

# 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

# 有源滤波器实验研究

实验名称: 有源滤波器实验研究

院（系）： 自动化 专 业： 自动化

姓 名： 邹滨阳 学 号： 08022305

实 验 室: 金智楼电子技术 4 室 105      实验组别: 无

同组人员： 无 实验时间：2024 年 5 月 23 日

评定成绩: 审阅教师:

# 波形产生电路的设计

## 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（主要写用到的的理论知识点，不要长篇大论）

滤波器是一种对信号具有频率选择性的电路，其核心功能在于滤除不需要的频率信号，同时保留所需的频率信号。在众多技术领域，如自动控制、仪表测量和无线电通信等，滤波器扮演着至关重要的角色，它们不仅用于模拟信号处理，还涉及数据传输和干扰抑制等关键环节。

在模拟滤波器的设计中，主要分为无源和有源两种类型。有源滤波器，由集成运算放大器和 RC 等无源元件组成，因其高输入阻抗和低输出阻抗的特性，以及能够显著提升滤波器性能的优势，被广泛应用于各种电子系统中。滤波器根据其设计目的和特性，可以进一步细分为低通滤波器（LPF）、高通滤波器（HPF）、带通滤波器（BPF）、带阻滤波器（BEF）和全通滤波器（APF）。这些滤波器的理想幅频特性通常以图形方式展示，尽管理想滤波特性在现实中难以完全实现，但通过精心设计，可以使实际特性尽可能地逼近理想状态。

滤波器的性能评估涉及多个关键技术指标。通带增益描述了滤波器在通频带内的电压放大倍数，理想情况下，通带内的幅频特性曲线应保持平坦，而阻带内的放大倍数趋近于零。截止频率是滤波器增益降至通带增益的 0.707 倍时对应的频率，它标志着通带与阻带之间的过渡。过渡带的宽度直接影响滤波器的选择性，过渡带越窄，滤波器的选择性越佳。纹波幅度则衡量了通带内幅频特性的波动情况。倍频程选择性反映了滤波器对带外频率成分的衰减能力，通常以 dB/倍频程表示，衰减越快，选择性越好。带宽和品质因数 Q 值也是衡量滤波器性能的重要参数，直接影响滤波器的性能表现。

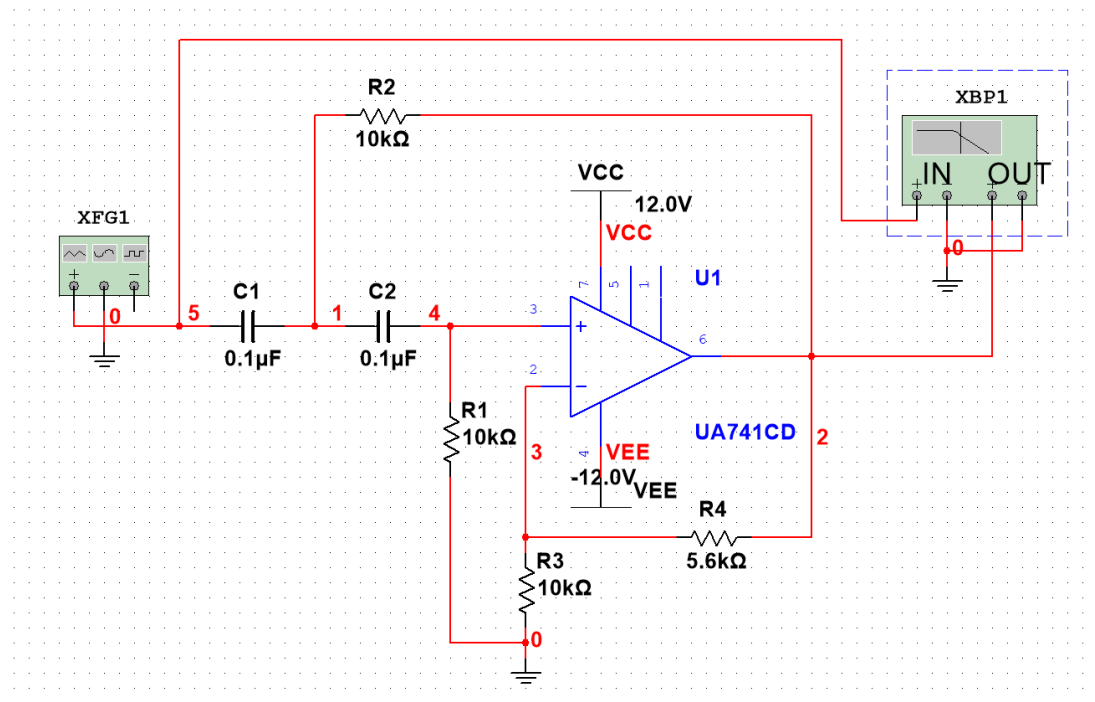
特别地，二阶有源低通滤波器是一种典型的电路设计，它利用运放的输出端与电容形成的正反馈机制，实现了电压放大倍数的控制。该电路的特征频率由电路参数决定，并且通过特定的分析方法，可以得到电路的传递函数和放大倍数。品质因数 Q 值在此扮演着重要角色，它不仅是通带电压放大倍数与特征频率的比值，也决定了滤波器的滤波特性。为了避免自激振荡，选择合适的元器件参数至关重要。

高通滤波器与低通滤波器具有对偶性，通过简单的元件位置对调即可实现从低通到高通的转变。有源带通滤波器则通过串联低通和高通滤波器来实现，允许特定频率范围内的信号通过，而抑制其他频率的信号。带阻滤波器则通过并联低通和高通滤波器构成，其设计中引入了“双 T 形”选频网络和正反馈机制，以优化滤波特性。全通滤波器则专注于相位频率特性，其幅频特性平行于频率轴，幅度不变，但相位随频率变化，适用于相位校正和相位偏移的应用。

总体而言，滤波器的设计和应用是一个综合性的课题，涉及电路设计、频率特性分析和性能指标评估。通过精心的设计和调整，滤波器能够在各种电子系统中发挥关键作用，实现对信号的精确处理和控制。。

