

高频小信号单调谐放大器的仿真

刘宏坤
中国海洋大学电子信息科学与工程学院
fengsky_401@163.com

朱锐
中国海洋大学电子信息科学与工程学院
453937909@qq.com

摘要

通过Multisim软件对高频小信号单调谐放大器的仿真分析,观察发射极电阻的变化对单调谐回路频率特性的影响,同时提高分析问题和解决问题的能力。

关键词

Multisim11.0; 高频小信号; 单调谐放大器; 仿真

Future Distribution Permission

The authors of this report give permission for this document to be distributed to Communication Electronic Circuits students taking future courses.

引言

在无线电技术中,经常会遇到这样的问题——所接收到的信号很弱,而这样的信号又往往与干扰信号同时接入接收机。我们希望把有用的信号放大,把其他无用的干扰信号抑制掉。借助于选频放大器可以达到此目的。小信号调谐放大器便是这样一种最常用的选频放大器。小信号调谐放大器是高频电子线路中的基本单元电路,主要用于高频小信号或微弱信号的线性放大。课本已对高频小信号调谐放大器进行了详细的讲解和分析,

而本次仿真则是对理论知识的验证。同时利用实例证明,将Multisim引入高频电路实验教学后,该软件能及时帮助理解课程内容,提高分析问题和解决问题的能力。

1、单调谐放大器工作原理

晶体管共射接法的单调谐放大电路如图 1 所示:

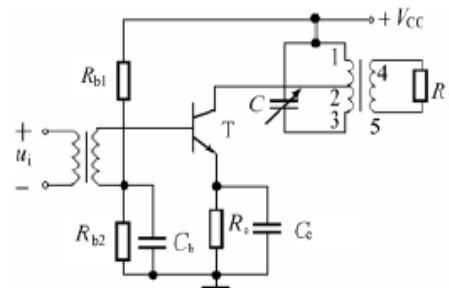


图 1. 单调谐放大电路原理图

要分析放大器^[4],必须分析单调谐放大器的电压放大倍数,因此需将图 1 的高频调谐放大器的 Y 参数等效电路画出,如图 2 所示

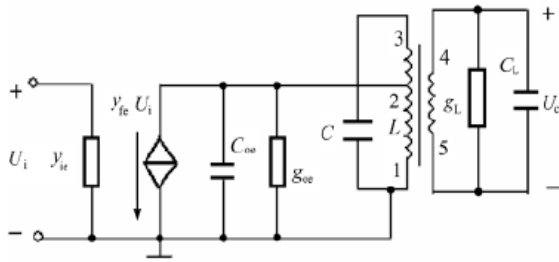


图 2. Y 参数高频等效电路

主要参数有 y_{ie} 、 g_{ie} 、 C_{ie} 、 g_{oe} 、 C_{oe} ； y_L 、 g_L 、 C_L 。其中： y_{ie} 、 g_{ie} 和 C_{ie} 分别为晶体管混合 π 参数的输入导纳、输入电导和输入电容； y_{oe} 、 g_{oe} 和 C_{oe} 分别为输出导纳、输出电导和输出电容； y_L 、 g_L 和 C_L 为后面所接负载的负载导纳、负载电导和负载电容。当忽略 C_{ie} 和 y_{re} （ y_{re} 是晶体管的反向传输导纳）时， y_{fe} （ y_{fe} 晶体管的正向传输导纳）为

$$y_{fe} = g_m \quad (1)$$

$$g_m = I_{EQ} / U_T \quad (2)$$

其中： g_m 是晶体管的跨导， I_{EQ} 是晶体管的静态电流， U_T 为热电压，约为 $26mV$ 。 y_{fe} 表示输入电压对输出电流的控制作用，决定晶体管的放大能力。 $|y_{fe}|$ 值越大，放大作用越强。

