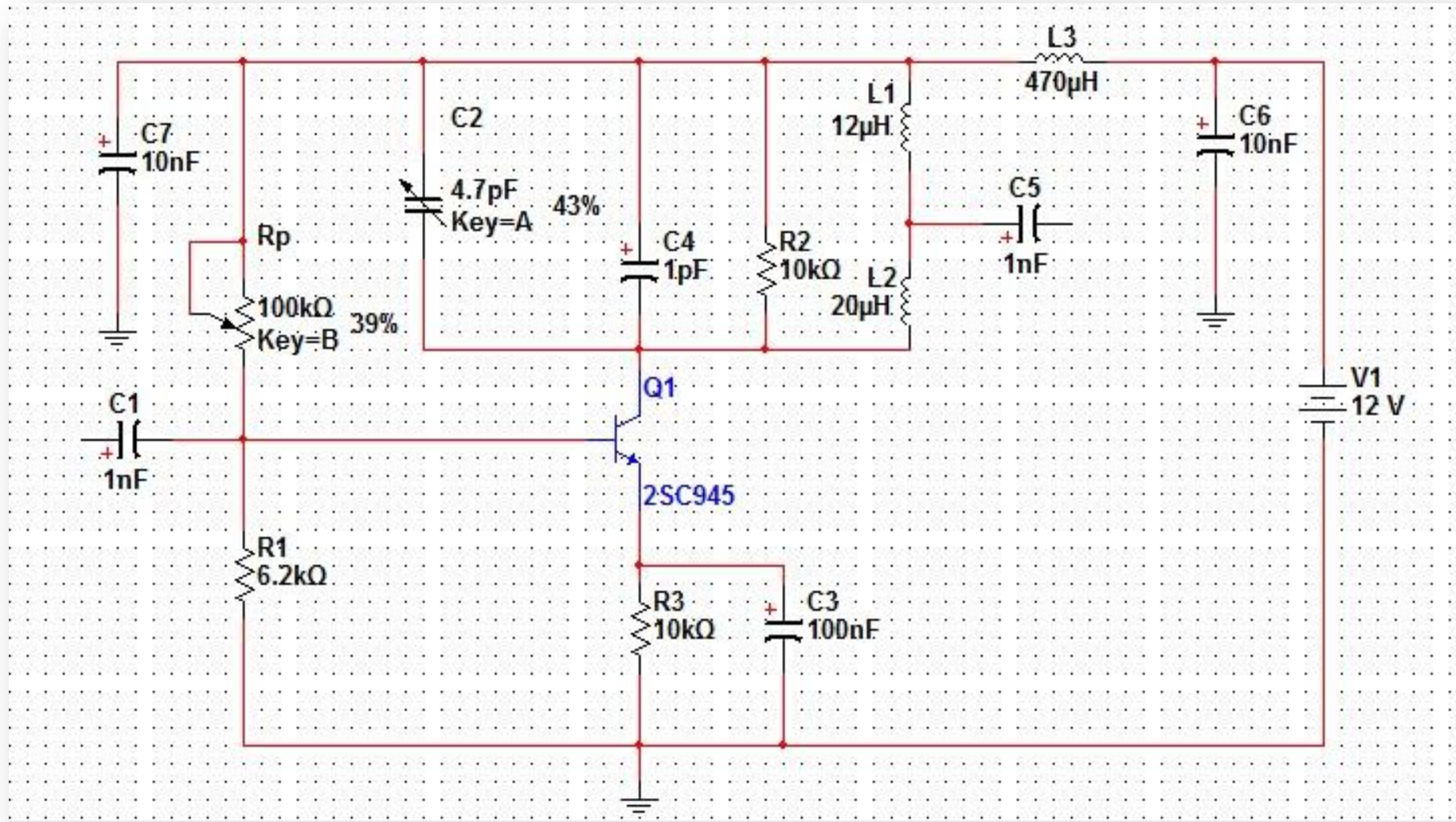


高频小信号单调谐放大器的仿真

刘宏坤 朱锐



Multisim软件仿真测试



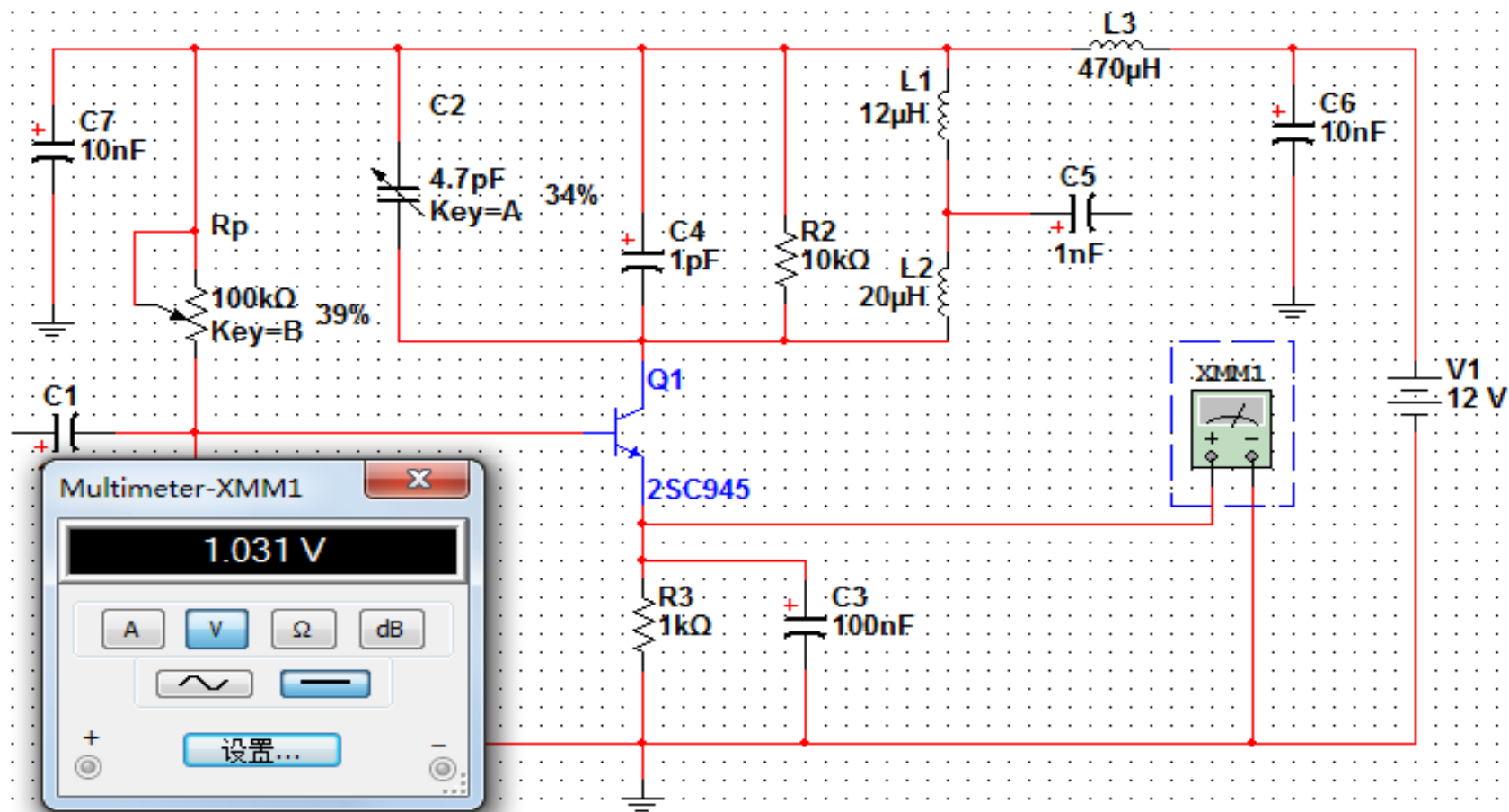
仿真单调谐放大器的分析要求

- (1) 测试单调谐放大器的电压放大倍数
- (2) 利用波特图示仪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。



