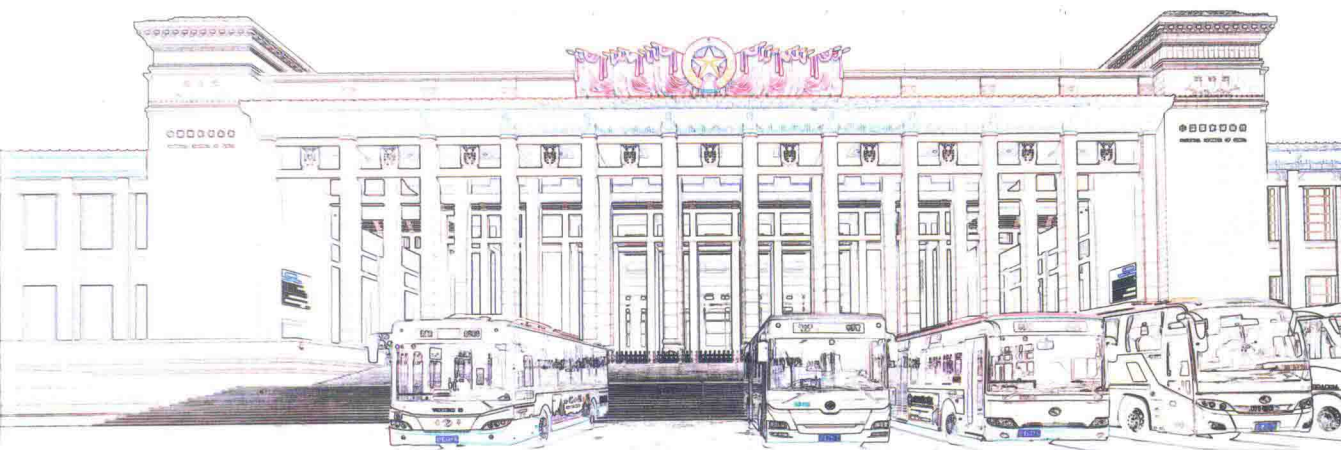


全国普通高校  
电子信息与  
电气学科  
基础规划教材

# 高频电子线路

## 实验指导书

杨光义 金伟正 编著



清华大学出版社

全国普通高校电子信息与电气学科基础规划教材

# 高频电子线路

## 实验指导书

杨光义 金伟正 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以能力培养为主线,实验任务及要求难易结合,从单元电路的调试到系统测试,从基本技能训练到综合技能培养,充分发挥每个学生的实验积极性和创新精神。实验内容突出高频基础实验,尝试用各种不同的手段实现相同的功能,既便于学生全面掌握高频电路的基本工作原理,真正做到融会贯通,又能及时了解现代无线电通信的新技术。

本书共分为基础知识、基础实验、常用元器件和常用仪器四大部分。可作为高等学校电子信息工程、通信工程等专业“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。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

高频电子线路实验指导书/杨光义,金伟正编著. —北京:清华大学出版社,2017.1

(全国普通高校电子信息与电气学科基础规划教材)

ISBN 978-7-302-44921-8

I. ①高… II. ①杨… ②金… III. ①高频—电子电路—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN710.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 213058 号

责任编辑:曾 珊 梅栾芳

封面设计:傅瑞学

责任校对:焦丽丽

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:三河市君旺印务有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:8.75

字 数:215千字

版 次:2017年1月第1版

印 次:2017年1月第1次印刷

印 数:1~1500

定 价:25.00元

产品编号:070477-01

# 前言

本书以武汉大学 2012 年自主研发的第 3 代高频实验箱为基础,完成实验教学至少需要 32 个学时,书中给出了完整的电路图,各部分实验均可在配有高频测量仪器的实验室中进行。

通过对实验课程的学习,学生应能熟练掌握各种高频测量仪器、仪表、工具的正确使用方法,熟悉高频电子线路的基本测量技术和方法,以及高频电子线路的基本调试方法和调整技巧;应能提高学生对高频的工程实践技能,使其具备理论联系实际的工作能力,学生应根据实验结果,通过理论分析找出内在联系,从而完成对电路有关参数的调整,使其达到电路性能指标的要求;使学生能够对实验的数据和结论具有初步的分析能力,并能够根据所测的数据绘制出对应参数的关系曲线图,写出科学规范的实验报告及分析结论,并完成实验课后的作业。

## 主要内容

本书共分为基础知识、基础实验、常用元器件、常用仪器四大部分。在高频电子线路基础实验中,主要包括表 1 所示内容。

表 1 高频电子线路基础实验

序号	必做实验	选做实验
实验一	高频小信号单调谐放大器	高频小信号双调谐放大器
实验二	高频谐振功率放大器及倍频器	
实验三	LC 正弦波振荡器	晶体振荡器 集成压控振荡器
实验四	集电极调幅与二极管包络检波	
实验五	模拟乘法器构成的调幅器与同步解调	
实验六	变容二极管调频	变容二极管调频倍频 集成电抗管调频
实验七	乘积型混频器	三极管混频器 集成混频器
实验八	乘法鉴频器	比例鉴频器 集成鉴频器
实验九	锁相环调频发射接收系统	锁相环综合实验电路

常用实验仪器的操作中,主要包括表 2 所示内容。

表 2 常用实验仪器

序号	名称	厂家	型号	主要参数
1	高频信号源	Rigol	DG4162	双通道 160MHz
2	数字示波器	Agilent	DSO-X2024A	四通道 200MHz
3	频谱分析仪	Agilent	N9320B	9kHz~3.0GHz
4	网络分析仪	Agilent	E5061B	5Hz~3.0GHz

## 本书特点

本书以能力培养为主线,实验任务及要求难易结合,从单元电路的调试到系统测试,从基本技能训练到综合技能培养,充分发挥每个学生的实验积极性和创新精神。实验内容以突出高频基础实验为出发点,尝试用各种不同的手段实现相同的功能,既便于学生全面掌握高频电路的基本工作原理,真正做到融会贯通,又能及时了解现代无线电通信的新技术。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程等专业“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。

## 联系作者

本书由杨光义老师主编,金伟正老师参编并主审,王晓艳老师、代永红老师和罗义军老师提出了很多宝贵的想法和建设性的建议,对本书的定稿起了很大的作用。由于编写时间仓促,书中难免有不妥或错误之处,如果您对本书有任何意见或建议,或者对本书中的某些内容或章节有兴趣,不妨发电子邮件告诉我(电子邮箱 [ygy@whu.edu.cn](mailto:ygy@whu.edu.cn)),编者不胜感激。

## 致谢

衷心感谢在本书编写期间给予我帮助的人,尤其要感谢我的学生们,他们对本书贡献很大。陶琴帮助完成了本书的初稿和实验数据的整理,王雪迪和窦江节参与了本书电路图的整理,没有他们的付出,就没有这本书的面世。

另外,特别感谢我的同事兼领导——陈小桥老师,他在本书的整个编写过程中给予了很多指导和有力的支持。同时,特别感谢武汉大学电子信息学院对本书的编写给予的大力支持。

编者

2016年5月

# 目 录

第 1 章 高频电子线路实验基础知识 .....	1
1.1 研究高频电子实验的意义 .....	1
1.2 高频电子线路实验的内容方法 .....	1
1.2.1 高频电子线路实验的内容 .....	1
1.2.2 高频电子线路实验的一般过程 .....	2
1.2.3 高频电子线路实验的基本方法 .....	3
1.2.4 高频电子线路实验注意事项 .....	4
1.2.5 高频电子线路实验的特点 .....	6
1.2.6 思考 .....	6
第 2 章 高频电子线路基础实验 .....	7
2.1 高频小信号调谐放大器 .....	7
2.1.1 实验目的 .....	7
2.1.2 实验原理 .....	7
2.1.3 实验电路 .....	8
2.1.4 实验内容及步骤 .....	9
2.1.5 思考题 .....	11
2.1.6 实验报告 .....	11
2.1.7 实验参考现象 .....	11
2.2 高频功率放大器及倍频器 .....	12
2.2.1 实验目的 .....	12
2.2.2 实验原理 .....	12
2.2.3 实验电路 .....	15
2.2.4 实验内容及步骤 .....	17
2.2.5 思考题 .....	18
2.2.6 实验报告 .....	18
2.2.7 实验参考现象 .....	18
2.3 LC 振荡器 .....	21
2.3.1 实验目的 .....	21
2.3.2 实验原理 .....	21
2.3.3 实验电路 .....	23
2.3.4 实验内容及步骤 .....	23
2.3.5 思考题 .....	25
2.3.6 实验报告 .....	25

