

本章介绍高频电子线路实验的作用、目标和任务；设计的实验教学体系；高频电子线路实验过程中的关键过程和基本要求；高频电子线路实验的测量、测量误差、实验数据的处理和常见故障的排除；实验安全操作规则；常用函数发生器、示波器测量高频电子线路实验的常用功能。实验基本过程和要求是开展实验的前提,为后续章节验证性实验和设计性实验奠定基础。

1.1 高频电子线路实验的重要性

“高频电子线路”课程具有理论性和实践性的特点。要掌握高频电子线路理论,离不开实验。实验是人们认识自然、检验理论正确与否以及科学研究工作的重要手段。

众所周知,电子现象及电子电路过程直观性比较弱,需要通过检测仪器的测量来间接地观察获取。电压、电流变化具有瞬时性,观察具有时效性,电子元器件对高频信号和低频信号具有不同的属性,只有熟悉电子仪器仪表,并掌握正确的测试测量方法,才能了解电子电路中电压、电流的变化规律,才能对电子电路或装置或设备进行测试研究。因此要学好高频电子线路,必须加强实验教学。

实验不仅能帮助学生巩固和加深理解所学的理论知识,还能训练实验技能,培养实际工作能力,树立正确的工程理念和严谨的科学作风,全面提高工程技术方面的素质,为将来更好地解决现代科学技术研究、工程建设和开发过程中遇到的新问题打下良好的基础。

1.2 高频电子线路实验的目标任务

1.2.1 高频电子线路实验的目标

实验是高等学校工科学生培养的一项重要实践性环节,对应用科学实验培养创造型人才起着理论教学不可替代的作用。高频电子线路实验将培养学生以下几方面的能力:

(1) 培养学生正确使用设备的能力,要求学生学会正确使用常用电子仪器,熟悉电子电路中常用元器件的性能。

(2) 培养学生理论联系实际的能力,要求学生能根据所掌握的知识,阅读简单的电子电路原理图。

(3) 培养学生的实验动手和工作能力,要求学生能独立地进行实验操作,能准确地读取实验数据、测绘波形和曲线。

(4) 培养学生分析问题和解决问题的能力,要求学生能处理实验操作中出现的問題,学会处理实验数据,分析实验结果,撰写实验报告。

(5) 培养学生的工程实际观点和职业素养,要求学生掌握一定的安全用电常识,爱护仪器设备,遵守操作规程。

1.2.2 高频电子线路实验要掌握的技能

高频电子线路实验要掌握的基本技能如下:

(1) 认识常用电子仪器仪表。常用电子仪器仪表有直流稳压电源、示波器、函数信号发生器、万用表、频谱分析仪等。要求了解仪器仪表的组成原理、功能和主要技术性能;掌握正确的接线方法;了解主要操作旋钮及操作开关的功能;了解正确调节方法、正确观察及读数方法。

(2) 熟练使用高频电子线路电路模块。了解电路模块的功能及连接线方法,输入信号接入及输出信号的测试方法。能按电路图接线、查线以及排除简单的线路故障。具有熟练的按图接线能力,能判别电路的正常工作状态及故障现象,能检查线路中的断线、接触不良及元器件故障,特别是不能因错误接线而出现短路。能进行实验操作、读取数据,观察实验现象和测绘波形曲线。

(3) 熟练使用高频电子线路的仿真软件。了解软件的应用范围,熟练建立电路仿真模型,进行各种不同类型的仿真,获取波形或数据,为以后的应用打下良好基础。

(4) 具有方案设计能力。能根据实验任务确定实验方案、设计实验电路,在软件中建模仿真,实现电路功能;或者选择部分元器件在模块电路的基础上扩充部分电子线路实现功能;或者自己制作电子线路实现功能。

(5) 能整理分析实验数据、绘制曲线,并写出内容完整、条理清楚、整洁规范的实验报告。

1.2.3 高频电子线路实验的教学体系

高频电子线路实验的内容体系要突出基本实验技能、科学实验方法的训练,突出电路设计与电路实现能力、使用计算机工具能力的培养,突出研究探索和创新精神。因此实验实践包括基础性验证实验、设计性研究实验和综合性挑战实验。

1. 基础性验证实验

验证性实验主要针对“高频电子线路”课程中一些重要的基础理论进行验证,帮助学生认识现象,巩固理论知识,掌握基本的实验方法和技能。可以通过模块电路,在实验室完成(模块电路实验内容详见第2章);也可以在仿真软件建立单元模块电路,突破时间、空间的限制,仿真验证电路的基本功能,具有与实验室模块功能相同的作用(仿真软件单元电路实验内容详见第3章)。

此部分内容属于课程教学计划内容,要求全部学生完成并掌握。实验内容包括高频小信号放大器、高频功率放大器、高频振荡器、幅度调制电路、包络检波电路、直接调频电路、鉴频电路、锁相环电路等基本单元电路,以及调幅发射接收系统实验、调频发射接收系统实

验等。

2. 设计性研究实验

设计性研究实验主要通过电路仿真,进一步培养学生的综合分析、开发设计和创新能力,以及科技论文的撰写能力(电路仿真及论文撰写详见第4章)。

此部分内容属于拓展性内容,要求学生分组、合作完成,具有一定的难度,这类实验要求部分学生完成。

3. 综合性挑战实验

综合性挑战实验跨学科、跨课程,要求学生完成自主选题、拟订方案、仿真建模、电路实现、电路测试调试、撰写论文等,逐步培养文献查阅、科研思维和科研能力等(此部分内容可查阅其他文献资料)。

此部分内容属于拓展性、挑战性内容,要求学生分组、合作完成,具有较大的难度,这类实验属于学生自主选择完成。

1.3 高频电子线路实验要求

1.3.1 课前准备要求

实验课前充分的预习准备是保证实验顺利进行的前提。预习应按本书的实验要求及内容进行,主要包括:实验内容和目的,与实验有关的理论知识,实验仪器的使用方法,实验的方法和注意事项,实验所列的思考题等。同时,可以使用电子仿真软件对预习内容进行仿真验证,以节省在实验室的操作时间和排查时间,提高实验效率。

1.3.2 实验记录要求

实验记录是实验过程中获得的第一手资料。测试过程中所测试的数据和波形应尽可能与理论一致,所以记录必须清楚、合理、正确,若不正确,则要现场及时重复测试,找出原因。实验记录应包括:

- (1) 实验任务、名称和内容。
- (2) 实验数据和波形以及实验中出现的现象,从记录中应能初步判断实验的正确性。
- (3) 记录波形时,应注意输入、输出波形的时间/相位关系,在坐标中上下对齐。
- (4) 实验中实际使用的仪器型号和编号,以及元器件使用情况。
- (5) 调试过程中出现的故障现象,以及排除故障的方法。

1.3.3 实验报告要求

实验报告是培养学生科学实验的总结能力和分析思维的有效手段,是重要的基本功训练,能巩固实验成果,加深对基本理论的认识和理解,进而扩大知识面。实验报告是对实验工作的总结,也是实验课的延伸和提高,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,图形曲线正确美观。

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,所用仪器仪表的型号和名称,实验内容和测试电路,测试数据及有关波形曲线电路设计过程,计算数据,实验结果分析等。

