

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称： 模拟电子电路实验

第 8 次实验

实验名称： 2.5 有源滤波器实验研究

院（系）： 自动化 专 业： 自动化

姓 名： 陈鲲龙 学 号： 08022311

实 验 室： 105 实验组别： 11

同组人员： _____ 实验时间： 2024 年 5 月 23 日

评定成绩： _____ 审阅教师： _____

一、实验目的

- (1) 掌握 RC 有源滤波器的工作原理;
- (2) 掌握滤波器选择应用的基本原则;
- (3) 掌握滤波器基本参数的测量调试方法;
- (4) 熟悉 RC 有源滤波器的仿真设计方法。

二、实验原理

1. 基本概念: 滤波器的主要功能是滤除不需要的信号, 保留所需频率信号, 是一种对信号具有频率选择性的电路。

集成运放为有源器件, 它与 RC 等无源器件组成有源滤波器, 具有高输入阻抗 & 低输出阻抗的特点。

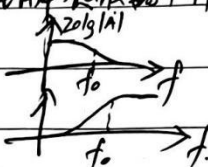
从 $20\lg|A| - f$ 幅频特性曲线可以很直观理解滤波器 4 种类型:

低频有幅度高频没有即低通滤波器 LPF

高 ~ 低 ~ 高 ~ 高通滤波器 HPF

中间有两边无即带通滤波器 BPF

无 ~ 有 ~ 无 ~ 带阻滤波器 BEF



*理想的幅频曲线通阻之间应直上直下, 但实际电路幅频曲线有一定斜率)

2. 滤波器主要指标

1° 通带增益 A_{10} : 滤波器在通带内的电压放大倍数, 性能良好的滤波器通带内幅频特性曲线应平坦, 通带内电压放大倍数为 0。

2° 截止频率 f_c : 对应增益: $0.707A_{10}$

3° 纹波幅度 d : 通带内幅频特性波纹变化的幅度

4° 信频选择性 W : 指在上限截止频率 f_{c2} 与 $2f_{c2}$ 间 (或下限 f_{c1} 与 $\frac{f_{c1}}{2}$ 间) 幅频特性的衰减值, 即频率变化的一个倍频程时的衰减值。

$$W = -20\lg \frac{A(f_{c2})}{A(f_{c1})} \text{ 或 } -20\lg \frac{A(f_{c1})}{A(f_{c2})} \quad (\text{dB/oct})$$

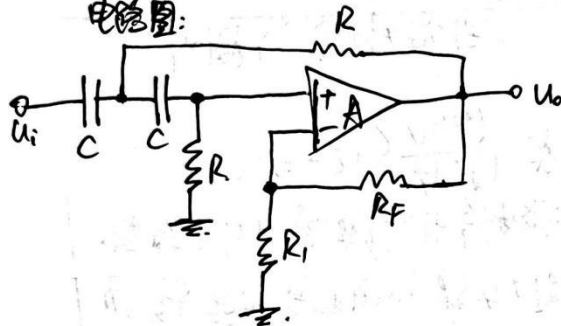
信频程

$|W|$ 越大, 选择性越好。

5° 带宽 BW : 上下限截止频率 $(f_{c2} - f_{c1})/Hz$ " -30dB 带宽" 邮政特准: 210096

有源
本次必做实验主涉及二阶高通滤波器。

电路图：



$$A_{uo} = \frac{U_o}{U_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{\left(\frac{1}{j\omega C}\right)^2}{1 - \frac{R_F}{R_1} + j\frac{1}{\omega R_1 C}} A_{uo}$$

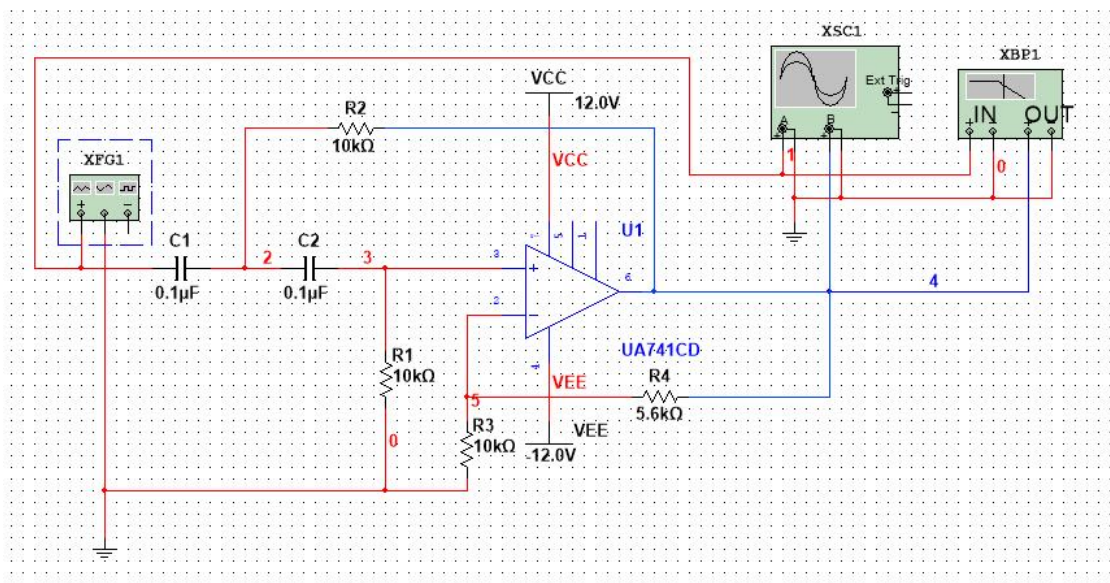
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}, \quad Q = \frac{1}{3 - A_{uo}}$$

三、实验内容

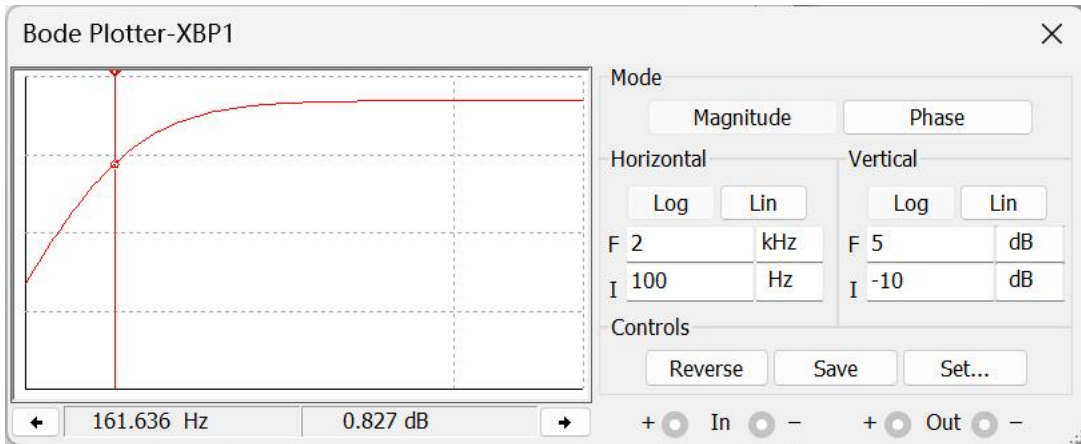
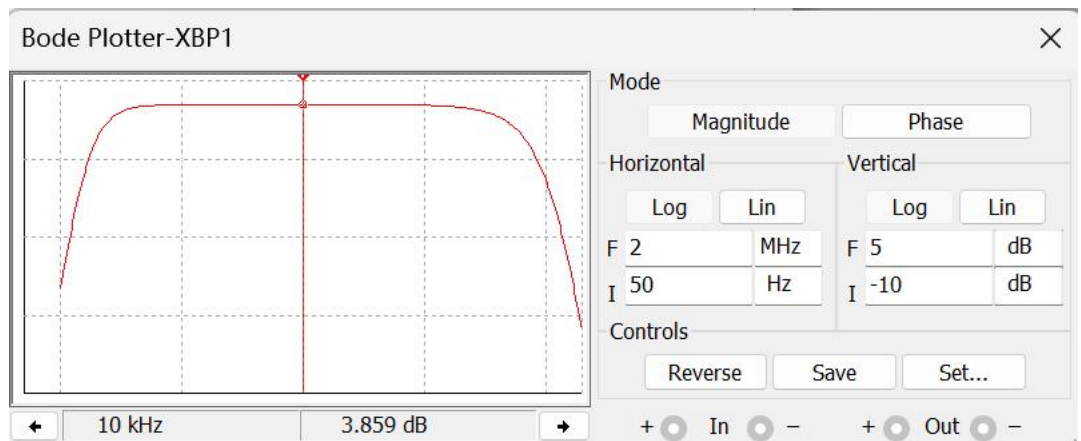
必做实验部分：

1. 仿真实验：

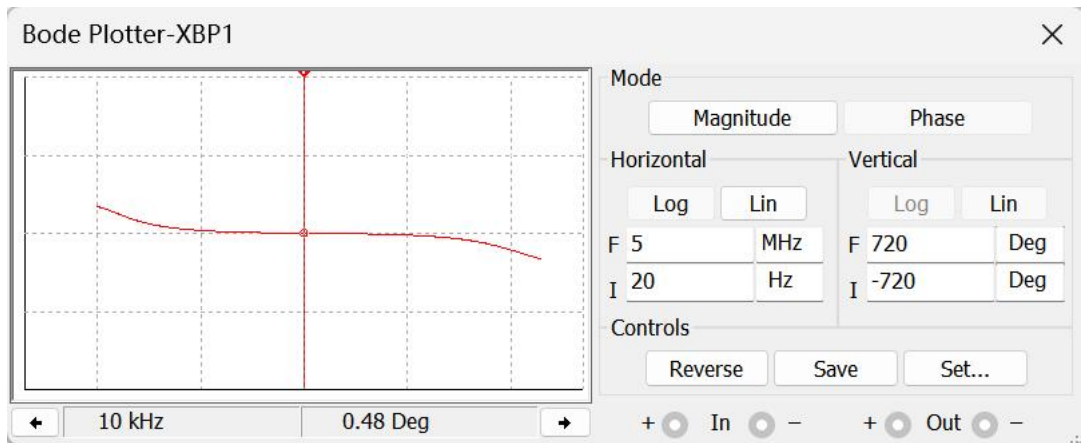
电路图：

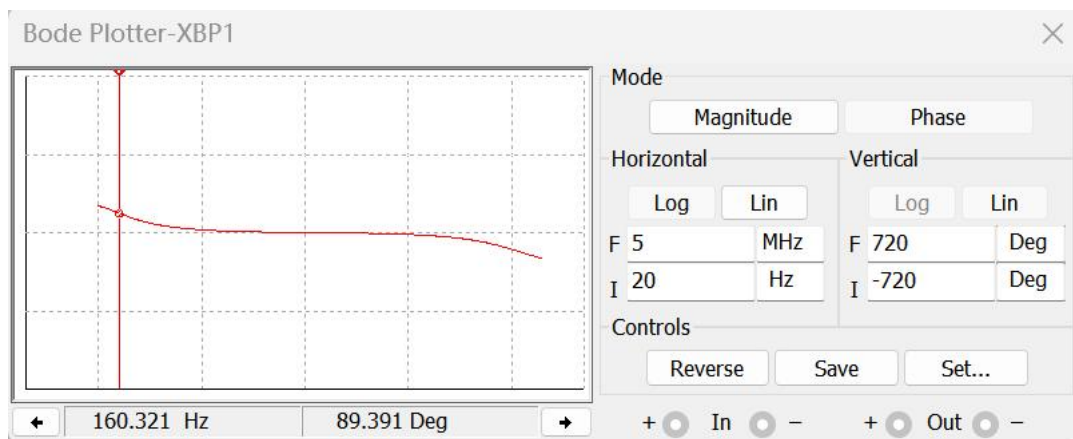


幅频特性:



相频特性:





小结：截止频率约为 161Hz，且截止点附近相位移约为 90° ，与理论基本一致，仿真正确。

2. 电路实验

(1) 滤波器参数测量

f/Hz	f1=20	f2=50	f3=100	f0=190	f4=500	f5=1000	f6=1600
Ui/mV	1020	1040	1020	1020	1020	1020	1020
Uo/mV	32.8	146	528	1180	1600	1620	1620
Au	0.032	0.14	0.52	1.157	1.57	1.59	1.59
	图 1	图 2	图 3	图 4	图 5	图 6	图 7

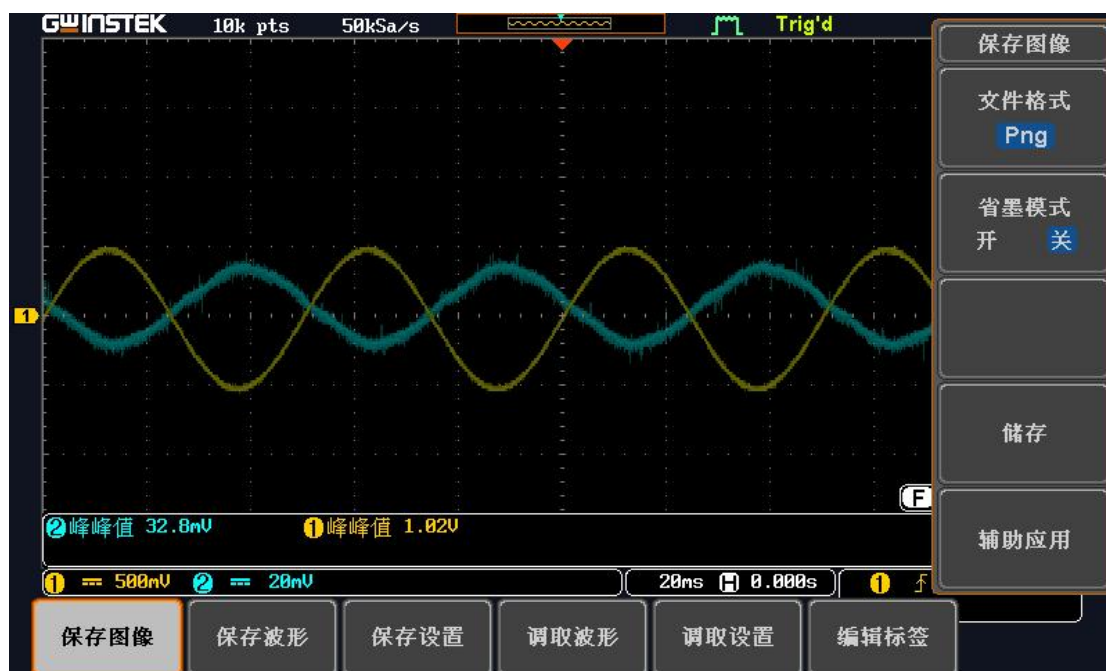


图 1

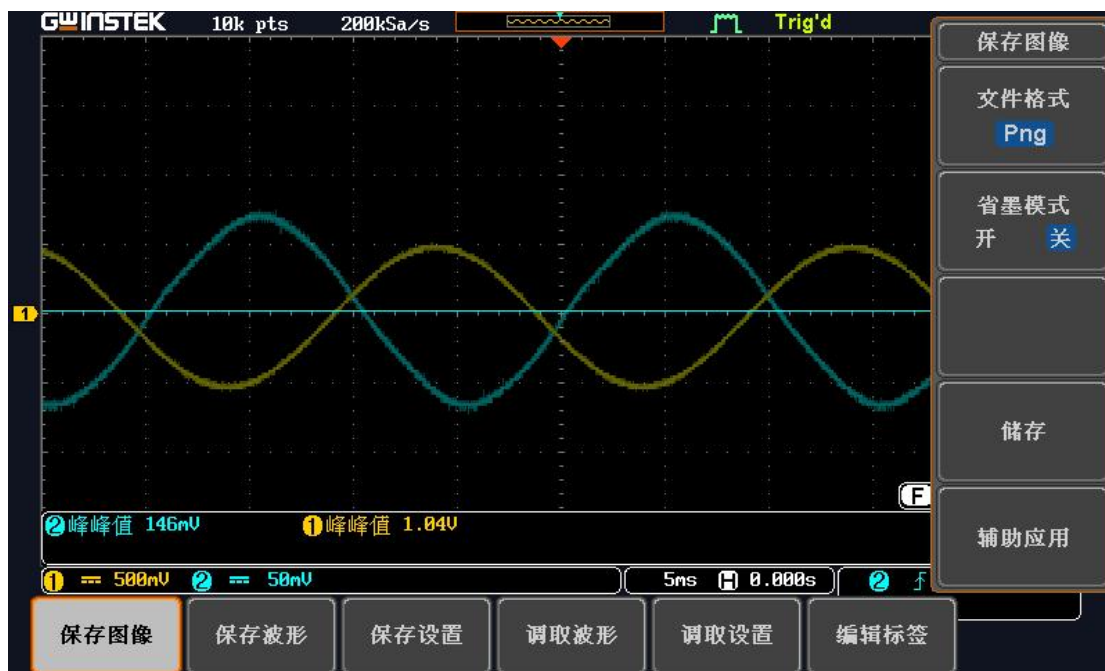


图 2

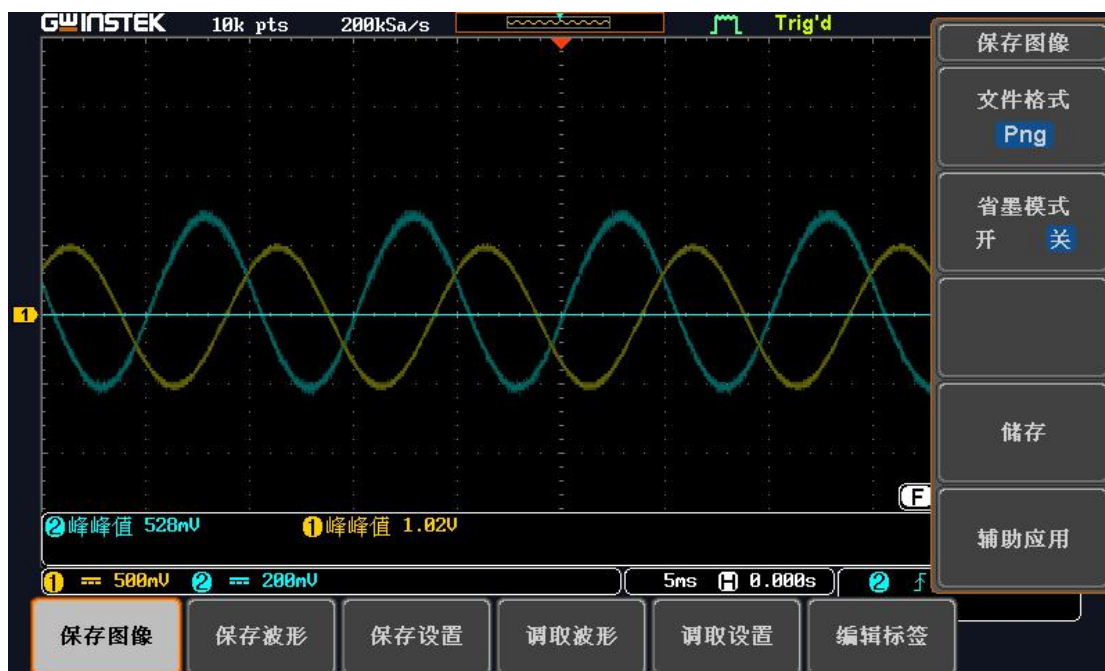


图 3



图 4

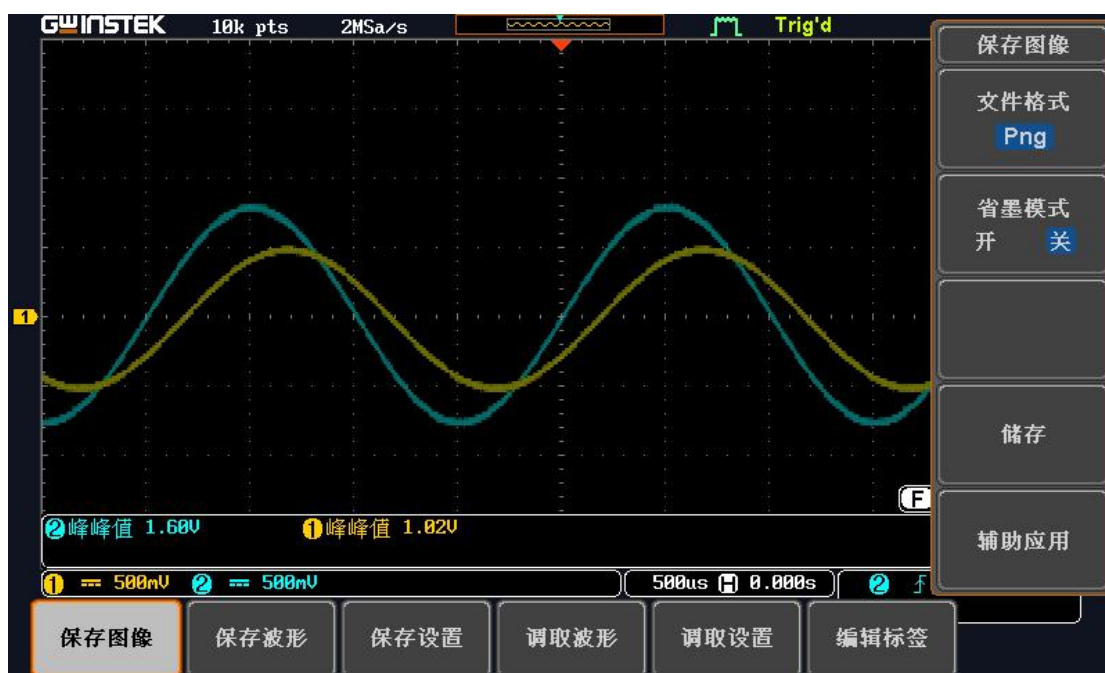


图 5

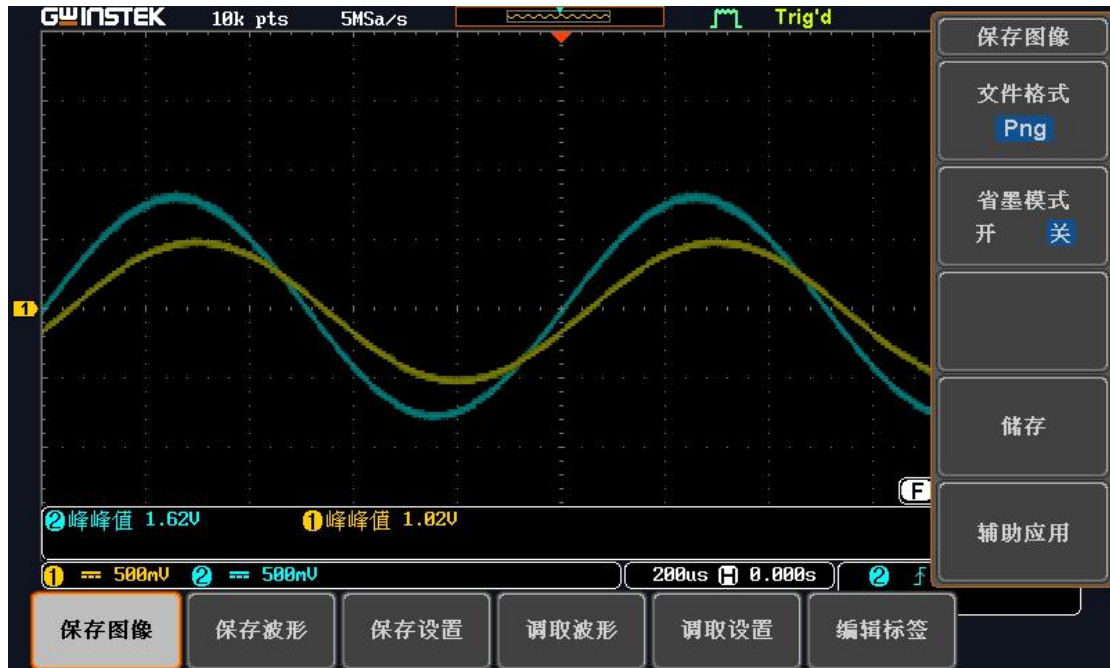


图 6

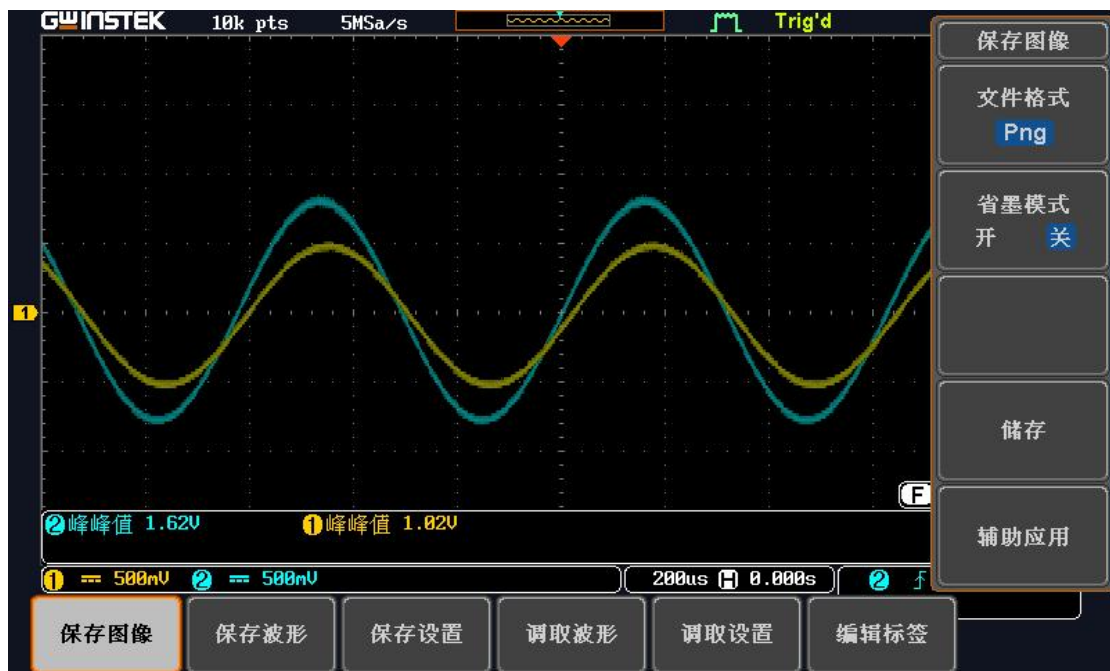
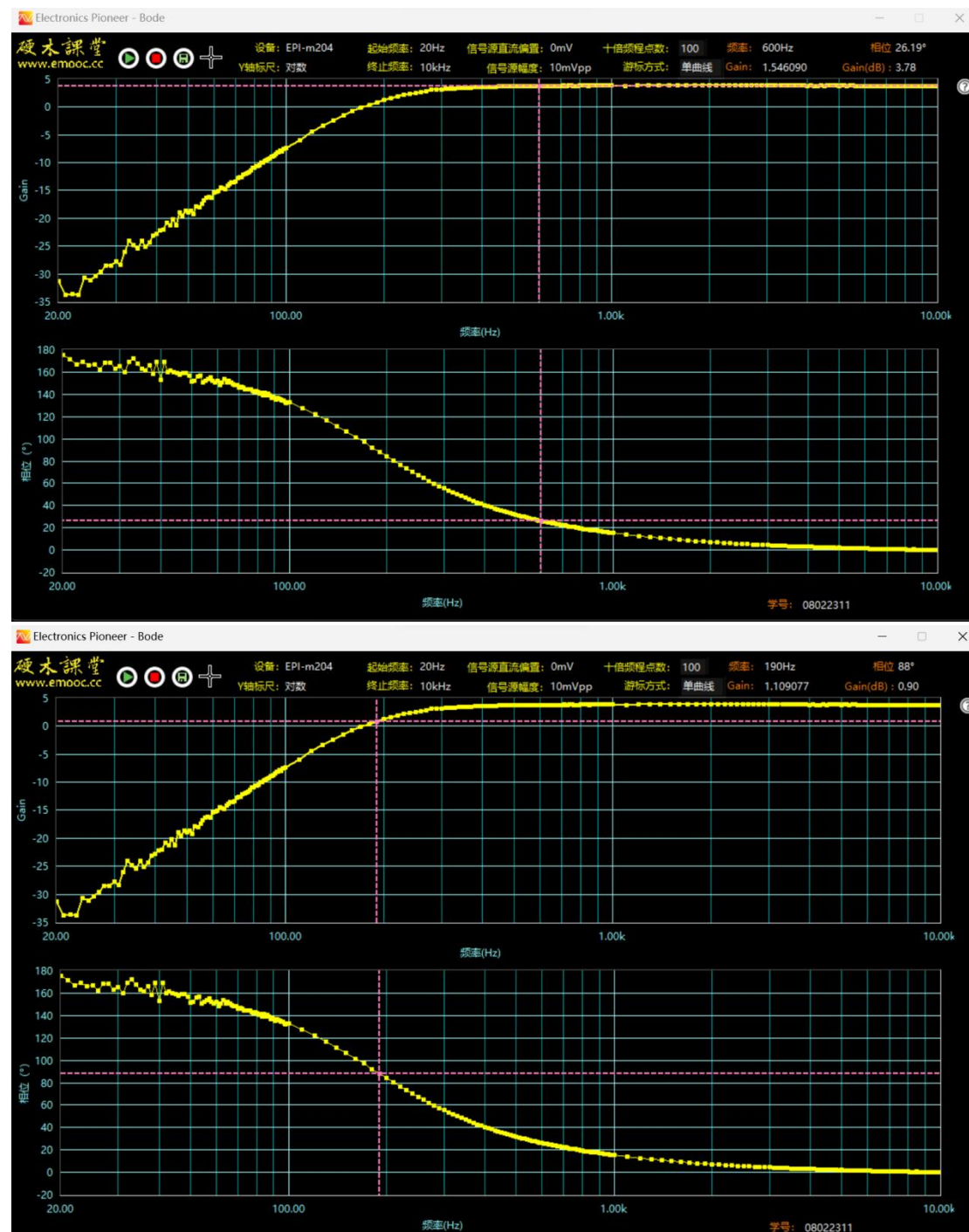


图 7

