

1-7. 오실로스코프의 구조, 기능 및 사용법

1. 실험목적

오실로스코프의 구조, 동작원리 및 그 작동방법을 익힌다.

특히 화면의 신호를 확대 및 축소할 수 있는 수직/수평 제어기능과 안정한 화면을 얻을 수 있는 트리거 (triggering) 기능을 기초로 다양한 형태의 파형을 조사해 봄으로써 오실로스코프를 더 잘 이해할 수 있게 한다.

2. 구조 및 기능

오실로스코프는 시간에 따라 변하는 다양한 형태의 전기적 신호를 음극선관 (cathode ray tube: CRP)이나 액정디스플레이 (liquid crystal display: LCD) 같은 표시장치를 이용하여 직접 볼 수 있게 한 분석 장치이다. 오실로스코프는 기본적으로 시간에 따라 변하는 전압을 표시하는 장치로 수직축 (Y-축)은 전압의 크기 그리고 수평축 (X-축)은 시간의 변화를 각각 나타낸다. 수직축의 신호는 [Volts]로 그리고 수평축의 신호는 [time]으로 표시된다.

가. 오실로스코프의 구조

오실로스코프는 입력단자의 수와 기능에 따라 여러 종류가 있지만 일반적으로 가장 흔하게 사용되는 오실로스코프는 두 개의 입력단자 (CH1, CH2)를 갖추고 있어 서로 다른 두 파형을 동시에 관측, 비교할 수 있으며, 두 성분의 다양한 연산 (합성, 뺄셈, 곱셈 등)도 수행할 수 있고 두 성분을 조합하여 2차원 도형 (리사주 도형)을 화면에 표시할 수 있다.

1) 오실로스코프의 구조

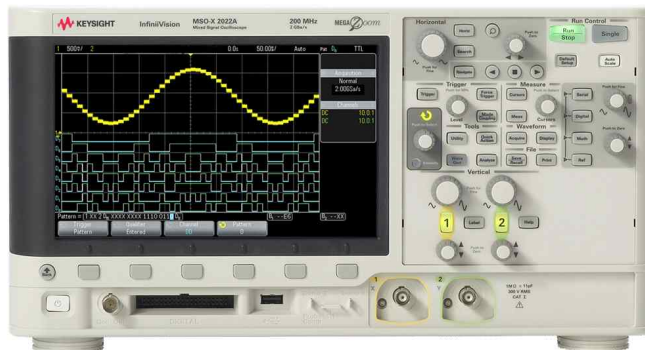


그림 2.1 오실로스코프 앞면(모델명: DSO-X 2012A)

2) 오실로스코프 프로브 (probe: 탐침)의 구조



그림 2.2 오실로스코프 프로브의 종류. (목적에 맞게 프로브를 선택)

프로브는 외부 신호를 스코프로 전송하는 역할을 하는데, 프로브에 의해 잡음이 들어가거나 신호의 모양이 왜곡되어서는 안 된다. 오실로스코프 전용 프로브는 그림 5의 (a)와 같은 모양을 하고 있으며, 검정색 악어클립은 +0V의 기준점이 되는 접지연결 (음극) 단자이다. 전용 프로브에는 아주 큰 입력신호를 왜곡시키지 않고 화면에 표시할 수 있도록 프로브 자체에 감쇠 기능이 있다. 감쇠율은 보통 1:1, 1:10, 1:100 등이 있으며, 1:10을 선택하게 되면 실제로 입력되는 신호의 세기를 1/10로 감소시켜 오실로스코프에 입력하게 된다. 따라서 입력전압의 크기를 모를 경우 오실로스코프 회로를 보호하기 위하여 1:10으로 놓고 사용하는 것이 안전하다. 그림 5의 (b)는 두 개의 악어클립으로 되어 있는 수동형 프로브로 단순한 케이블이다. 이 프로브를 사용할 경우에는 신호발생기를 이용하여 실제 전압이 어떻게 임하는 지를 확인한 후 사용한다. 그리고 (c)는 양단의 BNC 커넥터를 이용하여 간편하게 신호원과 오실로스코프를 연결할 경우에 사용한다.

나. 오실로스코프의 기능

초기의 오실로스코프의 신호 표시는 음극선관(CRT)을 이용하였다. 전자총에서 전자가 방출시켜 수직/수평 편향판으로 전압을 가해 전하의 도달위치를 바로 출력하는 방식이었다. 음극선관(CRT)를 사용할 경우 수집된 신호를 저장하기 어렵고, 단발성 신호 포착이 어려웠다. 컴퓨터가 많이 보급되면서 예전의 아날로그 방식은 디지털 방식, 액정표시장치(LCD)로 전환되었다. 따라서 오실로스코프의 기능이 확장되었으나 중요한 기능 3가지는 ①동기화 (synchronization)와 트리거(trigger) 기능, ② 비례 축소(scaling) 기능, ③ 입력 결합(input coupling; AC/DC, high impedance mode)

1) 동기화(synchronization) 와 트리거 기능

동기화와 트리거 기능은 신호를 화면에 정지상으로 표현해주는 기능이다. 일반적으로 오실로스코프에 신호를 입력하게 되면 화면의 왼쪽에서 오른쪽으로 신호가 계속 흐르는 것을 볼 수

있다. 이렇게 파형이 지속적으로 이동하게 되면 파형을 제대로 분석할 수 없기 때문에 화면상에 파형을 고정시킬 필요가 있다. 이를 위해 트리거 (trigger) 기능을 사용하게 되며, 트리거를 이용하여 항상 화면상의 같은 위치에 파형의 한 부분이 나타나도록 조절할 수 있다. 따라서 주어진 신호의 다양한 성질 (진폭, 주기, 주파수, 그리고 위상 등)들을 손쉽게 분석하기 위해서는 반드시 트리거 기능을 이용하여 정지상의 영상을 먼저 얻어야 한다. 이것은 마치 스트로보스코프를 이용하여 회전체가 정지한 것처럼 보이게 하는 것과 같은 원리이다. 초당 10회 회전하는 바퀴의 경우 바퀴살의 한 부분을 색칠하여 잘 볼 수 있게 한 다음, 고속용 조명을 10 Hz로 비추게 되면 바퀴가 정지한 것처럼 보이게 되는 것과 같은 원리이다.