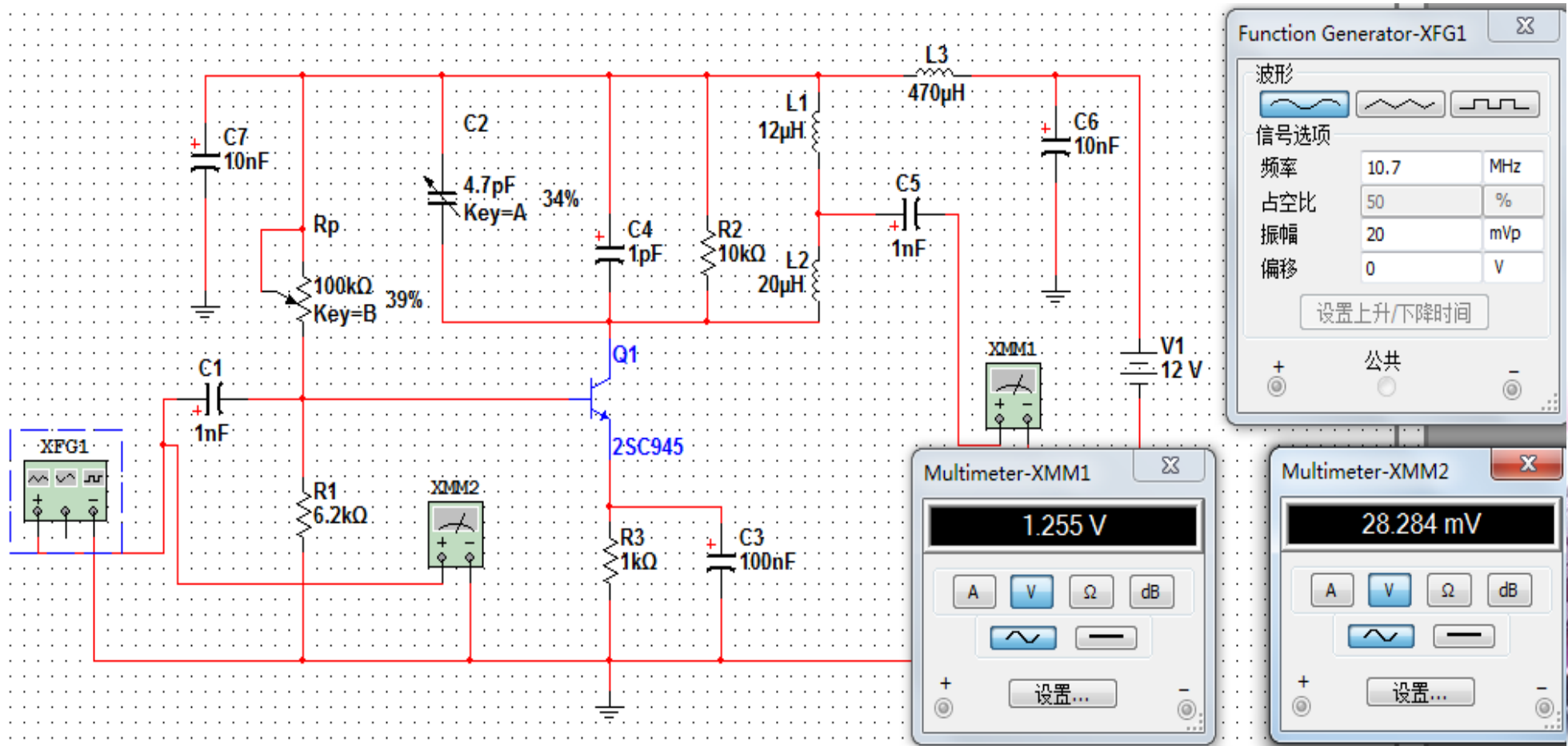
3.1 动态 $U_i - U_O$ 曲线和电压放大倍数测试

(1) 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 1 V 左右，并保持静态电压不变。



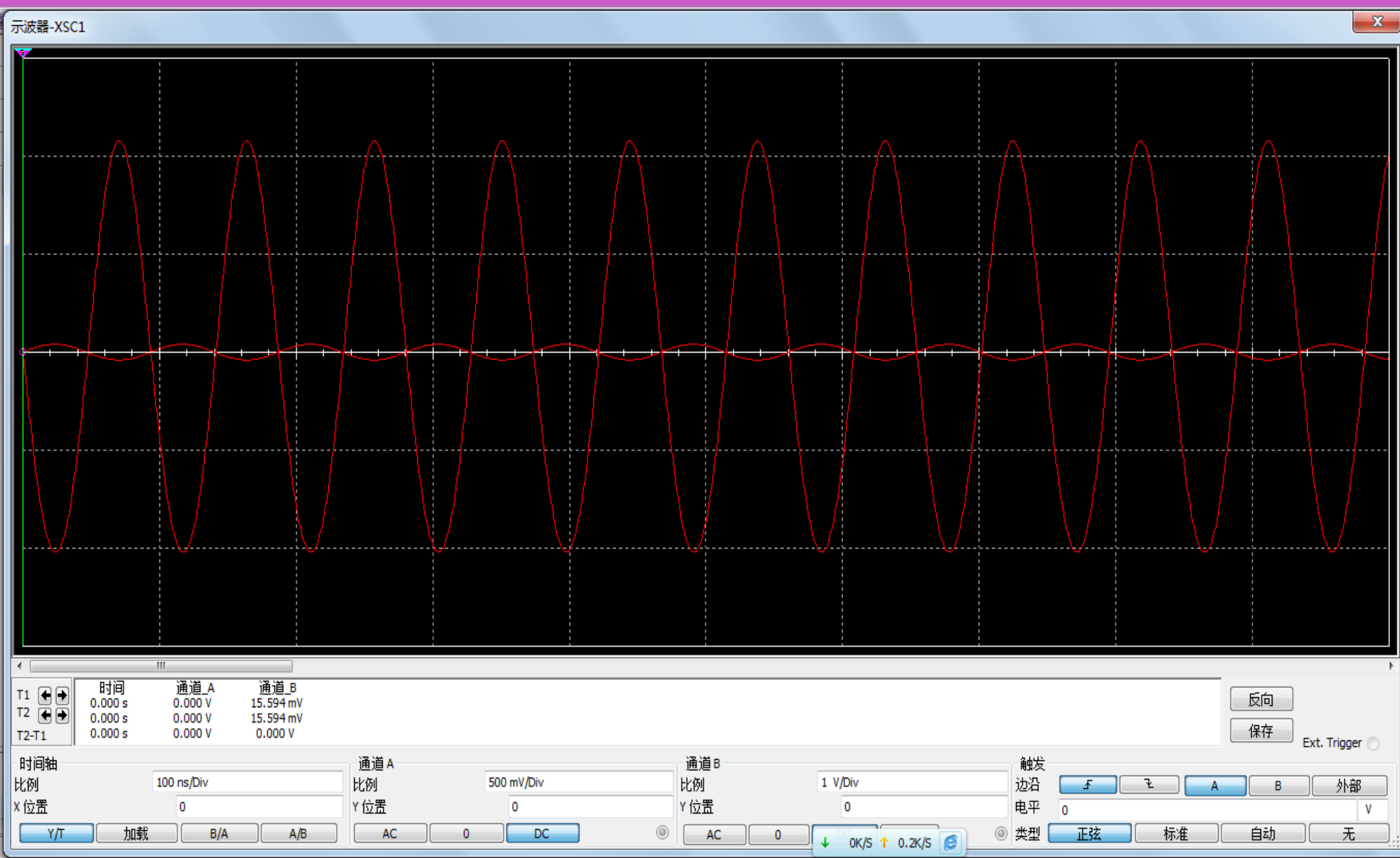
3.1 动态 $U_i - U_O$ 曲线和电压放大倍数测试

(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。



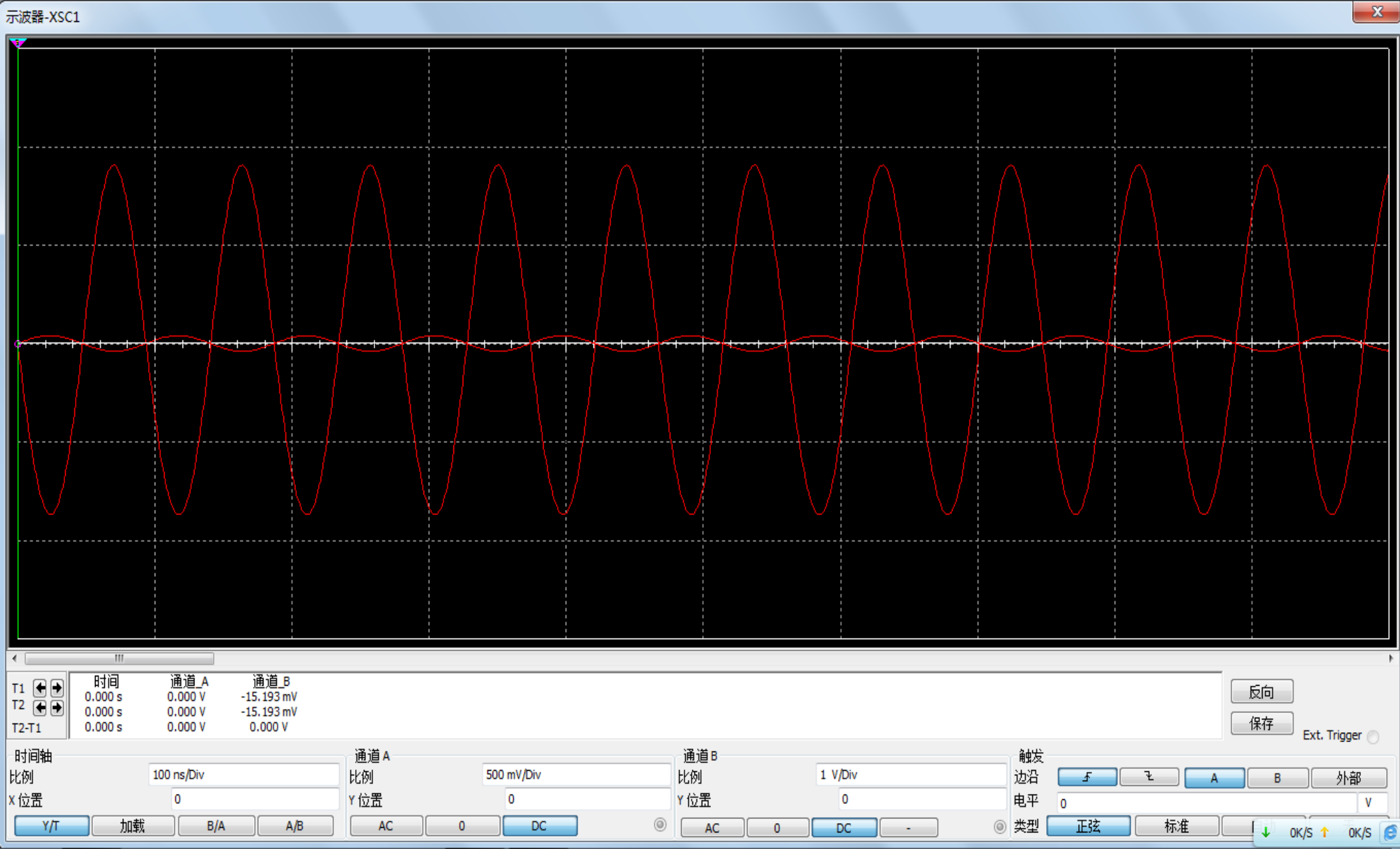
$$R_3 = 500\Omega$$

$$A_u = 52.65$$



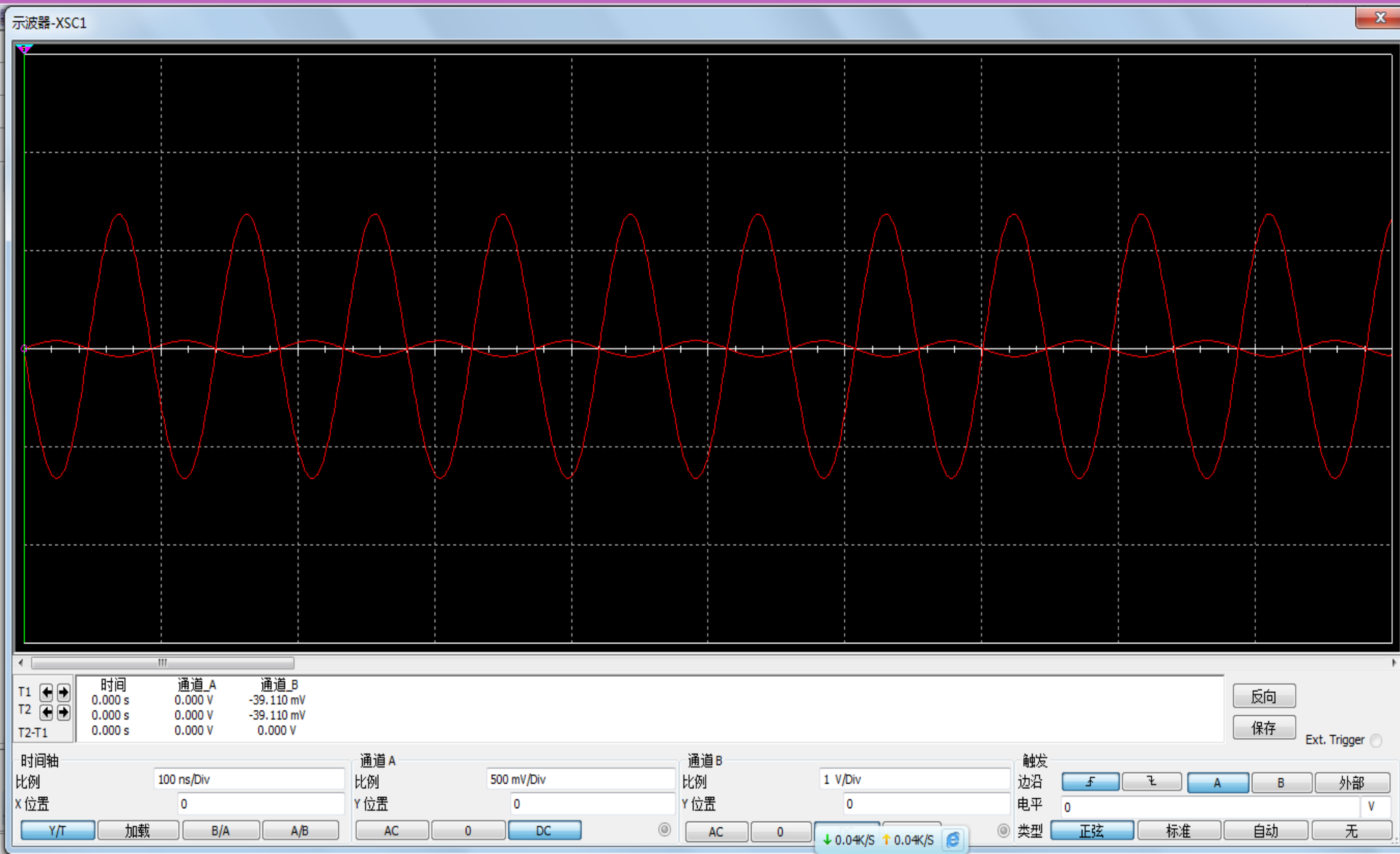
$$R_3 = 1k\Omega$$

$$A_u = 44.52$$



