



通信工程专业

实验教程

张立立 尹国成 李宝和 编著



东北大学出版社
Northeastern University Press

通信工程专业实验教程

张立立 尹国成 李宝和 编著

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 张立立 尹国成 李宝和 2015

图书在版编目 (CIP) 数据

通信工程专业实验教程 / 张立立, 尹国成, 李宝和编著. —沈阳: 东北大学出版社,
2015. 10

ISBN 978 - 7 - 5517 - 1133 - 3

I. ①通… II. ①张… ②尹… ③李… III. ①通信工程—实验—教材
IV. ①TN91 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 252115 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024 - 83687331(市场部) 83680267(社务室)

传真: 024 - 83680180(市场部) 83680265(社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 10. 75

字 数: 248 千字

出版时间: 2015 年 9 月第 1 版

印刷时间: 2015 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑: 孙 锋 汪彤彤

封面设计: 刘江旸

责任校对: 春 晓

责任出版: 唐敏志

ISBN 978 - 7 - 5517 - 1133 - 3

定 价: 20. 00 元

实践教学是高等教育不可缺少的重要组成部分，是巩固理论知识和加深对理论认识的有效途径，是培养具有创新精神和实践能力的高素质工程技术人员的重要环节。重视实践教学在整个高等教育教学工作中的地位，将对高校创新人才的培养起到推动性作用。

在全国高校贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要》（2010 - 2020）的大背景下，2010 年教育部启动了“卓越工程师教育培养计划”（简称“卓越计划”），“卓越计划”旨在以实际工程为背景，培养学生的工程意识、工程素养和工程实践能力，造就一大批具备较强创新能力，适应社会企业发展需要的高质量工程应用型人才。为促进电子信息领域应用型人才培养，提高工程教育人才培养质量，东北大学信息学院实验中心联合东北大学出版社组织编写了这套《高等院校电子信息系列实验教程》。

这套丛书的特点是：

（1）以培养学生实践能力、创新能力为宗旨，以培养和锻炼学生的实践动手能力为核心，编者将本套丛书的实验分为课前预习，实验指导和实验报告三部分内容。

课前预习部分将课堂已讲授过的理论或属于基础性实验的预习内容，以填空题、选择题或简答题等方式给出。学生需通过复习相关理论知识、扩展阅读及理解相关实验原理后，经过深入思考才能完成预习部分的题目。另外，这些预习题的得分将计入学生的实验成绩。

实验指导部分只将关键的步骤予以指导，而细节部分则需要学生在实践过程中自行摸索。编者根据多年的授课经验，只对于一些容易错、耗费时间长且属于基础的部分进行了详细的解释说明，略去了具体实验过程的说明。除此之外，在一些理论和实际联系紧密之处设置了思考题，进一步帮助学生

理论联系实际。

实验报告部分以活页的形式，将实验目的、要求等基本信息直接印在其中，突出实验过程的实现和实验结果的分析，学生直接在预留位置填写相关内容。

(2) 实验内容新颖，淘汰陈旧过时的内容，融入新的先进实用的知识。

(3) 对学生分类设计实验内容，包括基础验证型实验、设计型实验、综合型实验和创新型实验，学生可以根据自己的实际情况，在完成必做的实验后，自主选择更高要求的实验。不同实验有不同的最高得分。

(4) 此系列实践教材几乎涵盖了电类专业的所有实践课程。

东北大学信息学院 李鸿儒

2014 年 4 月

本实验教程分为通信电子线路篇、移动通信篇和电磁场理论与微波技术篇三部分，每个实验教程由实验预习、实验内容指导及实验步骤等几部分组成，附录为配套的实验报告。

通信电子线路是通信工程专业的专业基础课，本实验系统的实验内容是根据高等教育出版社出版的《高频电子线路》一书而设计的。此部分实验共设置了十三个实验内容：其中有十个为单元实验，是为配合课程而设计的，主要帮助学生理解和加深课堂所学的内容；三个复杂的无线收发系统实验，培养学生解决实际问题的能力。此外，学生还可以根据我们所提供的单元电路自行设计系统实验。

