

# 通信电路与通信原理综合实验

TONGXIN DIANLU YU TONGXIN YUANLI ZONGHE SHIYAN

林善法 余燕平 编著



浙江工商大学出版社  
ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY PRESS

# 通信电路与通信原理综合实验

林善法 余燕平 编著



浙江工商大学出版社  
ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

通信电路与通信原理综合实验 / 林善法, 余燕平编  
著. — 杭州: 浙江工商大学出版社, 2012. 10  
ISBN 978-7-81140-615-3

I. ①通… II. ①林… ②余… III. ①通信系统—电  
子电路—实验—教材②通信原理—实验—教材 IV.  
①TN91—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 228285 号

## 通信电路与通信原理综合实验

林善法 余燕平 编著

责任编辑 孙一凡 祝希茜

责任校对 周敏燕

封面设计 王妤驰

责任印制 汪俊

出版发行 浙江工商大学出版社

(杭州市教工路 198 号 邮政编码 310012)

(E-mail: zjgsupress@163.com)

(网址: <http://www.zjgsupress.com>)

电话: 0571-88904980, 88831806(传真)

排 版 杭州朝曦图文设计有限公司

印 刷 杭州恒力通印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 12.75

字 数 311 千

版 印 次 2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-81140-615-3

定 价 29.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江工商大学出版社营销部邮购电话 0571-88804227

# 前 言

《通信电路与通信原理综合实验》是为通信、电子类专业《通信电路》与《通信原理》实验课教学而编写的综合实验指导书。本实验指导书在多年实验教学的基础上对该类课程现有的各个重要的实验内容作了必要的调整、补充与更新。全书分为两篇。第一篇“通信电路实验”作为指导书的开头,在实验一中安排了高频仪器的使用实验,使学生能够在实验开始之前对高频仪器设备的使用方法有正确的了解。安排其中的设计性实验,先进行实验方案的自行设计,然后通过实验对设计方案进行验证。通过这种自主设计形式的实验教学,有效地提高了学生的学习主动性,很好地锻炼了学生的创新意识和创新能力。第二篇“通信原理实验”共安排了十六个经典实验,覆盖了通信电路教学中所涉及的主要内容。

本书课程所有实验内容均可在高频电子线路实验箱、通信原理综合实验箱与自制的万能实验板上完成。使学生既巩固了相关课程的理论基础知识,培养学生的实践技能、动手能力以及分析问题和解决问题的能力,又激发了学生的创新意识和创新思维潜力。

感谢 2010 年浙江省本科院校实验教学示范中心建设点“网络与通信技术实验教学中心”项目资助。由于本书编写时间比较仓促,难免有错,不足之处请谅解。

作 者

2012 年 7 月

## 目 录

## 第一篇 通信电路实验

|      |                                 |    |
|------|---------------------------------|----|
| 实验一  | 高频仪器的使用实验(验证性实验)·····           | 3  |
| 实验二  | 调谐放大器实验(验证性实验)·····             | 8  |
| 实验三  | 丙类高频功率放大器实验(验证性实验)·····         | 14 |
| 实验四  | LC 三点式振荡器实验(验证性实验)·····         | 17 |
| 实验五  | 振幅调制器实验(验证性实验)·····             | 22 |
| 实验六  | 调幅波信号的解调实验(验证性实验)·····          | 27 |
| 实验七  | 变容二极管调频振荡器实验(验证性实验)·····        | 32 |
| 实验八  | 相位鉴频器实验(验证性实验)·····             | 36 |
| 实验九  | 集成压控频率调制器实验(验证性实验)·····         | 40 |
| 实验十  | 集成(锁相环)频率解调器实验(验证性实验)·····      | 44 |
| 实验十一 | 455 kHz 中频调谐放大器设计实验(创新性实验)····· | 48 |
| 实验十二 | 倍频电路设计实验(创新性实验)·····            | 49 |
| 实验十三 | 调频振荡器电路设计实验(设计性实验)·····         | 50 |
| 实验十四 | 数字频率特性仪测试实验(创新性实验)·····         | 51 |

## 第二篇 通信原理实验

|     |                                   |     |
|-----|-----------------------------------|-----|
| 实验一 | CPLD 可编程信号源实验(验证性实验)·····         | 73  |
| 实验二 | 伪随机序列码发生器电路设计实验(设计性实验)·····       | 87  |
| 实验三 | 振幅键控(ASK)调制与解调实验(验证性实验)·····      | 90  |
| 实验四 | 移频键控(FSK)调制与解调实验(验证性实验)·····      | 99  |
| 实验五 | 移相键控(PSK/DPSK)调制与解调实验(验证性实验)····· | 110 |
| 实验六 | 载波同步提取和位同步提取实验(综合性实验)·····        | 122 |
| 实验七 | ASK 解调电路设计实验(设计性实验)·····          | 132 |
| 实验八 | (FSK)解调电路设计实验(设计性实验)·····         | 134 |
| 实验九 | PSK 调制电路设计实验(设计性实验)·····          | 136 |
| 实验十 | 抽样定理和 PAM 调制解调实验(验证性实验)·····      | 138 |

|      |                           |     |
|------|---------------------------|-----|
| 实验十一 | 脉冲编码调制解调实验(验证性实验)·····    | 146 |
| 实验十二 | 两路 PCM 时分复用实验(创新性实验)····· | 154 |
| 实验十三 | 两路 PCM 解复用实验(创新性实验)·····  | 160 |
| 实验十四 | 增量调制编译码系统实验(验证性实验)·····   | 163 |
| 实验十五 | 汉明码编译码实验(创新性实验)·····      | 169 |
| 实验十六 | 码型变换实验(创新性实验)·····        | 173 |
| 附录 1 | 示波器手册·····                | 179 |
| 附录 2 | 通信原理实验实例波形图·····          | 192 |
| 附录 3 | 万能实验板图·····               | 195 |

# 第一篇 通信电路实验





# 实验一 高频仪器的使用实验(验证性实验)

## 一、实验目的

1. 熟悉频率特性测试仪的使用方法
2. 掌握双踪示波器的使用方法
3. 掌握高频信号发生器的使用方法
4. 掌握调制度仪的使用方法
5. 了解超高频毫伏表的测试方法

## 二、实验内容

1. 频率特性测试仪的功能测试
2. 高频信号发生器的载波测试
3. 高频信号发生器的调幅测试
4. 高频信号发生器的调频测试

## 三、实验仪器

- |            |    |
|------------|----|
| 1. 频率特性测试仪 | 一台 |
| 2. 双踪示波器   | 一台 |
| 3. 高频信号发生器 | 一台 |
| 4. 调制度仪    | 一台 |

## 四、实验仪器的性能及操作规程

### (一)频率特性测试仪

BT3 型频率特性测试仪为通用扫频仪,它利用矩形内刻度示波管作为显示器,直接显示被测设备的幅频特性曲线.应用该仪器可快速测量或调整甚高频段的各种有源、无源网络的幅频特性和驻波特性.

### 1. 技术参数

- (1)扫频范围 1~300 MHz.
- (2)中心频率 1~300 MHz.
- (3)扫频输出电压大于  $0.5V_{\max}(75\Omega)$ .
- (4)频率标记 50 MHz、10 MHz、1 MHz;外频标记 10 MHz、1 MHz 同时显示.
- (5)输出阻抗  $75\Omega$ .
- (6)输出衰减器  $-10\text{dB}\times 7$  步进、 $-1\text{dB}\times 10$  步进.

### 2. 频率特性测试仪功能检测与操作

- (1)零频标识别.

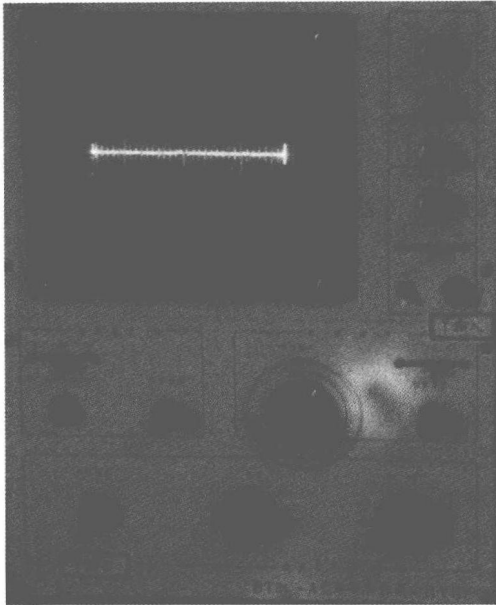


图 1-1-1 BT3C-A 型频率特性测试仪的操作面板图

如图 1-1-1 所示是 BT3C-A 型频率特性测试仪的面板图,开启电源,调节辉度钮可改变基线亮度,调节  $\uparrow\downarrow$  钮可改变水平扫频基线的位置,频标选择 1.10 MHz,顺时针调节频标幅度钮使频标出现,频段选择窄扫,调节扫频宽度钮有变化.

将扫频 Y 输出探头与扫频 Y 输入检波探头直接相连接,地与地相连接,调节中心频率钮使频标水平移动,观察水平两根扫频基线出现下凹处即为零频标.

- (2)扫频输出增益.

在零频标识别的基础上,调节 Y 增益钮置最大,假设取 Y 输入衰减 10 倍加 Y 输出衰减器粗调置  $-10\text{dB}$ 、细调置  $0\text{dB}$ ,观察水平出现上下两根扫频基线垂直为 6 格,此时读出 Y 输入衰减 10 倍加输出衰减器增益就等于  $-30\text{dB}/6$  格.

- (3)中心频率钮.

中心频率钮的调节频率范围为 1~300 MHz,调节它可以使扫频频标左右移动.

- (4)频标.

频标调节方式选择开关置在 1.10 挡功能是指扫频频标最小间隔为 1 MHz,最大间隔

为 10 MHz. 适当调节扫频宽度钮. 如何读频标要先找到零频标, 在零频标的右边开始以每小间隔为 1 MHz、大间隔为 10 MHz, 通过调节中心频率钮可以使扫频频标往左移, 一边读频标 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz, …, 一边调节中心频率钮, 最大能读到 300 MHz. 在零频标的左边为镜频频标. 频标调节方式选择开关置在 50 挡是指扫频频标间隔为 50 MHz. 在零频标的右边开始以每隔为 50 MHz, 通过调节中心频率钮可以使扫频频标往左移, 一边调节一边读频标 50 MHz, 100 MHz, 150 MHz, …, 最大同样能读到 300 MHz. 频标调节方式选择开关置在外档功能是指扫频频标由外部输入的频率显示.

## (二) 高频信号发生器

### 1. 主要技术参数

- (1) RF 输出频率范围 0.3~300 MHz.
- (2) 分辨率 1 kHz.
- (3) RF 输出电平范围 0.112  $\mu$ V~316 mV.
- (4) 衰减范围 0 ~ -120 dB.
- (5) AM 调幅范围 0~80%.
- (6) 外调幅带宽 EXT 30 Hz ~ 10 kHz.
- (7) 调频最大频偏 0~100 kHz.

## 五、实验步骤

### (一) 频率特性测试仪

#### 1. 检测频率特性测试仪的扫频输出增益

参照频率特性测试仪扫频输出增益操作步骤, 求扫频输出增益  $G$ . 增益输出扫频实测图形见图 1-1-2 所示, 实验记录画在图 1-1-3 中.

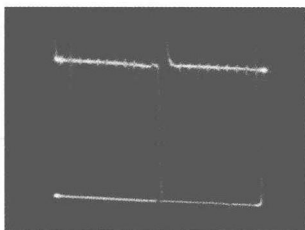


图 1-1-2 实际扫频观察到增益输出示例图形

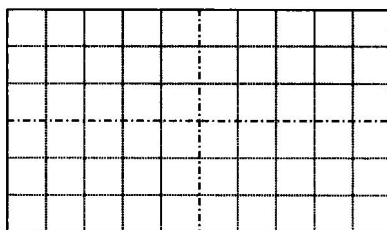


图 1-1-3 实验增益输出图形

#### 2. 验证频率特性测试仪的扫频范围

频率特性测试仪的扫频调节方式开关置在窄扫功能, 适当调节扫频宽度钮, 然后调节中心频率钮找到零频标位置, 记录零频标的左边的镜频扫频范围, 记录零频标的右边的镜频扫频范围.

#### 3. 验证频率特性测试仪的点频输出频率

先找到零频标位置, 频率特性测试仪的扫频选择开关置窄扫挡, 调节中心频率钮找到 1 MHz 频标, 后置点频挡, 通过示波器计频器测量频率特性测试仪的输出频率范围. 选

择输出衰减为-10 dB,调节中心频率,通过频率计示波器观察点频输出频率.注意观察点频输出的频率是通过中心频率钮调节,点频输出的电压幅度是通过输出衰减器开关控制.观察频率特性测试仪的扫频选择方式开关三挡功能:全扫、窄扫、点频的各功能作用有什么不同.

## (二) 高频信号发生器

### 1. 检测 RF 输出频率和电平幅度

将高频信号发生器的衰减电平开关选择 100 mV 挡,通过调节 FINE 钮满足量程,然后设置 RF 输出频率如表 1-1-1 所示,采用示波器测量观察 RF 输出电平幅度和频率参数.当 RF 输出频率为 5 MHz 时,通过调节 FINE 钮使 RF 输出幅度为 100 mV<sub>p-p</sub>.分析 RF 输出电平幅度会随输出频率上升而下降的原因.

表 1-1-1 RF 输出频率变化和电平幅度关系

| RF 输出频率/ MHz               | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|----------------------------|---|----|----|----|----|----|----|
| RF 输出幅度/ mV <sub>p-p</sub> |   |    |    |    |    |    |    |

### 2. AM 调幅输出检测

将高频信号发生器的载波频率设为 10 MHz,衰减电平开关选择 200 mV 挡.发生器的调制选择开关置 AM 挡,调制度开关选择 100%,音频调制信号选择 1kHz,然后调节 AM/FM 钮满足调制度 90%,采用示波器测量观察 RF 输出 AM 调幅输出,适当调节 FINE 钮、AM/FM 钮观察表头指针,同时观察示波器 AM 信号.调幅波的特点是频率与载波信号的频率相等,幅度随输入信号幅度的变化而变化,实测波形见图 1-1-4 所示.

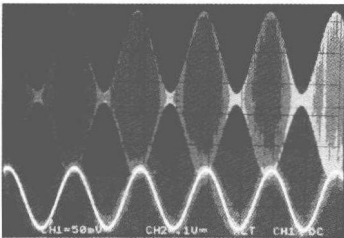


图 1-1-4 AM 调幅和音频信号波形

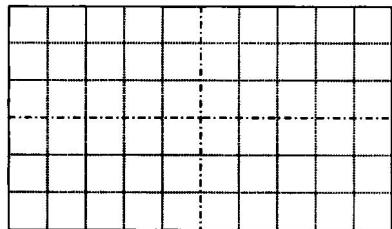


图 1-1-5 记录实验中 AM 调幅和音频信号波形

### 3. FM 调频输出检测

将高频信号发生器的载波频率设为 10 MHz,衰减电平开关选择 30 mV 挡.发生器的调制选择开关置 FM 挡,调制度开关选择 100 kHz,音频调制信号选择 1 kHz,然后调节 AM/FM 钮满足调频最大频偏等于 100 kHz.采用调制度仪测量高频信号发生器的 RF 输出 FM 调频输出.调频波的特点是幅度与载波信号的幅度相等,频率随输入信号幅度的变化而变化;调相波的特点是幅度与载波信号的幅度相等,相位随输入信号幅度的变化而变化.调幅波和调频波的示意图如图 1-1-6 所示.

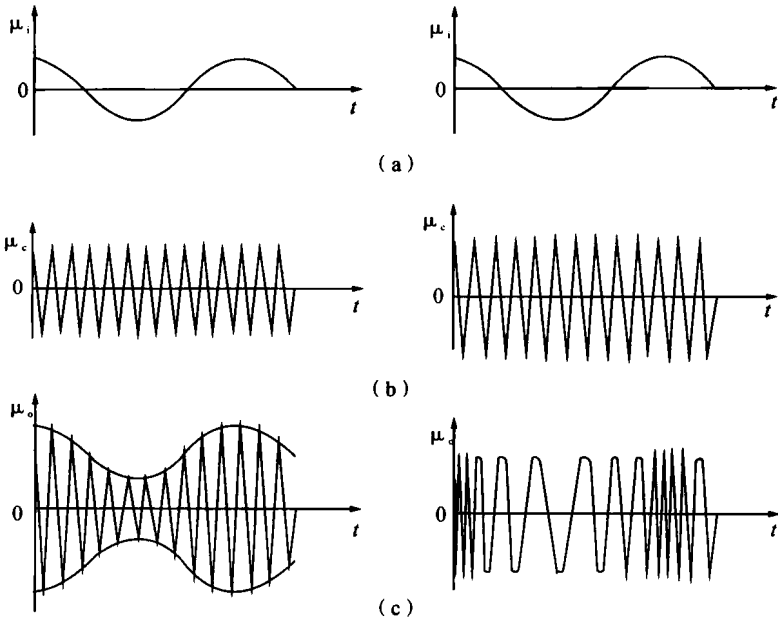


图 1-1-6 调幅波和调频波

图 1-1-6 的(a)音频信号;图(b)载波信号,图(c)调幅波和调频波信号.

## 实验二 调谐放大器实验(验证性实验)

### 一、实验目的

1. 熟悉电子元件和高频电路实验箱
2. 熟悉谐振回路的幅频特性——通频带与选择性
3. 熟悉信号源内阻及负载对谐振回路的影响,从而了解频带扩展
4. 熟悉和了解小信号放大器的动态范围及其测试方法

### 二、实验内容

1. 静态工作点测量与分析
2. 单调谐回路谐振放大器幅频特性的扫频法和点测法测量与调试
3. 单调谐回路谐振放大器的动态范围测量与研究
4. 双调谐回路谐振曲线扫频法测量与调试

### 三、实验仪器

- |            |    |
|------------|----|
| 1. 双踪示波器   | 一台 |
| 2. 频率特性测试仪 | 一台 |
| 3. 高频信号发生器 | 一台 |
| 4. 高频毫伏表   | 一台 |
| 5. 数字万用表   | 一台 |
| 6. 实验板 G1  | 一块 |

### 四、实验原理

#### (一)单调谐小信号谐振放大器

单调谐小信号谐振放大器是通信接收机的前端电路,主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大和选频.实验电路如图 1-2-1 所示,图中  $L_1$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  为  $\pi$  型滤波电路,其作用是为了减少交流高频信号对直流电源的影响. +12 V 电源、 $R_1$ 、 $R_2$  和  $R_e$  为放大电路提供直流静

态工作点,  $C_2$  为发射极旁路电容.  $L$ 、 $C$  和  $C_T$  为选频回路(也称为谐振回路), 改变  $C_T$  的值, 可以改变回路的谐振频率. 三极管  $V$  及其输出阻抗相当于谐振回路的信号源和信号源内阻,  $C_1$ 、 $C_3$  为隔直电容, 它能够有效防止不同放大级之间直流信号的相互影响, 又可使交流信号顺利通过. 若忽略三极管输出电容和负载电容的影响, 谐振频率为  $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ , 对于放大电路而言,  $L$ 、 $C$ 、 $C_T$  回路相当于负载, 当发生谐振时, 选频回路的阻抗最大, 为纯电阻性, 这时放大电路的电压放大倍数最大; 改变信号源频率, 选频回路就会失谐, 其阻抗值迅速减小, 电压放大倍数也迅速减小, 通常小信号调谐放大器就工作在谐振频率处, 它允许与其频率一致的信号通过并进行放大, 对于与其谐振频率不一致的频率信号, 则不进行放大而被禁止通过, 这就是“选频”的含义. 改变电容  $C_T$ , 可以改变选频回路的谐振频率, 从而使得不同频率的信号通过.  $R$  是集电极(交流)电阻, 它决定回路的  $Q$  值、带宽.

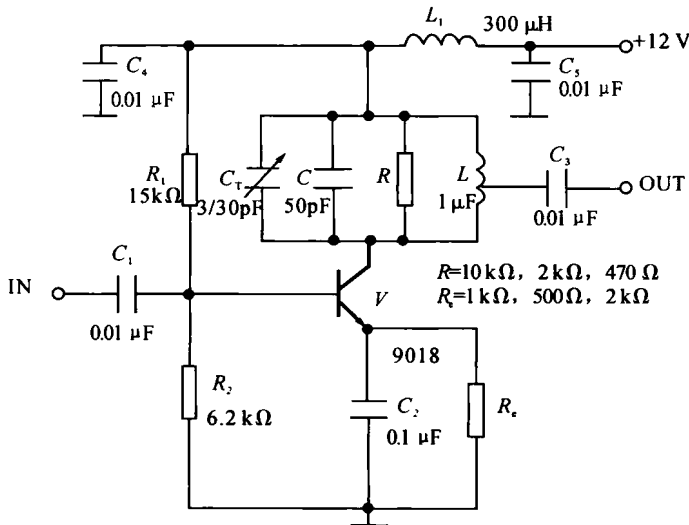


图 1-2-1 单调谐回路谐振放大器原理图

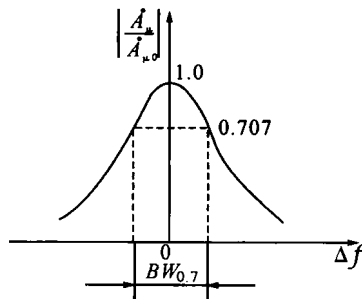


图 1-2-2 单调谐放大器增益频率特性曲线

## (二) 双调谐回路谐振放大器

单调谐回路的选择性好, 但通频带太窄, 频率特性曲线的矩形系数太差, 所以实际电路上常采用双调谐回路来增加带宽, 改善矩形系数. 双调谐回路通常有两种: 互感耦合型和

电容耦合型,本实验采用了电容耦合型,图 1-2-3 中,  $L_1$ 、 $C_{T1}$ 、 $C_3$  为一个并联谐振回路,  $L_2$ 、 $C_{T2}$ 、 $C_4$  为另一个并联谐振回路. 可调电容  $C$  为两个谐振回路间的耦合电容,  $C$  值大, 其容抗小, 两谐振回路之间的耦合作用强;  $C$  值小, 其容抗大, 两谐振回路之间的耦合作用弱, 所以调节  $C$  值, 即可改变两个谐振回路之间的耦合系数, 必须反复调整  $C_{T1}$ 、 $C_{T2}$  和  $C$ , 使得频率特性曲线出现较为理想的双峰曲线, 需要注意的是: 双峰曲线中心频率处的幅度值不得小于最大值的 0.7 倍. 双调谐放大器的其他部分工作原理同单调谐回路, 不再详细说明. 改变耦合电容就可以改变两个单调谐回路之间的耦合程度. 通常用耦合系数来表征耦合程度, 其定义为: 耦合元件电抗的绝对值与初、次级回路中同性元件电抗值的几何中项之比. 是无量纲的常数, 它对双调谐放大电路的频率特性有着直接的影响. 电容耦合双调谐回路的耦合系数为:

$$k = \frac{C}{\sqrt{(C_1 + C)(C_2 + C)}} \quad (1-2-1)$$

式中  $C_1$  与  $C_2$  是等效到初、次级回路的全部电容之和. 双调谐放大电路的分析方法与其他选频放大电路的分析方法相同.

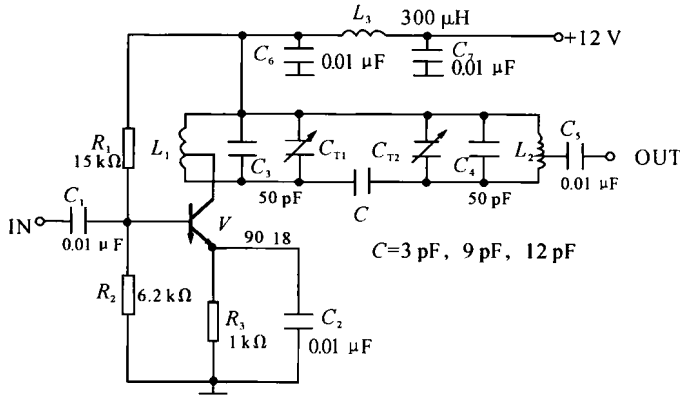


图 1-2-3 双调谐回路谐振放大器原理图

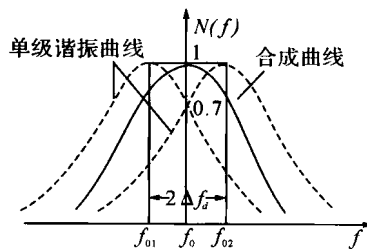


图 1-2-4 双调谐特性曲线

## 五、实验步骤

### (一) 静态测量

按如图 1-2-1 连接电路, 取  $R_c = 1 \text{ k}\Omega$ , 注意接线前先测量 +12V 电源电压, 无误后, 切断



电源再接线. 接线后仔细检查, 确认无误后接通电源. 数字万用表测量静态工作点,  $V_B$ 、 $V_E$ 、 $V_{EC}$  判断是否工作在放大区.