实验报告的一般书写顺序如下：

- (1) 实验名称。
- (2) 实验目的。
- (3) 实验仪器。
- (4) 实验原理(简述)。
- (5) 实验电路。

(6) 实验步骤。该部分内容应包括：简述实验步骤；各步骤的实验接线图或预置条件；各步骤的测量波形(或测试数据)，每项数据应有理论计算与实际测量两项。

(7) 实验总结。该部分应包括：数据处理(计算、指标和绘图等)，并将测得的数据与理论比较分析、总结；回答思考题；实验体会及建议；遇到的故障及排除方法等。

1.4 高频电子线路实验的测量

科学实验离不开测量。测量以获取被测对象量值为目的，从中找出有用的信息，从而认识世界，掌握事物发展变化的规律。在测量过程中，不可避免地存在误差。为了得到精准的实验结果，使误差降低至最小，必须具备关于电子电路的基本知识以及误差分析、数据处理的能力。

1.4.1 测量的基本概念

实验测量是高频电子线路实验的重要内容，借助仪器仪表获取被测对象的量值，从而获得反映研究对象特性的信息。有助于认识事物，掌握事物发展变化的规律，探寻解决问题的方法。借助科学的测量方法和先进的仪器设备，可以使高频电子线路的实验误差向更准确的控制方向发展，能够极大地提高实验质量。

1. 测量方式

测量可分为直接测量、间接测量、组合测量三种方式。

直接测量。利用仪器仪表直接测量获得测量结果的方式，如使用万用表直接测量电压、电流、电阻等。其特点是简单方便。

间接测量。利用被测量数值与几个物理量之间存在的某种函数关系，直接测量这些物理量的值，再由函数关系计算出被测值，如测量电压放大倍数。其特点是常用于被测量量不变，直接测量或者间接测量的结果比直接测量更为准确的场合。

组合测量。综合利用直接测量和间接测量获得测量结果的方式，通过求解方程得到被测量量的大小，如测量的放大器输入输出电阻。其特点是用计算机求解比较方便。

2. 测量方法

测量方法有直读法、比较测量法、时域测量法、频域测量法等。

直接从仪器仪表上读数得到测量值的方法称为直读法。例如用万用表测量电压、电流、电阻，用功率表测量功率等。

在测量过程中将被测量量与标准量直接进行比较获得测量结果的方式称为比较测量法。例如电桥利用标准电阻对被测量量进行测量，比较测量量的特征是标准量，直接参与被测量量过程，测量准确，灵敏度高，适合精密测量，但是测量过程比较麻烦。

时域测量法测量量与时间的关系,如用示波器测量电压,可以直接测量。

频域测量法测量幅值或相位与频率的关系,若用频谱分析仪,可以直接测量,也可间接获得。

1.4.2 测量误差及误差分析

在高频电子线路实验中,需要选择合适的仪器设备,借助一定的实验方法以获取实验数据,并针对这些实验数据进行一定的计算误差分析与数据处理。

被测量的真实值由理论计算,测量值由仪器测量,受电子器件的参数、实验仪器的精度、实验环境条件和实验者能力等诸多因素的影响,测量值与真实值之间存在误差,误差可以改善,但始终存在于实验中。

1. 测量误差

测量误差主要源自以下几方面。

(1) 仪表误差。在测量过程中使用的测量仪器都具有一定的精密度,由于仪器本身的电气或机械性能不完善产生的误差。例如示波器的探极线含有误差等。

(2) 方法误差。由于使用测量的方法不完善、间接测量时使用近似的经验公式等产生的误差。例如伏安法测电阻时,若仅以电压表示值与电流表示值之比作为测量结果,而不考虑电表本身内阻的影响,会引起方法误差。

(3) 使用误差。由于操作人员在感觉器官鉴别能力上的局限性,仪器安装、调节、布置或者不规范操作所引起的误差。

(4) 环境误差。在测量中仪器受到外界因素,如温度、湿度、大气压、电磁场、机械振动、声音、光照、放射性等因素造成的误差。

2. 测量误差的分类与减小方法

根据误差的性质和特点,测量误差可分为系统误差、随机误差和疏忽误差三类。

1) 系统误差

实验时,在规定条件下对同一被测量量进行多次测量,其误差的绝对值和符号保持不变,或条件变化时,误差按照一定的规律变化,则称这类误差为系统误差。

系统误差产生的原因:测量仪器不准确;测量设备安装放置不当;测量时的环境条件与仪器要求的环境条件不一致;测量方法不完善或所依据的理论不严格;采用了不适合的简化和近似;测量人员读数不准确;习惯性偏于某一方向或滞后读数等。

系统误差总是遵循某种特定的规律,一般可以通过改变实验条件和实验方法,反复进行分析对比,找出误差产生的原因,针对其根源采取一定的技术措施,最大限度地设法消除或减小一切可能存在的系统误差,或者对测量结果加以修正。

2) 随机误差

在规定条件下对同一被测量量进行连续多次测量,若误差绝对值时大时小,符号时正时负,没有确切的规律,则这种误差称为随机误差。

随机误差产生的原因:电路热噪声、外界干扰、电磁场变化、大地微震等互不相关的诸多因素。

从统计学的角度来看,大量重复测量的随机误差表现出了它的规律性,随机误差的算术平均值随测量误差次数的无限增大将逐渐趋于零。因此,可以通过对多次测量值取平均值

的办法来减小随机误差。

3) 疏忽误差

在一定测量条件下测量结果明显偏离实际值所引起的误差,这种误差称为疏忽误差。

疏忽误差产生的原因:测量人员的疏忽大意,如读数错误、操作方法不当、测量方法不合理、记录和计算的差错等。凡确认含有疏忽误差的测量数据称为“坏值”,应当剔除。

3. 测量误差的表示方法

(1) 绝对误差:被测量的实际测量值 x 与真实值 A 之差,称为 x 的绝对误差,用 Δx 表示,即

$$\Delta x = x - A$$

式中, A 为在规定条件下,被测量所具有的真实值大小。

(2) 相对误差:测量的绝对误差 Δx 与 A 的比值,用 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A}$$

相对误差是一个只有大小和符号,而没有单位的量,它表示测量值与真实值之间的差异在真实值中所占的百分比。相对误差越小,准确度越高。

1.4.3 实验数据的处理

通过实际测量取得测量数据后,通常还需要对这些数据进行很好的计算、分析与整理,并从中得到实验的最终结果,找到实验规律,这个过程称为数据处理。数据处理必须切实有效地反映客观的测量精度,不应提高或降低实验的测量精度。

1. 有效数字

由于测量中受仪器分辨率等因素的限制,测量结果不可避免地存在误差。一般情况下,每个数据是由可靠数字和欠准数字两部分构成的,即最后一位是估计的欠准数字,其余各位数字必须是准确的。记录测量数据时,只允许保留一位不可靠数字。在无特殊规定情况下,允许最后一位有效数字有 ± 0.5 或 ± 1 个单位的误差。

2. 测量数据的记录与整理

(1) 测量数据的记录。测量数据包括测量仪器的显示值、仪表的量程、单位、误差、测量条件等。

(2) 测量数据的整理。对在实验中所记录的测量原始数据,需要加以整理,以便进一步分析,做出合理的评估,得出切合实际的结论。通常需要将原始数据按序排列,剔除坏值和误差较大的值,可利用插值法补充数据。