单调谐放大器在谐振时的电压放大倍数与 y_{fe} 有直接关系，即与 g_m 有直接关系，根据：

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = U_{EQ} / R_E \quad (3)$$

$$g_m = I_{EQ} / U_T \quad (4)$$

在发射极静态电压不变时，改变发射极电阻大小，可以改变跨导，进而改变输出电压的大小。在输入电压幅值不变的情况下，发射极电阻越大，电压放大倍数越小。

2、仿真单调谐放大器的分析要求

仿真单调谐放大器的分析要求：

- (1) 测试单调谐放大器的电压放大倍数。
- (2) 利用波特图仪器测试单调谐放大器的幅频特

性和相频特性。

- (3) 测试单调谐放大器的回路谐振曲线。

3. Multisim11.0 软件仿真测试

原理图的仿真电路如图 3。

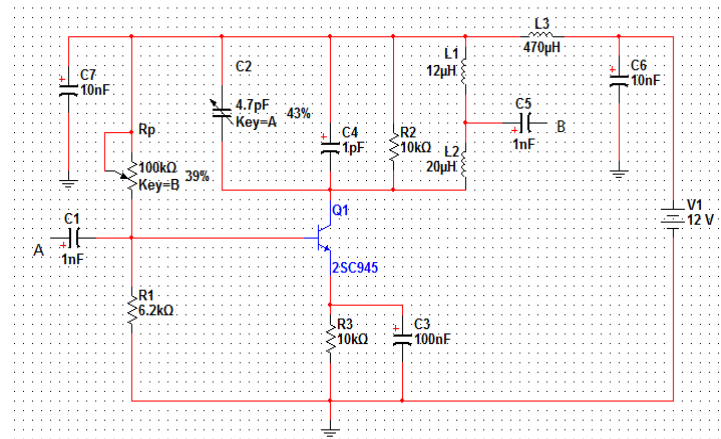


图 3. 仿真电路图

3.1. 动态 U_o-U_i 曲线和电压放大倍数测试

(1)在图 3 中的发射极电阻 R_3 上并联虚拟万用表，开启仿真开关，调整 R_p ，使虚拟万用表指示 $1V$ 左右，并保持静态电压不变。

(2)将虚拟万用表改接到输出端 B，在输入端 A 接上虚拟函数信号发生器，并将其设置成 $10.7MHz$ ，峰值电压为 $20mV$ 的正弦波；开启仿真开关，调节可变电容 C_2 的百分比为 34% ，此时 LC 回路处于谐振状态，万用表交流电压读数最大为 $634.931mV$ 。

(3)逐渐加大函数信号发生器信号幅值，记录每次的 V_i 和 V_o ；关闭仿真开关，将发射极电阻 R_3 分别换成 500Ω 、 $1k\Omega$ 和 $2k\Omega$ ，再开启仿真开关，重复上面步骤。

将 R_3 设成 500Ω ，示波器观察输入输出波形如图 4：

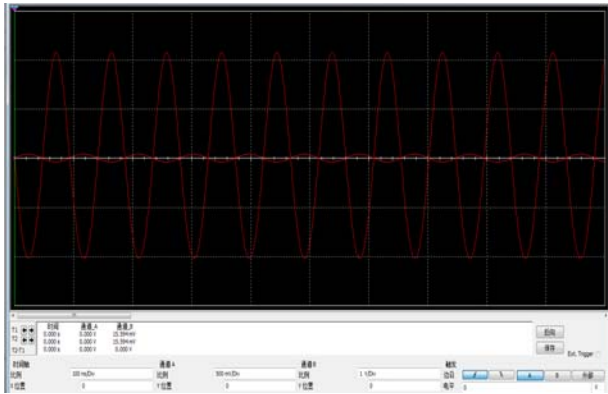


图 4. R_3 为 500Ω 示波器输入输出图像

此时, $R_3 = 500\Omega$ (5)

放大倍数为 $A_u = 52.65$ (6)

将 R_3 设成 $1k\Omega$, 示波器观察输入输出波形如图 5:

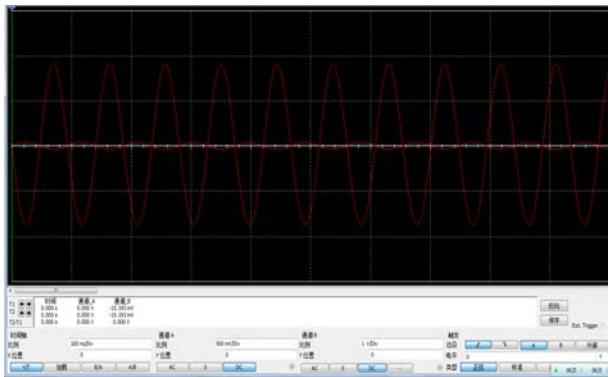


图 5. R_3 为 $1k\Omega$ 示波器输入输出图像

此时, $R_3 = 1k\Omega$ (7)