扫频仪结果:



小结：由于我的电容实测值才 88nF，比标定值 100nF 小很多，误差已经不能忽略了，电容的减小导致了实际截止频率 f_0 也改变为 190Hz，大于理论值 160Hz，这符合理论公式 $f_0=1/2\pi RC$ 中 f_0 和 C 反比关系， A_{u0} 实测为 1.59 接近 $1+R_4/R_3$ 的理论值 1.56，且在 f_0 处的 A_u 为 1.157，接近 1.59 的 0.707 倍，示波器实测值和理论和扫频仪结果都接近。

(2) 参数变化对滤波性能影响

1、 $R_1=10\text{k}\Omega$ ， $R_2=10\text{k}\Omega$ ， $R_3=10\text{k}\Omega$ ， $R_4=5.6\text{k}\Omega$ ， $C_1=0.2\mu\text{F}$ ， $C_2=0.2\mu\text{F}$ 。

f/Hz	f1=15	f2=20	f3=50	f0=90	f4=100	f5=500	f6=1000
U _i /V	1020	1020	1040	1000	1020	1040	1020
U _o /V	56.8	94	536	1160	1640	1600	1240
Au	0.0557	0.092	0.5154	1.16	1.608	1.54	1.2157
	图 8	图 9	图 10	图 11	图 12	图 13	图 14