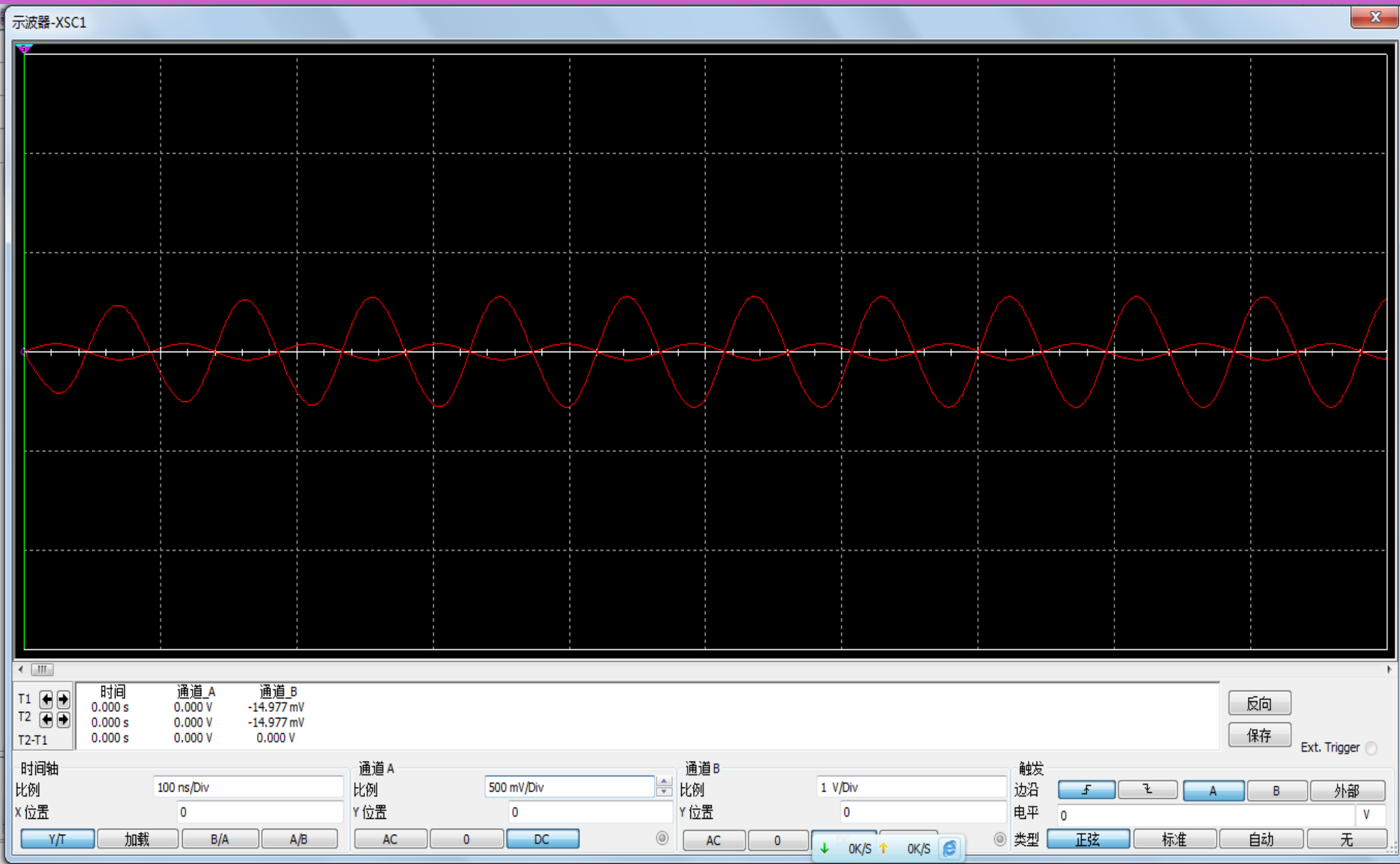
$$R_3 = 2k\Omega$$

$$A_u = 33.498$$



$$R_3 = 10k\Omega$$

$$A_u = 10.883$$



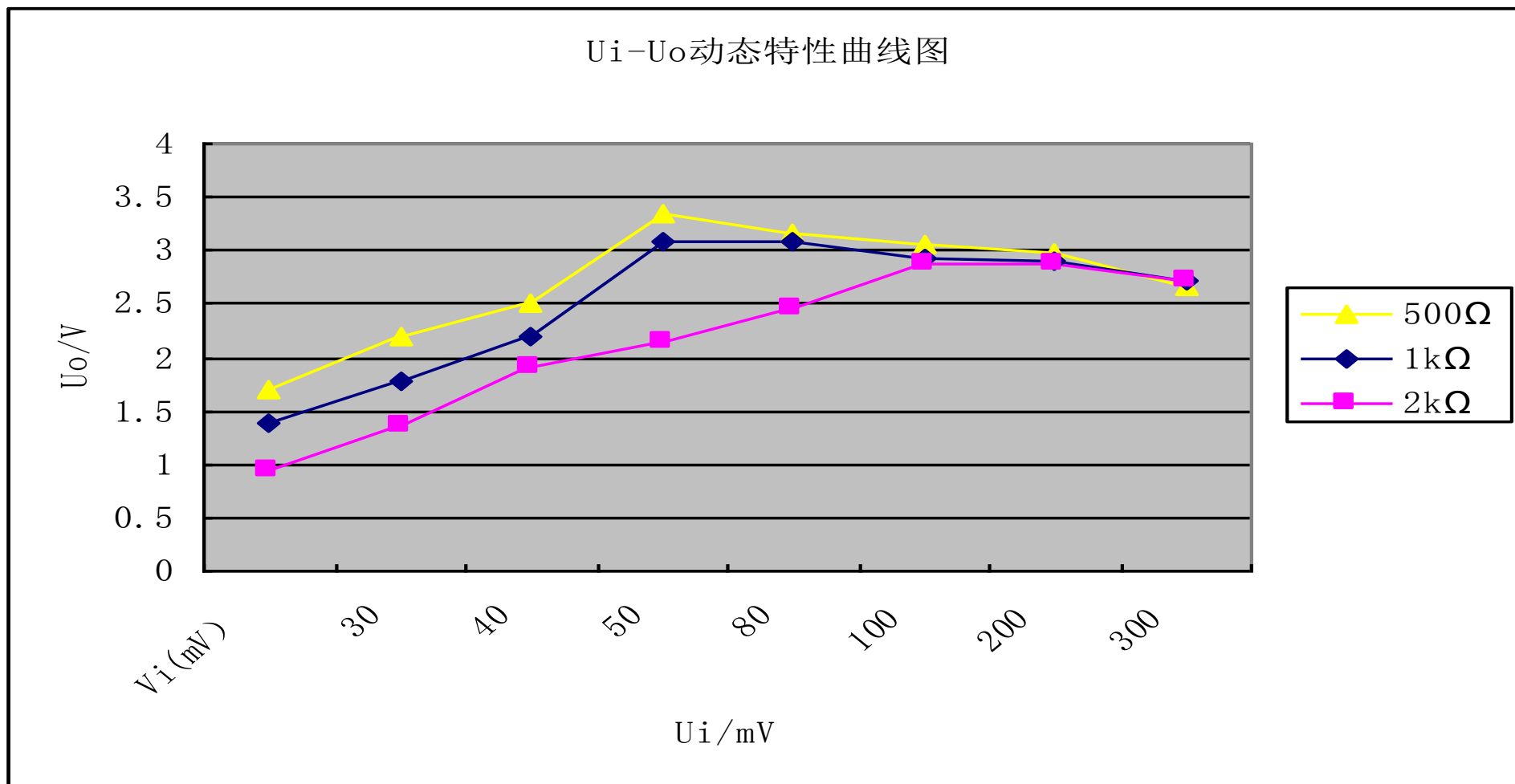
3.1 动态 $U_i - U_o$ 曲线和电压放大倍数测试

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

V_i (mV)		30	40	50	80	100	200	300	500
V_o (V)	500Ω	1.702	2.189	2.522	3.357	3.171	3.049	2.984	2.669
	$1k\Omega$	1.375	1.777	2.208	3.095	3.09	2.916	2.908	2.727
	$2k\Omega$	0.948	1.364	1.915	2.137	2.452	2.869	2.887	2.726