## 三、 预习思考：

仿真图像如下

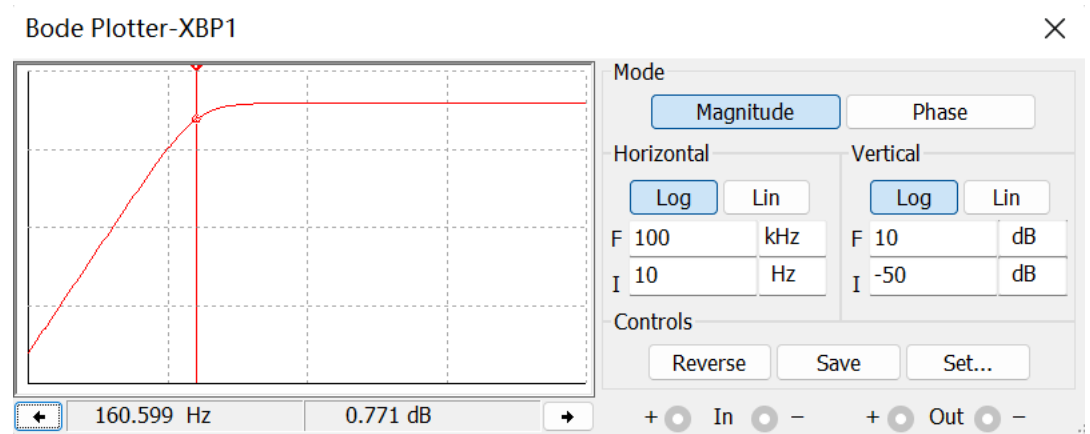
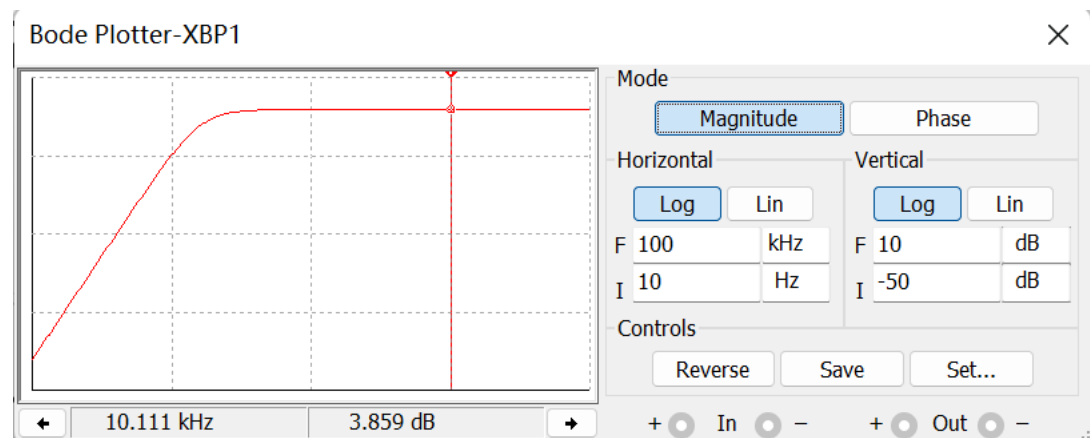


$$A_{uo} = 1.56 (3.86\text{dB})$$

$$f_o = 159\text{Hz}$$

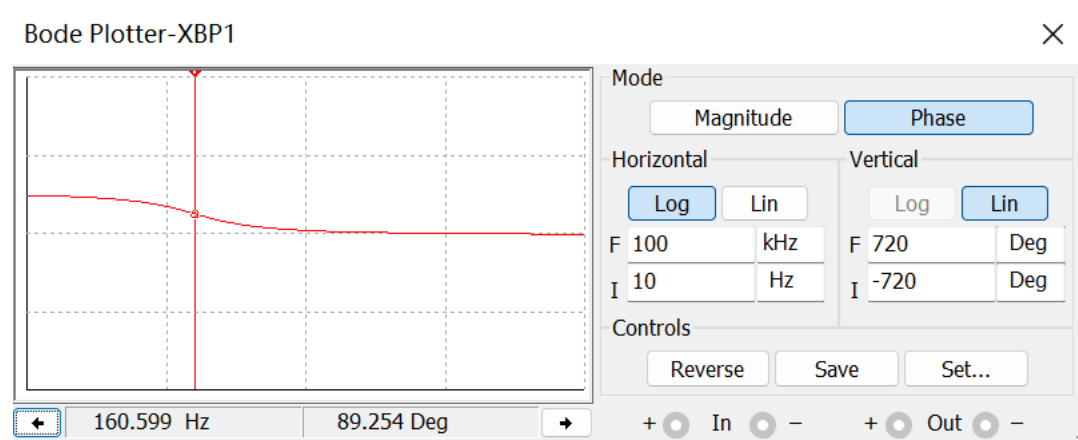
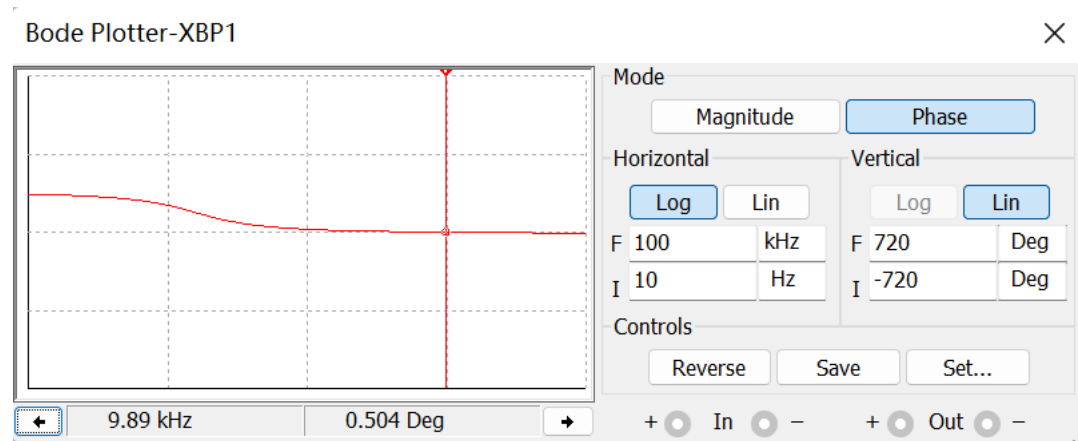
$$Q = 0.69$$

幅频特性曲线:



$f_o = 160.599\text{Hz}$

相频特性曲线:

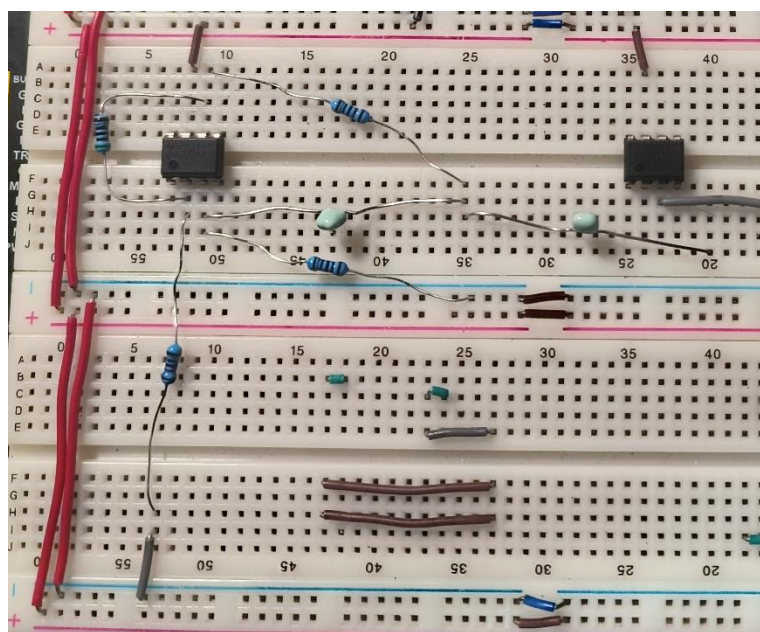


相位差:  $89.254^\circ$

#### 四、 实验内容

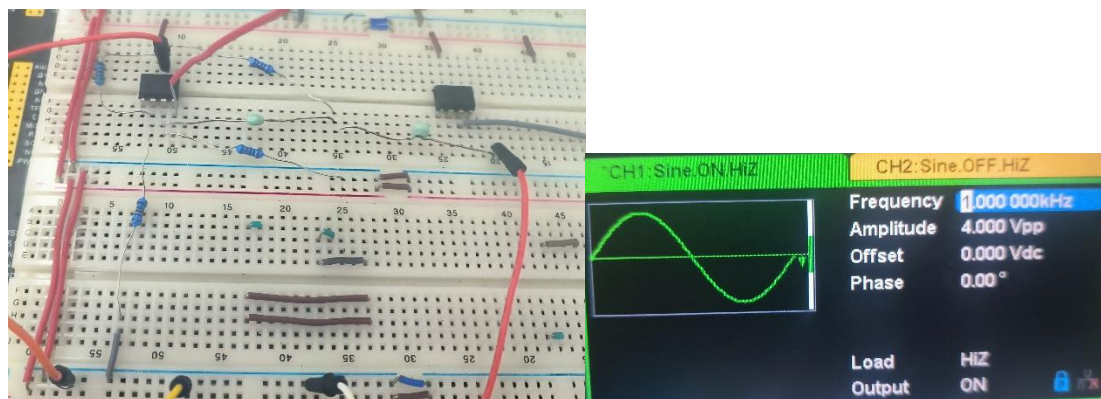
电路实验:

完成预搭建:



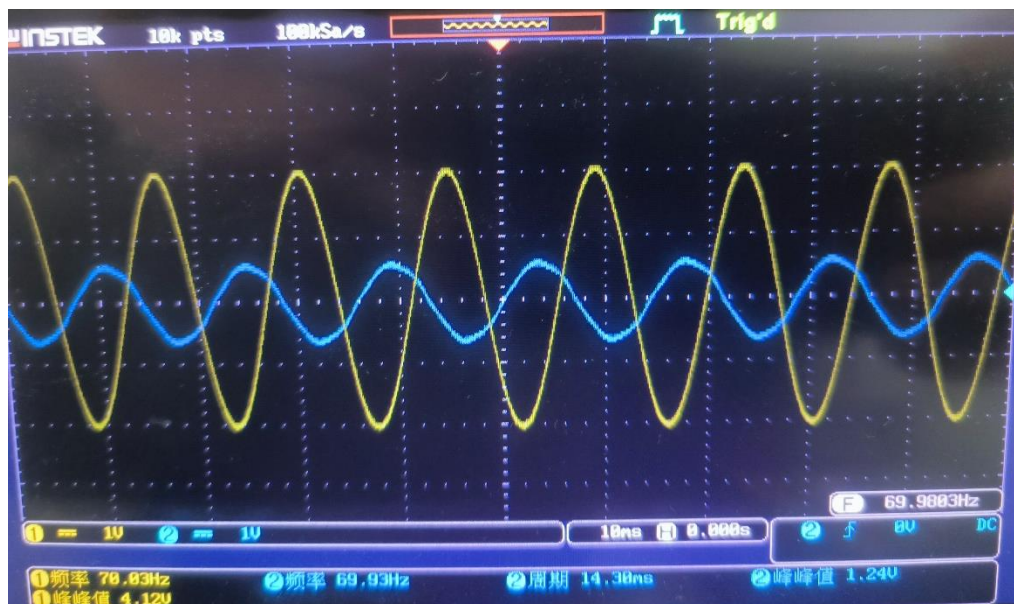
(1) 滤波器参数的测量:

首先完成电路的搭建, 并调整好直流电源和输入信号:



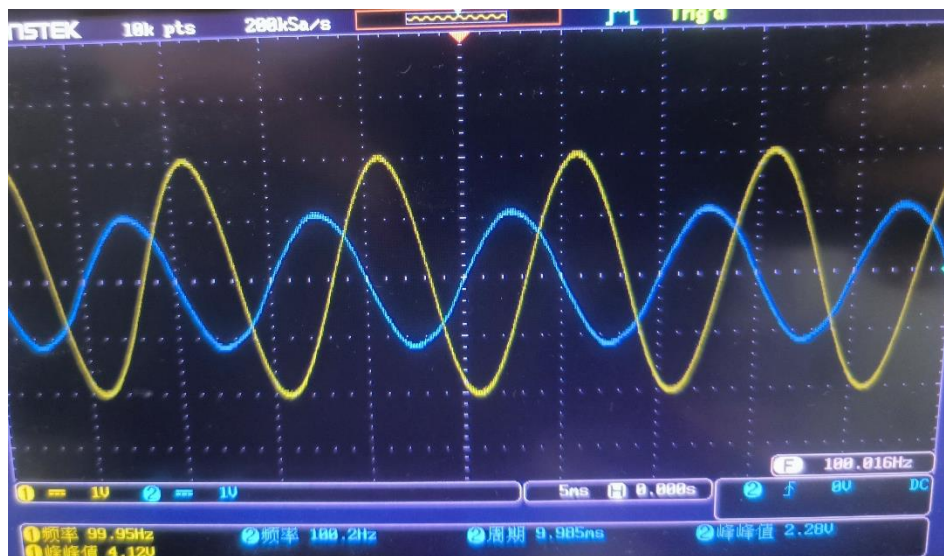
滤波器示波器如图所示

$F_1=70\text{Hz}$  的示波器如图



$F_2=100\text{Hz}$  的示波器如图

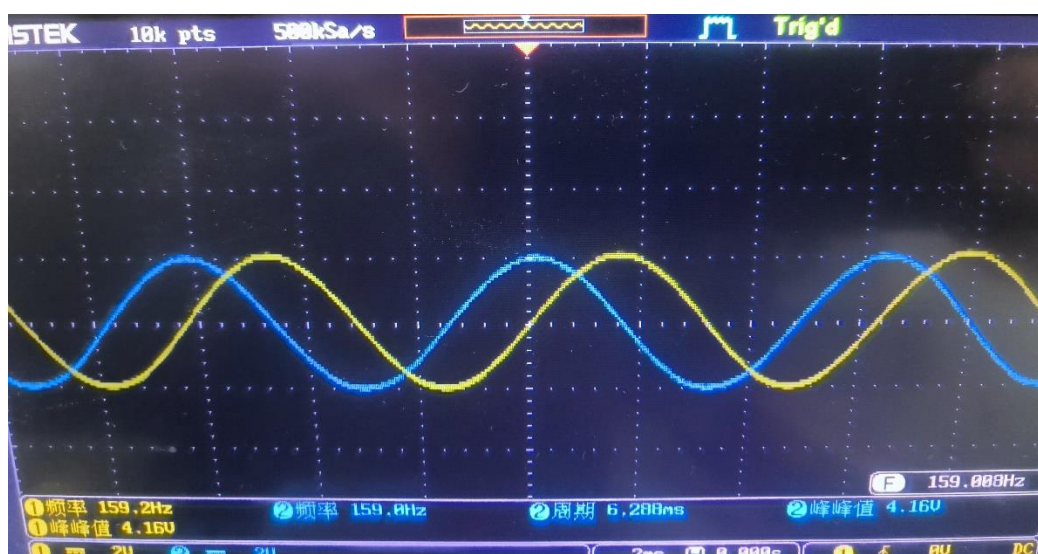




F3=130Hz 的示波器如图



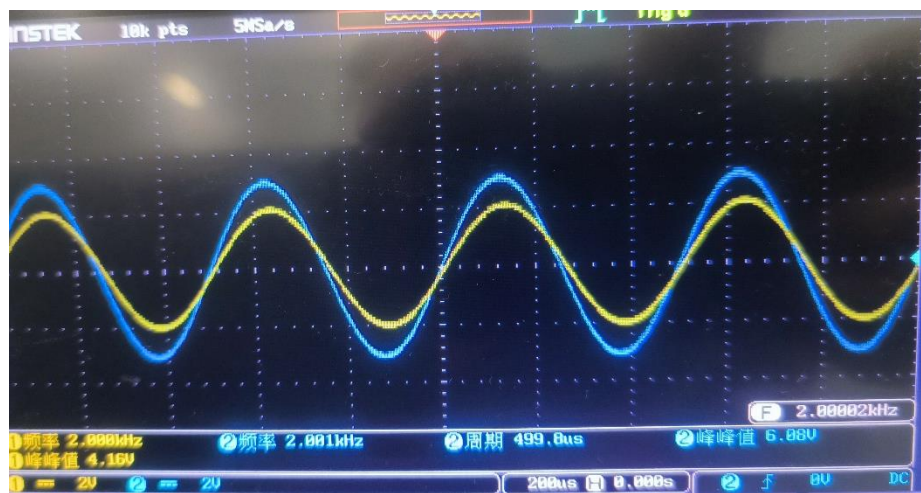
Fo=159Hz 的示波器如图



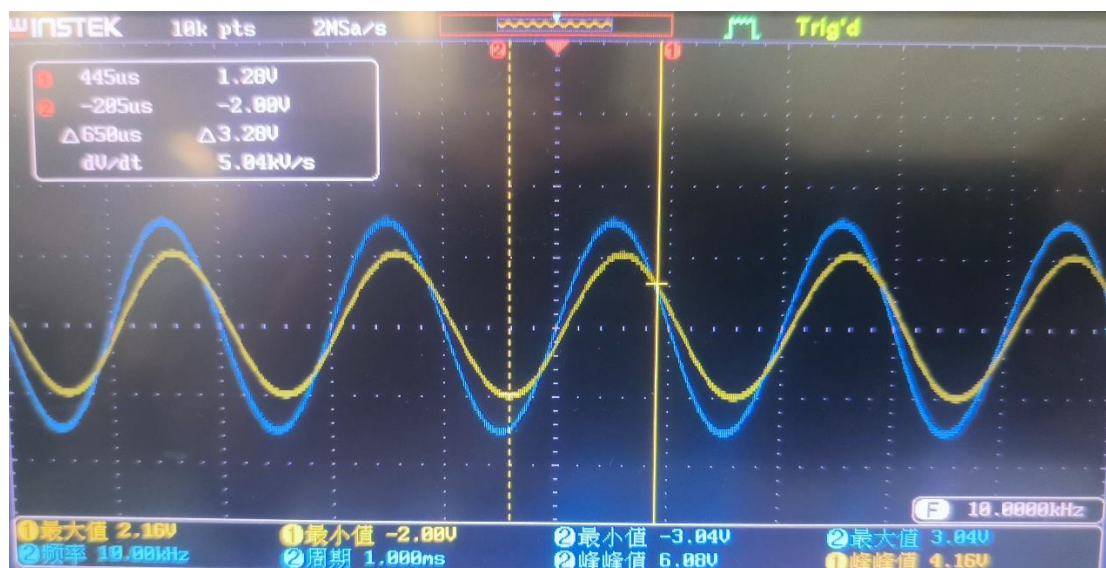
F4=500Hz 的示波器如图



F5=2kHz 的示波器如图



F6=10kHz 的示波器如图



滤波器特性测量表:



f/Hz	F1=70Hz	F2=100Hz	F3=130Hz	Fo=159Hz	F4=500Hz	F5=2kHz	F6=10kHz
ui/V	4.12	4.12	4.12	4.16	4.16	4.16	4.16
uo/V	1.24	2.28	3.32	4.16	5.93	6.24	6.24
Au	0.3	0.553	0.806	1	1.42	1.5	1.5