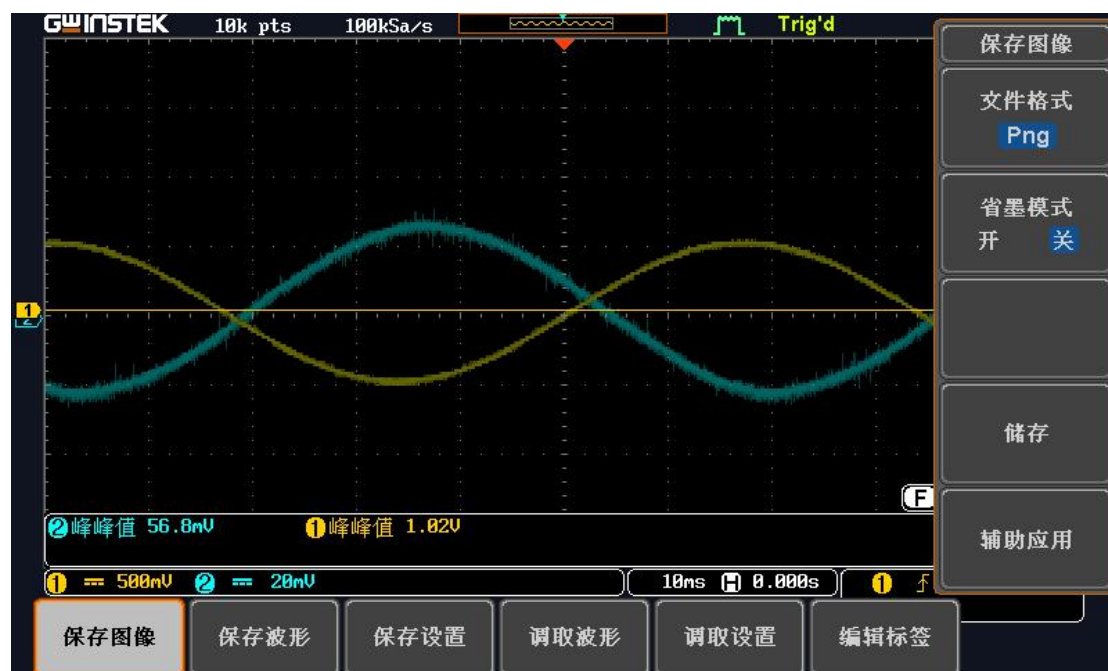


图 8

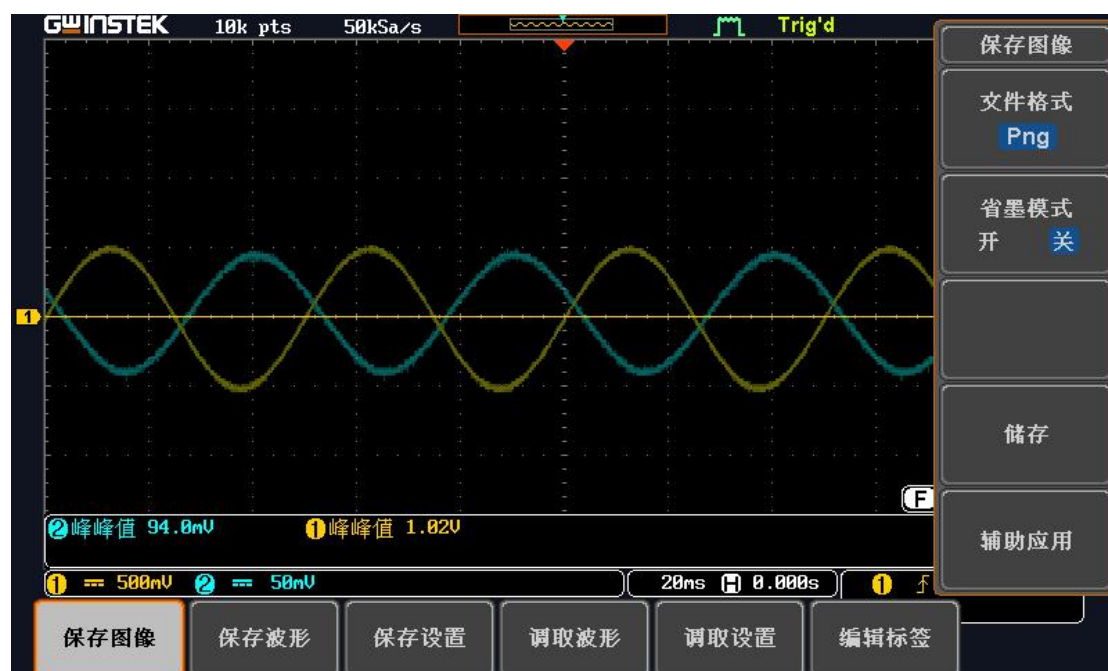


图 9

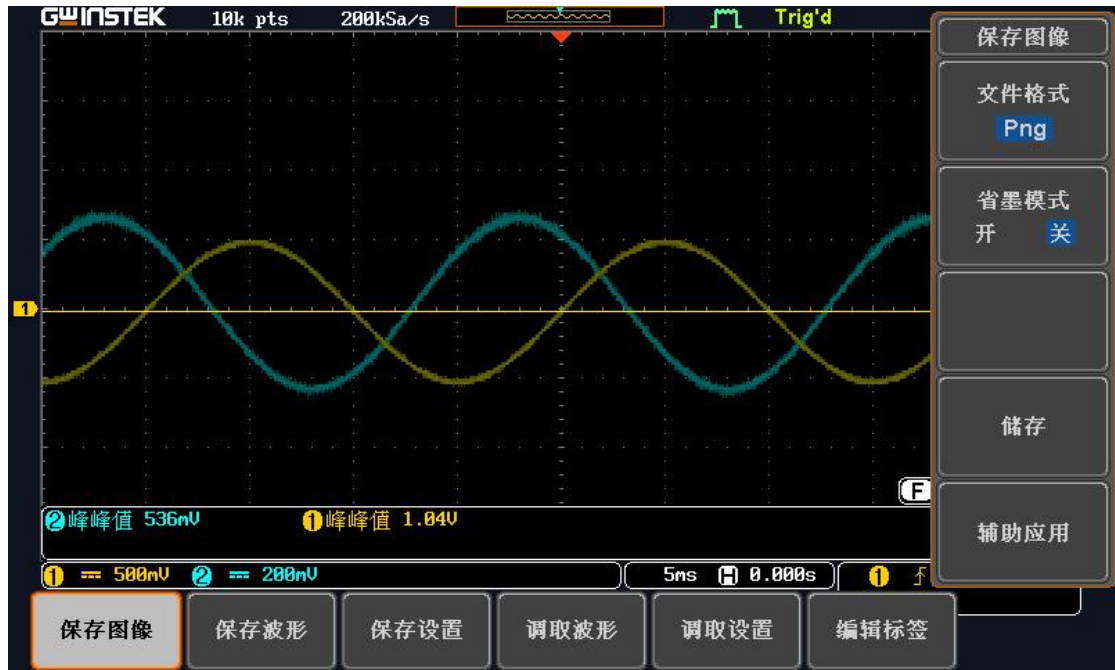


图 10

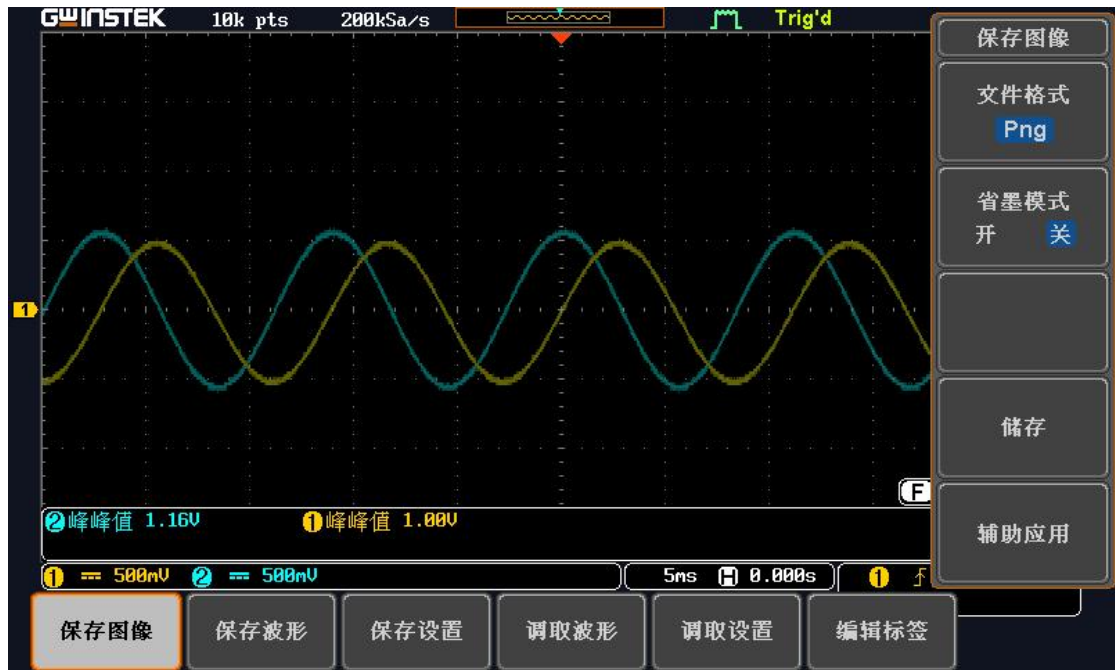


图 11

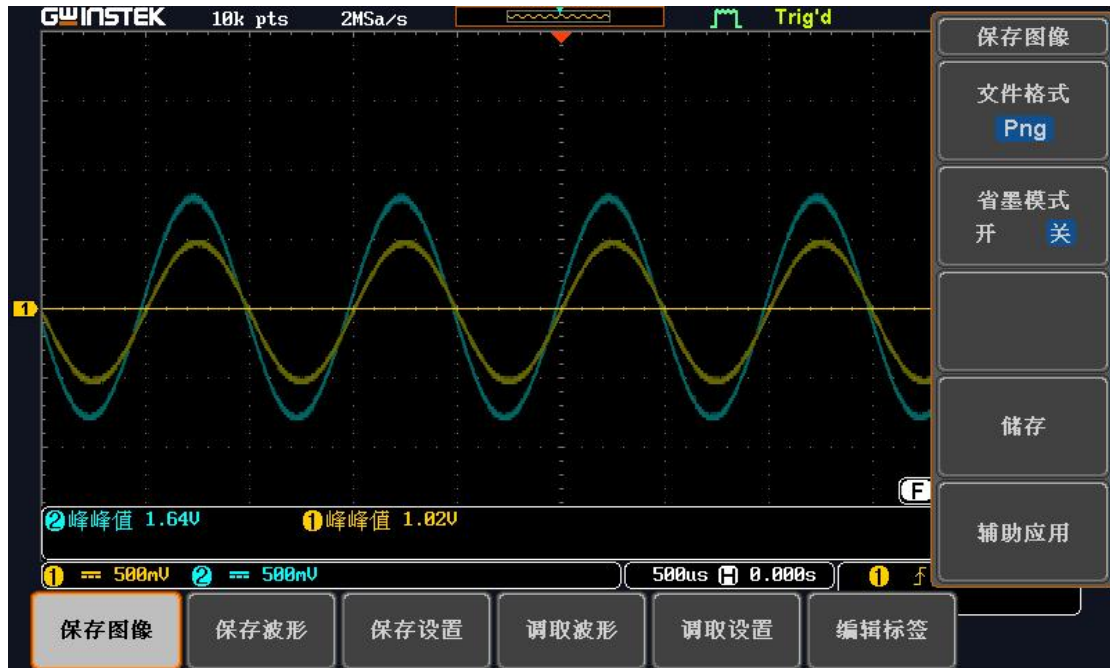


图 12

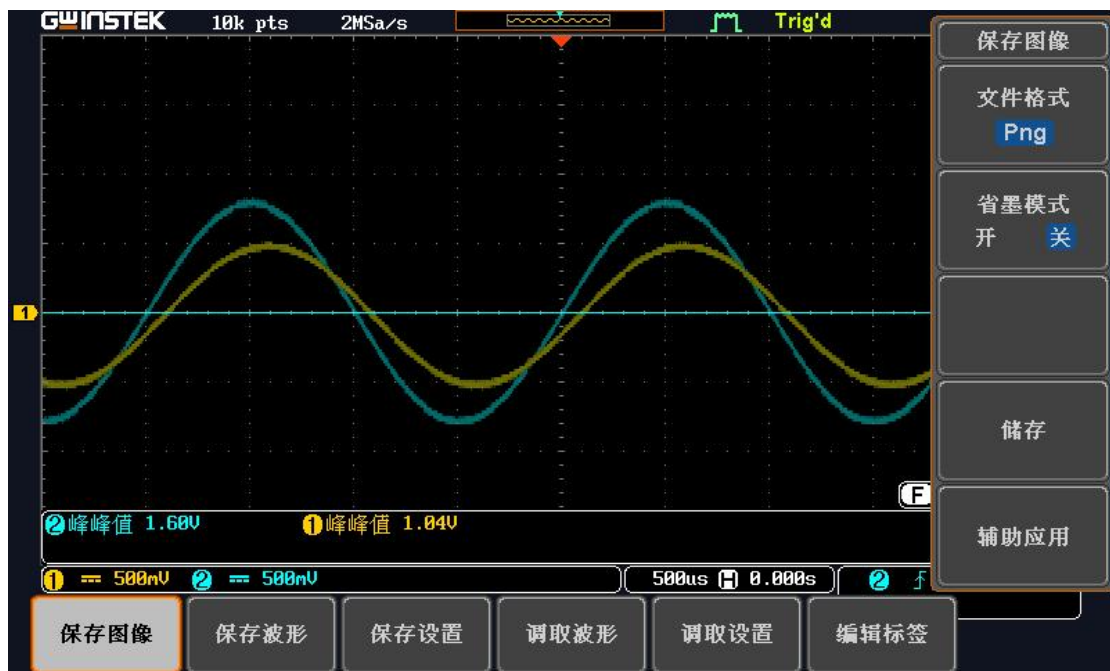


图 13

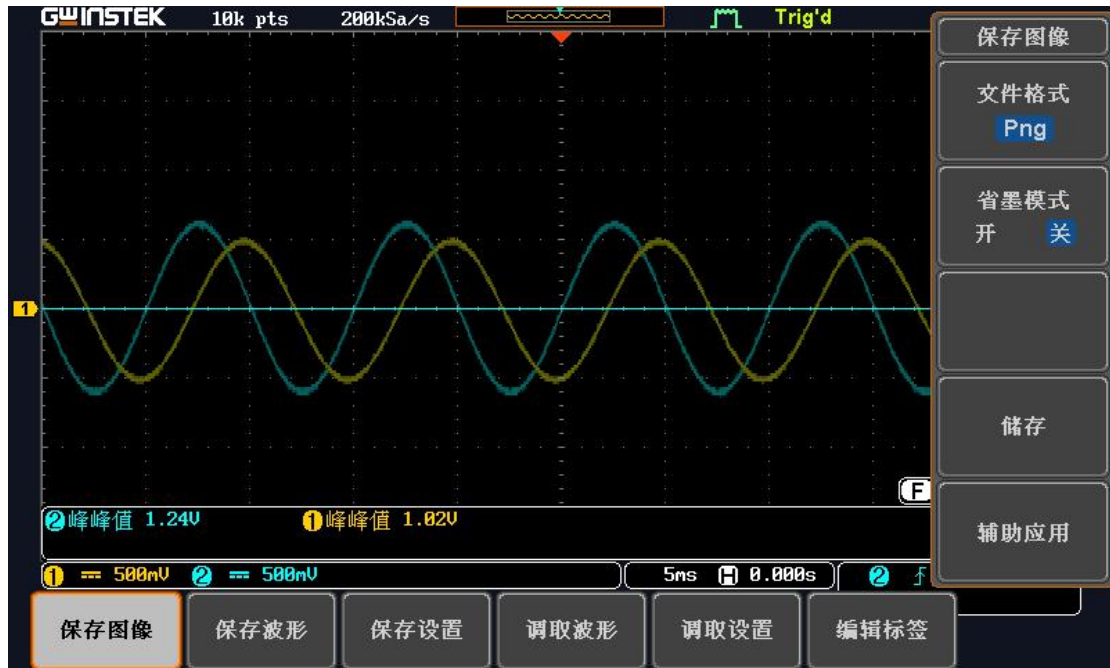
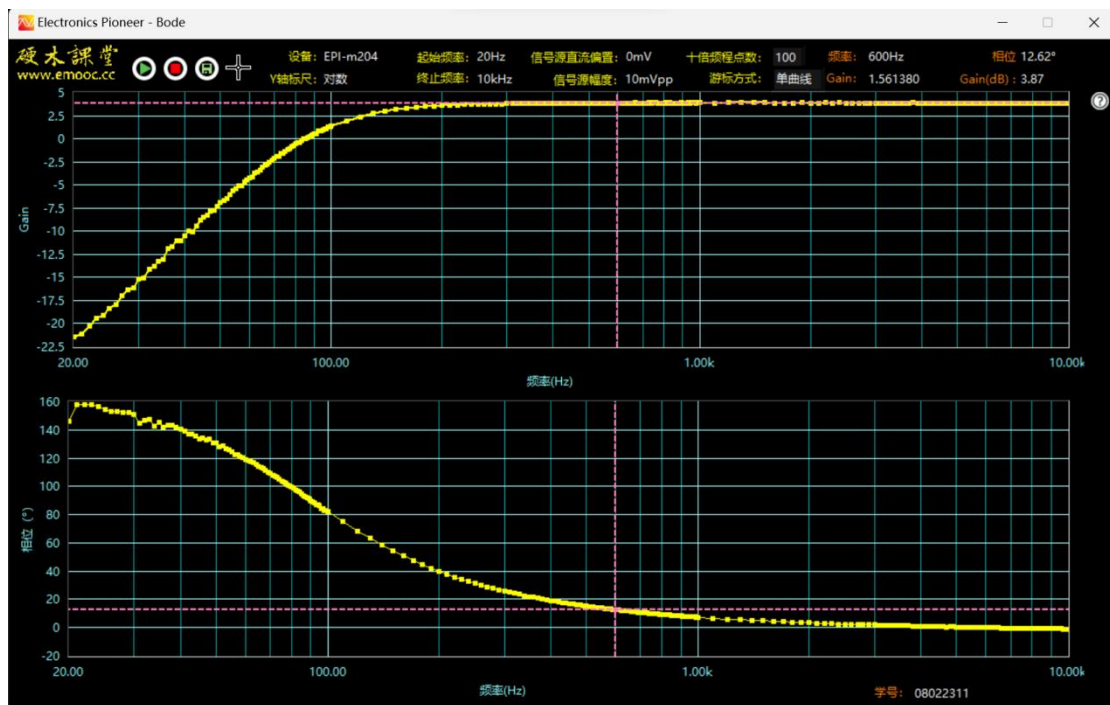
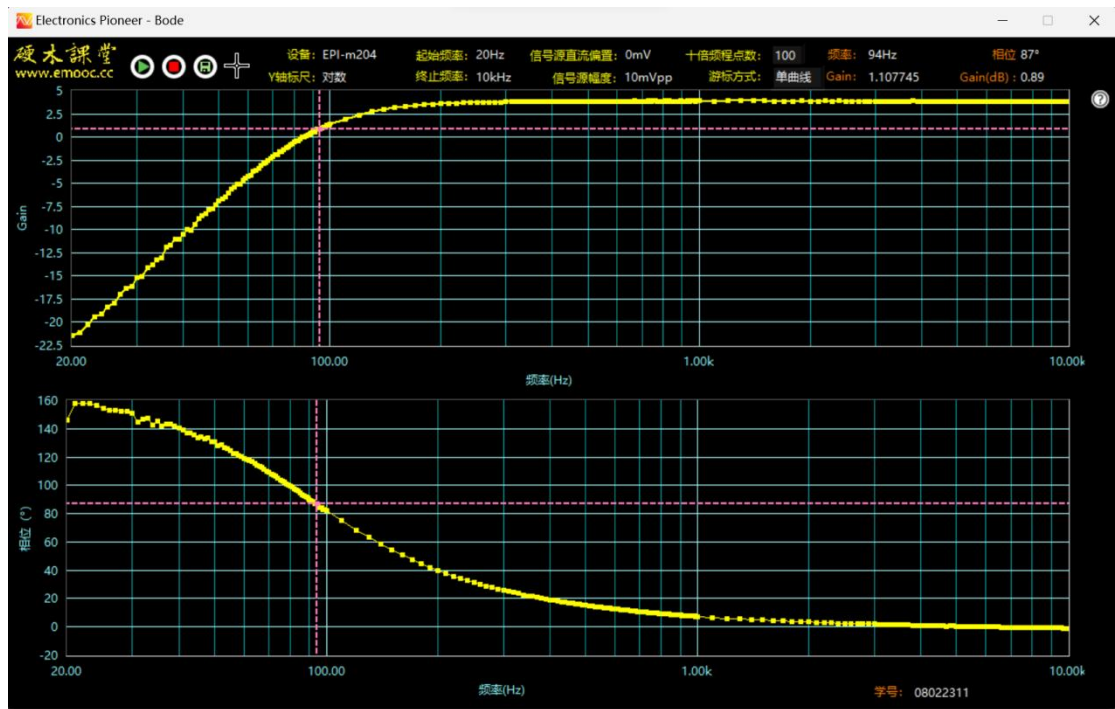


图 14

扫频仪结果:





小结：实测截止频率 f_0 改变为 90Hz，这符合理论公式 $f_0=1/2\pi RC$ 中 f_0 和 C 反比关系，电容变大则截止频率 f_0 变小， A_{u0} 实测接近 1.6，且在 f_0 处的 A_u 为 1.16，接近 1.6 的 0.707 倍，示波器实测值和理论和扫频仪结果都接近。

2、 $R_1=1k\Omega$ ， $R_2=1k\Omega$ ， $R_3=10k\Omega$ ， $R_4=5.6k\Omega$ ， $C_1=0.2\mu F$ ， $C_2=0.2\mu F$ 。

f/Hz	f1=100	f2=200	f3=500	f0=950	f4=1000	f5=2000	f6=5000
U_i/V	1020	1020	1040	1000	1000	1000	1000
U_o/V	30	90	504	1160	1200	1520	1580
A_u	0.03	0.088	0.5	1.16	1.2	1.52	1.58
	图 15	图 16	图 17	图 18	图 19	图 20	图 21