移动通信是通信工程专业的主干专业课。主要实验内容围绕蜂窝移动通信系统即 GSM 移动台、基站子系统及网络子系统而开设，分为基础与系统实验两部分，包括主要呼叫流程和主要信令流程的移动台开关机信令交换、主被叫信令交换以及移动性管理信令交换等实验内容，使学生能够明白无线接入 GSM 数字移动通信网的各种基本功能，加深对当前处于高速发展的无线通信技术的理解和认识。

电磁场理论与微波技术是通信专业学生的一门重要课程，也是一门实践性很强的课程。微波作为信息的载体在通信技术领域中发挥着重要作用。实验中学生会微波测试系统、各种波导元器件、波导传输线以及微波领域的基本测试技术有一个全面的了解，从而起到开阔视野、增强实践能力、提高综合素质的作用，学生将会受益匪浅。

本教程突出体现了通信工程专业实践教学的系统性和内容的稳定性，使学生能够掌握分析通信系统的基本方法，强调培养学生理论联系实际和研究、开发、创新的能力。

本教程通信电子线路部分由东北大学张立立编写，移动通信部分由东北大学尹国成编写，电磁场理论与微波技术部分由东北大学李宝和编写。全教程由张立立统稿和审定，东北大学李鸿儒教授主审。

限于编者水平，不妥之处敬请批评指正。

编 者

2015 年 7 月

目

录

通信电子线路篇

实验箱仪器介绍 2

第一部分	基础型实验 4
------	---------------

实验 1	高频小信号调谐放大器实验 4
实验 2	三点式正弦波振荡器 12
实验 3	晶体振荡器与压控振荡器 15
实验 4	模拟乘法器调幅(AM、DSB、SSB) 17
实验 5	包络检波及同步检波实验 21
实验 6	变容二极管调频实验 27
实验 7	正交鉴频及锁相鉴频实验 29

第二部分	综合型实验 34
------	----------------

实验 8	超外差中波调幅收音机 34
实验 9	超外差式 FM 收音机 37
实验 10	半双工调频无线对讲机 40

第三部分	仿真实验 42
------	---------------

实验 11	高频小信号放大器仿真实验 42
实验 12	正弦波振荡器仿真实验 44
实验 13	振幅调制解调仿真实验 46

移动通信篇

实验 14	语音模数转换和压缩编码实验	49
实验 15	DS/CDMA 码分多址实验	51
实验 16	短信收发实验	55
实验 17	数据接入 CDMA 信道的收发实验	57
实验 18	系统通信实验	59
实验 19	移动小区切换漫游与 HLR 管理	63
实验 20	VLR 管理	67
实验 21	移动交换软件(移动台记录)	71
实验 22	基站信道分配实验	74
实验 23	网络优化与基站 RACH 接入控制实验	76
实验 24	移动台开机、关机实验	81
实验 25	移动台漫游实验	86
实验 26	移动台主叫实验	93
实验 27	移动台被叫实验	101

电磁场理论与微波技术篇

实验 28	三厘米波测试系统的调试	107
实验 29	电压驻波比的测量	111
实验 30	阻抗测量及匹配技术	113
实验 31	二端口微波网络 S 参量测量	116