2.3.7	实验参考现象	26
2.4	集电极调幅与二极管包络检波	28
2.4.1	实验目的	28
2.4.2	实验原理	28
2.4.3	实验电路	33
2.4.4	实验内容及实验步骤	34
2.4.5	思考题	36
2.4.6	实验报告	37
2.4.7	实验参考现象	37
2.5	模拟乘法器调幅和同步检波	43
2.5.1	实验目的	43
2.5.2	实验电路和原理	43
2.5.3	实验内容	46
2.5.4	实验报告	49
2.5.5	实验参考现象	50
2.6	变容二极管调频器	56
2.6.1	实验目的	56
2.6.2	实验原理	56
2.6.3	实验电路	59
2.6.4	实验内容及步骤	62
2.6.5	实验报告	64
2.6.6	实验参考现象	64
2.7	乘积型混频	65
2.7.1	实验目的	65
2.7.2	实验原理	66
2.7.3	实验电路	67
2.7.4	实验内容及步骤	68
2.7.5	实验报告	71
2.7.6	实验参考现象	71
2.8	乘积型相位鉴频器	72
2.8.1	实验目的	72
2.8.2	实验原理	72
2.8.3	实验电路及性能指示的测试	75
2.8.4	实验内容	78
2.8.5	实验报告	79
2.8.6	实验参考现象	79
2.9	锁相环调频发射接收系统	82
2.9.1	实验目的	82
2.9.2	实验原理	82

2.9.3	实验电路 .....	85
2.9.4	实验内容及步骤 .....	87
2.9.5	实验报告 .....	88
2.9.6	实验参考现象 .....	88
<b>第3章</b>	<b>高频电子线路常用元器件 .....</b>	<b>89</b>
3.1	导线 .....	89
3.2	电阻 .....	89
3.2.1	贴片电阻的物理结构 .....	90
3.2.2	贴片电阻的封装和性能 .....	90
3.2.3	贴片电阻的标称方法 .....	92
3.3	电感 .....	93
3.3.1	常用的高频电感 .....	94
3.3.2	电感的高频特性 .....	95
3.4	电容器 .....	97
3.4.1	电容容量值 .....	97
3.4.2	高频电路中常用的电容 .....	100
3.4.3	电容器的高频特性 .....	103
3.4.4	电容的作用 .....	105
3.5	晶体二极管 .....	106
3.5.1	变容二极管 .....	107
3.5.2	混频二极管 .....	107
3.6	晶体三极管 .....	108
3.6.1	高频小功率管 .....	108
3.6.2	高频功率放大管 .....	108
3.7	高频集成电路 .....	109
<b>第4章</b>	<b>高频电子线路常用仪器 .....</b>	<b>110</b>
4.1	RIGOL DG4162 信号源 .....	110
4.2	Agilent DSOX2024A 示波器 .....	114
4.3	Agilent N9320B 频谱分析仪 .....	120
4.4	Agilent E5061B 网络分析仪 .....	122
<b>附录 A</b>	<b>高频电子线路实验系统简介 .....</b>	<b>128</b>
A.1	实验系统的主要特点 .....	128
A.2	实验系统的组成 .....	129
A.3	实验系统的主要技术指标 .....	130
	<b>参考文献 .....</b>	<b>132</b>



# 第1章 高频电子线路实验基础知识

## 1.1 研究高频电子实验的意义

“高频电子线路”是电子信息、通信类专业本科生的主干技术基础课程,该课程的基本目的是使学生通过对常用电子元件器件、模拟电路以及系统的分析和设计的学习,掌握高频电子线路各单元电路的工作原理、电路组成和基本概念。掌握各种非线性电子线路的分析和设计方法,为电子系统的工程实现等后续课程打下必备的基础。该课程强调理论联系实际,注重培养理论和实际相结合的能力。在实验技能方面,要求能比较熟练地掌握高频电子线路常用测试仪器的使用方法与基本测试技术,对高频电子线路的基本单元电路具有初步设计、安装和调试的能力。

高频电子线路的基本概念很多,电路形式也很多,课程强调学以致用学习思路,要求学生注重培养理论和实际相结合的能力。学习好理论知识以后,通过实验引导学生用理论指导实验,在实验过程中发现问题,再反过头来复习理论,做到举一反三、融会贯通,真正掌握好这门课程。如果仅仅只学习理论知识,纸上谈兵,没有主观上的感受,很难真正学好这门课程。

实验教学是理论教学的延伸,但是又不能完全依附于课堂理论教学。实验教学要有明确的教学目的和鲜明的实践特色,必须注重实验技能的培养。实验技能就是要求学生通过实验课程的学习,能灵活运用基本理论,提高高频的工程实践技能,比较熟练地掌握高频电子线路常用测试仪器的使用方法与基本测试技术,对高频电子线路的基本单元电路进行实验方案的初步设计,焊接和安装电路板,然后根据实验结果,找出其内在联系,从而完成对电路相关参数的调整,使其达到电路性能指标的要求,并对实验的数据和结论具有初步的分析能力。实验过程中师生还可以互相交流,对发现的问题进行分析和讨论,提出各自的见解,最终找到行之有效的解决办法,提高对相关问题的理解。

## 1.2 高频电子线路实验的内容方法

### 1.2.1 高频电子线路实验的内容

高频电子线路主要内容包括基础高频电子电路、高频小信号放大器、高频功率放大器、高频振荡器、振幅调制电路、解调与混频电路、角度调制与解调电路、通信系统中的反馈控制电路等。除了高频小信号放大器可以使用线性电路的分析方法,等效为线性电子线路外,其他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,学习高频仪器仪表的使用方法。由于高频电子线路的工作频率一般比较高,电路比较复杂,在理论分析时往往会忽略一些实际问题,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,加深理解。另外,实践经验的累积也有助于开阔思路,提高创新能力,所以高频电子线路实验是十分重要的一门课程。

高频电子线路实验中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,载波信号和已调信号常属于高频的范畴。

### 1.2.2 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。为了使每个实验的教学达到预期效果,除了要遵守电子技术实验的一般规则外,还要求参加的实验者做到三个必须:实验前必须认真预习,实验中必须遵守实验操作规则,实验结束后必须认真撰写实验报告进行总结。

#### 1. 实验前预习

为了避免实验的盲目性,使实验过程有条不紊地进行,在每个实验前都必须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。

#### 2. 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,明确本次实验中的相关问题。
- (2) 进入指定实验位置后,首先检查 220V 交流电源插座及相关开关位置,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,必须按设计报告或实验指导书的要求进行。
- (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,如有问题应及时找出原因。实验过程应注意理论联系实际,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,然后将实验结果交给指导老师,经其审查同意后才可拆除实验电路,整理好元器件、仪器设备,清理实验现场,经指导教师同意方可离开实验室。

#### 3. 实验报告的撰写

实验报告是对实验工作的总结,也是实验课的延续和提高,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、内容精炼、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。

### 1.2.3 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,而且还可能损害实验器材。高频电子线路实验一般可按以下步骤进行。

#### 1. 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) 走线要尽可能短,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,输入线和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。

#### 2. 检查实验电路

连接完实验电路后,不要急于接通电源,要认真检查。检查内容包括:

(1) 连线是否正确。包括有没有接错的导线,有没有多连和少连的导线。检查方法是对照电路图,按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。使用万用表的电阻挡,对照电路图,采用穷举法,一个点一个点地检查,检查在电路图中应该连接的点是否都导通,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,以及地线是否正确,电源到地之间是否存在短路,信号源连接线是否正确。

#### 3. 通电调试

检查完实验线路后,进入调试阶段。调试包括静态调试和动态调试。在调试前,应先观察电路有无异常,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输入信号的条件下所进行的直流测量的调整,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,则要查找出现故障的原因,故障排除后再继续调试。

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,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出,接着再调试下一级电路,这样直到最后一级,只有每一级的结果都正确,才能够得到正确的结果。这样做可以避免电路一次连接起来导线过多,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。

#### 4. 故障查找与排除

实验中,出现故障是常事,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的提高。如果实验一帆风顺,反而得不到锻炼和提高的机会。

很多人在实验中一旦遇到故障就束手无策,无以为对,也有人一遇到故障就拆掉线路重新安装,这都不是对待故障的正确态度,既浪费时间,又学不到真正的实验技能。实验中遇到故障后正确的做法是: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。

检查故障的方法很多,一般按下列步骤进行:

(1) 不通电检查。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,有无接触不良的情况,元器件是否用错,极性有没有接反,引脚有没有接错位等。

(2) 通电检查。首先,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,则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,经分析可以找到故障。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仪器观察电路的输入、输出信号波形,以判断电路工作是否正常。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。

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

(5) 有时故障比较隐蔽,难以排除,这时可以通过更换元器件的方法,将怀疑已经损坏了的元器件更换,再进行调试。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。

(6) 在进行故障检查时,需注意测量仪器所引起的故障。例如,由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测量数据错误。仪器连接方法不当也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。

#### 1.2.4 高频电子线路实验注意事项

由于高频电子线路实验的工作频率比较高,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。

### 1. 连线尽量短

电路中各元器件之间的连线应尽量短,并尽量减小互相之间的寄生耦合。因导线本身具有一定的分布电感和电容,故导线越长,分布参数影响越严重。当工作频率达到上百兆赫时,最好是焊接在通用板上,如果用面包板,则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,电阻一般应选  $100\Omega$  左右。

### 2. 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。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,或即使能工作也会引起极大的测量误差。比如示波器的输入电容会影响谐振回路的调谐等,此时仪器测量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,降低测量误差,选择合适的测量点也很重要,测量点应选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。

### 3. 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,一般用黑色导线与机壳连接。测量连线或输入、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、芯线与芯线(或说正端与正端)相连,否则高频感应会十分严重,干扰信号会进入到检测仪表的输入端,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,无法进行精确测量。

### 4. 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或其他原因而得到不准确的结果。

### 5. 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,防止实验设备被损坏。

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,了解其正确的操作方法;更换熔断器必须断开电源进行。

(2) 检查仪器设备的电源线,检查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电源,实验结束后先切断电源后拆实验电路的操作习惯,同时实验结束后应把所有的仪器电源开关切断,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情况,不要惊慌,应立即切断电源,并保护现场,报告指导老师检查事故原因。

为防止仪器设备和实验装置被损坏,实验时应遵守下列安全规则:

(1) 使用仪器设备之前,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、旋转仪器面板上的按钮,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,同时将面板上的各旋钮、开关、按键置于合适的位置。

(4) 各实验模块上的电源开关、拨码开关、复位开关、自锁开关、手调电位器和旋转编码器均为磨损件,不要频繁按动或旋转;勿直接用手触摸芯片、电解电容等元件,以免造成损坏;各模块中的贴片可调电容是出厂前调试使用的,出厂后的各实验模块功能已调至最佳状态,无须另行调节,否则将会对实验结果造成严重影响,若已调动应尽快复原。

### 1.2.5 高频电子线路实验的特点

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。

高频电子实验与低频电子实验类似,但由于高频电路的工作频率高,且多工作在非线性状态,所以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,因此电路寄生参数以及测试仪表使用不当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线路,电路的计算、调试过程比较复杂,因此故障处理难度较大。

(3) 高频仪器具有功能多、结构复杂的特点,操作步骤较多。

### 1.2.6 思考

(1) 高频电子线路需要处理哪三种信号?这三种信号各有什么特点?如何表示这些信号?

(2) 高频电子线路实验与低频电子线路实验相比较,有哪些特点?

(3) 要上好实验课,实验者必须遵守哪些规则?

## 第 2 章 高频电子线路基础实验

### 2.1 高频小信号调谐放大器

#### 2.1.1 实验目的

- (1) 熟悉单级小信号调谐放大器的工作原理和设计方法。
- (2) 熟悉并联谐振回路两端并接电阻  $R_L$  对频率特性的影响,并分析与回路品质因数、回路通频带及选择性之间的关系。
- (3) 理解放大器的传输特性。了解放大器电压传输特性曲线  $V_{om} \sim V_{im}$  (在谐振点) 的测量方法,并且了解  $I_c$  对传输特性曲线的影响。

#### 2.1.2 实验原理

##### 1. 高频小信号单调谐放大器

如图 2.1.1 所示电路为晶体管共发射极高频单级小信号单调谐放大器。它不仅能放大高频信号,而且还有一定的选频作用。此电路采用 LC 并联谐振回路作负载,根据谐振回路的特性,谐振放大器对于靠近谐振频率的信号有较大的增益,对于远离谐振频率的信号,增益迅速下降。

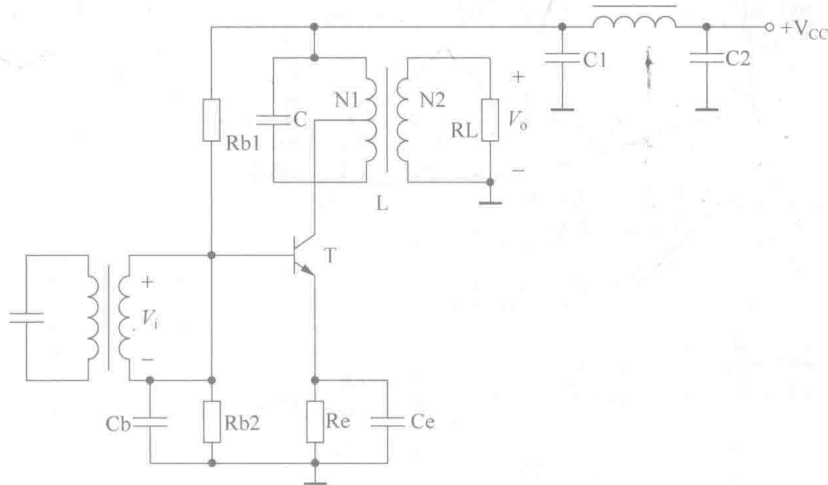


图 2.1.1 高频小信号单调谐放大器

图 2.1.1 中,  $C_b$  是输入耦合电容, 滤除输入信号中的直流信号。电阻  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  及  $R_e$  为晶体管提供合适静态工作点, 保证工作于放大区。  $C_e$  是  $R_e$  的旁路电容, 滤除交流信号, 从而减小交流信号对静态工作点的影响。  $L$ 、 $C$  构成并联谐振回路,  $R_L$  是集电极交流电阻, 它影响了回路的品质因数、增益和带宽。同时为了减少  $R_L$  对回路的影响, 保证高的  $Q_p$  值, 采用阻抗变换网络(图 2.1.1 中为变压器耦合)。

## 2. 高频小信号双调谐放大器

双调谐回路谐振放大器就是将单调谐回路放大器的单调谐回路改用双调谐回路,具有频带较宽、选择性较好的特点。

### 2.1.3 实验电路

#### 1. 高频小信号单调谐放大器

高频小信号单调谐放大器实验参考电路如图 2.1.2 所示。C5\_A 为耦合电容,滤除输入交流信号中直流信号。电阻 Rb1\_A、Rb2\_A 及 Re\_A 为晶体管提供合适静态工作点,保证其工作于放大区。Ce1\_A 是 Re\_A 的旁路电容,滤除交流信号,从而减小交流信号对静态工作点的影响。Re\_A 为发射极电阻,取不同值可改变集电极电流 I<sub>c</sub> 和放大器增益。L2\_A、L3\_A、C4\_A、CT1\_A 共同构成并联谐振回路,其中 CT1\_A 为可调电容,用于对电路进行调谐。RL\_A 为谐振回路并联电阻,取不同的值可改变回路的有载 Q 值,从而改变放大器的增益和通频带。L2\_A、L3\_A 两电容中采用部分接入的阻抗变换网络引为输出端。C2\_A 为耦合电容,滤除输出信号中直流信号。其余 L1\_A、C3\_A、C1\_A 为滤波器件,滤除直流信号中的噪声。