3.1 动态 $U_i - U_o$ 曲线和电压放大倍数测试

根据测得的数据，绘制出不同静态工作点（ $I_{CQ} \approx I_{EQ}$ ）时 $U_i - U_o$ 动态范围曲线



3.1 动态 $U_i - U_o$ 曲线和电压放大倍数测试

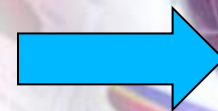
由于单调谐放大器在谐振时的电压放大倍数与 y_{fe} 有直接关系，即与 g_m 有直接的关系，而

$$I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{EQ}}{R_E}$$

$$g_m = I_{EQ} / U_T$$

混合Y参数等效电路

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。



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

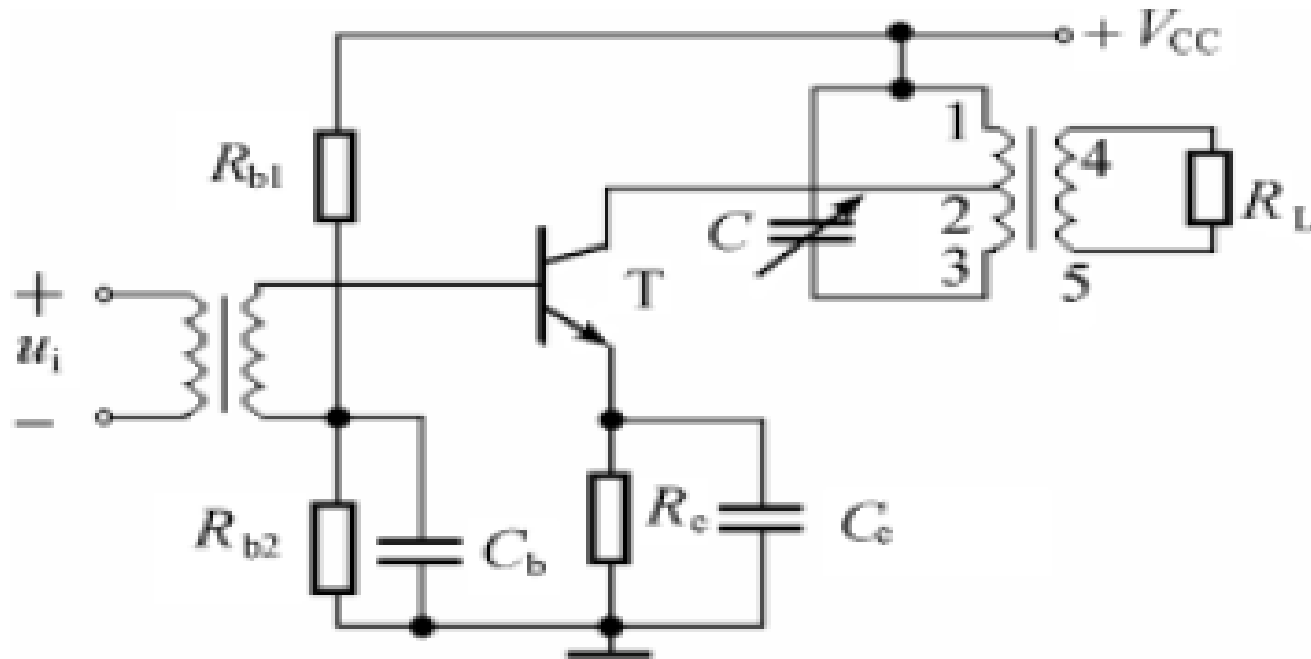


图 1 单调谐放大电路原理图



单调谐放大器工作原理

要分析放大器，必须先分析单调谐放大器的电压放大倍数，因此需将高频调谐放大器的Y参数等效电路画出

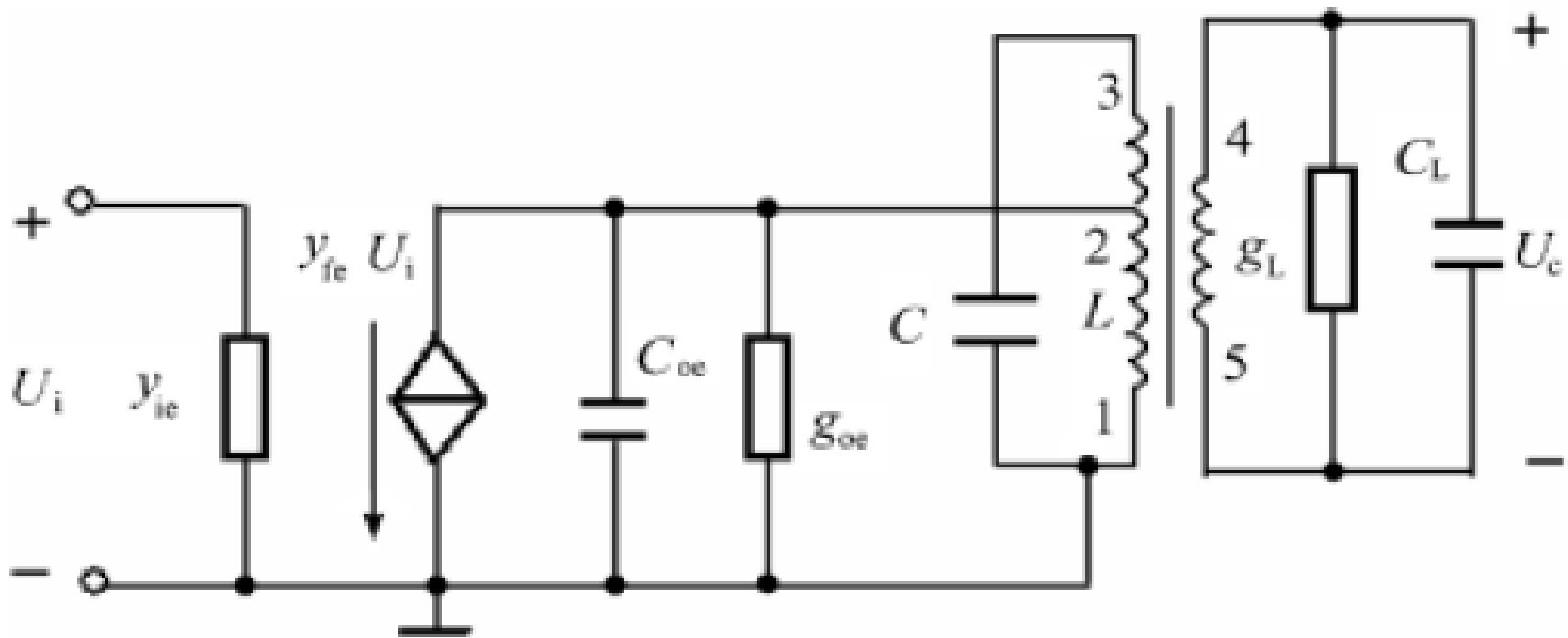


图 2 Y 参数等效电路图

单调谐放大器工作原理

当忽略 C_{ie} 和 y_{re} (y_{re} 是晶体的反向传输导纳)时, y_{fe} (晶体的正向传输导纳)为:

$$y_{fe} = g_m$$

$$g_m = I_{EQ} / U_T$$

其中, g_m 是晶体的跨导, I_{EQ} 是晶体的静态电流, 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,决定晶体的放大能力。

$|y_{fe}|$ 值越大,晶体的放大作用也越强。

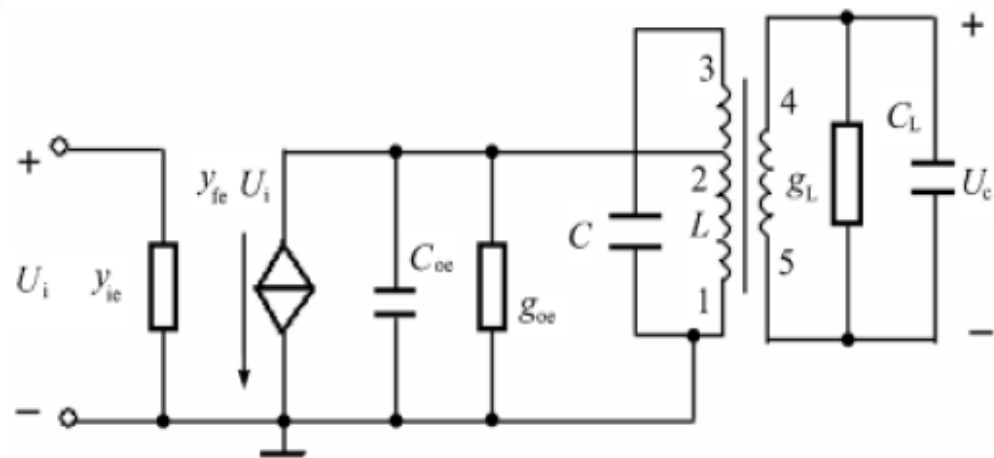
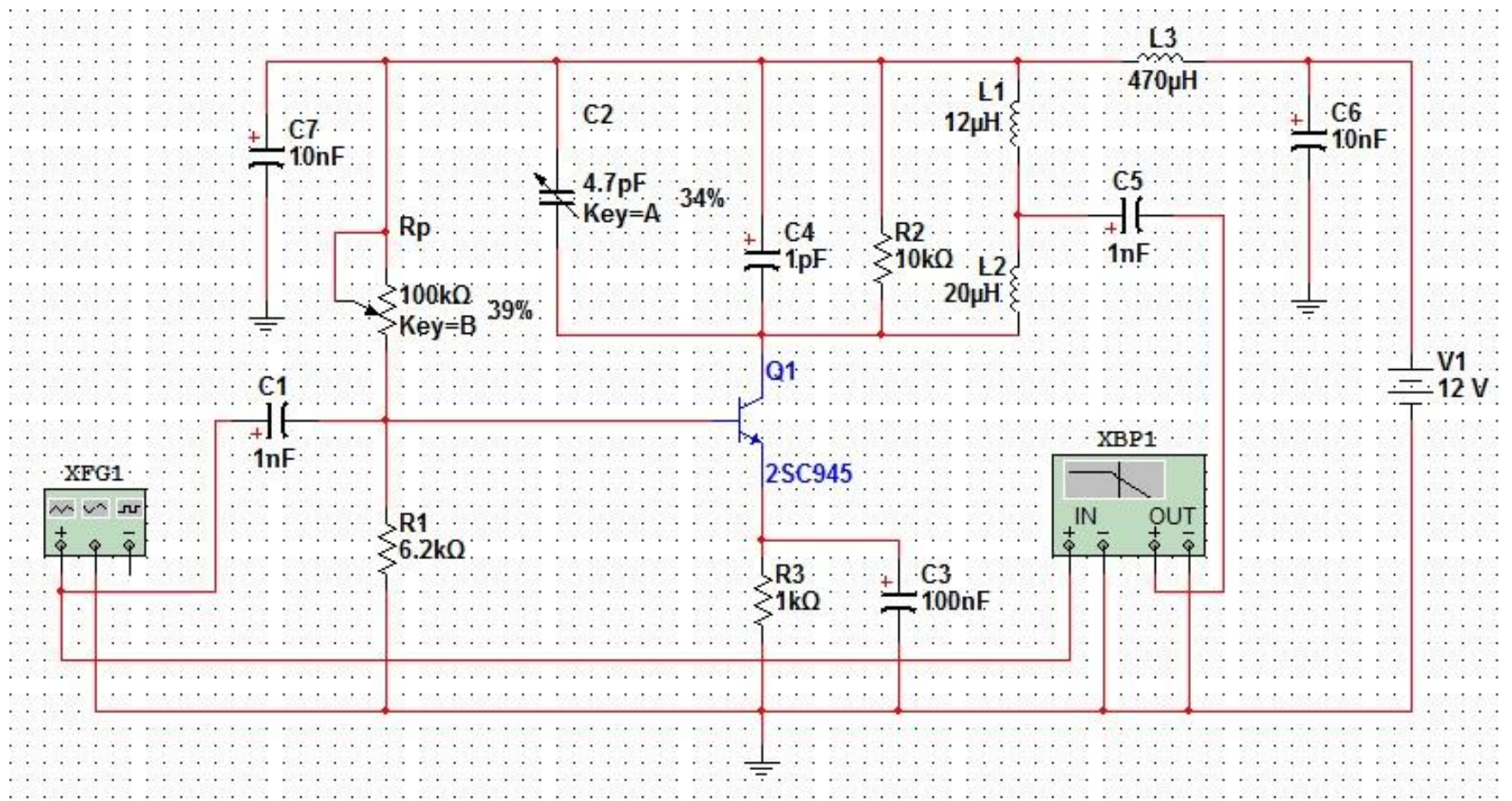


