

Circuit Laboratory 2 by Ho-jin Song

Student Number	20210207	Student Name	이지현
----------------	----------	--------------	-----

Report Due : 3/29 Wed

Lab 1. Low Pass Filter (LPF)

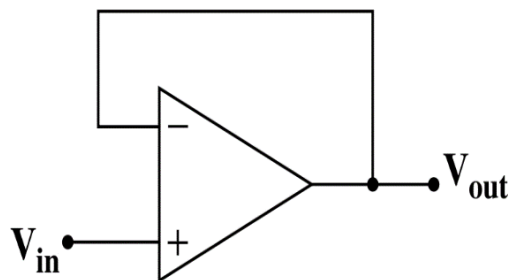
1. 실험 목표

- Low pass filter 의 역할을 이해하고, 직접 구현해 본다.

2. 실험 관련 이론

(1) Voltage Follower

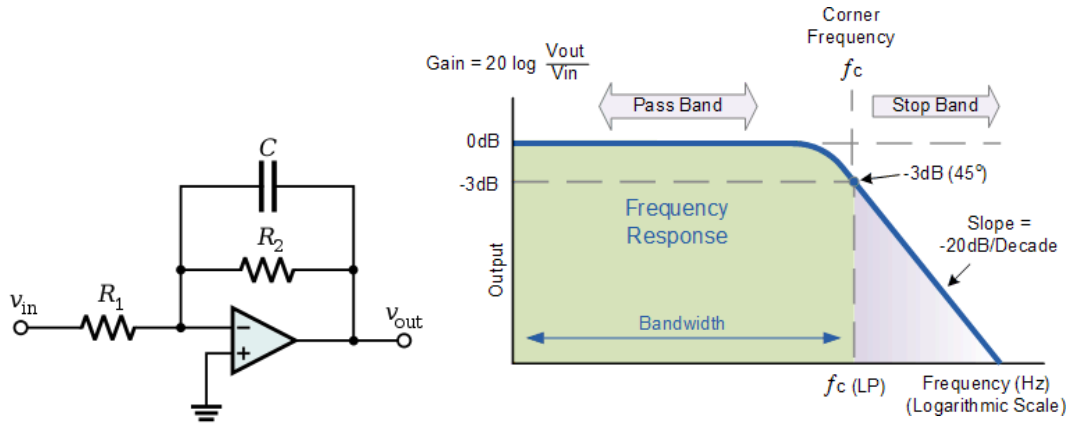
전압 팔로워의 출력 전압은 입력 전압과 같으며, 따라서 전압 이득은 1 이다. 이 회로는 매우 높은 입력 임피던스의 유리한 특성을 가지고 있으며, 높은 임피던스를 가지는 소스와 낮은 임피던스를 가지는 부하를 연결하는데 사용된다.



[Fig 1] voltage follower

(2) 1st-order Low Pass Filter

Low-pass filter 는 입력신호의 낮은 주파수 성분만을 뽑아서 사용하고자 할 때 쓰이는데, 가장 간단한 필터는 저항 과 capacitor 만으로 구성된 1 차 필터이다. 이 필터의 주파수 특성은 cut-off frequency(f_H : -3dB gain) 까지는 평탄한 특성을 가진다. 이 -3dB 주파수(f_H)는 통과대역과 저지대역을 구분하며 -3dB 는 gain 의 최대값 A_{max} 와 $0.707A_{max}$ 와의 dB 로 측정된 값의 차이이다. 즉, $20 \log A_{max} - 20 \log(0.707 A_{max}) = 3 \text{ dB}$ 임을 나타낸다. 기울기는 dB/decade 단위로 나타내며 이는 주파수가 10 배 변할 때의 dB 스케일의 전압 이득 변화량을 의미한다.



[Fig 2] 1st order low pass filter circuit and its frequency response (출처: Electronics Tutorials)

[Fig 1]에 나타낸 low pass filter 의 전달함수를 통해, 위 bode plot 의 특성을 분석해 본다.

$$\frac{-v_{out}}{\frac{R_2}{jj\omega C}} = \frac{v_{in}}{R_1 + \frac{1}{jj\omega C}}$$

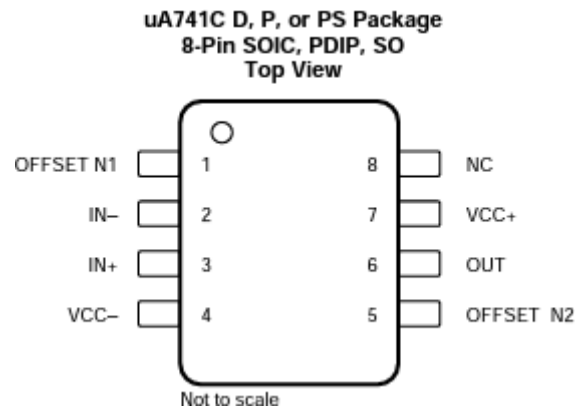
$$\frac{-v_{out}}{\frac{R_2}{jj\omega C R_2 + 1}} = \frac{v_{in}}{R_1}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{(jj\omega C R_2 + 1)}$$

따라서, $\omega = 2\pi f$ 이므로 $f = 1/(2\pi R_2 C)$ 일 때 **cut-off frequency** 를 가지며, **cut-off frequency** 이전까지의 gain 은 $-R_2/R_1$ 이 된다. 그 이상의 주파수에서는 gain 이 감소하는 것을 위 식으로부터 알 수 있다.

3. 사용 기기 및 준비물

- Oscilloscope, Power supply, Function generator, Breadboard, Multimeter, Electric wire
- Op-amp(uA741C) 1ea



[Fig 3] Op-amp pin configurations

- Resistor: 1k Ω 2ea, 470 Ω 2ea
- Capacitor: 10nF 1ea, 100uF 2ea

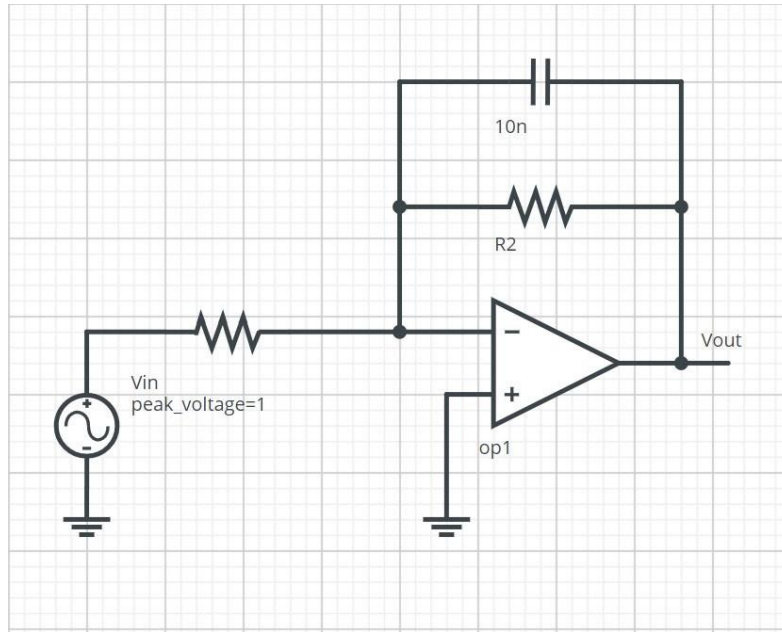
4. 실험 과정 및 결과

주의!

실험 시 power supply 의 양과 음의 출력 전압의 크기를 각각 +15V, -15V 가 되게 하여야 한다. 이 전압은 op-amp 의 공급 전원으로 사용된다. 그리고, **모든 실험에서 실험 회로를 변경할 때에는** sudden spark 등의 위험을 사전에 방지하기 위해 **항상 power supply 의 전원을 먼저 끄고 변경해야 한다.** 실제 실험에서 이 주의사항을 따르지 않는 것을 발견 시 보고서에서 감점 처리를 할 것이다.

Caution!

When doing experiments, you have to set the magnitudes of +/- output voltage of power supply for +15V and -15V because these voltages will be used as the source of 741 op- amps. And **you must turn off the power supply before changing the circuits in breadboards in order to keep every person from being hurt by external accidents like sudden spark in every experiment.** If you disobey the announcement of TAs related to safety, **you'll get a minus point in your reports.**



[Fig. 4] LPF의 회로도

1. C는 10nF로 고정, R1과 R2는 1kΩ와 470Ω를 사용하여 LPF 회로를 구성한다.
구성한 LPF의 **cut-off frequency** f_c 와 **gain**(= V_{out}/V_{in})의 이론값을 각각 계산한다. (위 실험 관련 이론 내용 참고)

A. $R_2 = 1\text{k}\Omega$ 일 때 f_c : 15916 Hz

(a) $R_1 = 1\text{k}\Omega$ 일 때 f_c 이전의 **gain** 크기: $\text{abs}(-1) = 1$

(b) $R_1 = 470\Omega$ 일 때 f_c 이전의 **gain** 크기: $\text{abs}(-2.13) = 2.13$

B. $R_2 = 470\Omega$ 일 때 f_c : 33863 Hz

(c) $R_1 = 1\text{k}\Omega$ 일 때 f_c 이전의 **gain** 크기: $\text{abs}(-0.470) = 0.470$

(d) $R_1 = 470\Omega$ 일 때 f_c 이전의 **gain** 크기: $\text{abs}(-1) = 1$

2. Function generator 를 통해 input 에 **peak to peak 1 V** 의 sine wave 를 넣고, **frequency** 를 바꿔가면서 V_{in} 과 V_{out} 을 측정한다.

1 에서 구한 cut-off frequency f_c 로 $0.01f_c$, $0.1f_c$, f_c , $10f_c$, $100f_c$ 에서의 V_{in} & V_{out} 을 각각 측정한다.

Only for case (a) !!

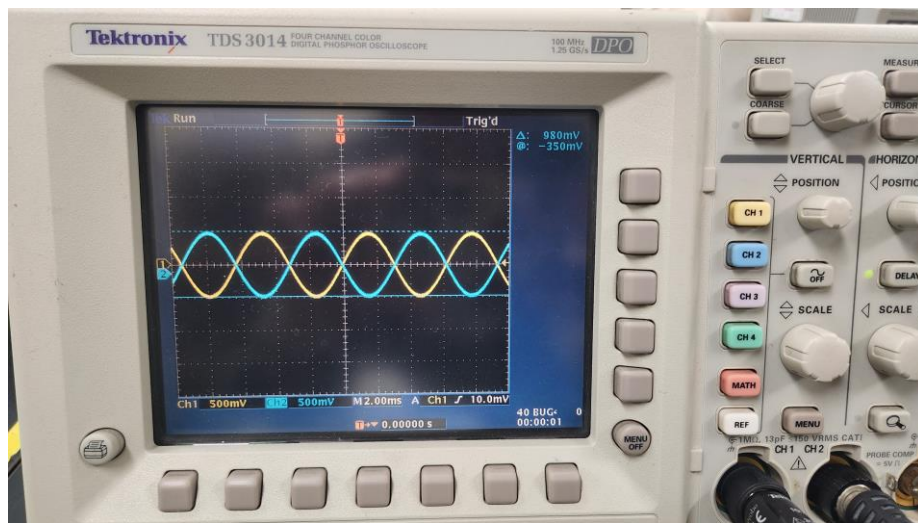
Oscilloscope picture of $V_{in}(\text{probe1})$ & $V_{out}(\text{probe2})$

※ Measure the peak-to-peak voltage

※ Show 3 cycles

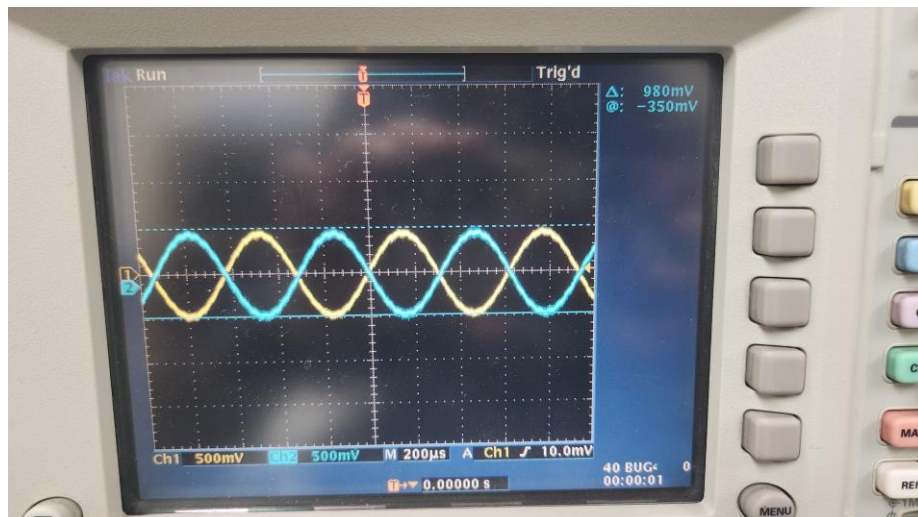
※ **case (a) $R_1=R_2=1k\Omega$**

$0.01f_c$

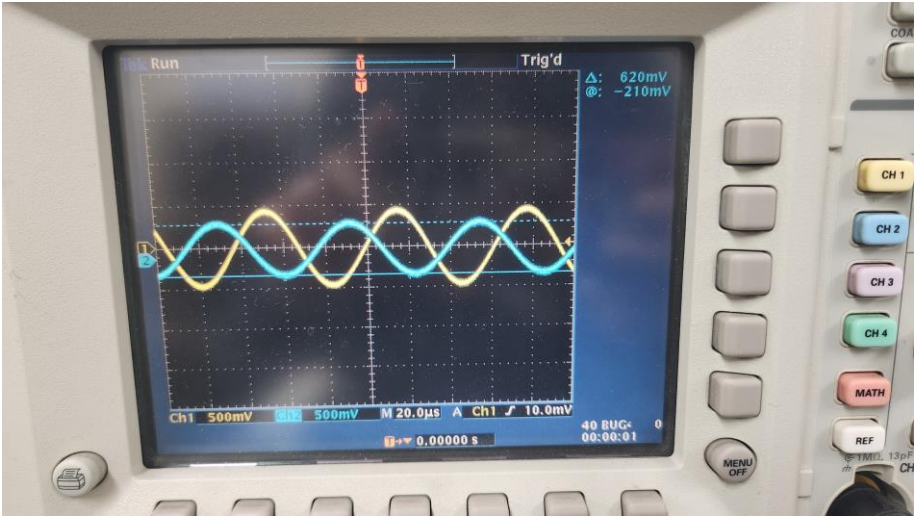
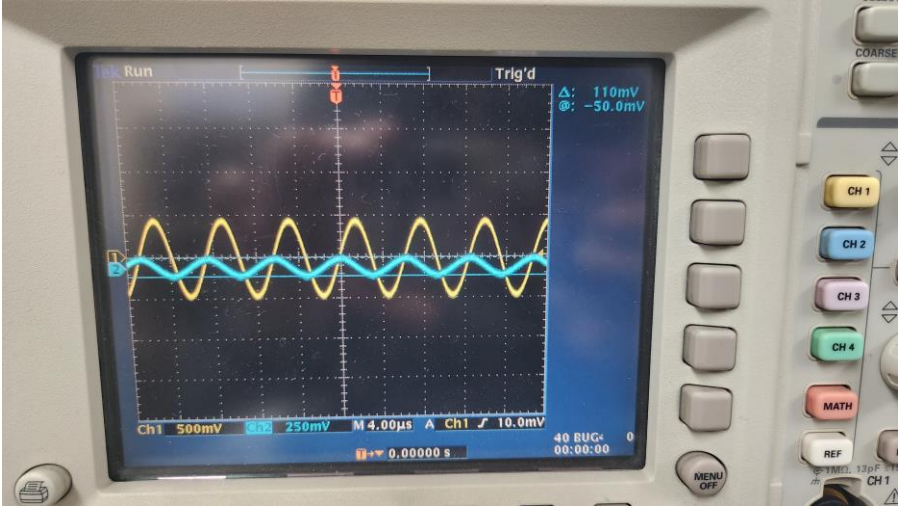
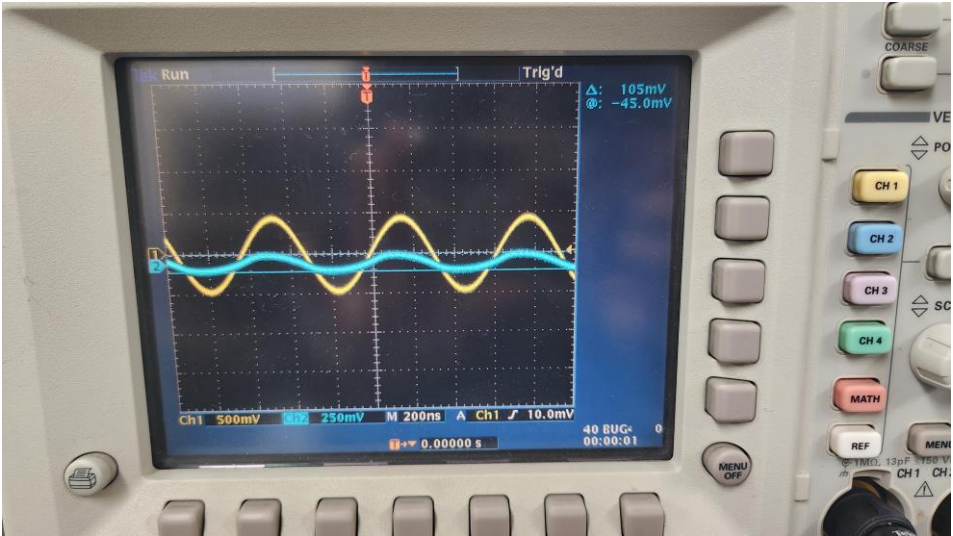


980mV

$0.1f_c$



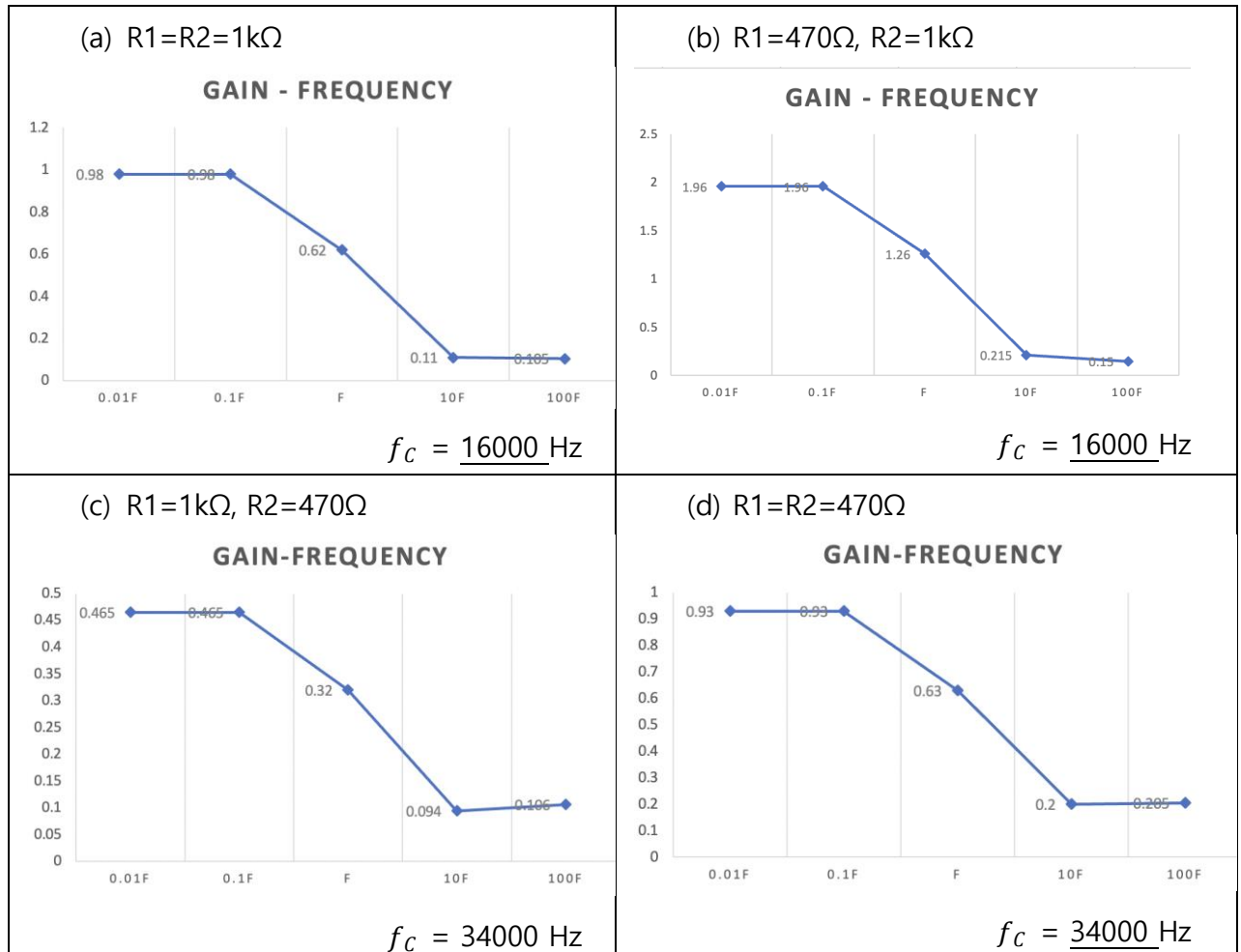
980mV

f_c	 <p>620mV</p>
$10f_c$	 <p>110mV</p>
$100f_c$	 <p>105mV</p>

3. 모든 case 에 대해서 V_{in} & V_{out} 을 측정하여 **Gain-Frequency** 그래프를 그린다.

※ gain 값을 명시할 것

※ frequency 는 log scale



Lab 2. High Pass Filter (HPF)

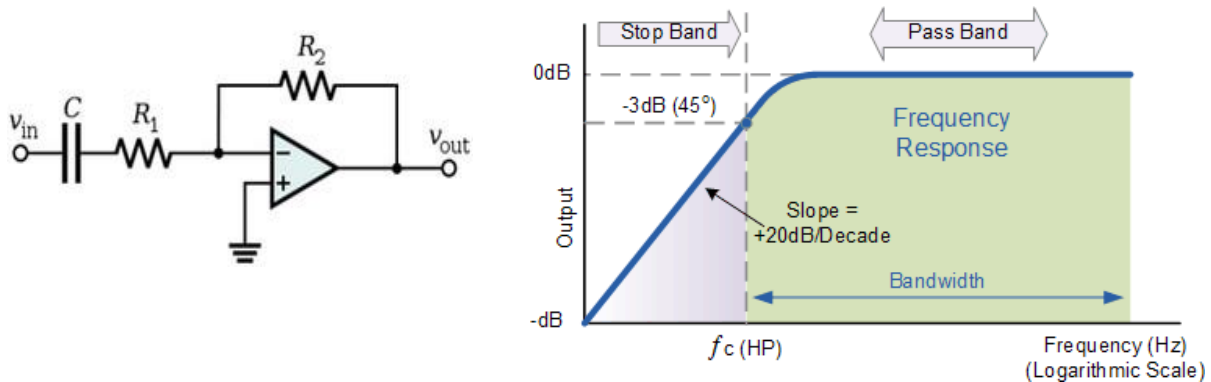
1. 실험 목표

- High pass filter 의 역할을 이해하고, 직접 구현해 본다.

2. 실험관련 이론

1st Order high-Pass Filter

High-pass filter 도 low-pass filter 처럼 특정 주파수 성분만을 뽑아서 사용하는데, 이름과 같이 **높은 주파수 성분만을 통과시킨다**. 역시 가장 간단한 필터는 저항과 cap 으로 구성된 1 차필터이며, 이 필터는 특정 cut-off frequency(3dB frequency)보다 높은 주파수를 통과시키며 그보다 낮은 주파수에 대해서는 그 크기를 감소시킨다.



[Fig.5] 1st-order high pass filter and its frequency response (출처: Electronics Tutorials)

[Fig 5]에 나타낸 high pass filter 의 전달함수를 통해, 위 bode plot 의 특성을 분석해 본다.

$$\frac{-v_{in}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{v_{out}}{R_2}$$

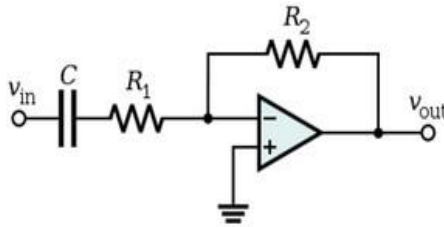
$$T(j\omega) = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{-R_2}{R_1 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{-j\omega CR_2}{j\omega CR_1 + 1} = -\frac{R_2}{R_1} \left(\frac{j\omega}{j\omega + \frac{1}{R_1 C}} \right)$$

위 수식을 분석해보면 $j\omega \ll 1/R_1 C$ 일 때에는 $T(j\omega) = -R_2 C j\omega$ 로 서서히 증가하고, $j\omega \gg 1/R_1 C$ 일 때에 $T(j\omega) = -R_2/R_1$ 을 가지게 된다. 이번 실험에서는 $R_1 = R_2$ 로 두어 high-pass filter 의 pass gain 이 1 이 되도록 한다.

3. 사용 기기 및 준비물

Lab 1 과 모두 동일

4. 실험 과정 및 결과



[Fig. 6] HPF 의 회로도

1. Function generator 를 통해 input 에 **peak to peak 1 V** 의 sine wave 를 넣고, **frequency** 를 바꿔가면서 V_{in} 과 V_{out} 을 측정한다.

1 에서 구한 cut-off frequency f_c 로 $0.01f_c$, $0.1f_c$, f_c , $10f_c$ 에서의 V_{in} & V_{out} 을 각각 측정한다.

Only for case (a) !!

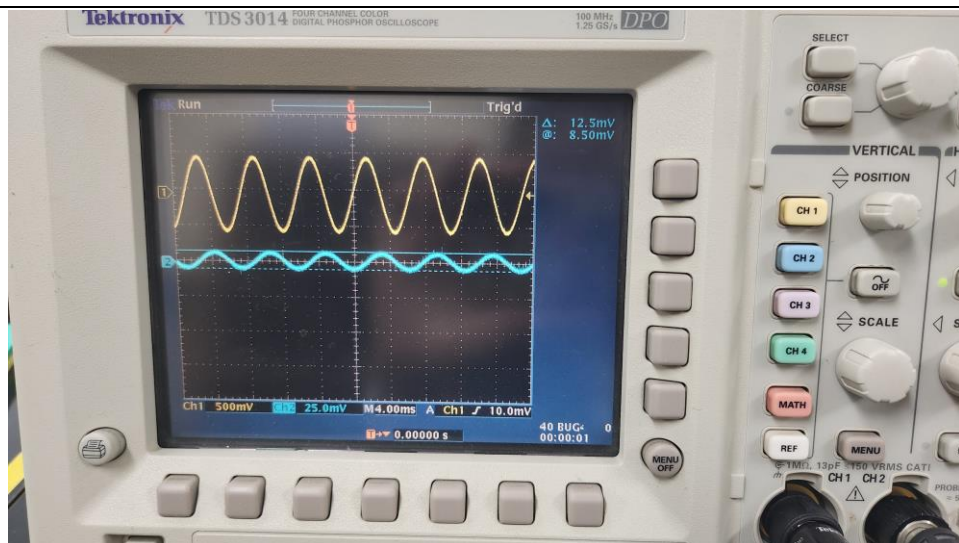
Oscilloscope picture of $V_{in}(\text{probe1})$ & $V_{out}(\text{probe2})$

※ Measure the peak-to-peak voltage

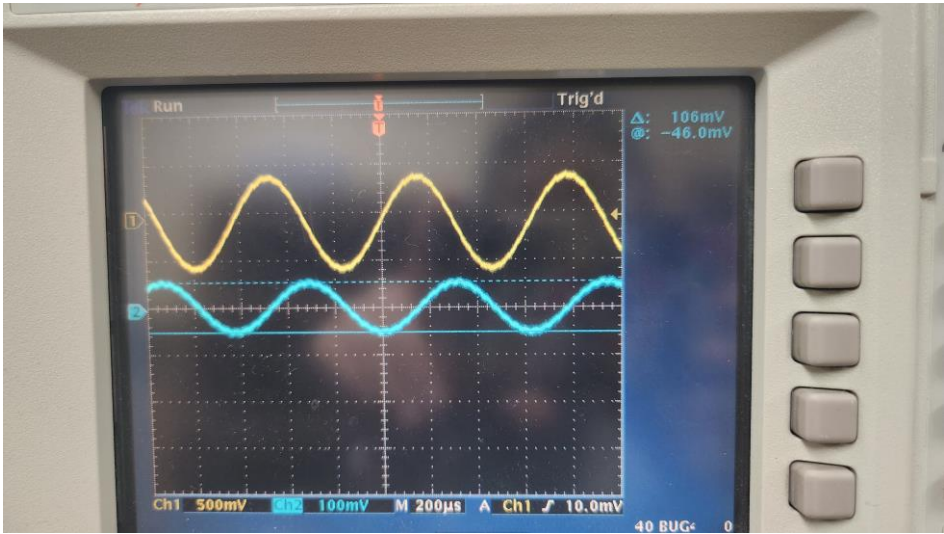
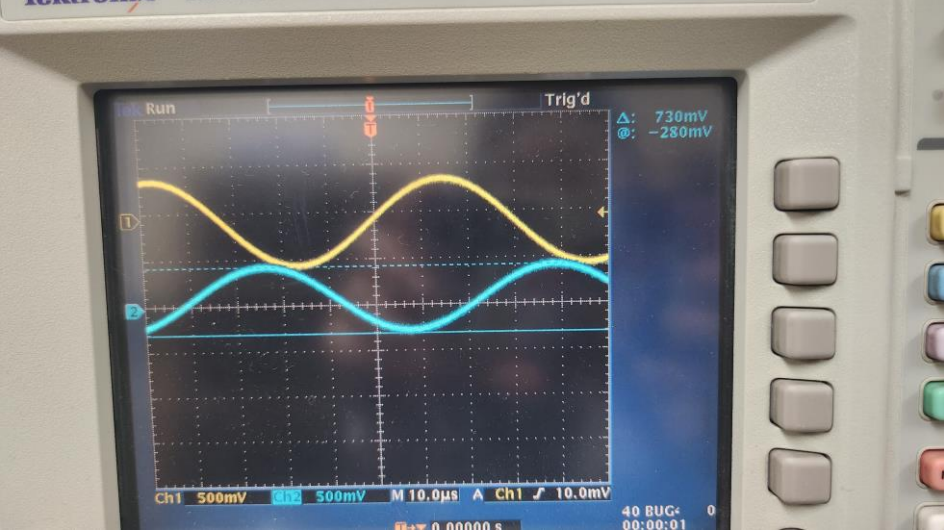
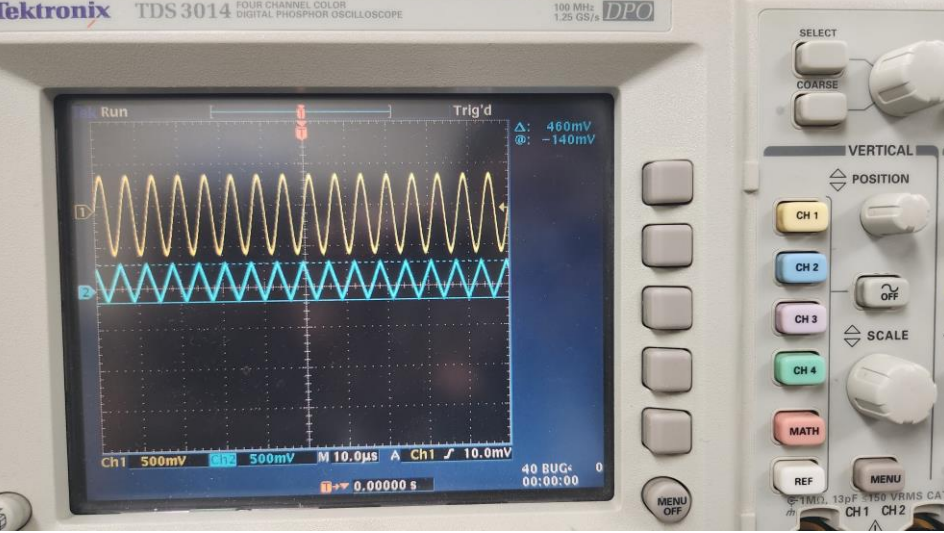
※ Show 3 cycles

※ **case (a) $R_1=R_2=1k\Omega$**

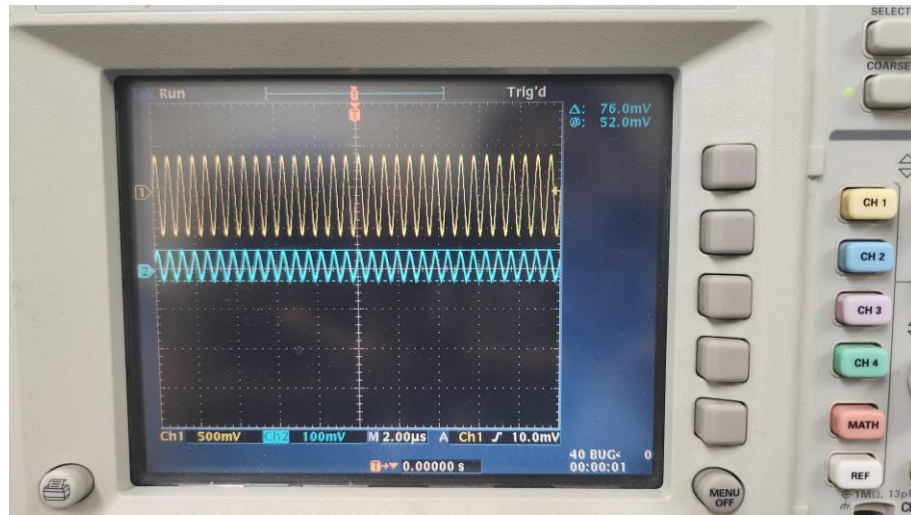
$0.01f_c$



12.5mV

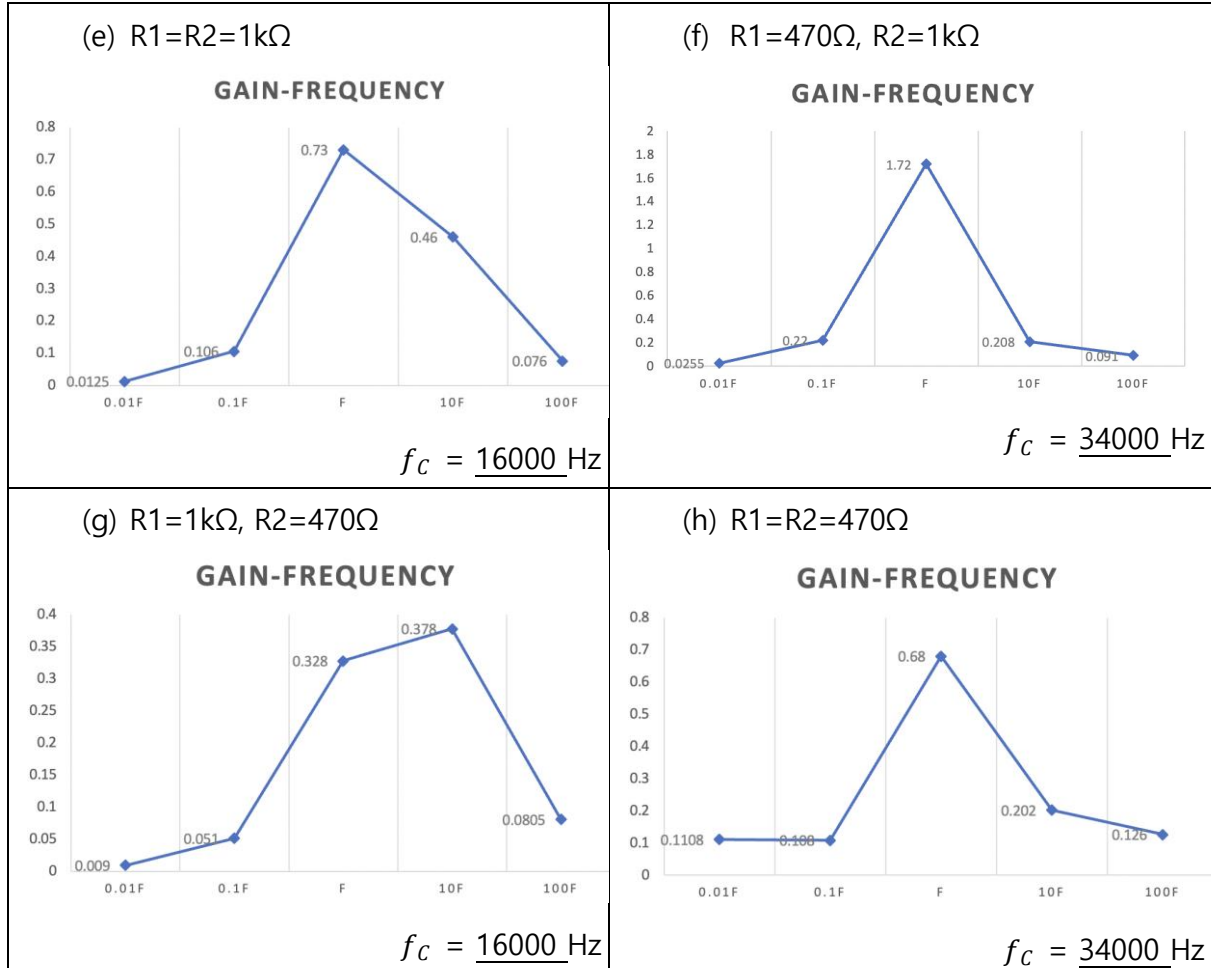
$0.1f_c$	 <p>106mV</p>
f_c	 <p>730mV</p>
$10f_c$	 <p>460mV</p>

100fc



76mV

2. 모든 case 에 대해서 V_{in} & V_{out} 을 측정하여 **Gain-Frequency** 그래프를 그린다.
 ※ gain 값을 명시할 것
 ※ frequency 는 log scale



3. 위의 Gain-Frequency 그래프에서 이론 값과 비교하여 다른 것이 있다면,
(1) 어떻게 다른지, (2) 왜 다른지 분석하시오.

(1) 어떻게 다른지

LPF에서 F_c 이후로 값이 급격하게 떨어지는 형태가 나와 LPF가 잘 설계되었음을 확인할 수 있다. 우리가 lab 1에서 예상한 f_c 와 전의 gain와 f_c 는 다음과 같다.

R1	R2	F_c 이전 Gain	F_c (Hz)
1k	1k	1	15916
470	1k	2.13	15916
1k	470	0.470	33863
470	470	1	33683

실험을 통해 f_c 이론값 근처에서 gain의 변화를 관측할 수 있었다. 순서대로 각각 0.98, 1.96, 0.465, 0.93 정도의 gain을 가짐을 실험을 통해 확인하여 이론값과 약간의 오차 이외에는 예상대로 도출되었음을 확인할 수 있었다.

Lab2에서 예상한 f_c 후의 gain과 f_c 는 다음과 같다.

R1	R2	F_c 이후 Gain	F_c (Hz)
1k	1k	1	15916
470	1k	2.13	33683
1k	470	0.470	15916
470	470	1	33683

그리고 실험을 통해 f_c 이후에 순서대로 각각 0.076, 0.091, 0.0805, 0.126 정도의 gain을 가짐을 알 수 있다. 이는 이론과 실험값이 전혀 다른데, 특히 high frequency에서도 점점 gain이 낮아지는 현상을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

(2) 왜 다른지

우선 Lab1의 LPF에서 약간의 오차들은 브레드보드 회로의 자체적 저항에 의해 실제 f_c 와는 차이가 생겼고, 이에 따른 gain 측정 구간에 오차가 생겼을 것이다. 이외에 발생하는 여러 손실과 노이즈에 의해 오차가 발생하는 것으로 보인다.

Lab2에서 high frequency에서 우리가 원하는 일정한 gain값이 유지되는 현상이 관측되지 않았는데, 포괄적인 원인은 OP Amp의 Slew Rate 때문으로 보인다. Slew Rate란 OP amp의 동작 속도를 나타내는 파라미터로, 출력전압이 규정한 단위 시간당 변화 가능한 비율을 나타낸다. 즉, 주파수가 큰 상태에서는 입력 파형의 기울기는 수직에 가까운데, 실험에서 사용한 op amp slew rate라는 성능의 제약 때문에 output 이 input을 따라가지 못해 HPF에서도 cut off가 발생하는 것으로 추측된다.