회로 이론/실습

9. 인덕터

9. 인덕터

9-1. 목적 및 배경

9-2. 소요 부품 및 장비

9-3. 유용한 공식

9-4. 인덕터의 리액턴스

8-5. 주파수에 따른 인덕터의 특성

8-6. 인덕터의 전압, 전류 위상차

8-7. 인덕터의 AC, DC 특성

8-8. 위상차

9-1. 목적 및 배경

- 인덕터의 용량을 읽는 법을 학습한다.
- 인덕터와 저항의 직렬회로를 해석한다.
- 주파수에 따라 인덕터의 리액턴스값의 변화를 실험한다.
- 인덕터에 의한 위상의 변화를 관측한다.

9-2. 소요 부품 및 장비

- 부품
  - 저항 (1/4W) : 100Ω, 1kΩ
  - 인덕터 : 1mH, 33mH
- 장비
  - 브레드 보드
  - 디지털 멀티미터 (Digital Multi-Meter)
  - 직류 전원 공급 장치 (DC Power Supply)
  - 오실로스코프 (Oscilloscope)
  - 신호 발생기 (Function Generator)

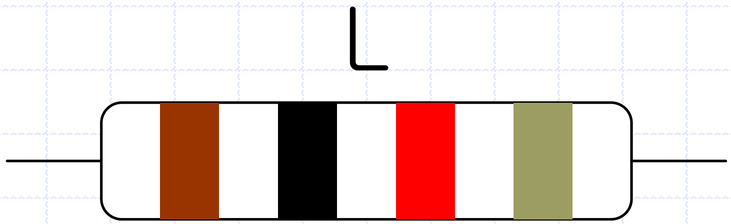
9-3. 유용한 공식

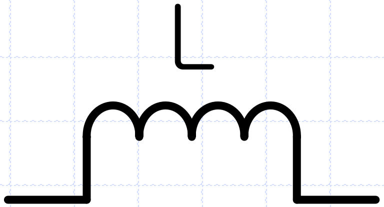
✓ 색깔로 용량 표시 (저항과 같음)

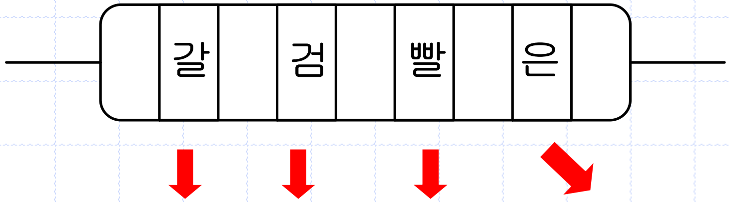
번호	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
색깔	흑색	갈색	적색	등색	황색	녹색	청색	자색	회색	백색	금색	은색
color	Black	Brown	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Violet	Gray	White	Gold	Silver
승수	$\times 10^0$ $= \times 1$	$\times 10^1$	$\times 10^2$	$\times 10^3$	$\times 10^4$	$\times 10^5$	$\times 10^6$	$\times 10^7$	$\times 10^8$	$\times 10^9$	$\times 0.1$	$\times 0.01$
오차율 (급수)	±20%	±1% (F)	±2% (G)	±3%	±4%	–	–	–	–	±10%	±5% (J)	±10% (K)

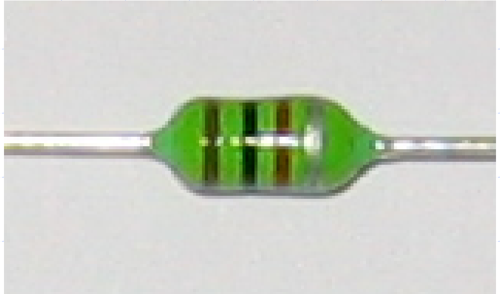
9-3. 유용한 공식

- ✓ 색깔로 용량을 표시





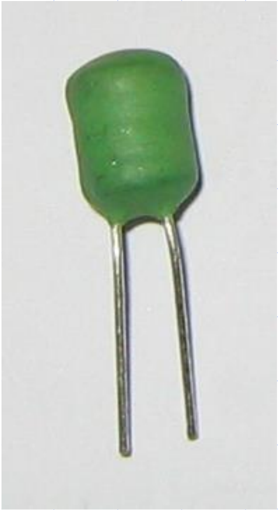




1 0 X100 ±10% = 1,000μH 오차 ±10% 저항

9-3. 유용한 공식

✓ 용량을 숫자로 표시



✓ 용량 : 33mH

3	3	3	
▼	▼	▼	
3	3	X1000	uH

✓ 용량 : 1mH

1	0	2	
▼	▼	▼	
1	0	X100	uH

9-3. 유용한 공식

- 인덕터의 리액턴스

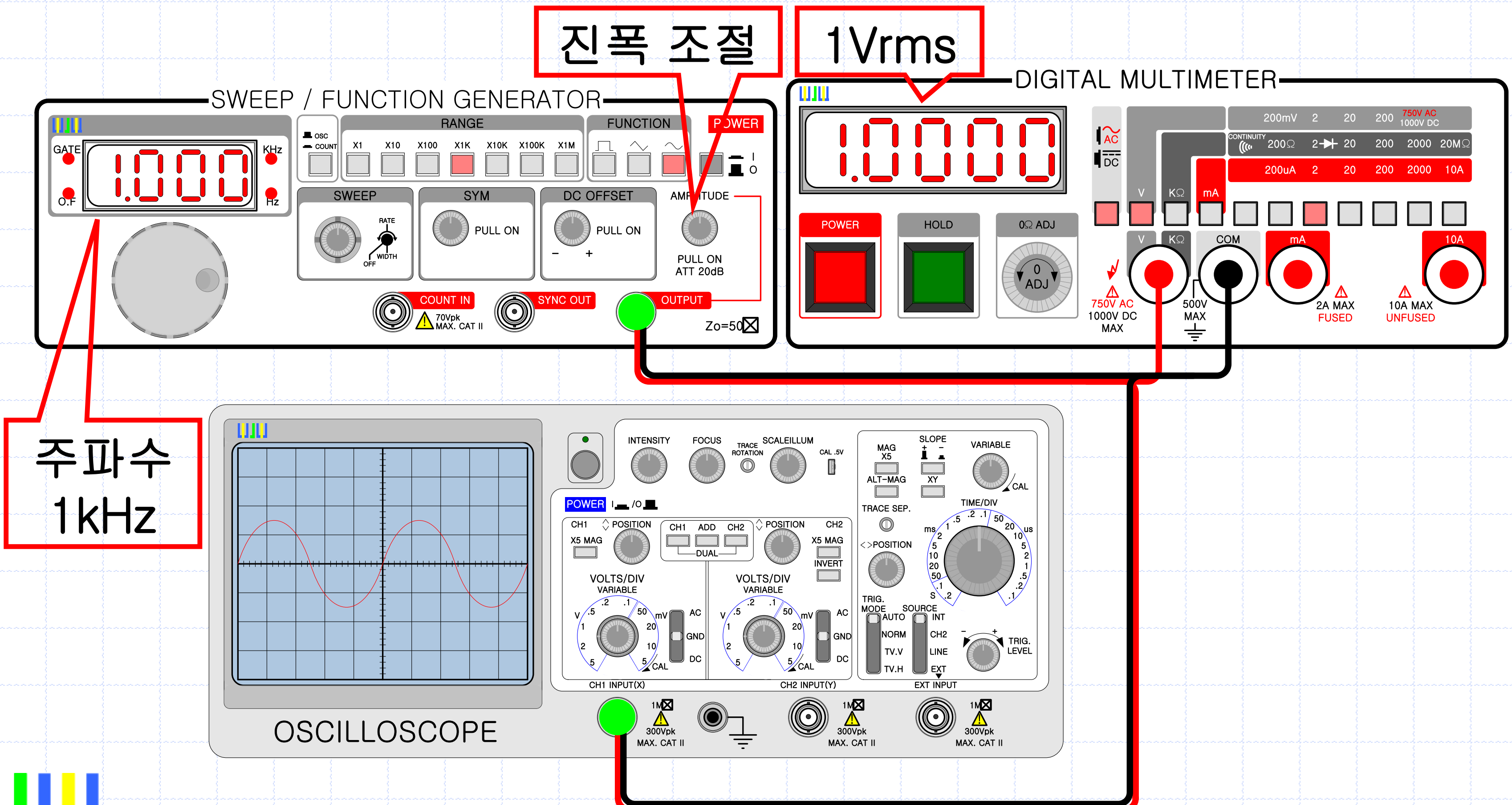
$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

- 각주파수 (ω)

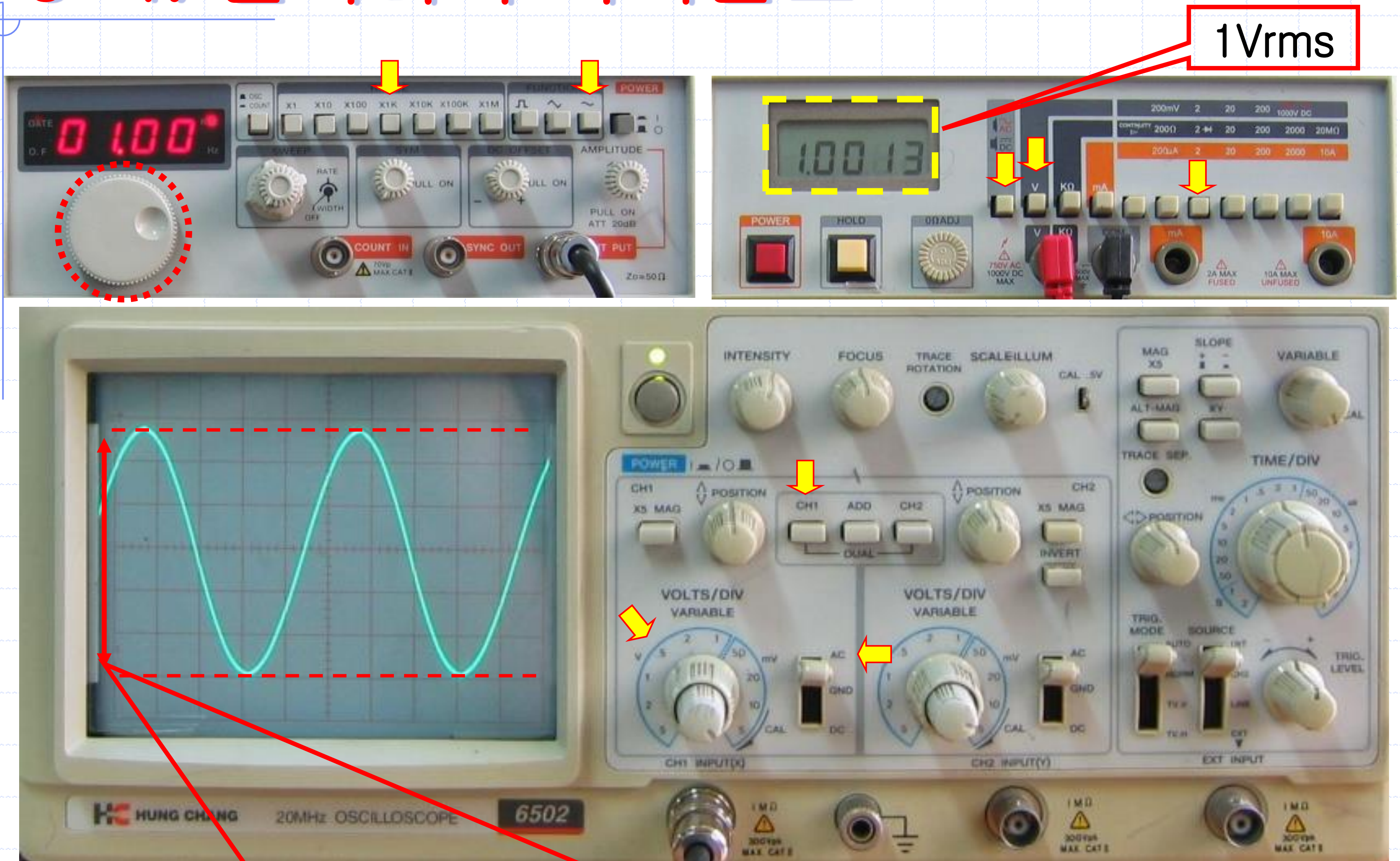
$$\omega = 2\pi f$$

9-4. 인덕터의 리액턴스

✓ 다음과 같이 회로를 연결하고, 신호 발생기를 조절하여 주파수 1kHz, 1Vrms 의 정현파가 나오도록 한다.



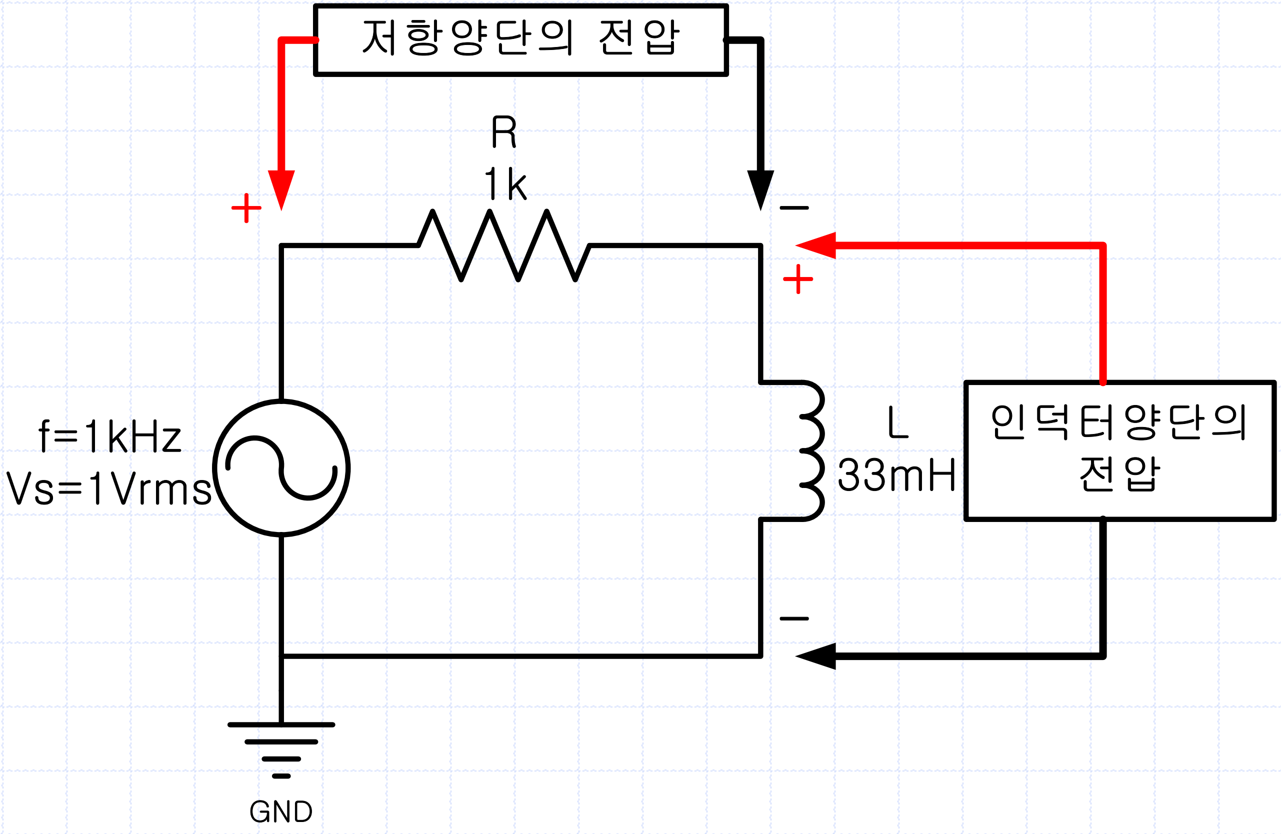
9-4. 인덕터의 리액턴스



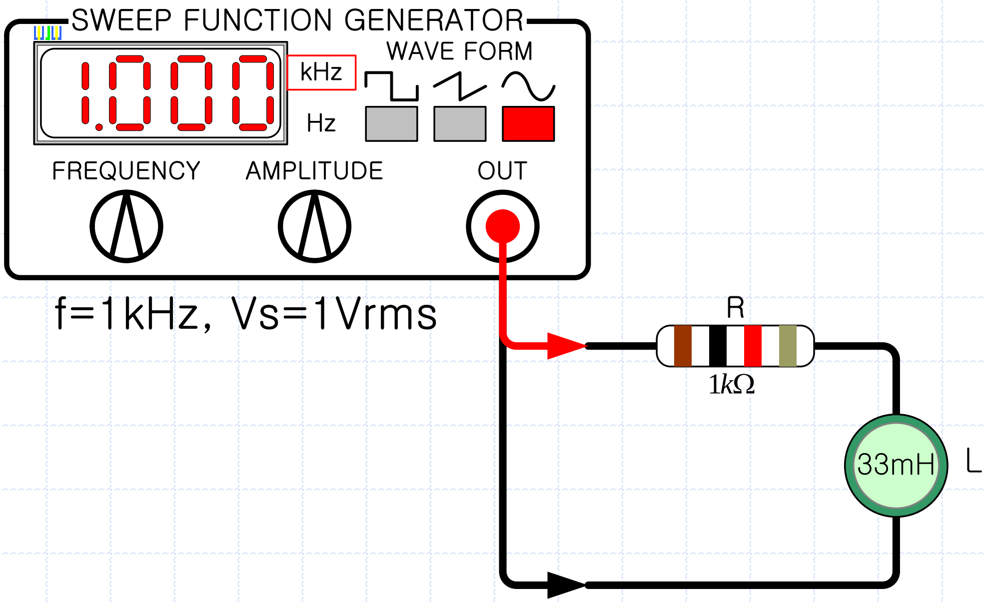
5.6칸X0.5V/DIV=2.8Vpp, 2.8Vpp/2=1.4Vp, 1.4VpX0.707=1Vrms

9-4. 인덕터의 리액턴스

- 다음과 같이 회로를 연결하고, 저항과 인덕터 양단의 전압을 디지털 멀티미터 (DMM) 을 사용하여 측정하라.