(3) 实验数据的表示。对获取的实验数据在整理后,通常采用列表法和图形法表示。

列表法是将实验的原始数据进行整理分类后,按规律有序地放在一个设计的表格中,形式紧凑,数据易于参考比较,结果一目了然,便于分析。

图形法是将测量数据在图纸上绘制为图形,比列表格更直观形象,能清楚地反映出变量间的函数关系和变化规律。

1.4.4 常见故障及故障排除

实验过程中会出现各种故障。学生应根据现象发现故障,并通过查找和分析来排除故

障。排除故障是学生必须具备的基本技能,也是培养学生综合分析能力和解决问题能力的一个重要方面。学生只有具备扎实的理论知识、灵活的实验方法和熟练的仪器仪表操作技能,才能及时发现问题,并采取措施提高实验质量。

1. 故障产生的原因

产生故障的原因多种多样,主要分为仪器自身故障和人为操作故障。

(1) 仪器自身故障。在仪器使用的基本条件满足、操作正确的情况下,仪器无法正常工作,主要包括:仪器工作时间较长导致工作状态不稳定或损坏;仪器旋钮松动,偏离了正常位置,使测量值与理论值严重不符;仪器测量线损坏或接触不良,导致输出无信号。

(2) 人为操作故障。人为操作故障是指仪器本身并无故障,由实验者操作失误或操作时未按仪器基本工作条件而使仪器进入自保护状态或部分功能失效,主要包括测试方法不正确、元器件故障、接线故障和设计故障。

2. 排除故障的一般方法

查找故障的顺序可以从输入到输出,也可以从输出到输入,通过仪器仪表的显示、气味、声音、温度等异常反应及早发现故障。一旦发现异常现象,应立即切断电源,关闭仪器设备。在不清楚是何原因造成异常现象的情况下,首先应排除因操作错误导致的简单故障,然后借助仪器仪表及操作者的经验来检查和判断,迅速找出故障点并排除故障,使电路尽快恢复正常,防止由于处理不当致使故障继续扩大,造成不必要的损失。

1.5 实验安全操作规则

安全用电是实验中始终需要注意的重要问题。为了做好实验,确保人身和设备的安全,在做实验时,必须严格遵守以下安全用电规则。

(1) 接线、改线、拆线等都必须切断电源的情况下进行,即“先接线后通电,先断电后拆线”。

(2) 在电路通电情况下,人体严禁接触电路不绝缘的金属导线或连接点带电部位。万一遇到触电事故,应立即切断电源,进行必要的处理。

(3) 实验中,特别是设备刚投入运行时,要随时注意仪器设备的运行情况,如发现有超量程、过热、异味、易声、冒烟和火花等,应立即断电,并请老师检查。

(4) 实验时,应集中注意力,同组者必须密切配合,接通电源前须通知同组学生,以防触电事故。

(5) 了解有关电器设备的规格、性能和使用方法,严格按额定值使用。注意仪表的种类、量程和连接使用方法等。

1.6 常用仪器仪表的使用

1.6.1 函数信号发生器

函数信号发生器是一种多波形信号源,可以直接输出正弦波、方波、三角波、锯齿波、脉冲波等波形。

【示例 1】 正弦信号产生。正弦信号参数:频率 465kHz,幅度 1V,直流偏置 1V,相



微课视频

位 30° 。

操作步骤如下：

(1) 选择输出通道,进行波形设置。①按 CH1/CH2 键。②被选择的通道可以很清楚地看到,而未被选择的通道会变淡。

(2) 设置相位。按 F5(Phase)键,设置大小。两种方式可设置其大小,使用方向键或可调旋钮,或使用数字键;按 F5 (Degree)键,选择相应单位。示例 1 设置相位为 30° 。

(3) 选择波形。按 Waveform 键,按 F1(Sine)键。

(4) 设置频率。

① 按 FREQ/Rate 键。

② 位于参数窗口处的 FREQ 参数将变亮。

③ 设置大小。两种方式可设置其大小,使用方向键或可调旋钮,或使用数字键。示例 1 设置频率为 465kHz。

④ 通过 F2 ~ F6 键选择相应单位。

(5) 设置幅度。

① 按 AMPL 键。

② 位于参数窗口处的 AMPL 参数将变亮。

③ 两种方式可设置其大小;使用方向键或可调旋钮,或使用数字键。示例 1 设置幅值为 1V。

④ 通过 F2~F6 键选择相应单位。

(6) 设置直流偏置。

① 按 DC 偏置键。

② 位于参数窗口处的 DC 偏置参数将变亮。

③ 两种方式可设置其大小;使用方向键或可调旋钮,或使用数字键。示例 1 设置直流偏置为 1V。

④ 按 F5(mVDC)或 F6(VDC)键来选择电压范围。

(7) 启用输出。

按 Output1 键,使灯变亮,选择 CH1 通道,输出频率 465kHz、幅度 1V、直流偏置 1V、相位 30° 的正弦波。

【示例 2】 AM 调幅信号产生。AM 信号参数:载波频率 465kHz,载波幅度 1V,调制信号为正弦波,调制频率 40kHz,调制深度为 80%。

操作步骤如下:

(1) 选择输出通道,进行波形设置。按 CH1/CH2 键。被选择的通道可以很清楚地看到,而未被选择的通道会变淡。

(2) 选择调制模式。按 MOD 键,按 F1(调幅)键。

(3) 设置载波波形。按 F4(调制波形)键,按 F1(正弦波)键,然后设置此正弦波的频率、幅值。

① 设置频率。按 FREQ/Rate 键,位于参数窗口处的 FREQ 参数将变亮。两种方式可设置其大小,使用方向键或可调旋钮,或使用数字键。通过 F2~F6 键选择相应单位。示例 2 设置频率为 465kHz。



微课视频

② 设置幅值。按 AMPL 键,位于参数窗口处的 AMPL 参数将变亮。两种方式可设置其大小:使用方向键或可调旋钮,或使用数字键。通过 F2~F6 键选择相应单位。示例 2 设置幅值为 1V。

同样的方式,可以设置直流偏置和相位。

(3) 设置调制波形频率。选择 MOD 键,按 F1(调幅)键,按 F3(调制频率)键,位于波形显示区域处的 AM 频率参数将变亮,使用方向键和可调旋钮或数字键盘输入 AM 频率,按 F1~F3 键选择频率范围。示例 2 设置频率为 40kHz。

(4) 设置调制深度。

选择 MOD 键,按 F1(调幅)键,按 F2(调制深度)键,位于波形显示区域处的 AM 深度参数将变亮,使用方向键和可调旋钮或数字键盘输入 AM 深度,按 F1(%)键选择 % 单位。示例 2 设置调制深度为 80%。

(5) 启用输出。

按 Output1 键,使灯变亮,选择 CH1 通道输出:载波频率 465kHz,载波幅度 1V,调制信号为正弦波,调制频率 40kHz,调制深度为 80%的调幅波。

【示例 3】 FM 调频信号产生。调频信号参数:载波频率 465kHz,载波幅度 1V,调制信号为正弦波,调制频率 40kHz,频偏 30kHz。

操作步骤如下:

(1) 选择输出通道,进行波形设置。按 CH1/CH2 键,被选择的通道可以很清楚地看到,而未被选择的通道会变淡。

(2) 选择调制模式。按 MOD 键,按 F2(调频)键。

(3) 设置载波波形。按 F4(调制波形)键,按 F1(正弦波)键,然后设置此正弦波的频率,幅值。

① 设置频率。按 FREQ/Rate 键,位于参数窗口处的 FREQ 参数将变亮。两种方式可设置其大小:使用方向键或可调旋钮,或使用数字键。通过 F2~F6 键选择相应单位。示例 3 设置频率为 465kHz。