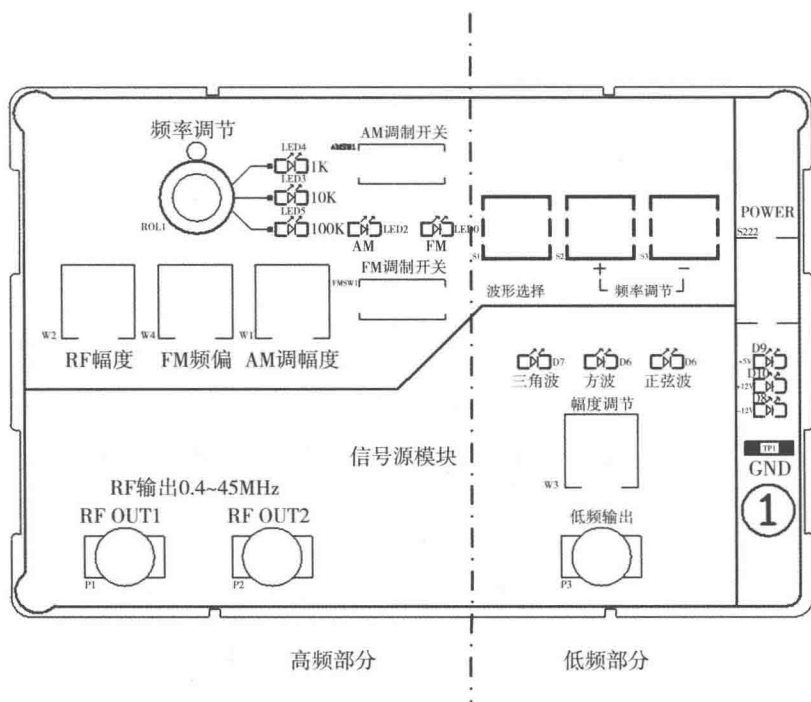
实验报告	119
------------	-----

通信电子线路篇

实验箱仪器介绍

一、信号源

信号源面板如下图所示。



高频信号源频率调节有四个挡位：1kHz，10kHz，100kHz 和 1MHz 挡。按下面板左上的“频率调节”旋钮可在各挡位间切换，为 1kHz，10kHz 和 100kHz 挡时，相对应绿灯点亮，当三灯齐亮，即为 1MHz 挡。调节该旋钮可改变输出高频信号的频率。

音频信号源通过“波形选择”按键切换输出波形，并用相应的指示灯指示，如选择正弦波，则“正弦波”指示灯亮。通过“+”“-”按键可以增大、减小信号的频率。

调节“RF 幅度”旋钮，可改变输出高频信号源的幅度，顺时针旋转幅度增加；调节“幅度调节”旋钮，可改变输出音频信号源的幅度。

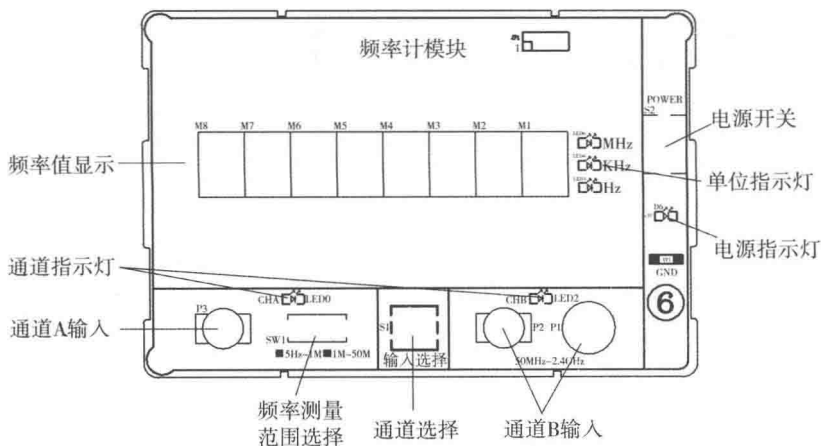
本信号源有内调制功能，“FM 调制开关”拨置“ON”，对应的“FM”指示灯点亮，

输出调频波, 调制信号为信号源音频正弦波信号, 载波信号为信号源高频信号; “FM 调制开关” 拨置 “OFF”, “FM” 指示灯灭, 输出无调制的高频信号。 “AM 调制开关” 拨置 “ON”, 对应的 “AM” 指示灯点亮, 输出调幅波, 调制信号为信号源音频正弦波信号, 载波信号为信号源高频信号; “AM 调制开关” 拨置 “OFF”, “AM” 指示灯灭, 输出无调制的高频信号。 调节 “FM 频偏” 旋钮, 可改变调频波的调制指数; 调节 “AM 调幅度” 旋钮, 可改变调幅波的调幅度。