9-4. 인덕터의 리액턴스

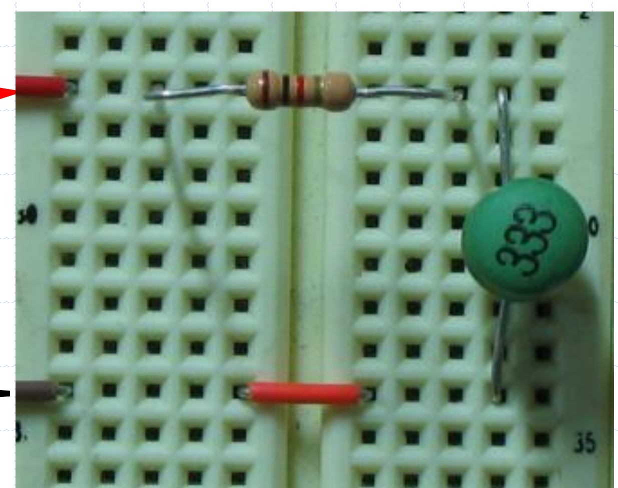


신호 발생기

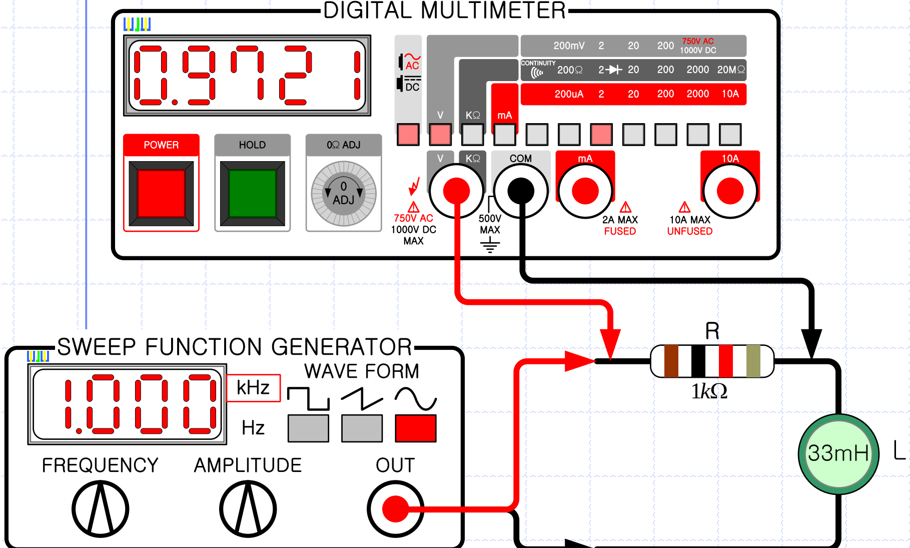
Function Generator

정현파
1kHz
1Vrms

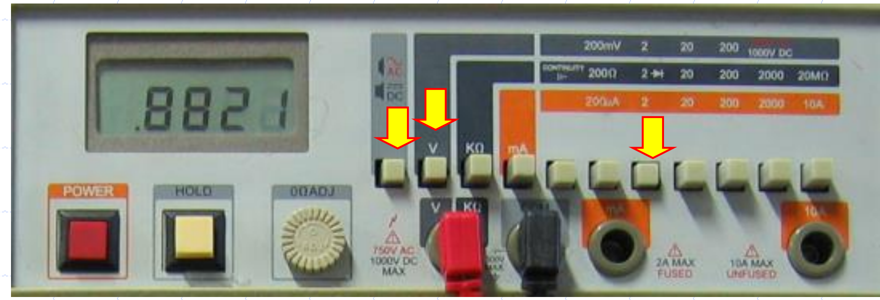
GND

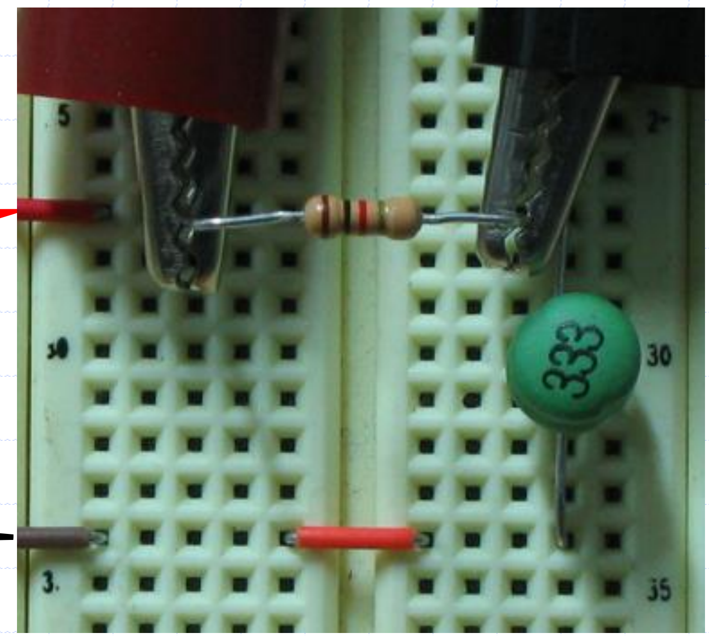


9-4. 인덕터의 리액턴스



f=1kHz, Vs=1Vrms





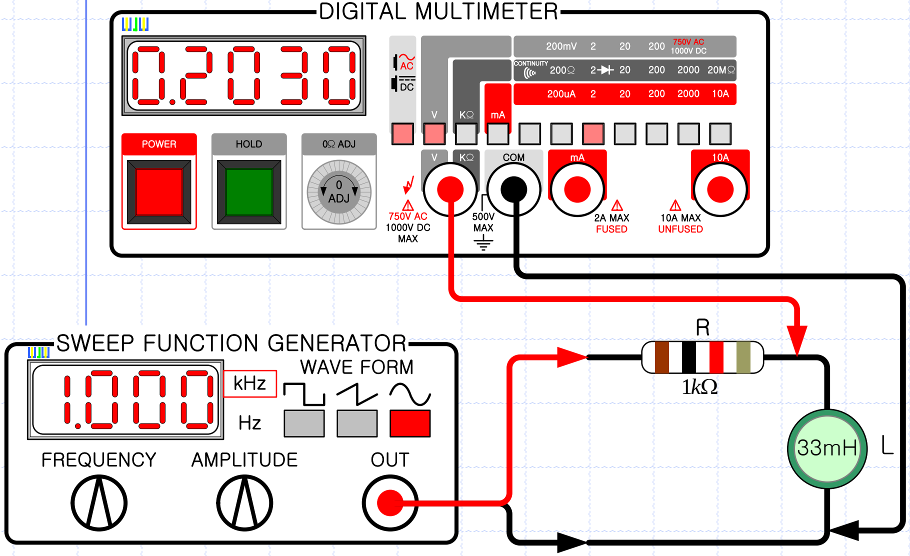
신호 발생기

Function Generator

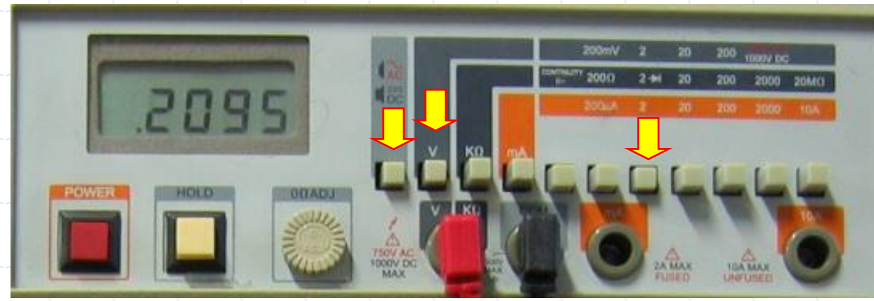
정현파
1kHz
1Vrms

GND

9-4. 인덕터의 리액턴스



f=1kHz, Vs=1Vrms

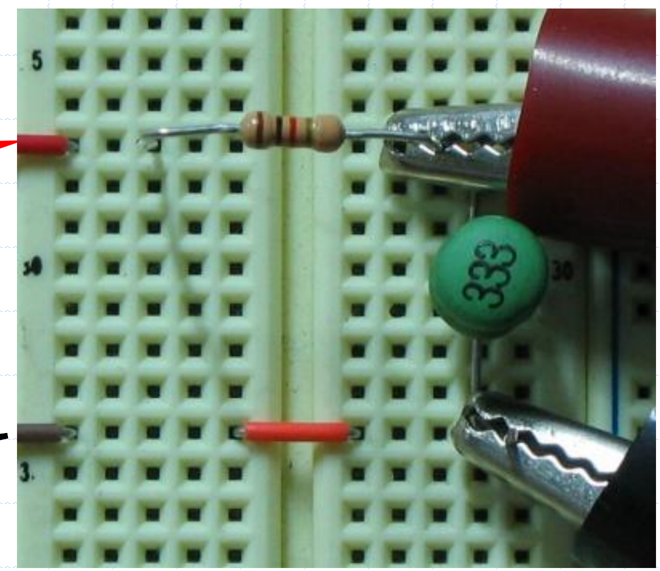


신호 발생기

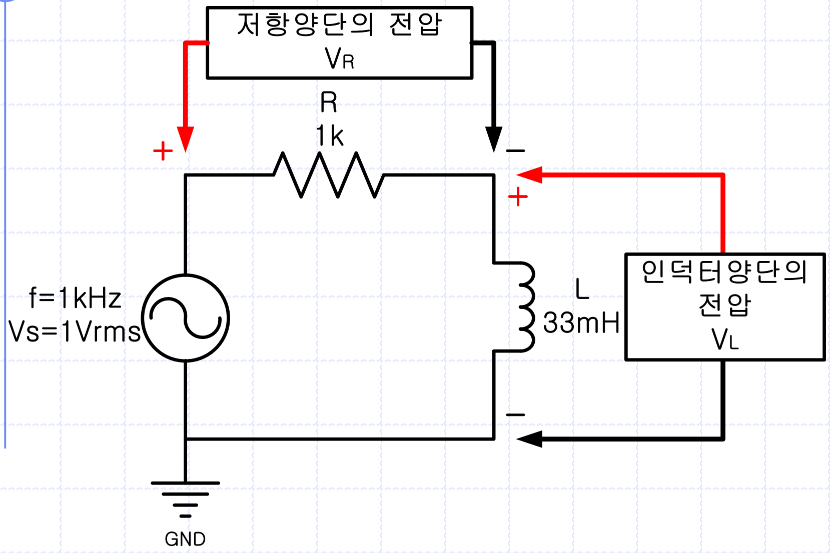
Function Generator

정현파
1kHz
1Vrms

GND



9-4. 인덕터의 리액턴스



$$R = 1{,}000\Omega$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$
$$= 2\pi \times 1{,}000 Hz \times 33 \times 10^{-3} H$$
$$= 207.345\Omega$$

$$Z = R + jX_L = 1{,}000 + j207.345[\Omega]$$
$$= 1021.27\angle 11.714°[\Omega]$$

$$V_R = \frac{R}{R + jX_L} \times v_S = \frac{1{,}000[\Omega]}{1{,}000 + j207.345[\Omega]} \times 1V_{rms} = \frac{1{,}000\angle 0°[\Omega]}{1021.27\angle 11.714°[\Omega]} \times 1V_{rms}$$
$$= 0.9792\angle 11.714° V_{rms}$$

$$V_L = \frac{jX_L}{R + jX_L} \times v_S = \frac{j207.345[\Omega]}{1{,}000 + j207.345[\Omega]} \times 1V_{rms} = \frac{207.345\angle 90°[\Omega]}{1021.27\angle 11.714°[\Omega]} \times 1V_{rms}$$
$$= 0.203\angle -78.26° V_{rms}$$

9-4. 인덕터의 리액턴스

$V_R(\text{이론}) = 0.9721V$

$V_L(\text{이론}) = 0.203V$

$I_T(\text{이론}) = \frac{V_R}{R} = \frac{0.9721V}{1k\Omega} = 0.9721mA$

$X_L(\text{이론}) = \frac{V_L}{I_T} = \frac{0.203V}{0.9721mA} = 208.83\Omega$

$$L(\text{이론}) = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{208.83\Omega}{2\pi \times 1{,}000Hz} = 0.03324H = 33.24mH$$

$V_R(\text{실험}) = 0.8821V$

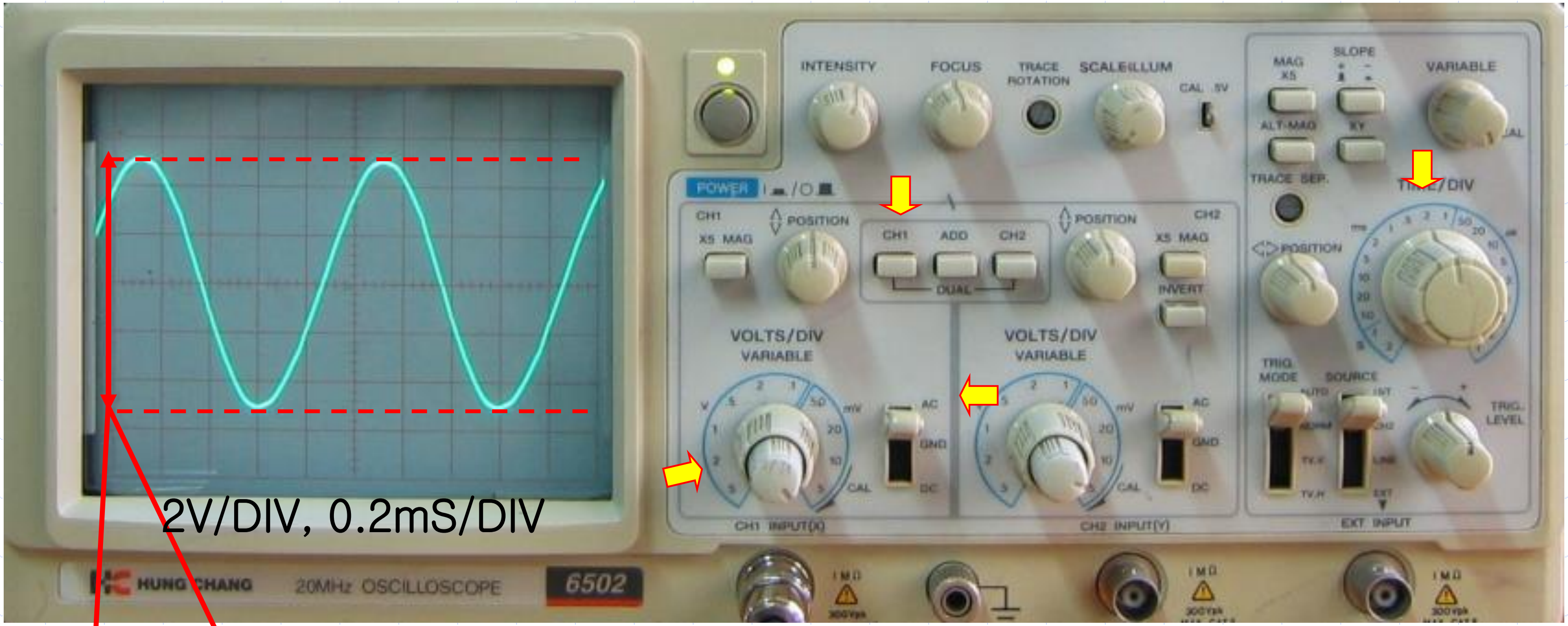
$V_L(\text{실험}) = 0.2095V$

$I_T(\text{실험}) = \frac{V_R}{R} = \frac{0.8821V}{1k\Omega} = 0.8821mA$

$X_L(\text{실험}) = \frac{V_L}{I_T} = \frac{0.2095V}{0.8821mA} = 237.5\Omega$

$$L(\text{실험}) = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{237.5\Omega}{2\pi \times 1{,}000Hz} = 0.0378H = 37.8mH$$

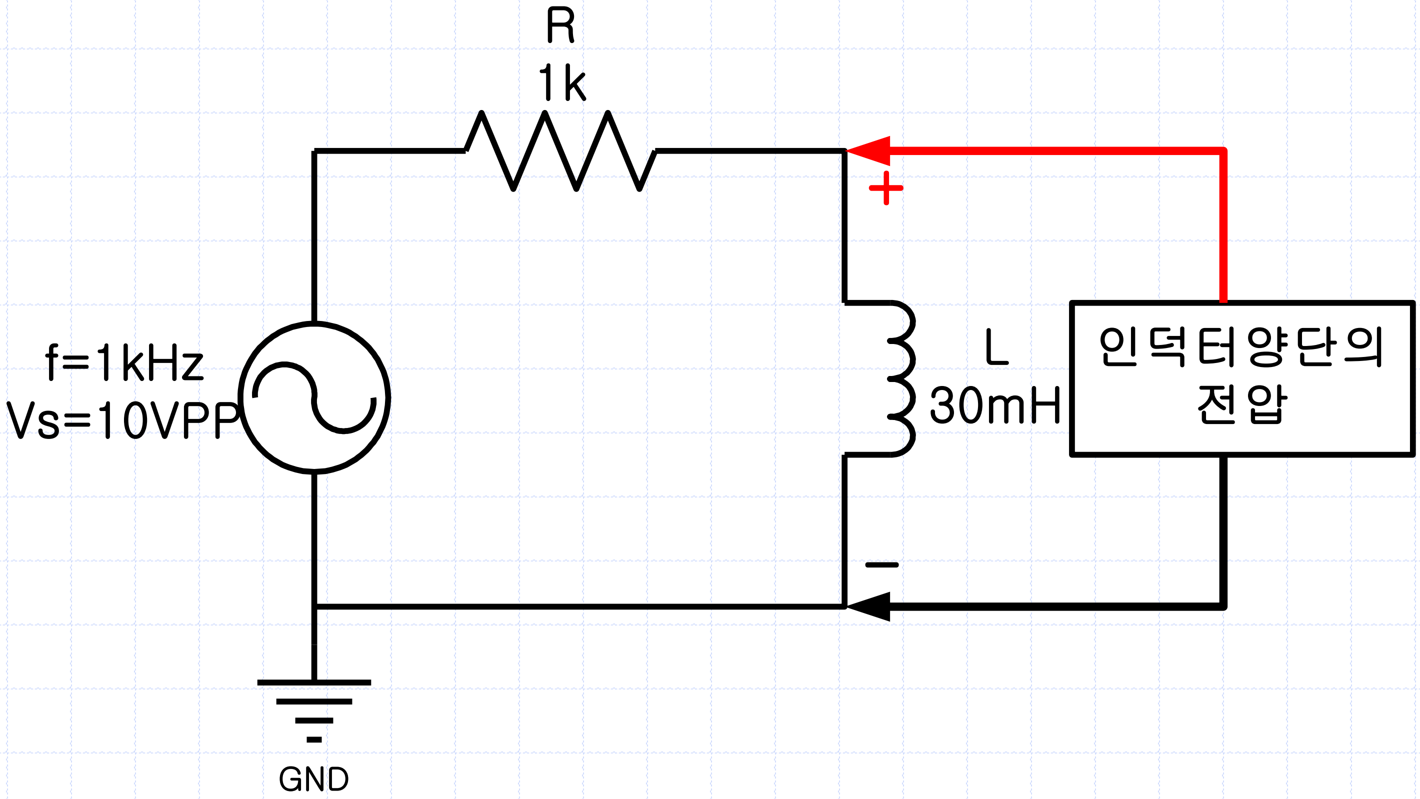
9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성



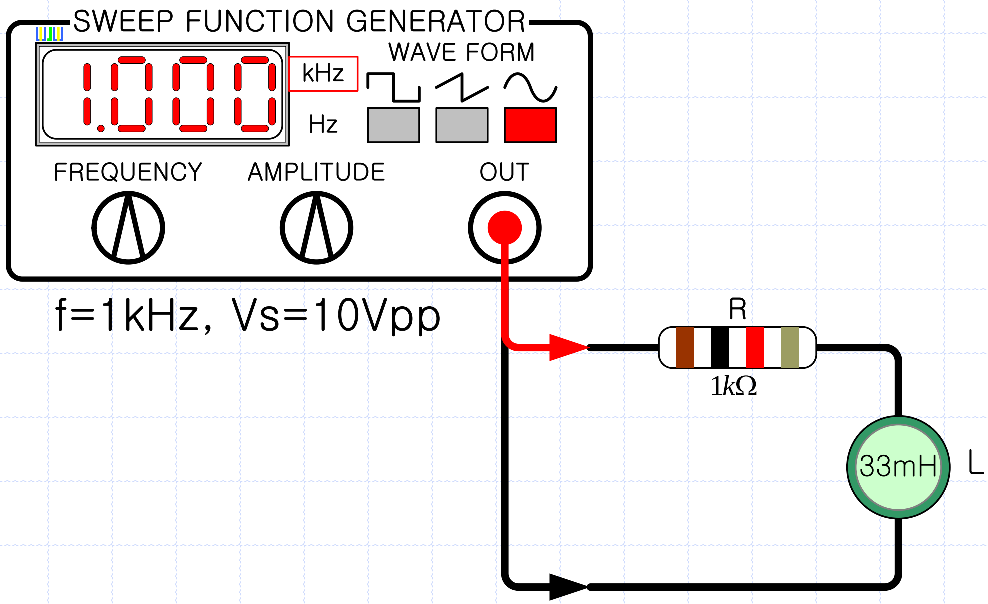
5칸X2V/DIV=10Vpp

9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성

✓ 다음과 같이 회로를 연결하고, 인덕터 양단의 전압을 오실로스코프를 사용하여 측정하라.