② 设置幅值。按 AMPL 键。位于参数窗口处的 AMPL 参数将变亮。两种方式可设置其大小:使用方向键或可调旋钮,或使用数字键。通过 F2~F6 键选择相应单位。示例 3 设置幅值为 1V。

可以用同样的方式设置直流偏置和相位。

③ 设置调制频率。按 MOD 键,按 F2(调频)键,按 F3(调制频率)键,位于波形显示区域处的 FM Freq 参数将变亮,使用方向键和可调旋钮或数字键盘输入频率,按 F1~F3 键选择频率范围。示例 3 设置频率为 40kHz。

④ 设置调制深度。按 MOD 键,按 F2(调频)键,按 F2(频率偏移)键,位于波形显示区域处的 FM Dev 参数将变亮,使用方向键和可调旋钮或数字键盘输入,按 F1~F5 键选择频率单位。示例 3 设置频率偏移为 30kHz。

⑤ 启用输出。

按 Output1 键,使灯变亮,选择 CH1 通道输出载波频率 465kHz,载波幅度 1V,调制信号为正弦波,调制频率 40kHz,频偏 30kHz 的 FM 波形。



微课视频

1.6.2 示波器

示波器是一种能把随时间变化的电信号转换为波形显示的电子仪器,利用示波器,不仅可以对电信号进行定性的观察和分析,还能对电压、电流、频率等进行测量。现在使用的数字示波器还集成了频谱分析仪的功能。

对于示波器测量一般信号的时域波形不做说明,以 AM 信号和 FM 信号为例说明频谱分析仪的使用。

【示例 1】 AM 信号频谱分析。AM 信号参数:载波频率 465kHz,载波幅度 1V,调制信号为正弦波,调制频率 2kHz,调制深度为 80%。使用频谱分析仪分析频谱。

操作步骤如下:

(1) 连接。将所需的信号源连接到示波器的模拟输入通道之一,如 CH1。(输入信号为 AM 信号,载波频率 465kHz,载波幅度 1V,调制信号为正弦波,调制频率 2kHz,调制深度为 80%。)

(2) 在示波器上观测到 AM 波形,如图 1.6.1 所示。

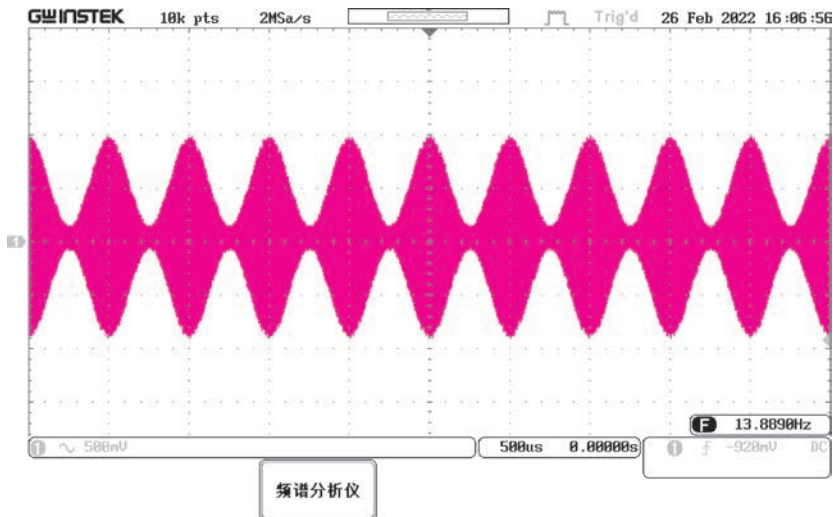


图 1.6.1 频谱分析仪界面

(3) 打开频谱分析仪。

① 按 Option 键,底部出现“频谱分析仪”,如图 1.6.1 所示。

② 点击底部菜单的“频谱分析仪”。

③ 点击“频率 & 扫宽”按钮,进行“中心频率”“扫宽”“开始频率”“截止频率”设置。设置中心频率为 465kHz、扫宽为 10kHz、开始频率为 460kHz、截止频率为 470kHz,如图 1.6.2 所示。

④ 点击“振幅”按钮,进行“垂直单位”“单位/格”“位置”设置。设置垂直单位为线性均方根、单位/格为 100mV、位置为 -3.00Div,如图 1.6.3 所示。

⑤ 频谱的频率和幅值测量。点击“search”按钮,显示屏出现下面菜单,将“搜索”设置为“开”(见图 1.6.4),搜索方式设置为“峰值数”,搜索状态设置为“标记”(见图 1.6.5),再点击“搜索方式峰值数”按钮,出现右侧菜单,设置“峰值数”个数(见图 1.6.6),此处,设置“峰值数”