我们没有 5.6kΩ 的电阻所以用 5.1kΩ 的代替

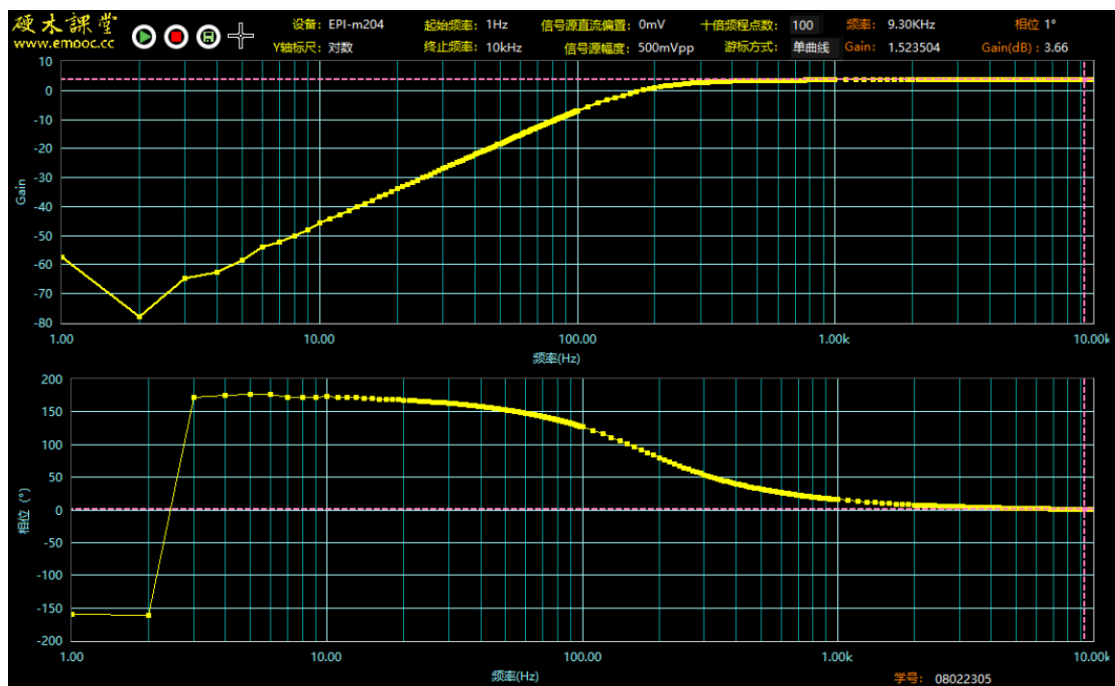
$$A_{uo} = \frac{\dot{U}_0}{\dot{U}_i} = 1 + \frac{R_4}{R_3} = 1 + \frac{5.1}{10} = 1.51(3.57 \text{ dB})$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = \frac{1}{2\pi \times 10 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6}} = 159 \text{ Hz}$$

$$Q = \frac{1}{3 - A_{uo}} = \frac{1}{3 - 1.51} = 0.67$$

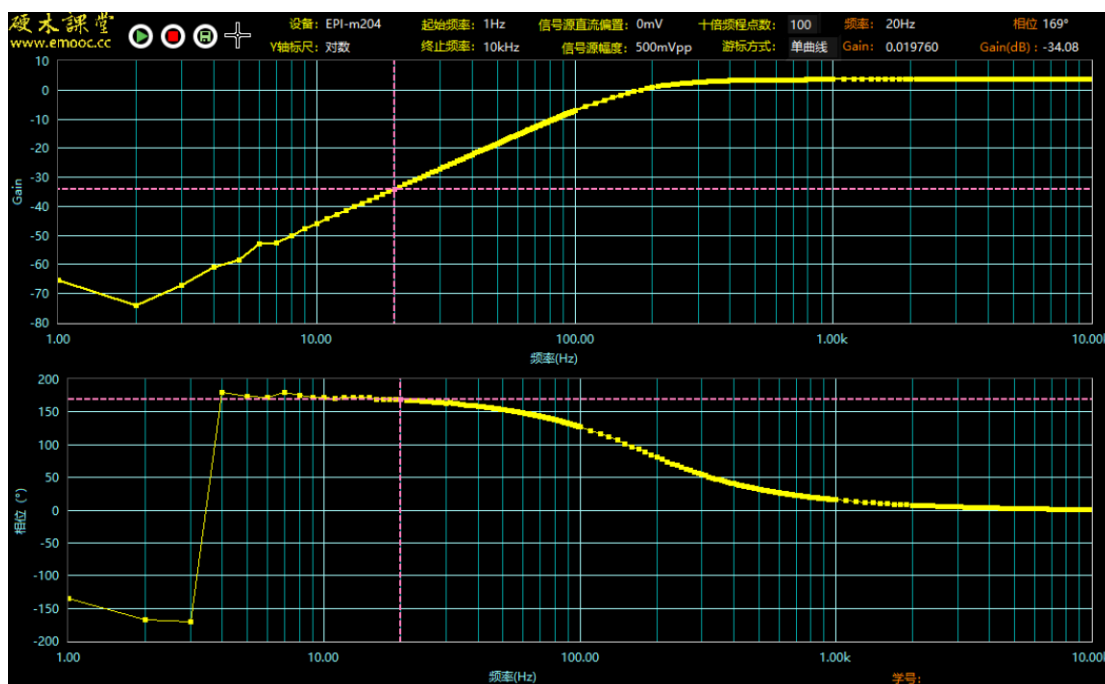
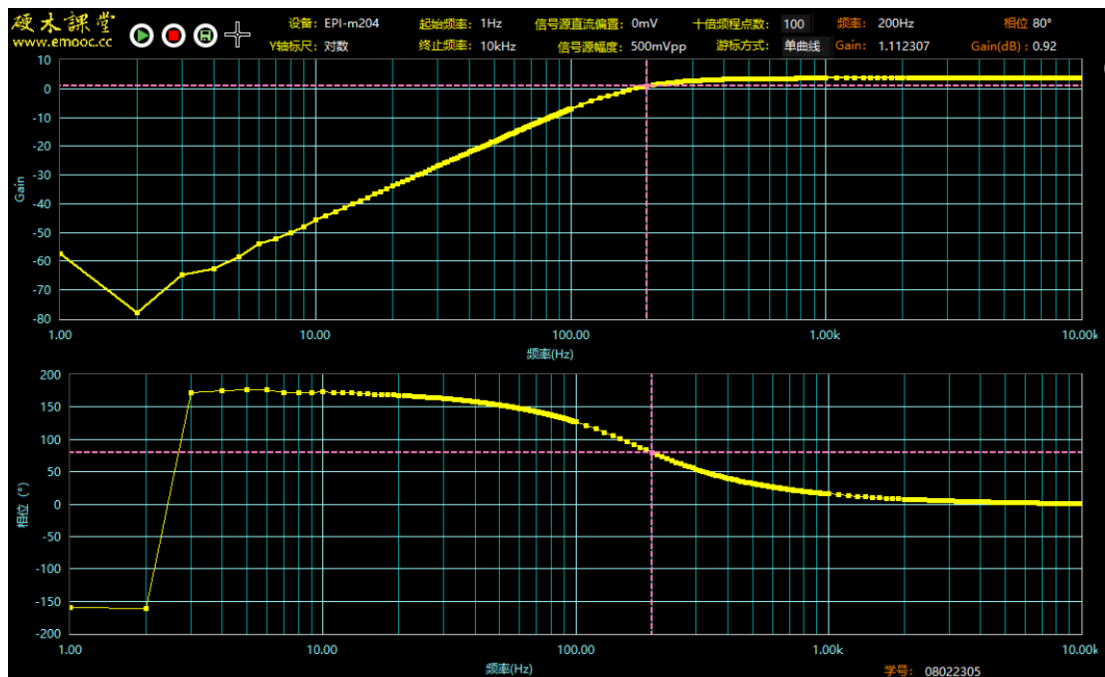
实际上 f<sub>0</sub> 时候 Au=1, f<sub>6</sub> 时 Au=1.5, 1/1.5=0.67 符合理论计算的结果, 同时 f<sub>0</sub> 也就是我们中心频率也符合我们的理论计算结果