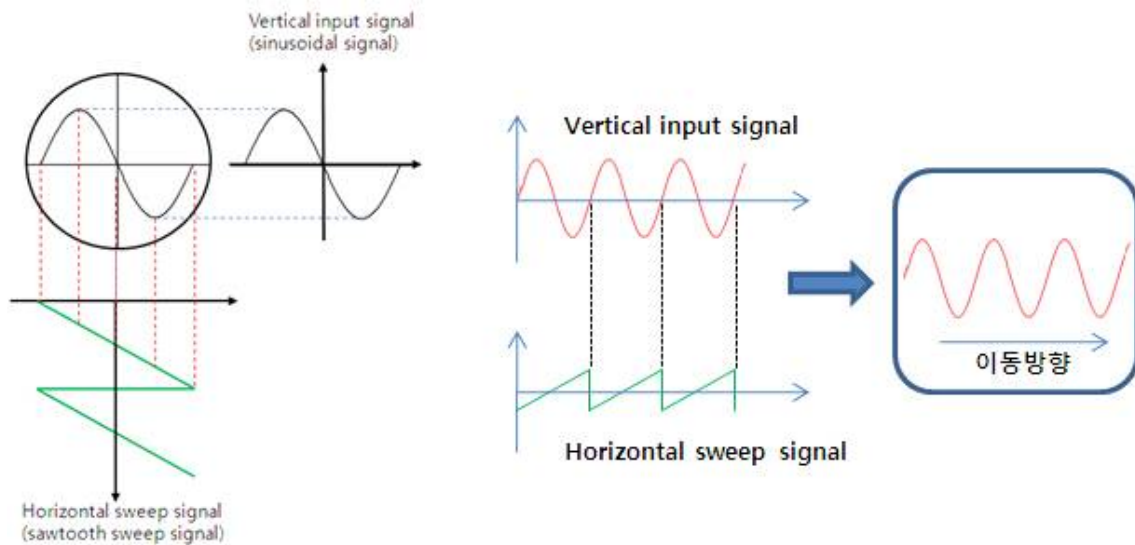


그림 2.3. 수직/수평 축에 인가된 사인파/톱니파 신호에 의한 스크린 상의 광점의 운동.

그림 2.3은 수평 축에 톱니파 전압을 그리고 수직 축에는 사인파에 해당하는 입력신호 전압을 걸어 줄 경우 화면상에서의 광점의 운동을 나타낸다. 즉, 수평 축에 걸리는 톱니파(sawtooth wave) 전압은 광점을 일정한 속도로 오른쪽으로 이동시키는 역할을 하고 수직 축에 걸리는 전압은 광점의 수직 성분을 제어한다. 수평/수직 축에 가해지는 신호의 조합에 의해 오실로스코프 상에는 입력신호에 대응되는 전압-시간 그래프가 나타나게 된다. 위 그림에서와 같이 톱니파 신호가 증가하는 구간에서 광점은 화면상의 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하게 되며 톱니파 신호가 급격히 떨어지는 순간 광점은 순간적으로 왼쪽으로 이동하면서 다음 톱니파 신호가 시작될 때 광점은 다시 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하게 된다. 톱니파 신호의 기울기는 파형의 주기에 따라 결정되며, 주기는 또한 광점이 화면의 좌우를 가로질러 가는 시간을 결정하게 된다. 이와 같이 화면상에 나타나는 전압-시간 그래프 항상 동일한 모양의 파형을 화면에 나타내기 위해 수평/수직편향판에 인가되는 신호는 매 주기마다 항상 같은 시점에서 시작하도록

해야 한다. 수평 축에 인가되는 톱니파 신호는 수직 축에 걸리는 신호가 항상 같은 시점에서 시작하는 것을 동기화 (synchronization) 라고 한다.

2) 비례 축소(scaling) 기능

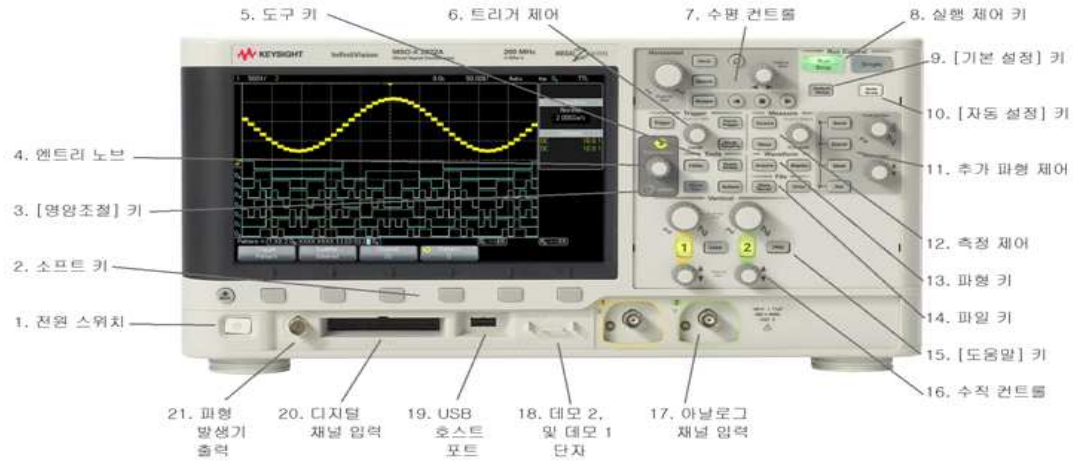
오실로스코프는 신호를 출력할 때 X-축, Y-축의 범위(scale)을 손쉽게 조절할 수 있다. "TIME/DIV"을 이용하여 X-축의 시간을 조절할 수 있다. 입력신호의 크기에 따라 Y-축 신호의 크기는 "VOLTS/DIV" 기능을 이용하여 조절할 수 있으며 화면에 너무 크지도 작지도 않게 표시될 수 있도록 조정한다. "TIME/DIV", "VOLTS/DIV" 은 화면의 격자 한 칸당의 단위를 말한다. "VOLTS/DIV"를 1로 맞추었다면 눈금 사이가 1V 라는 의미이다.

3) 입력 결합(input coupling)

오실로스코프로는 직류와 교류가 혼재된 신호도 측정할 수 있다. 그러나 관심이 있는 것이 교류신호이고, 교류신호가 직류신호에 비해 상대적으로 약할 때 단순히 범위를 조절하는 것만으로는 관찰이 어렵다. 이 문제를 해결하기 위해서 입력결합 모드가 있다. 입력결합모드가 DC 일 때는 직류와 교류를 모두 출력한다. 모드가 AC 일 때는 직류신호, DC offset을 제거하고 교류신호만 걸러내어 출력한다. 입력결합모드를 AC 로 하여 범위를 조절하면 교류신호를 자유롭게 관찰할 수 있다.

또한 오실로스코프와 같이 신호 입출력 기능을 가진 장비는 입출력 임피던스라는 개념이 존재한다. 회로에 5V 의 전압을 인가하고 싶다고 가정하자. 그런데 실험을 하면서 입력 전압을 "ON" 한 상태에서 회로가 아니라 오실로스코프의 채널에 바로 접촉을 시키면 어떤 일이 발생할까? 저항이 거의 없으므로 과전류가 흘러 기기가 손상되어야 한다. 그러나 입력 신호를 바로 출력 신호로 받아서 신호가 잘 나오는 지 확인을 할 때 오실로스코프가 정상적으로 작동하는 것을 확인할 수 있는데, 그것은 입출력 회로에 내부저항이 달려있기 때문이다. 이렇게 입출력 과정에서 오실로스코프의 내부 저항, 내부 임피던스를 입출력 임피던스라고 한다. 회로에 신호를 입력할 때 회로에 인가해주고 싶은 전압이 5V 라면 오실로스코프는 내부저항과 회로에 10V 를 걸어주어 회로에 전압을 인가하는 방식을 취한다. 보통 "Row Impedance(Row-Z)", 50 Ω 으로 설정되어 있다. 회로의 임피던스가 높을 경우에는 입출력을 할 때 "High Impedance(High-Z)" 옵션을 선택하여 회로에 전압을 인가해야한다. 만약 회로의 임피던스가 오실로스코프의 내부저항에 비해 매우 클 경우, 오실로스코프가 걸어주는 전압이 전부 회로에 걸리게 되면서 회로에 걸린 전압의 세기가 의도한 것의 2배 가까이 된다.

4) 오실로스코프의 세부기능



다. 신호발생기를 이용한 오실로스코프 사용법 연습

신호발생기는 다양한 형태의 신호, 즉 사인파, 구형파 그리고 톱니파 등을 발생시킬 수 있는 장치로 오실로스코프의 입력신호원으로 사용할 수 있다. 신호발생기에 의해 생성된 파형을 오실로스코프로 관측하고, 이들 파형들의 주파수, 주기 그리고 진폭을 측정해 봄으로써 오실로스코프의 세부기능 및 작동법을 보다 효율적으로 익힐 수 있다.

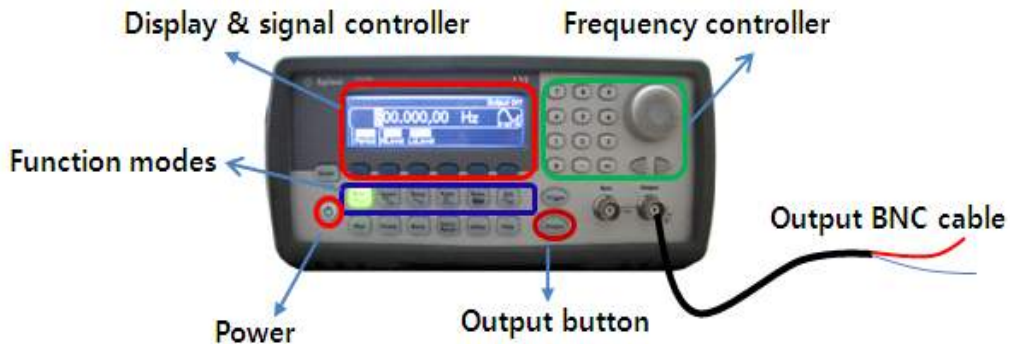


그림 2.4 신호발생기의 구조와 기능. (Model: Agilent 33220A)



그림 2.5 신호발생기와 오실로스코프 연결

3. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

오실로스코프, 신호발생기, BNC-BNC 케이블 (2개), BNC-악어클립 (1개)


나. 실험방법

1) 오실로스코프와 신호 발생기의 특성

(1) 파형의 전압 및 주파수 측정

- ① 장치의 이상 유무를 확인한 뒤 오실로스코프와 신호발생기의 전원을 켜다.
- ② BNC-BNC 케이블을 이용하여 한쪽은 신호발생기의 출력단자에 또 다른 한쪽은 오실로스코프의 CH1에 연결한다.
- ③ 신호발생기에서 정현파(sine wave)를 선택하고 숫자판이나 다이얼을 이용하여 주파수 결정한다.
- ④ 신호발생기의 "Output" 버튼을 눌러 정현파(sine wave)를 오실로스코프로 입력한다.



- ⑤ 오실로스코프의 "Auto Scale"  버튼을 누른다.
- ⑥ 오실로스코프의 "1"과 "2"를 이용하여 파형의 크기 (수직 축: 전압, 수평 축: 시간)를 조절한다. (분석하기에 가장 적당한 크기로 설정한다.)
- ⑦ 파형이 화면상에서 흐를 경우 "5"를 돌려 정지한 파형을 얻는다. (5: 트리거 기능)
※ "3"과 "4"를 이용하여 파동을 단순히 수평 또는 수직방향으로 이동시킬 수 있다.
- ⑧ "6"과 "7"을 이용하여 주어진 파형의 주파수와 피크전압을 측정한다.

※ 신호발생기와 오실로스코프의 전압 V_{p-p} 가 일치하지 않을 경우에는 신호발생기의 "utility" 기능을 이용하여 보정할 수 있다. (임피던스를 "High Z"로 설정)

⑨ 신호발생기의 전압을 멀티미터로 측정한다. (V_{rms})

⑩ 신호 발생기에서 "Ramp"을 선택하고 "Symmetry"을 선택하여 50%로 설정한다.

⑪ 삼각파형에 대해서도 동일한 방법으로 실험을 수행한다.

※ 커서 선택버튼인 "6"을 누르게 되면 "8"에 다양한 기능이 나타나며, 아래 버튼을 이용하여 원하는 자료를 읽을 수 있는 다양한 기능을 선택할 수 있다.

⑫ "6" 아래의 Meas 버튼을 누르고 유형을 "AC RMS - N 사이클"으로 설정한 뒤 추가 측정을 누른다.

(2) 리사주 도형 (Lissajous figures) 발생 및 분석

① 두 개의 BNC-BNC 케이블의 한 쪽 단자는 두 대의 신호발생기의 출력단자에 연결하고 다른 한 쪽은 오실로스코프의 CH1과 CH2에 연결한다.

② 신호발생기에서 정현파를 선택하고 숫자판이나 다이얼을 이용하여 주파수 결정한다.

③ 신호발생기의 "Output" 버튼을 눌러 정현파를 오실로스코프로 입력한다.



④ 오실로스코프의 "Auto Scale"  버튼을 누른다.

⑤ "9"번 (Horiz)을 누른 다음 "10"에서 "Time mode"를 "XY"로 설정한다.

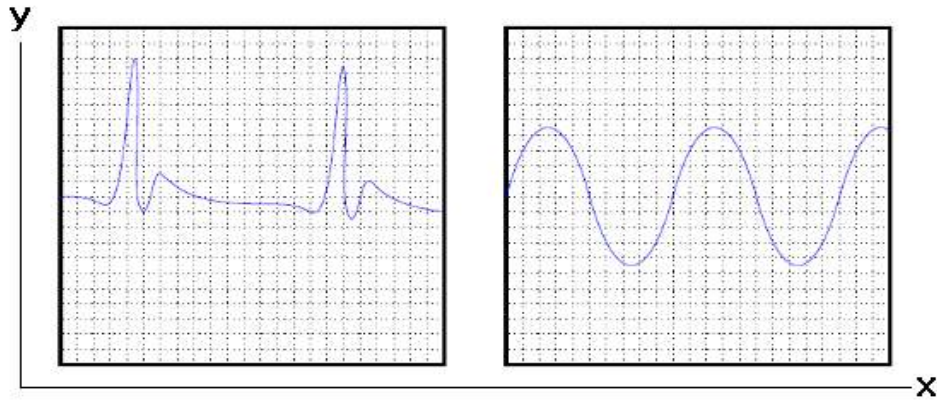
⑥ 두 정현파의 주파수와 위상차를 변화시켜 가며 리사주 도형을 관찰한다.

※ 두 신호발생기 자체의 미세한 위상차로 인해 초기조건을 보정할 필요가 있다. 하나의 신호 발생기를 선택, "Utility" - "Output setup" - "Adjust phase" 버튼을 이용하여 화면의 리사주 도형을 보면서 위상차가 0이 될 때까지 다이얼을 돌려 보정한다.

⑦ 주파수의 비가 1:1과 1:3인 경우 각 위상차 ($0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi$)에서의 리사쥬 도형을 관찰하고, 그 결과를 해석한다.

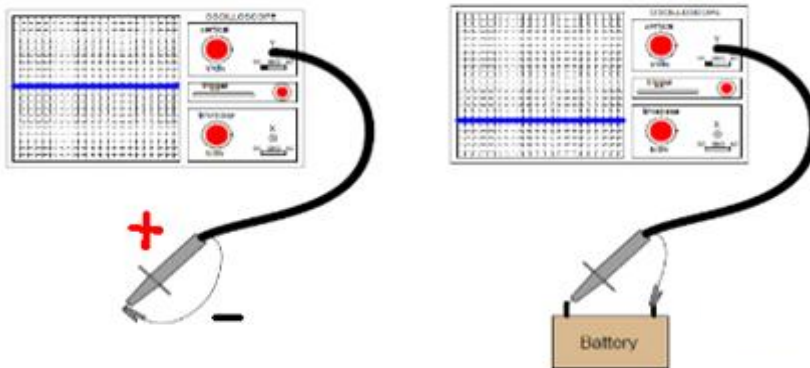
※ 오실로스코프 참고자료 (www.allaboutcricuits.com)

1. 오실로스코프는 교류신호를 측정하기에 아주 유용한 시험기기이다. 심전도장치로 맥박을 측정한 결과와 신호발생기의 사인파를 오실로스코프로 측정한 결과를 나타낸 그림이다. 오실로스코프에서 X-축과 Y-축은 각각 무엇을 나타내는가?



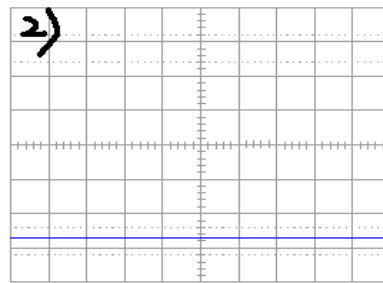
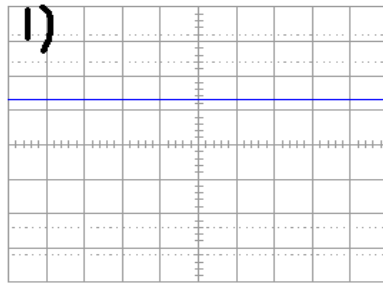
sol) X-축 = 시간, y-축 = 전압의 크기

2. 오실로스코프의 Y-축이 “쇼트 (shorted)”되면 그 결과로 화면 중앙에 직선이 나타나게 된다. 이 방법을 이용하여 오른쪽 그림에 대한 전원의 극성을 결정하라.



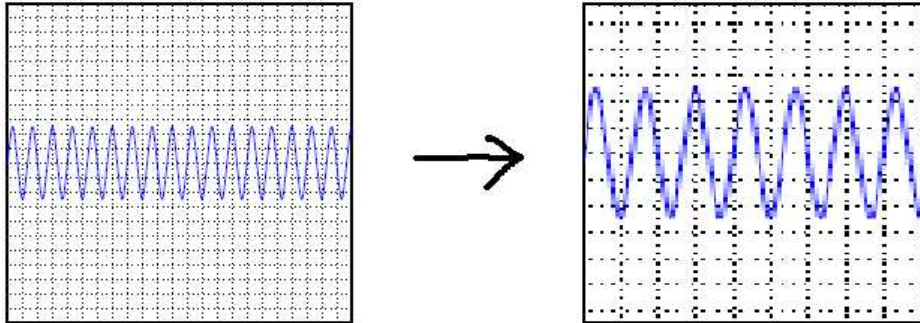
sol) 아래쪽에 보이기 때문에 반대극성, 탐침 연결이 반대로 되어 있으며, 전원은 DC 이다.

3. 오실로스코프가 전압의 크기를 알 수 없는 미지의 전원에 연결되어 있다. 이 경우 오실로스코프는 수직축 감도 (vertical sensitivity)는 1) 5 V/Div, 2) 2 V/Div로 각각 맞춰져 있다. 아래 그림을 보고 전원의 종류와 전압의 크기를 결정하라. (오실로스코프는 0점 조절 되어 있다.)



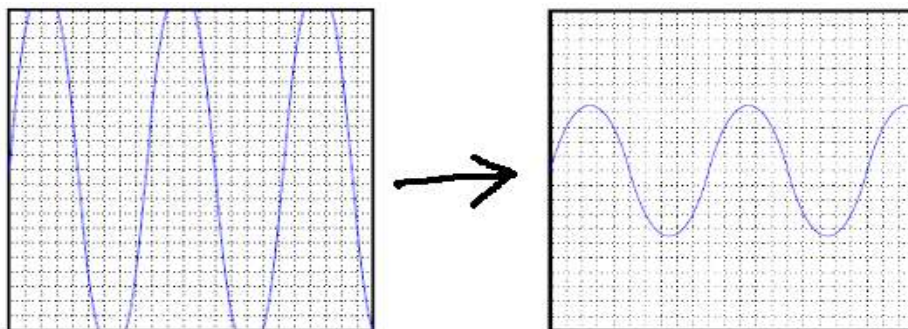
sol) 1) 6.5 V, 2) 5.4 V로 프로브가 반대로 연결되어 있다. (음극선이 전원의 +에 연결)

4. 오실로스코프의 Y-축 입력단자에 AC 전압 신호를 연결한 후 스크린에 나타난 결과는 아래 그림과 같다. 스크린 상에서 파수를 줄이기 위해서는 오실로스코프의 무엇을 조절해야 되는가?



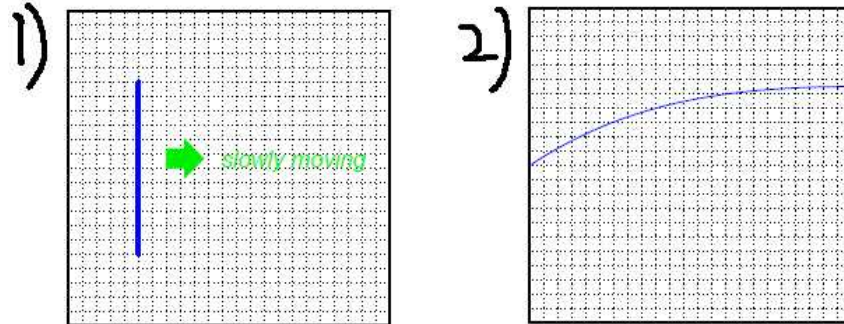
sol) "timebase"를 이용하여 Time/Div의 스케일을 크게 조절한다.

5. 오실로스코프의 Y-축 입력단자에 AC 전압 신호를 연결한 후 스크린에 나타난 결과는 아래 그림과 같다. 스크린 상에 정상적으로 파형을 나타내기 위해서는 오실로스코프의 무엇을 조절해야 되는가?



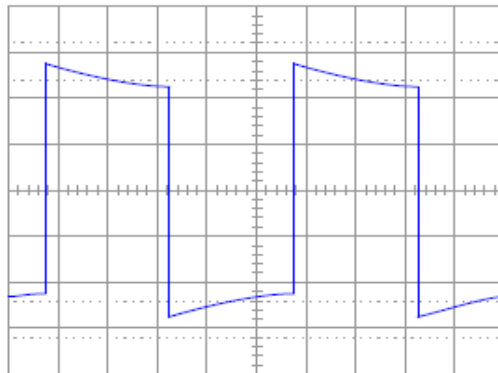
sol) "vertical"을 이용하여 "Volt/Div" 스케일을 큰 값으로 조절한다.

6. 오실로스코프의 Y-축 입력단자에 AC 전압 신호를 연결한 후 스크린에 나타난 결과는 아래 그림과 같다. 스크린 상에 정상적으로 파형을 나타내기 위해서 1)과 2)는 오실로스코프의 무엇을 어떻게 조절해야 되는가?



sol) 1) "Time/Div"의 스케일을 줄여야 하며 2)는 스케일을 크게 해야한다.

7. 아래 그림의 파형에 대한 주파수를 결정하라. (단 수직축 감도는 2 Volt/Div, 수평축은 0.5 ms/Div 이다.)

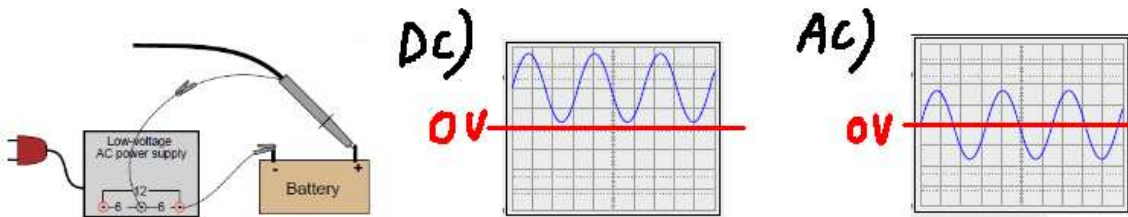


sol) 수평축으로 5개의 division을 포함하고 있기 때문에 주기, $T = 5 \times 0.5ms = 2.5ms$ 이며 주파수는 $f = 1/T = 0.4 \times 10^{-3} = 400 Hz$ 가 된다.

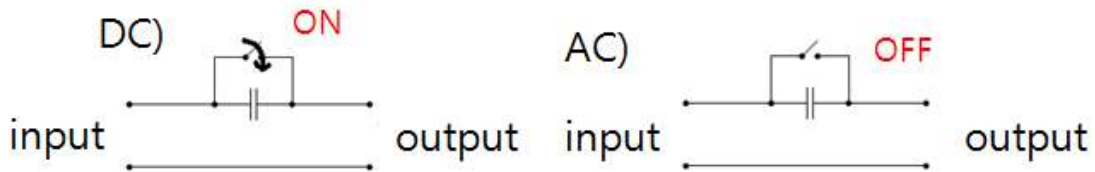
8. 오실로스코프에서 아주 중요한 기능 중의 하나가 "triggering"인데, 트리거가 제대로 조절되지 않으면 파형이 한 곳에 머물러 있지 않고 수평방향으로 지속적으로 이동하게 된다. 따라서 주어진 파형에 대한 분석을 제대로 할 수 없게 된다. 파형이 화면상에서 흐르지 않고 한 곳에 고정되어 보이도록 하기위한 "triggering"의 원리를 간단히 설명하라.

sol) 오실로스코프 내부에 있는 "트리거회로"는 주어진 파형의 순시전압이 매번 파형의 같은 위치에 도달할 때 까지 스크린을 가로질러 빔이 휩쓸고 지나가는 시작시간을 지연시키는 기능을 한다. 따라서 언제나 파형이 흐르지 않고 정지상으로 보이게 된다. (스트로보스코프로 회전체가 정지한 것처럼 보이게 하는 원리와 동일)

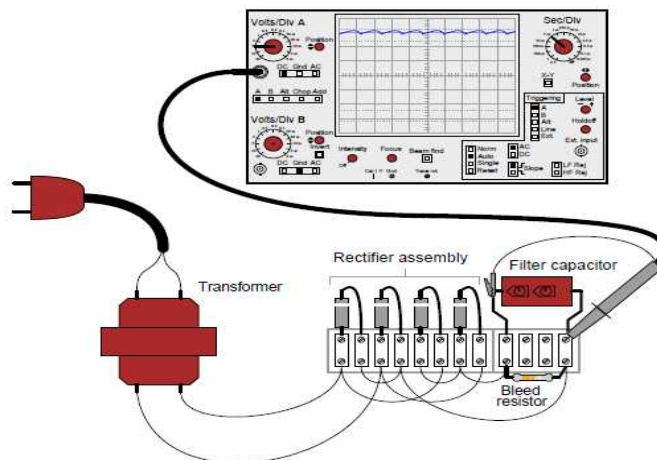
9. 만약 AC와 DC 전원이 직렬로 연결되어 있는 회로의 양 단자에 오실로스코프의 프로브를 연결할 경우 스크린 상에 나타나는 결과는 "coupling"을 어떻게 선택하느냐에 따라 달려있다. "coupling"을 "DC" 또는 "AC"로 선택하게 되면 스크린 상에서의 파형은 아래 그림과 같이 표시될 것이다. 이 그림으로부터 커플링 기능에서 "DC"와 "AC"를 선택한다는 것이 실제로 무엇을 의미하는지 설명하라.

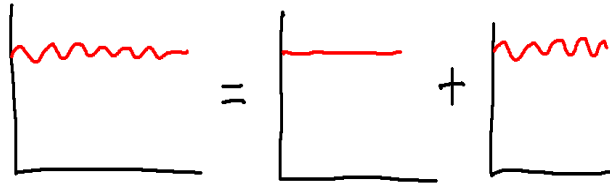


sol) "DC"는 AC와 DC 성분 모두를 스크린 상에 나타나게 하는 기능을 가지고 있으며, "AC"는 전체 신호 중에서 "DC" 성분을 제외한 나머지 순수 "AC" 신호만을 스크린 상에 표시하는 기능을 가지고 있다. "DC"에서 "AC"로 모드를 전환하면 실제 오실로스코프 내부 회로는 다음과 같이 된다.



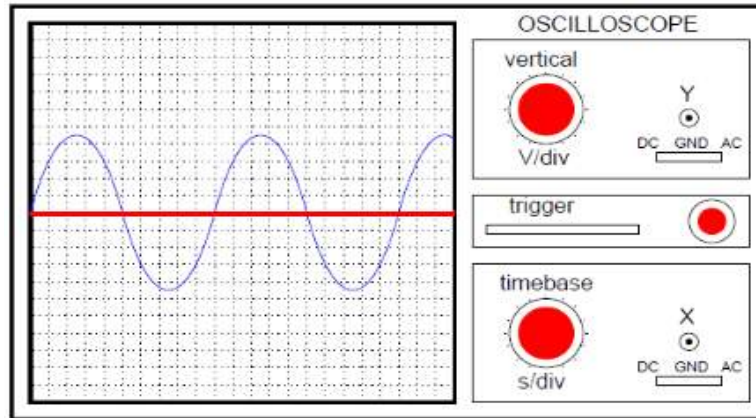
10. AC-DC 회로에 오실로스코프가 연결되어 있다. Volt/Div가 최대인 상태에서 스크린 상에 나타난 파형의 모양이 아래와 같다. 교류신호가 너무 작기 때문에 y-축의 크기를 확대하려면 Volt/Div의 크기를 줄여야만 한다. 이 경우 문제를 해결하기 위한 방법이 무엇인가?





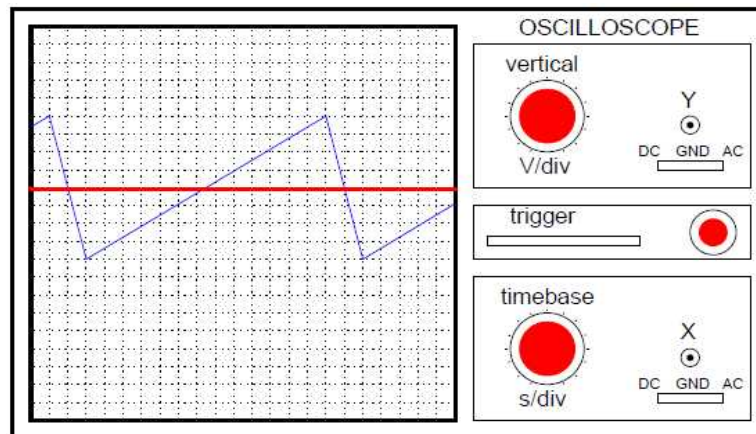
sol) Volt/Div를 줄이면 신호가 스크린 상에서 사라지게 된다. 따라서 이 기능으로는 신호를 확대할 수 없으며 DC 성분을 제거한 뒤 확대하면 가능하다. 즉 “AC” 모드를 선택한다.

11. 아래 그림과 같이 "vertical sensitivity"를 0.5 Volt/Div 그리고 "timebase"를 2.5 ms/Div으로 했을 경우 최대전압 또는 첨두전압 (V_p), 첨두-첨두간 진폭 (V_{p-p}), 전압의 실효값 (V_{rms}) 그리고 주파수를 구하라



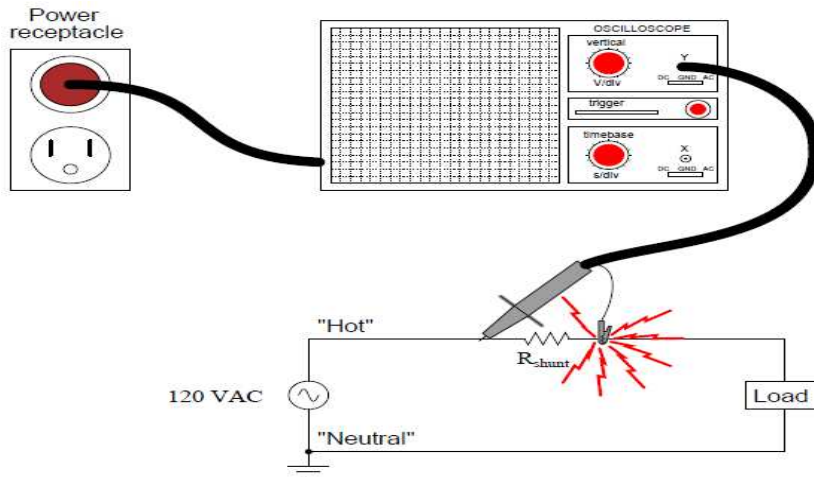
sol) $V_p = 2.25 V$, $V_{p-p} = 4.50 V$, $V_{RMS} = V_p / \sqrt{2} = 1.59 V$, $f = 40 Hz$

12. "vertical sensitivity"를 2 Volt/Div 그리고 "timebase"를 10 μs /Div으로 했을 경우 아래 톱니파의 최대전압, 진폭 그리고 진동수를 계산하라



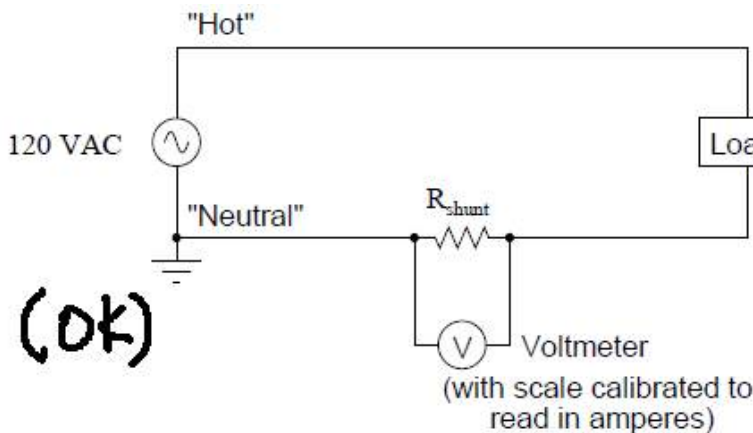
sol) $V_p = 8 V$, $V_{p-p} = 16 V$, $f = \frac{1}{15 \times 10 \mu Hz} = 6.67 Hz$

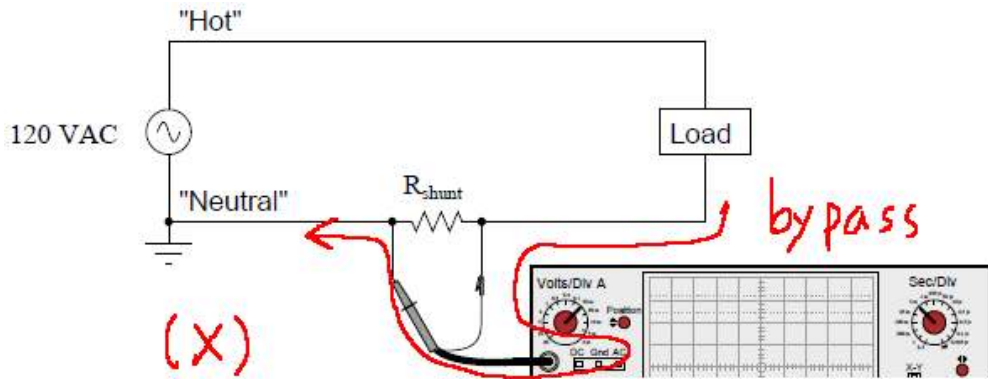
14. 오실로스코프는 전류가 아닌 전압만을 직접 측정할 수 있다. 오실로스코프로 AC current 를 측정할 수 있는 한 가지 방법은 shunt resistor 양단의 전압강하 (전위차)를 측정하는 것이다. 저항 양단의 전압강하는 저항을 통해 흐르는 전류에 비례하므로 파의 모양에 상관없이 전류는 정확하게 같은 형태의 파형을 유지하면서 전압강하에 의해 계산될 것이다. 그러나 대부분 전자장치들이 접지되어 있는데, 이러한 장치의 한 부분을 오실로스코프에 연결할 때는 아주 주의해야만 한다.



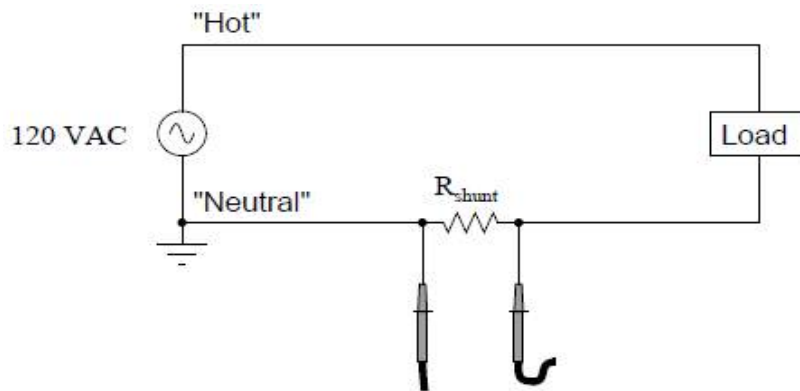
sol) 오실로스코프의 접지전극은 오실로스코프의 금속몸체와 전기적으로 공통이기 때문에 저항 양단의 교류전압을 측정하기 위해 위 그림과 같이 연결하게 되면 회로는 오실로스코프와 “쇼트 (합선)”되면서 오실로스코프 내부회로를 통해 과전류가 흐르면서 회로를 손상시키게 된다. 따라서 위 그림과 같이 오실로스코프 프로브의 접지선을 회로에 직접 연결해서는 절대 안 된다.

15. 션트저항 (shunt resistor)은 분로저항 또는 전류 분류기라고도 하며 큰 전류를 측정하기 위해 사용하는 정밀하고 아주 작은 값을 가진 저항을 말한다. 분로저항 양단의 전압강하를 측정하여 그 결과를 옴의 법칙에 적용 전류를 얻게 된다. 그런데 오실로스코프를 이용하여 전압강하를 측정하기 위해 아래 그림과 같이 연결하게 되면 회로 전체에 큰 손상을 가져올 수도 있다. 그 이유를 설명하라. (멀티미터는 상관없음: 접지독립)





sol) 전원의 접지와 오실로스코프의 접지선은 오실로스코프 금속몸체와 함께 전기적으로 공통이다. 따라서 위와 같이 오실로스코프 탐침을 연결하게 되면 회로는 "shorted circuit" 되면서 오실로스코프 내부 회로에도 과전류가 흘러 회로를 손상시킬 수 있다. 따라서 공통단자인 접지를 제외한 오실로스코프의 (+)-단자 두 개만을 이용하여 아래 그림과 같이 연결함으로써 분로저항 사이의 전위차를 측정할 수 있게 된다.





성 명: _____

학 번: _____

분반/조: _____

조 원: _____

담당교수: _____

담당조교: _____

실험일시: _____ 년 _____ 월 _____ 일 _____ 요일 _____ 시

제출일시: _____ 년 _____ 월 _____ 일 _____ 요일 _____ 시

4. 실험결과 및 분석

1) 오실로스코프와 신호발생기

(1) 신호발생기로 전압을 $V_{p-p} = 200 \text{ mV}$ 로 설정한 후 세 종류의 파형을 만들고, 각각의 경우 오실로스코프를 이용하여 아래의 표를 완성하라.

① 정현파

| 주파수 (Hz) | TIME/DIV (ms) | 수평축의 칸 수 | 주기 (sec) | 주파수 (Hz) | VOLTS/DIV (mV) | 수직축의 칸 수 | V_{p-p} (mV) |
|----------|---------------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------------|
| 50 | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | |
| 150 | | | | | | | |

정현파의 $V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$, 삼각파의 $V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{3}}$

② 삼각파

| 주파수 (Hz) | TIME/DIV (ms) | 수평축의 칸 수 | 주기 (sec) | 주파수 (Hz) | VOLTS/DIV (mV) | 수직축의 칸 수 | V_{p-p} (mV) |
|----------|---------------|----------|----------|----------|----------------|----------|----------------|
| 50 | | | | | | | |
| 100 | | | | | | | |
| 150 | | | | | | | |

③ V_{rms} (root mean square voltage) 측정

| 주파수 (Hz) | 정현파 | | | 삼각파 | | |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 오실로스코프 | 멀티미터 | 이론값 | 오실로스코프 | 멀티미터 | 이론값 |
| | $V_{rms} (mV)$ | $V_{rms} (mV)$ | $V_{rms} (mV)$ | $V_{rms} (mV)$ | $V_{rms} (mV)$ | $V_{rms} (mV)$ |
| 50 | | | | | | |
| 100 | | | | | | |
| 150 | | | | | | |

(2) 두 대의 신호발생기로부터 나오는 정현파를 오실로스코프의 CH1과 CH2에 연결하고 주파수 비를 $f_1 : f_2 = 1 : 1$ 로 고정한 상태에서 각 위상차 $\delta\phi = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi$ 에 서의 리사쥬 도형을 생성한 뒤 그 결과를 아래 표에 나타내어라. (컴퓨터 또는 스마트폰을 이용하여 리사쥬 도형의 이미지를 첨부하라.)

| 위상차 | 리사쥬 도형 | 주파수 (Hz) |
|------------------|--------|--------------------|
| 0° | | $f_1 =$ $f_2 =$ |
| $\frac{\pi}{4}$ | | $f_1 =$ $f_2 =$ |
| $\frac{\pi}{2}$ | | $f_1 =$ $f_2 =$ |
| $\frac{3\pi}{4}$ | | $f_1 =$ $f_2 =$ |
| π° | | $f_1 =$ $f_2 =$ |

(3) 두 대의 신호발생기로부터 나오는 정현파를 오실로스코프의 CH1과 CH2에 연결하고 주파수 비를 $f_1 : f_2 = 1 : 3$ 으로 고정한 상태에서 위상차 $\delta\phi = 0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4, \pi$ 에 따른 리사쥬 도형을 생성한 뒤 그 결과를 아래 표에 나타내어라. (컴퓨터 또는 스마트폰을 이용하여 리사쥬 도형의 이미지를 첨부하라.)

| 위상차 | 리사쥬 도형 | 주파수 (Hz) |
|------------------|--------|--------------------|
| 0° | | $f_1 =$ $f_2 =$ |
| $\frac{\pi}{4}$ | | $f_1 =$ $f_2 =$ |
| $\frac{\pi}{2}$ | | $f_1 =$ $f_2 =$ |
| $\frac{3\pi}{4}$ | | $f_1 =$ $f_2 =$ |
| π° | | $f_1 =$ $f_2 =$ |

5. 결론 (본 실험을 통해 얻은 결과를 간단히 기술하라.)