面板下方为三个射频线插孔。 “RF OUT1” 和 “RF OUT2” 插孔输出 400kHz ~ 45MHz 的正弦波信号 (在观察频率特性的实验中, 可将 “RF OUT1” 作为信号输入, “RF OUT2” 通过射频跳线连接到频率计观察频率); “低频输出” 插孔输出 200Hz ~ 10kHz 的正弦波、三角波、方波信号。

二、频率计

本实验箱自带频率计, 主要用于实验中频率测量, 频率计面板如下图所示。



主要参数如下。

频率测量范围: 5Hz ~ 2.4GHz

输入电平范围: 100mVrms ~ 2Vrms

测量误差: $\leq \pm 20 \times 10^{-6}$ (频率低端 $\leq \pm 1\text{Hz}$)

输入阻抗: 1MΩ/10pF

使用说明如下: 频率计数值显示使用了 8 个数码管, 单位指示灯用来指示当前数值单位。例如数码管显示 100, “Hz” 指示灯亮, 则当前频率为 100Hz。频率计输入按照频率范围分为 A, B 两个通道, 通过按下 “输入选择” 键来切换。A 通道测量范围为 5Hz 到 50MHz, 其中又分为两段。当开关 SW1 拨置左边时, 测量范围为 5Hz 到 1MHz; 拨置右边时, 测量范围为 1MHz 到 50MHz。如果在测量中出现无读数的情况, 请首先检查 SW1 是否拨到正确的量程挡。B 通道主要用来测量较高的频率, 并留有一个 BNC 接口。

第一部分 基础型实验

实验1 高频小信号调谐放大器实验

一、实验预习

1. 分析实验电路图 1-1 和图 1-3 每个元器件的作用。
2. 谐振放大器实验与晶体管放大实验电路有何区别与联系。
3. 静态工作点的调整对电路的输出有什么影响。

二、实验目的

1. 掌握高频小信号谐振电压放大器的电路组成与基本工作原理。
2. 熟悉谐振回路的调谐方法及测试方法。
3. 掌握高频谐振放大器处于谐振时各项主要技术指标意义及测试技能。

三、实验原理

(一) 单调谐小信号放大器

小信号谐振放大器是接收机的前端电路，主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大。实验单元电路由晶体管 N1 和选频回路 T1 组成，不仅对高频小信号放大，而且有选频作用。本实验中单调谐小信号放大的谐振频率为 $f_s = 10.7\text{MHz}$ 。