微课视频

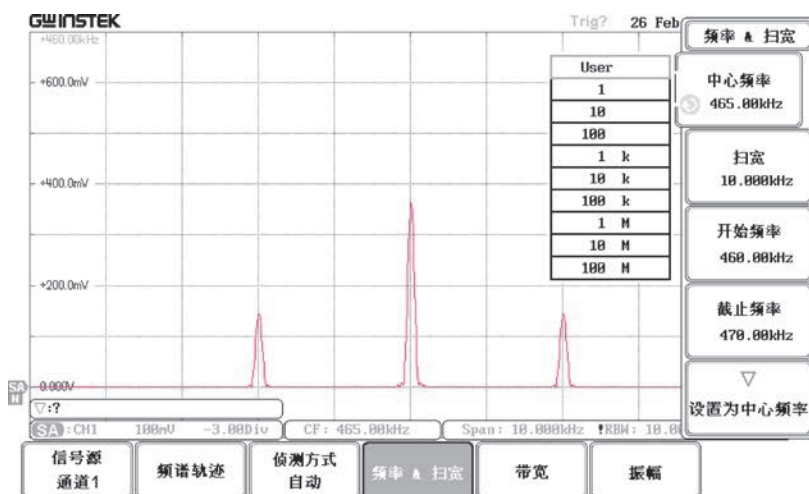


图 1.6.2 “频率 & 扫宽”设置

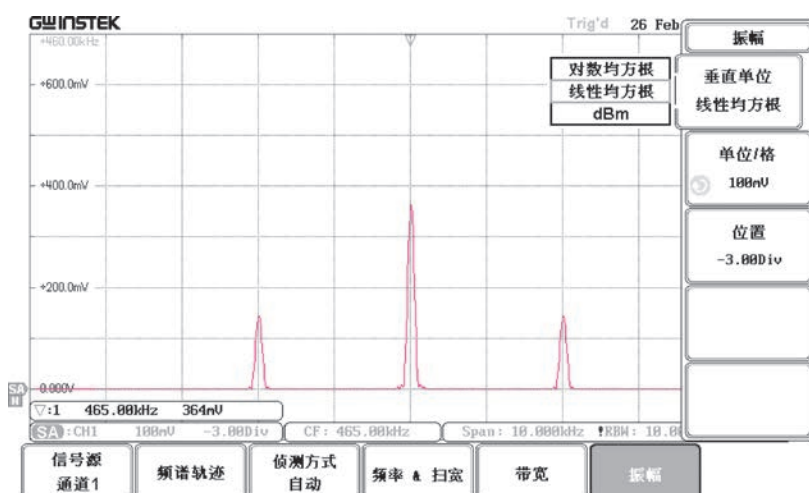


图 1.6.3 “振幅”设置

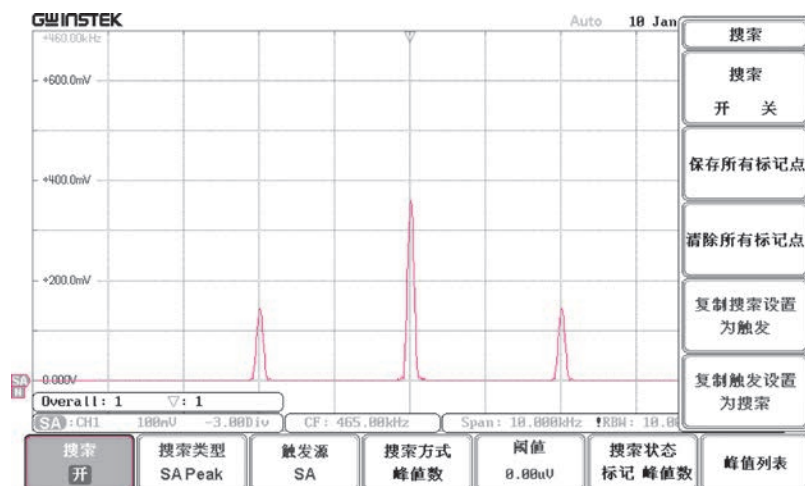


图 1.6.4 “搜索”设置为“开”

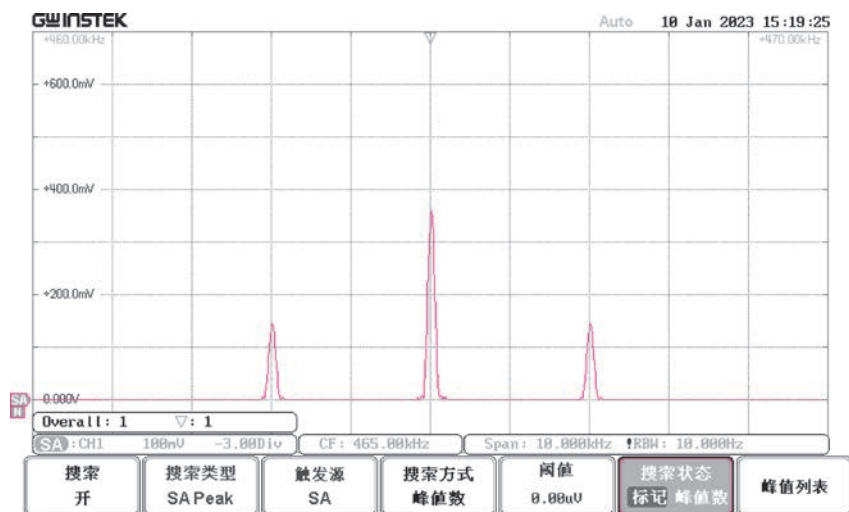


图 1.6.5 搜索方式设置为“峰值数”，搜索状态设置为“标记”

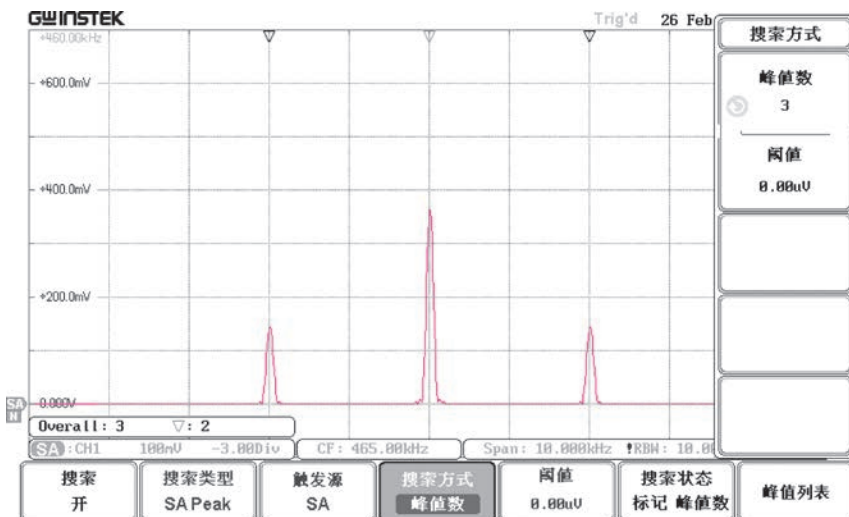


图 1.6.6 设置“峰值数”个数

为“3”。点击下面的“峰值列表”菜单,出现如图 1.6.7 所示界面,包括频谱的频率和幅值显示列表。



微课视频

【示例 2】 FM 信号频谱分析。调频信号参数: 载波频率 465kHz, 载波幅度 1V, 调制信号为正弦波, 调制频率 2kHz, 频偏 8kHz。使用频谱分析仪分析频谱。

操作步骤如下:

(1) 连接。将所需的信号源连接到示波器的模拟输入通道之一, 如 CH1 (载波频率 465kHz, 载波幅度 1V, 调制信号为正弦波, 调制频率 2kHz, 频偏 8kHz)。

(2) 在示波器上观测到 FM 波形, 如图 1.6.8 所示。

(3) 打开频谱分析仪。

① 点击 Option 键, 底部出现“频谱分析仪”。

② 点击底部菜单的“频谱分析仪”。



图 1.6.7 峰值列表

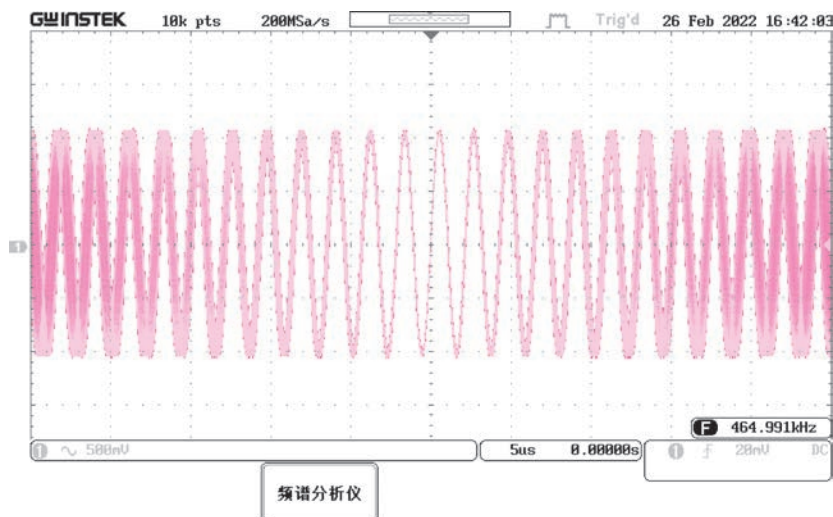


图 1.6.8 频谱分析仪界面

③ 点击“频率 & 扫宽”按钮,进行“中心频率”“扫宽”“开始频率”“截止频率”设置。设置中心频率为 465kHz、扫宽为 100kHz、开始频率为 415kHz、截止频率为 515kHz,如图 1.6.9 所示。

