

OP-AMP 를 이용한 함수발생기

Oscillator by using OP-Amp

OP-Amp 를 이용해 발진회로(Oscillator)을

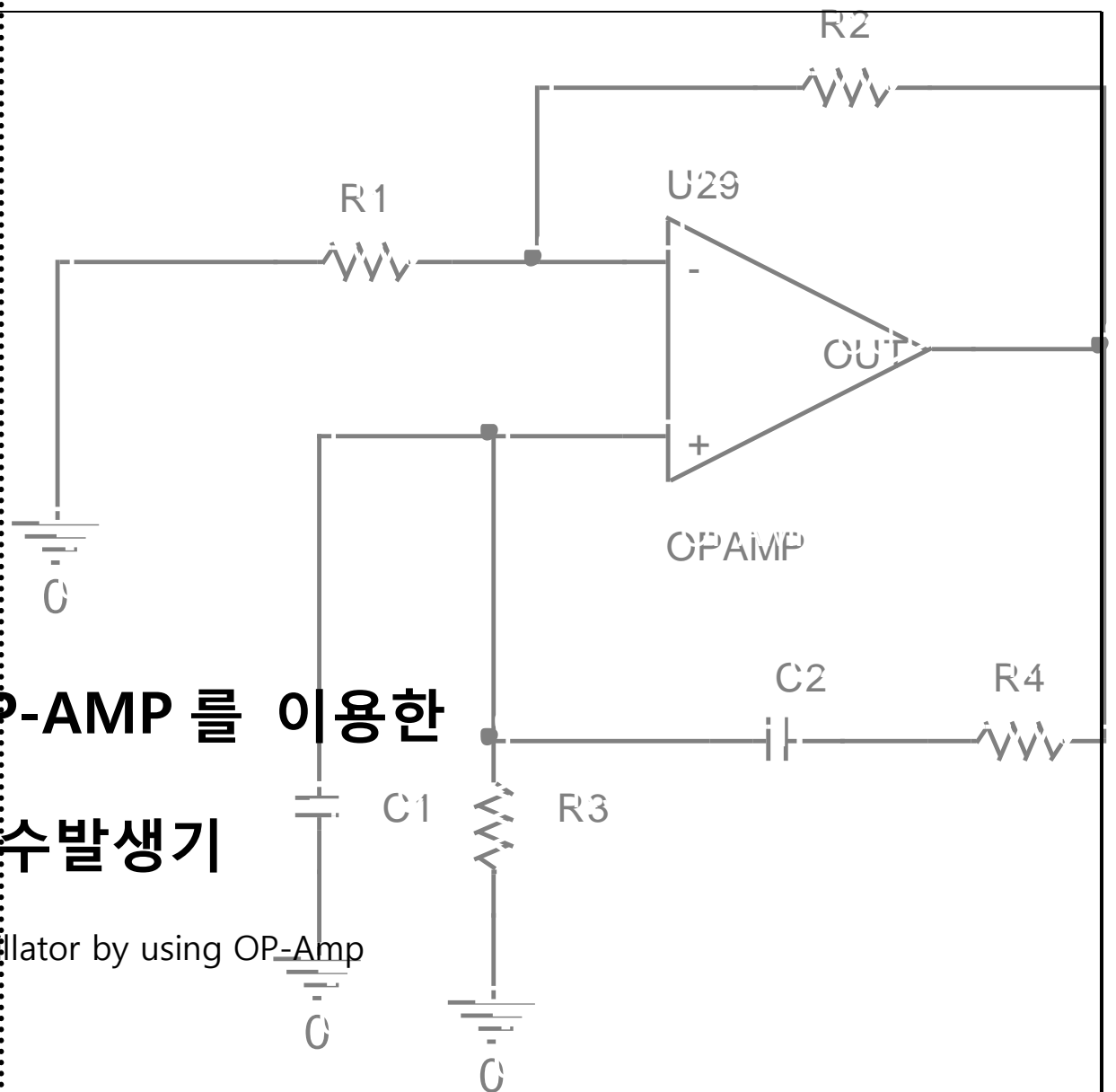
설계하고, 이를 Pspice 를 이용해 시뮬레이션한

후 브레드보드에 실제로 회로를 꾸며보고,

만능기판에 이를 제작해본다.

허 준혁

2003 053 007



OP-AMP를 이용한 함수발생기

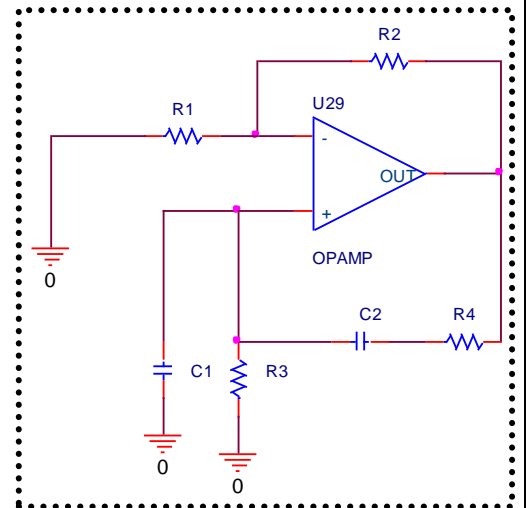
1. 실험목적
2. 발진회로 및 발진원리
3. 회로의 발진주파수
4. 발진회로의 시동조건 및 발진조건
5. Pspice Simulation
6. Circuit design
7. 결과 분석
8. 비교 및 고찰

1. 실험목적

- A. OP-Amp 를 이용한 정현파 발진기 동작원리 이해
- B. Wein Bridge Oscillator의 발진주파수 및 시동조건과 발진조건의 이해
- C. 비교기 적분기의 동작원리 이해
- D. 원하는 함수발생기 설계

2. 발진회로 및 발진원리

- A. 이번 실험에서는 Wein Bridge Oscillator를 설계 및 동작을 확인하는 실험으로서, Wein Bridge Oscillator는 우측 도면과 같다.
- B. 발진회로(Oscillator)는 아무런 신호의 입력없이 스스로 진동하는 파형을 만들어내는 회로로서, 초기 스위치가 ON되는 순간에 생기는 노이즈파위가 증폭되어 정현파를 만들어내게 된다.



3. 발진회로의 발진주파수

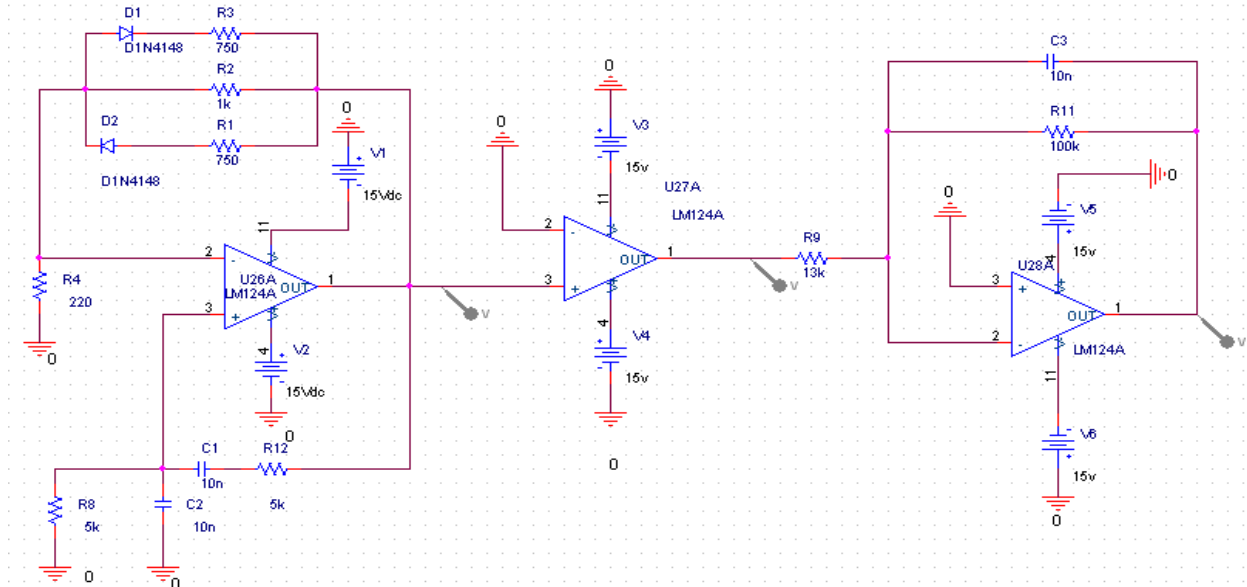
회로의 하단부에 설치된 두 개의 RC network가 발진회로의 주파수를 설정하며, 깔끔한 정현파를 생성하기 위해 두 RC network에서 각각의 Resistor 및 Capacitor의 소자값이 같아야 하며, 이 RC network에 의해 발진주파수가 정해진다. 즉, 이 조건을 만족하지 못하면 발진회로가 동작하지 않는다.

4. 발진회로의 시동조건과 발진조건

- A. 발진회로의 시동조건으로 정규환루프의 이득이 1보다 커야한다. 이는 초기에 발생한 노이즈 파위를 우리가 사용할 수 있는 유효한 신호의 크기로 키우기 위해 필요하다.
- B. 발진조건으로는 전체 시스템의 이득이 1로 일정해야 하며, 입, 출력 신호의 위상변화가 없어야 한다.

5. Pspice Simulation

A. Pspice Circuit Diagram



B. 위 회로는 세 개의 OP-AMP로 구성된 함수발생기이다. 가장 왼쪽의 Wein-Bridge Oscillator에서 나온 정현파가 두 번째 Comparator를 통과하며 구형파를 발생한다. 마지막으로 적분기를 통과하며 구형파는 삼각파를 발생시키게 된다. 회로상에 보이는 세 개의 Picker에서 정현파, 구형파 그리고 삼각파를 확인할 수 있으며, Wein-Bridge Oscillator의 두 RC-network에 의해 파형의 주파수를 설정할 수 있다.

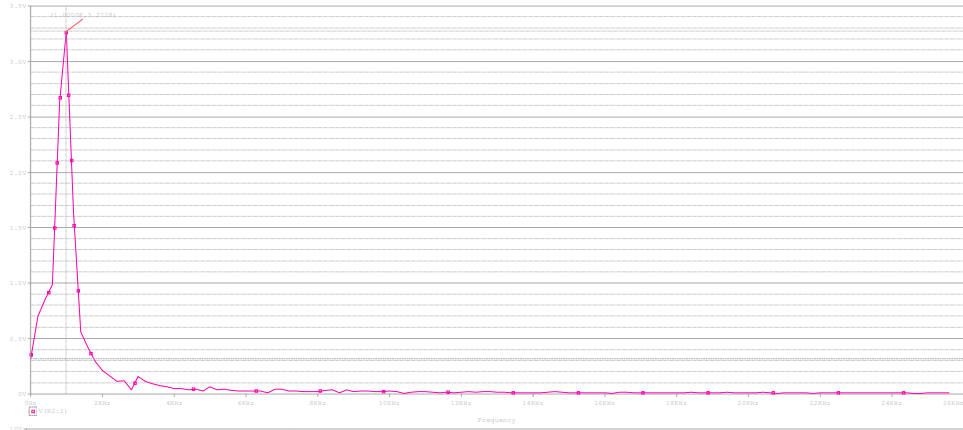
C. 이 때 C1과 C2를 1nF, 10nF으로고정시킨 후 계산된 저항에 의한 출력 주파수를 확인해 보았다. 결과는 아래 표와 같다.

	C1=C2=1nF		C1=C2=10nF	
	저항 이론값	출력 주파수	저항 이론값	출력 주파수
1KHz	159.1 Kohm	1 KHz	15.91 Kohm	1 KHz
5KHz	31.83 Kohm	4.7 KHz	3.183 Kohm	4.8 KHz
10KHz	15.91 Kohm	8.33 Khz	1.591 Kohm	8.33 KHz

D. Simulation Results

i. $C = 10\text{nF}$

1KHz



4.8KHz



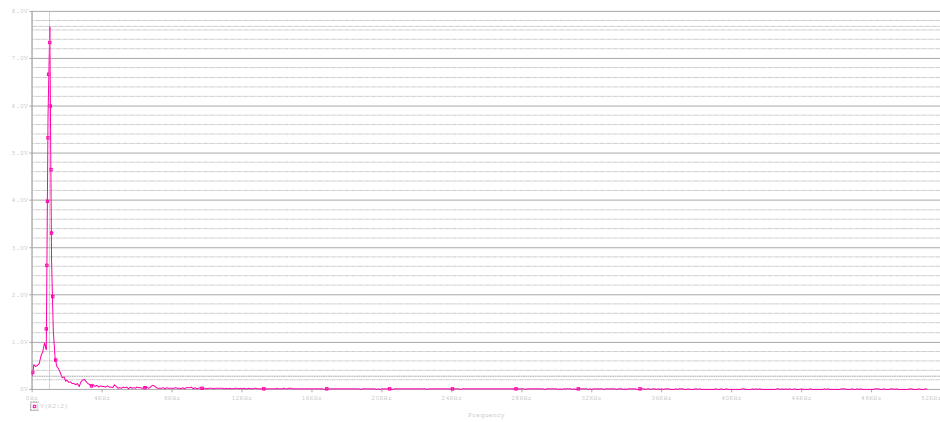
8.33KH

Z

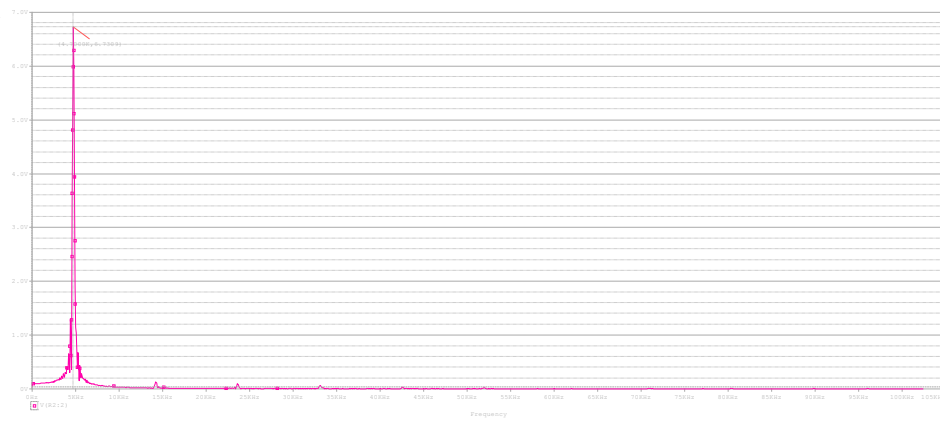


ii. $C=1nF$

1KHz



4.7KHz

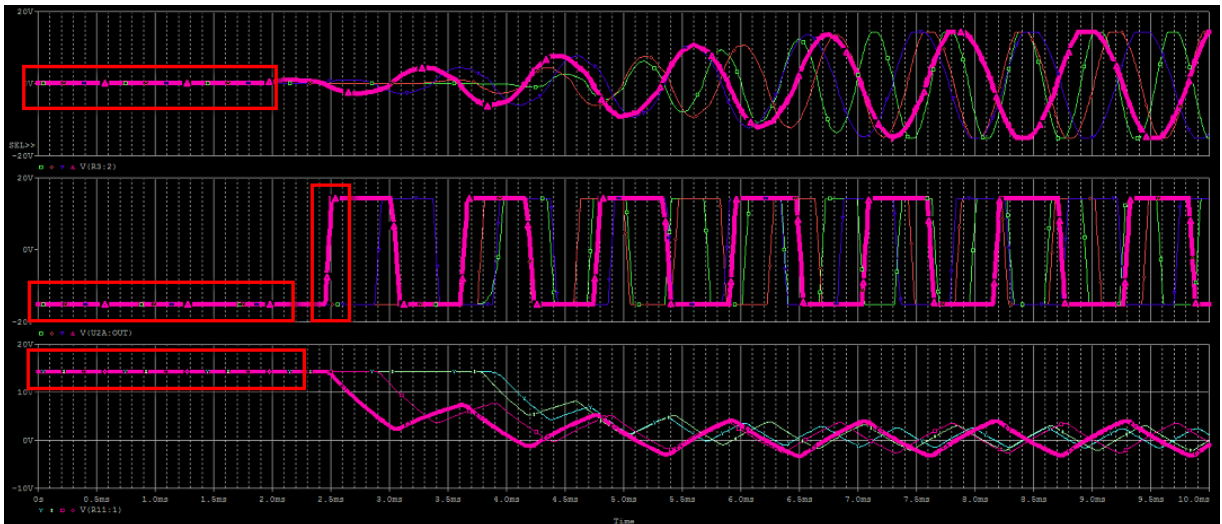


8.33KHz



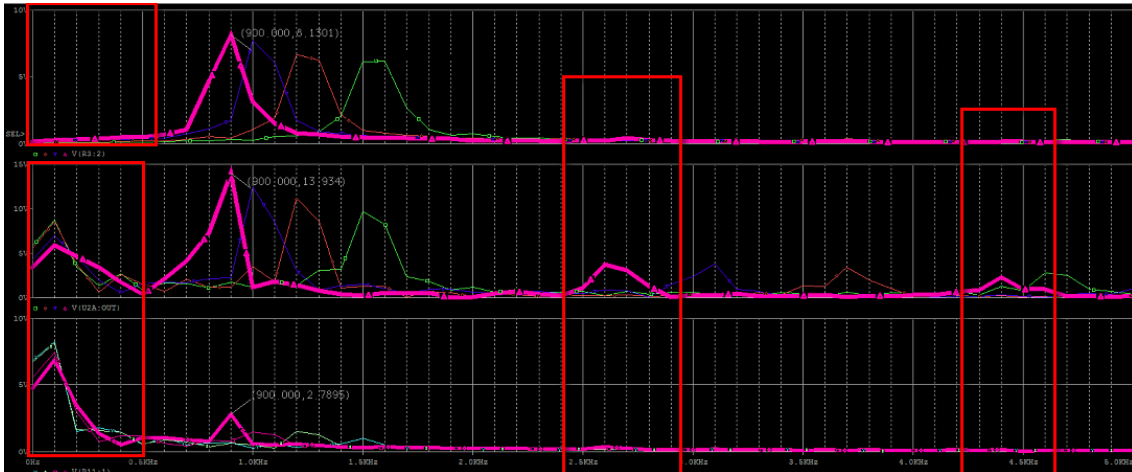
E. Simulation에 대한 고찰

- i. 시뮬레이션 결과 아래와 같이 함수발생기에서 원하는 모양의 파형이 생성되는 것을 확인할 수 있다.



- ii. 스위치가 On된 직후, 발진이 되기 전에는 정현파가 발생하지 않았으며, 정현파가 발생하지 않았기 때문에 나머지 구형파와 삼각파 역시 발생될 수 없었다. 하지만 아주 조금씩 정현파가 발생되기 시작했고, 이내 정현파와 구형파, 그리고 삼각파가 발생됨을 알 수 있었다.
- iii. 구형파의 경우 정확한 직사각형의 구형파가 아니라 사다리꼴의 구형파가 발생됨을 알 수 있었다. 이는 고주파수로 갈수록 더 심해졌는데, 이는 OPamp의 특성 중 하나인 slew rate에 의해 발생한 것이며, 이는 주파수에 관계없이 일정한 기울기를 나타내게 된다. 때문에 저주파수에서는 이 기울기가 아주 미세한(무시할 만한) 기울기를 보이기 때문에 눈에 보이지 않으나, 고주파수로 갈수록 이 slew rate는 무시할 수 없는 정도의 기울기로 낮아져 파형이 왜곡된 것 처럼 보임을 알 수 있었다.

- iv. 또한, 초기에 발진이 일어나기 전의 신호(DC신호)가 출력되는 것 처럼 보이게 되는데, 이 때문에 신호들을 푸리에변환했을 때 우리가 원하지 않은 주파수에서도 신호가 감지되고 있음을 알 수 있다.

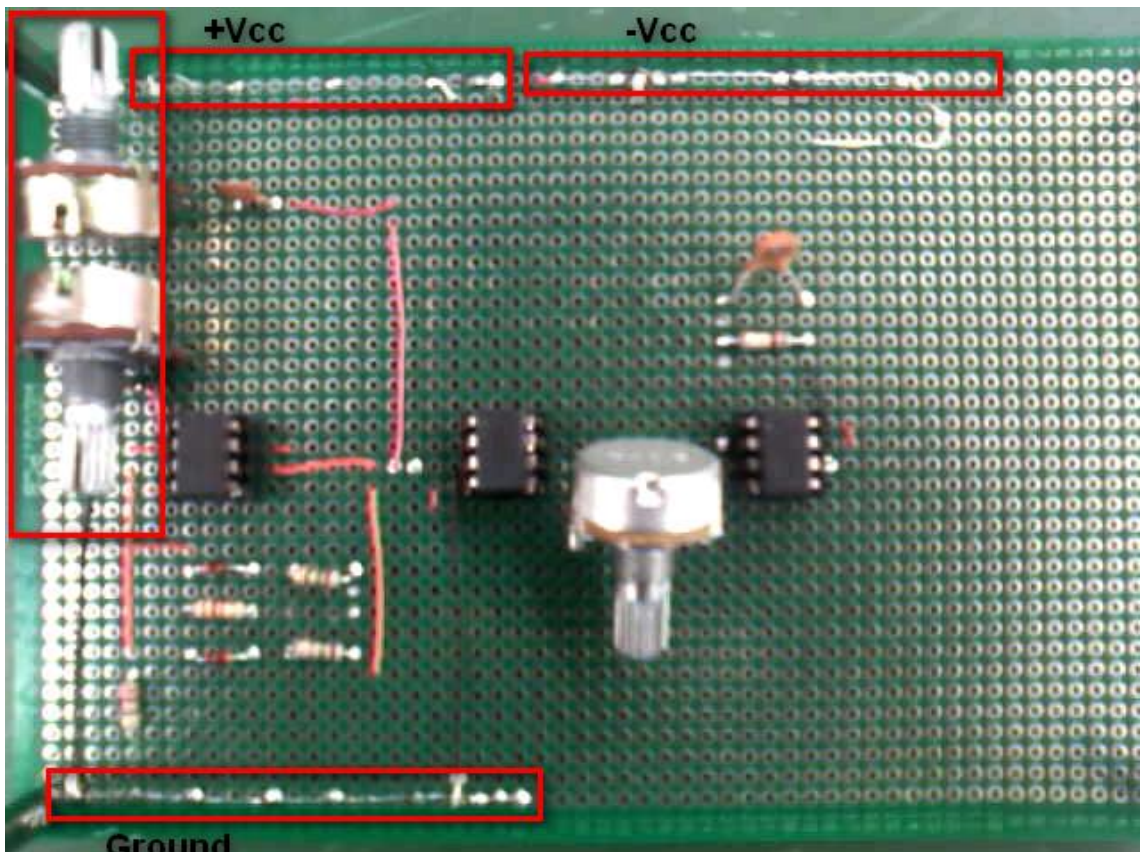


- v. 이 때 정현파는 발진되기 전의 출력이 0V로 출력이 없었으나, 구형파는 $-V_{cc}$ 를, 삼각파는 V_{cc} 만큼의 전압을 출력하고 있기 때문에 구형파와 삼각파의 푸리에변환을 보면 저주파수에서 신호가 감지됨을 알 수 있다.
- vi. 또한 우리가 발생시킨 주파수의 n 배가 되는 주파수 성분 역시 감지됨을 알 수 있는데, 이는 Harmonic Frequency(고조파)라는 성질 때문에 발생된다. *Harmonic Frequency*는 주기성을 가지는 신호들은 기본주파수(Fundamental Frequency)의 정수배가 되는 주파수의 성분을 포함하고 있다는 이론이다.¹ 푸리에 변환된 결과를 유심히 살펴보면 정확히 정수배가 되는 지점에서 신호의 성분이 감지됨을 알 수 있다.

¹Harmonics frequency : <http://stereos.about.com/od/glossaryoftermsh/g/harmonic.htm>

6. Circuit design

A. 실제 만능기판에 아래와 같이 회로를 설계하였다. 상단에 두 개의 라인을 만들어 +Vcc와 -Vcc를 연결하기 쉽게 만들었으며, 하단부에는 Ground를 연결하여 Oscilloscope, tester 등과의 연결이 용이하게 만들었다. 실험에 가장 많이 조작하게 될 가변저항 한 쌍은 마주보게 설치하여 조작과 측정이 용이하게 제작하였다.



7. 결과분석

A. 결과(C==10nF)

	VR 이론치	VR1(Kohm, %)		VR2(Kohm, &)		VR1/VR2 (%)
		측정치	오차율	측정치	오차율	
1 KHz	15.92 Kohm	13.88	0.128	14.489	0.090	95.8
5 KHz	3.18 Kohm	2.854	0.840	2.745	0.137	1.034
10 KHz	1.59 Kohm	1.546	0.028	1.538	0.033	1.001

- B. 원하는 주파수가 발생하는 순간의 가변저항 VR1, VR2를 측정했을 때 이론값과 측정치의 오차가 있었으나 **오차는 모두 1% 미만으로 무시할 만 한 결과였다.**
- C. 또한 VR1과 VR2의 값이 다르게 측정되었는데, 이론상 이 두 저항은 같은 값을 취해야만 정현파가 발진됨을 이미 알고있다. 그래서 둘의 유사도²를 보면, 거의 100%에 가까운 것을 알 수 있다. 즉, 두 저항의 값은 다르지만, 둘의 차이는 무시할 수 있을 정도라 할 수 있다.

8. 비교 및 고찰

- A. ATMega나 ARM과 같은 MCU를 사용하지 않고 라인트레이서를 만들어보려고 시도를 한 적이 있었는데, 가장 문제가 되는 것이 50kHz라는 주파수의 구형파를 만드는 것이었다. 시중에 나와있는 X-tal이나 Oscillator는 모두 수MHz대의 고주파수 소자밖에 살 수가 없어 고민하던 중, 학기가 시작되었고, 이번 실험을 실시하게 되었다. 전 학기 때와 다르게 지금까지 배웠던 많은 이론들(OPamp, comparator, integrator 등)을 복합적으로 사용해 실험을 한다는 것에 상당히 들뜬 마음으로 실험수업에 참여했던 것 같다. 그래서 어떤 때보다 더 열심히 예비발표자료를 만들었으며, 실험에도 더 열심히 참여했던 것 같다. 또한, 수업시간에 하기 힘들었던 실제 납땀작업을 이용한 설계수업은 수업의 흥미를 배가시켰다.
- B. 파형을 만드는 것은 생각만큼 어렵진 않았다. 반면에 이론상에서 계산된 값에 의한 결과를 찾기는 생각보다 힘들었다. 실제 원하는 주파수의 파형을 발생시켰을 때 가변저항의 저항값은 이론값과는 어느정도 오차가 있었다. 선형적으로 증가하지 않는 가변저항이 가장 큰 변수인 듯 했다. 하지만 가변저항을 돌릴 때 조금 더 신중을 기해서 조금씩 수정했을 때는 이론값과 거의 일치하는 저항값을 설정할 수 있었으며, 이는 무시될 만한 오차범위 내의 값을 취하고 있었다. 또한, 발진되고있

² 유사도: 한쪽 저항치를 다른 쪽 저항치로 나누어 둘의 유사한 정도를 나타냄. 두 저항이 같은 경우 유사도는 1로 백분위 환산 시 100%로 같음을 나타낸다.

는 주파수 역시 이론치에서 크게 벗어나지 않았다.

C. 왜 저항값이 이론치와 다를 때도 원하는 주파수가 발생했을까?

- i. 이론적으로 두 RC-network에서 저항의 값이 다르면 정현파가 발생하지 않는다. 이는 출력 파형과 피드백되어 들어오는 파형의 주파수가 다르면 깔끔한 정현파가 나오지 않기때문인데, 실제로 실험한 결과 이론치와 크게 벗어나며 두 저항의 값이 서로 많이 차이가 나는 경우 원하는 주파수의 파형이 발생하는 경우가 있었다. 이는 피드백 신호의 주파수가 출력주파수의 harmonic(정수배)가 되면서 두 신호 중 높은 주파수의 성분이 검출되기때문이라고 생각한다. 즉, 저항값을 설정할 때 오류에 의해 500Hz의 출력이 나오도록 저항을 설정하고, 피드백 신호는 1KHz가 나오도록 설정이 된다면 RC-network의 두 저항값은 크게 차이가 나게 되겠지만 출력 파형은 1KHz의 출력이 나오게 될 것이다. 하지만 정확한 이유는 더 조사를 해봐야 할 필요가 있음을 간과할 수 없다.

D. 파형의 Clipping 이 발생할 때 조치

- i. 실험 시 발생한 또 다른 문제는 Clipping이 발생하는 것이었다. 이는 전체 시스템의 이득이 1 이상이 되었을 경우, 파형의 상,하 pick가 cutting되는 현상인데, 이는 회로를 잘 설계하였더라도 소자들의 오차에 의해 쉽게 발생할 수 있는 현상이다. 이는 비선형 저항소자인 AGC회로를 사용함으로써 간단히 막을 수 있다.
- ii. AGC(Auto Gain Controller)란 인가된 전압에 따라 저항값이 바뀌는 비선형 저항소자로서, 일정한 수준의 출력을 유지해주는 역할을 하게된다³. 이는 꼬마 전구를 예로들 수 있으며, 온도가 높아지면 저항이 같이 높아지는 비선형 특성을 이용하는 것이다.

³ AGC : http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_gain_control
 ChungBuk National University
 Electronics Engineering