放大器各项性能指标及测量方法如下。

1. 谐振频率

放大器的调谐回路谐振时所对应的频率 f_0 称为放大器的谐振频率，对于图 1-1 所示电路（也是以下各项指标所对应电路）， f_0 的表达式为

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

式中， L 为调谐回路电感线圈的电感量； C_Σ 为调谐回路的总电容， C_Σ 的表达式为

$$C_\Sigma = C + p_1^2 C_{oe} + p_2^2 C_{ie}$$

其中， C_{oe} 为晶体管的输出电容； C_{ie} 为晶体管的输入电容； p_1 为初级线圈抽头系数； p_2 为次级线圈抽头系数。

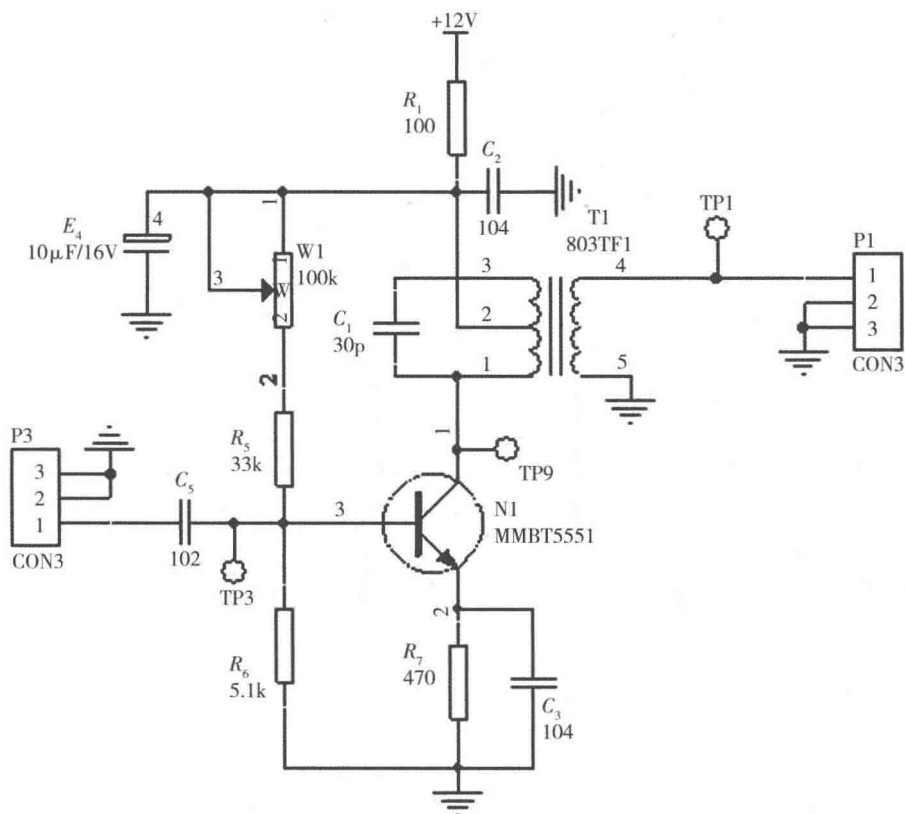


图 1-1 单调谐小信号放大电路图

谐振频率 f_0 的测量方法是：用扫频仪作为测量仪器，测出电路的幅频特性曲线，调变压器 T 的磁芯，使电压谐振曲线的峰值出现在规定的谐振频率点 f_0 。

2. 电压放大倍数

放大器的谐振回路谐振时，所对应的电压放大倍数 A_{v0} 称为调谐放大器的电压放大倍数。 A_{v0} 的表达式为

$$A_{v0} = -\frac{V_o}{V_i} = \frac{-p_1 p_2 y_{fe}}{g_{\Sigma}} = \frac{-p_1 p_2 y_{fe}}{p_1^2 g_{oe} + p_2^2 g_{ie} + G}$$

式中， g_{Σ} 为谐振回路谐振时的总电导。要注意的是， y_{fe} 本身也是一个复数，所以谐振时输出电压 V_o 与输入电压 V_i 相位差不是 180° ，而是为 $180^\circ + \varphi_{fe}$ 。

A_{v0} 的测量方法是：在谐振回路已处于谐振状态时，用高频电压表测量图 1-1 中输出信号 V_o 及输入信号 V_i 的大小，则电压放大倍数 A_{v0} 由下式计算：

$$A_{v0} = V_o/V_i \quad \text{或} \quad A_{v0} = 20 \lg(V_o/V_i) \text{ dB}$$

3. 通频带

由于谐振回路的选频作用，当工作频率偏离谐振频率时，放大器的电压放大倍数下降，习惯上将电压放大倍数 A_v 下降到谐振电压放大倍数 A_{v0} 的 0.707 倍时所对应的频率偏移称为放大器的通频带 BW，其表达式为

$$BW = 2\Delta f_{0.7} = f_0 / Q_L$$

式中, Q_L 为谐振回路的有载品质因数。

分析表明, 放大器的谐振电压放大倍数 A_{v0} 与通频带 BW 的关系为

$$A_{v0} \cdot BW = \frac{|y_{fe}|}{2\pi C_\Sigma}$$

上式说明, 当晶体管选定即 y_{fe} 确定, 且回路总电容 C_Σ 为定值时, 谐振电压放大倍数 A_{v0} 与通频带 BW 的乘积为一常数。这与低频放大器中的增益带宽积为一常数的概念是相同的。