由于 e 派的扫频仪方便观察所以我们在之后改变电阻和电容和 q 的实验中都采取 e 派的扫频仪进行测量, 但是由于扫频仪的误差偏大, 如图所示, 我们计算出来和仿真出来的 F<sub>0</sub> 应该为 160Hz 但是扫频仪的结果却是 200Hz, 所以之后我们都用扫频仪来进行定性分析  
第一张图测量了高通时 Au 大概为 3.66dB



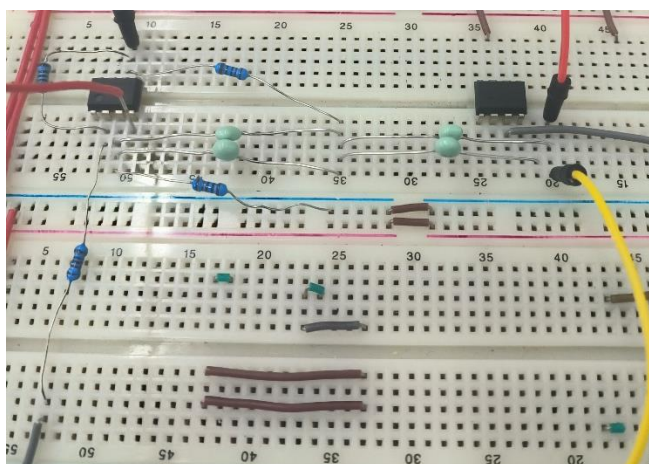
第二张图测量了 f<sub>0</sub> (3db 差值) 时的 Au 为 0.92, 相位为 80°, 这时的频率约为 200Hz, 发现比示波器和理论的结果偏大



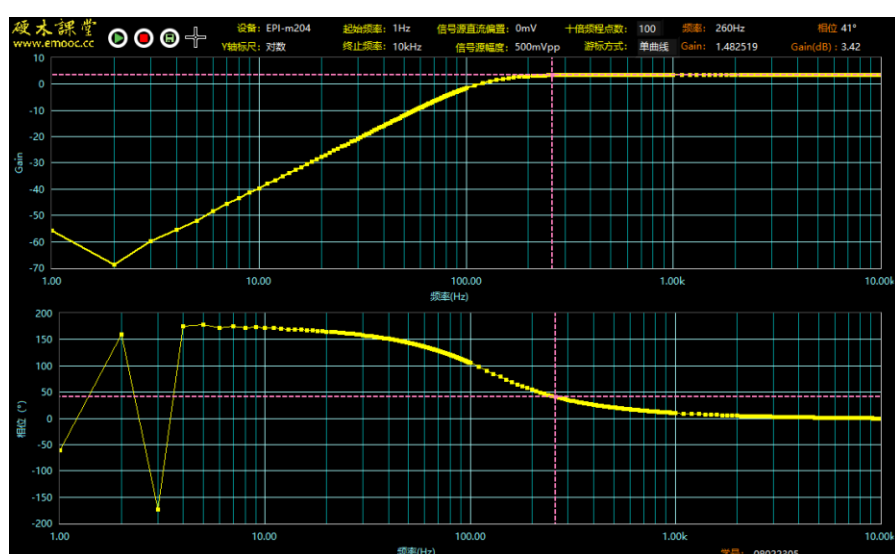


## （2）参数变化对滤波器性能的影响：

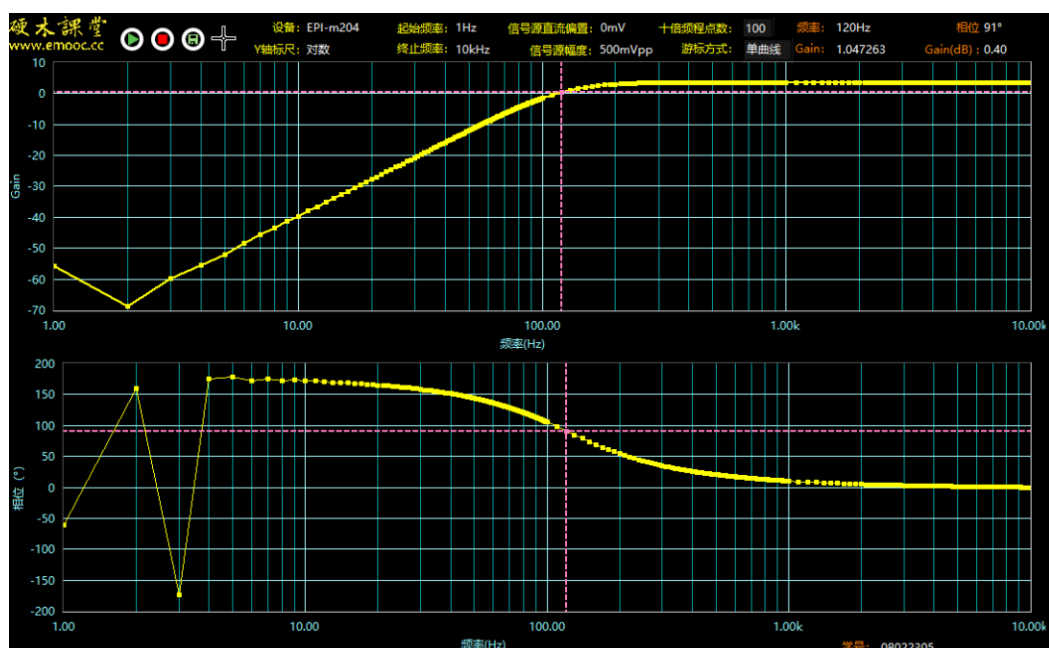
改变电容后  $R_1=10k\Omega$ ,  $R_2=10k\Omega$ ,  $C_1=0.2\mu F$ ,  $C_2=0.2\mu F$ ,  $R_4=5.1k\Omega$   
 电路如图所示