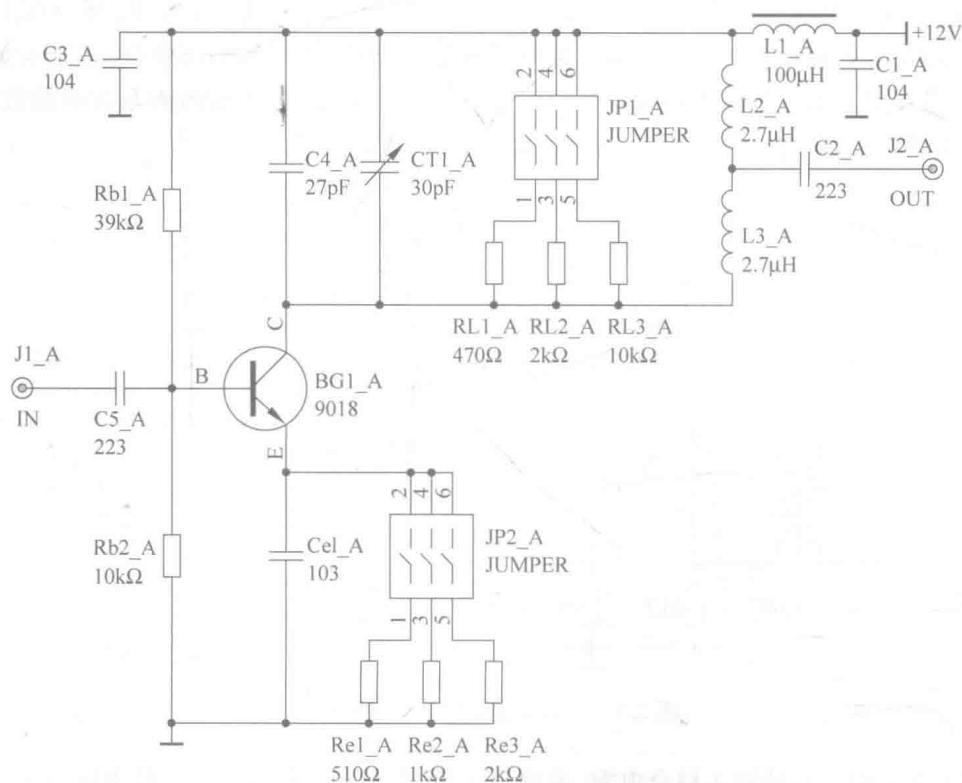


图 2.1.2 高频小信号单调谐放大器

#### 2. 高频小信号双调谐放大器

双调谐回路谐振放大器就是将单调谐回路放大器的单调谐回路改用双调谐回路,具有频带较宽、选择性较好的特点,实验电路如图 2.1.3 所示。



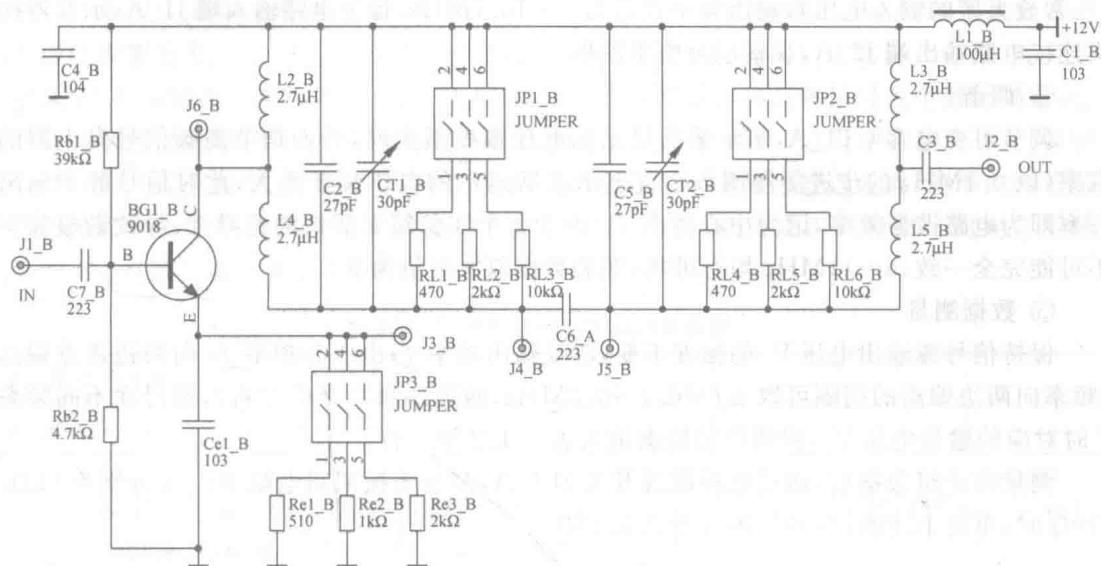


图 2.1.3 高频小信号双调谐放大器

### 2.1.4 实验内容及步骤

#### 1. 必做实验：高频小信号单调谐放大器

##### 1) 实验电路

实验电路如图 2.1.2 所示，对应实验箱“小信号放大单级单调谐”电路模块。

##### 2) 静态测量

通过短路子连通跳线开关 JP2\_A 的 3、4 两点，选取发射极电阻  $R_{eA} = 1\text{k}\Omega$ 。断开跳线开关 JP1\_A，使  $R_{LA}$  不连入电路。用万用表测量各静态点 ( $V_{BQ}$ 、 $V_{EQ}$ 、 $V_{CQ}$ )，将测量值填入表 2.1.1 中。

表 2.1.1 静态工作点测量表

静态工作点/V	$V_{BQ}$	$V_{EQ}$	$V_{CQ}$
实际测量值/V			

计算  $V_{BEQ}$ 、 $V_{CBQ}$ 、 $V_{CEQ}$ 、 $I_{CQ}$ ，并且判断此时晶体管是否工作在放大区。

**注意：**静态点测量和放大区的判断

◇ 静态点测量： $V_{BQ}$ 、 $V_{EQ}$ 、 $V_{CQ}$  测量值均为相应引脚对地测量值。 $V_{BEQ} = V_{BQ} - V_{EQ}$ ，

$$V_{CBQ} = V_{CQ} - V_{BQ}, V_{CEQ} = V_{CQ} - V_{EQ}, I_{CQ} \approx \frac{V_{EQ}}{R_e};$$

◇ 放大区的判断： $V_{BEQ} \approx 0.6\text{V}$ ， $V_{CBQ} > 0\text{V}$ ， $V_{CEQ} \geq 1\text{V}$ ， $I_{CQ} \approx 2\text{mA}$ 。

##### 3) 动态研究

##### (1) 单调谐电路电阻 $R_{LA}$ 对放大器频率特性的影响

##### ① 电路连接

当选取回路电阻  $R_{LA} = 10\text{k}\Omega$ ， $R_{eA} = 1\text{k}\Omega$  时(通过短路子连通跳线开关 JP1\_A 的 5、6 两点和跳线开关 JP2\_A 的 3、4 两点)，将高频信号发生器的输出幅度设置为  $V_{pp} = 100\text{mV}$