9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성

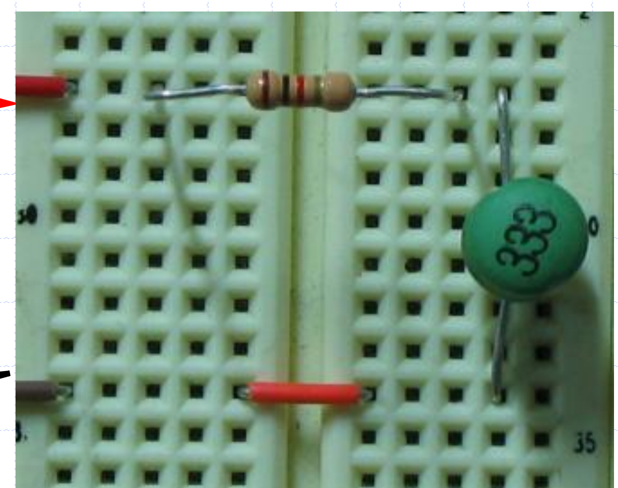


신호 발생기

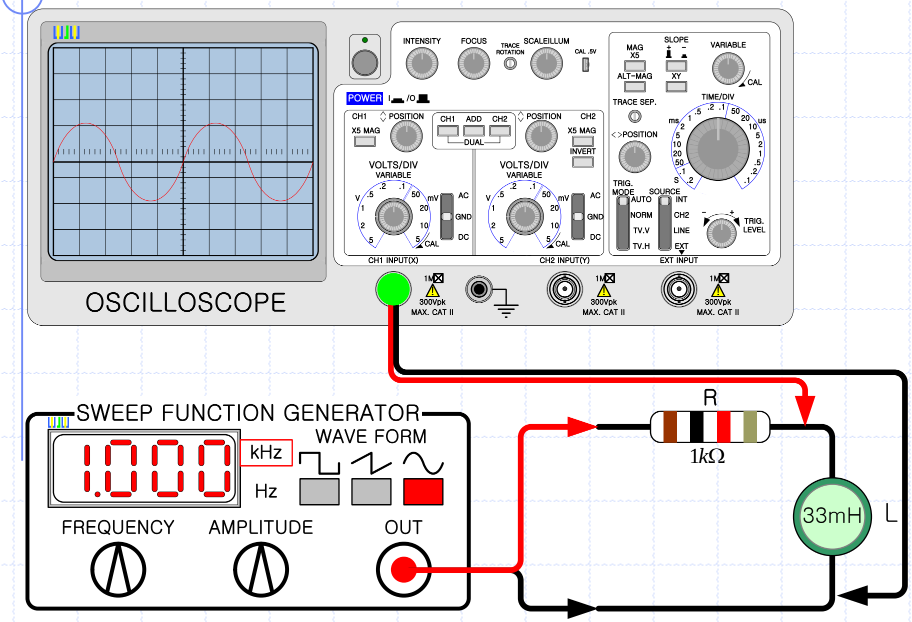
Function Generator

정현파
1kHz
10Vpp

GND

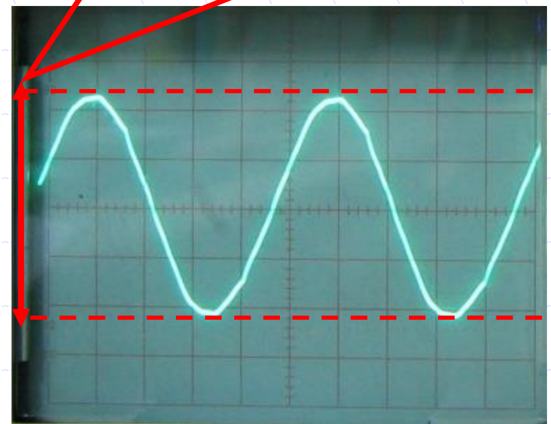


9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성



f=1kHz, Vs=10Vpp

4.4칸X0.5V/DIV=2.2Vpp



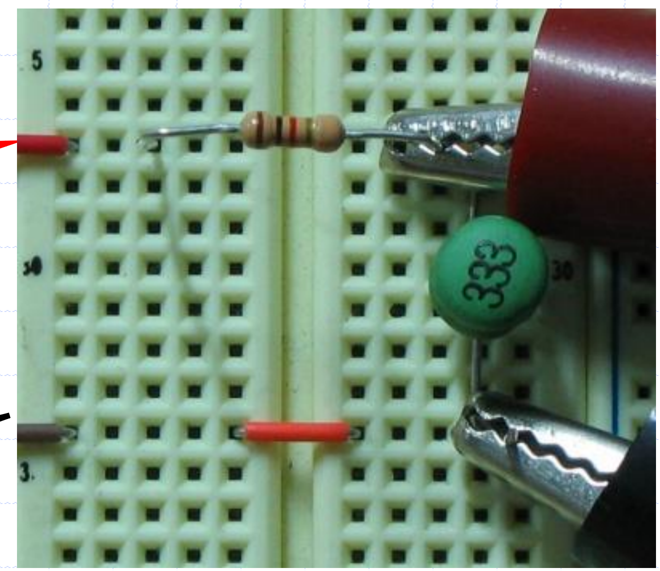
0.5V/DIV, 0.2mS/DIV

신호 발생기

Function Generator

정현파
1kHz
10Vpp

GND



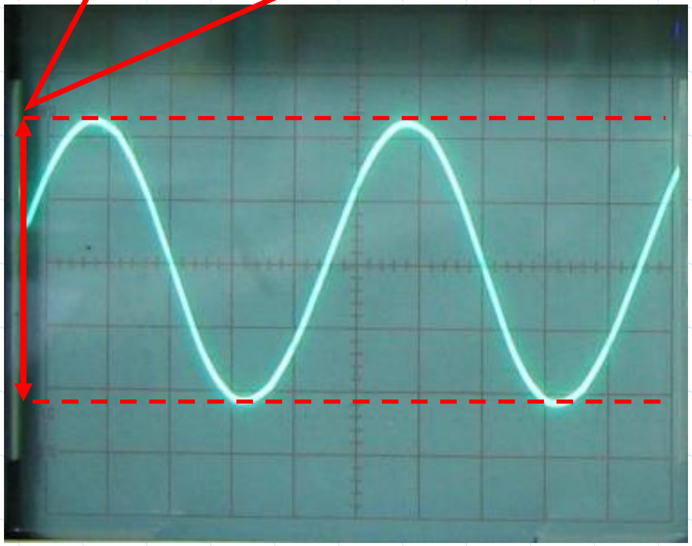
9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성

- 주파수를 10kHz로 변경하고, 측정을 반복한다.

10kHz

10Vpp

V_L : 4.5칸X2V/DIV=9Vpp

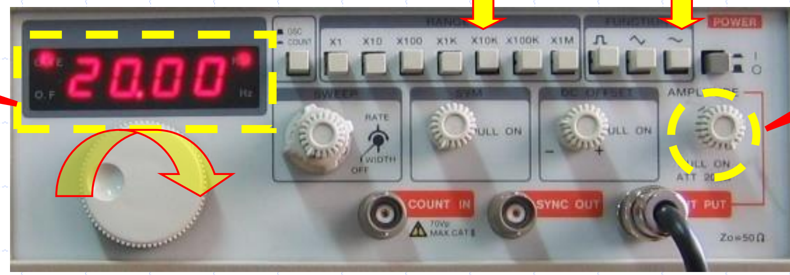


2V/DIV, 20uS/DIV

9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성

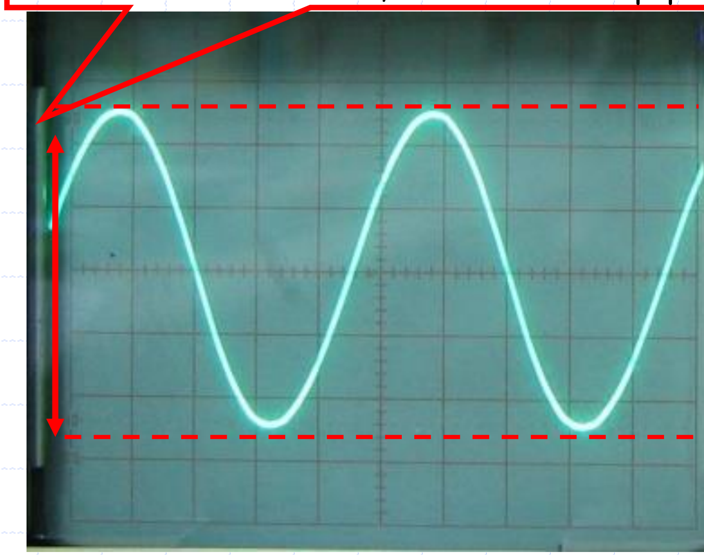
- ✓ 주파수를 20kHz로 변경하고, 측정을 반복한다.

20kHz



10Vpp

VL : 4.9칸X2V/DIV=9.8Vpp



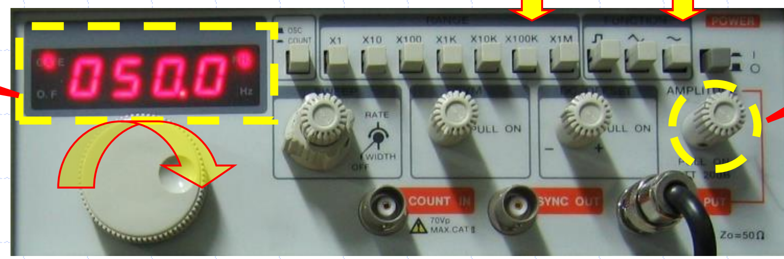
0.2V/DIV, 20uS/DIV

9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성

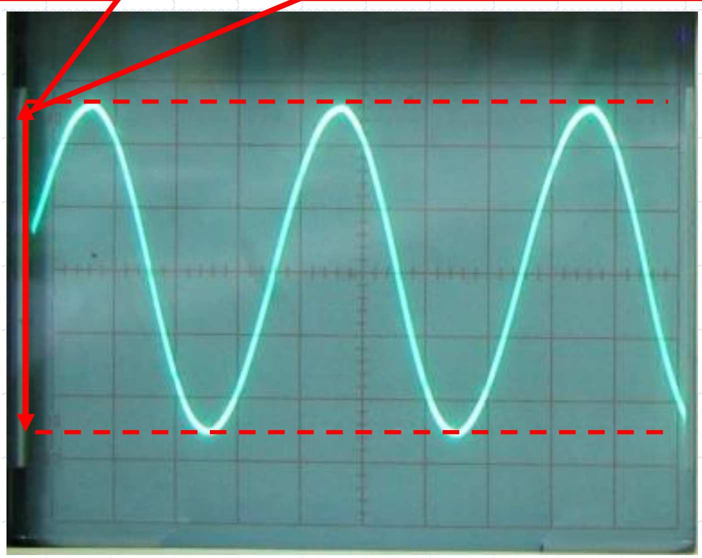
- ✓ 주파수를 50kHz로 변경하고, 측정을 반복한다.

50kHz

10Vpp



V_L : 4.9칸X2V/DIV=9.8Vpp



2V/DIV, 5uS/DIV

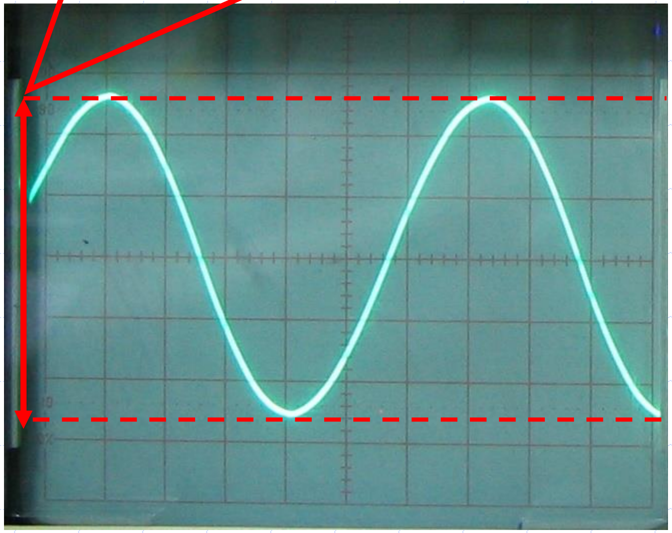
9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성

✓ 주파수를 80kHz로 변경하고, 측정을 반복한다.

80kHz

10Vpp

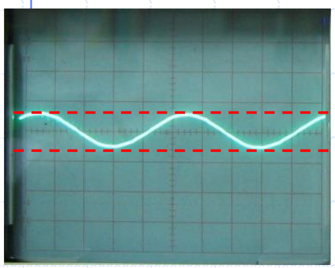
V_L : 5칸X2V/DIV=10Vpp



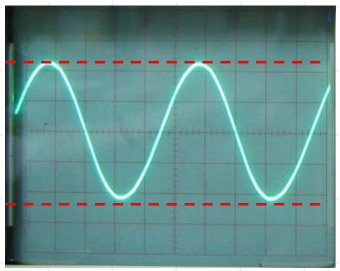
2V/DIV, 5uS/DIV

9-5A. 주파수에 따른 인덕터의 특성

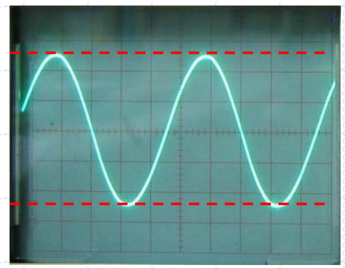
V_L 의 변화를 2V/DIV의 같은 크기로 비교



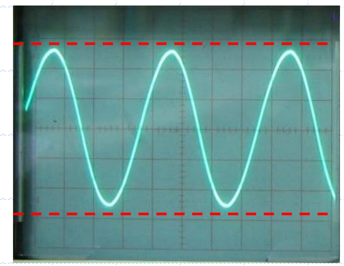
1kHz
이론 : 2.03Vpp
실험 : 2.20Vpp



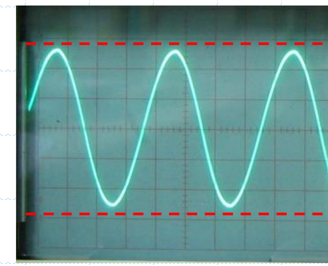
10kHz
이론 : 9.00Vpp
실험 : 9.00Vpp



20kHz
이론 : 9.72Vpp
실험 : 9.80Vpp



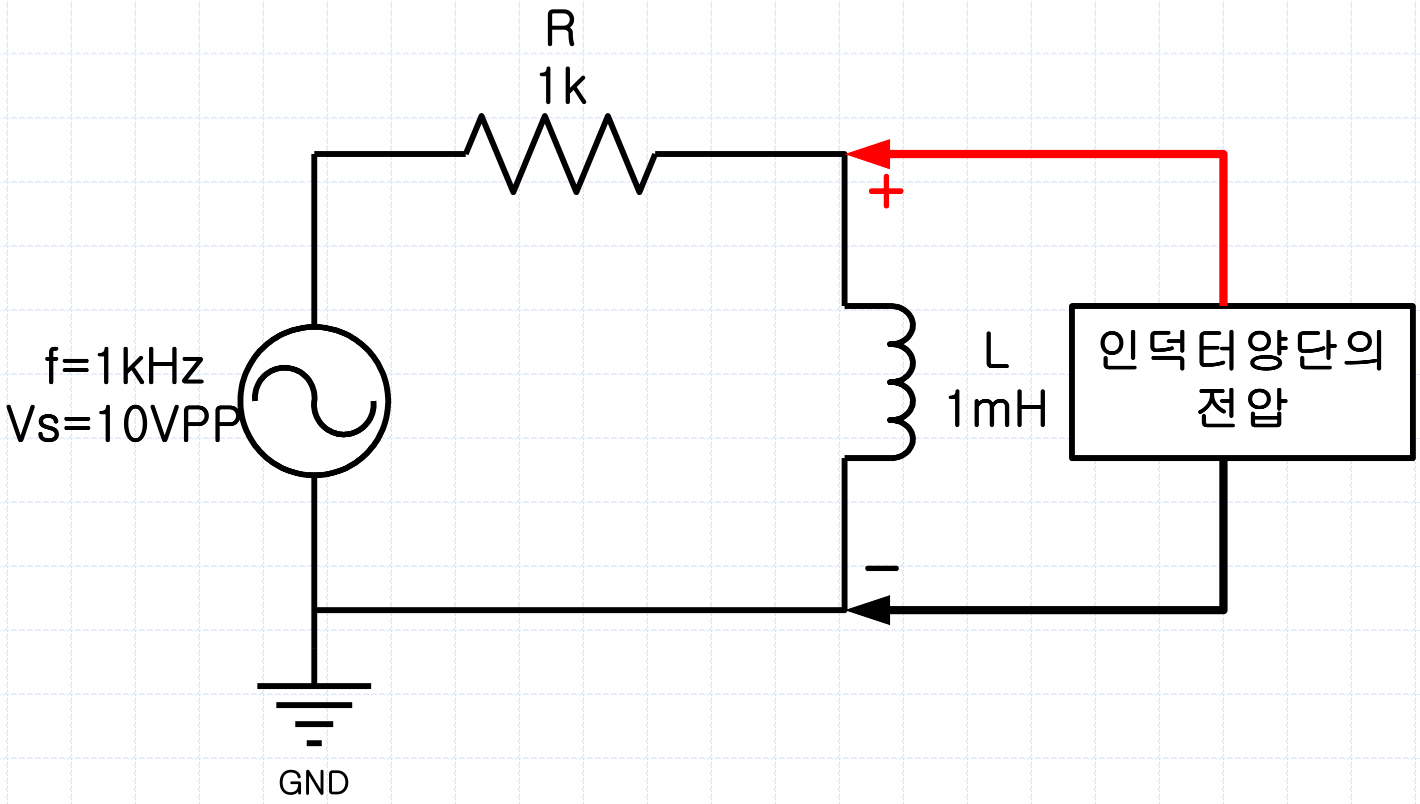
50kHz
이론 : 9.95Vpp
실험 : 9.80Vpp



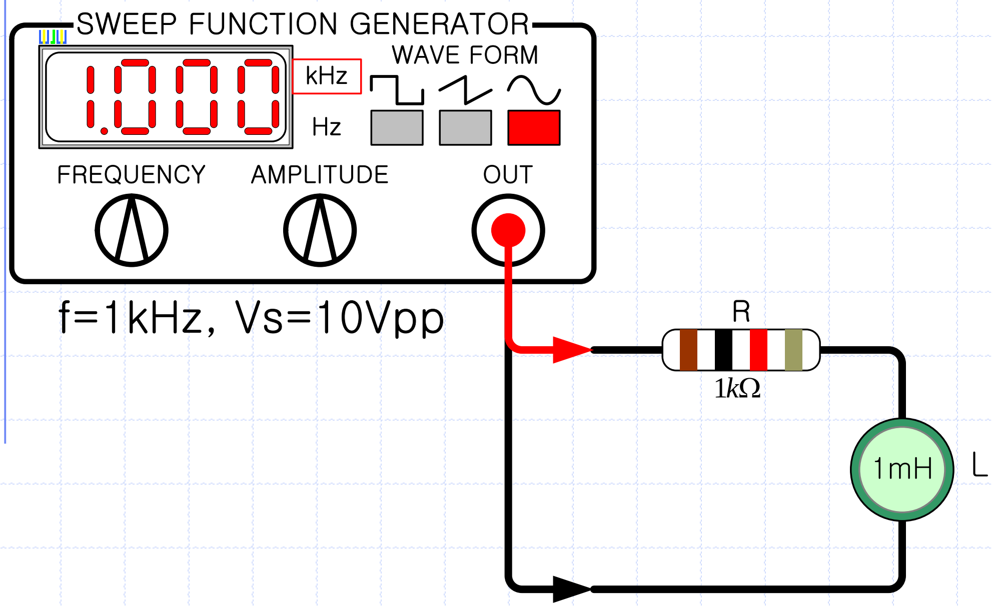
80kHz
이론 : 9.98Vpp
실험 : 10.0Vpp

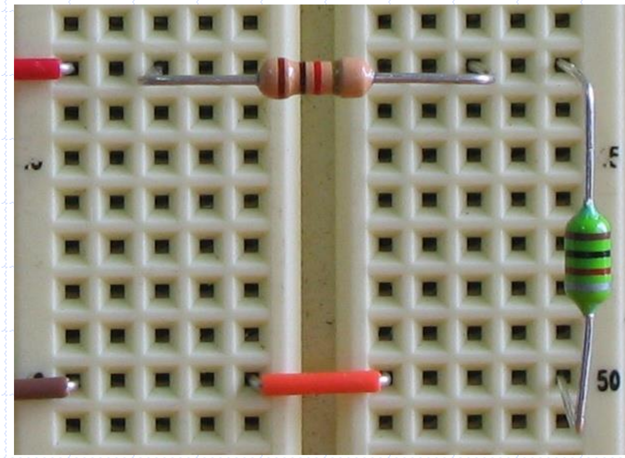
9-5B. 주파수에 따른 인덕터의 특성

- 인덕터를 1mH 로 바꾸어서 측정하라.



9-5B. 주파수에 따른 인덕터의 특성



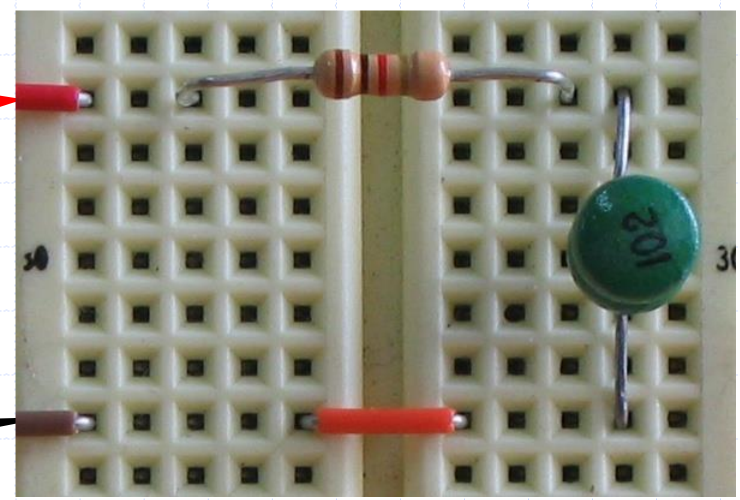


신호 발생기

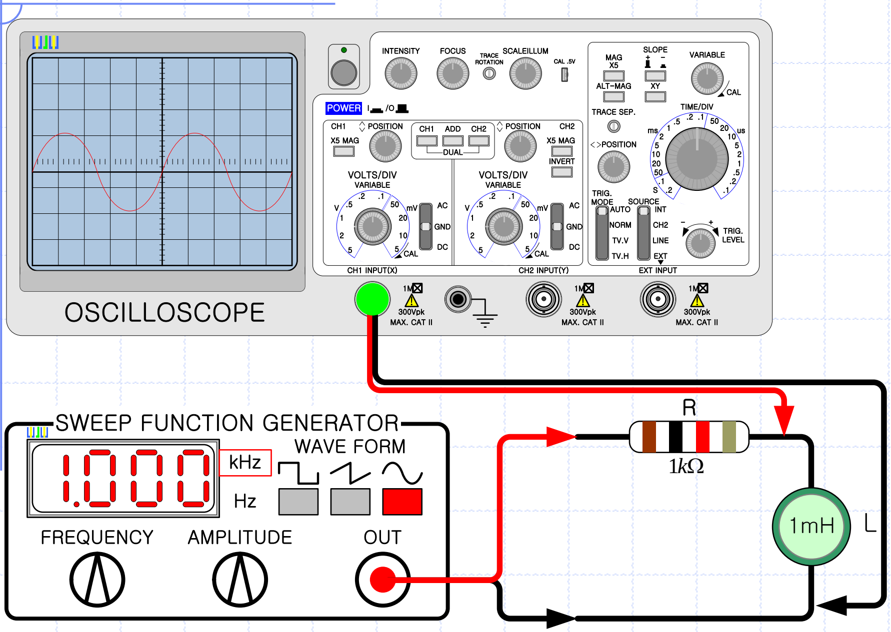
Function Generator

정현파
1kHz
10Vpp

GND

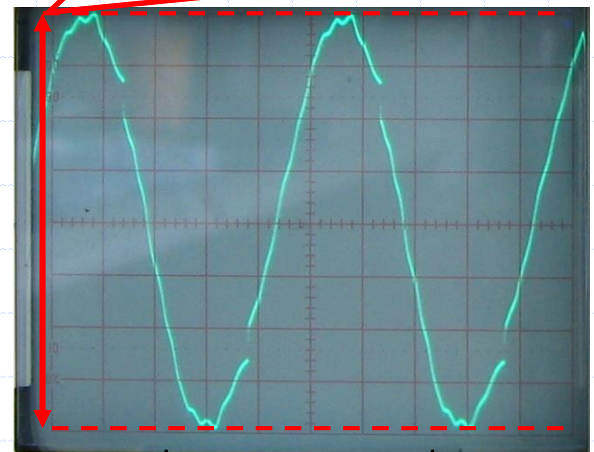


9-5B. 주파수에 따른 인덕터의 특성



f=1kHz, Vs=10Vpp

8칸X10mV/DIV=80mVpp



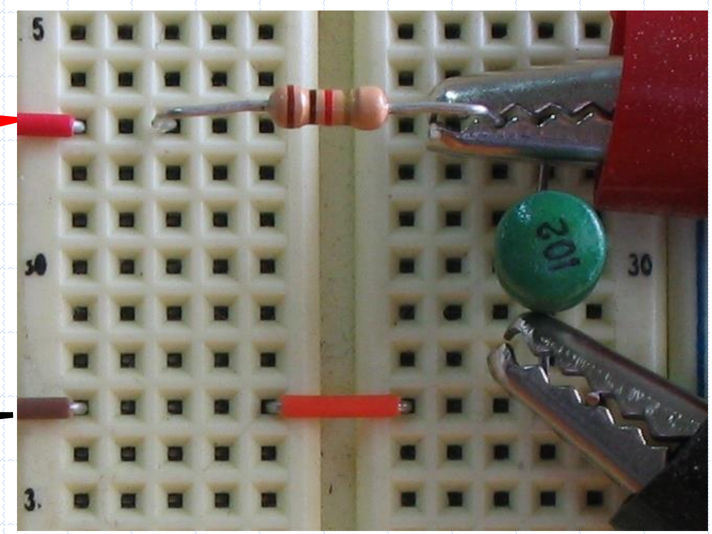
2V/DIV, 0.2mS/DIV

신호 발생기

Function Generator

정현파
1kHz
10Vpp

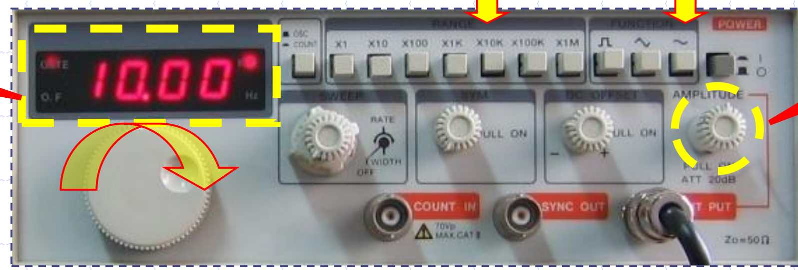
GND



9-5B. 주파수에 따른 인덕터의 특성

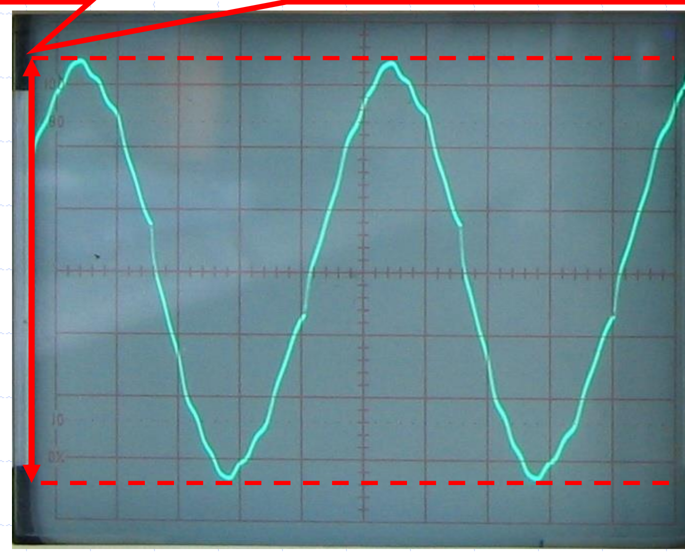
- ✓ 주파수를 10kHz로 변경하고, 측정을 반복한다.

10kHz



10Vpp

V_L : 6.5칸X0.1V/DIV=0.65Vpp

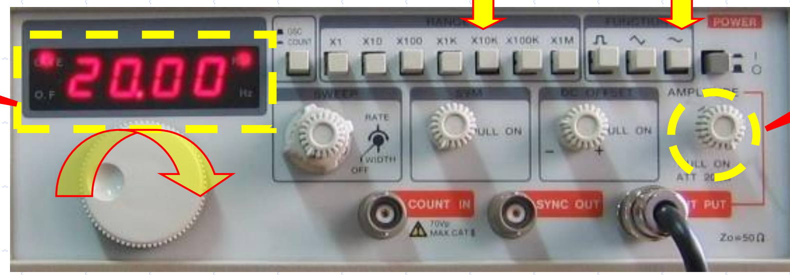


0.1V/DIV, 20uS/DIV

9-5B. 주파수에 따른 인덕터의 특성

- ✓ 주파수를 20kHz로 변경하고, 측정을 반복한다.

20kHz



10Vpp

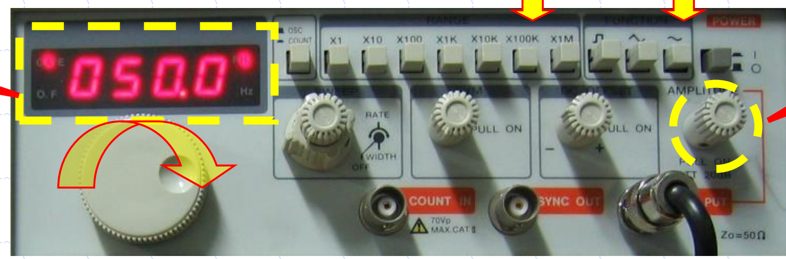
V_L : 6.5칸X0.2V/DIV=1.3Vpp

0.2V/DIV, 20uS/DIV

9-5B. 주파수에 따른 인덕터의 특성

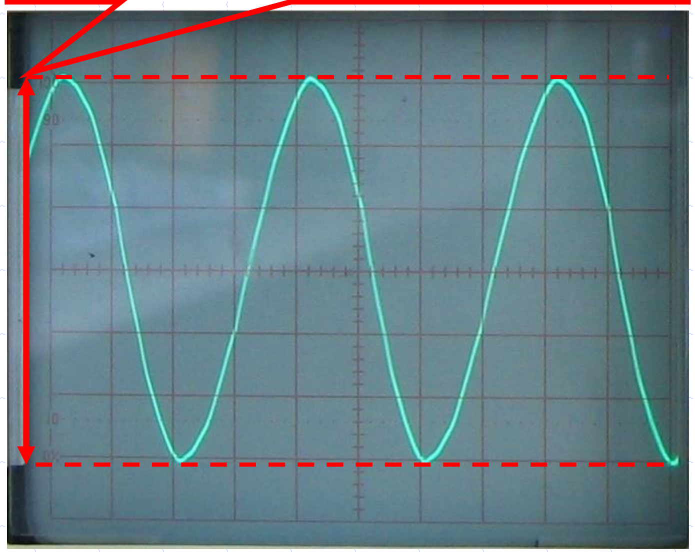
- ✓ 주파수를 50kHz로 변경하고, 측정을 반복한다.

50kHz



10Vpp

V_L : 6칸X0.5V/DIV=3Vpp



0.5V/DIV, 5uS/DIV

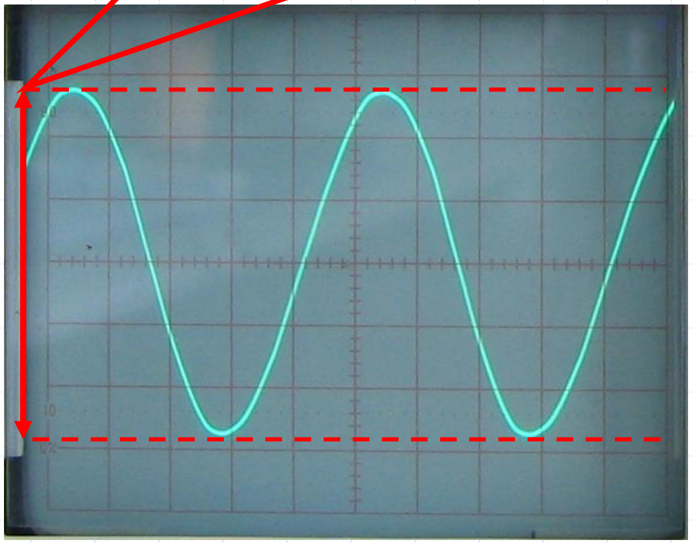
9-5B. 주파수에 따른 인덕터의 특성

✓ 주파수를 100kHz로 변경하고, 측정을 반복한다.

100kHz

10Vpp

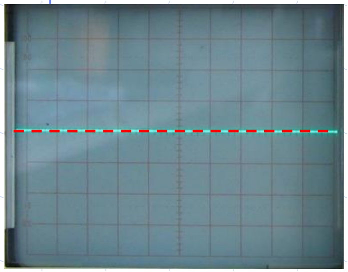
V_L : 5.6칸X1V/DIV=5.6Vpp



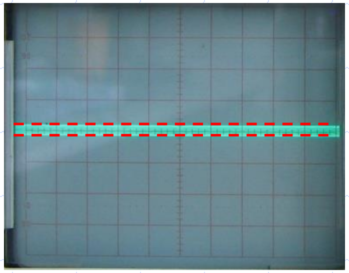
1V/DIV, 20uS/DIV

9-5B. 주파수에 따른 인덕터의 특성

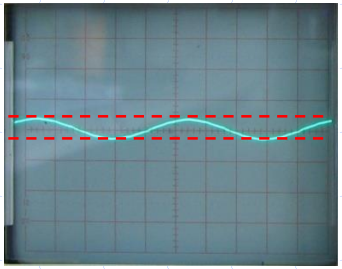
V_L 의 변화를 2V/DIV의 같은 크기로 비교



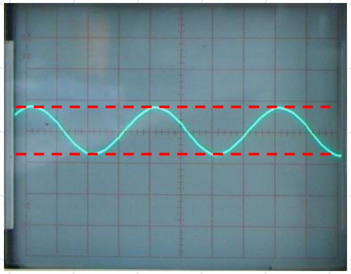
1kHz
이론 : 0.063Vpp
실험 : 0.080Vpp



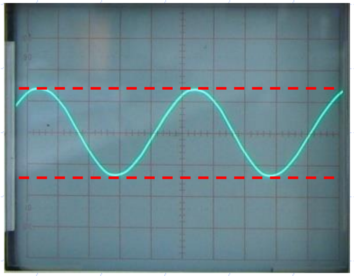
10kHz
이론 : 0.63Vpp
실험 : 0.65Vpp



20kHz
이론 : 1.25Vpp
실험 : 1.30Vpp



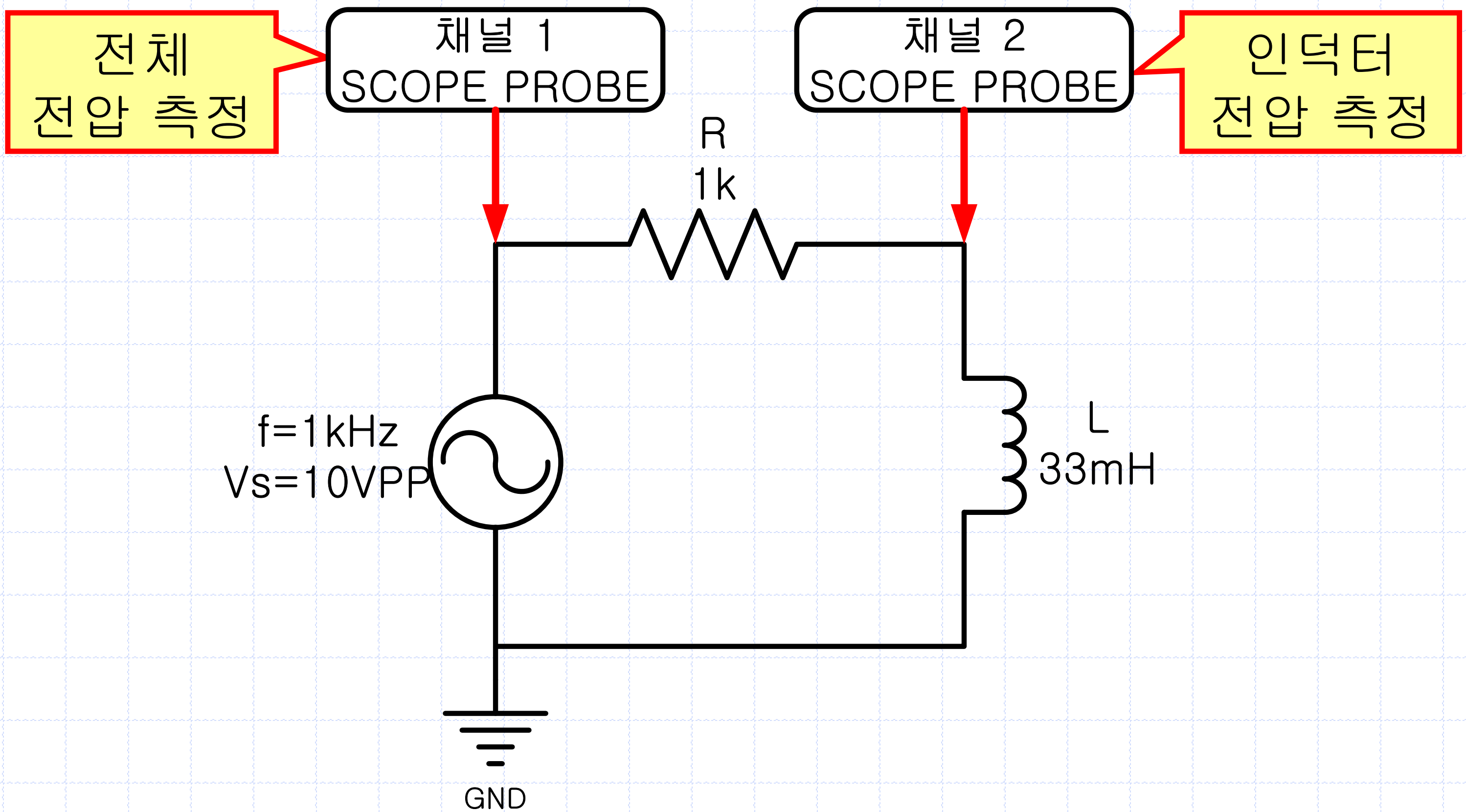
50kHz
이론 : 2.99Vpp
실험 : 3.00Vpp



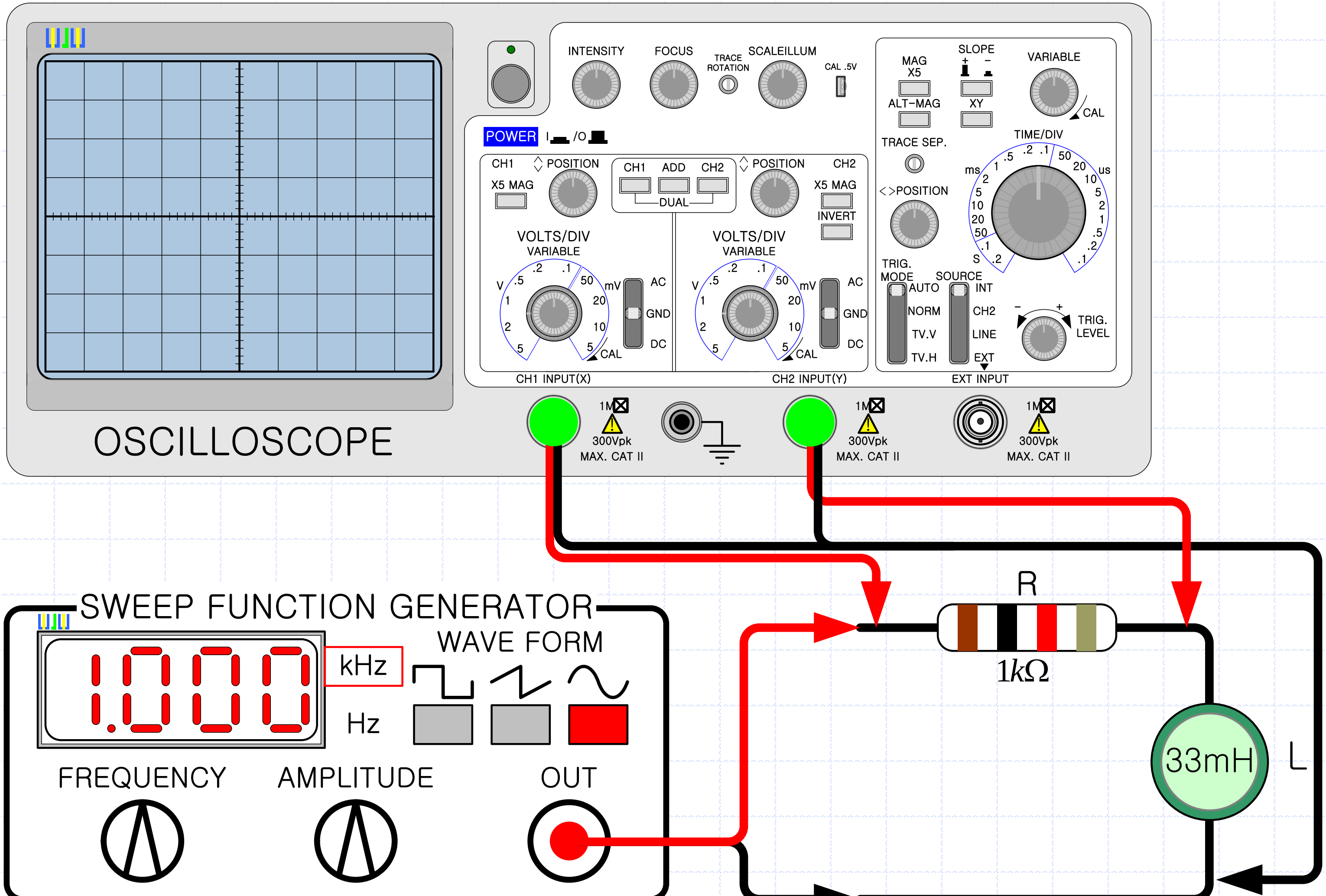
100kHz
이론 : 5.32Vpp
실험 : 5.60Vpp

9-6. 인덕터의 전압, 전류 위상차

- ✓ 아래와 같이 회로를 연결하고, 오실로스코프의 CH 1과 CH 2를 이용하여 측정하라.

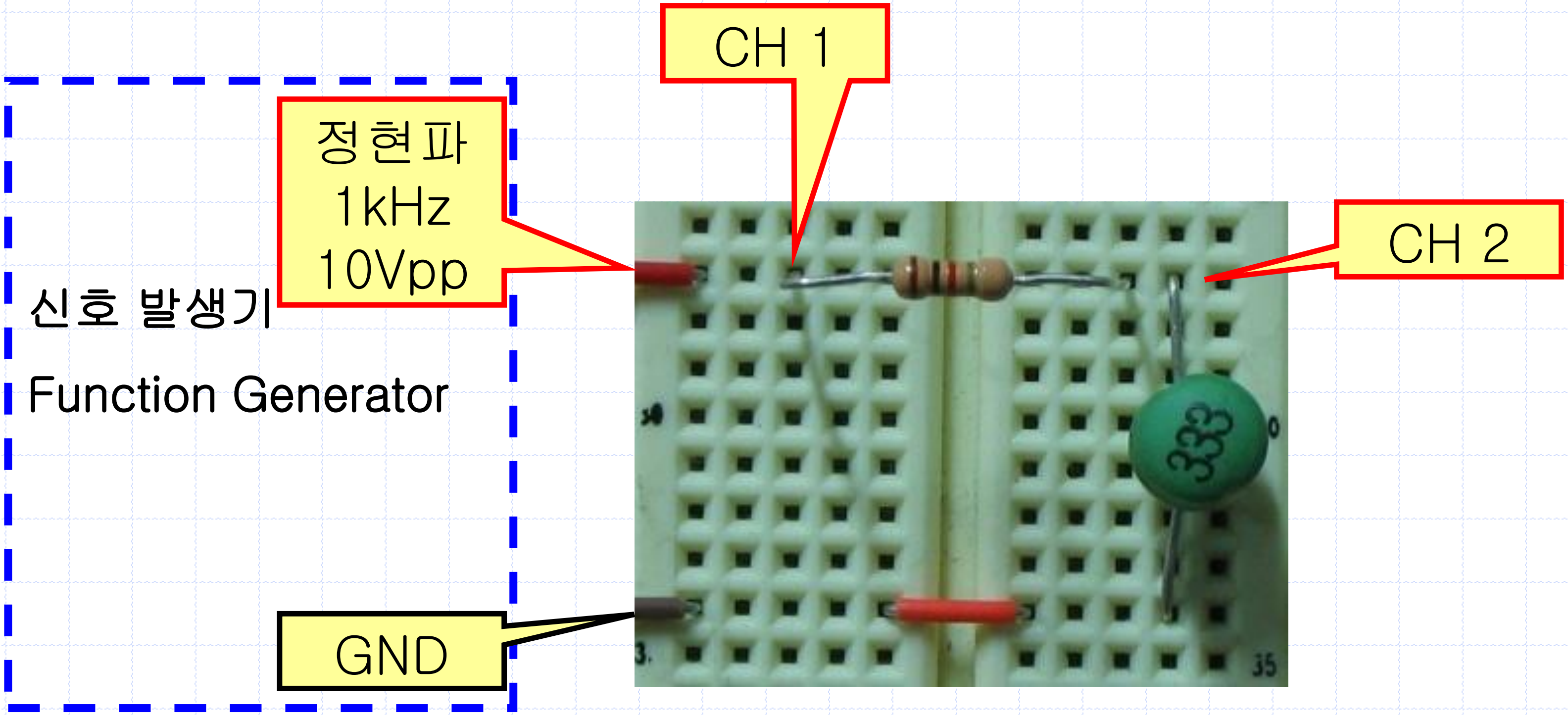


9-6. 인덕터의 전압, 전류 위상차

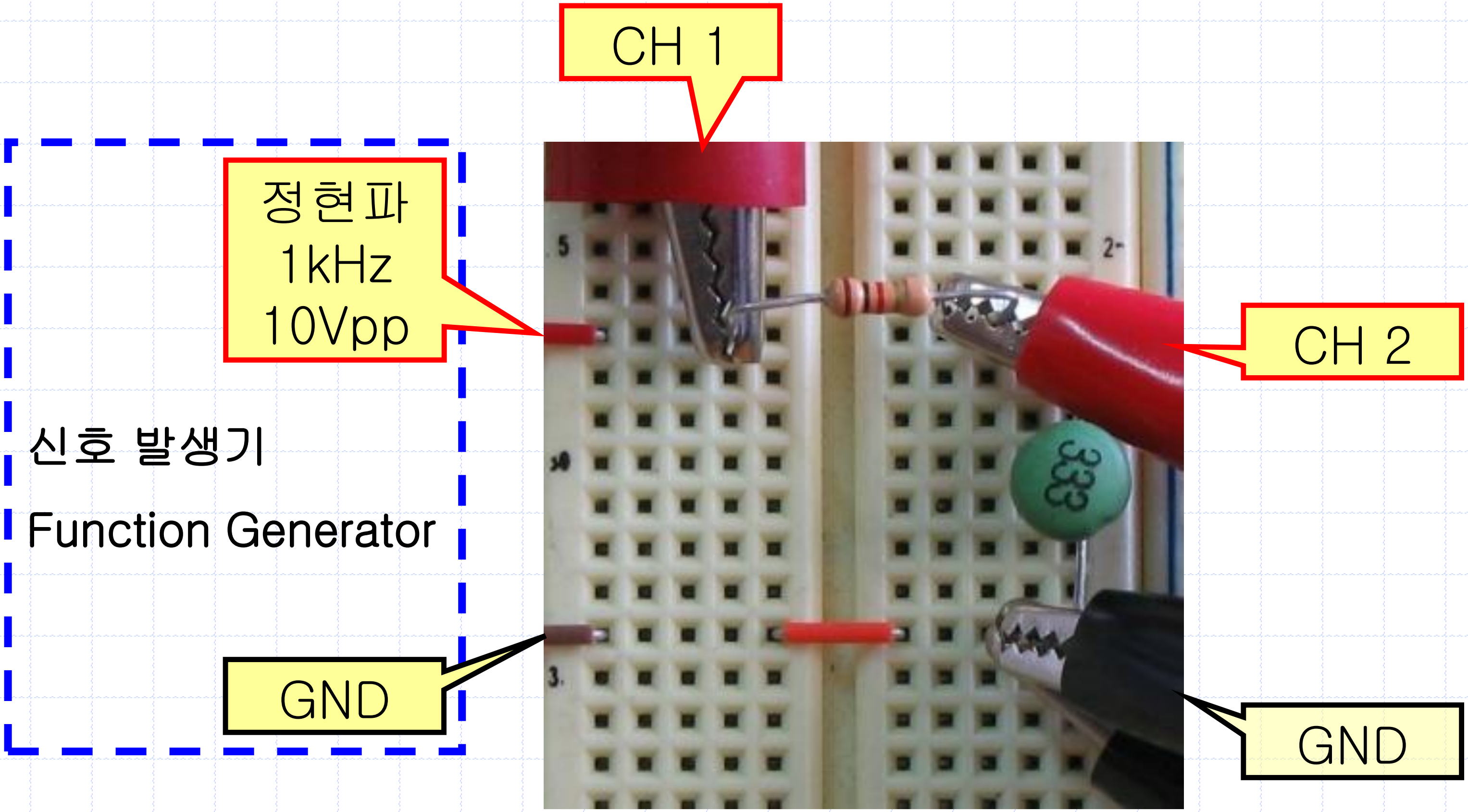


f=1kHz, Vs=10Vpp

9-6. 인덕터의 전압, 전류 위상차



9-6. 인덕터의 전압, 전류 위상차



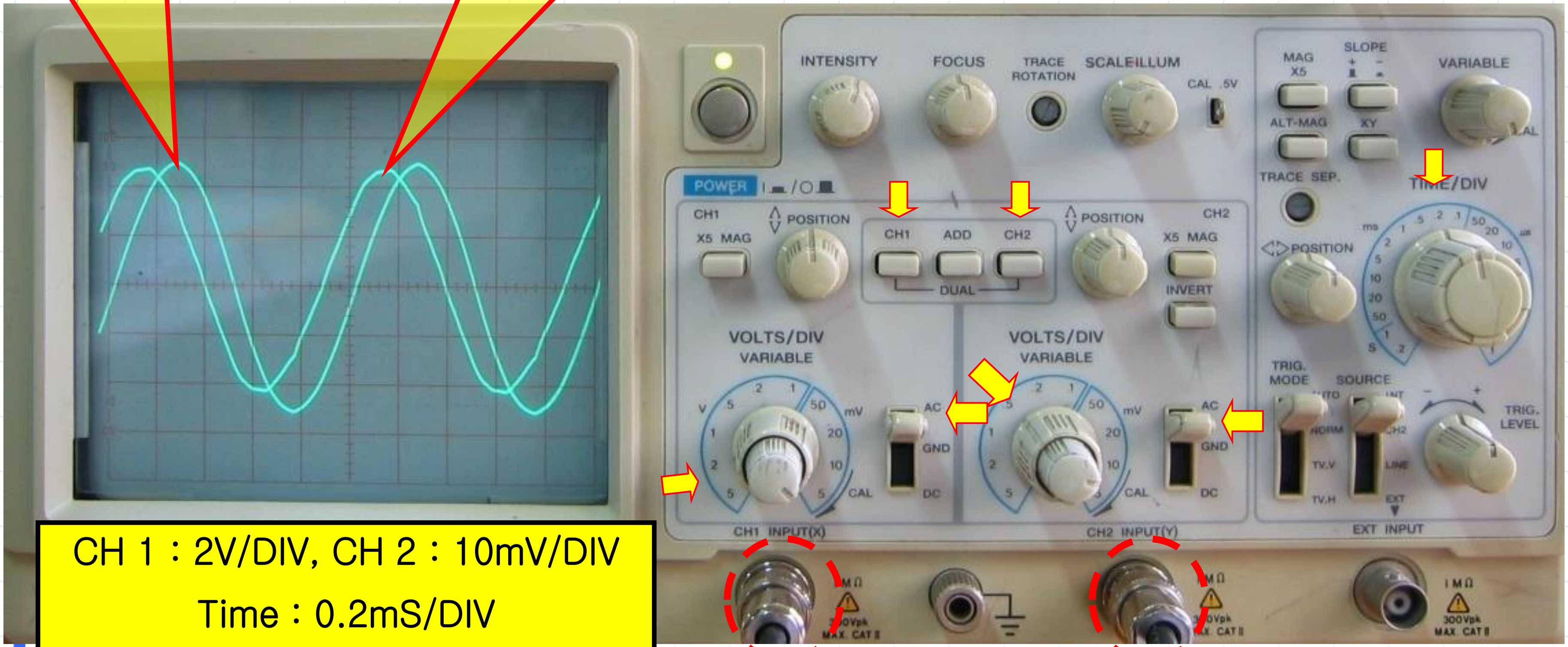
9-6. 인덕터의 전압, 전류 위상차

1kHz

10Vpp

CH 1 : 전압 파형

CH 2 : 전압 파형

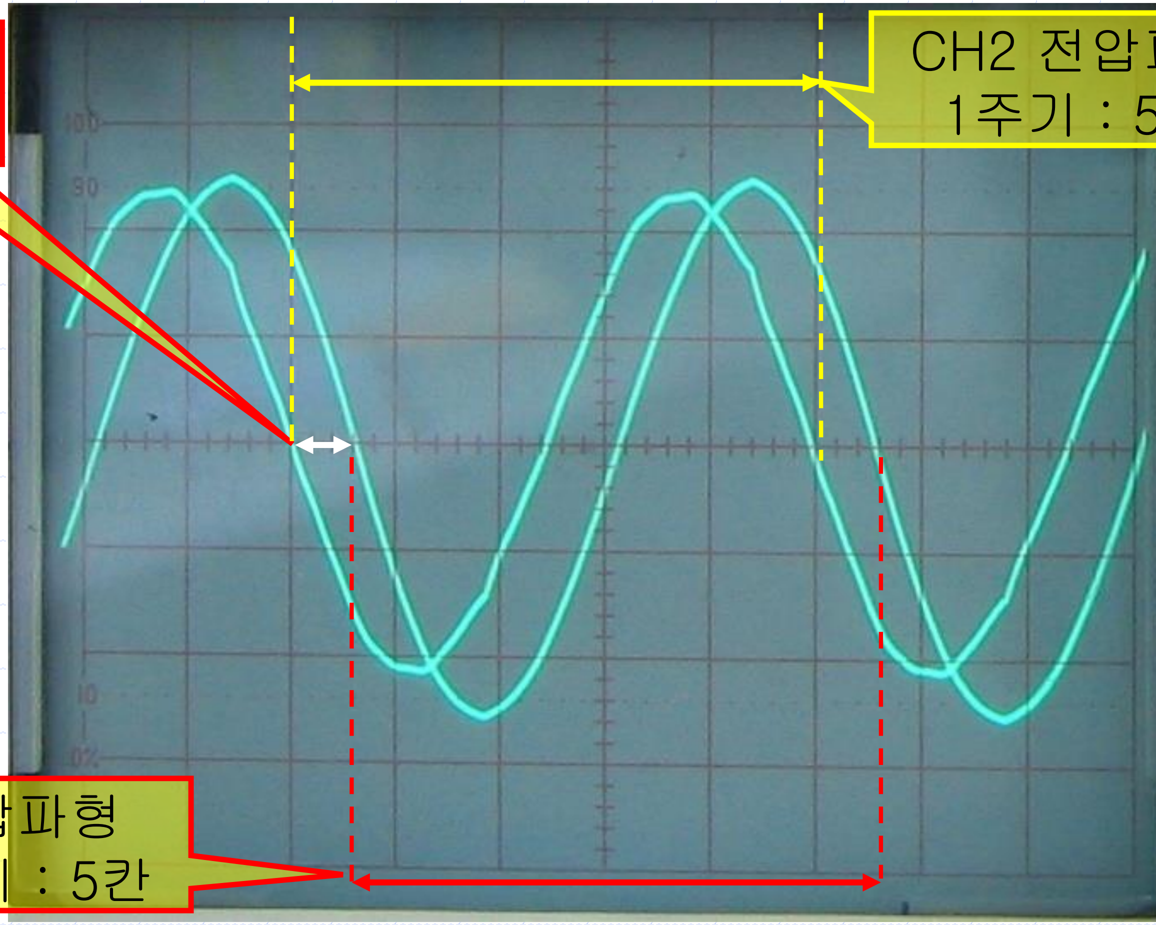


CH 1 : 2V/DIV, CH 2 : 10mV/DIV

Time : 0.2mS/DIV

9-6. 인덕터의 전압, 전류 위상차

✓ 위상차를 측정하라



CH 1 : 2V/DIV, CH 2 : 0.5V/DIV, Time : 0.2mS/DIV

9-6. 인덕터의 전압, 전류 위상차

- 위상차

$1T = 5칸 \times 0.2mSec = 1mSec$

$\Delta t = 0.6칸 \times 0.2mSec = 0.12mSec$

$1mSec : 0.12mSec = 360° : \Delta\Delta$

$\Delta\theta = 43.2°$

- 전압과 전류의 크기

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$
$$= 2\pi \times 1{,}000Hz \times 33 \times 10^{-3} H$$
$$= 207.345\Omega$$

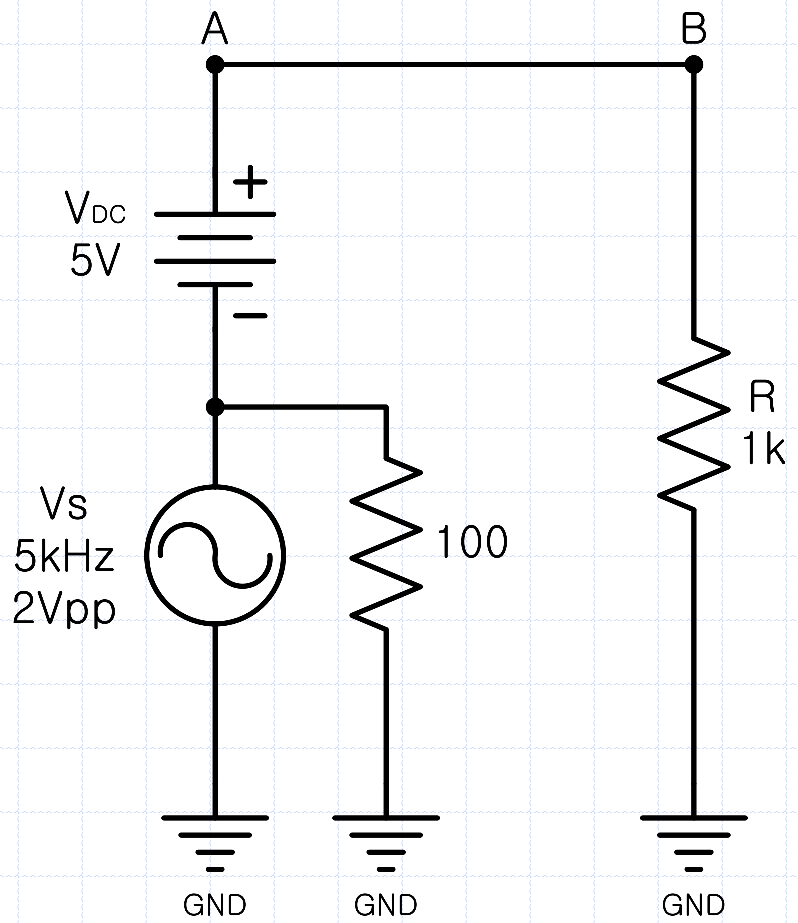
$$Z = R + jX_L = 1{,}000 + j207.345[\Omega]$$
$$= 1021.27\angle +11.714°[\Omega]$$

$$v_S = 10V_{PP}\angle 0°$$

$$i_C = \frac{v_S}{Z} = \frac{10V_{PP}\angle 0°}{1021.27\angle +11.714°[\Omega]}$$
$$= 9.792mA_{PP}\angle -11.714°$$

9-7A. 인덕터의 AC, DC 특성

- 회로를 다음과 같이 연결하고, 오실로스코프를 이용하여 각 지점의 전압을 측정한다.



9-7A. 인덕터의 AC, DC 특성

+5V

직류 공급 장치

DC Power Supply

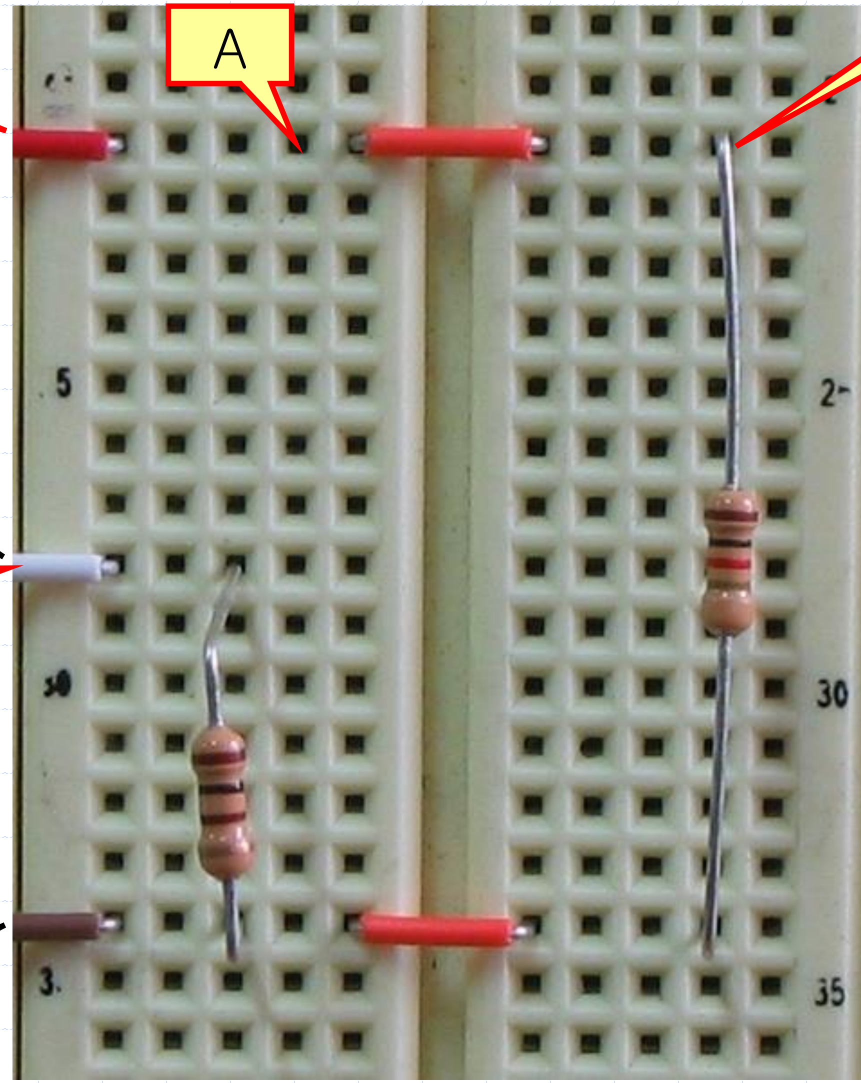
GND

정현파
5kHz
10Vpp

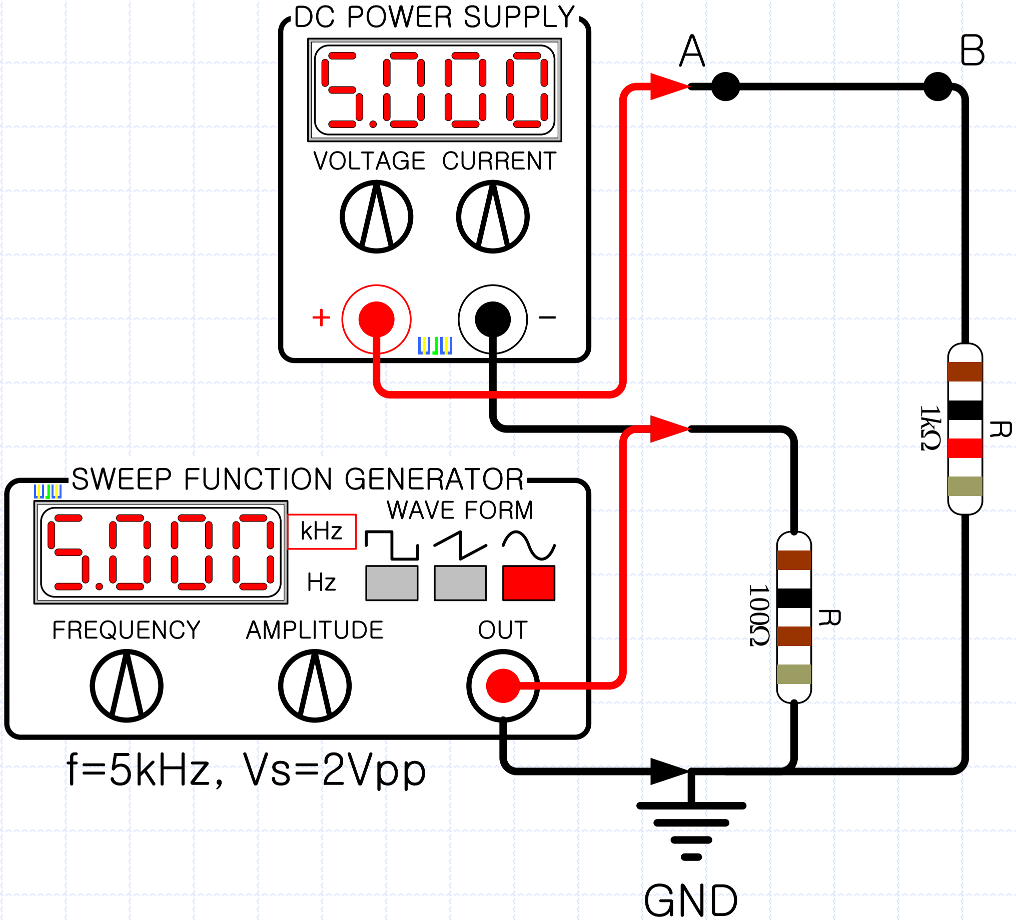
신호 발생기

Function Generator

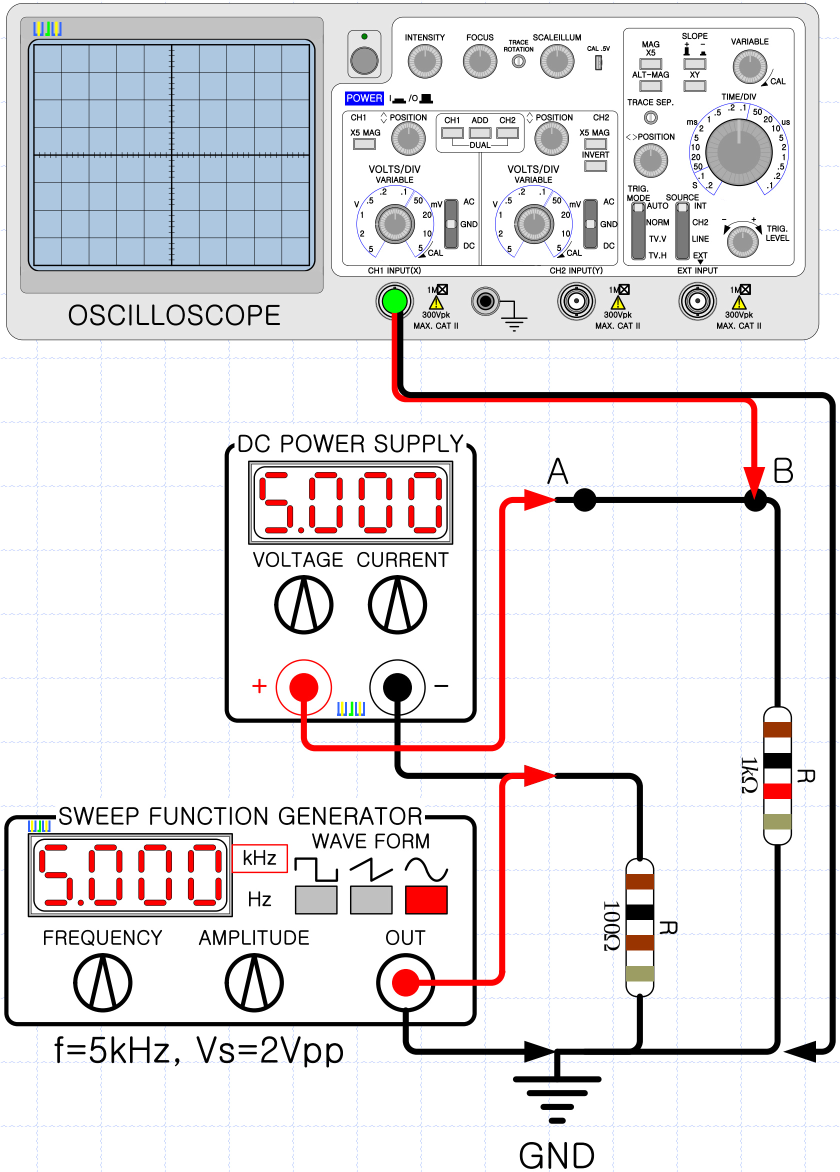
GND



9-7A. 인덕터의 AC, DC 특성



9-7A. 인덕터의 AC, DC 특성



f=5kHz, Vs=2Vpp

9-7A. 인덕터의 AC, DC 특성

직류 공급 장치

DC Power Supply

+5V

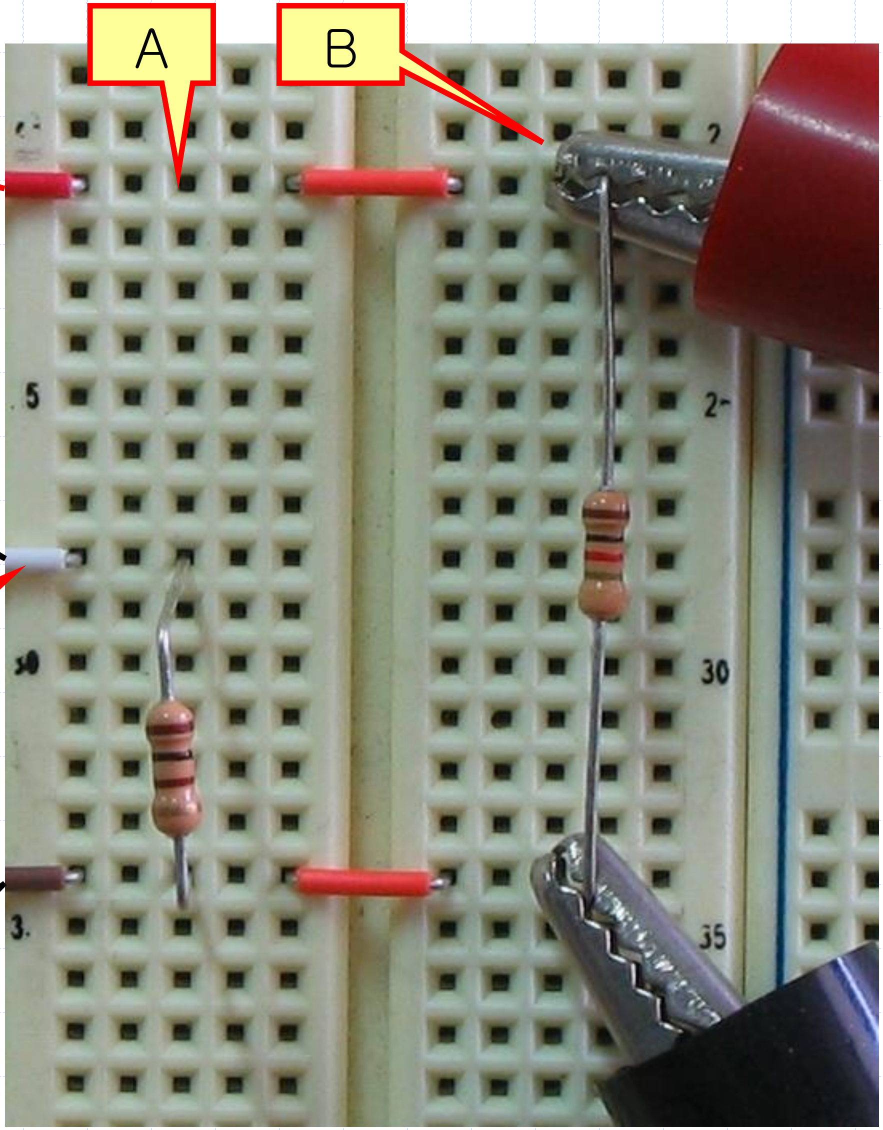
GND

정현파
1kHz
10Vpp

신호 발생기

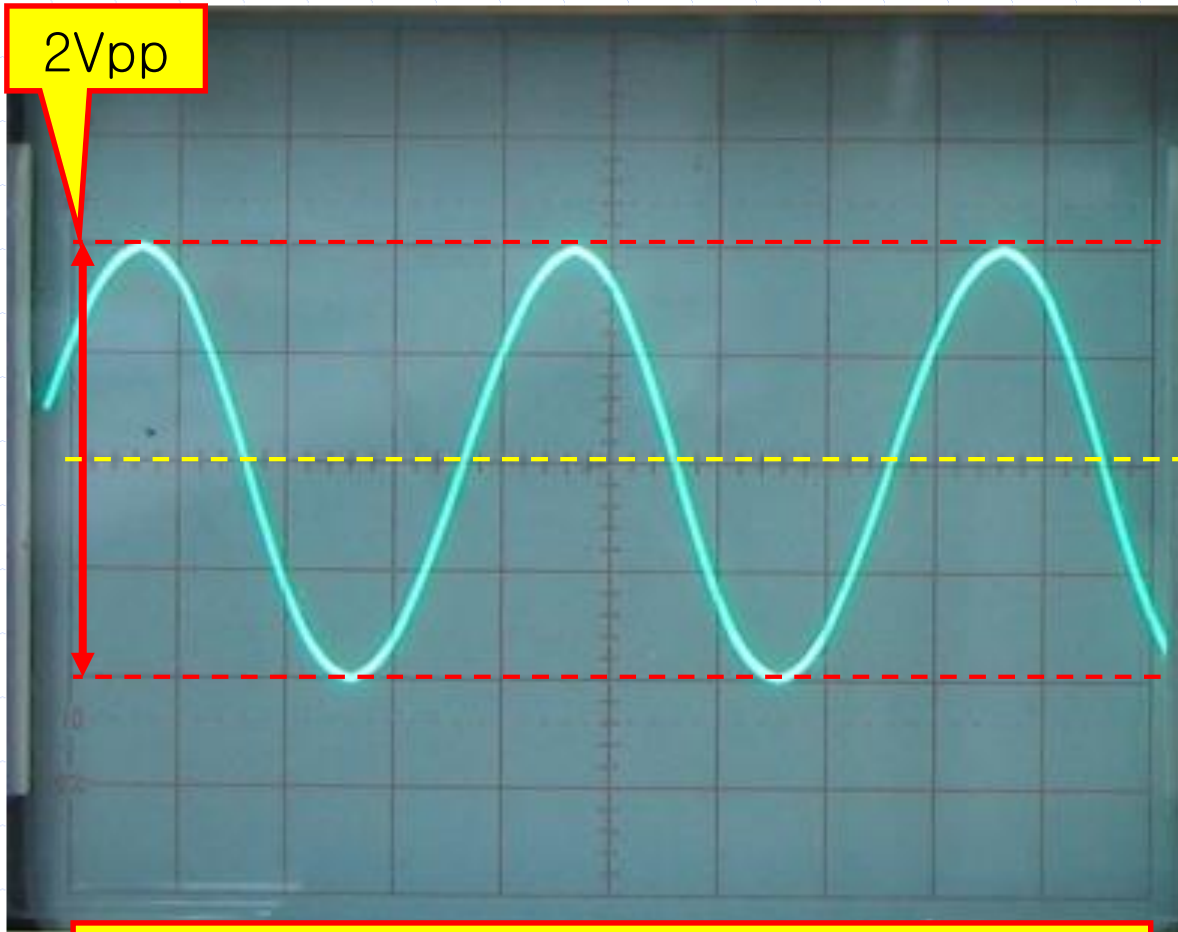
Function Generator

GND



9-7A. 인덕터의 AC, DC 특성

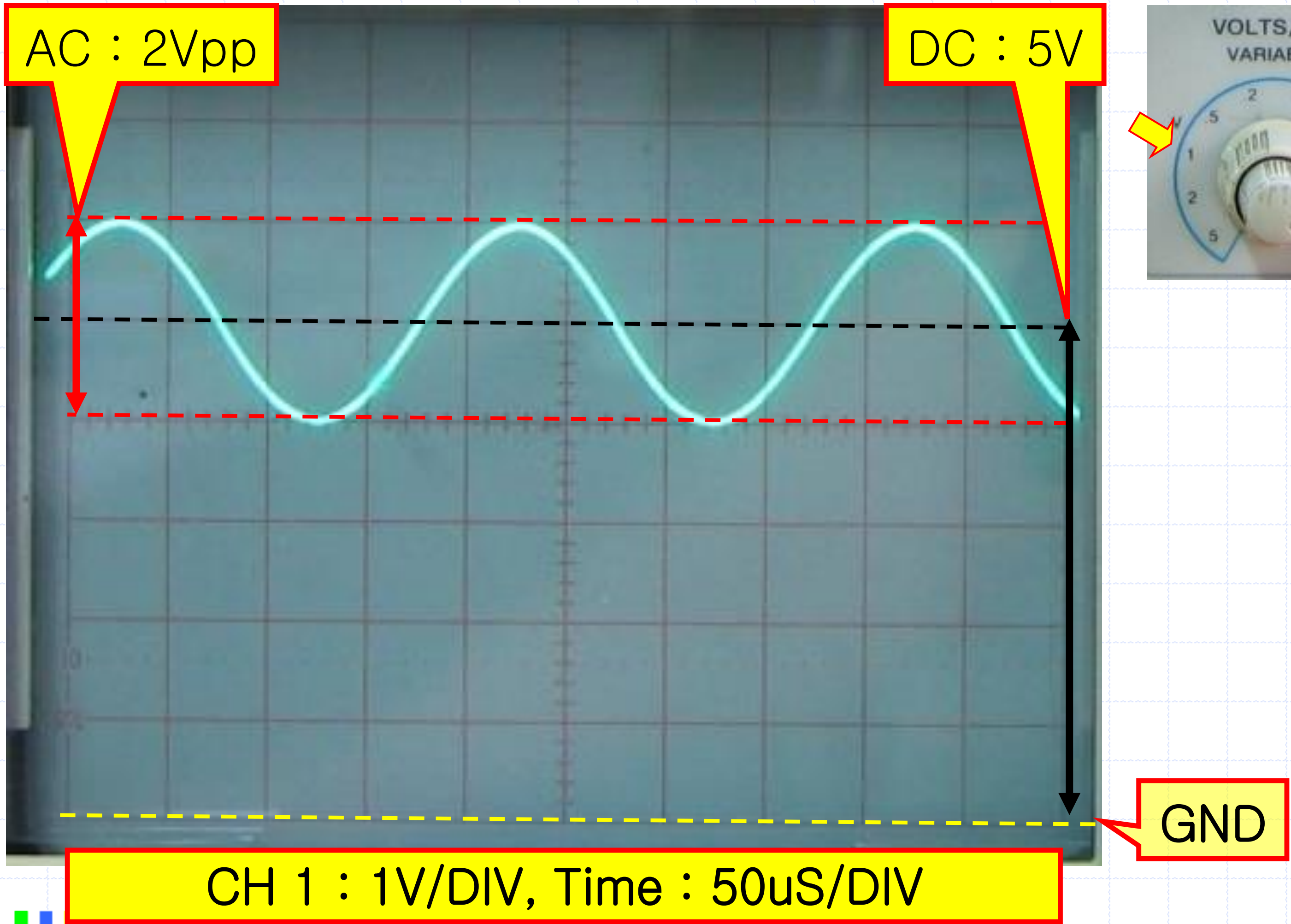
- AC 결합



CH 1 : 0.5V/DIV, Time : 50uS/DIV

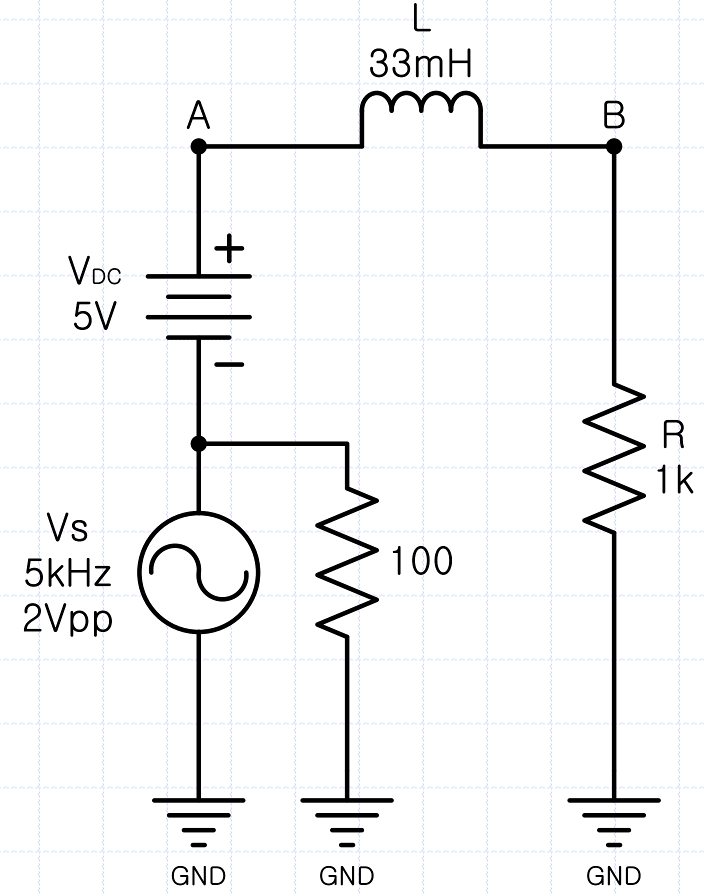
9-7A. 인덕터의 AC, DC 특성

✓ DC 결합



9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성

- 앞의 회로에 커패시터를 다음과 같이 연결하고, 오실로스코프를 이용하여 각 지점의 전압을 측정한다.



9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성

+5V

직류 공급 장치

DC Power Supply

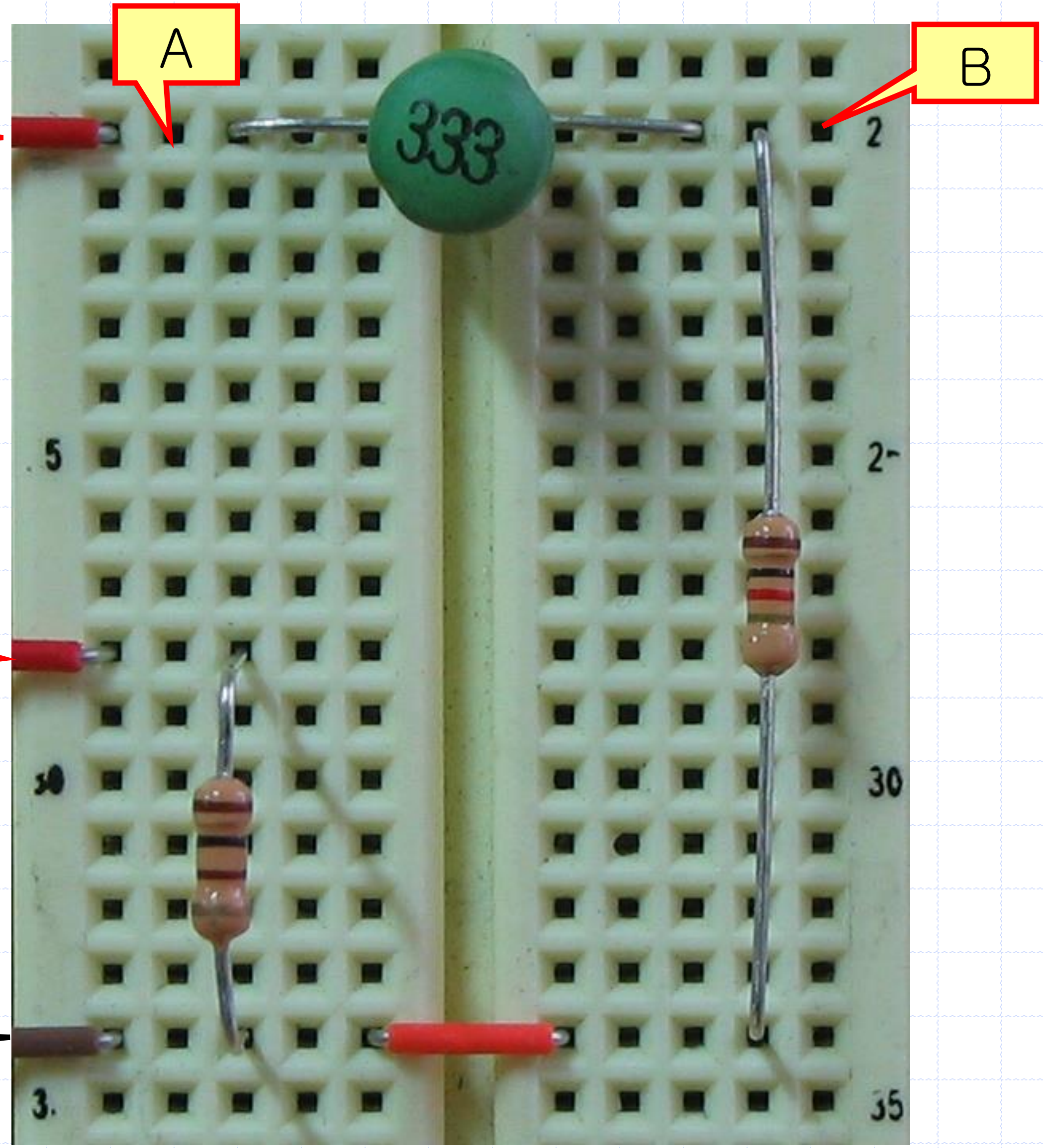
GND

정현파
5kHz
2Vpp

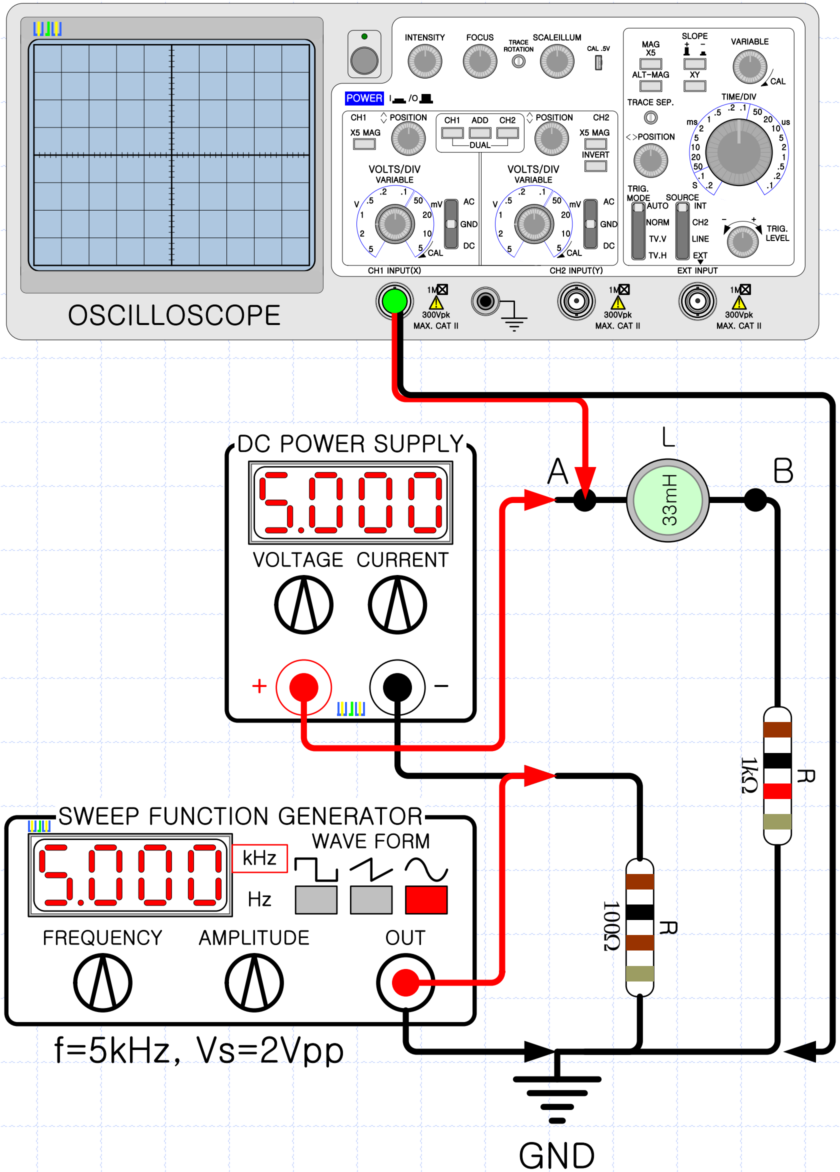
신호 발생기

Function Generator

GND



9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성



f=5kHz, Vs=2Vpp

9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성

직류 공급 장치

DC Power Supply

+5V

GND

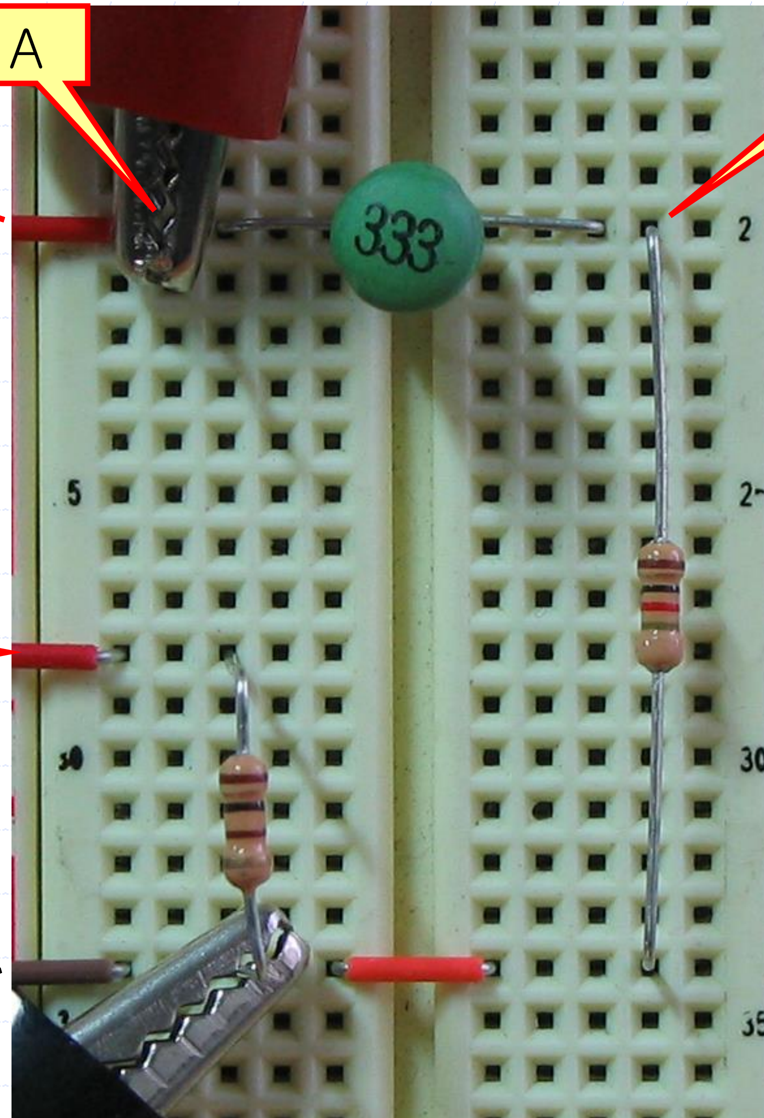
신호 발생기

Function Generator

정현파
1kHz
10Vpp

GND

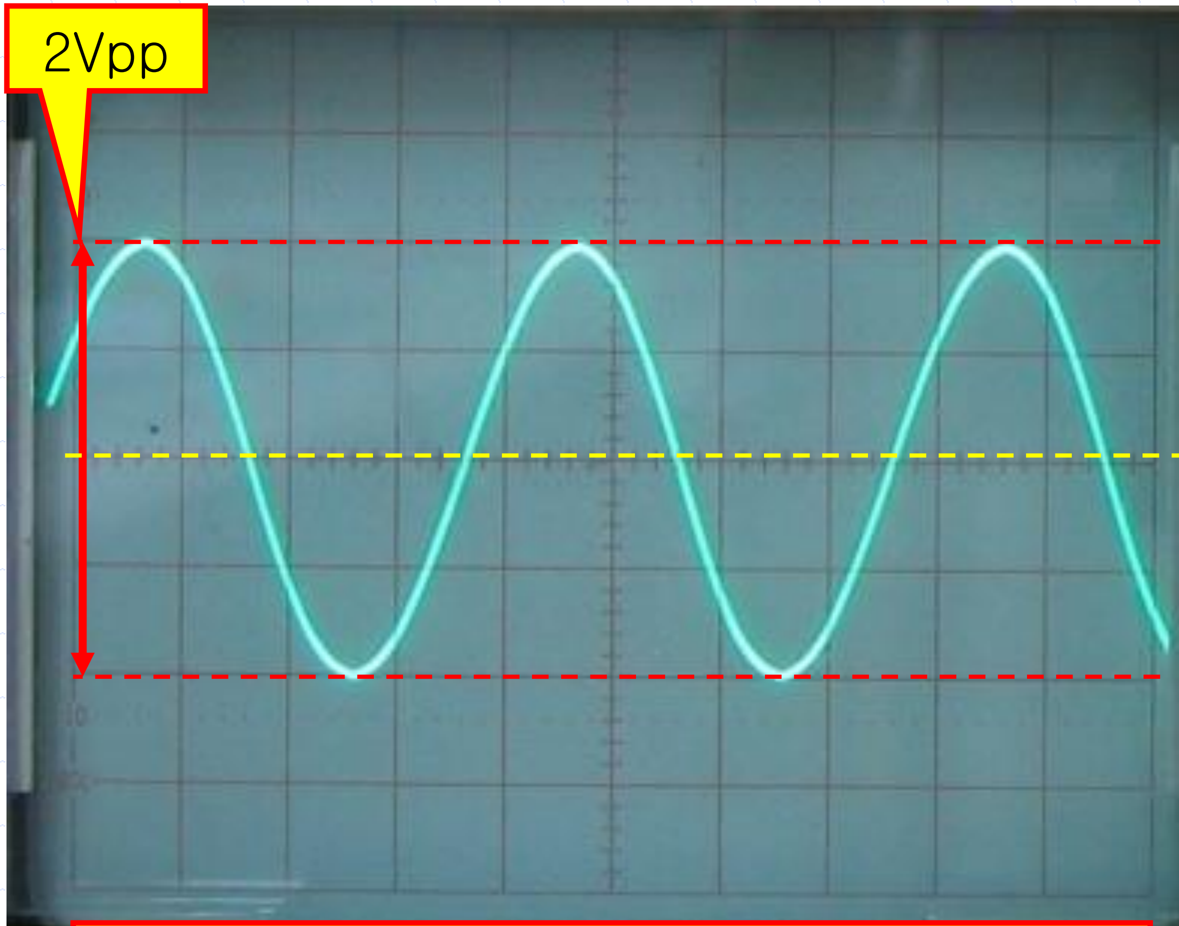
A



B

9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성

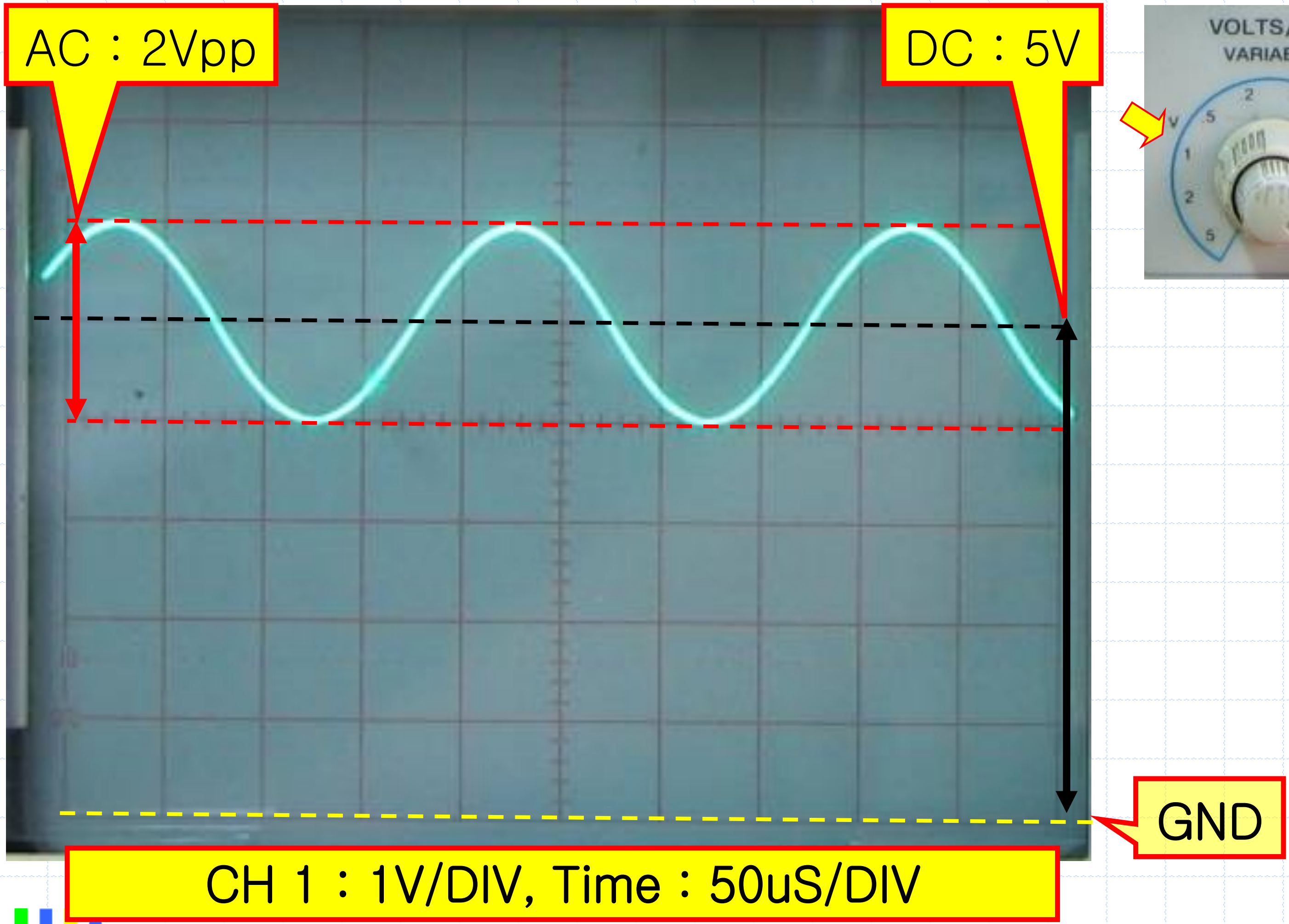
- AC결합



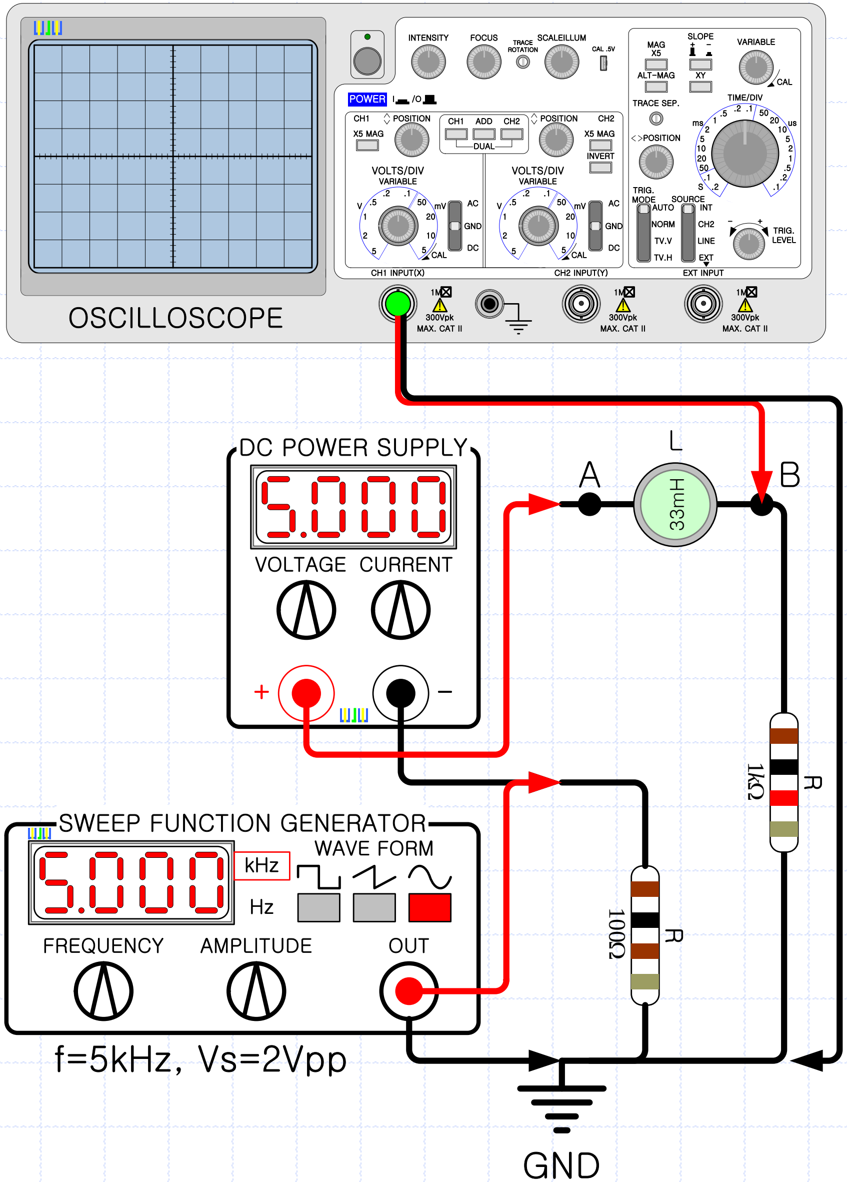
CH 1 : 0.5V/DIV, Time : 50uS/DIV

9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성