第一张图测量了高通时  $A_u$  大概为 3.42dB

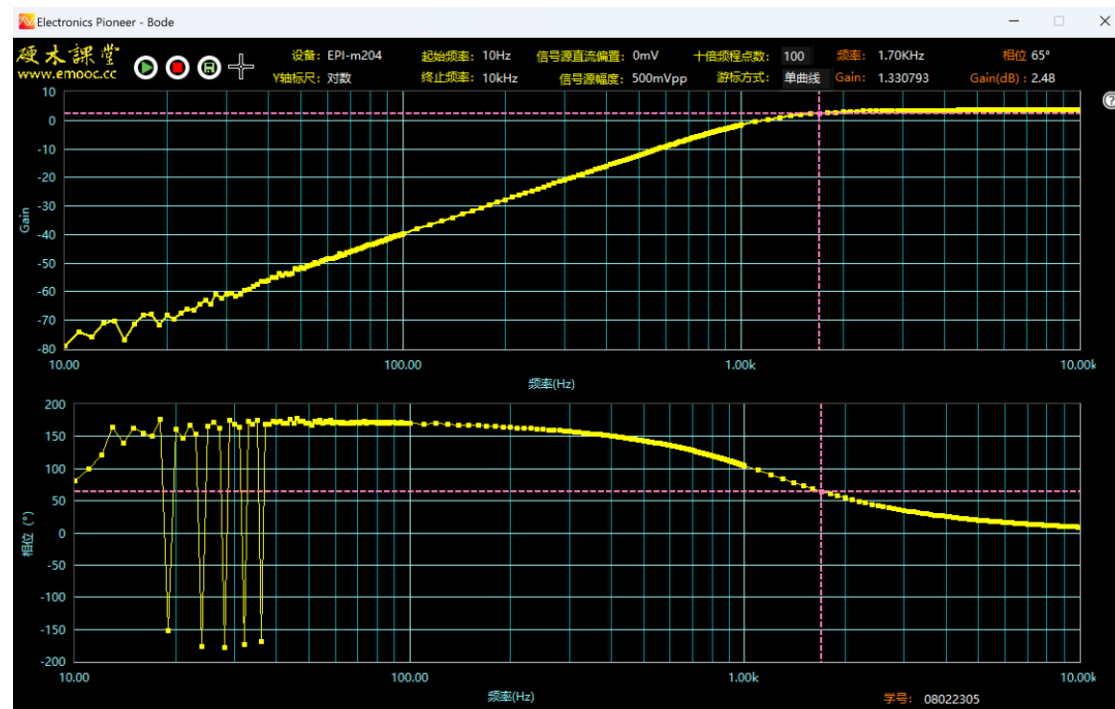


第二张图测量了  $f_o$  (3dB 差值) 时的  $A_u$  为 0.40dB, 相位为  $91^\circ$ , 这时的频率约为 120Hz, 因为电容放大了两倍, 所以结果理论上是 200Hz 的一半也就是 100Hz, 与扫频仪差别不大。

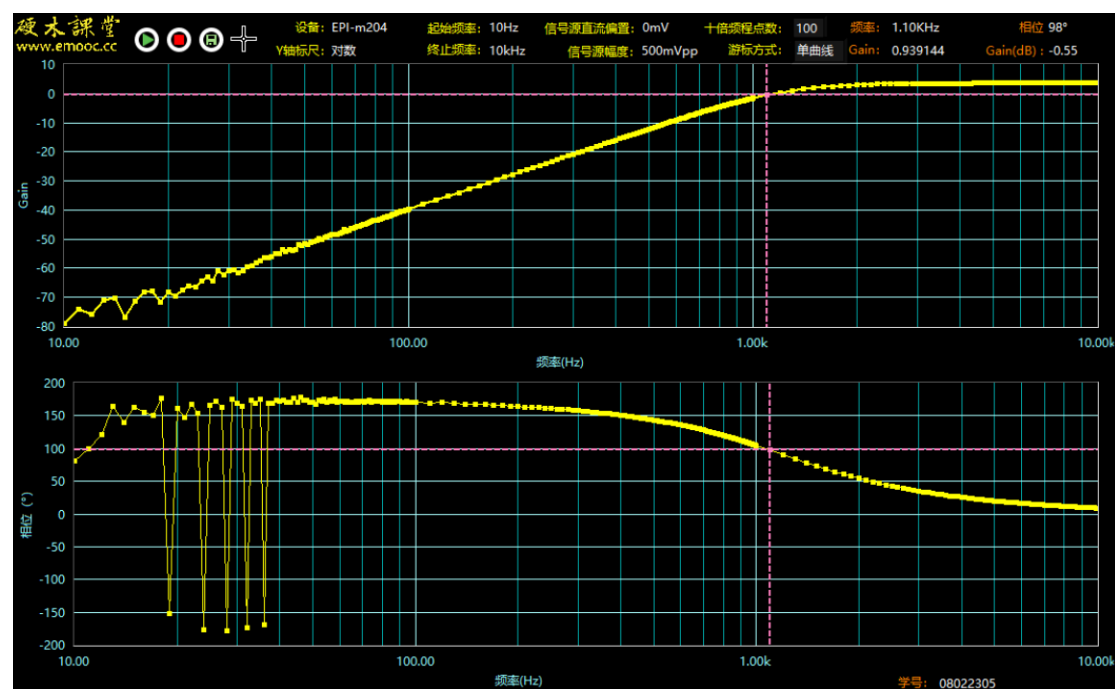


改变电阻后  $R_1=1k\Omega, R_2=1k\Omega, C_1=0.2\mu F, C_2=0.2\mu F, R_4=5.1k\Omega$

第一张图测量了高通时  $A_u$  大概为 2.42dB。



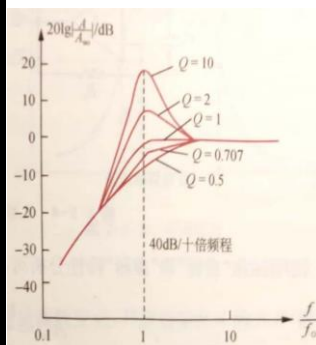
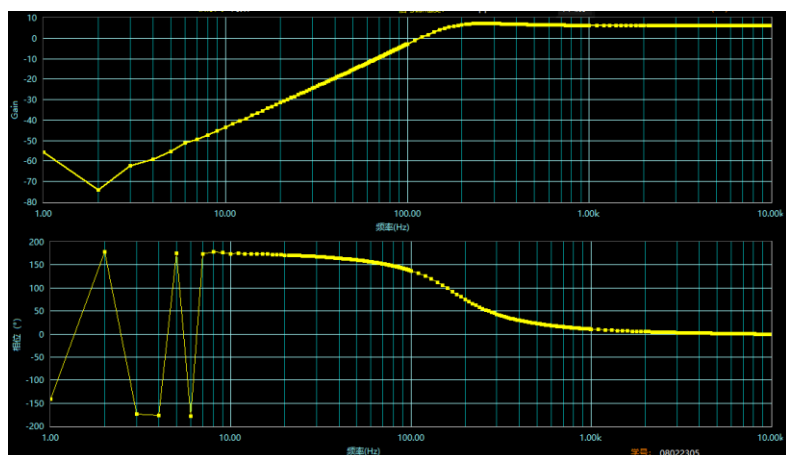
第二张图测量了  $f_o$  (3db 差值) 时的  $A_u$  为 -0.55dB, 相位为  $98^\circ$ , 这时的频率约为 1.1kHz, 因为电阻又缩小了 10 倍, 所以结果理论上是  $200\text{Hz}/2*10$  也就是 1kHz, 与扫频仪差别不大。