图2 Y参数等效电路图



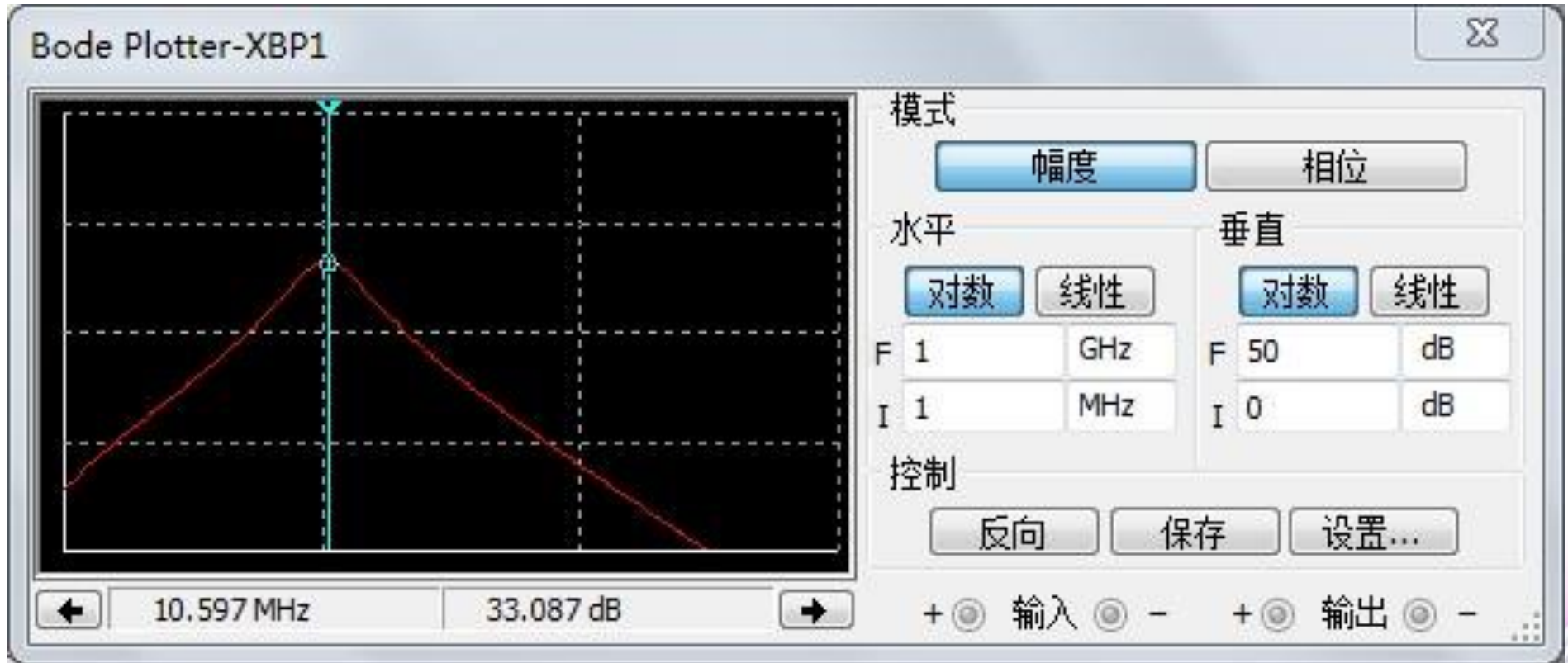
3.2 测试调谐放大器回路谐振曲线

恢复发射极电阻 R_3 为 $1k\Omega$



3.2 测试调谐放大器回路谐振曲线

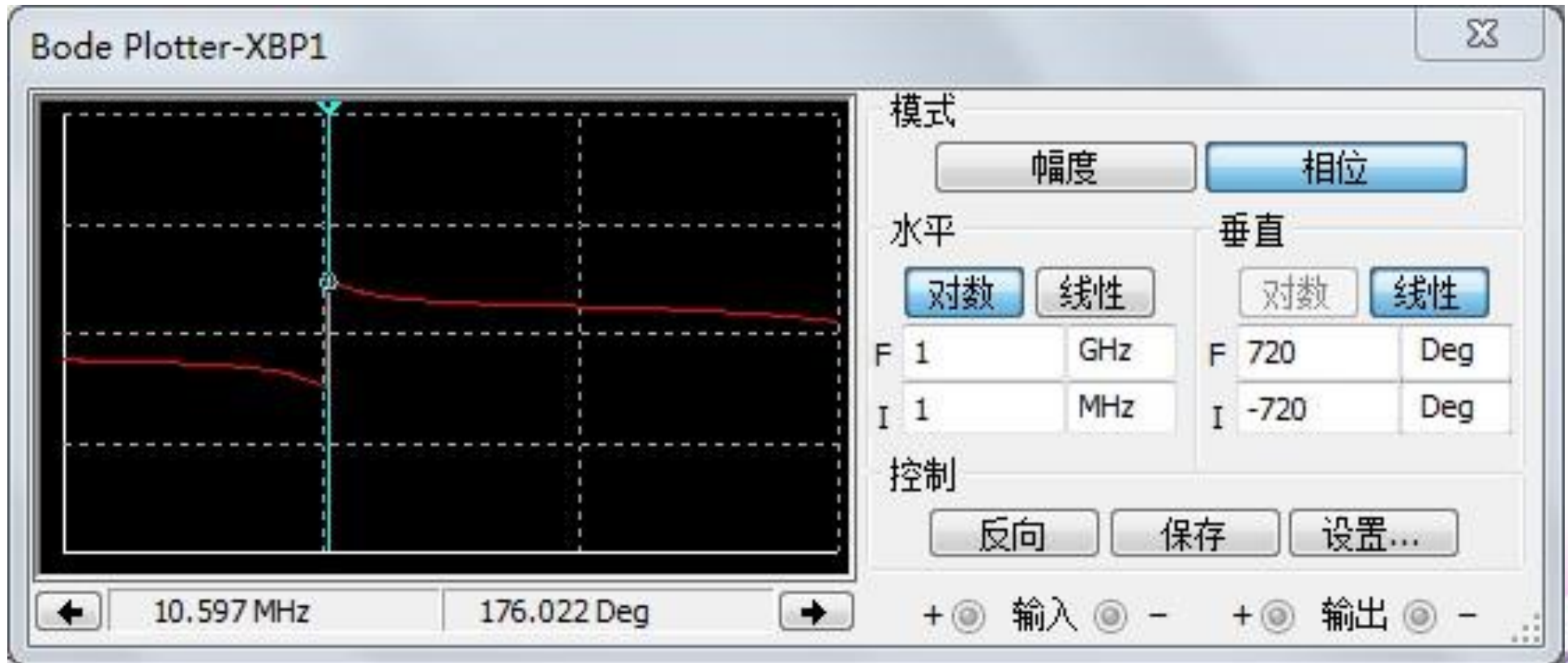
调谐放大器的幅频特性曲线



从曲线下方读出，调谐放大器的谐振频率约10.7MHz,增益约为33.087dB,移动游标线，让放大倍数下降3dB,测得的带宽约为3.948MHz。

3.2 测试调谐放大器回路谐振曲线

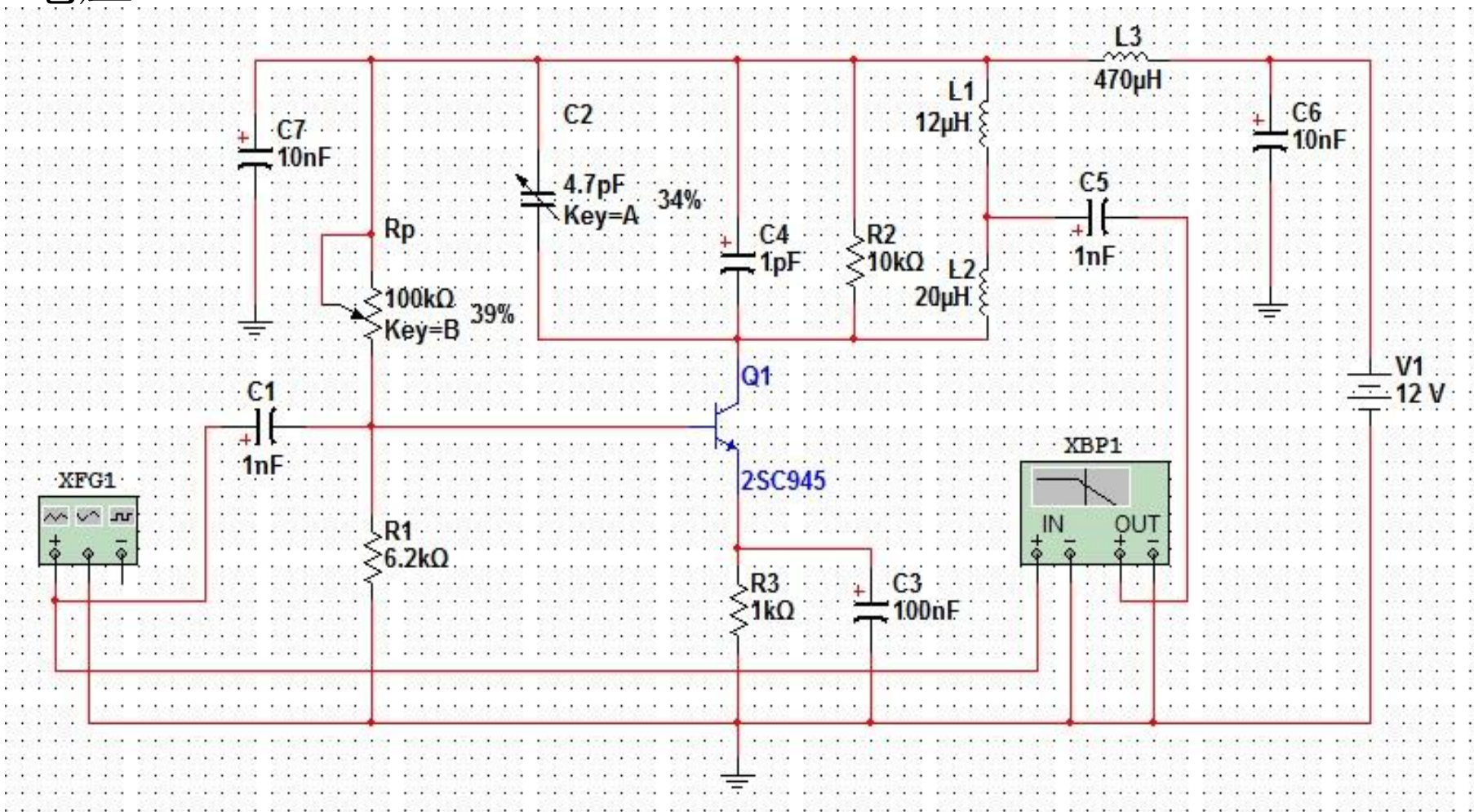
调谐放大器的相频特性曲线图



当放大器发生谐振时，调谐放大器的谐振频率约为10.7MHz时，相位角大约是180度，说明输出电压的极性与输入电压的极性相反。

3.3 频率特性曲线测试

恢复仿真电路。输入信号取10.7MHz、80mV, R_3 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。



R₃	500Ω	1kΩ	2kΩ	10kΩ
放大倍数Au	41.9625	41.84	26.7125	8.16
通频带Bw (MHz)	11.142	6.845	3.916	2.959



为了改善单管放大电路的高频特性，需减小 $b'-e$ 间等效电容 C'_π ，以减小回路时间常数，从而增大上限频率 f_H

根据

$$C'_\pi = C_\pi + (1 + |\dot{K}|)C_\mu \approx C_\pi + (1 + g_m R'_L)C_\mu$$

而根据电压放大倍数

$$\dot{A}_{usm} = \frac{R_i}{R_s + R_i} \cdot \frac{r_{b'e}}{r_{be}} \cdot (-g_m R'_L)$$

可见 f_H 的增高与 $|\dot{A}_{usm}|$ 的增大是相互矛盾的



对于大多数放大电路， $f_H \gg f_L$

因而 $f_{bw} = f_H - f_L \approx f_H$

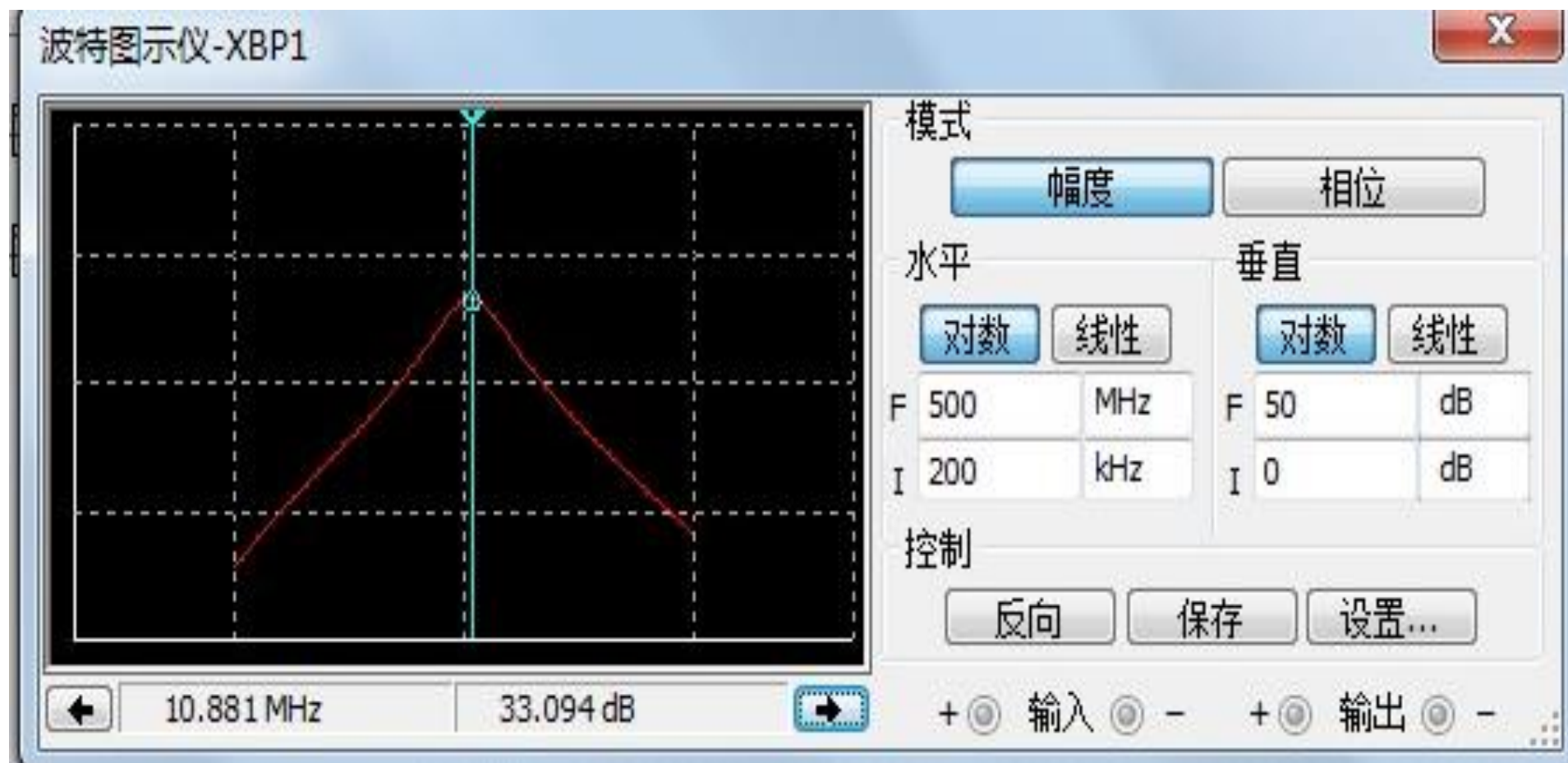
也就是说， f_H 与 $|A_{usm}|$ 的矛盾就是带宽与增益的矛盾。

$$B = \frac{f_0}{R_{\Sigma} \omega_0 C}$$



3.3 频率特性曲线测试

改变 R_3 为 $1\text{k}\Omega$ ，双击波特仪调出幅频特性曲线。

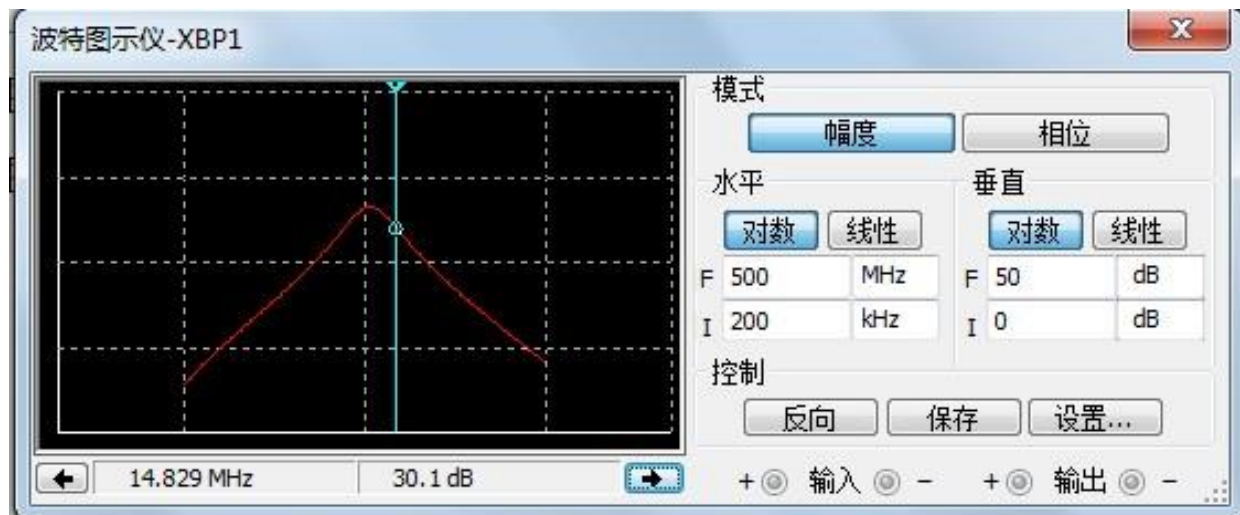


3.3 频率特性曲线测试

当 $R_3 = 1k\Omega$ 时

$$f_H \approx 14.829MHz$$

$$f_L \approx 7.984MHz$$



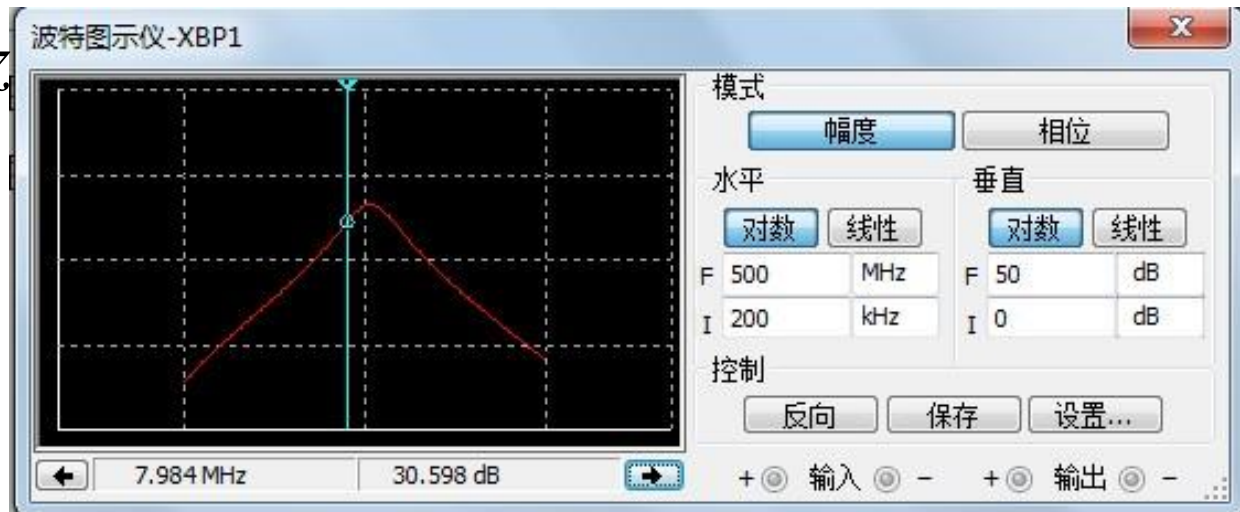
通频带: $BW_{0.7} \approx 6.845MHz$

电路放大倍数:

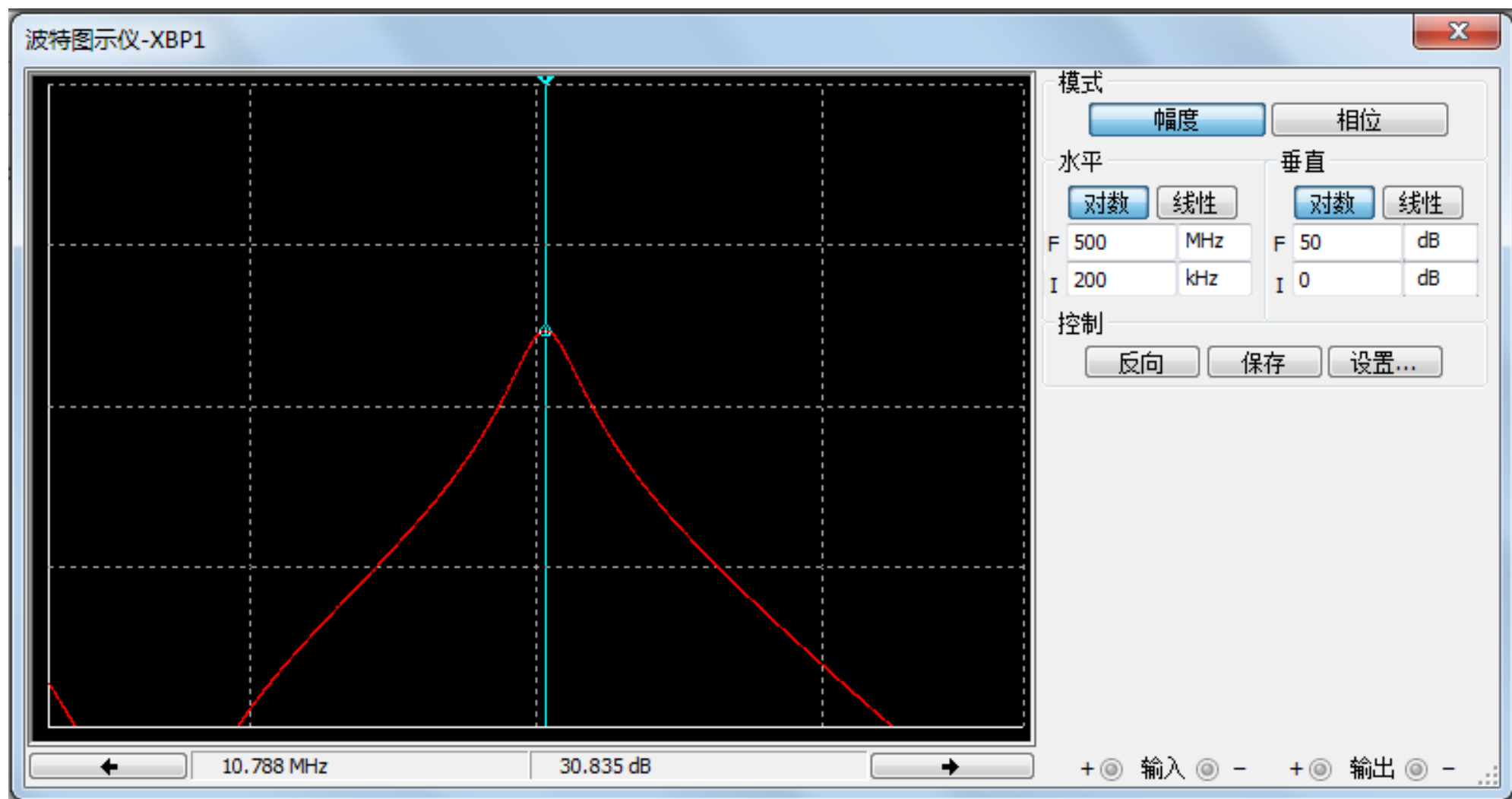
$$Au = 2.367 / 0.0566 = 41.84$$

回路品质因数:

$$Q = 10.7MHz / 6.845MHz \approx 1.563$$



$$R_3 = 2k\Omega$$



当 $R_3 = 2k\Omega$ 时

$$f_H = 13.504\text{MHz}$$

$$f_L = 8.633\text{MHz}$$

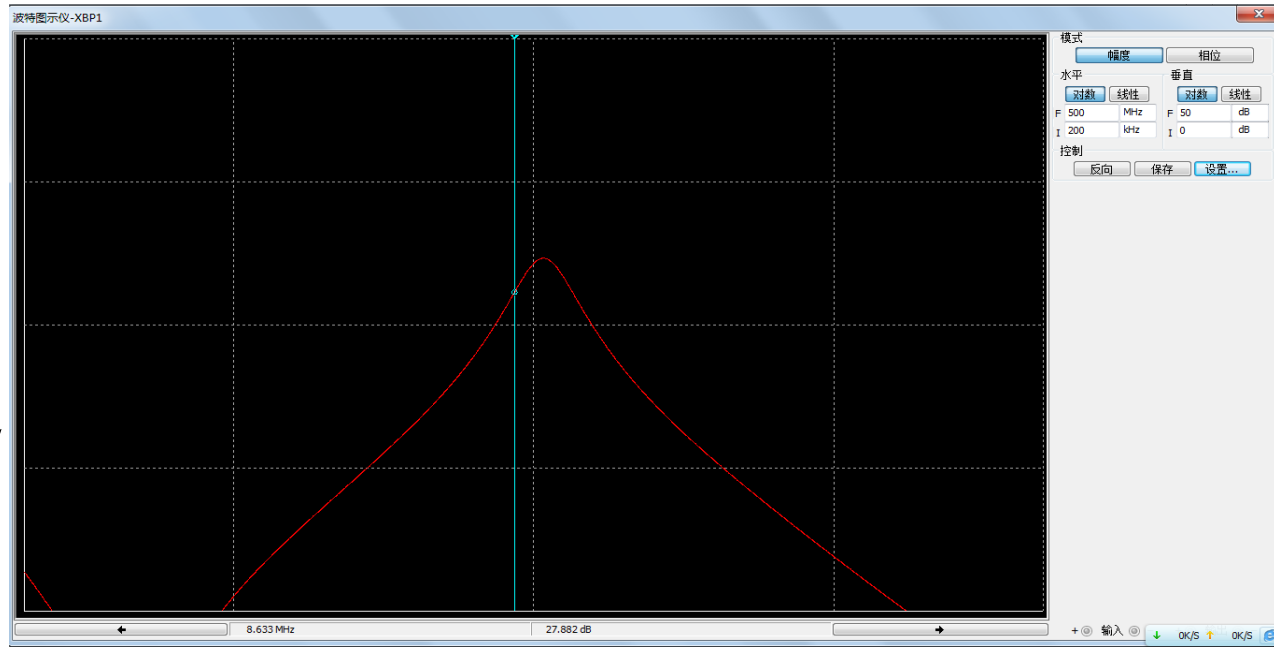
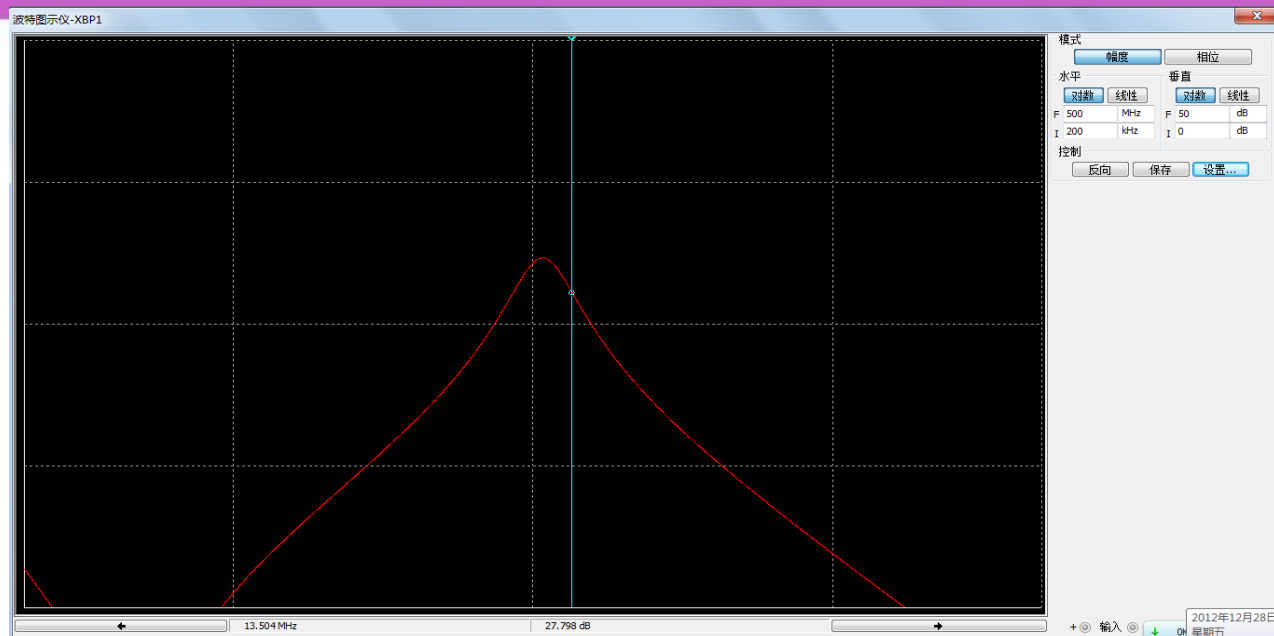
通频带: $BW_{0.7} \approx 4.871\text{MHz}$

电路放大倍数:

$$Au = 26.7125$$

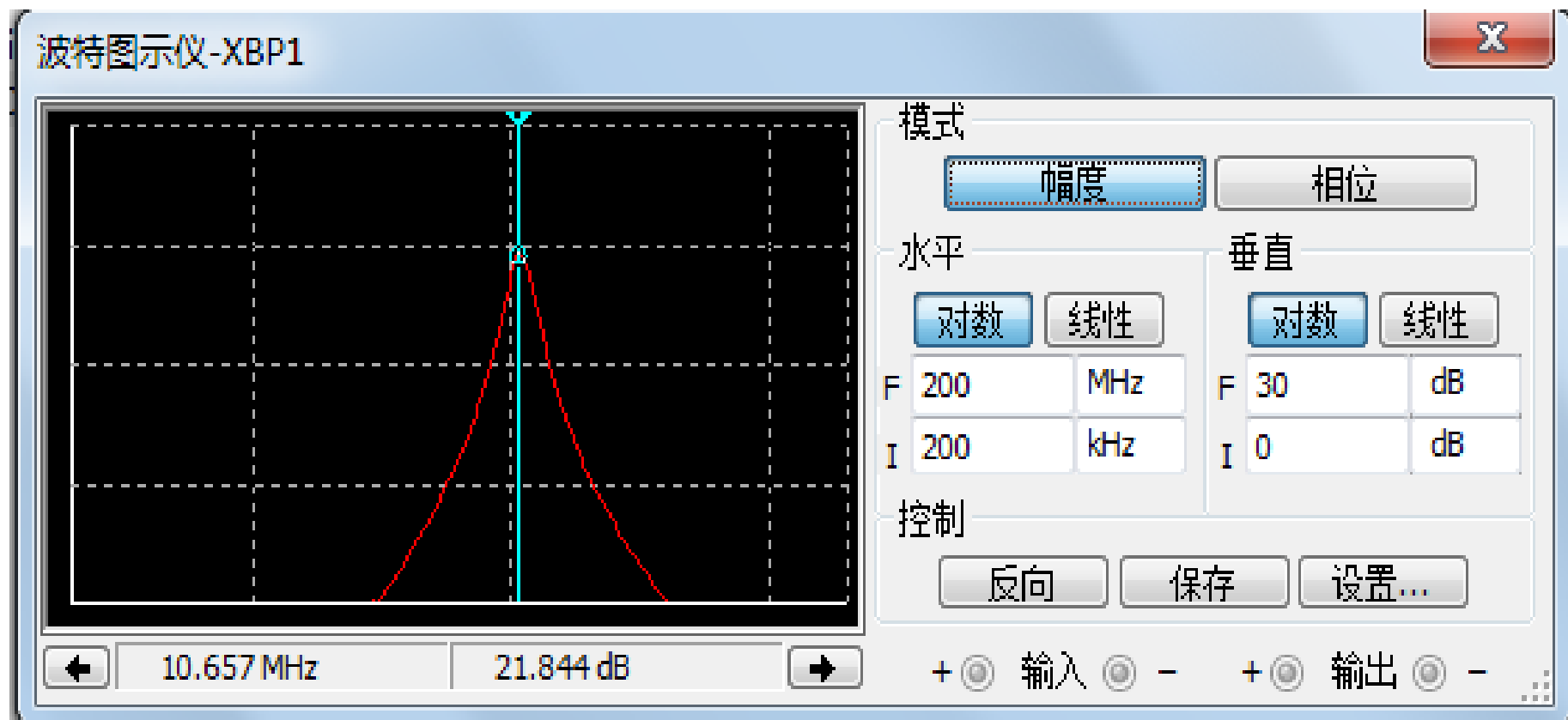
回路品质因数:

$$Q = 10.7\text{MHz} / 3.916\text{MHz} \approx 2.732$$



3.3 频率特性曲线测试

当 $R_3 = 10k\Omega$ 时测试并记录数据，由测试数据得到的调谐放大器的频率特性曲线。

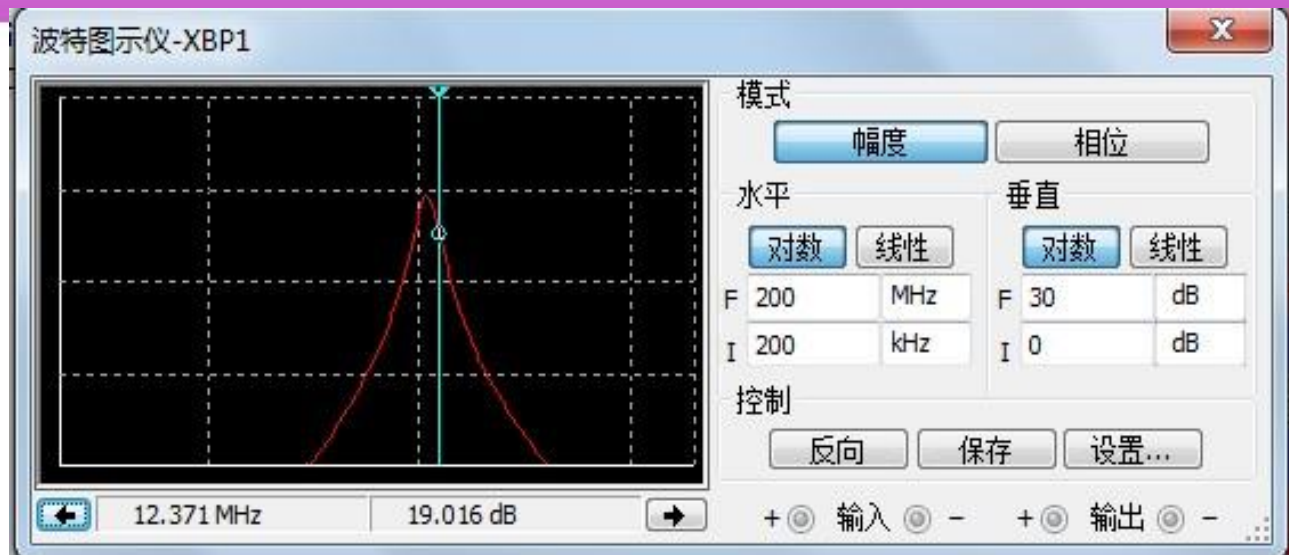


3.3 频率特性曲线测试

当 $R_3 = 10k\Omega$ 时

$$f_H \approx 12.371MHz$$

$$f_L \approx 9.412MHz$$



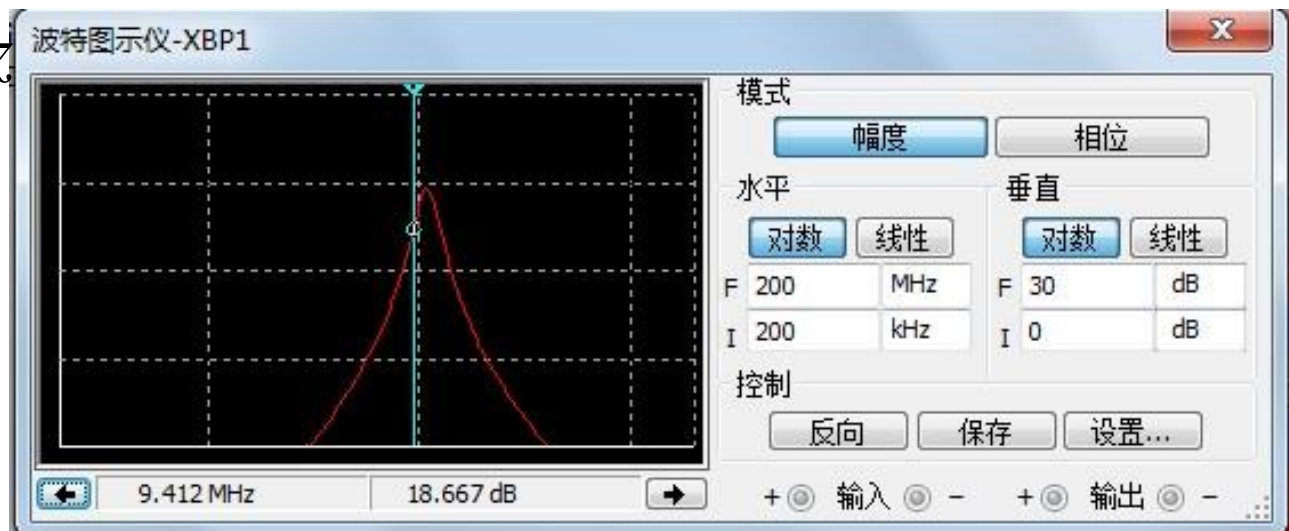
通频带: $BW_{0.7} \approx 2.959MHz$

电路放大倍数:

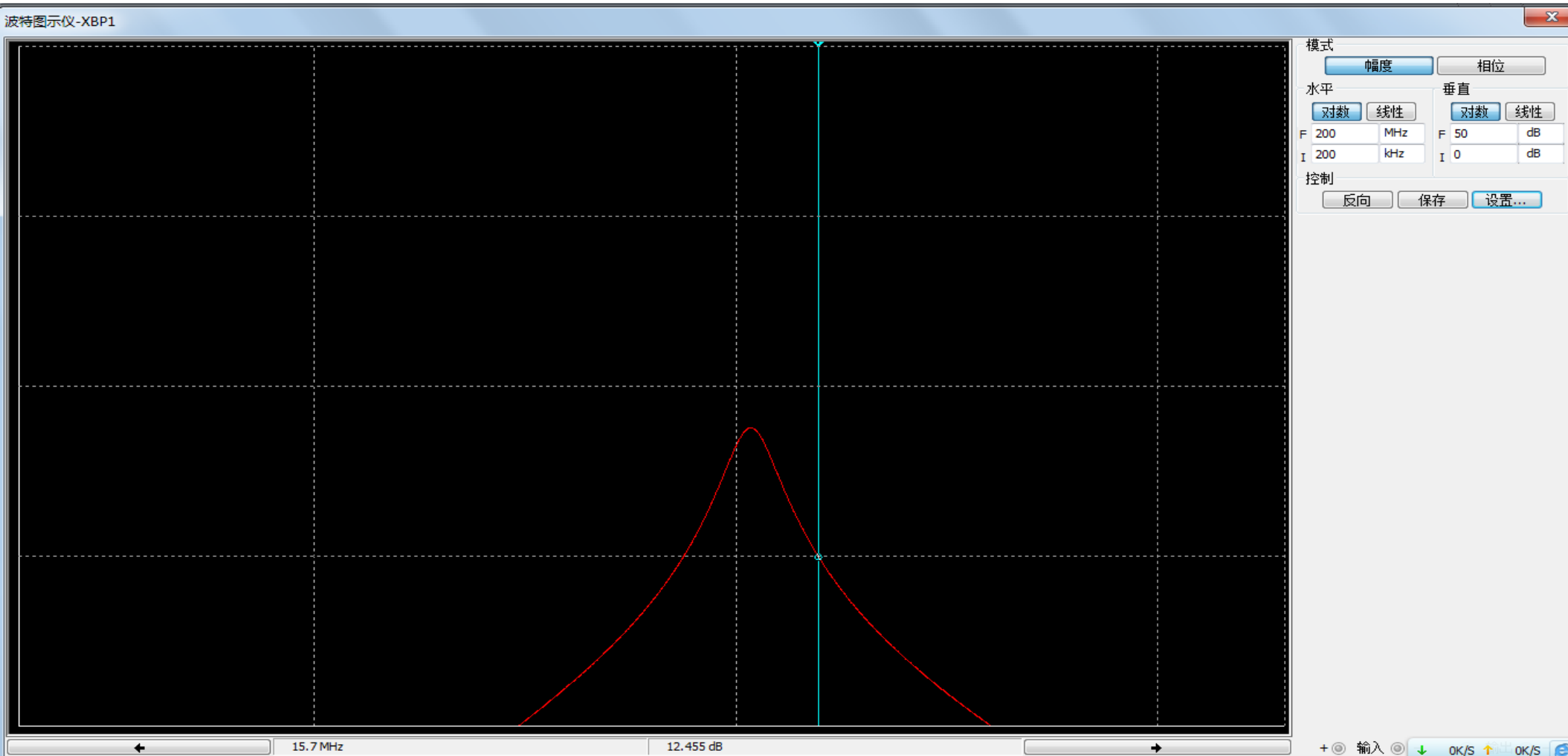
$$Au = 461.619 / 56.568 = 8.16$$

回路品质因数:

$$Q = 10.7MHz / 3.916MHz \approx 3.616$$



R3 (Ω)	500	1000	2000	10000
品质因数Q	0.96	1.563	2.273	3.616
α	0.941	0.885	0.808	0.568



4.总结

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，结果与理论分析计算相互吻合。



谢谢观赏