④ 点击“振幅”按钮,进行“垂直单位”“单位/格”“位置”设置。设置垂直单位为线性均方根、单位/格为 100mV、位置为-3.00Div,如图 1.6.10 所示。

⑤ 频谱的频率和幅值测量。点击 search 按钮,显示屏出现下面菜单,将“搜索”设置为“开”,搜索方式设置为“峰值数”,搜索状态设置为“标记”(如图 1.6.11 所示),再按“搜索方式峰值数”,出现右侧菜单,设置“峰值数”个数,此处,设置“峰值数”为“10”(如图 1.6.12 所示)。点击下面菜单“峰值列表”,出现如图 1.6.13 所示界面,有频谱的频率和幅值显示列表。

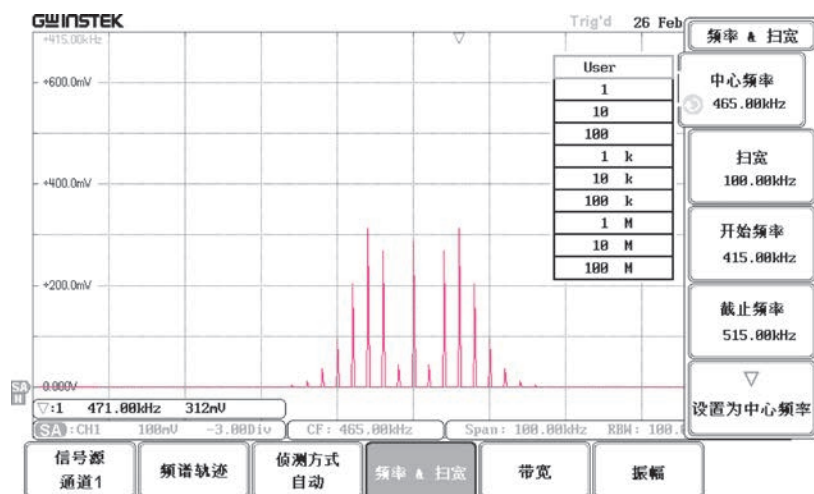


图 1.6.9 “频率 & 扫宽”设置

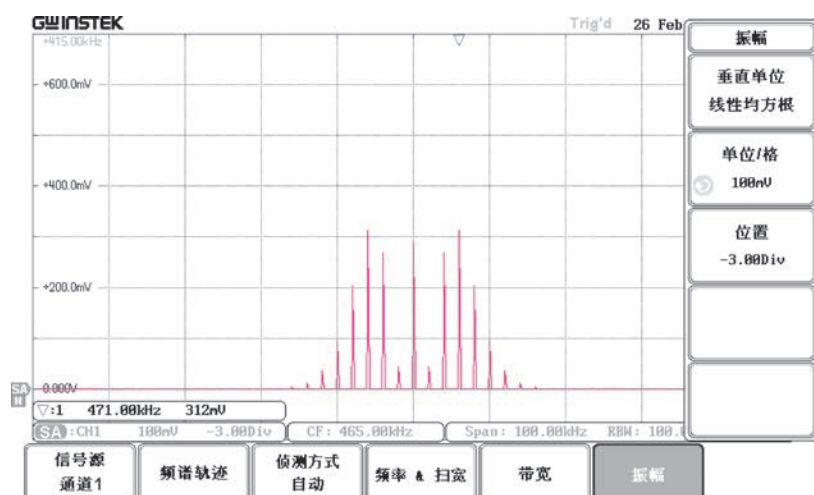


图 1.6.10 “振幅”设置

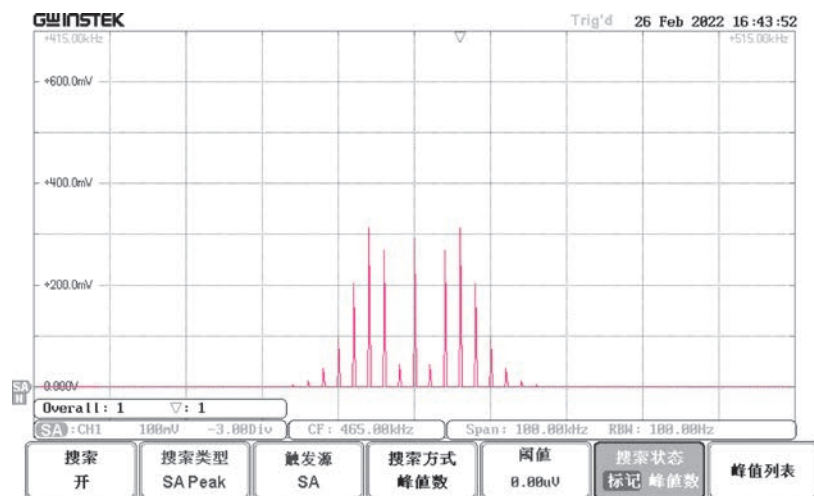


图 1.6.11 “搜索”设置为“开”，搜索方式设置为“峰值数”，搜索状态设置为“标记”

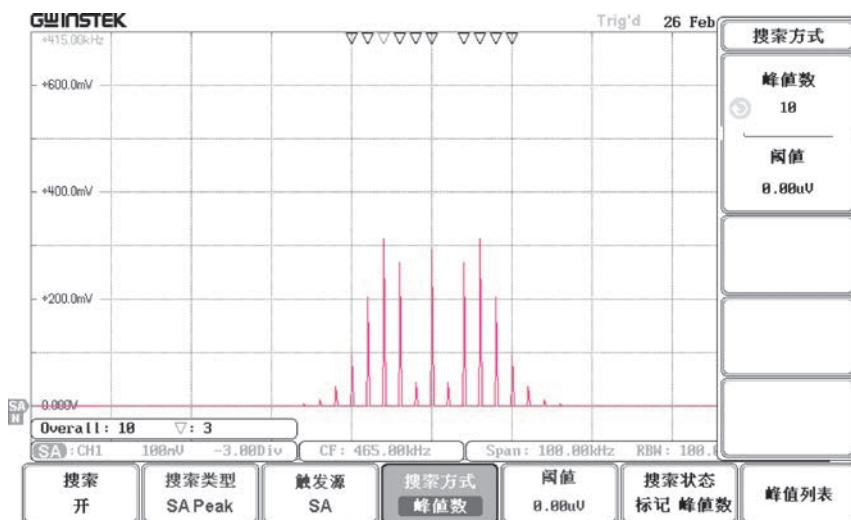


图 1.6.12 设置“峰值数”个数

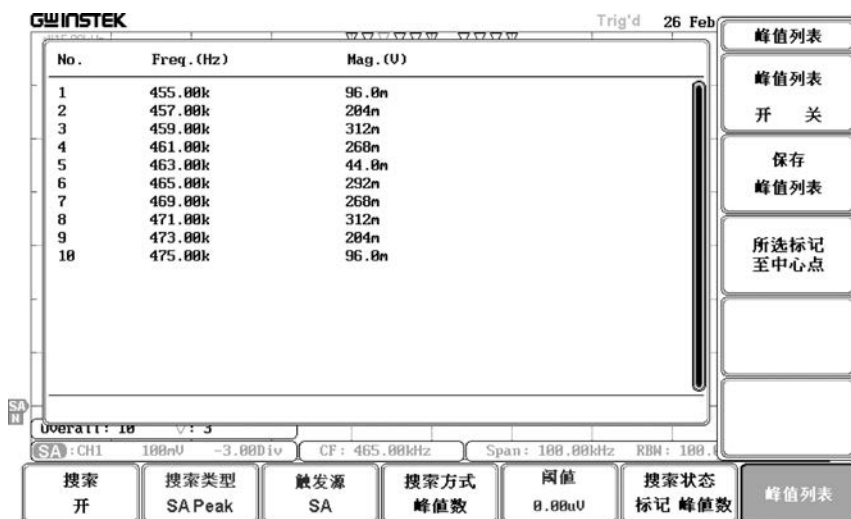


图 1.6.13 峰值列表

第 2 章

CHAPTER 2

高频电子线路基础实验

本章结合“高频电子线路”理论课程的内容,介绍了 10 个验证性实验。验证性实验有助于学生进一步理解模拟通信系统的基本概念、典型单元电路功能;掌握单元电路的测试调试技能和模拟无线通信的测试调试技能;掌握实验室常用仪器的使用和高频电子线路的故障排除方法。



微课视频

2.1 高频小信号放大器

高频小信号放大器的功能是对微弱的高频信号进行不失真的放大,主要用作接收机的前置高频放大器和中频放大器。

2.1.1 实验目的

- (1) 掌握高频小信号放大器的电路组成与基本工作原理。
- (2) 熟悉 LC 谐振回路的调谐方法及测试方法。
- (3) 掌握高频小信号放大器的增益 A_V 、通频带 $BW_{0.7}$ 、矩形系数 $K_{0.1}$ 测试方法。
- (4) 理解静态工作点对高频小信号放大器性能的影响。

2.1.2 实验原理与电路

高频小信号放大器主要包括高频小信号单调谐放大器和高频小信号双调谐放大器。

1. 高频小信号单调谐放大器原理

高频小信号单调谐放大器由放大器和谐振网络组成,不仅能放大高频小信号,还具有一定的选频作用。晶体三极管共发射极小信号调谐放大器如图 2.1.1 所示。 R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_e 为晶体三极管提供合适的静态工作点,保证其工作于放大区域; C_b 是输入耦合电容,滤除输入信号中的直流信号; C_e 是 R_e 的旁路电容; L 、 C 构成并联谐振回路,作为放大器的集电极负载,决定放大器的谐振频率 f_0 、 Q_0 值和带宽 $BW_{0.7}$; R_L 是集电极交流负载,采用变压器耦合的方式接入,会影响回路的增益、 Q 值和带宽。此电路的幅频特性曲线如图 2.1.2 所示。

高频小信号单调谐放大器的主要技术指标包括谐振频率、电压增益、通频带、矩形系数、稳定性等。

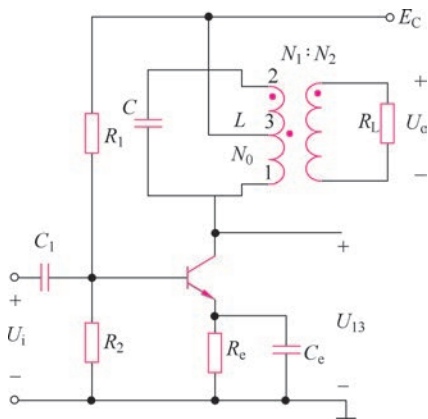


图 2.1.1 高频小信号单谐振放大器

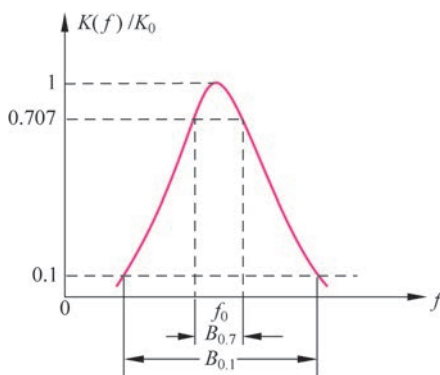


图 2.1.2 幅频特性曲线

(1) 谐振频率：放大器的调谐回路谐振时所对应的频率 f_0 ，即

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\Sigma}C_{\Sigma}}}$$

式中, L_{Σ} 为调谐回路电感线圈的电感量; C_{Σ} 为调谐回路的总电容。

谐振频率 f_0 的测量可以采用点频法, 点频法是通过逐点测量一系列规定频率上的电压增益来确定电路幅频特性曲线, 增益最大时对应的频率即为谐振频率。在实际测试时需保持输入电压幅值不变, 频率由低到高逐点调节, 在各个频率点上测量输出信号的幅值, 然后把信号频率的变化定为横坐标, 将输出信号与输入信号的幅值比定为纵坐标, 逐点画出各点对应的比值, 可绘出平滑的曲线, 即为幅频特性曲线。使幅频特性曲线的峰值最大的点对应的频率即为谐振频率。

(2) 电压增益：放大器的输出电压 V_o 与输入电压 V_i 之比, 即

$$A_{V_o} = V_o / V_i \quad \text{或} \quad A_{V_o} = 20\lg(V_o / V_i) \text{dB}$$

A_{V_o} 的测量方法是：在谐振回路已处于谐振状态时, 测量输出信号及输入信号的峰值, 则电压增益 A_{V_o} 为输出与输入之比。

(3) 通频带：放大器的电压增益下降, 电压增益 A_V 下降到谐振电压增益 A_{V_o} 的 0.707 倍时所对应的频带宽度为 $BW_{0.7}$, 其表达式为 $BW_{0.7} = 2\Delta f_{0.7} = f_H - f_L$ (f_H 和 f_L 为上下限截止频率)。

通频带 $BW_{0.7}$ 的测量可以采用点频法。点频法：先调谐放大器的谐振回路使其谐振, 记下此时的谐振频率 f_0 及电压增益 A_{V_o} ; 然后在保持输入信号幅值不变的前提下, 改变输入信号的频率, 测出此频率对应的输出电压, 算出对应的电压增益。测出很多组的频率与电压或增益的数值, 使用描点法, 获得幅值(或增益)与频率之间的关系曲线, 即为幅频特性曲线。

(4) 矩形系数：表征放大器选择性好坏的一个参量, 表示选取有用信号抑制无用信号的能力, 通常用放大器谐振曲线矩形系数 $K_{0.1}$ 表示, 即

$$K_{0.1} = \frac{B_{0.1}}{B_{0.7}}$$

式中, $B_{0.1}$ 、 $B_{0.7}$ 分别为归一化放大倍数下降到 0.1 和 0.7 时的带宽, 如图 2.1.2 所示。显

然,矩形系数越接近 1,选择性越好,其抑制邻近无用信号的能力就越强。

(5) 稳定性: 由于晶体三极管的反向传输导纳不为零,因此内部反馈会造成放大器工作不稳定,用稳定系数 S 表示放大器的稳定能力。

2. 高频小信号双调谐放大器原理

为了克服高频小信号单调谐放大器的选择性差、通频带与增益之间矛盾较大的缺点,可采用高频小信号双调谐放大器。双调谐回路放大器具有频带宽、选择性好的优点,并能较好地解决增益与通频带之间的矛盾,从而在通信接收设备中广泛应用。

3. 高频小信号单调谐放大器电路

高频小信号单调谐放大器实验电路如图 2.1.3 所示。电路由 +12V 单电源供电。 N_1 是晶体三极管,电源、 R_{W1} 、 R_{b1-1} 、 R_{b2-1} 、 R_{e-1} 、 R_1 构成放大器的直流通路,改变 R_{W1} 可改变基极电位,进而改变电路的静态工作点。变压器初级电感与电容 C_F 构成谐振回路,使用中间抽头实现部分接入,变压器 T_1 把信号耦合输出。本实验的谐振频率 $f_s = 10.7\text{MHz}$ 。

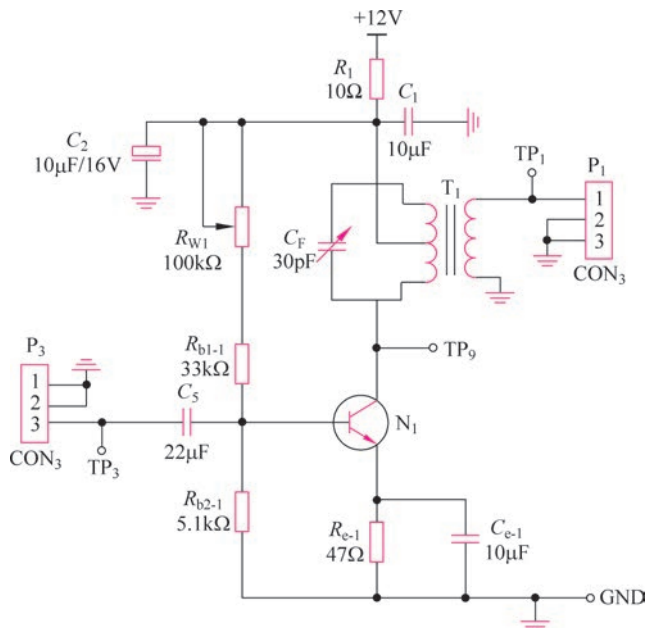


图 2.1.3 高频小信号单调谐放大器实验电路

4. 高频小信号双调谐放大器电路

高频小信号双调谐放大器实验电路如图 2.1.4 所示。

2.1.3 实验内容与步骤

1. 高频小信号单调谐放大器

1) 硬件连接

断电状态下,连接函数信号发生器、实验电路 2、示波器,连线图如图 2.1.5 所示。连接好线路,确定没有问题,接通电源。若指示灯亮,则开始下一步实验。

2) 静态测试

用函数信号发生器产生峰-峰值为 200mV、频率为 10.7MHz 正弦波信号,此信号接入

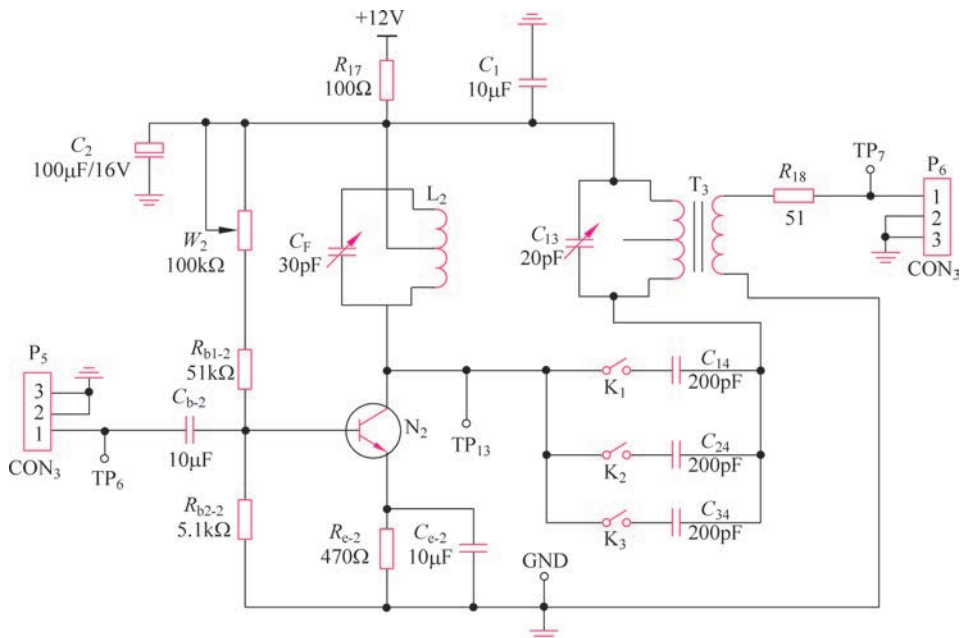


图 2.1.4 高频小信号双调谐放大器实验电路

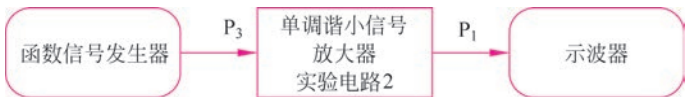


图 2.1.5 连线图

实验电路 2 的 P_3 端。用示波器测试实验电路 2 的 P_1 端。顺时针调节 R_{W1} ，用示波器观测 TP_1 ，调节中周，使 TP_1 幅度最大且波形稳定不失真。此时测量并记录静态工作点。记录数据，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	$V_{BQ}(TP_3)$	$V_{CQ}(TP_9)$	$V_{EQ}(TP_1)$
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于放大区。

注意：静态工作点的测量和放大区的判断。

静态工作点测量：测量值均为相应引脚对地测量值。 $V_{BEQ}=V_{BQ}-V_{EQ}$ 、 $V_{CBQ}=V_{CQ}-V_{BQ}$ 、 $V_{CEQ}=V_{CQ}-V_{EQ}$ 、 $I_{CQ}\approx V_{EQ}/R_e$ 。

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

实验现象、数据和结论：

3) 动态测试

保持输入信号频率不变,改变输入信号的幅度。用示波器观察不同幅度信号下 P_1 处的输出信号的峰值电压,并将对应的实测值填入表 2.1.2 中,计算电压增益 A_V 。在坐标轴中画出动态曲线。

表 2.1.2 动态测试表

输入信号 f_i/MHz	10.7MHz					
输入信号 $V_{i(p-p)}/\text{mV}$ TP ₃		50	100	200	300	
输出信号 $V_{o(p-p)}$ TP ₁						
增益 A_V						

实验现象、数据与结论:

4) 通频带特性测试

保持输入信号幅度不变,改变输入信号的频率。用示波器观察在不同频率信号下 P_1 处的输出信号的峰值电压,并将对应的实测值填入表 2.1.3 中,在坐标轴中画出幅度(增益)-频率特性曲线。或用扫频仪,观测回路谐振曲线。

表 2.1.3 幅度(增益)-频率特性测试数据表

输入信号 $V_{i(p-p)}$ TP ₃	200mV									
输入信号 f_i/MHz	...	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	11.0	11.1	...
输出信号 $V_{o(p-p)}$ TP ₁										
增益 A_V										

画出幅度(增益)-频率特性曲线、计算 $BW_{0.7}$ 。 $BW_{0.1}$ 和矩形系数 $K_{0.1}$ 。

2. 双调谐小信号放大器单元电路

1) 硬件连接

断电状态下,连接函数信号发生器、实验电路 2、示波器,连线图如图 2.1.6 所示。连接好线路,确定没有问题,接通电源。若指示灯亮,则开始下一步实验。