放大倍数为 $A_u = 44.52$ (8)

将 R_3 设成 $2k\Omega$, 示波器观察输入输出波形如图 6:

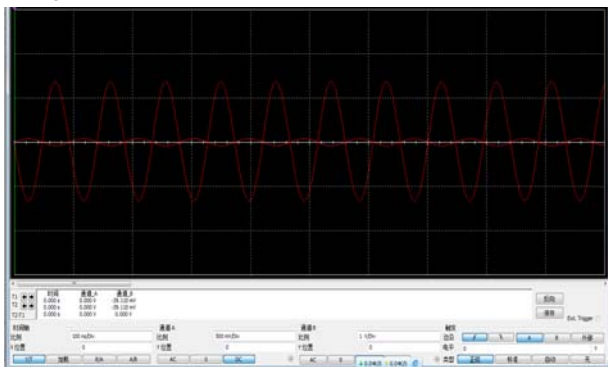


图 6. R_3 为 $2k\Omega$ 示波器输入输出图像

此时, $R_3 = 2k\Omega$

放大倍数为 $A_u = 33.498$

将 R_3 设成 $10k\Omega$, 示波器观察输入输出波形如图 7:

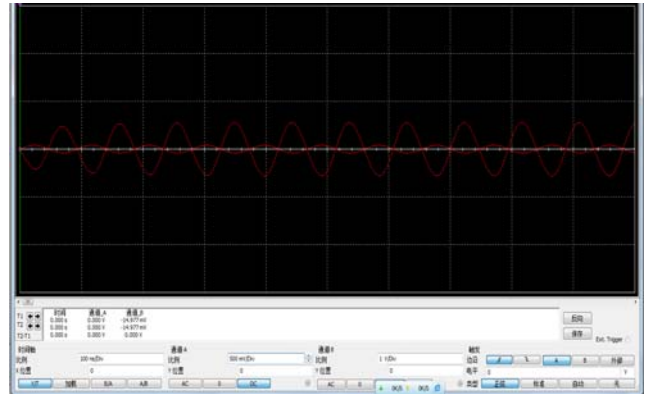


图 7. R_3 为 $10k\Omega$ 示波器输入输出图像

此时, $R_3 = 10k\Omega$

放大倍数为 $A_u = 10.883$

再逐渐加大函数信号发生器的幅值, 记录 U_i 和 U_o 。然后用测得的数据绘制出不同静态工作点时的 $U_i - U_o$ 动态范围曲线。

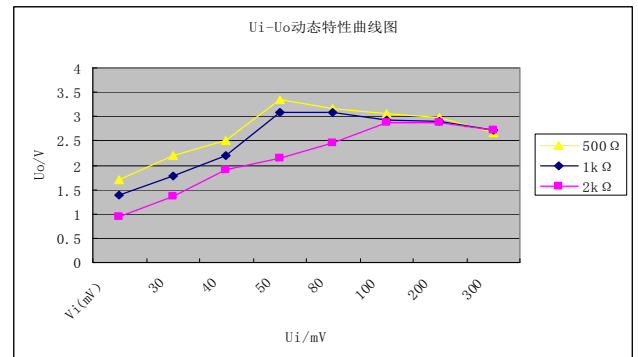


图 8. $U_i - U_o$ 动态范围曲线

由于单调谐放大器在谐振时的电压放大倍数 y_{fe} 有直接关系, 即与 g_m 有直接的关系, 而由于式 (3)、(4), 因此在发射极静态电压不变时, 改变发射极电阻大小, 可以改变跨导, 进而改变输出电压的大小。在输入电压幅值不变的情况下, 发射极电阻越大, 电压放大倍数越小。这说明利用 Multisim10.1 软件对单调谐回路放大器的电压放大倍数的仿真结果与理论分析结果是一致的。

3.2. 测试调谐放大器回路谐振曲线

恢复发射极电阻 R_3 为 $1k\Omega$ ，将虚拟函数信号发生器公共端接地，调出波特仪分别连接输入输出端。虚拟函数信号发生器可不作任何设置。双击波特仪调出幅频特性曲线。从中可以读出调谐放大器的谐振频率约为 $10.7MHz$ ，增益约为 $33.09dB$ 。切换到相位模式得到相频特性曲线。移动游标线，让放大倍数下降 $3dB$ ，测得的带宽是 $3.948MHz$ 。

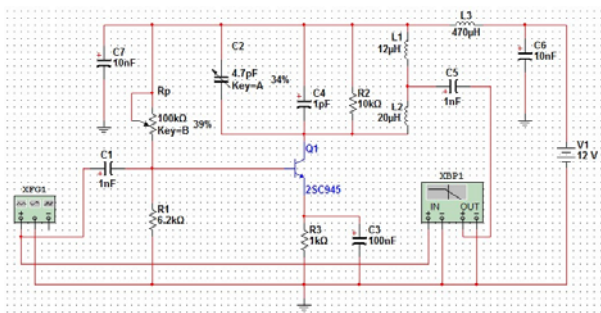


图 9. 仿真测试电路图

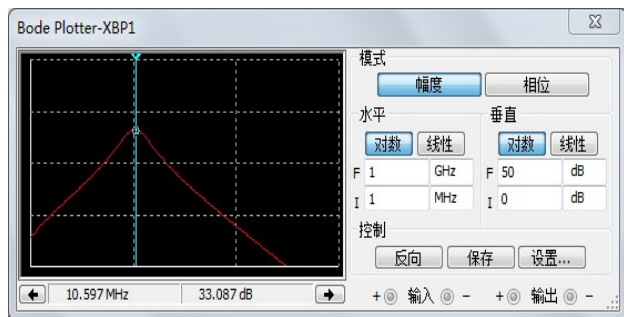


图 10. 调谐放大器的幅频特性曲线图

切换到相位模式得到相频特性曲线，由图 11 可知，当放大器发生谐振时，谐振频率约为 $10.7MHz$ ，相位角约为 180° ，说明输出电压的极性与输入电压极性反相。

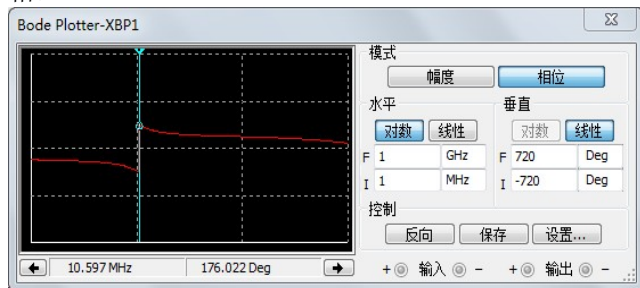


图 11. 调谐放大器的相频特性曲线图

3.3. 测试调谐放大器回路谐振曲线

恢复图 3 所示的仿真电路。输入信号取 $10.7MHz$ 、 $80mV$ ， R_3 改为可调电阻。改变电阻 R_3 的大小和函数发生器的频率，测出放大器的输出电压以及对应的频带宽度。

调节 R_3 为 $1k\Omega$ ，双击波特仪调出幅频特性曲线。

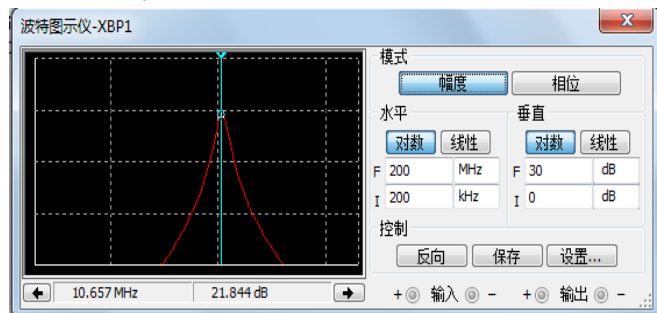


图 12. R_3 为 $1k\Omega$ 波特仪幅频特性曲线

此时，带宽为 $BW_{0.7} \approx 6.845MHz$ (9)

放大倍数为 $Au = 2.367 / 0.0566 = 41.84$ (10)

回路品质因数为

$Q = 10.7MHz / 6.845MHz \approx 1.563$ (11)