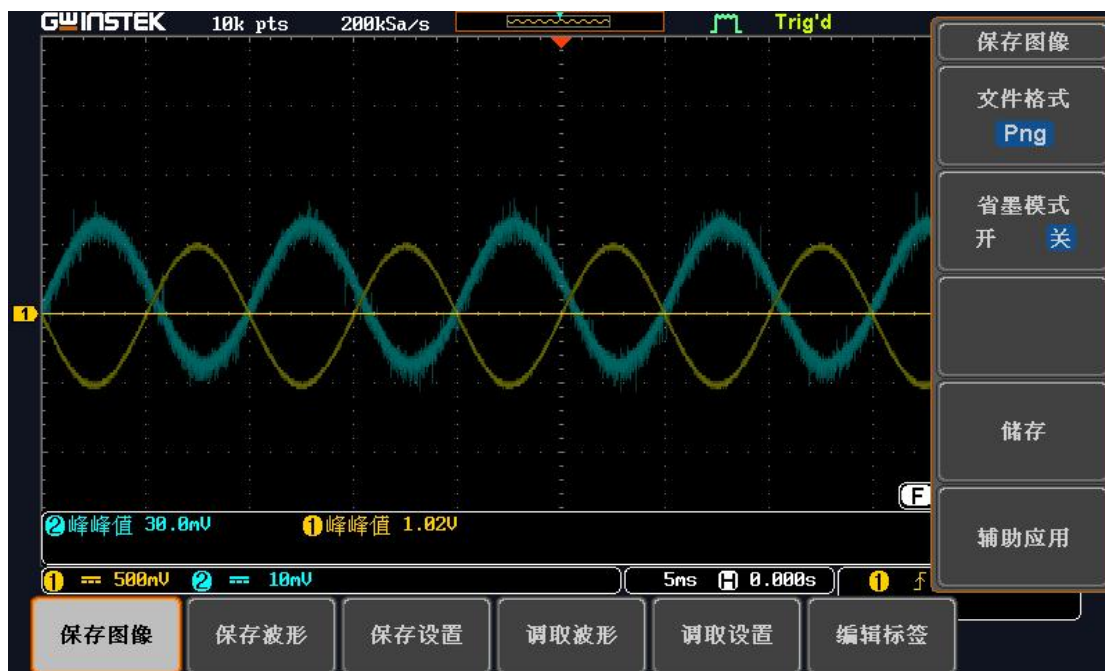


图 15

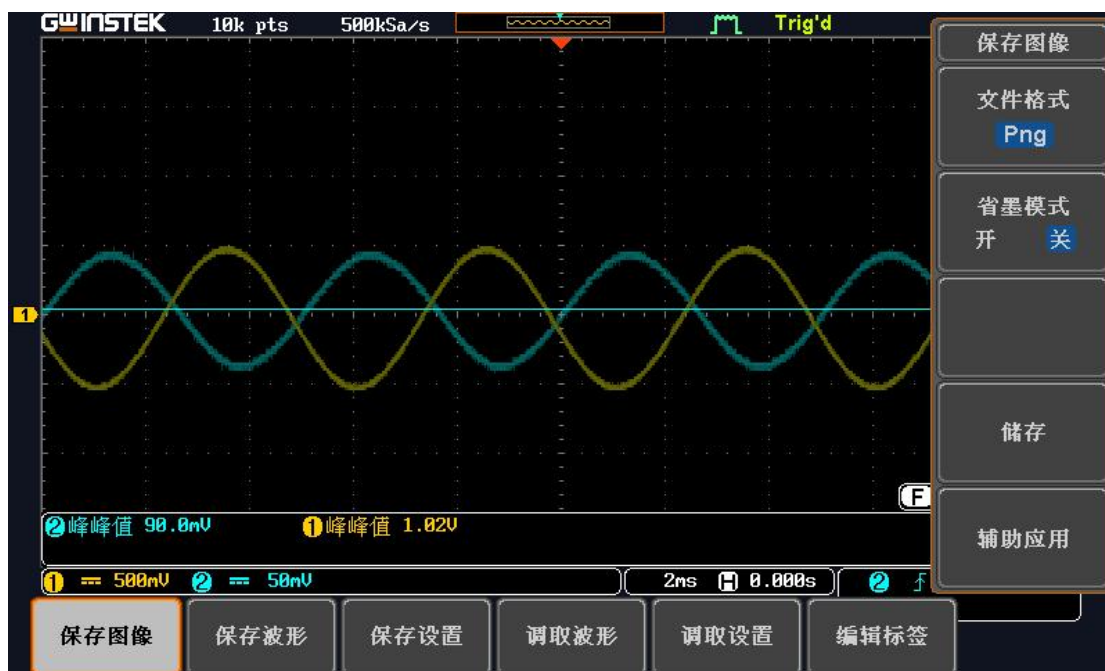


图 16

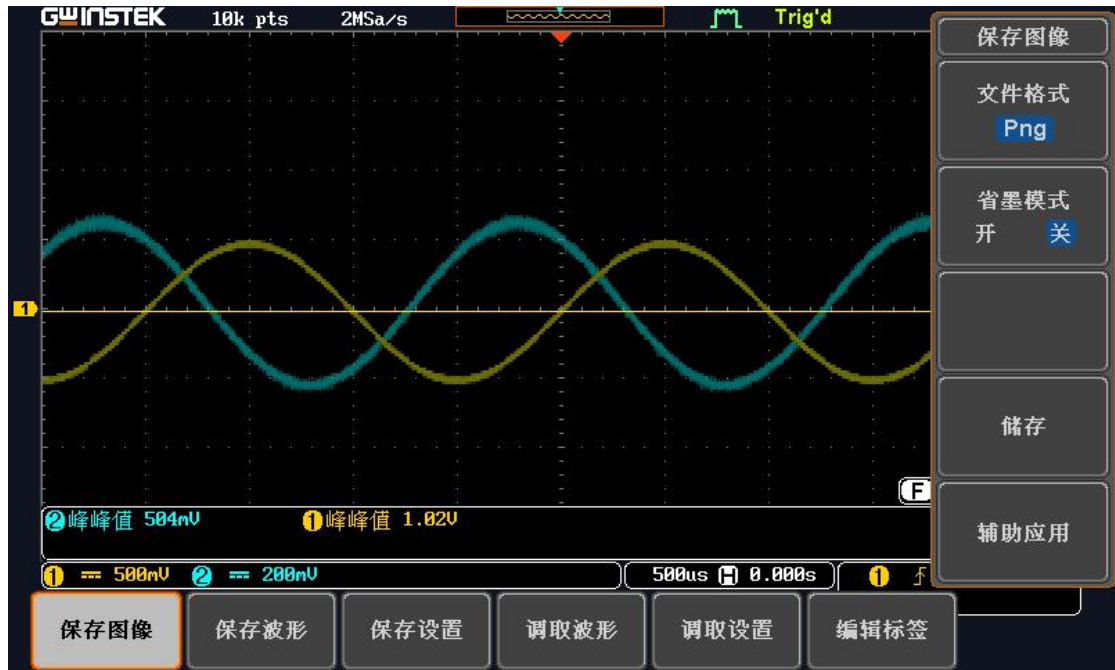


图 17

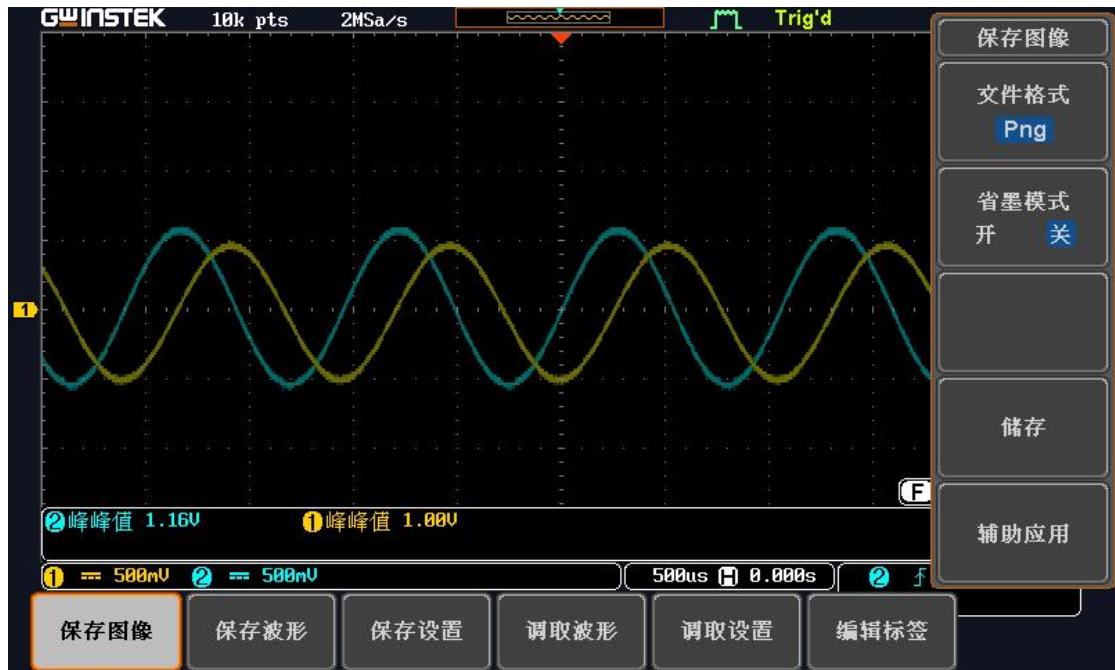


图 18



图 19

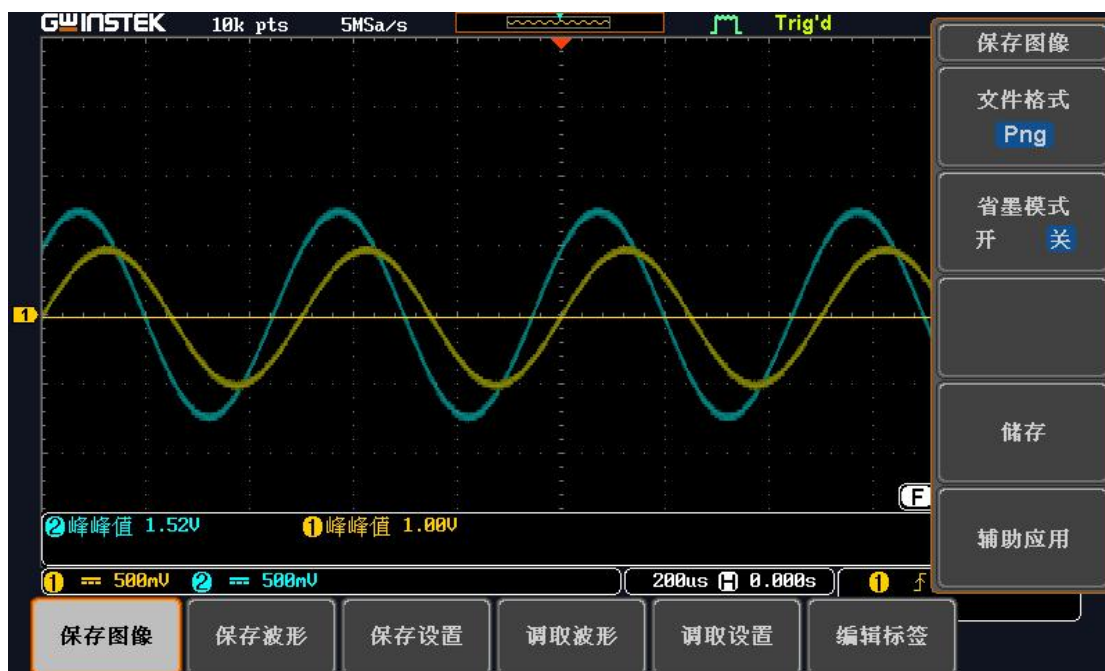


图 20

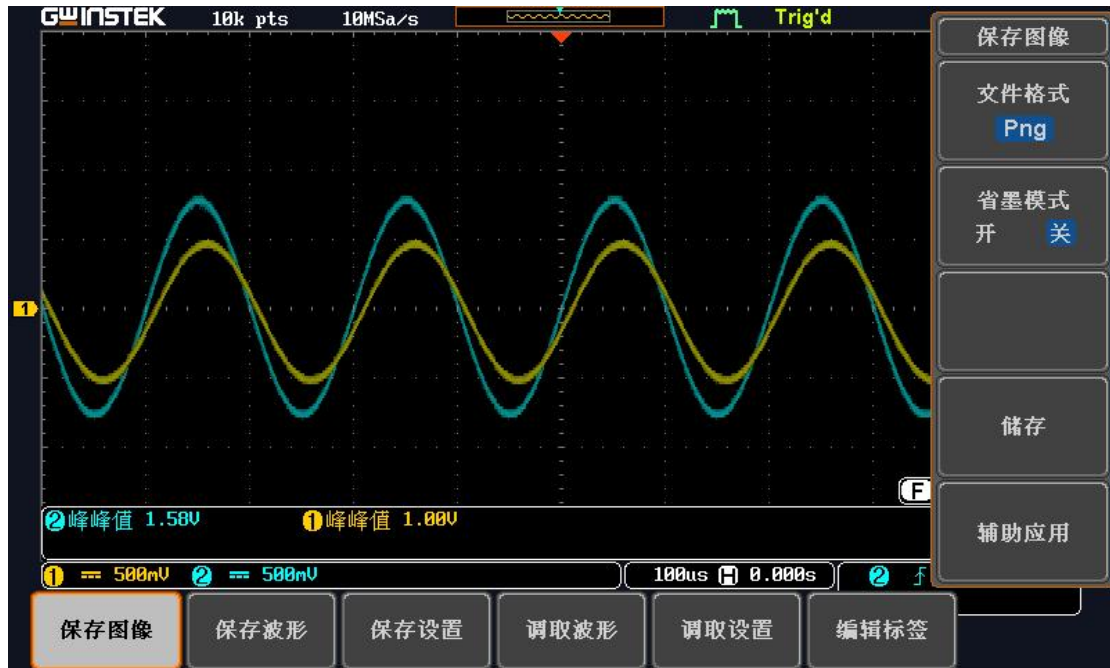
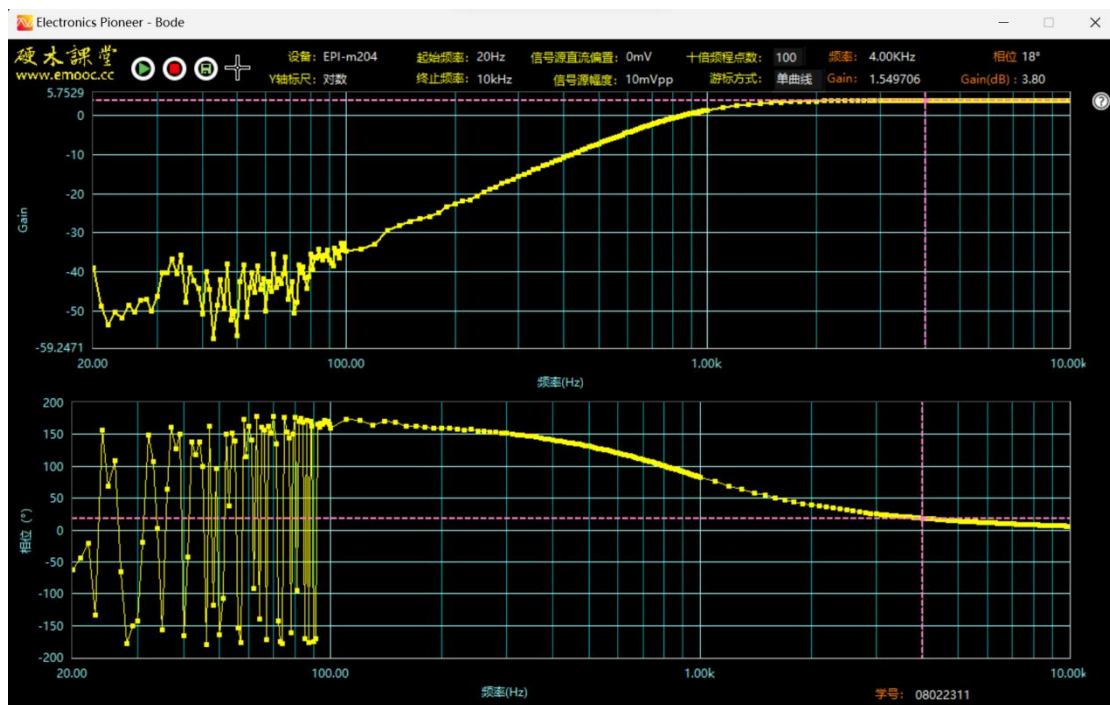
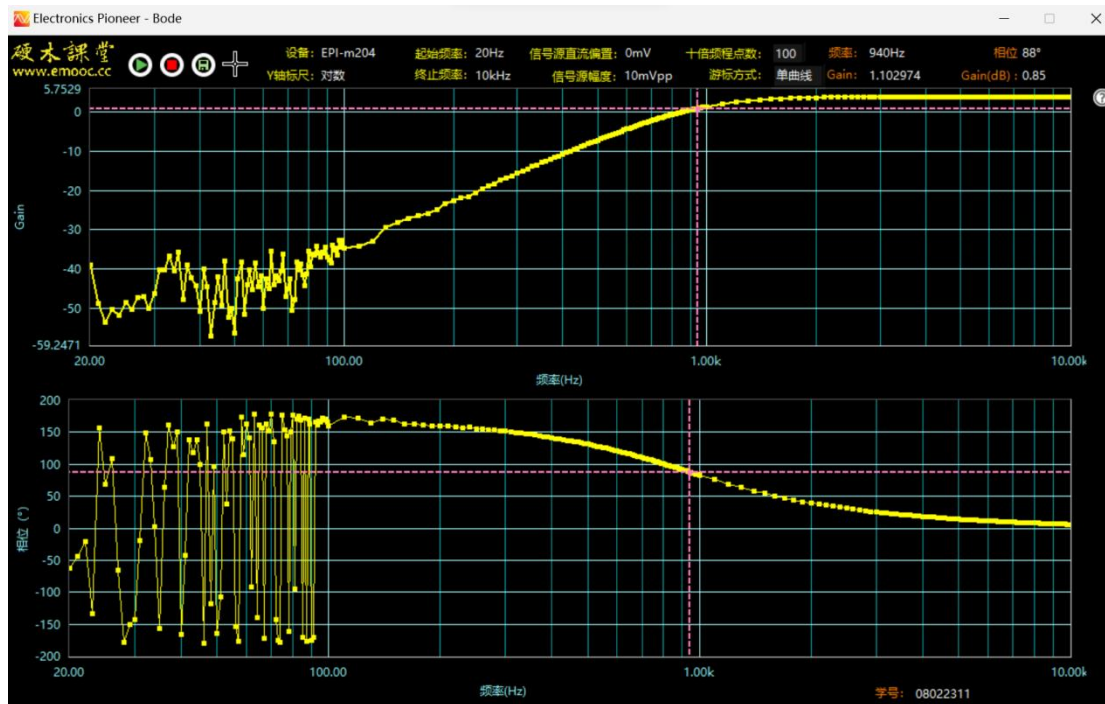


图 21

扫频仪结果:





小结：实测截止频率 f_0 改变为 950Hz，这符合理论公式 $f_0=1/2\pi RC$ 中 f_0 和 R 反比关系， R 变小则截止频率 f_0 变大， A_{u0} 实测接近 1.6，且在 f_0 处的 A_u 为 1.16，接近 1.6 的 0.707 倍，示波器实测值和理论和扫频仪结果都接近。

(3) Q 值变化对滤波性能影响

$R_1=10k\Omega$ ， $R_2=10k\Omega$ ， $R_3=10k\Omega$ ， $R_4=10k\Omega$ ， $C_1=0.1\mu F$ ， $C_2=0.1\mu F$ 。

f/Hz	f1=20	f2=50	f3=100	f0=141	f4=500	f5=1000	f6=5000
U_i/V	1020	1040	1040	1020	1040	1040	1040
U_o/V	34.4	162	712	1400	2200	2080	2080
A_u	0.034	0.15577	0.6846	1.37	2.115	2	2
	图 22	图 23	图 24	图 25	图 26	图 27	图 28