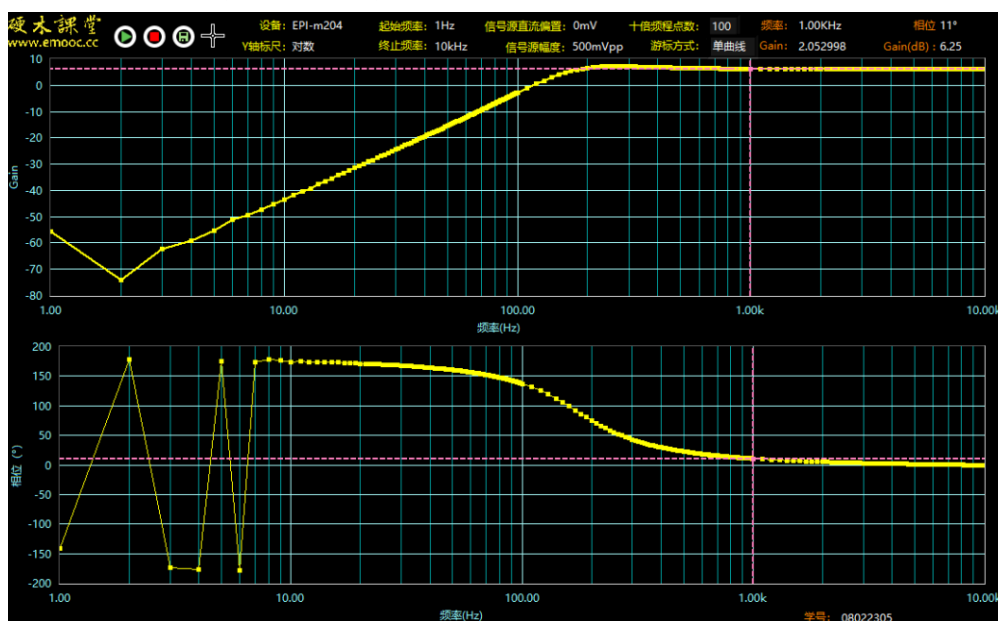
(3)  $Q$  值改变对滤波性能的影响:

改变电阻  $R_1=10k\Omega, R_2=10k\Omega, C_1=0.1\mu F, C_2=0.1\mu F, R_4=10k\Omega$

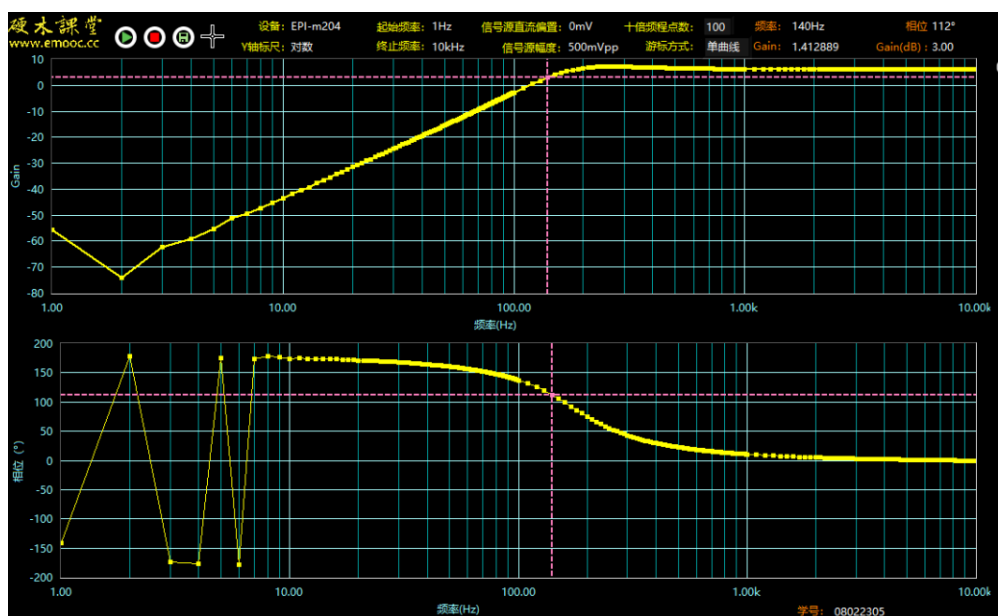
我们可以观察到在中心频率附近有一个小小的突起, 符合书中图示的结果



第一张图测量了高通时  $A_u$  大概为 6.25dB



第二张图测量了  $f_0$  (3dB 差值) 时的  $A_u$  为 3dB, 相位为  $112^\circ$ , 这时的中心频率约为 140Hz, 理论上应该不会偏移, 可能因为扫频仪测量问题, 结果还是有一定偏移。





## 1. 实验总结

在本次有源滤波器实验研究中，我们深入探讨了有源滤波器的工作原理、设计方法以及性能评估标准。通过实验，我们不仅加深了对理论知识的理解，而且通过实际操作，提高了电路搭建、参数调整 and 性能测试的能力。

首先，实验使我们对有源滤波器的工作原理有了更深刻的认识。有源滤波器利用运算放大器和无源元件（如电阻和电容）的组合，实现了对信号频率的选择性处理。我们了解到，滤波器的设计需要考虑通带增益、截止频率、过渡带宽、纹波幅度、倍频程选择性和品质因数  $Q$  值等多个性能指标。

其次，实验过程中，我们掌握了滤波器参数的测量和调试方法。通过搭建电路并调整直流电源和输入信号，我们成功测量了不同频率下的输入和输出电压，从而得到了滤波器的幅频特性和相频特性。实验数据表明，实际测量结果与理论计算和仿真结果基本一致，这验证了我们的设计和测量方法是有效的。我们还探讨了参数变化对滤波器性能的影响。通过改变电阻和电容的值，我们观察到滤波器的中心频率、增益和相位等参数随之变化。这一发现对于理解滤波器设计中的参数选择和调整具有重要意义。实验还让我们认识到了  $Q$  值对滤波性能的影响。通过改变电路中的电阻值，我们观察到中心频率附近的响应变化，这进一步证实了  $Q$  值在滤波器设计中的重要性。

然而，在实验过程中，我们也遇到了一些问题，如扫频仪的测量误差。这提示我们在实验设计和数据分析时，需要考虑仪器的精度和误差范围，以确保结果的准确性。

综上所述，本次实验不仅加深了我们对有源滤波器设计和应用的理解，而且提高了我们的实验技能和问题解决能力。通过理论与实践的结合，我们为将来在电子电路设计领域的学习和研究打下了坚实的基础。

## 2. 实验建议（欢迎大家提出宝贵意见）

实验器材

1k 5.1k 10k 的电阻 0.1uF 电容 741 运放

GDS-1102B 示波器

SDG1032X 电源

参考资料

《模拟电子电路实验》 东南大学出版社

MOOC《模拟电子电路实验》

**等以后我有钱了 我给学校捐赠 200 台扫频仪。**

（之前三极管就受了 e 派扫频仪的苦）