调节 R_3 为 $2k\Omega$ ，双击波特仪调出幅频特性曲线。

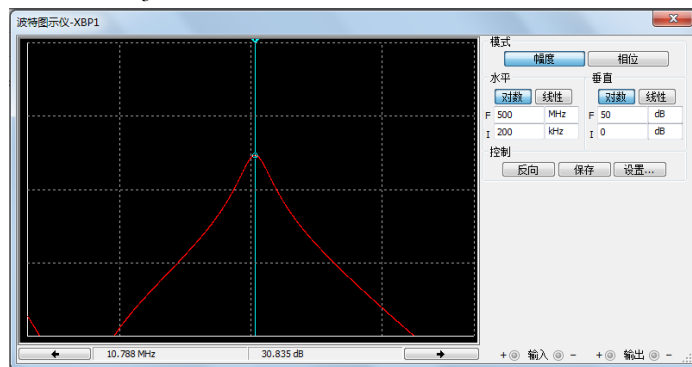


图 13. R_3 为 $2k\Omega$ 波特仪幅频特性曲线

此时，带宽为 $BW_{0.7} \approx 4.871MHz$ (12)

放大倍数为 $Au = 26.7125$ (13)

回路品质因数为

$Q = 10.7MHz / 3.916MHz \approx 2.732$ (14)

调节 R_3 为 $10k\Omega$ ，双击波特仪调出幅频特性曲线

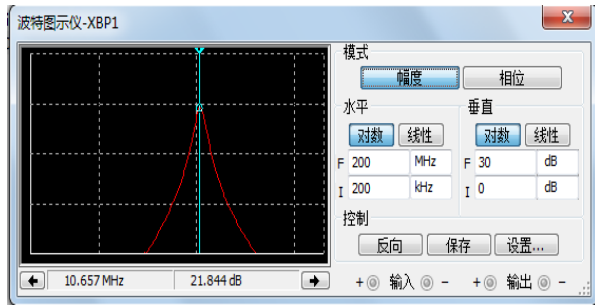


图 14. R_3 为 $10k\Omega$ 波特仪幅频特性曲线

此时，带宽为 $BW_{0.7} \approx 2.959MHz$ (15)

放大倍数为 $A_u = 461.619 / 56.568 = 8.16$ (16)

回路品质因数为

$Q = 10.7MHz / 3.916MHz \approx 3.616$ (17)

将以上结果绘制成表格，如图 15

R_3	500Ω	$1k\Omega$	$2k\Omega$	$10k\Omega$
A_u	41.963	41.84	26.713	8.16
$BW_{0.7}$	11.142	6.845	4.871	2.959
Q	0.96	1.563	2.732	3.616
α	0.941	0.885	0.808	0.568

图 15 各个电阻所对应的各类技术指标数值

可得出在发射极电压不变的条件下，发射级电阻越大带宽越窄，发射级电阻越大而电压放大倍数越小。电压放大倍数与带宽在发射极电阻逐渐增大的过程中是同步变化的。品质因数 Q 越大，图像越尖锐，选择性越好。结果与理论分析计算相互吻合。

4. 结果与讨论

1.从实验 3.1 可以看出，输入电压不变的情况下，发射极电阻越大，电压放大倍数越小。

2.从实验 3.2 可以看出，输出电压的极性与输入电压极性反相。

3.从实验 3.3 可以看出，发射极电阻越大通频带越窄，电压放大倍数越小。电压放大倍数与带宽在发射极电阻增大过程中是同步变化的。

5. 结束语

本次试验利用Multisim 11.0仿真。Multisim软件功能强大，能够快速、轻松、高效地对电路进行设计和验证，而且不受时间和空间限制，仿真结果正确，图形清晰。通过仿真软件能够更好的理解课本上的理论知识。由此见得Multisim软件在高频电子线路课程教学改革中起着越来越重要的作用。

致谢

感谢侯桐桐、王小鲁、周秀华（仅按拼音顺序排列）在对实验结果的分析中的提点以及帮助。

参考文献 (Reference)

- [1]于洪珍. 通信电子电路[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005. 童诗白. 模拟电子技术基础. 高等教育出版社.
- [2]侯卫周. 顾玉宗. 高频小信号单调谐放大器的分析与仿真
- [3]黄智伟. 基于 NI Multisim 的电子电路计算机仿真设计与分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [4]李瀚荪. 电路分析基础. 高等教育出版社.