## (二) 单调谐回路谐振放大器幅频特性测量

测量幅频特性通常有两种方法, 即扫频法和点测法. 扫频法简单直观, 使用扫频仪可直接观察到单调谐放大特性曲线. 点测法, 即保持输入信号幅度不变, 改变输入信号的频率, 测出与频率相对应的单调谐回路谐振放大器的输出电压幅度, 然后画出频率与幅度的关系曲线, 该曲线即为单调谐回路谐振放大器的幅频特性.

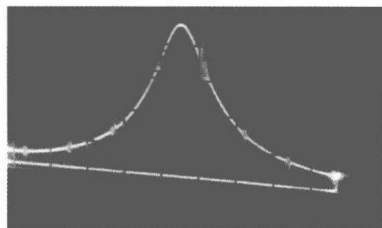
### 1. 扫频法测量幅频特性

选  $R=10\text{ k}\Omega$ 、 $R_e=1\text{ k}\Omega$ . 将扫频仪输出探头接入单调谐回路谐振放大器电路的输入  $V_i$  端, 电路的输出  $V_o$  端接至扫频仪检波器探头输入端. 观察回路谐振曲线, 扫频仪输出衰减档取  $-30\text{ dB}$  至  $-40\text{ dB}$  (根据实际情况来选择适当衰减), 扫频仪输入衰减取 10 倍. 调节扫频仪的中心频率钮使扫频频标  $10\text{ MHz}$  位于屏幕中心, 再调节谐振回路电容  $C_T$  使特性曲线峰点的谐振中心频率  $f_0=10\text{ MHz}$ . 适当调节扫频宽度钮使坐标频率范围为  $7\text{ MHz}\sim 12\text{ MHz}$ .

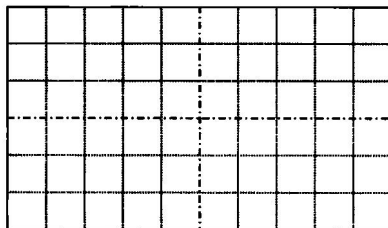
记录谐振曲线上峰和下基线坐标之间高度为 6 格时谐振放大器输出增益  $G_o$ , 然后再求扫频仪的输入增益  $G_{IN}$  (此时注意扫频仪的 Y 增幅钮不得再改动), 将两者增益相减即为单调谐放大器谐振增益.

测算结果: 特性曲线增益  $G$  = 输出增益  $G_o$  - 输入增益  $G_{IN}$  (dB/6 格).

当  $R_e=1\text{ k}\Omega$  不变, 而  $R=470\Omega$ 、 $2\text{ k}\Omega$  时, 观察回路谐振曲线. 分析调谐放大器的通频带  $B$  与回路电阻  $R$  的关系.



(a) 单调谐特性曲线



(b) 记录单调谐特性曲线

图 1-2-5 示例与实测特性比较

### 2. 点测法测量幅频特性

当回路电阻  $R=10\text{ k}\Omega$ 、 $2\text{ k}\Omega$ 、 $470\Omega$  和  $R_e=1\text{ k}\Omega$  时测算通频带和  $Q$  值, 选择正常放大区的输入电压  $V_i=30\text{ mV}_{P-P}$ , 将高频信号发生器输出端接至电路输入端, 保持输入信号幅度不变, 改变输入信号的频率  $f$ , 测出与频率相对应的单调谐回路谐振放大器的输出电压幅度, 然后画出频率与幅度的关系曲线图, 该曲线即为单调谐回路谐振放大器的幅频特性.

将高频信号发生器输出端接至电路输入端, 选择正常放大区的输入电压  $V_i=30\text{ mV}_{P-P}$ , 调节频率  $f$  使其为  $10\text{ MHz}$ , 调节  $C_T$  使回路谐振, 使输出电压幅度为最大, 此时的回路谐振频率  $f_0=10\text{ MHz}$  为中心频率, 然后保持输入电压  $V_i$  不变, 改变频率  $f$  由中心