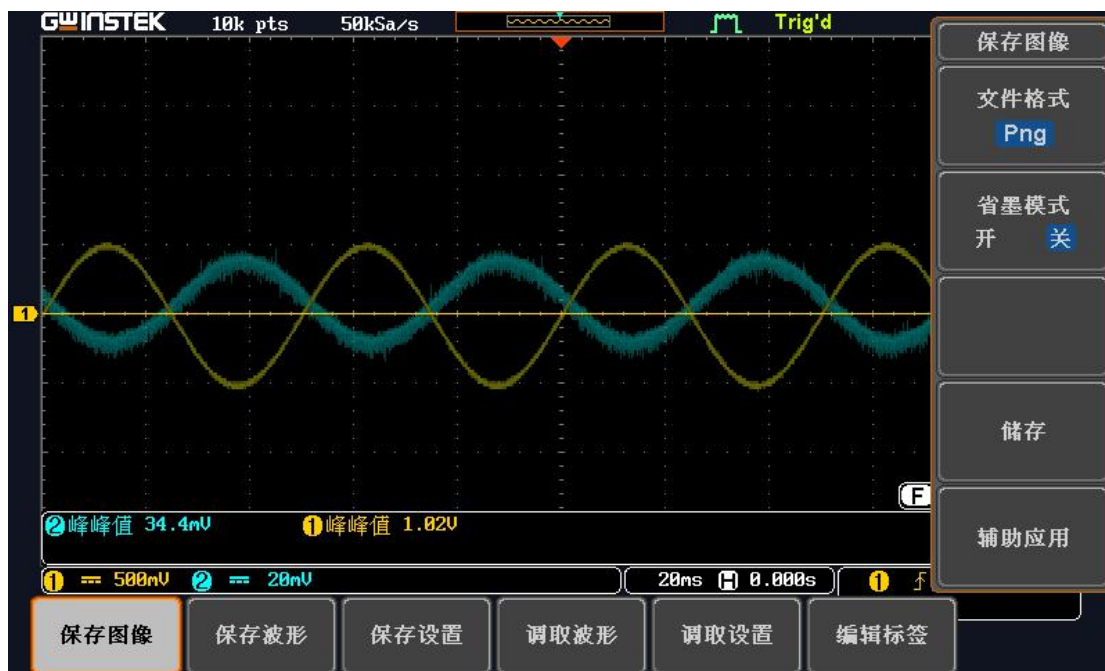


图 22

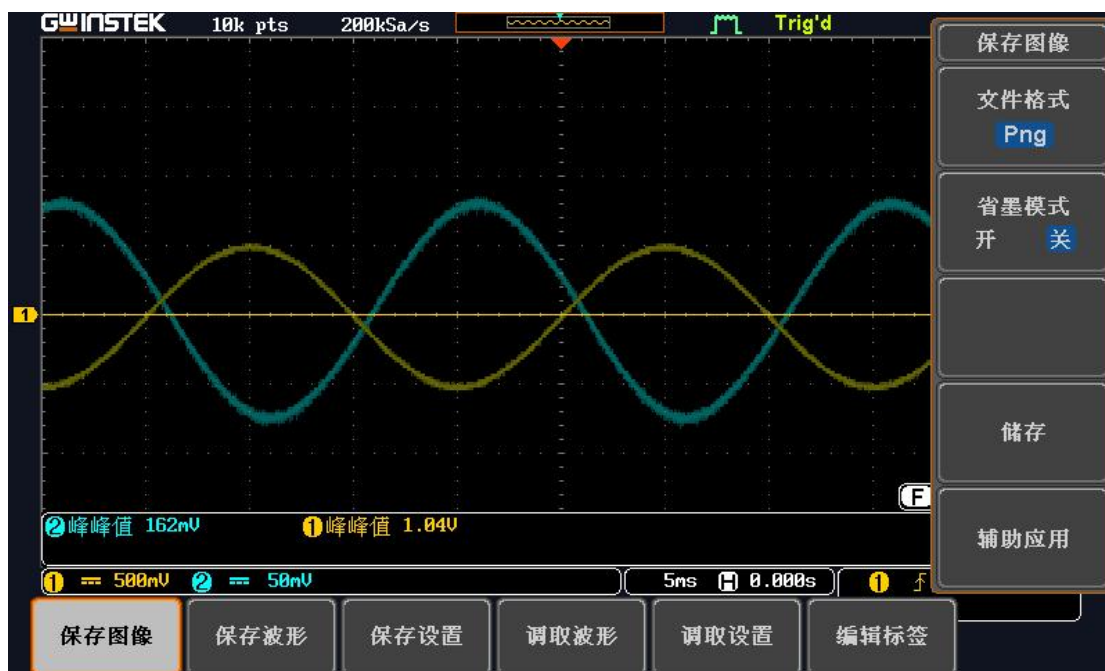


图 23

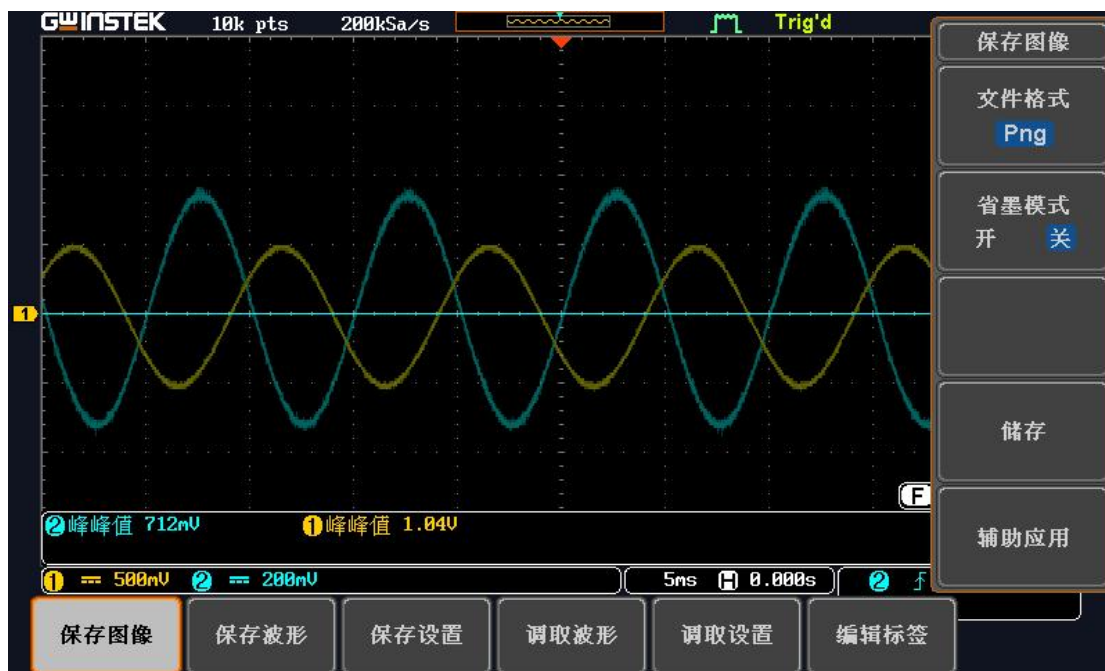


图 24



图 25

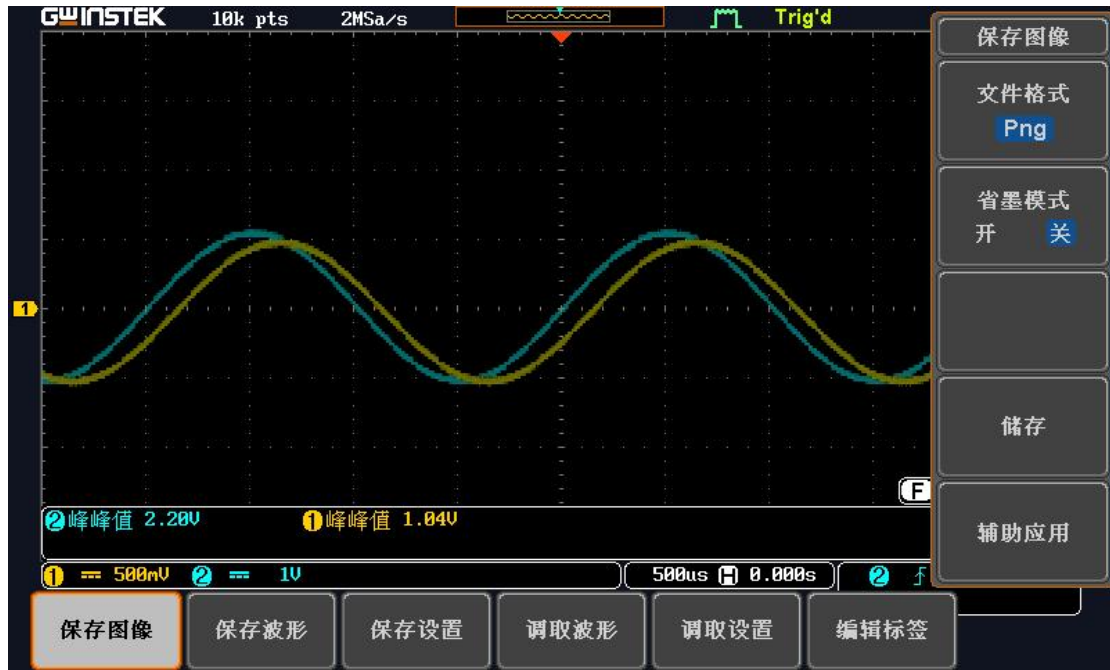


图 26

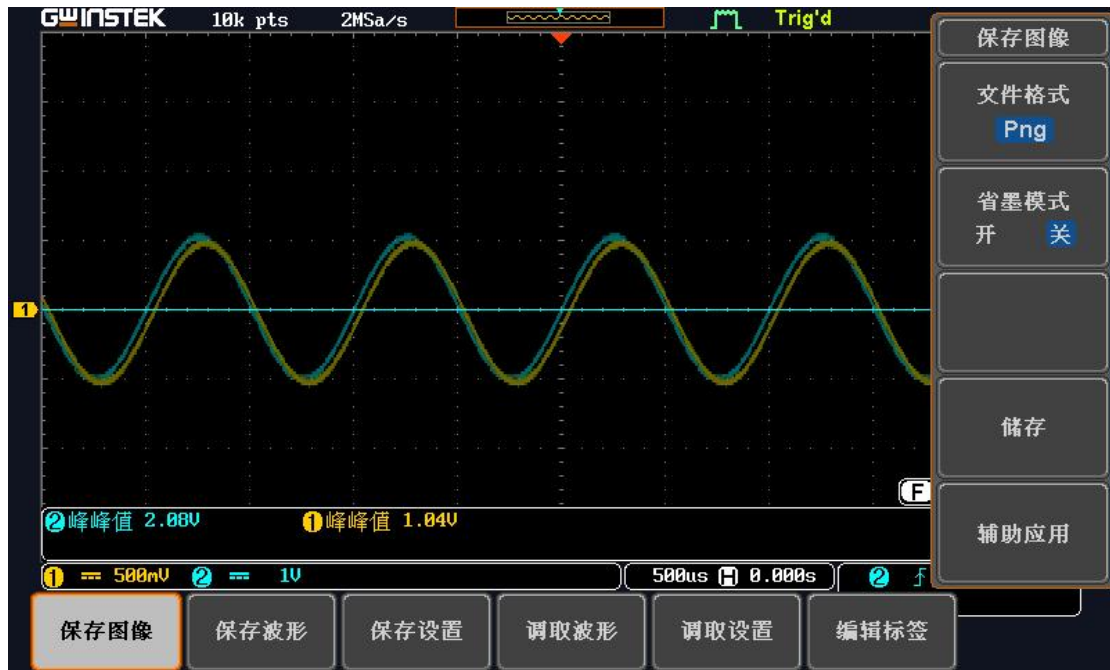


图 27

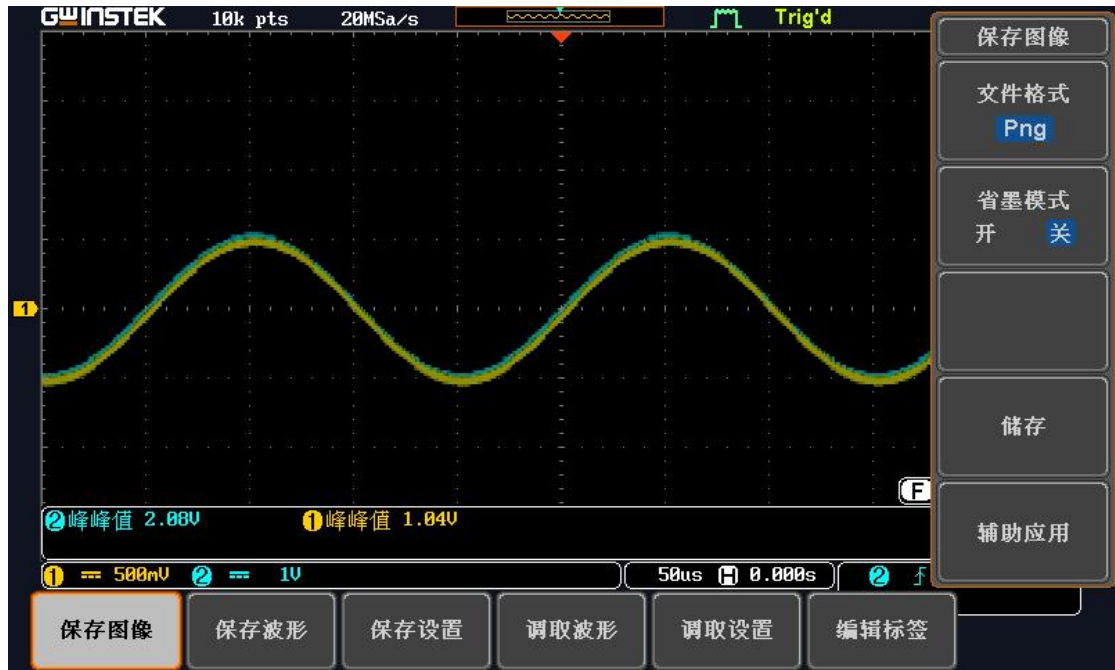


图 28

扫频仪结果:

