



## 摘要

高频小信号调谐放大器是一种中心频率在几百 KHZ 到几百 MHZ，频谱宽度在几 KHZ 到几十 MHZ 的范围内的放大器。按照所用器件可分为晶体管，场效应管和集成电路放大器；按照通过频谱的宽窄可分为窄带和宽带放大器；按照电路形式可分为单级和级联放大器；按照所用负载性质可分为谐振放大器和非谐振放大器。

调谐放大器采用谐振回路作负载，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。所以谐振放大器不仅有放大作用，而且也起着滤波或选频的作用。

小信号调谐放大器是构成无线电通信设备的主要电路，其作用是对信道中的微弱高频小信号进行不失真的放大。在无线电接收机中主要用做高频和中频选频放大，高频调谐放大器的集电极负载为可变频率调谐。

对小信号调谐放大器的主要要求有：有足够高的增益、满足选择性和通频带要求、稳定性与噪声系数要好、动态范围要宽。

本文以理论分析为依据，得到 10.7Mhz 中心频率，带宽 3Mhz 的高频小信号调谐放大器，并用 multisim 仿真进行调试，实际制作来验证理论分析。

关键字：三极管；LC 谐振回路；高频小信号；放大器

目录

摘要.....	
1 高频小信号调谐放大器的原理分析.....	
1.1 小信号调谐放大器的主要特点 .....	2
1.2 小信号调谐放大器的主要指标 .....	2
1.2.1 谐振频率.....	2
1.2.2 谐振增益 ( $A_v$ ) .....	2
1.2.3 通频带.....	3
1.2.4 增益带宽积 .....	4
1.2.5 选择性.....	4
1.2.6 噪声系数.....	5
1.3 晶体管高频小信号等效电路 .....	5
1.3.1 单级单调谐回路谐振放大器 .....	6
1.3.2 多级单调谐回路谐振放大器 .....	7
1.4 自激原理及消除方法 .....	8
2 高频小信号调谐放大器的设计与制作 .....	
2.1 技术要求.....	10
2.2 晶体管 MMBT2222A.....	10
2.3 设计过程.....	10
2.3.1 选定电路形式 .....	10
2.3.2 设置静态工作点 .....	11
2.3.3 谐振回路参数计算 .....	12
2.3.4 确定电感电容 .....	12
3 高频小信号谐振放大器电路仿真实验 .....	
3.1 仿真电路图.....	13
3.2 测量并调整放大器的静态工作点 .....	13
3.3 谐振频率与技术指标的测量 .....	14
4 高频小信号调谐放大器的电路板制作 .....	
4.1 原理图转换为 PCB.....	15
4.2 实物图.....	16
4.3 示波器测量.....	16
4.4 误差分析.....	17
4 总结与心得体会 .....	

# 高频小信号谐振放大器设计

## 1 高频小信号调谐放大器的原理分析

### 1.1 小信号调谐放大器的主要特点

晶体管集电极负载通常是一个由 LC 组成的并联谐振电路。由于 LC 并联谐振回路的阻抗是随着频率变化而变化，理论上可以分析，并联谐振在谐振频率处呈现纯阻，并达到最大值。即放大器在回路谐振频率上将具有最大的电压增益。若偏离谐振频率，输出增益减小。总之，调谐放大器不仅具有对特定频率信号的放大作用，同时也起着滤波和选频的作用。

### 1.2 小信号调谐放大器的主要质量指标

衡量小信号调谐放大器的主要质量主要包括以下几个方面：

#### 1.2.1 谐振频率

放大器调谐回路谐振时所对应的频率称为放大器的谐振频率，理论上，对于 LC 组成的并联谐振电路，谐振频率的表达式为：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

式中，L 为调谐回路电感线圈的电感量；C 为调谐回路的总电容。

谐振频率的测试方法：放大器的调谐回路谐振时所对应的频率称为放大器的谐振频率，可以用扫频仪测出电路的幅频特性曲线，另外，也可以通过点频法改变输入信号频率，得到输出增益随频率变化的幅频特性曲线，电压谐振曲线的峰值即对应谐振频率点。

#### 1.2.2 谐振增益 ( $A_v$ )

放大器的谐振电压增益放大倍数指：放大器处在在谐振频率  $f_0$  下，输出电压与输入电压之比。

$A_v$  的测量方法：当谐振回路处于谐振状态时，用高频毫伏表测量输入信号  $V_i$  和输出信号  $V_o$  大小，利用下式计算：

$$A_v = V_o / V_i, \quad A_v = 20 \lg(V_o / V_i) \text{ dB}$$

另外，也可以利用功率增益系数进行估算：

$$A_p = \frac{P_o}{P_i}, \quad A_p = 10 \lg \frac{P_o}{P_i}$$

### 1.2.3 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，习惯上称电压放大倍数  $A_v = V_o / V_i$  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带宽  $BW$ ，通常用  $2 \Delta f_{0.1}$  表示，有时也称  $2 \Delta f_{0.1}$  为 3dB 带宽。

通频带带宽：

$$BW = f_H - f_L = 2 \Delta f_{0.7} = f_0 / Q$$

式中， $Q$  为谐振回路的有载品质因数。

当晶体管选定后，回路总电容为定值时，谐振电压放大倍数  $f_0$  与通频带  $BW$  的乘积为一常数。

频带  $BW$  的测量方法：根据概念，可以通过测量放大器的谐振曲线来求通频带。测量方法主要采用扫频法，也可以是逐点法。

扫频法：即用扫频仪直接测试。测试时，扫频仪的输出接放大器的输入，放大器的输出接扫频仪检波头的输入，检波头的输出接扫频仪的输入。在扫频仪上观察并记录放大器的频率特性曲线，从曲线上读取并记录放大器的通频带。

逐点法：又叫逐点测量法，就是测试电路在不同频率点下对应的信号大小，利用得到的数据，做出信号大小随频率变化的曲线，根据绘出的谐振曲线，利用定义得到通频带。

具体测量方法如下：

a、用外置专用信号源做扫频源，正弦输入信号的幅度选择适当的大小，并保持不变；

- b、示波器同时监测输入、输出波形，确保电路工作正常（电路无干扰、无自激、输出波形无失真）；
- c、改变输入信号的频率，使用毫伏表测量不同频率时输出电压的有效值；
- d、描绘出放大器的频率特性曲线，在频率特性曲线上读取并记录放大器的通频带。测试时，可以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（保持其输出电压不变），并测出对应的电压放大倍数。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 1-1 所示。

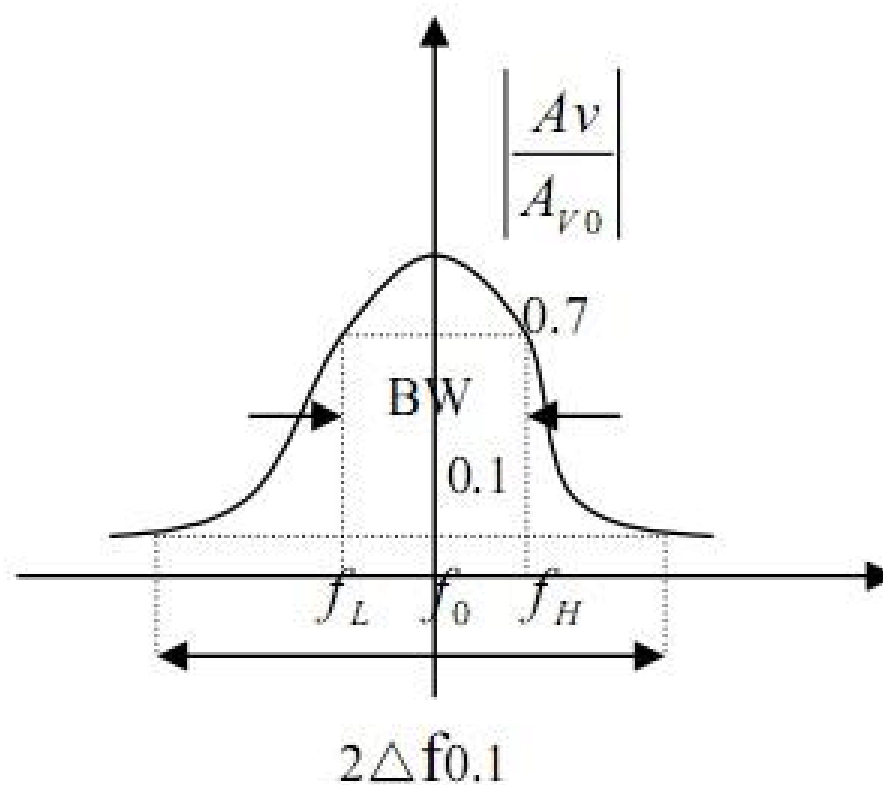


图 1-1 放大器的通频带和谐振曲线

## 1.2.4 增益带宽积

增益带宽积  $BW \cdot G$  也是通信电子电路的一个重要指标，通常，增益带宽积可以认为是一个常数。放大器的总通频带宽度随着放大级数的增加而变窄， $BW$  越大，增益越小。二者是一对矛盾。

不同电路中，放大器的通频带差异可能比较大。如：在设计电视机和收音机的中频放大器时，对带宽的考虑是不同的，普通的调幅无线电广播所占带宽是 9kHz，而电视信号的带宽需要 6.5MHz，显然，要获得同样的增益，中频放大器的带宽设计是完全不同的。

## 1.2.5 选择性

放大器从含有各种不同频率的信号总和中选出有用信号，排除干扰信号的能力，称为

放大器的选择性。选择性的基本指标是矩形系数。其中，定义矩形系数  $k_{v0.1}$  是电压放大倍数下降到谐振时放大倍数  $A_{v0}$  的 10% 所对应的频率偏移和电压放大倍数下降为 0.707  $A_{v0}$  时所对应的频率偏移  $2\Delta f_{0.1}$  之比，即：

$$K_{v0.1} = 2\Delta f_{0.1} / 2\Delta f_{0.7}$$

同样还可以定义矩形系数  $k_{r0.01}$ ，即：

$$K_{r0.01} = 2\Delta f_{0.01} / 2\Delta f_{0.7}$$

显然，矩形系数越接近1，曲线就越接近矩形，滤除邻近波道干扰信号的能力愈强。

### 1.2. 噪声系数

$$N_F = \frac{P_{si} / P_{ni} \text{ (输入信号噪比)}}{P_{so} / P_{no} \text{ (输出信号噪比)}}$$

NF 越接近 1 越好。

### 1.3 晶体管高频小信号等效电路与分析方法

高频小信号放大器由于输入信号幅值小，可以认为晶体管工作在线性区，经常采用有源线性四端网络进行分析。如图 1-2，1-3 所示，Y 参数等效电路和混合  $\pi$  等效电路是描述晶体管高频小信号下工作状态的重要模型。

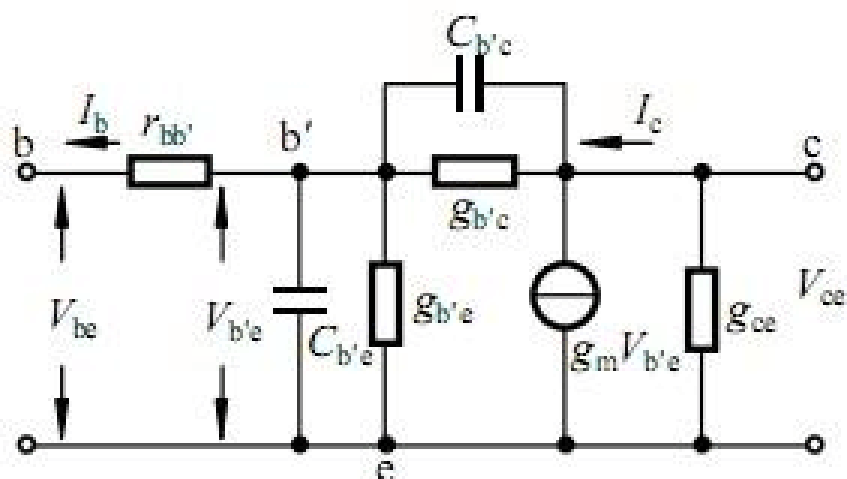


图 1-2 混合  $\pi$  等效电路图

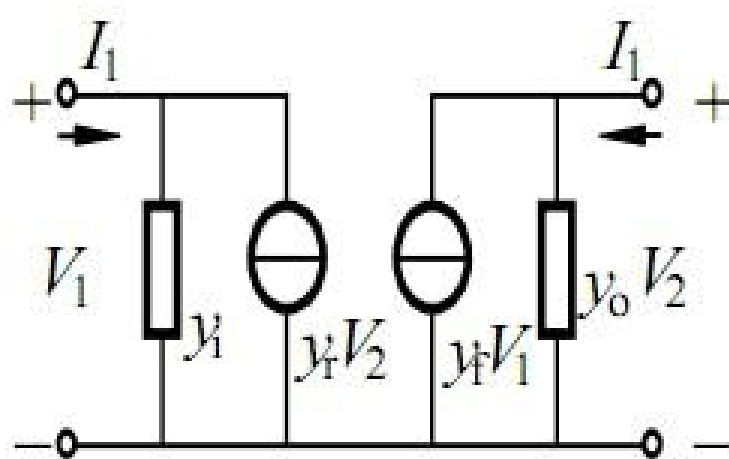


图 1-3 y 参数等效电路

Y 参数等效电路与混合  $\pi$  等效电路参数的转换，用混合  $\pi$  参数表示的 Y 参数：

$$y_{ie} = \left. \frac{i_1}{v_1} \right|_{v_2=0} = \frac{Y_{b'e}}{1 + r_{bb'} Y_{b'e}} ;$$

$$y_{fe} = \left. \frac{i_2}{I_1} \right|_{v_2=0} = \frac{g_m}{1 + r_{bb'} Y_{b'e}} ;$$

$$y_{re} = \left. \frac{i_1}{v_2} \right|_{v_1=0} = -\frac{j\omega C_{b'c}}{1 + r_{bb'} Y_{b'e}} ;$$

$$y_{oe} = \left. \frac{i_2}{I_2} \right|_{v_1=0} = j\omega C_{b'c} \left( 1 + \frac{g_m r_{bb'}}{1 + r_{bb'} Y_{b'e}} \right) ;$$

其中  $Y_{b'e}' = j\omega C_{b'e}$ ,  $Y_{b'e} = j\omega(C_{b'e} + C_{b'c})$ 。

### 1.3. 1单级单调谐回路谐振放大器电路原理

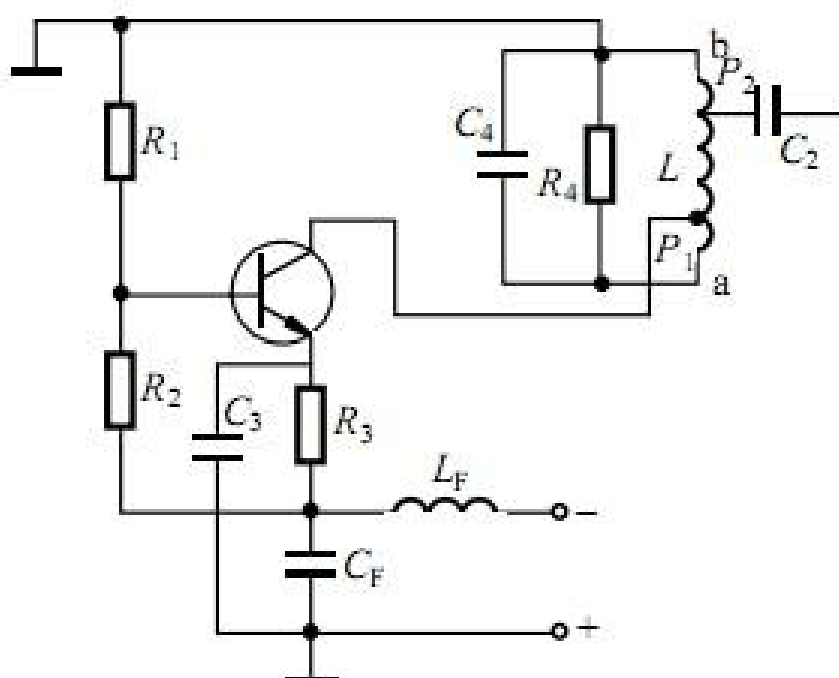


图 1-4 单级单调谐回路谐振放大器

图 1-4 是一个单级单调谐回路谐振放大器的原理图，理论上分析，谐振时电压增益：

$$A_{V0} = -\frac{P_1 P_2 y_{fe}}{g_{\Sigma}} = -\frac{P_1 P_2 y_{fe}}{g_p + P_1^2 g_{oe} + P_2^2 g_{ie2}}$$

放大器的增益可用带宽表示为：

$$A_{V0} = \frac{-P_1 P_2 y_{fe}}{g_{\Sigma}} = \frac{-P_1 P_2 y_{fe}}{4\pi\Delta f_{0.7} \cdot C_{\Sigma}} \quad \text{其中} \quad C_{\Sigma} = C + P_1^2 C_{oe} + P_2^2 C_{ie2}$$



单调谐放大器的选择性用矩形系数来表示为：

$$K_{r0.1} = \frac{2\Delta f_{0.1}}{2\Delta f_{0.7}} = \sqrt{10^2 - 1} \approx 9.95 \gg 1$$

所以单调谐放大器的矩形系数比 1 大得多，选择性比较差。

为了简化电路板制作，本设计是单级单调谐回路谐振放大器。

### 1.3.2 多级单调谐回路谐振放大器

实际的实验和应用中，需要把微弱的信号进行多级放大，这要求电路有较大增益，因此，高频放大器大多是多级级联而成，多级放大器的电压增益指当放大器有  $m$  级时，各级的电压增益分别为  $A_{v1}$ 、 $A_{v2}$  ...  $A_{vm}$ ，则总增益  $A_v$  是各级增益的乘积，即

$$A_{v0} = A_{v1} \cdot A_{v2} \cdots A_{vm}$$

如果多级放大器是由完全相同的单级放大器组成，则

$$A_v = A_{v1}^m$$

对  $m$  级放大器而言，通频带为：

$$(2\Delta f_{0.7})_m = \sqrt{2^{\frac{1}{m}} - 1} \cdot 2\Delta f_{0.7} = \sqrt{2^{\frac{1}{m}} - 1} \frac{f_0}{Q_L}$$

式中， $2\Delta f_{0.7}$  为单级放大器的通频带， $\sqrt{2^{\frac{1}{m}} - 1}$  称为带宽缩减因子，其物理意义是：

随着级数增加，总通频带变窄。

$m$  级单调谐回路放大器的矩形系数为：

$$K_{r0.1} = \frac{(2\Delta f_{0.1})_m}{(2\Delta f_{0.7})_m} = \frac{\sqrt{100^{\frac{1}{m}} - 1}}{\sqrt{2^{\frac{1}{m}} - 1}}$$

## 1.4 自激

在做高频实验时，经常在测试电路中会出现自激的现象，特别是在多级放大的情况中。我们将这种没有外部输入信号，由于电路内部正反馈作用而自动维持输出交流信号的现象称为自激。它经常和进行高频电路设计相违背，我们把这种具有自激现象的放大器称为自激振荡器，它实际上就是一个有足够反馈量的正反馈放大器。

产生自激振荡的条件和振荡电路的原理一致。即满足：

### (1) 相位平衡条件

放大器的反馈信号与输入信号必须同相位，即相位差是  $180^\circ$ （或  $\pi$ ）的偶数倍。

### (2) 振幅平衡条件

指放大器的反馈信号必须有一定的幅度。在振荡建立的初期，必须使反馈信号大于原输入端的信号。

交流负反馈能够改善放大电路的许多性能，改善的程度由负反馈的深度决定。但是，如果电路组成不合理，反馈过深，且电路附加相移（高频区或低频区）改变了反馈信号的极性时，电路中的负反馈就会变成正反馈。反而会使放大电路产生自激振荡。这种自激振荡是一定要消除的。克服自激的方法在这里介绍以下几种：

### (1) 中和法：

在晶体管的输出和输入端之间插入一个外加的反馈电路，使它的作用恰好和晶体管的内反馈互相抵消。具体线路如图 1-5， $C_N$  为外接电容，

$$C_N = \frac{L_1}{L_2} C_{b'c}$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/877040053106010005>