通频带 BW 的测量方法是: 通过测量放大器的谐振曲线来求通频带。测量方法可以是扫频法, 也可以是逐点法。逐点法的测量步骤是: 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 及电压放大倍数 A_{v0} , 然后改变高频信号发生器的频率(保持其输出电压 V_s 不变), 并测出对应的电压放大倍数 A_{v0} 。由于回路失谐后电压放大倍数下降, 所以放大器的谐振曲线如图 1-2 所示。

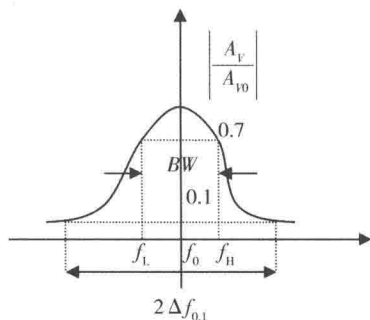


图 1-2 谐振曲线

可得: $BW = f_H - f_L = 2\Delta f_{0.7}$

通频带越宽, 放大器的电压放大倍数越小。要想得到一定宽度的通频宽, 同时又能提高放大器的电压增益, 除了选用 y_{fe} 较大的晶体管外, 还应尽量减小调谐回路的总电容量 C_Σ 。如果放大器只用来放大来自接收天线的某一固定频率的微弱信号, 则可减小通频带, 尽量提高放大器的增益。

(二) 双调谐放大器

为了克服单调谐回路放大器的选择性差、通频带与增益之间矛盾较大的缺点, 可采用双调谐回路放大器。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。

在双调谐放大器中, 被放大后的信号通过互感耦合回路加到下级放大器的输入端, 若耦合回路初、次级本身的损耗很小, 则均可被忽略。

1. 电压增益

$$A_{v0} = -\frac{V_o}{V_i} = \frac{-P_1 P_2 y_{fe}}{2g}$$

2. 通频带

为弱耦合时, 谐振曲线为单峰;

为强耦合时, 谐振曲线出现双峰;