✓ DC결합



9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성



f=5kHz, Vs=2Vpp

9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성

+5V

직류 공급 장치

DC Power Supply

GND

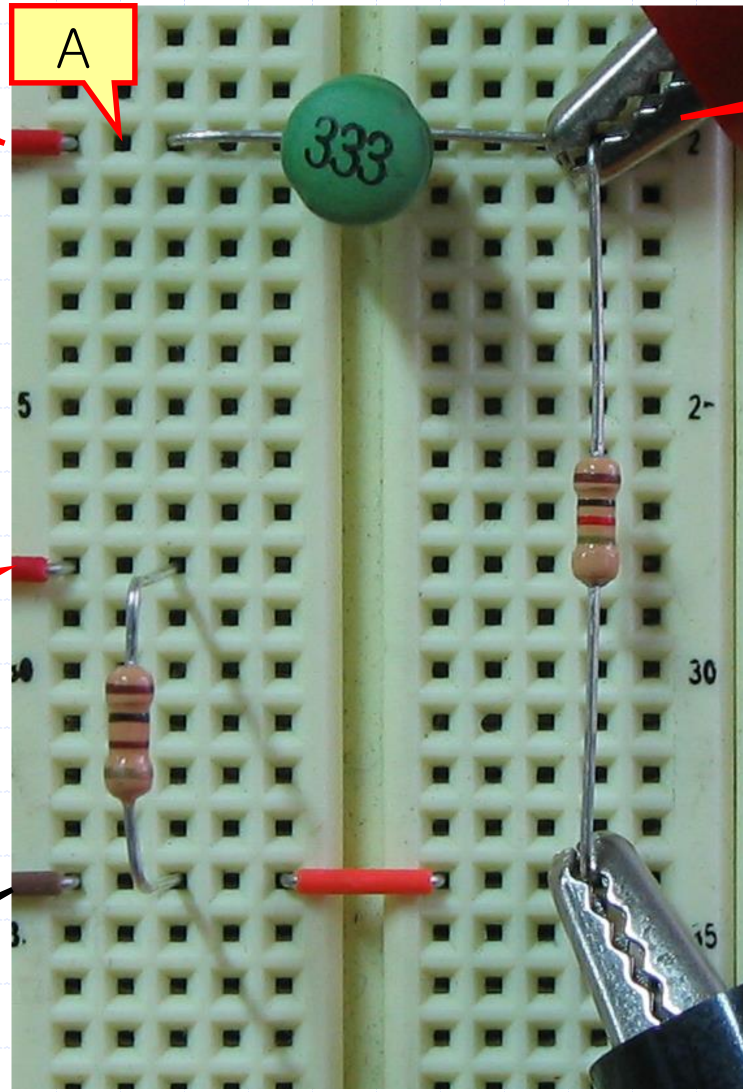
정현파
5kHz
2Vpp

신호 발생기

Function Generator

GND

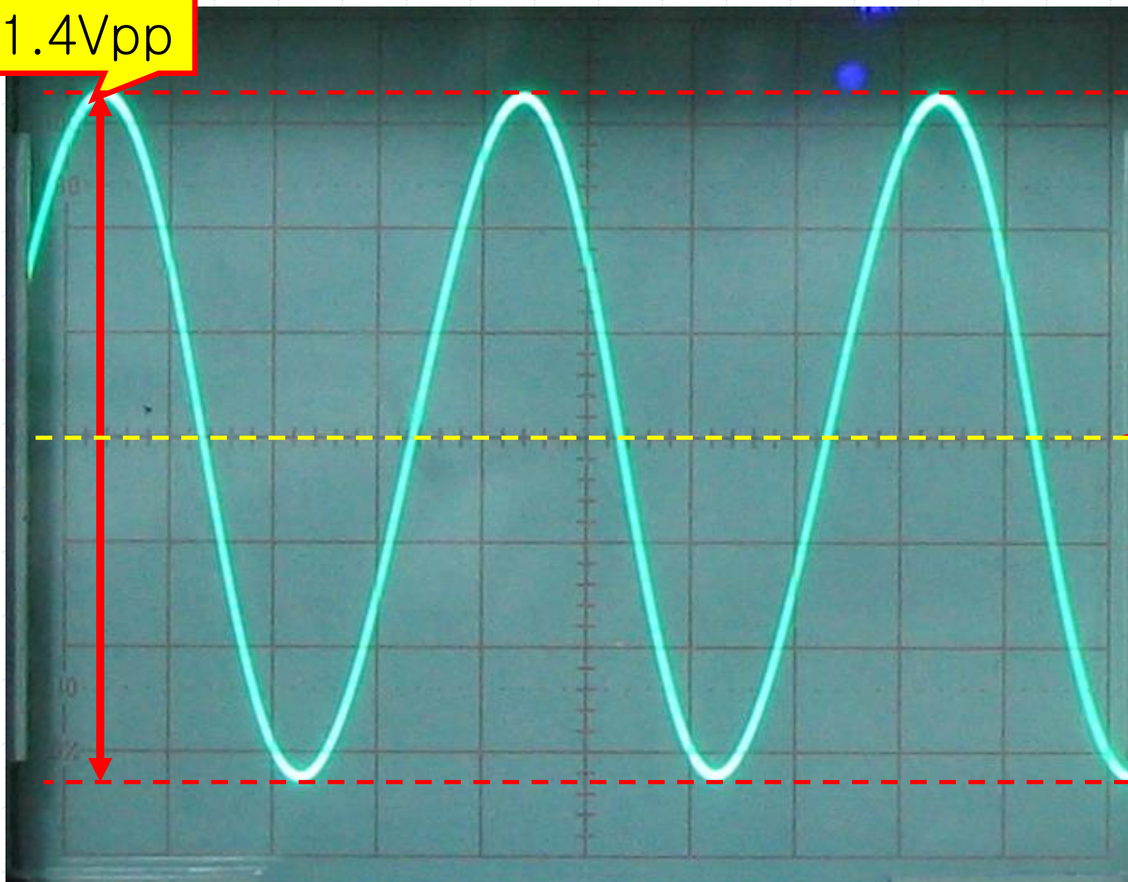
A



B

9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성

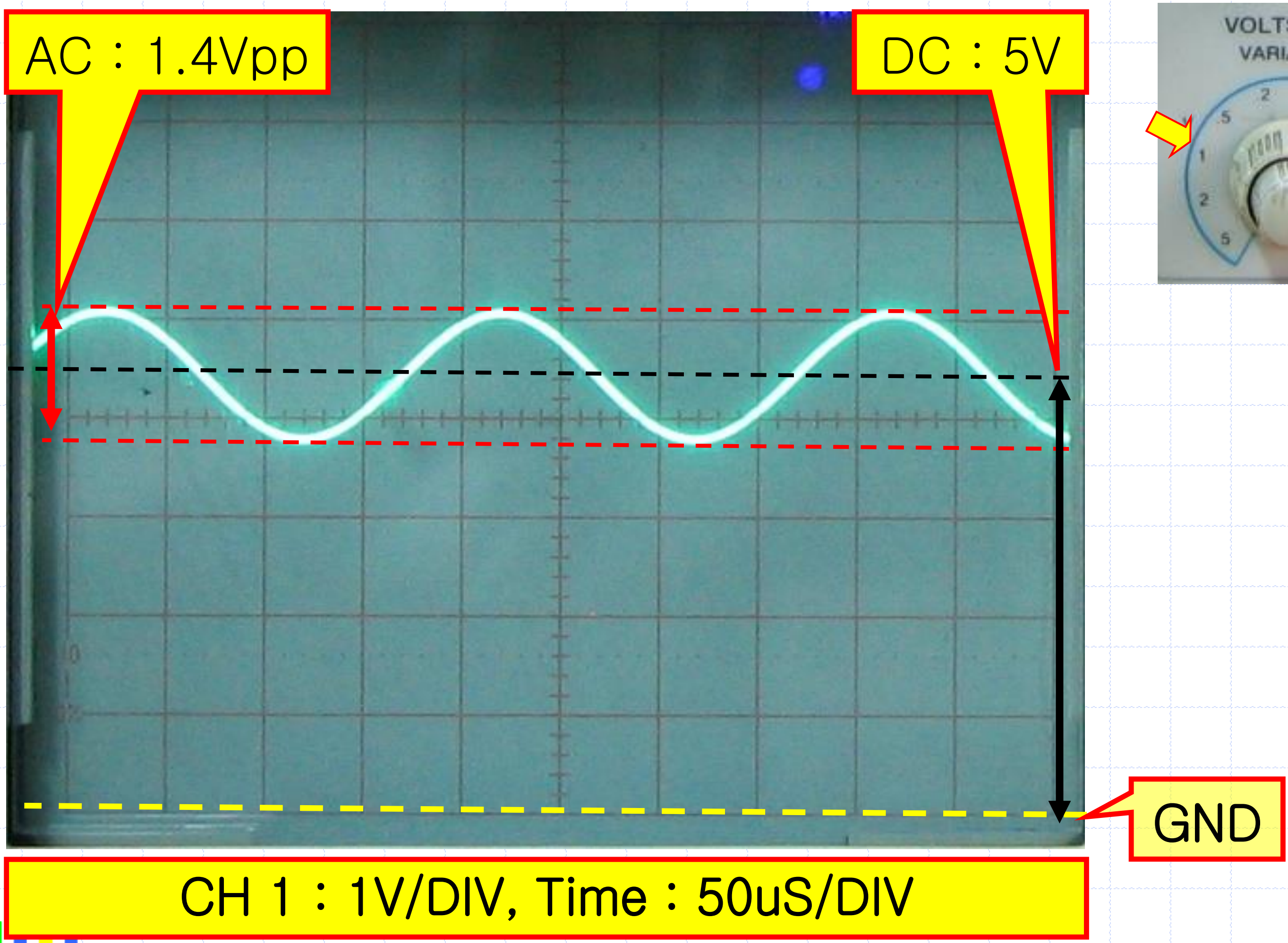
- ✓ AC결합



CH 1 : 0.2V/DIV, Time : 50uS/DIV

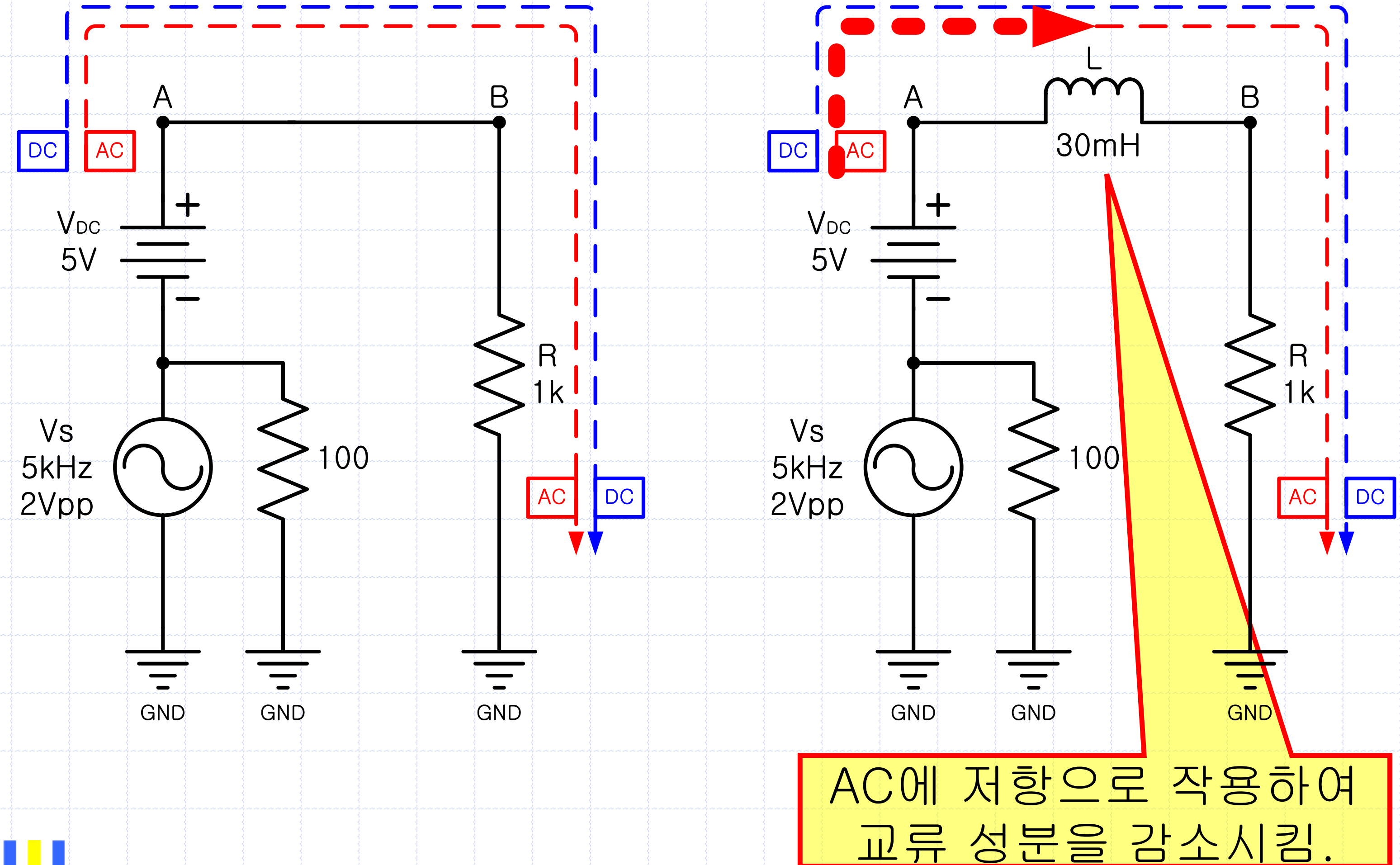
9-7B. 인덕터의 AC, DC 특성

- DC결합



9-7C. 인덕터의 AC, DC 특성

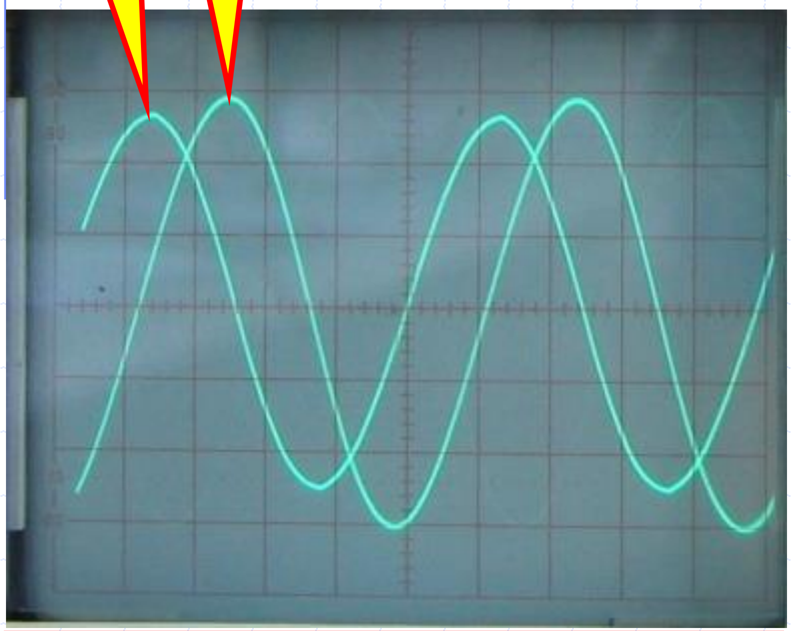
- 인덕터의 직렬연결



9-8. 위상차

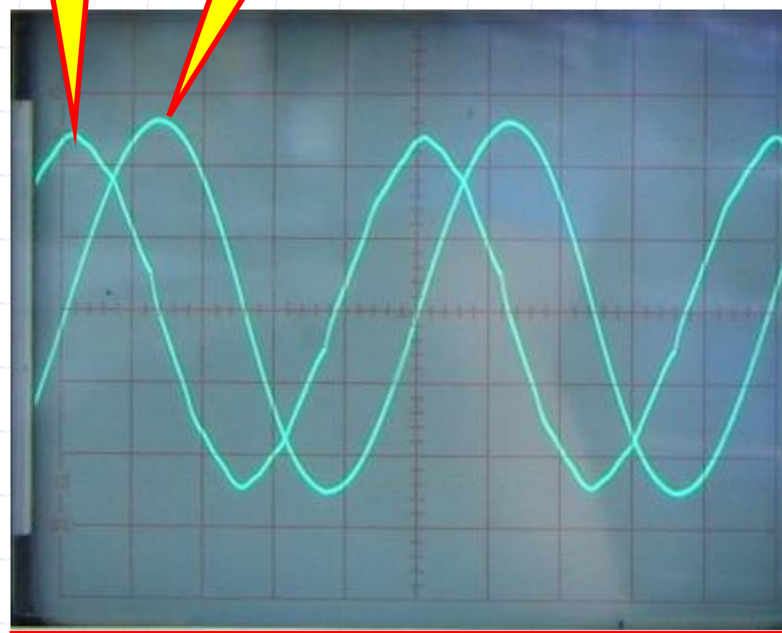
✓ 인덕터와 캐패시터의 전압과 전류의 위상차

전압 전류



인덕터인 경우 전압이 빠름

전류 전압



캐패시터인 경우 전류가 빠름