临界耦合时, 双调谐放大器的通频带

$$BW = 2\Delta f_{0.7} = \sqrt{2}f_0 / Q_L$$

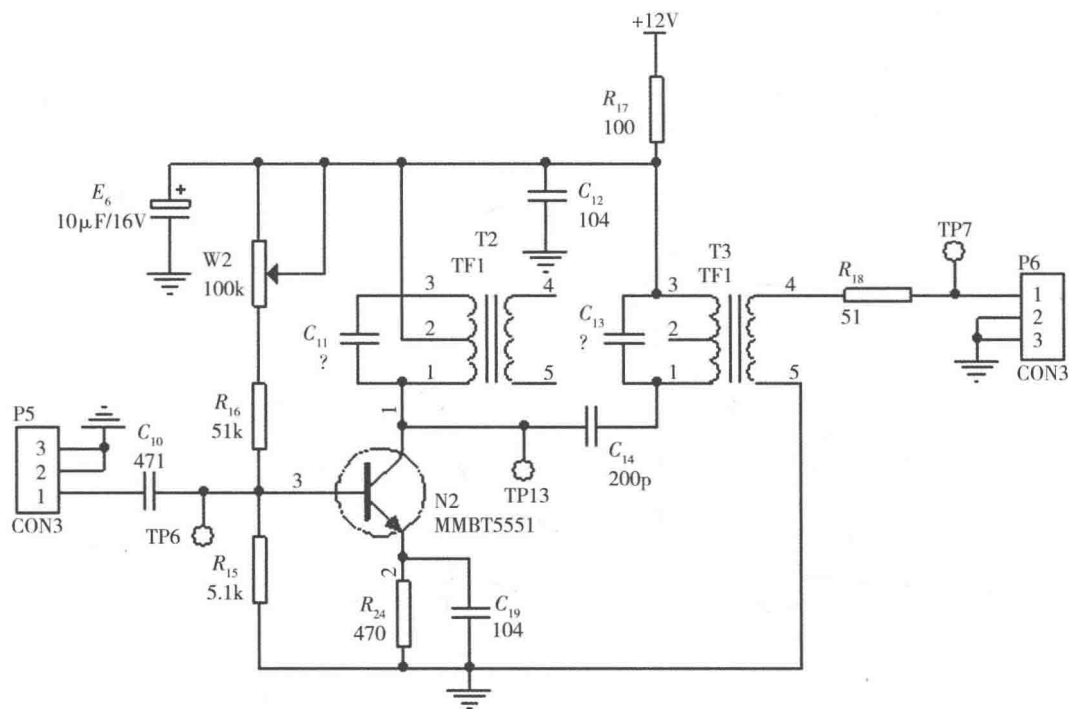


图 1-3 双调谐小信号放大电路图

四、实验步骤

使用模块：1 号板信号源模块、2 号板小信号放大模块、6 号板频率计模块。

(一) 单调谐小信号放大器单元电路实验

1. 断电状态下，按图 1-4 进行连线

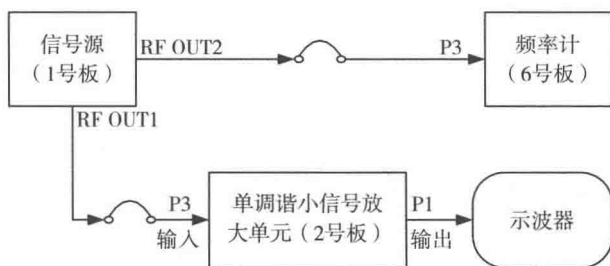


图 1-4 单调谐小信号放大电路连线框图

注：图中符号  表示高频连接线。

表 1-1

源端口	目的端口	连线说明
1 号板: RF OUT1 ($V_{p-p} = 200\text{mV}$ $f = 10.7\text{MHz}$)	2 号板: P3	高频小信号输入
1 号板: RF OUT2	6 号板: P3	频率计观察输入频率

2. 频率谐振的调整

(1) 用示波器观测 TP3, 调节 1 号板信号源模块, 使之输出幅度为 200mV、频率为 10.7MHz 的正弦波信号。

(2) 顺时针调节 W1 到底, 用示波器观测 TP1, 调节中周, 使 TP1 幅度最大且波形稳定不失真。

3. 动态测试

保持输入信号频率不变, 调节信号源模块的幅度旋钮, 改变单调谐放大电路中输入信号 TP3 的幅度。用示波器观察在不同幅度信号下 TP1 处的输出信号的峰值电压, 并将对应的实测值填入表 1-2, 计算电压增益 A_{v0} 。在坐标轴中画出动态曲线。

表 1-2

输入信号 f_s (MHz)	10.7MHz			
输入信号 V_i (mV) TP3	50	100	200	300
输出信号 V_o (V) TP1				
增益 A_{v0} (dB)				

4. 通频带特性测试

保持输入信号幅度不变, 调节信号源的频率旋钮, 改变单调谐放大电路中输入信号 TP3 的频率。用示波器观察在不同频率信号下 TP1 处的输出信号的峰值电压, 并将对应的实测值填入表 1-3, 在坐标轴中画出幅度 - 频率特性曲线。若配有扫频仪, 可用扫频仪观测回路谐振曲线。调节输入信号频率, 测试并计算出 $BW_{0.707}$ 。

表 1-3

输入信号 V_i (mV) TP3	200mV							
输入信号 f_s (MHz)	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	11.0	11.1
输出信号 V_o (V) TP1								
增益 (dB)								

5. 谐振曲线的矩形系数 $K_{r0.1}$ 测试

(1) 调节信号频率, 测试并计算出 $BW_{0.1}$ 。

(2) 计算矩形系数 $K_{r0.1}$ 。

6. 用扫频仪观测回路谐振曲线

测试之前首先要进行零 dB 校正: 调节衰减开关, 使衰减倍数显示为 00dB。若已为, 00, 则无需调节。将扫频仪 RF 输出端和扫频仪 y 输入端相接, 地端和地端相接, 调整 y 增益使显示屏出现两条扫描线, 并使扫描线的间隔为五个方格的高度, 此时已校正完毕,